

Bachelorarbeit

Johanna Weinstock

Entwicklung der funktionalen Architektur eines Plattformsystems für Marineschiffe am Beispiel eines Regatta-Tretbootes

Johanna Weinstock

**Entwicklung der funktionalen Architektur
eines Plattformsystems für Marineschiffe
am Beispiel eines Regatta-Tretbootes**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Maschinenbau Entwicklung und Konstruktion
am Department Maschinenbau und Produktion
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:
thyssenkrupp Marine Systems GmbH
Projektmanagement
Hermann-Blohm-Str.3
20457 Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Joachim Schelberg
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Christian Weißenborn

Abgabedatum: 16.02.18

Zusammenfassung

Name der Studierenden

Johanna Weinstock

Thema der Bachelorthesis

Entwicklung der funktionalen Architektur eines Plattformsystems für Marineschiffe am Beispiel eines Regatta-Tretbootes

Stichworte

Funktionale Architektur, Plattformsystem, Marineschiff, Tretboot, logische Systemstruktur, Anwendungsfalldiagramm

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden Methoden zur Entwicklung einer funktionalen Architektur des Plattformsystems eines Marineschiffes beispielhaft für ein Regatta-Tretboot der Internationalen Waterbike Regatta angewendet und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf das Plattformsystem bewertet. Dafür werden Systemgrenzen festgelegt, die Methode System Footprint angewendet sowie Kundenanforderungen und Anwendungsfälle definiert. Aus den Anwendungsfällen und Kundenanforderungen werden funktionale und nichtfunktionale Produkthanforderungen abgeleitet, welche iterativ mit Hilfe eines Anwendungsfalldiagramms und einer logischen Systemstruktur angepasst werden. Aus den funktionalen Anforderungen werden Funktionen abgeleitet und in einer funktionalen Architektur angeordnet. Die Funktionen und die nichtfunktionalen Anforderungen werden mit den logischen Systemelementen verknüpft. Die Ergebnisse werden hinsichtlich ihres Nutzen und der Übertragbarkeit auf ein Plattformsystem eines Marineschiffes bewertet.

Name of Student

Johanna Weinstock

Title of the paper

Development of a functional Architecture for a Navy Platform system using a paddle boat as a model

Keywords

Functional architecture, platform system, naval ship, paddle boat, logical system architecture, use case diagram

Abstract

As part of this bachelor thesis, methods for the development of a functional architecture of a regatta paddleboat of the International Waterbike Regatta are used as a model for the platform system of a navy ship. The methods are evaluated for their applicability to the platform system. For this, the system boundaries are defined. After this the method System Footprint is used to define customer requirements and use cases. The functional and non-functional product requirements are derived from the use cases and customer requirements, which are iteratively adapted using a use case diagram and a logical system structure. The functions are derived from the functional requirements and arranged in a functional architecture. The functions and the non-functional requirements are linked to the logical system elements. The results are evaluated in terms of their utility and transferability to a platform system of a navy ship.

Management Summary

Der Produktentstehungsprozess von Marineschiffen wird durch besonders lange Planungs- und Entwicklungszeiten geprägt. Lange Projektzyklen führen zu hohem Projektrisiko. Zusätzlich werden vom Kunden die Intensivnutzung und immer kleiner werdende Besatzungsstärken gefordert. Dies führt zu einem hohen Grad an Automatisierung der Schiffsbetriebsanlagen. Die große Menge an Schnittstellen automatisierter Systeme erhöht das Entwicklungsrisiko. Die Entwicklung einer funktionalen Architektur soll dieses Risiko verringern. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden Methoden zur Entwicklung einer funktionalen Architektur des Plattformsystems (PS) eines Marineschiffes beispielhaft für ein Regatta-Tretboot der Internationalen Waterbike Regatta angewandt und auf die Übertragbarkeit auf das PS bewertet.

Durch Festlegen der Systemgrenze und Identifizierung externer Systeme konnten Schnittstellenanforderungen, wie zum Beispiel Transportschnittstellen definiert werden. Mit Hilfe der Methode System Footprint (SF) wurden Kundenanforderungen definiert und eine Kundenspezifikation erstellt. Auf Basis der Kundenspezifikation wurden funktionale und nichtfunktionale Produkthanforderungen definiert, welche iterativ mit Hilfe eines Anwendungsfalldiagramms und einer logischen Systemstruktur angepasst wurden. Aus den funktionalen Anforderungen wurden Funktionen abgeleitet und in einer funktionalen Architektur angeordnet. Die Funktionen und die nichtfunktionale Anforderungen wurden mit den logischen Systemelementen verknüpft. Für thyssenkrupp Marine Systems GmbH gilt es zu entscheiden, in welchem Umfang die Methoden in einem aktuellen Projekt angewendet werden können, um die Vorteile einer funktionalen Architektur zu nutzen.

Der SF konnte eignet sich gut, um das System mit seinen Kerneigenschaften und-funktionen übersichtlich zu erarbeiten und abzubilden. Die Systemabgrenzung hat die Definition der Schnittstellenanforderung erleichtert. Die Verknüpfung zwischen der logischen Systemstruktur und den Funktionen eignet sich, um darzustellen, welche logischen Systemelemente welche Funktionen realisieren. Kann eine Funktion keinem logischen Systemelement zugeordnet werden, muss die logische Systemstruktur ergänzt werden. Können nichtfunktionale Produkthanforderungen keinem logischen Systemelement zugeordnet werden, wird die Notwendigkeit eines weiteren Systemelements geprüft.

Aufgrund der Vielzahl der Systeme des PS empfiehlt es sich, die Systemabgrenzung für das PS jeweils für die Systeme auf den Ebenen Hauptbauabschnitte (HBA), Bauabschnitte (BA), Hauptbaugruppen (HBGr) und Baugruppen (BGr) durchzuführen. Der nächste Schritt für tkMS wäre, den SF an einer ausgewählten BGr des PS durchzuführen. Das Durchführen des SF kann im Unternehmen genutzt werden, um problembehaftete BGr gezielt intensiver zu betrachten und die interdisziplinäre Kommunikation zu stärken.

Aus der funktionalen Architektur können logische Systemelemente abgeleitet und auf ihre Notwendigkeit überprüft werden. Werden die Funktionen abgeleitet, können zuverlässig Schnittstellen identifiziert werden. Für tkMS ergibt sich daraus die Möglichkeit für komplexe Systeme, wie das PS, Risiken im Produktentwicklungsprozess zu reduzieren. Beim Übertragen vergangener

Projekte auf aktuelle, kann die funktionale Architektur durch das Unternehmen genutzt werden, um logische Systemelemente auf seine Notwendigkeit zu überprüfen. So können ggf. durch Streichen von Systemelementen Kosten eingespart werden. Für schnittstellenreiche Systeme wie den HBA „3000 Elektrische Anlagen“ sollte das Unternehmen in einem aktuellen Projekt eine funktionale Architektur entwickeln und mit den logischen Systemelementen verknüpfen. Im Laufe des Projektes können die Risiko- und Kostenminimierung aufgezeigt werden, indem das Projekt mit vergangenen verglichen wird.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Grundlagen | 3 |
| 2.1 | System und Systemgrenze | 3 |
| 2.2 | Funktion | 4 |
| 2.3 | Funktionsarchitektur..... | 5 |
| 2.4 | Systemstruktur und Anforderungen eines Marineschiffes | 6 |
| 2.5 | International Waterbike Regatta | 9 |
| 2.6 | Zielsetzung..... | 10 |
| 3 | Übergeordneter Prozess | 11 |
| 3.1 | Systems Engineering | 12 |
| 3.1.1 | Das SE-Vorgehensmodell | 12 |
| 3.2 | V-Modell..... | 14 |
| 3.2.1 | Marktvalidierung | 17 |
| 3.2.2 | Kundenanforderungen und Leistungsprofil..... | 17 |
| 3.2.3 | Ermittlung der Produkthanforderungen | 17 |
| 3.2.4 | Systementwurf | 24 |
| 3.2.5 | Verifikation und Validierung | 24 |
| 3.3 | Zusammenfassung..... | 26 |
| 4 | Methodisches Vorgehen | 27 |
| 4.1 | Definition der Kundenanforderungen | 27 |
| 4.1.1 | Systemabgrenzung | 28 |
| 4.1.2 | System Footprint | 28 |
| 4.1.3 | Definition der Kundenanforderungen und Leistungsprofil | 30 |
| 4.2 | Anforderungsanalyse | 31 |
| 4.2.1 | Anwendungsfalldiagramm | 31 |
| 4.2.2 | Definition der Produkthanforderungen | 31 |
| 4.2.3 | Definition der Verifikationstests | 31 |
| 4.2.4 | Funktionale Architektur | 32 |
| 4.2.5 | Logische Systemstruktur..... | 32 |
| 4.2.6 | Verknüpfungen der Ergebnisse..... | 32 |
| 4.3 | Zusammenfassung..... | 32 |
| 5 | Durchführung am Beispiel Tretboot | 33 |
| 5.1 | System Footprint | 33 |
| 5.1.1 | Systemabgrenzung | 34 |
| 5.1.2 | Workshop System Footprint..... | 35 |
| 5.1.3 | Definition der Kundenanforderungen | 37 |
| 5.2 | Anforderungsanalyse | 40 |
| 5.2.1 | Anwendungsfalldiagramm | 40 |
| 5.2.2 | Definition der Produkthanforderungen | 41 |
| 5.2.3 | Definition der Verifikationstests | 43 |
| 5.2.4 | Funktionsanalyse | 46 |
| 5.2.5 | Logische Systemstruktur..... | 48 |
| 5.2.6 | Verknüpfung der Ergebnisse..... | 52 |
| 5.3 | Zusammenfassung..... | 54 |
| 6 | Bewertung | 55 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6.1 | Systemabgrenzung | 55 |
| 6.2 | System Footprint | 55 |
| 6.3 | Anforderungsanalyse | 56 |
| 6.3.1 | Anwendungsfalldiagramm | 57 |
| 6.3.2 | Definition der Produkthanforderungen | 59 |
| 6.3.3 | Definition der Validierung/Verifikationstests | 59 |
| 6.3.4 | Funktionsanalyse | 60 |
| 6.3.5 | Logische Systemstruktur | 62 |
| 6.3.6 | Verknüpfung der Ergebnisse..... | 65 |
| 7 | Fazit und Handlungsempfehlung..... | 66 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 68 |
| 9 | Anhang | |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: System mit den Elementen a-h und 3 externen Systemen..... | 3 |
| Abbildung 2: System Waschmaschine mit seiner Systemgrenze..... | 4 |
| Abbildung 3: Funktion als Black Box mit Eingangs- und Ausgangsgrößen..... | 5 |
| Abbildung 4: Funktionsarchitektur "Wäsche waschen"..... | 6 |
| Abbildung 5: Einteilung der Bereiche/Systeme von Marineschiffen..... | 7 |
| Abbildung 6: Bedeutung der Mechatronik für den Maschinenbau..... | 11 |
| Abbildung 7: Lebenszykluskosten über die Zeit..... | 13 |
| Abbildung 8: Erweitertes V-Modell für Modellbasierte Produktentwicklung..... | 15 |
| Abbildung 9: Das V-Modell des Produktentwicklungsprozesses..... | 16 |
| Abbildung 10: Prozess der Anforderungsanalyse nach oose innovative Informatik eG | 18 |
| Abbildung 11: Formulierungsstruktur für Anforderungen..... | 19 |
| Abbildung 12: Realisierung mehrere Funktionen in mehreren oder einem System | 21 |
| Abbildung 13: Aufbau des Funktionenbaumes und der FAST..... | 23 |
| Abbildung 14: Beziehung zwischen Anforderungen, Abnahmekriterien (Prüfaspekt) und Testszenarien (Prüfungen)..... | 26 |
| Abbildung 15: Betrachtungsbereich dieser Bachelorarbeit..... | 27 |
| Abbildung 16: Vorlage für die Systemabgrenzung..... | 28 |
| Abbildung 17: The System Footprint - Vorlage..... | 29 |
| Abbildung 18: Mindmap Tretboot für die IWR..... | 33 |
| Abbildung 19: Systemabgrenzung - Tretboot für die IWR..... | 34 |
| Abbildung 20: System Footprint - Tretboot für die IWR..... | 35 |
| Abbildung 21: Leistungsprofil des Regatta-Tretbootes..... | 39 |
| Abbildung 22: Anwendungsfalldiagramm Regatta-Tretboot..... | 40 |
| Abbildung 23: Beziehung zwischen Produkthanforderungen und Kundenanforderungen..... | 42 |
| Abbildung 24: Verknüpfung der Produkthanforderungen mit den Verifikationstests | 45 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 25: Auszug aus der funktionalen Architektur des Systems Regatta-Tretboot..... | 46 |
| Abbildung 26: Ausschnitt - Verknüpfung der Funktionen zu den funktionalen Anforderungen | 47 |
| Abbildung 27: Logische Systemstruktur | 48 |
| Abbildung 28: Verknüpfung der logischen System Elemente mit den zu realisierenden Funktionen..... | 49 |
| Abbildung 29: Beziehung zwischen den nichtfunktionalen Produkthanforderungen und der logischen Systemstruktur | 50 |
| Abbildung 30: Logische Systemstruktur Regatta-Tretboot | 51 |
| Abbildung 31: Anforderungsstruktur PA_62 Platzierung 100m Sprint..... | 52 |
| Abbildung 32: Verknüpfte Elemente der PA_02 Personen aufnehmen..... | 53 |
| Abbildung 33: Übertragung des Anwendungsfalldiagramm des Regatta-Tretbootes auf das PS eines Marineschiffes | 57 |
| Abbildung 34: Vergleich Anwendungsfälle Marineschiff und Regatta-Tretboot..... | 58 |
| Abbildung 35: Vergleich der logischen Systemstrukturen des Regatta-Tretbootes und des PS | 63 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|--|
| AwF | Anwendungsfall (Use-Case) |
| BA | Bauabschnitt |
| BGr | Baugruppe |
| COTS | Components-off-the-shelf (Seriengefertigte Bauteile) |
| ES | Einsatzsystem |
| ESWBS | Expanded Ship Work Breakdown Structure |
| FAST | Funktionen-Analyse-System-technik |
| FMEA | Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse |
| HBA | Hauptbauabschnitt |
| HBGr | Hauptbaugruppe |
| IWR | International Waterbike Regatta |
| MBGrV | Marinebaugruppenverzeichnis |
| PS | Plattformsystem |
| SA | Systemabgrenzung |
| SE | Systems Engineering |
| SF | System Footprint |
| SOI | System of Interest |
| SysML | System Modeling Language |

Definitionen

Die Definitionen entstammen dem Dokument Anforderungsspezifikation im Anhang.

Beschleunigen

Um eine vereinfachte Annahme für die Leistungsparameter treffen zu können, gehe ich von einer konstanten Beschleunigung des Schiffes und von konstanten gegen die Schiffsbeschleunigung wirkenden Beschleunigungsparametern wie z.B. Wasserwiderstand aus.

Definierte Umweltbedingungen

Seegang Stärke 1 und maximal 25km/h Windgeschwindigkeit

Definierte Auslegungsbedingungen

Glatte See und maximal 5km/h Windgeschwindigkeit

Einlagerungsort

Ort langzeitiger Lagerung an Land z.B. in einer Werkstatt oder Scheune.

KA_01

Kundenanforderungen aus der Anforderungsspezifikation des System Foot Print

Lagerungsort

Ort kurzzeitiger Lagerung an Land am Einsatzort.

Leichter Schaden

Der Schaden beeinträchtigt die Fähigkeiten des Bootes, welche den Wettkampf betreffen, nicht.

Mittlerer Schaden

Bei einem mittleren Schaden, ist ein Teil der Bootsfähigkeiten nicht erfüllt, welche den Regattawettkampf betreffen. Die Fähigkeit Schwimmen ist voll erfüllt. Der zeitliche Reparaturaufwand beträgt maximal 45Minute. Hierzu wird lediglich transportables Werkzeug benötigt.

Optimierung

Zwischen den Disziplinen ist es möglich das Boot umzubauen. Diese kann im Entwurf optional vorgesehen sein, wenn sich z.B. Leistungsparameter unterschiedlicher Disziplinen untereinander negativ beeinflussen.

PA_01

Aus den Kundenanforderungen abgeleitete Projektanforderungen werden mit PA und einer laufenden Nummer angegeben.

Seetauglich

Alle Use Cases können unter Verletzung der geforderten Leistungsparameter ausgeführt werden.

UC_01

Use-Cases werden mit UC und einer laufenden Nummer abgekürzt.

Verschleißteile

Verschleißteile sind nach dem Wartungsplan vorgesehene Tauschteile.

Voll beladener Zustand

Das Boot hat seine Nutzlast von 25Kg an Bord. Das Boot hat alle für die Regatta vorgesehenen Ersatz- und Verschleißteile an Bord. Es befinden sich 2 Fahrer a 100kg an Bord.

Voll einsatzfähig

Alle Use Cases können unter Einhaltung der geforderten Leistungsparameter ausgeführt werden.

1 Einleitung

Der Produktentstehungsprozess von Marineschiffen wird durch besonders lange Planungs- und Entwicklungszeiten geprägt. Zwischen einer Kundenanfrage und der Abgabe eines Schiffes vergehen oft mehrere Jahre. Lange Projektzyklen führen zu hohem Projektrisiko. Zusätzlich werden vom Kunden die Intensivnutzung und immer kleiner werdende Besatzungsstärken gefordert. Intensivnutzung beschreibt die Forderung möglichst langer Einsatzzeiten, ohne den Heimathafen anfahren zu müssen und damit besonders lange Wartungsintervalle. Um den Schiffsbetrieb mit kleinen Fahrmannschaften aufrecht zu erhalten, bedarf es einem hohen Grad an Automatisierung. Die große Menge an Schnittstellen automatisierter Systeme erhöht das Entwicklungsrisiko. Systems Engineering ist ein Entwicklungsansatz, der das Ziel verfolgt Produkte risikoarm zu entwickeln, Fehler frühzeitig zu erkennen und so späte Änderungen und damit verbundene hohe Kosten zu vermeiden.

thyssenkrupp Marine Systems (tkMS) ist ein global agierendes Systemhaus im Bereich Marineschiffbau. Die Methoden des Systems Engineering werden sukzessive in die Entwicklungsprozesse bei tkMS integriert. Aktuell ist diese Methodik im Einsatzsystem (ES) weiter vorangeschritten als im Plattformsystem (PS).¹ Die Erfahrungen aus dem ES können jedoch nicht ohne weiteres auf die Plattformentwicklung übertragen werden. Die Entwicklung eines funktionalen Aufbruchs des PS erweist sich als sehr aufwändig und führt zu einer umfangreichen und stark vernetzten Systemarchitektur. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollen Methoden zur Entwicklung einer funktionalen Architektur des PS beispielhaft für ein Regatta-Tretboot der Internationalen Waterbike Regatta erarbeitet und bewertet werden.

Dafür werden im Kapitel 3 zunächst Begriffe wie System, Funktion definiert und die International Waterbike Regatta erläutert. Die Baugruppenverzeichnisse MBGrV und ESWBS² werden vorgestellt, um diese mit der zu entwickelnden logischen Architektur des Regatta-Tretbootes vergleichen zu können. Um einen Überblick über den Gesamtprozess zu bekommen, werden in Kapitel 3 der Systems Engineering Prozess und das V-Modell vorgestellt. Das V-Modell visualisiert die verschiedenen Kernbereiche des SE-Ansatzes und ist Vorlage für das methodische Vorgehen zur Entwicklung einer funktionalen Architektur. Kapitel 4 und 5 beinhalten – getrennt nach methodischem Vorgehen und Ergebnissen – die Durchführung der beschriebenen Methoden zur Entwicklung einer funktionalen Architektur am Beispiel Regatta-Tretboot für die International Waterbike Regatta. Dazu wird das betrachtete System zunächst eindeutig von seinen externen Systemen abgegrenzt. Mit Hilfe der Methode System Footprint werden die Kundenanforderungen und Anwendungsfälle des Regatta-Tretbootes definiert. Aus den Kundenanforderungen und Anwendungsfällen werden Produkthanforderungen abgeleitet, die in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen unterteilt werden. Aus den funktionalen Anforderungen werden die Funktionen abgeleitet, die in einer funktionalen Architektur miteinander verknüpft werden. Mit Hilfe der Kundenanforderungen und der funktionalen Architektur wird

¹ PS und ES, siehe Kapitel 2.4

² Siehe Kapitel 2.4

eine logische Systemstruktur abgeleitet. Diese wird mit den Funktionen und den nichtfunktionalen Anforderungen verknüpft.

In Kapitel 6 werden die angewandten Methoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf das PS eines Marineschiffes bewertet. Dazu wird das MBGrV mit der entwickelten logischen Systemstruktur des Regatta-Tretbootes verglichen. Beispielhaft werden logische Systemelemente und wesentliche Funktionen des PS eines Marineschiffes aufgezeigt, die durch die Durchführung der Methoden am Beispiel Regatta-Tretboot nicht betrachtet wurden.

2 Grundlagen

2.1 System und Systemgrenze

Ein System ist eine Ansammlung von Elementen, die gemeinsam ein Ziel verfolgen, das von den Einzelementen nicht erreicht werden kann. In Abbildung 1 ist ein System S mit 2 Elementen S_1 und S_2 zu sehen. Die Elemente können dabei selber Systeme mit kleineren Elementen sein, sogenannte Subsysteme. Das Subsystem S_1 besteht aus den Elementen a-c, das Subsystem S_2 aus den Elementen d-h.

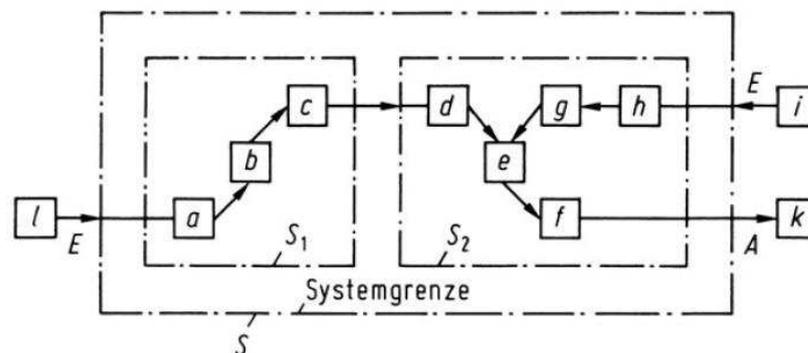


Abbildung 1: System mit den Elementen a-h und 3 externen Systemen³

Das System und ebenso seine Subsysteme werden durch Systemgrenzen von ihrem Umfeld abgegrenzt. Die Elemente l, i und k aus Abbildung 1 liegen außerhalb des Systems.

„Die Elemente sind untereinander durch Beziehungen verbunden. [...] Der Begriff Beziehungen ist sehr allgemein zu verstehen. Es kann sich um Materialflussbeziehungen, Informationsflussbeziehungen, Lagebeziehungen, Wirkzusammenhänge etc. handeln.“⁴

Die Elemente können sowohl untereinander Beziehungen aufweisen (interne Beziehungen), als auch in Beziehung zum Umfeld stehen (externe Beziehungen). Dies ist in Abbildung 2 am Beispiel einer Waschmaschine dargestellt. Das System „Waschmaschine“ besteht aus den Elementen bzw. Subsystemen „Motor“, „Trommel“ und „Gehäuse“. Die Elemente sind durch interne Beziehungen miteinander verknüpft. Die Systeme „Wasserquelle“, „Stromquelle“ und „Bediener“ befinden sich außerhalb der Systemgrenze. Sie stehen durch externe Beziehungen mit den internen Subsystemen in Beziehung, werden aber nicht als Teil des Systems betrachtet.

³ (Feldhausen, et al., 2013)

⁴ (Haberfellner, et al., 12. Auflage), S.34

Steht das System mit externen Systemen oder Elementen in Beziehung, spricht man von Schnittstellen. „Eine Schnittstelle ist eine gemeinsame Grenze zwischen zwei funktionalen Einheiten, die anhand von funktionalen Merkmalen, physischen Verbindungsmerkmalen, Signaleigenschaften oder über andere Merkmale definiert ist (ISO 2382-1).“⁵

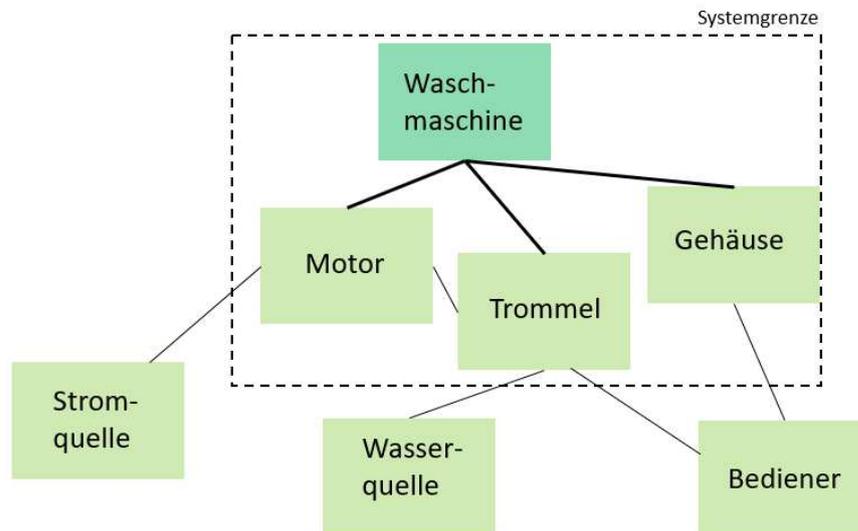


Abbildung 2: System Waschmaschine mit seiner Systemgrenze

In Abbildung 2 wurde das System nach Baugruppen betrachtet. Eine weitere Möglichkeit ist, ein System nach Funktionen zu betrachten, in der sogenannten Funktionsarchitektur. Wird das Gesamtsystem, z.B. die Waschmaschine betrachtet, wird vom Produkt gesprochen.

2.2 Funktion

„Unter Funktion ist der allgemeine und gewollte Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen, zu verstehen.“⁶ Sie ist eine Input-und Output Beziehung, die aus Informationen (Signalen, Daten), Materialien, Kräften und Energie innerhalb des Zielsystems besteht.⁷

Für die Abbildung 2 würde das Systemelement „Waschmaschine“ die Funktion „Wäschewaschen“ realisieren. Eine Funktion kann aus mehreren Teilfunktionen bestehen. Die Funktion kann nur dann realisiert werden, wenn alle Teilfunktionen gemeinsam realisiert werden. Für die Funktion „Wäschewaschen“ ist eine Teilfunktion z.B. „Wäsche aufnehmen“.

⁵ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.411

⁶ (Feldhausen, et al., 2013), S.242

⁷ (Weilkiens, et al., 2016), S. 193

Eine Funktion besteht, wie in Abbildung 3 dargestellt, aus Eingangs- und Ausgangsgrößen. Die Funktion „Wäschewaschen“ hat die Eingangsgrößen „schmutzige Wäsche“, „Waschmittel“, „Wasser“, „Strom“ und das „Eingabesignal“ durch den Bediener. Als Ausgangsgrößen entstehen „Abwasser“, „saubere Wäsche“ und evtl. ein „Endsignal“ auf einer Anzeige, welches das Ende des Waschprogramms anzeigt.

In Abbildung 3 ist die Funktion als Blackbox dargestellt, das heißt man weiß nicht, welche Teilfunktionen zu der Funktion gehören.

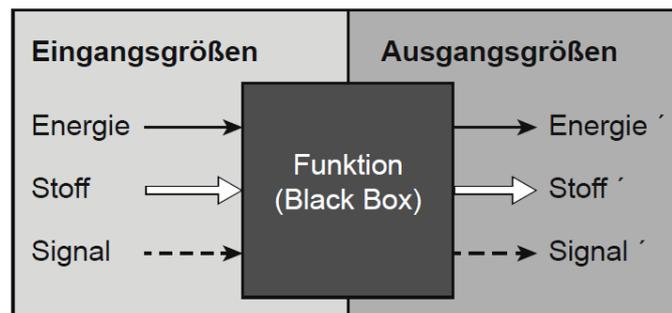


Abbildung 3: Funktion als Black Box mit Eingangs- und Ausgangsgrößen

Will man den Ablauf innerhalb der Blackbox darstellen, nutzt man dafür die Funktionsarchitektur.

2.3 Funktionsarchitektur

„Eine Architektur umfasst die grundlegenden Konzepte oder Eigenschaften eines Systems in seiner Umgebung, realisiert durch seine Elemente, Beziehungen und die Prinzipien seines Entwurfs und seiner Weiterentwicklung.“⁸

Die funktionale Architektur ist eine Struktur, welche auf Funktionselementen, funktionalen Schnittstellen und Architekturentscheidungen basiert.⁹ Eine modellbasierte funktionale Architektur beschreibt Modellsysteme unabhängig von ihrer Zieltechnologie mittels funktionalen Elementen, welche Modelinformationen (Signale, Daten), Material, Kräfte oder Energie transformieren.¹⁰

Eine mögliche Funktionsarchitektur für das Beispiel „Wäsche waschen“ ist in Abbildung 4 zu sehen. Die Funktion „Wäsche waschen“ ist in die Hauptfunktionen „Wäsche laden“, „Programm auswählen/starten“ und „Schmutz entfernen“ unterteilt. Die Hauptfunktion „Schmutz entfernen“ ist hier noch weiter in seine Funktionselemente bzw. Teilfunktionen unterteilt. Wie viele Ebenen in der Funktionsarchitektur betrachtet werden, hängt davon ab, wie die Struktur im

⁸ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.406

⁹ (Weilkiens, et al., 2016), S.193

¹⁰ (Weilkiens, et al., 2016), S.192

weiteren Prozess verwendet werden soll. Abbildung 4 stellt einen Ausschnitt der gesamten Funktionsarchitektur einer Waschmaschine dar.

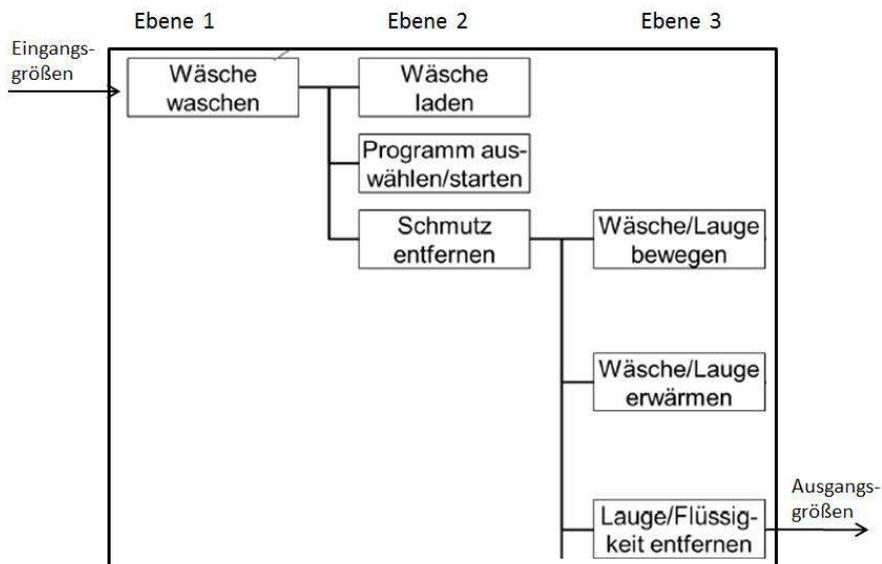


Abbildung 4: Funktionsarchitektur "Wäsche waschen"¹¹

2.4 Systemstruktur und Anforderungen eines Marineschiffes

Marineschiffe sind hochkomplexe, für Kampfhandlungen ausgerüstete, schwimmende Wasserfahrzeuge. Die logische Einteilung der Systeme und Bereiche von Marineschiffen werden in der Regel entweder durch das deutsche Marinebaugruppenverzeichnis (MBGrV) der deutschen Bundeswehr oder die Expanded Ship Work Breakdown Structure (ESWBS) des Department of the Navy der Vereinigten Staaten vorgegeben. Beides sind eine Auflistung durchnummerierter Marineschiffsysteme mit ihren zugeordneten Subsystemen. „Zusätzlich sind die querschnittlichen Bereiche wie theoretische Grundlagen, Planungs- und Bauunterlagen sowie Unterlagen für die Nutzungsphase mit im Ordnungsschema erfasst.“¹² Die eingeteilten Abschnitte des MBGrV und ESWBS können für ein einzelnes System stehen oder eine Sammlung an Subsystemen und Prozessen für mehrere übergeordnete Systeme sein. Die Zusammenfassung mehrerer Systeme auf oberster Ebene dient der Übersichtlichkeit der Struktur und Reduzierung von übergeordneten Systemen.

In der Regel wird übergeordnet der Verzeichnisse MBGrV und ESWBS zwischen zwei Subsystemen des Marineschiffes unterschieden: dem ES und dem PS. Das ES umfasst diejenigen Mittel, welche zur Durchführung der operationellen Aufgaben dienen. Dazu gehören unter anderem interne und externe Kommunikationsmittel, interne und externe operationelle Führungsmittel, sowie

¹¹ (VDI-2803, 2017) an Bild 4 orientiert.

¹² (Bundeswehr, 2017)

Waffensysteme. Das PS ist der Träger für die zur Durchführung der operationellen Aufgaben notwendigen Mittel. Dies sind zu einem großen Teil Anlagen, welche ebenfalls bei zivilen Schiffen zu finden sind, wie zum Beispiel Antriebsanlagen und Anlagen zur Unterbringung und Versorgung der Fahrmannschaft (Besatzung des Marineschiffes).

Ein Kernstück der Eigenschaften eines Marineschiffes sind seine Fähigkeiten. „Eine Fähigkeit (im Sinne eines Vermögens oder Potentials) bezeichnet die Eigenheit eines Systems, eines Produkts einer Funktion oder eines Prozesses, ein spezifisches Ziel unter festgelegten Bedingungen zu erreichen.“¹³ Die Fähigkeiten des Marineschiffes werden durch seine Funktionen bereitgestellt. Durch die Priorisierung der Fähigkeiten stellen Kunden in ihren Forderungen häufig keine direkten Anforderungen an Schiffssysteme, sondern beschreiben Fähigkeiten, die das Schiff bereitstellen muss. Um die Fähigkeiten mit Schiffssystemen verknüpfen zu können, wird die funktionale Architektur erstellt. Die Funktionen realisieren die Fähigkeiten und sind die Schnittstelle zu den Systemen. Die Systeme realisieren die Funktionen.

Bedingt durch die Einsatzszenarien eines Marineschiffes werden die Funktionen für die geforderten Fähigkeiten vor allem durch das ES definiert. Der Betrieb des ES ist dabei auf eine hohe Zuverlässigkeit des PS angewiesen. Für diese Bachelorarbeit wird ausschließlich das PS betrachtet, da bei thyssenkrupp Marine Systems GmbH die Betrachtung der funktionalen Architektur in der Entwicklung des ES weiter vorangeschritten ist, als im PS.

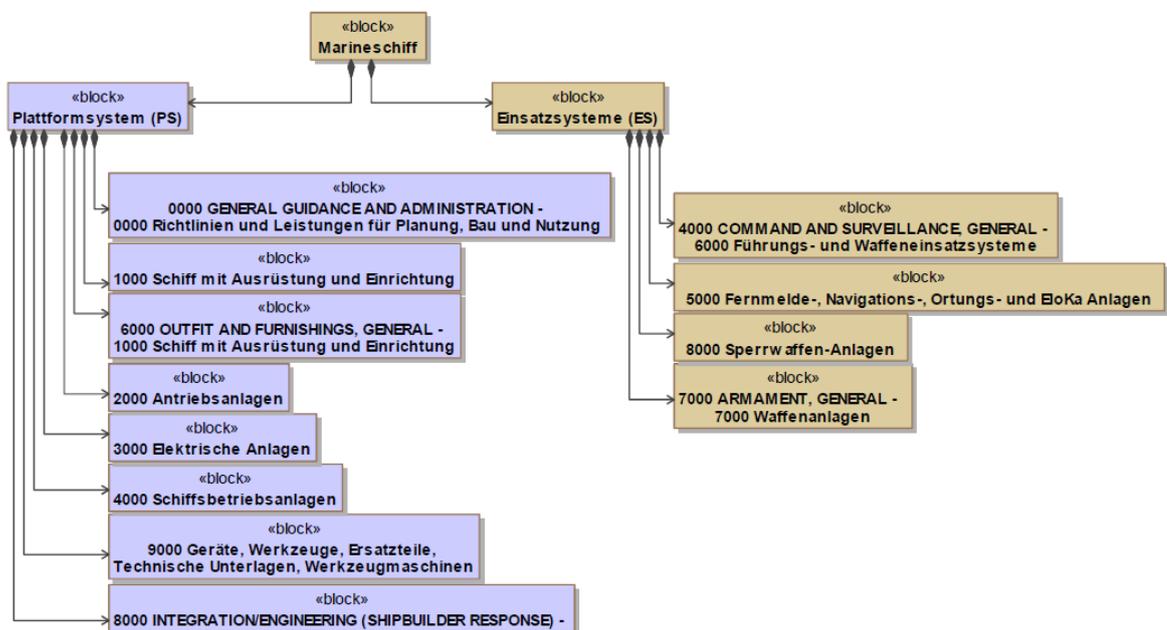


Abbildung 5: Einteilung der Bereiche/Systeme von Marineschiffen

¹³ (INCOSE, 4. Ausgabe)S.407

Möchte man die Systeme des MBGrV und der ESWBS den übergeordneten Systemen PS und ES zuordnen, ergibt sich die Struktur aus Abbildung 5. Die englischen Bezeichnungen entsprechen dem ESWBS, die deutschen dem MBGrV. Die Einteilungen der Systemgruppen der ESWBS und dem MBGrV ähneln sich, unterscheiden sich aber an einigen Stellen. So ist beispielsweise die Ausrüstung des Schiffs in der ESWBS vom Schiffskörper getrennt, in der MBGrV sind beide Systeme in einem Subsystem zusammengefasst. Im MBGrV werden die Subsysteme der ersten Ebene Hauptbauabschnitt (HBA) genannt. Nach den HBA kommen die untergeordneten Ebenen Bauabschnitt (BA), Hauptbaugruppe (HBGr) und Baugruppe (BGr). Für die Betrachtung der logischen Systemstruktur müssen Prozessthemen wie z.B. der BA „0000 Richtlinien und Leistungen für Planung, Bau und Nutzung“, welcher Prozesse, Berechnungen, und Leistungen beinhaltet, exkludiert werden.

Für das PS ergeben sich für die Betrachtung der logischen Systemelemente auf Grundlage des MBGrV so die HBA und BA:

- 1000 Schiff mit Ausrüstung und Einrichtung
 - 1100 Bau des metallischen Schiffskörpers sowie Druckkörper Uboot
 - 1200 Bau metallischer Aufbauten und Deckshäuser sowie Außenschiff Uboot
 - 1300 Bau nichtmetallischer Schiffskörper
 - 1400 Bau nichtmetallischer Aufbauten und Deckshäuser
 - 1500 Aufstellung Führungsdienstmittel, Feuerleitanlagen, Waffen usw. sowie Munitionslagerung
 - 1600 Ausrüstung
 - 1700 Einrichtung für Besatzungsräume
 - 1800 Einrichtung für Betriebs- und Stauräume
 - 1900 Materialschutz und Decksbeläge
- 2000 Antriebsanlagen
 - 2100 Dieselmotorenanlagen
 - 2200 Gasturbinenanlagen
 - 2300 Dampfanlagen
 - 2400 Elektrische Anlagen für Antrieb
 - 2500 Leistungsübertragungsanlagen
 - 2600 Schiffsvortriebsanlagen
 - 2700 Hilfseinrichtungen für den Antrieb
 - 2800 Einrichtungen für Lagerung und Transport von Betriebsstoffen
 - 2900 Sonstige Antriebe
- 3000 Elektrische Anlagen
 - ...
 - ...
- 4000 Schiffbetriebsanlagen
 - ...
 - ...
- 9000 Geräte, Werkzeuge, Ersatzteile, Technische Unterlagen, Werkzeugmaschinen
 - ...
 - ...

Um die Entwicklung der funktionalen Architektur des PS vereinfacht darzustellen, wird diese beispielhaft für ein Regatta-Tretboot der International Waterbike Regatta entwickelt. Die Regattadisziplinen der International Waterbike Regatta entsprechen den Einsatzszenarien, aus denen sich Fähigkeiten ableiten lassen.

2.5 International Waterbike Regatta

Die Internationale Waterbike Regatta (IWR) ist ein Tretboot-Wettkampf, welcher jedes Jahr von Schiffbaustudenten veranstaltet und durchgeführt wird. Der Wettkampf ist 1980 gegründet worden, um den Studenten die Möglichkeit zu bieten, ihr Wissen anzuwenden und den Austausch zwischen Studenten zu fördern. Der Wettbewerb findet jährlich mit mehr als 300 Studenten in einem wechselnden europäischen Land statt. „Die Konkurrenz zwischen den verschiedenen Universitäten führt zu High-Tech-Wasserbikes, Leichtbaukonstruktionen aus kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen, die leicht Geschwindigkeiten von mehr als zehn Knoten erreichen.“¹⁴

Die Tretboote messen sich anhand von den 7 Disziplinen:

- 100m Sprint
- Beschleunigungsrennen 10m
- Slalom
- Vorwärts-Stopp-Rückwärts
- Pfahlzug
- Langstrecke
- Geheime Mission

Bei den Disziplinen „100m Sprint“, „Beschleunigungsrennen 10m“ und „Langstrecke“ ist das Ziel, eine bestimmte Strecke (100m, 10m, 3km) auf dem Wasser in möglichst kurzer Zeit zu absolvieren. Beim „Slalom“ werden 4 Hindernisse auf einer Strecke von 100m in möglichst kurzer Zeit umfahren. In der Disziplin „Vorwärts-Stopp-Rückwärts“ wird geprüft, wie schnell das Regatta-tretboot aus voller Fahrt vorwärts abbremsen und rückwärts fahren kann. Beim „Pfahlzug“ wird die Zugkraft gemessen, die das Regatta-Tretboot aufbringen kann. Die „Geheime Mission“ wechselt jedes Jahr und wird vom Gastgeber festgelegt. Eine detaillierte Beschreibung der Disziplinen ist Anhang 01 zu entnehmen. Der Gewinner wird durch eine PunktezahI ermittelt, die sich nach den Platzierungen in den Missionen richtet. Die PunktezahI entspricht der Summe der Platzierungen aller Wettkämpfe. So ist die niedrigste zu erreichende PunktezahI 7, wenn ein Boot bei allen Disziplinen den ersten Platz erreicht. Das Tretboot mit den wenigsten Punkten gewinnt den Wettkampf.

Als Tretboot werden Boote bezeichnet, welche ihre Antriebskraft hauptsächlich aus durch Pedalen eingeleiteter Muskelkraft beziehen.

¹⁴ (<http://www.iwr2016.at/Welcome.html>, 2016)

2.6 Zielsetzung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollen Methoden zur Entwicklung einer funktionalen Architektur beispielhaft für das Einsatzprofil eines Regatta-Tretbootes der IWR erarbeitet und bewertet werden. Die Anwendungsfälle (Use-Cases) ergeben sich hierbei unter anderem aus den Wettkampfdisziplinen der Regatta. Aus diesen Anwendungsfällen sollen Anforderungen an das zu entwickelnde Tretboot definiert werden.

Die Anforderungen sollen als Grundlage genommen werden, Funktionen abzuleiten, die das Boot unterstützen muss. „Eine Anforderung ist eine Angabe, die Eigenschaften oder Einschränkungen zu einem System, Produkt oder Prozess widerspruchsfrei, klar, eindeutig, konsistent, atomar (vereinzelt, nicht gruppiert) und nachprüfbar definiert und die als notwendige Bedingung dafür erachtet wird, dass die Stakeholder das System akzeptieren.“¹⁵ Stakeholder sind diejenigen, die ein Recht, einen Anteil oder einen Anspruch an einem System oder an dessen Systemmerkmalen haben, welches die Bedarfe und die Erwartungen der Beteiligten betreffen. Das können zum Beispiel die Auftraggeber oder die Benutzer des Systems sein. Zur Entwicklung der funktionalen Architektur werden die Anforderungen in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen¹⁶ unterschieden. Aus den funktionalen Anforderungen werden die Funktionen abgeleitet und in einer funktionalen Architektur dargestellt.

Darüber hinaus ist eine logische Architektur für das Tretboot zu entwickeln. Die erarbeiteten Funktionen sollen den Systemen der logischen Architektur zugeordnet werden. Auf dieser Basis sind sowohl die funktionale, als auch die logische Architektur zu bewerten. Insbesondere sind Lücken und Unstimmigkeiten in den Architekturen zu benennen und zu bewerten. Zusätzlich sollen in dieser Arbeit wesentliche Funktionen des PS eines Marineschiffes identifiziert werden, welche im Rahmen der funktionalen Analyse des Tretbootes nicht betrachtet wurden. Anhand dieser Funktionen soll eine Beurteilung erfolgen, inwieweit sich die angewendeten Methoden ebenfalls auf die Plattformentwicklung eines Marineschiffes anwenden lassen.

¹⁵ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.405

¹⁶ Erklärung in Kapitel 3.2.3.2

3 Übergeordneter Prozess

Die steigende Komplexität heutiger Produkte führt sowohl im Maschinenbau als auch im Schiffbau dazu, dass die Mechatronik immer mehr an Bedeutung gewinnt und schon gewonnen hat. Wie in Abbildung 6 zu sehen ist, haben sich die Positionen der Disziplinen (Fachbereiche) Mechanik, Elektronik, Informatik und Mechatronik im Maschinenbau in den letzten 50 Jahren deutlich verschoben. Die Mechatronik stellte eine gemeinsame Schnittmenge der Mechanik und Elektronik dar, die Informatik und die Mechanik waren fachlich komplett getrennt. Mit zunehmender interdisziplinärer Produktentwicklung steigt die Bedeutung der Mechatronik. Die Fachbereiche Mechanik, Elektronik und Informatik überschneiden sich immer weiter und sind heutzutage in die Mechatronik integriert.

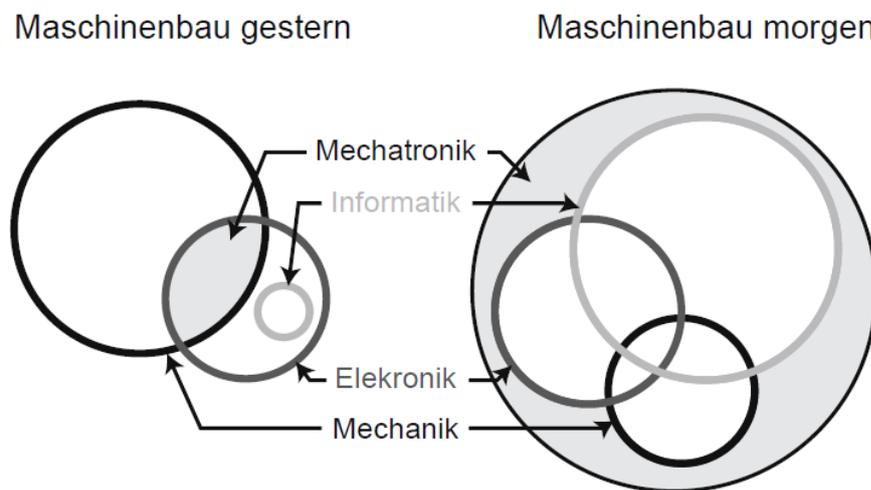


Abbildung 6: Bedeutung der Mechatronik für den Maschinenbau¹⁷

Im Marineschiffbau ist dies sehr stark dem steigenden Bedarf an Automatisierung geschuldet. Dieser Bedarf hat seinen Ursprung vor allem in der Forderung immer kleiner werdender Besatzungsstärken und der Forderung zur Intensivnutzung. Die Forderung nach Intensivnutzung gibt besonders lange Einsatzzeiträume vor und somit große Wartungsintervalle. Anhand mechatronischer Systeme zur Überwachung des Schiffsbetriebs können Wartungsbedarfe genauer festgestellt und die Wartungsintervalle ausgedehnt werden. Ein hoher Automatisierungsgrad der Betriebssysteme führt zur Reduzierung der Fahrmannschaft.

Der multidisziplinäre Ansatz modelbasiertes Systems Engineering kombiniert klassische Entwicklungs- und Konstruktionsmethoden aus der Mechatronik und der Mechanik, um den Entwicklungsprozess an die Anforderungen komplexer Systeme mit hohem Automatisierungsgrad anzupassen. Er basiert auf

¹⁷ (Eigner, et al., 2014), Abb. 2.30

entwicklungssphasenspezifischen, digitalen Systemmodellen, welche entlang des Produktentwicklungsprozesses integriert werden und erlaubt die Modellierung in verschiedenen Phasen des Produktentwicklungsprozesses.¹⁸

3.1 Systems Engineering

„Systems Engineering (SE) ist ein interdisziplinärer Denkansatz zur Unterstützung der Realisierung von erfolgreichen Systemen. SE fokussiert darauf, die Kundenbedarfe und die geforderte Funktionalität möglichst früh im Entwicklungsprozess zu definieren [...]“¹⁹.

Die klassische Methode Systems Engineering ist papier- oder dokumentenbasiert. Systems Engineering wird jedoch zunehmend als modellbasierendes Vorgehensmodell genutzt. Dabei liegt der Fokus des Systems Engineering auf den Kundenanforderungen und den dadurch geforderten Funktionen an das System.

Die Realisierung von Kunden- und daraus entwickelten Produkthanforderungen wird zunehmend mit elektronischen und mechatronischen Lösungen verwirklicht. Wo klassische Entwicklung- und Konstruktionsrichtlinien an ihre Grenzen stoßen, bietet Systems Engineering neue Möglichkeiten, die Komplexität der Systeme zu erfassen und eine disziplinübergreifende Produktentwicklung zu ermöglichen. Das Denken in Systemen wird hierbei genutzt, um komplexe Probleme besser zu verstehen und den Gesamtzusammenhang zu beschreiben.

Der Bau von Marineschiffen bedingt sehr lange Entwicklungs- und Fertigungszeiten. Jedes Marineschiff ist ein Unikat und wird ohne vorherigen Prototyp gebaut. Dabei werden bestehende Entwürfe (z.B. aus einer Produktfamilie) auf die Bedürfnisse des Kunden angepasst. SE wird im Marineschiffbau vor allem genutzt, um Risiken der Projektabwicklung zu reduzieren. Um das Risiko bei der Übertragung und Anpassungen bestehender Entwürfe zu minimieren, ist es wichtig, dass von Anfang an nach dem SE Gedanken gehandelt wird. Hinzu kommt, dass das Vorgehen nach SE-Modell oft Forderung des Kunden ist.

3.1.1 Das SE-Vorgehensmodell

„Will man ein Problem einer Lösung zuführen, so sind in der Regel viele Faktoren dafür maßgeblich, dass eine gute Lösung gelingt. Diese reichen von Fachwissen, über Situationskenntnis, Erfahrung, Methodik des Vorgehens, über die Verhaltenskomponente der Handlungsethik u.a.m. [...] Das SE stellt die methodische Komponente der Problemlösung dar und soll helfen, die anderen Faktoren sinnvoll aufeinander abzustimmen.“²⁰

¹⁸ (Eigner, et al., 2014), S.45

¹⁹ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.15

²⁰ (Haberfellner, et al., 12. Auflage), S.27

INCOSE beschreibt in seinem Handbuch für SE²¹ folgende Arbeitsschritte um Systems Engineering zu definieren:

- Kundenbedarfe definieren
- Geforderte Funktionalität definieren
- Anforderungen definieren
- Systementwurf
- Systemvalidierung

Dabei muss permanent das gesamte System im Blick behalten werden, einschließlich der Verwendung, der Kosten und dem Zeitplan, der Leistungswerte, der Schulungsmaßnahmen und Unterstützungsmaßnahmen, der Nachweise und Zertifizierungen, der Herstellung und der Entsorgung des Systems. Ziel ist es, die gesamte Bandbreite der Anforderungen an ein System in nahezu optimaler Weise zu erfüllen.²²

Das SE wendet das Systemdenken an, um das Gesamtsystem im Fokus zu halten und voreilige Betrachtung von Details zu vermeiden. Die Vorgehensweise ist dabei immer vom Groben zum Detail. Da es für ein Problem immer mehrere Lösungen gibt, ist ein wichtiger Bestandteil des SE, diese Varianten aufzuzeigen und zu bewerten. Um möglichst lange viele Varianten zu berücksichtigen, ist es notwendig, lösungsneutral vorzugehen oder mehrere Varianten parallel durchzuspielen.

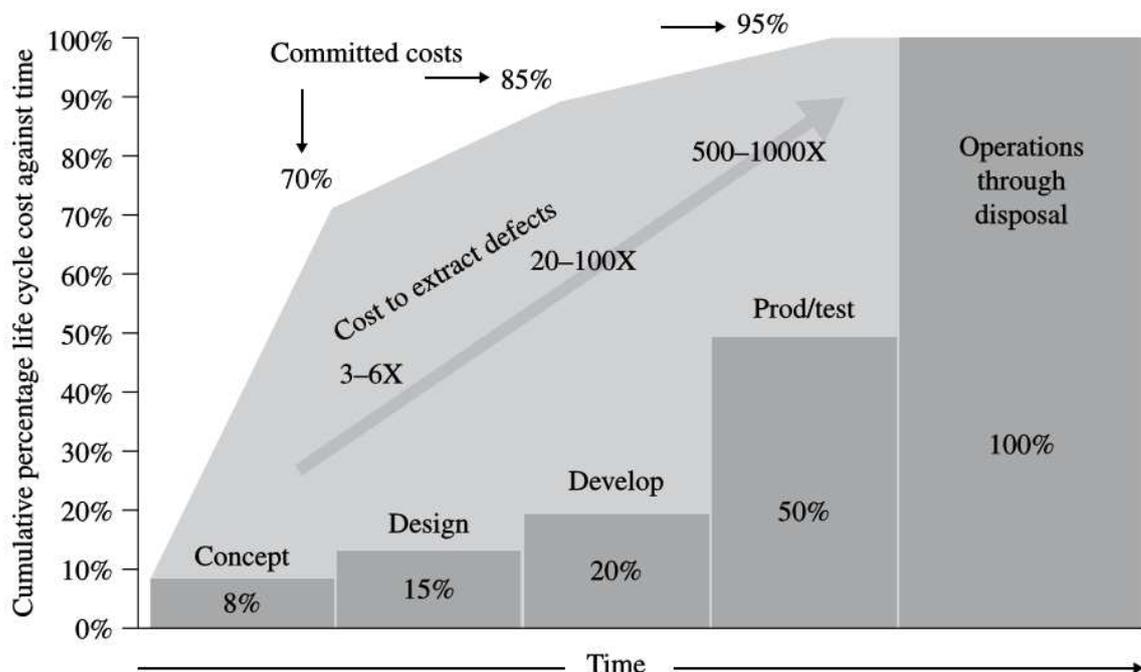


Abbildung 7: Lebenszykluskosten über die Zeit²³

²¹ (INCOSE, 4. Ausgabe), S15

²² (INCOSE, 4. Ausgabe), S.15

²³ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.19

Ein Ziel des SE ist die Verminderung von Risiko bei der Einführung neuer Systeme oder der Veränderung komplexer Systeme. In Abbildung 7 ist der kumulierte, prozentuale Anteil der Kosten der Phasen des Produktlebenszyklus über die Zeit dargestellt. Der Produktlebenszyklus umfasst alle zeitlichen Phasen eines Produktes, welches es von der Idee und der Entwicklung bis hin zur Nutzung und Entsorgung durchläuft. Die Säulen stellen dabei die kumulierten Kosten für die Lebenszyklusphasen dar. Die Linie der festgelegten Kosten (Committed costs) beschreibt, wie viel Prozent der Kosten in der jeweiligen Phase durch Entscheidungen gebunden werden. Der Pfeil „Kosten zur Beseitigung von Mängeln“ (Cost to extract defects) beschreibt den Kosteneinfluss von Fehlern in Abhängigkeit der Phase, in der sie entdeckt und beseitigt werden.

In Abbildung 7 ist zu sehen, dass 80% der Kosten bereits durch gefallene Entscheidungen gebunden sind, wenn erst 20% der Gesamtkosten des Produktes anfallen.²⁴ Das heißt, ein Großteil des Budgets wird durch Entscheidungen in einer sehr frühen Phase des Produktlebenszyklus bestimmt. Außerdem wird ersichtlich, dass sich der Kosteneinfluss zur Beseitigung von Mängeln extrem vervielfacht, je später im Produktlebenszyklus der Fehler beseitigt wird. Die Entscheidungen in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus haben einen immensen Einfluss auf die Gesamtkosten des Produktes. „Beim SE wird der Aufwand in der Konzeptphase gesteigert, um das Risiko übereilter Entscheidungen ohne ausreichende Untersuchungen zu mindern.“²⁵

Zur Definition der Produkthanforderungen müssen alle Produktlebensphasen berücksichtigt werden. Um dies übersichtlich in der Produktentwicklung zu berücksichtigen, können sequenzielle Methoden zur Hilfe genommen werden. „Sequenzielle Methoden zeichnen sich durch einen systematischen Ansatz aus, der bestimmte Prozesse einhält, während das System eine Reihe von Repräsentationen durchläuft, von den Anforderungen über den Entwurf bis hin zum fertigen Produkt. Besonderes Augenmerk gilt der Vollständigkeit der Unterlagen, Rückverfolgbarkeit zu den Anforderungen und Verifikation jeder Repräsentation nach ihrer Erstellung.“²⁶ Eine gängige Methode ist die Anwendung des V-Modells.

3.2 V-Modell

Das V-Modell visualisiert die verschiedenen Kernbereiche des SE-Ansatzes und legt seinen Schwerpunkt auf die Konzept- und Entwicklungsphasen.

In Abbildung 8 ist das V-Modell für die modellbasierte Produktentwicklung dargestellt. Im oberen Teil der Abbildung sind die Lebensphasen des Produktes aufgeführt. Diese reichen von der Definition der Anforderungen an das Produkt, über die Produktplanung und Produktion, bis hin zur Entsorgung bzw. dem Recycling des Produktes. Das V-Modell beginnt bei der Anforderungsdefinition und endet nach der Produktion des entwickelten Produktes. Dabei unterscheidet das Modell zwei Prozessphasen: Die Interdisziplinäre Systementwicklung im

²⁴ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.19

²⁵ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.19

²⁶ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.47

linken Flügel des V und die Systemintegration im rechten Flügel des V. In der Systementwicklung werden Lösungen für die Anforderungen an das zu entwickelnde System erzeugt, welche dann in der Systemintegration realisiert und durch physische Tests überprüft werden.

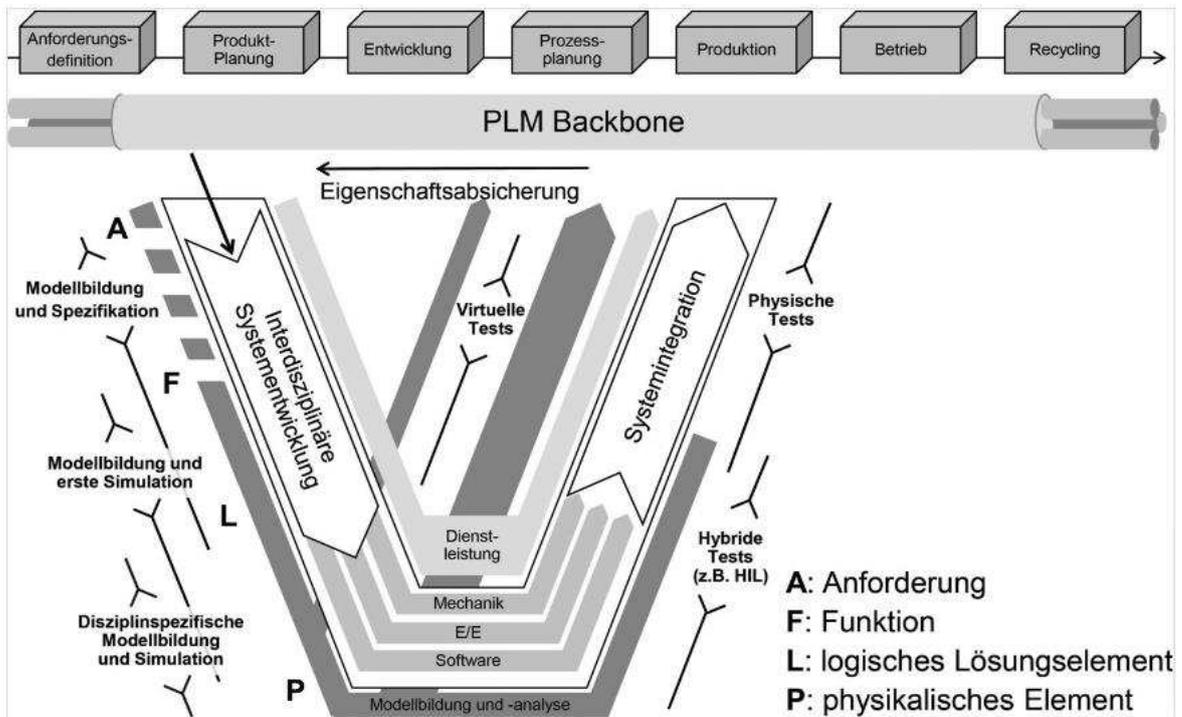


Abbildung 8: Erweitertes V-Modell für modellbasierte Produktentwicklung²⁷

Die Interdisziplinäre Systementwicklung wird in 4 Lösungselemente unterteilt, welche mit den Buchstaben AFLP abgekürzt werden: **A**nforderung, **F**unktion, **L**ogisches Lösungselement und **P**hysikalisches Element.²⁸ Die Systemintegration wird in virtuelle, hybride und physische Tests unterteilt. Das V-Modell ist in vielen Ausführungen und Detaillierungsgraden zu finden.

In Abbildung 9 ist das V-Modell des Produktentwicklungsprozesses mit den inhaltlichen Ergebnissen der verschiedenen Produktentwicklungsphasen dargestellt. Die beiden Prozessphasen des V-Modells werden hier in Design und Integration unterteilt. Dabei entstehen während des Designs die Anforderungen, Unternehmens- und Designspezifikation sowie Systementwurf, Baugruppententwurf und Komponententwurf. In der Integration werden die entwickelten Entwürfe von der Komponente bis hin zum System integriert. Zur Integration gehört ebenfalls, das Produkt in das eigene Unternehmen ein zuordnen und am Markt zu platzieren.

²⁷ (Eigner, et al.), S.87

²⁸ Oft auch RFLP aus dem Englischen: **R**equirement Model, **F**unctional Model, **L**ogical Model, **P**hysical Model

Durch die Formgebung des V-Modells ist gut zu erkennen, welche Integrationsschritte welche Arbeitsschritte aus dem Design realisieren. So spiegeln sich die Anforderungen im Portfolio des Produktes ab. Der Baugruppentwurf wird in der Baugruppenintegration realisiert. Die „aufeinander aufbauende[n] Teststufen verifizieren bzw. validieren die korrespondierenden Entwicklungsstufenergebnisse.“²⁹

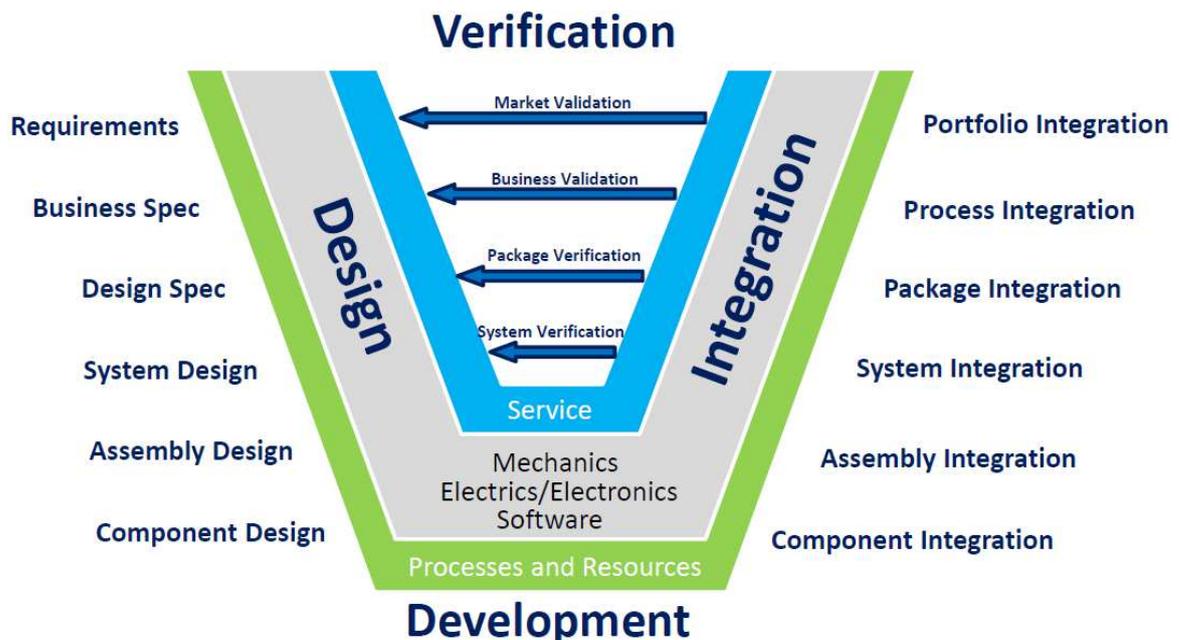


Abbildung 9: Das V-Modell des Produktentwicklungsprozesses³⁰

Am Anfang der Produktentwicklung stehen die Marktvalidierung und die Erstellung eines Leistungsprofils. In ihnen werden die Bedarfe und Anforderungen der Zielkunden ermittelt. Die Kundenforderungen werden in Produkthanforderungen überführt. Diese definieren die Eigenschaften, Attribute, Funktionen und Leistung des Systems, welche benötigt werden, um den Anforderungen des Kunden zu genügen. Danach findet die Architekturgestaltung statt, welche im Entwurf in Form von Lösungskonzepten entwickelt wird. Die Lösungskonzepte werden vom Groben zum Detail entwickelt, begonnen bei dem Systementwurf über den Baugruppentwurf hin zum Komponentenentwurf.

Die Integration beginnt bei den Komponenten und betrachtet schrittweise die übergeordneten Systeme. Während dieses Prozesses finden Systemverifikation und -validierung statt. Das V-Modell endet mit der Produktvalidierung, bei der das gesamte Produkt mit den Kundenanforderungen verglichen wird.

²⁹ (oose, Version 1.1.1), Vorbereitungskurs, S.77

³⁰ (Schelberg, 2017), The Product Development Process, Folie 7

3.2.1 Marktvalidierung

Zu Beginn des Produktentstehungsprozesses müssen die Markt- und die Wettbewerbssituation analysiert werden. Dabei wird geklärt, welche Varianten des betrachteten Produktes (Systems) auf dem Markt angeboten werden, welche Mitbewerber am Markt dieses Produkt anbieten, welche Kunden dieses Produkt kaufen und welche Technologien für das Produkt bereits auf dem Markt eingesetzt werden.

Anhand der Marktsituation kann entschieden werden, ob es sich lohnt in den Markt einzusteigen und unter welchen Bedingungen. Soll ein vorhandenes Produkt angepasst werden oder ein neuartiges Produkt entwickelt werden? Wer soll der Zielkunde sein?

Für den Einstieg in einen Markt ist wichtig, dass sich das Unternehmen über die eigenen Ressourcen im Klaren ist. Ressourcen sind diejenigen Werte und Güter, welche das Unternehmen für die Entwicklung und Fertigung eines Produktes benötigt, zum Beispiel Fachwissen, Personalressourcen, Entwicklungsbudget oder die Größe der Fertigungshallen. Ziel ist es, eine gemeinsame Schnittmenge der Unternehmensziele, seiner Fähigkeiten (Ressourcen) und den Marktbedürfnissen zu finden.

3.2.2 Kundenanforderungen und Leistungsprofil

Bei einem Entwicklungsauftrag kann es sein, dass man die Kundenanforderungen vom Kunden selbst in Form eines Dokumentes bekommt. Ist dies nicht der Fall muss das Unternehmen die Kundenanforderungen anhand der Marktvalidierung entwickeln und in der Kundenspezifikation oder einem sogenannten Lastenheft festhalten.

Parallel wird in einem Leistungsprofil das zu entwickelnde Produkt anhand von ausgewählten Leistungsmerkmalen in Relation zu bestehenden Produkten am Markt gesetzt. Die Vergleichswerte werden aus den Ergebnissen der Marktanalyse und Prognosen ermittelt. Dies ermöglicht eine Vergleichbarkeit für den Kunden. Die Leistungsmerkmale können relative oder absolute Zielwerte sein und dienen als Grundlage zur späteren Produktvalidierung. Kundenanforderungen und Leistungsprofil haben wechselseitigen Einfluss und werden daher iterativ erstellt. So kann ein Leistungsprofil anhand von Kundenanforderungen erstellt werden, andersherum können sich weitere Kundenanforderungen aus einem Leistungsprofil ergeben.

3.2.3 Ermittlung der Produkthanforderungen

Für die weiteren Produktentwicklungsschritte ist es wichtig, dass sowohl Kunde, als auch Entwickler die gleiche Vorstellung von dem Produkt haben. Hierzu ist eine eindeutige Formulierung von Produkthanforderungen unablässig. Die Kundenbedarfe und -anforderungen werden in der Anforderungsanalyse konkretisiert und mit messbaren Werten mithilfe des Leistungsprofils verfeinert. Die Produkthanforderungen werden so definiert, dass sie die Vorstellungen des Kunden erfüllen, jedoch keine Lösung vorgeben.

In seinen Unterlagen zur zertifizierten Ausbildung zum Systems Engineer gibt oose Innovative Informatik 8 Schritte für die Anforderungsanalyse vor. Diese Schritte sind in Abbildung 10 dargestellt. Demnach besteht eine Anforderungsanalyse aus der Systemabgrenzung (Einschränkungen des Systems), dem Anforderungskatalog, der Funktionsanalyse, einer Simulation des Produktes auf abstrakter Ebene, und der Analyse und Anpassung der Anforderungen gegenüber negativen Einflüssen und der Umsetzbarkeit. Die überarbeiteten und abgeleiteten Anforderungen werden mit den weiteren Ergebnissen der Anforderungsanalyse in einer Spezifikation festgehalten.

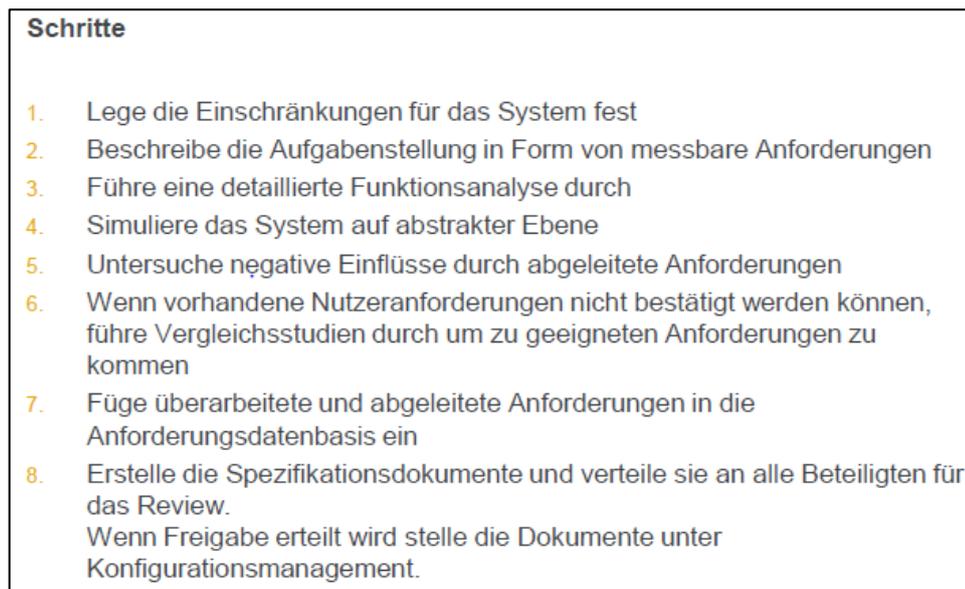


Abbildung 10: Prozess der Anforderungsanalyse nach oose Innovative Informatik eG³¹

3.2.3.1 Systemabgrenzung

Die Systemabgrenzung ist der erste Schritt der Anforderungsanalyse. In der Systemabgrenzung wird das betrachtete Zielsystem auch System of Interest (SOI) definiert. Dabei wird das Zielsystem durch die Systemgrenze von den mit ihm in Verbindung stehenden äußeren Systemen abgegrenzt (siehe Abbildung 1). Sind die externen Systeme vollständig identifiziert und die Systemgrenze festgelegt, wird überprüft, welche Art Beziehung das Zielsystem zu externen Systemen hat. So können Schnittstellen und die damit verbundenen Anforderungen an das Zielsystem identifiziert werden.

³¹ (oose, Version 1.1.1), B, S.95

3.2.3.2 Definition der Produkthanforderungen

Ist das System abgegrenzt, können die Produkthanforderungen definiert werden. Als Produkthanforderungen werden hier die Bedingungen und Eigenschaften beschrieben, welche das Zielsystem benötigt, um die Forderungen des Kunden zu erfüllen. Dabei ist auf saubere Dokumentation zu achten, da die Qualität der Anforderungen für den Projekterfolg entscheidend ist.³²

Die Anforderungen können z.B. durch Brainstorming, Kopieren von Anforderungen aus vergangenen Projekten, Stakeholderbefragungen oder durch strukturierte Analysen ermittelt werden. Eine mögliche Analyse ist, Anforderungen systematisch aus den Anwendungsfällen des Systems sowie den Kundenanforderungen des Lastenheftes (Kundenspezifikation) zu ermitteln.

Eine vollständig dokumentierte Anforderung besteht aus verschiedenen Attributen (Eigenschaften), wie zum Beispiel einer eindeutigen ID, einer rückverfolgbaren Quelle, dem Bearbeitungsstatus, der Verifikationsmethode und einer Priorität.³³ Welche und wie viele Attribute für die Anforderungen verwendet werden, hängt vom Entwicklungskontext ab. Außerdem muss jede Anforderung eindeutig formuliert sein, das heißt sie darf keinen Interpretationsspielraum lassen, sie darf sich nicht widersprechen und muss nachprüfbar sein. Jede Anforderung muss atomar sein, das heißt, es dürfen in einer Anforderung nicht zwei unabhängig nachweisbare Anforderungen zusammengefasst werden.

Die Anforderungen können als zusammenhängender Text geschrieben werden, oder „[...] nach bestimmten Richtlinien [formuliert werden], um damit bereits bei der Anforderungsspezifikation eine Formalität einzuhalten, die später gewisse Vorteile bei der Systementwicklung bietet.“³⁴

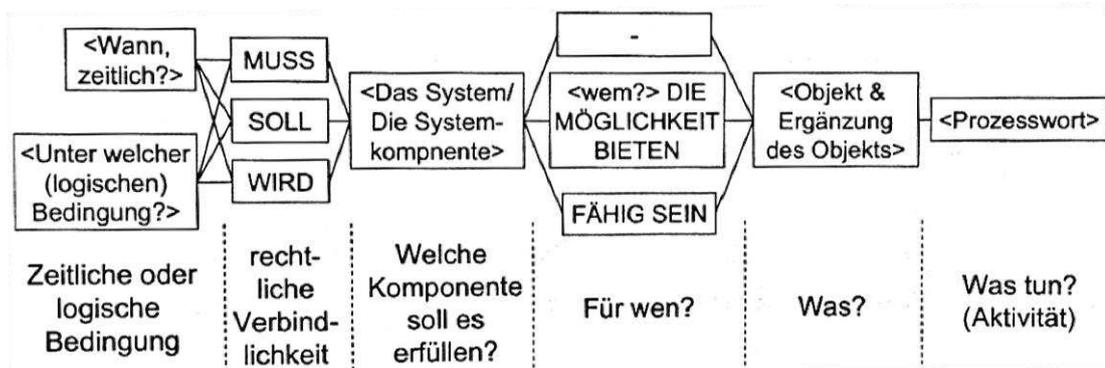


Abbildung 11: Formulierungsstruktur für Anforderungen³⁵

³² (oose, Version 1.1.1), B, S.99

³³ (oose, Version 1.1.1), B, S.103

³⁴ (Alt, 2012), S.13

³⁵ (Alt, 2012), S.13

Ein Beispiel für eine solche Richtlinie bildet Abbildung 11, welche eine von SOPHIST-Group und Chris Rupp entwickelte Formulierungsschablone für Anforderungen darstellt. Jede Anforderung wird durch zeitliche und logische Bedingungen definiert, unter denen ein Element etwas tun „muss“, „kann“ oder „soll“. Dabei wird definiert, welches Element „was“ „für wen“ „tun“ soll. Bei dem Element kann es sich um das Gesamtsystem, Subsysteme oder deren Komponenten handeln.

Die Formulierung „muss“, „soll“ und „wird“ oder „kann“ definiert die Priorität der Anforderung. Für die vollständige Abgabe des Produktes müssen die Anforderungen, die mit dem Wort „muss“ formuliert werden vollständig erfüllt sein. „Soll“-Anforderungen müssen erfüllt sein, um die Leistungsvorgaben des Produktes vollständig zu erfüllen. Anforderungen, welche mit „wird“ oder „kann“ formuliert werden, sind als Wünsche anzusehen. Die Wünsche werden priorisiert und abhängig von Aufwand, Nutzen und Auswirkung erfüllt.

Da es im Laufe eines Entwicklungsprojektes immer wieder zu Änderungen oder Ergänzungen der Anforderungen kommen kann, ist es wichtig, ein Änderungsmanagement einzuführen. Die Anforderungen können in die Kategorien nichtfunktionale und funktionale Anforderungen, sowie zu erfüllende Randbedingungen unterteilt werden. Funktionale Anforderungen definieren im Gegensatz zu nichtfunktionalen Anforderungen eine vom System oder von einer Systemkomponente bereitzustellende Funktion.³⁶ Das können Interaktionen mit Benutzern oder externen Systemen sein oder automatische Aktionen, die das Gerät ohne Interaktion mit externen Systemen ausführt. Nichtfunktionale Anforderungen beziehen sich nicht direkt auf vorrangige Eigenschaften des Systems, sondern z.B. auf die Dokumentation oder Sicherheit des Systems.³⁷ Randbedingungen sind organisatorische oder technologische Vorgaben, welche die Art und Weise einschränken, in der das System realisiert werden soll (wie z.B. Budget Vorgaben oder Vorgehensmodelle).

3.2.3.3 Funktionsanalyse

Parallel zur Definition der Produkthanforderungen wird die Funktionsanalyse durchgeführt. Ziel ist es, eine Funktionsarchitektur zu bilden. Dafür werden die Funktionen des Produktes identifiziert und in Haupt- und Teilfunktionen abstrahiert. Die Funktionsanalyse und die Definition der Produkthanforderungen werden iterativ durchgeführt. Produkthanforderungen fordern Funktionen, die das Produkt bereitstellen soll. Bei der Erstellung der Funktionsarchitektur können außerdem Produkthanforderungen identifiziert werden, die bisher nicht berücksichtigt wurden.

Die Funktionsarchitektur ist die Basis, auf der Systemergebnisse und -prozesse entworfen werden können. Sie bildet die Grundlage für die Definition der physischen Systemarchitektur, in dem die einzelnen Funktionen und

³⁶ (oose, Version 1.1.1) B, S.113

³⁷ (oose, Version 1.1.1) B, Folie 112

Teilfunktionen der Hardware, Software, den Datenbanken, Anlagen und Arbeitsabläufen (z.B. Personal) zugeordnet werden.³⁸

Die Funktionen realisieren die Fähigkeiten des Produktes. Die funktionale Architektur ermöglicht eine intuitive Beschreibung und Darstellung dieser Funktionen. In der Vergangenheit war es in der Entwicklung von Produkten wichtig, den Fokus auf die Systemstruktur zu richten. Oft war eine Funktion durch genau ein System realisiert und ein System realisierte eine Funktion.³⁹

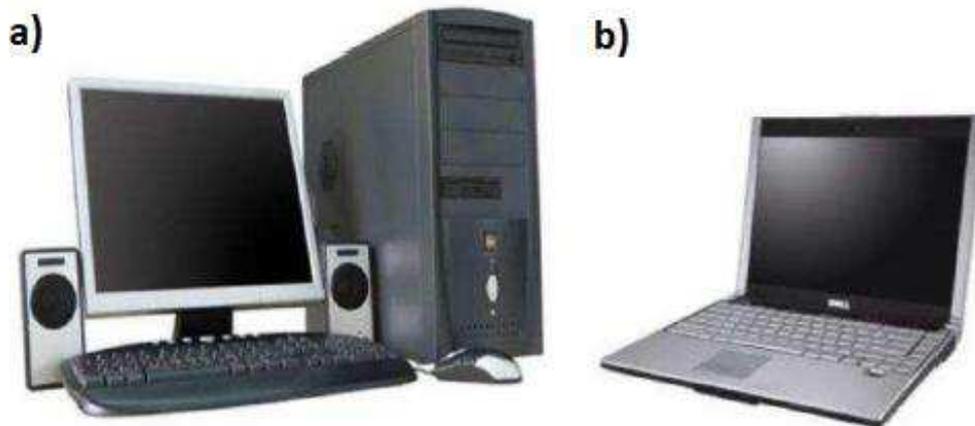


Abbildung 12: Realisierung mehrere Funktionen in mehreren oder einem System⁴⁰

Durch die Komplexität heutiger Systeme kann eine Funktion von mehreren Systemen realisiert werden und ein System kann viele Funktionen realisieren. Um solche Funktionen zu lokalisieren, Änderungseinflüsse aufzuzeigen und eine Hierarchie zu generieren, wird eine funktionale Architektur erstellt. Beispiel dafür ist Abbildung 12, in der die Funktionen „Schreiben“, „Daten einlesen“, „Daten auf Bildschirm anzeigen“, „Kursorsignal aufnehmen“ und „Ton ausgeben“ realisiert werden sollen. In a) wird jede Funktion in einem eigenen System realisiert. In b) sind die Funktionen in einem System integriert.

Ein Problem in vielen Projekten ist die Organisation der Mitarbeiter aus verschiedenen Disziplinen. Trotz enger Zusammenarbeit kommt es immer wieder zu Missverständnissen und Kommunikationsproblemen. Eine funktionale Architektur beschreibt mittels funktionaler Elemente ein Modell, welches unabhängig von einer technischen Lösung ist. Sie kann helfen, die Abhängigkeiten der Funktionen strukturiert darzustellen und interdisziplinäre Lösungen zu finden.

Die Funktionen werden aus den funktionalen Anforderungen abgeleitet. Im gesamten Prozess von Definition der Anforderungen bis hin zu Realisierung der Anforderungen in Systemelementen, spielt die (Rück-)Verfolgbarkeit eine wichtige Rolle. Über alle Ebenen der Dokumentation muss erkennbar sein, welche

³⁸ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.292

³⁹ gesamter Absatz nach (Weilkiens, et al., 2016), S.190ff

⁴⁰ (Schelberg, 2017)

Anforderung oder welcher Anwendungsfall der Ursprung der entsprechenden Funktion, Anforderung oder des entsprechenden Systemelements ist. Die Rückverfolgbarkeit hilft, die Integrität und Genauigkeit von Anforderungen bis hinunter zur Komponente zu verbessern, die Zuordnung von Anforderungen nachzuvollziehen und Anforderungen besser warten und einfacher umsetzen zu können.⁴¹ Sind die Funktionen vollständig identifiziert, die vom System durchgeführt werden müssen, um die Anforderungen zu erfüllen, werden die Funktionen in Teilfunktionen zerlegt. Die ihr zugeordnete Anforderung wird mit zerlegt. „Dieser Prozess wird iteriert, bis das System vollständig in seine grundlegenden Teilfunktionen zerlegt wurde und jede Teilfunktion auf unterster Ebene vollständig einfach und eindeutig durch ihre Anforderung definiert wurde.“⁴²

Um die funktionale Architektur zu erstellen und übersichtlich darzustellen, verwendet das INCOSE Systems Engineering Handbuch folgenden 10 Formate, die je nach Phase des Projektes und der spezifischen Technik für die Entwicklung der funktionalen Architektur verwendet werden:⁴³

- Input-Prozess-output Diagramme
- Verhaltensdiagramme
- Kontrollfluss-Diagramme
- Datenflussdiagramme
- Objektbeziehungsdiagramme
- Funktionsfluss-Blockdiagramme
- Integration Definition for Functional Modeling Diagramme
- Datenkatalog
- Modelle
- Simulationsergebnisse

Kurzerklärungen zu den Methoden befinden sich in Anhang 02.

Generell hat die funktionale Zerlegung das Ziel, eine Hierarchie von Funktionselementen zu erstellen, welche die funktionalen Anforderungen erfüllen. Die Hierarchie bildet gemeinsam mit den zugeordneten Anforderungen die funktionale Architektur. Die VDI2803 schlägt als Darstellung der funktionalen Hierarchie den Funktionenbaum oder die Funktionen-Analyse-System-Technik (FAST) vor, welche die Funktionselemente mit ihren Beziehungen darstellen.⁴⁴ Diese sind in Abbildung 13 zu sehen.

Im Funktionenbaum wird die Gesamtfunktion in Teilfunktionen unterteilt. Die Teilfunktionen werden bei einem höheren Detailierungsbedarf mit Folgefunktionen verknüpft. Dabei realisieren die Teilfunktionen die Gesamtfunktion und die Folgefunktionen realisieren die zugeordnete Teilfunktion. „Da im Funktionsbaum durch die enthaltenen Verzweigungen über Teilfunktionen keine strenge Logik enthalten ist, besteht das Risiko, dass wichtige Teilfunktionen unberücksichtigt

⁴¹ (oose, Version 1.1.1), B, S.120

⁴² (INCOSE, 4. Ausgabe), S.294

⁴³ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.295

⁴⁴ (VDI-2803, 2017), S.3

bleiben und damit keine Vollständigkeit gegeben ist.“⁴⁵ Dieses Risiko soll vermindert werden, indem der Funktionenbaum im Workshop mit mehreren Teilnehmern erarbeitet wird, um Vollständigkeit zu sichern.

Die FAST ordnet einer übergeordneten Funktion ihre Basisfunktionen mit deren Folge- und Parallelfunktion zu. Die Gesamtfunktion des Funktionenbaums ist hier die Basisfunktion. Im Gegensatz zum Funktionenbaum wird in der FAST nicht ausschließlich nach den Ebenen unter der Basisfunktion gesucht, sondern auch nach der Ursache oder dem Grund der Gesamtfunktion, der übergeordneten Funktion. Die detaillierteste Ebene der FAST ist die akzeptierte Funktion.

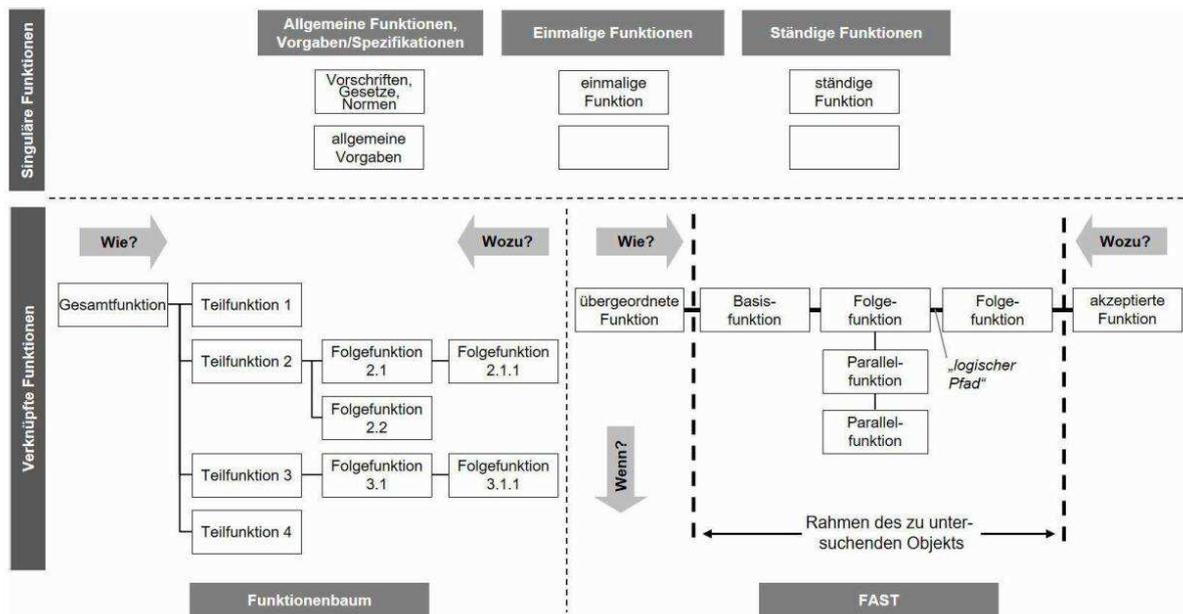


Abbildung 13: Aufbau des Funktionenbaumes und der FAST⁴⁶

In beiden Methoden werden neben den hierarchisch verknüpften, funktionalen Funktionen noch singuläre Funktionen dargestellt. Bei den singulären Funktionen wird zwischen allgemeinen Funktionen und Vorgaben, einmaligen Funktionen und ständigen Funktionen unterschieden. Allgemeine Funktionen sind zum Beispiel Sicherheitsfunktionen. Um die Anforderungen vollständig im Funktionendiagramm zu berücksichtigen, sind in diesen Methoden die nichtfunktionalen Anforderungen als allgemeine Funktionen berücksichtigt. Einmalige Funktionen wirken selten oder einmalig. Ständige Funktionen wie z.B. „Auftrieb erzeugen“ können nicht auf einen Anwendungsfall reduziert werden und werden daher außerhalb der Funktionsstruktur dargestellt.

⁴⁵ (VDI-2803, 2017), S.7

⁴⁶ (VDI-2803, 2017)

Eine weitere Möglichkeit, eine Funktionsarchitektur darzustellen ist bietet SysML. SysML ist eine grafische Sprache, die zur Modellierung technischer Systeme aller Art konzipiert wurde.⁴⁷ Die Sprache definiert neun unterschiedliche Diagramme, mithilfe derer sich Strukturen, Verhalten und Anforderungen von Systemen beschreiben und verknüpfen lassen. Beispiele dafür sind das Requirement Diagram (Anforderungsdiagramm) das Block Definition Diagram (Blockdefinitionsdiagramm) oder das Activity Diagram (Aktivitätsdiagramm). „Damit unterstützt die SysML das Systems Engineering in allen Bereichen bzw. Bausteinen des Systems Engineering [...]“⁴⁸

3.2.4 Systementwurf

Neben der funktionalen Architektur wird eine logische Architektur erstellt, in der jede Funktion der Architektur mit einem logischen Systemelement verknüpft wird. Logische und funktionale Architektur werden iterativ erstellt. Auf Grundlage der funktionalen und logischen Architekturen wird der Systementwurf erstellt. Der Systementwurf konzipiert physische Lösungen, welche die Funktionen realisieren, und ordnet diese den Systemelementen der logischen Systemarchitektur zu. Zum Finden der bestmöglichen Lösung bietet es sich an, Lösungsvarianten zu erstellen und diese unabhängig voneinander zu bewerten. Hierzu eignet sich beispielsweise der Morphologische Kasten in Verbindung mit Kreativmethoden (z.B. Methode 6-3-5 oder TRIZ). Kreativmethoden werden genutzt, um viele Lösungsvarianten zu finden. Der Morphologische Kasten ermöglicht eine anschauliche Darstellung der Kombinierbarkeit dieser Lösungsvarianten.

Die Lösungskombinationen werden zur Erfüllung der „muss“-Anforderungen geprüft und anschließend bezüglich der Erfüllung der „kann“-Anforderungen bewertet. Zur Reduzierung von Fehlerisiken eignet sich die Methode FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse), in der mögliche Produktfehler hinsichtlich ihrer Bedeutung für den Kunden, der Auftretenswahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit bewertet werden.

3.2.5 Verifikation und Validierung

Die ISO/IEC/IEEE 15288 definiert die Validierung als „[...] Bestätigung durch objektive Nachweise, dass die Anforderungen für eine bestimmte beabsichtigte Verwendung oder Anwendung erfüllt sind. Ein System ist in der Lage, seine beabsichtigte Verwendung, seine Ziele und seinen Nutzen (d.h. die Anforderungen der Stakeholder) in der vorgesehenen Betriebsumgebung zu erfüllen. Das richtige System wurde gebaut.“⁴⁹

Die Verifikation wird bezeichnet als „Menge von Aktivitäten, die ein System oder Systemelement mit den erforderlichen Merkmalen vergleicht. Dies beinhaltet, ist aber nicht beschränkt auf, spezifizierte Anforderungen, Design-Beschreibung und das System selbst. Das System wurde richtig gebaut.“⁵⁰ Eine Aktivität umfasst eine Reihe von zusammenhängenden Aufgaben in einem Prozess.

⁴⁷ (Alt, 2012), S.29

⁴⁸ (Alt, 2012), S.30

⁴⁹ (ISO/IEC/IEEE-15288, 2015), S.10

⁵⁰ (ISO/IEC/IEEE-15288, 2015), S.10

Die Validierung kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden. So können Anforderungen validiert werden, in dem sie dahingehend geprüft werden, ob sie die vom Kunden geforderten Fähigkeiten abdecken. Ein System wird validiert, in dem geprüft wird, ob sich die technischen Lösungen eignen, die Anforderungen zu erfüllen. In der Systemverifikation wird geprüft, ob das Produkt in der Nutzung die in der Anforderungsspezifikation geforderten Anforderungen tatsächlich erfüllt.

Um späte Änderungen am Produkt zu vermeiden, wird bereits bei der Definition der Anforderungen der Verifikations- und Validierungsprozess berücksichtigt. Der Prozess der Validierung verläuft z.B. mit Hilfe von Checklisten. Wie in Abbildung 7 dargestellt, werden Änderungen immer kostspieliger, je später im Produktlebenszyklus sie durchgeführt werden. Daher ist es wichtig Validierung und Verifikation auf allen Ebenen der Produktentwicklung frühzeitig durchzuführen.

Für die Verifikation werden für jede Anforderung Abnahmekriterien (Prüfaspekte) definiert, welche die Prüfung und Bewertung des erstellten Produktes gegenüber seinen Anforderungen beschreibt. Verifikationsmethoden sind z.B. Inspektionen, Analysen, Demonstrationen, Tests oder Ähnlichkeitsprüfungen sowie Zertifizierungen.⁵¹ Die Abnahmekriterien können quantifizierbare Werte sein oder z.B. Ja-Nein-Fragen, welche beispielsweise die Existenz einer Komponente abfragen. Wichtig ist, dass die Bedingungen definiert sind, unter denen die Abnahme durchgeführt wird. Überprüft werden die Abnahmekriterien (Prüfaspekte) in Testszenarien (Prüfungen). Testszenarien sind Systemtests, die unter vorgegeben Bedingungen an dem produzierten Produkt durchgeführt werden. oose Innovative Informatik unterscheidet in den Testszenarien zwischen 4 Kategorien: Den Entwicklungstests/Labortests, bei denen ein Konzept geprüft wird; den Qualifikationstests, bei denen geprüft wird, ob das Systemdesign die Leistungsanforderungen in nachgestellten Umgebungsbedingungen (Temperatur, Druck, Feuer, etc.) erfüllt; den Akzeptanztests, welche vor Übergabe des Systems durchgeführt werden, sodass der Auftraggeber beurteilen kann, ob das System die geforderte Leistung erbringt; und den Betriebstests, welche in der realen Einsatzumgebung nachweisen, dass das System die Anforderungen der Spezifikation erfüllen. Betriebstests werden im Schiffbau innerhalb von Probefahrten durchgeführt.

⁵¹ (oose, Version 1.1.1), C, S.127

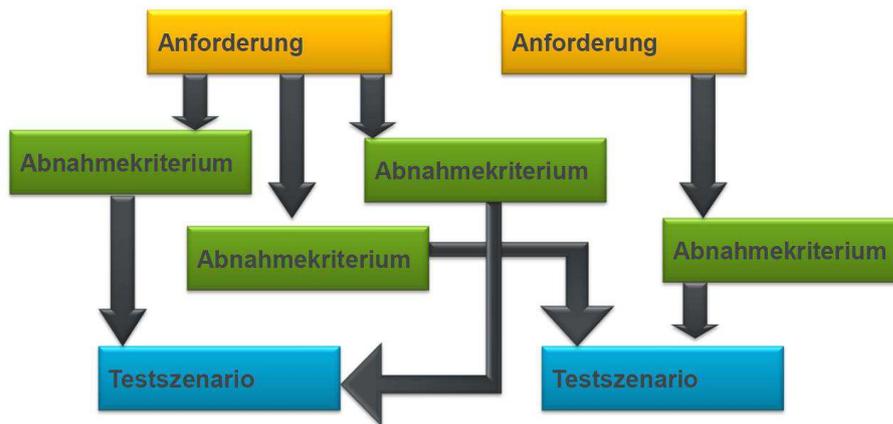


Abbildung 14: Beziehung zwischen Anforderungen, Abnahmekriterien (Prüfaspekt) und Testszenarien (Prüfungen)⁵²

In Abbildung 14 ist dargestellt, wie eine Anforderung ein oder mehrere Abnahmekriterien haben kann und diese auf mehrere Testszenarien verteilt geprüft werden können. Die Abnahmekriterien werden während der Anforderungsanalyse definiert. Es ist sinnvoll, die Abnahmekriterien nicht vom Autor einer Anforderung formulieren zu lassen, aber vom Autor prüfen zu lassen, um Voreingenommenheit zu verhindern.⁵³

3.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Vorgehensweise des SE am V-Modell vorgestellt. Damit Produkte risikoarm entwickelt werden können, nutzt das SE das Systemdenken. Späte Änderungen und damit verbundene, hohe Kosten sollen vermieden werden. Die Entwicklung von Marineschiffen benötigt eine risikoarme Produktentwicklung aufgrund langer Entwicklungszeiten und der fehlenden Möglichkeit den Systementwurf an einem Prototyp zu testen.

Das V-Modell definiert 4 Lösungselemente der interdisziplinären Produktentwicklung: Anforderung, Funktion, logisches Lösungselement und physikalisches Lösungselement. Zunächst wird das System eindeutig von externen Systemen abgegrenzt. Die Kundenanforderungen werden mithilfe von Marktvalidierung und einem Leistungsprofil definiert. Diese werden in Produkthanforderungen überführt und in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen kategorisiert. Die funktionalen Anforderungen bilden die Grundlage zur Entwicklung einer funktionalen Architektur. Aus der funktionalen Architektur leitet sich eine logische Systemstruktur ab, welche Grundlage für den Entwurf physikalischer Lösungen ist. Zur Risikominderung werden alle Ebenen der Produktentwicklung validiert und verifiziert.

⁵² (oose, Version 1.1.1), C, S.126

⁵³ (oose, Version 1.1.1), C, S.125

4 Methodisches Vorgehen

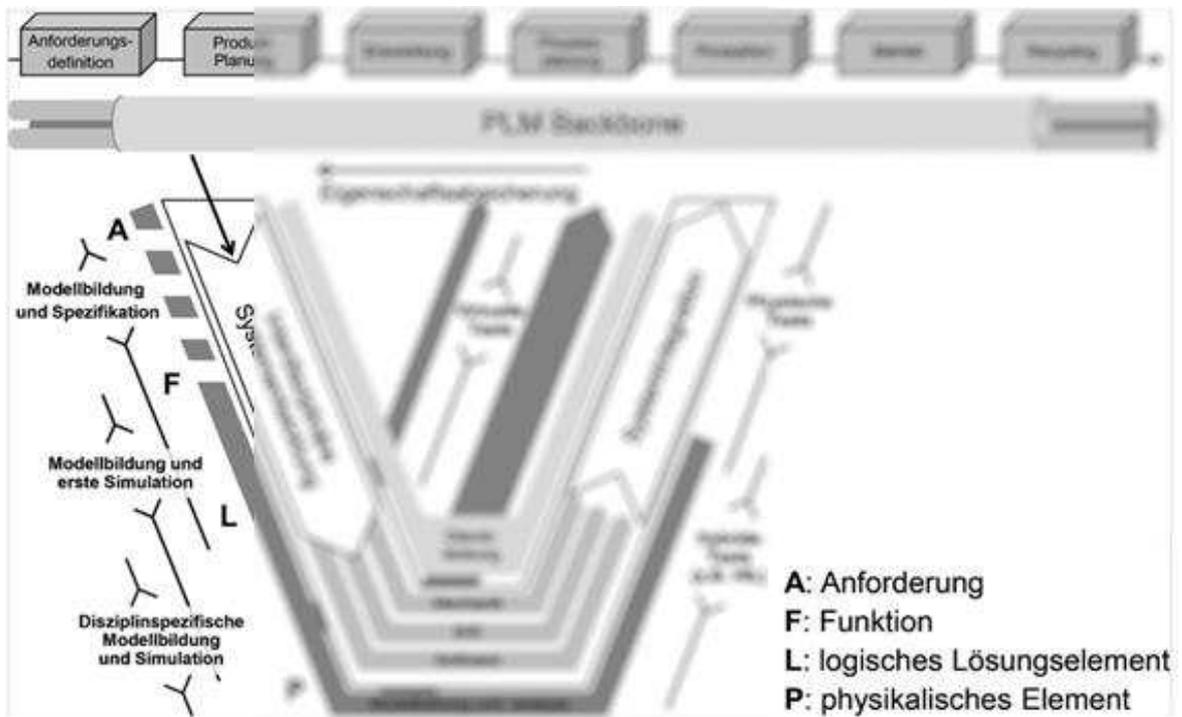


Abbildung 15: Betrachtungsbereich dieser Bachelorarbeit

Der Fokus dieser Bachelorarbeit liegt auf der Modellbildung einer funktionalen und logischen Architektur. Das physikalische Modell wird nicht betrachtet. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, wird ein Auszug aus dem V-Modell betrachtet. Begonnen wird bei der Definition der Kundenbedürfnisse und -anforderungen. Der betrachtete Bereich des Produktentwicklungsprozesses endet mit der Erstellung einer Funktionsstruktur, welche mit einer logischen Systemstruktur verknüpft wird. Auf ein Änderungsmanagement wird hier verzichtet.

4.1 Definition der Kundenanforderungen

Die Kundenanforderungen werden mit der Methode Systems Footprint⁵⁴ hergeleitet. Der Systems Footprint gibt die Systemabgrenzung und das methodische Vorgehen zur Anforderungserstellung vor.

⁵⁴ (Pfungsten)

4.1.1 Systemabgrenzung

Für die Systemabgrenzung (SA) des System Footprint wird die Vorlage aus Abbildung 16 verwendet. Diese Art der Dokumentation soll helfen, die externen Systeme vollständig zu ermitteln, um in einem zweiten Schritt die Schnittstellen zu definieren. Die Linie des Feldes „System“ definiert die Systemgrenze des SOI. Die Systeme außerhalb der Systemgrenze sind externe Systeme. Wie in Abbildung 16 zu sehen ist, werden die externen Systeme in die Kategorien technische externe Systeme, Umgebung, Produktion und Sonstiges unterteilt. Der Mensch wird ebenfalls als externes System berücksichtigt, um auf seine Schnittstellen zum System einzugehen. Interne Hauptsysteme des SOI werden im Feld System dargestellt.

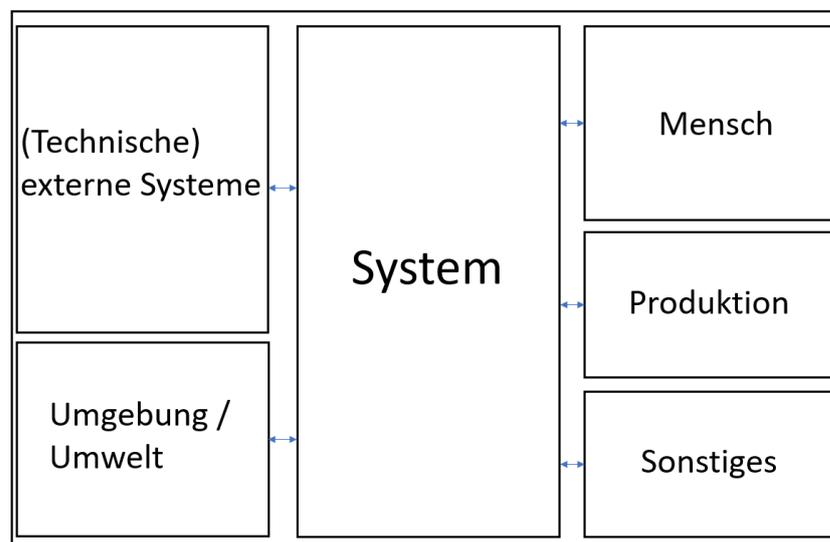


Abbildung 16: Vorlage für die Systemabgrenzung⁵⁵

Die SA ist der erste Schritt für den System Footprint selbst. Die Umgebung kann Aufschluss über Umweltbedingungen geben. Optimal wäre, die 6 Felder in einem Workshop mit Teilnehmern aus allen Fachabteilungen zu füllen. Hierzu wird das Dokument mindestens in A1 ausgedruckt und von den Teilnehmern mit Klebezetteln (z.B. Post it) gefüllt.

4.1.2 System Footprint

Der System Footprint (SF) ist eine Methode zur Strukturierung und Visualisierung von Anforderungen komplexer Systeme. Er wird angewendet, um übersichtlich und frühzeitig die für die Entwicklung der Anforderungen erforderlichen Gesichtspunkte aufzuzeigen. Zeitlich soll er nach der SA entwickelt werden und als Hilfe zur Erstellung eines Lastenheftes (Kundenspezifikation) dienen. Durch

⁵⁵ (Pfungsten, 2017)

seine Kombination aus Definition von Anforderungen, Nutzern des Systems, Schnittstellen und Funktionen, beinhaltet der SF die Beschreibung des Leistungsprofils.

Ziel ist es, die Kernanforderungen des Systems in Teamarbeit herauszuarbeiten, um sich und anderen einen Überblick über das gesamte System zu verschaffen. Entwickelt werden soll der SF in einem Workshop mit Teilnehmern aus möglichst verschiedenen Fachbereichen. Er soll das interdisziplinäre Verständnis zwischen den Entwicklern erhöhen und den Wert des Produktes für die Mitarbeiter sichtbar machen. Laut Aussage des Erstellers, ist es mit dem SF möglich, in 3-4 Stunden komplexeste Systeme darzustellen und daraus in kurzer Zeit ein qualitativ hochwertiges Lastenheft zu erstellen.⁵⁶ Um Kundenanforderungen zu entwickeln, soll die Methode beispielhaft für das Regatta-Tretboot durchgeführt werden.

Der SF besteht aus 9 Feldern, welche mithilfe eines Plakates oder eines Beamers an die Wand gebracht werden. Die Felder werden mit Klebezetteln (z.B. Post-it) innerhalb der Diskussion des Workshops gefüllt.

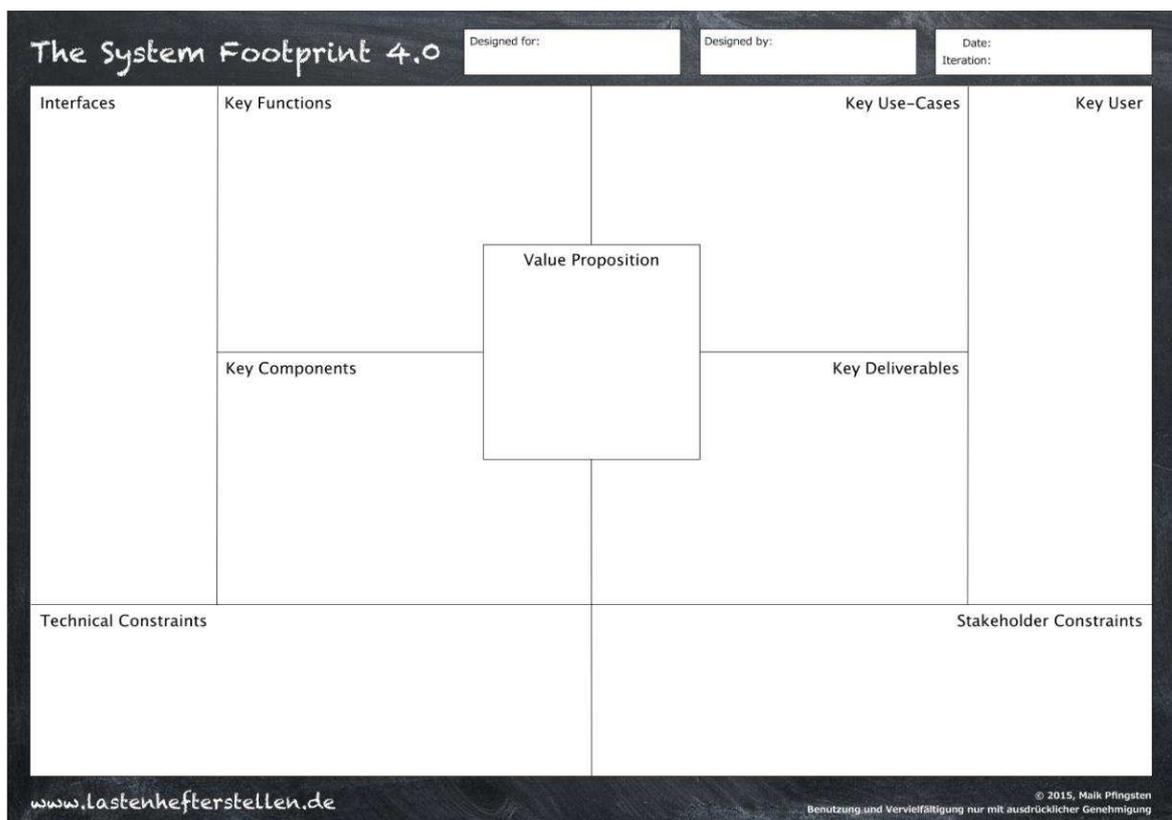


Abbildung 17: The System Footprint - Vorlage

⁵⁶ (Pflingsten, 2017)

Den 9 Feldern kommen folgende Bedeutungen zu:

Value Proposition: Wert des Produktes – Was macht das Produkt aus? Wieso kauft der Benutzer gerade dieses System?

Key User: Wer ist die Zielgruppe des Systems? Wer sind die Hauptnutzer des Systems?

Key Use-Cases: Alle vorgesehenen Anwendungs- und Nutzungsfälle (von Installation bis Entsorgung)

Key Deliverables: Varianten der Liefereinheiten (Prototyp, Vorserie, A Serie, ...) und alle Lieferbestandteile (Dokumentation, Anleitung, Ladekabel, ...)

Interfaces: Schnittstellen zu Systemen, die mit dem Produkt interagieren

Key Functions: Kernfunktionen des Produktes

Key Components: Kernkomponenten des Produktes, welche in jedem Fall verwendet werden müssen. (z.B. Entwicklungen aus vergangenen Projekten).

Stakeholder Constrains: Nichtfunktionale Kundenanforderungen (z.B. interne Normen, usw.)

Technical Constrains: Technische Vorgaben/Einschränkungen definieren den Lösungsraum, in dem sich der Entwickler bewegen darf. (z.B. Bauraum, Gewicht, Stromverbrauch, usw.)

Es ist besonders wichtig, dass im Workshop zwischen Projektanforderungen und Produkthanforderungen unterschieden wird. Als Produkthanforderungen werden diejenigen Anforderungen eingegrenzt, welche produktbezogen sind und das Endprodukt selbst betreffen. Die Projektanforderungen sind projekt- und planungsbezogen (z.B. Meilensteine) und werden im SF nicht berücksichtigt.

4.1.3 Definition der Kundenanforderungen und Leistungsprofil

Die Methode SF gibt ein Dokument „Lastenheft System Footprint“ vor, welches mit Hilfe des SF gefüllt wird und als Kundenspezifikation dienen soll.

Jedes Feld des SF wird zu einem Kapitel in der Kundenspezifikation. Jeder Stichpunkt der Klebezettel wird in einem entsprechenden Unterkapitel in wenigen Sätzen beschrieben. Das Dokument enthält sowohl Beschreibung von Anwendungsfällen, als auch Kundenanforderungen. Diese werden durch Identifikationsnummern differenzierbar gekennzeichnet und in ein SysML-Programm zur Nachverfolgbarkeit übernommen.

Das Leistungsprofil wird ebenfalls aus den Ergebnissen des SF erstellt. Um eine Vergleichbarkeit herzustellen, wird das betrachtete Produkt drei weiteren, bereits am Markt existierenden Produkten gegenübergestellt.

4.2 Anforderungsanalyse

Es ist nicht Ziel der Bachelorarbeit, eine komplette Anforderungsspezifikation für das Produkt zu erstellen, sondern die Vorgehensweise bei der Erstellung einer funktionalen Architektur darzustellen. Bei der Erstellung der funktionalen Architektur soll besonderer Wert auf die Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse gelegt werden. Nach der Definition der Produkthanforderungen werden die Arbeitsschritte beispielhaft für einzelne Anforderungen durchgeführt. Dafür sollen ein Diagramm mit den Anwendungsfällen, eine logische Systemstruktur, Verifikationstests für die Anforderungen und eine funktionale Architektur entwickelt werden. Für die Rückverfolgbarkeit werden die Beziehungen zwischen den Teilergebnissen dokumentiert.

4.2.1 Anwendungsfalldiagramm

Um die Nutzung des zu entwickelnden Produktes darzustellen, werden die Anwendungsfälle (Awf) aus der Kundenspezifikation identifiziert und in ein SysML-Programm übernommen. In einem Anwendungsfalldiagramm werden die Beziehungen zwischen den Awf in einem Ablaufdiagramm mit SysML dargestellt. Das Anwendungsfalldiagramm stellt dar, an welcher Stelle Entscheidungen über den nachfolgenden Awf getroffen werden können. Außerdem wird veranschaulicht, wenn dem System ein externes System für einen Awf zu- oder abgeführt wird.

4.2.2 Definition der Produkthanforderungen

Die Produkthanforderungen sollen aus den Kundenanforderungen und Awf herausgearbeitet werden. Dafür werden diese einzeln analysiert und in eine oder mehrere Produkthanforderungen aufgebrochen. Dabei ist besonders auf die in Kapitel 3.2.3.2 beschriebenen Bedingungen zur eindeutigen Formulierung von Anforderungen zu achten. Zur Rückverfolgbarkeit wird jede Produkthanforderung mit der abgeleiteten Kundenanforderung verknüpft. Die Produkthanforderungen sollen in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen sowie Wünsche unterteilt werden. Im Laufe des Produktentwicklungsprozesses können die Produkthanforderungen angepasst, erweitert oder reduziert werden. Der Prozess der Anforderungsanalyse ist daher iterativ durchzuführen.

Die Produkthanforderungen und ihre Verknüpfung werden mit einem SysML-Programm dokumentiert und im weiteren Prozess mit den logischen Systemelementen und der funktionalen Architektur verknüpft.

4.2.3 Definition der Verifikationstests

Um die Verifikation von Produkthanforderungen zu veranschaulichen, sollen beispielhaft für ausgewählte Produkthanforderungen Verifikationstests definiert und mit den Produkthanforderungen verknüpft werden.

4.2.4 Funktionale Architektur

Die Awf sowie die funktionalen Produkthanforderungen werden als Grundlage genommen, um die Kernfunktionen des Systems zu identifizieren. Anschließend sollen die Kernfunktionen in untergeordnete Teil- und Folgefunktionen aufgebrochen werden, die gemeinsam die übergeordnete Funktion erfüllen. Die dadurch entstehende funktionale Architektur wird iterativ mit einer logischen Systemstruktur verknüpft.

4.2.5 Logische Systemstruktur

Die Ergebnisse des SF definieren logische Systemelemente. Diese sollen lösungsneutral hierarchisch dargestellt werden. Aus der funktionalen Architektur können ebenfalls logische Systeme abgeleitet werden. Durch Bildung der logischen Systemstruktur können ebenso Funktionen abgeleitet werden, die iterativ in die funktionale Architektur übernommen werden. Die logische Systemstruktur ordnet Subsysteme ihrem übergeordneten System zu. Für die Erstellung der logischen Systemstruktur soll die Kundenspezifikation auf vom Kunden vorgegebene Systeme analysiert werden und in eine logische Struktur geordnet werden. Im Anschluss werden die nichtfunktionalen Produkthanforderungen mindestens einem Systemelement zugeordnet. Die logische Systemstruktur soll mit SysML erstellt werden.

4.2.6 Verknüpfungen der Ergebnisse

Um die Gesamtheit der Verknüpfungen und den Ursprung der Ergebnisse anschaulich darzustellen, soll ein Anforderungsdiagramm am Beispiel einer Produkthanforderung erstellt werden, in welchem die Verknüpfungen der Anforderungsanalyse aufgezeigt werden.

4.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird das methodische Vorgehen zur Entwicklung einer funktionalen Architektur eines Regatta-Tretbootes beschrieben. Das System wird mit Hilfe einer SF-Vorlage abgegrenzt. Anschließend werden mithilfe der Methode SF Kundenanforderungen und Awf identifiziert. Aus den Kundenanforderungen werden nichtfunktionale und funktionale Anforderungen sowie Wünsche abgeleitet. Mit Hilfe der funktionalen Anforderungen wird eine funktionale Architektur entwickelt. Aus den Ergebnissen des SF und der funktionalen Architektur wird eine logische Architektur abgeleitet. Die Rückverfolgbarkeit der Ergebnisse wird durch Verknüpfung der Ergebnisse mithilfe eines SysML Programms gewährleistet.

5 Durchführung am Beispiel Tretboot

Grundlage für die Definition der Anforderungen und Entwicklung der funktionalen Architektur ist der SF. Zur Definition der Wettbewerbsfähigkeit des Regatta-Tretbootes in der IWR 2018 werden die Ergebnisse der IWR 2017 als Vergleichswert genommen.

Zur Vorbereitung des SF werden Informationen zur IWR durch Recherche und Interviews mit Teilnehmern der IWR gesammelt. Die Ergebnisse sind in der Mindmap in Abbildung 18 dargestellt. Eine detaillierte Version der Mindmap befindet sich in Anhang 03. Die Mindmap beinhaltet die Themenfelder „Disziplinen“, „Regeln“, „Transport“, „Schiffbau allgemein“, „Umwelteinflüsse“, „Ergonomie“ und „Sicherheit“ des Tretbootes.

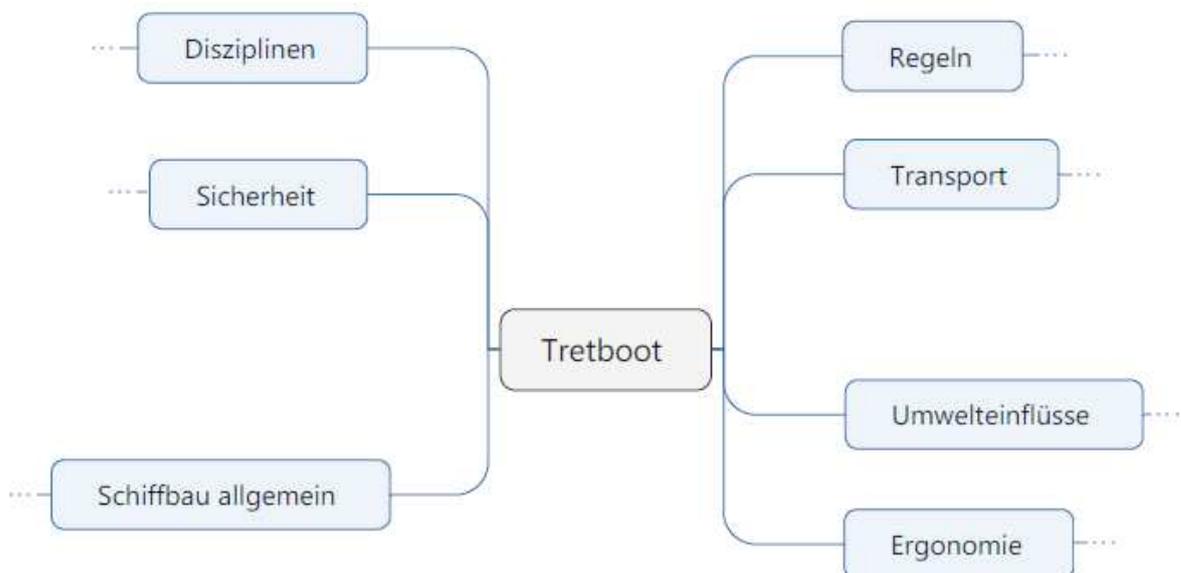


Abbildung 18: Mindmap Tretboot für die IWR

5.1 System Footprint

Der Systems Footprint wird im Bereich Produktmanagement (ZT) mit insgesamt 8 Teilnehmern aus den Abteilungen Produktentwicklung (ZTD), Forschung und Entwicklung (ZTF) und Angebotsmanagement (ZTP) innerhalb von 2,5 Std durchgeführt. Da nicht alle Stakeholder des Produktentwicklungsprozesses wie „Fahrer des Tretbootes“, „Internes Marketing bzw. Externer Sponsor“, „Einkauf/Kalkulation“, „Logistik“ und „Produktion“ an dem Workshop teilnehmen konnten, werden diese Rollen stellvertretend von den Teilnehmern übernommen. Jeder Teilnehmer führt den Workshop aus seiner Sicht und parallel aus Sicht des ihm zugewiesenen Stakeholder durch.

Der Workshop besteht aus einer Einzelphase mit einem Brainstorming, in der zunächst Stichpunkte gesammelt und mithilfe von Klebezettel im SF platziert

werden. In der zweiten Phase werden die Stichpunkte vorgestellt und ergänzt. Es werden Verständnisfragen geklärt. Die zu diesem Zeitpunkt vorkommenden Mehrfachnennungen und Widersprüche zwischen den Feldern werden in der dritten Phase innerhalb einer Gruppendiskussion reduziert und soweit angepasst, dass sich Begrifflichkeiten nicht doppeln oder widersprechen. Im Anschluss an den Workshop wird die Methode in einer kurzen Feedbackrunde bewertet.

5.1.1 Systemabgrenzung

Für die SA wird nicht der gesamte Lieferumfang, sondern ausschließlich das Regatta-Tretboot selbst betrachtet. Als Lieferumfang wird das bezeichnet, was der Kunde bei Abgabe des Projektes erhält. Die Liefereinheiten können physische Produkte oder Dienstleistungen sein. Das Ergebnis der SA ist in Abbildung 19 dargestellt. „Rumpf“, „Antrieb“, „Personenaufnahme“, „Lastaufnahme“ sowie ein „Energiekonverter“ mit „Getriebe“ sind Teil des Systems. Nicht Teil des Systems sind die „Fahrer“, die „Teammitglieder“ und „Wettkampfrichter“. Diese sind externe Systeme, welche Einfluss auf das System Tretboot haben können oder bestimmte Anforderungen an das System stellen.

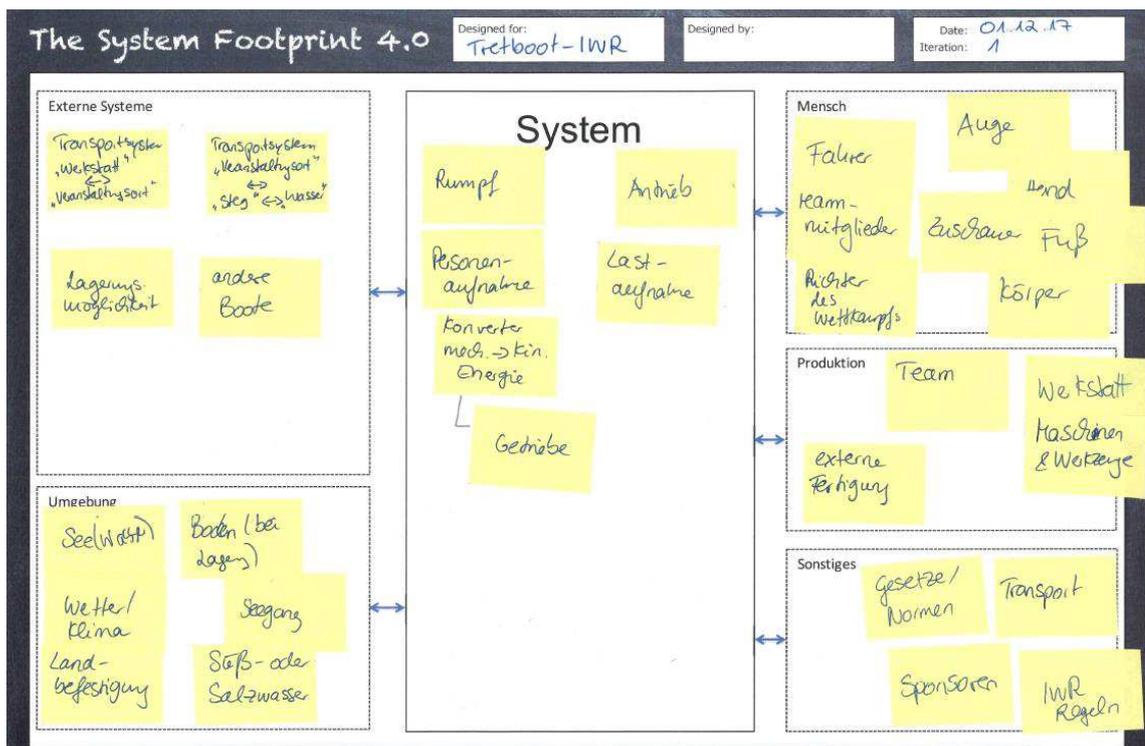


Abbildung 19: Systemabgrenzung - Tretboot für die IWR

Für die Produktion können z.B. das „Team“, die „Werkzeuge“ und „Maschinen“ Anforderungen an den Regatta-Tretbootentwurf bedingen. Weitere externe Systeme sind „Transportsysteme“, „Lagerungsmöglichkeiten“ und „andere Regatta-Tretboote“. Die Umgebungsbedingungen „Wasser“, „Untergrund“, „Wetter/Klima“, „Seegang“ und „Salzwassergehalt“ können ebenfalls Einfluss auf

den Entwurf haben. Ebenso eine „Festmacheinrichtung“, „Gesetze“ und „Normen“, „Anforderungen des Sponsors“ und das „Regelwerk der IWR.“

Die SA kann in einem Workshop direkt vor dem SF durchgeführt werden. In diesem Fall wurde die SA vor dem SF in Einzelarbeit erstellt und den Teilnehmern zur Verfügung gestellt.

5.1.2 Workshop System Footprint

Im Workshop SF wurden die Felder durch die Teilnehmer vollständig gefüllt. Das Ergebnis des Workshops ist in Abbildung 20 zu sehen. Jedes Feld wurde mit bis zu 12 Stichpunkten gefüllt. Zunächst wurden die Stichpunkte der Teilnehmer ohne gegenseitige Absprache in den Feldern des SF platziert. In einer Diskussionsrunde wurden die Zettel zusammengefasst, auf das Wesentliche reduziert und verbindlich einem Feld zugeordnet.



Abbildung 20: System Footprint - Tretboot für die IWR

So sind beispielsweise als „Value Proposition“ definiert:

- Publikumsliebbling
- Gesamtsieg
- Sprint
- Produktdesign

Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zu sehen.

| Feldbezeichnung | Ergebnis |
|-------------------------|--|
| Value Proposition | Publikumsliebbling, Gesamtsieg, Sprint, Produktdesign |
| Key Use-Cases | zu Wasser Lassen, aus dem Wasser Holen, Repräsentieren („Posen“), Training, Transport, Lagern, Boxenstopp im Wasser, Entsorgung, Modifikation, Fahren/Schwimmen, Freizeitfahrten |
| Key Deliverables | Digital Twin, Modell 1:25 verkleinert, Regatta-Tretboot, Ersatzteile, Gebrauch- und Materialspezifikation |
| Key Functions | Kurs halten, Kurs ändern, An Seil ziehen, Schwimmen, Fahren, Beschleunigen, Bremsen, Fracht transportieren, Fahrer aufnehmen, Festmachen |
| Interfaces | Fahrer (Kraftübertragung), Steg, Fahrer(Steuerung), Wasser, Kraftmessgerät, Trailer, Lagerbock, |
| Key Components | Personenaufnahme, Kraftaufnehmer, Antrieb, Bremse, Ersatz- und Verschleißteile, Kraftübertragung, Schwimmkörper/Rumpf, Pfahlzugaufnahme, Lenkeinrichtung, Lastaufnahme |
| Technical Constraints | Verarbeitbares Material, Realisierbarkeit, COTS vs. Sonderfertigung, Salzwasserresistenz, Haltbarkeit im Wasser, Robustheit, Nachhaltige Nutzung, Mehrfachnutzung, Modularität, Wetter/Umweltbedingungen, Wellengang(Stabilität), Technisch versiertes Produkt |
| Stakeholder Constraints | Verfügbares Budget, Wartbarkeit, Bestes Preis/Leistungsverhältnis, Branding, Verfügbare Kraft der Fahrer, Reputation/Image, Ergonomie, Handling mit 4 Personen, Regelwerk IWR |

Tabelle 1: Ergebnisse System Footprint

Die Inhalte der SA können z.T. direkt in den SF übernommen werden. So finden sich die Externen (technischen) Systeme der SA in den Interfaces des SF wieder, die Umgebungspunkte aus der SA in den Technical Constraints des SF, die menschlichen Externen Systeme der SA sind in den Feldern Key User und Interfaces des SF wiederzufinden. Die in der SA definierten internen Systeme werden im SF zu den Key components. Die SA reicht nicht aus, um diese Felder vollständig zu füllen, gibt aber gute Anhaltspunkte.

Die Stichpunkte der Klebezettel werden in die Dokumentationsvorlage des SF übertragen. Zu jedem Stichpunkt wird eine Erklärung des Begriffes formuliert. Das Ergebnis ist dem Anhang 04 - Kundenspezifikation zu entnehmen.

Beim Übertragen der Stichpunkte fällt auf, dass „Fahren“ als Key Function und als Key Use-Case vorkommt. Da es kein übergeordneter Awf (Use-Case) ist, wird

dieser Punkt in den Key Use-Cases gestrichen und als Key Funktion(Kernfunktion) übernommen. Die anderen Inhalte können ohne Anpassungen in die Dokumentationsvorlage übernommen werden.

5.1.3 Definition der Kundenanforderungen

Die Kundenspezifikation enthält sowohl Kundenanforderungen, als auch Awf und bereits logische Systemelemente, sowie Funktionen. Um diese zu strukturieren, werden zunächst die Awf identifiziert und mit eindeutigen Identifikationsnummern versehen. Beispielhaft ist dies in Tabelle 2 zu sehen. UC_00 ist der Regatta-Wettkampf. Die Beschreibung dient zur eindeutigen Erklärung des Awf. Die restlichen Awf befinden sich in Anhang 05.

| ID | Name | Beschreibung |
|-------|-------------------------|--|
| UC_00 | UC_00 Regatta-Wettkampf | Das Regatta-Tretboot befindet sich bereits im Wasser und begibt sich in Startposition. Nach einem Startsignal erfolgt jeweils ein Wettstreit in den Disziplinen Sprint, 10m Beschleunigung, Langstrecke, Slalom, Bullard-Pull, Vorwärts-Stopp-Rückwärts und Geheime Mission. Andere Boote sind ebenfalls im Wasser und können mit dem Regatta-Tretboot in Berührung kommen. |
| UC_01 | UC_01 Transportieren | Das Regatta-Tretboot wird von seinem Fertigungsort oder Einlagerungsort zum Einsatzort transportiert. Dazu wird es von maximal 4 Personen auf einen Hänger o.ä. verladen. Am Einsatzort wird das Regatta-Tretboot von maximal 4 Personen vom Hänger zum Steg transportiert und kann zu Wasser gelassen werden. Nach seinem Einsatz und dem „Aus dem Wasser Holen“ wird das Regatta-Tretboot vom Steg zum Lagerort oder zum Hänger und danach zum Einlagerungsort transportiert. |
| UC_02 | UC_02 zu Wasser Lassen | Das Regatta-Tretboot befindet sich auf dem Steg oder in unmittelbarer Nähe zum Wasser. Es wird von dort aus ins Wasser gelassen und am Steg oder Ufer befestigt. Die Fahrer des Bootes besteigen das Fahrzeug und bringen sich in Position, um das Regatta-Tretboot antreiben zu können. Es befinden sich zu diesem Zeitpunkt auch andere Boote in unmittelbarer Nähe des Bootes im Wasser. Ist nach diesem Use-Case der Use-Case „Freizeitfahrten“ vorgesehen, wird das Regatta-Tretboot während des Vorgangs mit Proviant beladen. |

Tabelle 2:Ausschnitt Anwendungsfälle Regatta-Tretboot

Die anderen Inhalte der Kundenspezifikation werden als Kundenanforderungen definiert und mit einer Identifikationsnummer versehen. In diesem Fall werden geforderte logische Systemelemente und Funktionen als Kundenanforderung spezifiziert. Einige Beispiele dazu sind in der nachfolgenden Tabelle zu sehen. Die weiteren Kundenanforderungen sind in Anhang 06 zu finden. In Tabelle 3 sind u.a. KA_01 „Hauptnutzer des Systems“ und KA_02 „Fahrer des Regatta-Tretbootes“ zu sehen. Diese beiden Kundenanforderungen sind Definitionen der Nutzer und

keine eindeutigen Anforderungen an das Regatta-Tretboot. Hier besteht Interpretationsspielraum über die Vorstellung des Kunden an das Produkt. Beispielsweise enthält KA_02 die Forderung, dass die Antriebskraft des Regatta-Tretbootes von genau 2 Fahrern zur Verfügung gestellt werden muss.

| ID | Name | Text |
|-------|-------------------------------------|--|
| KA_01 | KA_01 Hauptnutzer des Systems | Hauptnutzer des Systems sind Fahrer, Sponsor und der Mechaniker. Als Nutzer, nicht jedoch Hauptnutzer sind noch die Logistiker zu betrachten, welche das System transportieren (Siehe dazu auch im Kapitel Schnittstellen.) |
| KA_02 | KA_02 Fahrer des Regattaboats | Die Fahrer sind jene Personen, welche das Regatta-Tretboot während des Wettkampfes antreiben und lenken. Ggf. sind sie auch die Personen, welche das Regatta-Tretboot zu Wasser lassen und es wieder herausholen. Das Regatta-Tretboot wird mit 2 Personen angetrieben |
| KA_03 | KA_03 Sponsor | Der Sponsor kann das Regatta-Tretboot zu Werbe- oder Freizeitfahrten nutzen. Werbefahrten dienen dazu den Sponsor und ggf. deren Produkt auf geeigneten Stellen des Bootes zu bewerben. Freizeitfahrten finden außerhalb jeden Wettbewerbs statt und finden zur persönlichen Belustigung statt |
| KA_14 | KA_14 Gesamtsieg | Das Regatta-Tretboot belegt in der Gesamtwertung den ersten Platz. |
| KA_15 | KA_15 Sprint | In der Disziplin „Sprint“ und „10m Beschleunigung“ belegt das Regatta-Tretboot den ersten Platz. |

Tabelle 3: Ausschnitt Kundenanforderungen Regatta-Tretboot

Um die Produkthanforderungen aus den Kundenanforderungen herauszuarbeiten, werden die Kundenanforderungen Schritt für Schritt bearbeitet. Die Kundenanforderungen werden in das SysML-Programm übertragen, um sie mit weiteren Ergebnissen in Beziehung setzen zu können.

In Tabelle 3 sind unter anderem die beiden Kundenanforderungen KA_14 „Gesamtsieg“ und KA_15 „Sprint“ zu sehen. Um für die Produkthanforderungen messbare Werte zu erhalten, werden die Ergebnisse der IWR 2017⁵⁷ als Vergleichswert genommen. Für den Gesamtsieg ist es von Vorteil, sich in vielen Disziplinen im oberen Bereich zu platzieren. Um messbare Anforderungen für die Leistung innerhalb der Regattawettkämpfe zu erhalten, wird angenommen, dass der Gesamtsieg erreicht werden kann, wenn alle Disziplinen mindestens unter den ersten 15% der Teilnehmer absolviert werden. Für die Disziplinen „Sprint“ und „10m Beschleunigung“ soll der erste Platz erreicht werden. Daher wird hier eine bessere Zeit gefordert, als die besten Regatta-Tretboote in der IWR 2017 erreicht haben. Mit diesen Werten wird ein Leistungsprofil erstellt, welches in Abbildung 21 zu sehen ist.

⁵⁷ Siehe Anhang



Abbildung 21: Leistungsprofil des Regatta-Tretbootes

Im Leistungsprofil wird das zu entwerfende Regatta-Tretboot mit den ersten drei Siegern „Rektor“, „Reynhold“ und „Karbonat“ der IWR 2017 verglichen. Der Wert 1 entspricht dabei dem Ergebnis, welches das Gesamtsiegerboot „Rektor“ erlangt hat. Die tatsächlichen Werte zur Erstellung des Leistungsprofils sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

| Fähigkeiten | Soll | Rektor=1 | Reynold | Karbonat |
|-----------------------------------|-------|----------|---------|----------|
| 100m Sprint [s] | 21,9 | 22,53 | 24,77 | 25,16 |
| 10m [s] Beschleunigung [s] | 2,6 | 3,004 | 3,002 | 2,955 |
| Langstrecke 3 km [min] | 15,4 | 14,45 | 15,21 | 15,42 |
| Slalom [s] | 20 | 20,75 | 19,78 | 23,06 |
| Vorwärts[s] rückwärts stopp [s] | 41 | 43,44 | 55,67 | 46,83 |
| Nutzlastgewicht [kg] | 25 | 0 | 30 | 0 |
| Nutzlastvolumen [m ²] | 0,042 | 0 | 0,04 | 0 |
| Pfahlzug [N] | 690 | 689 | 731 | 581 |

Tabelle 4: Fähigkeiten des geplanten Tretbootes und den ersten 3 Siegern der IWR 2017

Im Leistungsprofil ist zu sehen, dass das zu entwickelnde Regatta-Tretboot im Wettkampf „10m Beschleunigung“ sichtbar besser abschneiden soll, als die anderen drei Regatta-Tretboote. In den anderen Wettkämpfen soll es vergleichbar

abschneiden. Das geforderte Nutzlastvolumen und Nutzlastgewicht ist deutlich höher, als bei den verglichenen Regatta-Tretbooten. Dies kann daran liegen, dass bei den meisten Schiffen der Wettkampf im Vordergrund steht und Freizeitfahrten nicht vorgesehen sind.

5.2 Anforderungsanalyse

Um die Produkthanforderungen aus den Kundenanforderungen zu überführen, ist es sinnvoll, sich einen Überblick über die Kundenanforderungen zu verschaffen. Dazu werden die Beziehungen zwischen den Awf und die logische Systemstruktur erstellt. Das Anwendungsfalldiagramm, die logische Systemstruktur und die weiteren Ergebnisse, wie Produkthanforderungen und funktionale Architektur, werden iterativ erstellt und unterliegen im weiteren Entwicklungsprozess weiteren Anpassungen. Die Produkthanforderungen werden iterativ mit Hilfe des Anwendungsfalldiagramms, der funktionalen Architektur und der logischen Systemstruktur angepasst.

5.2.1 Anwendungsfalldiagramm

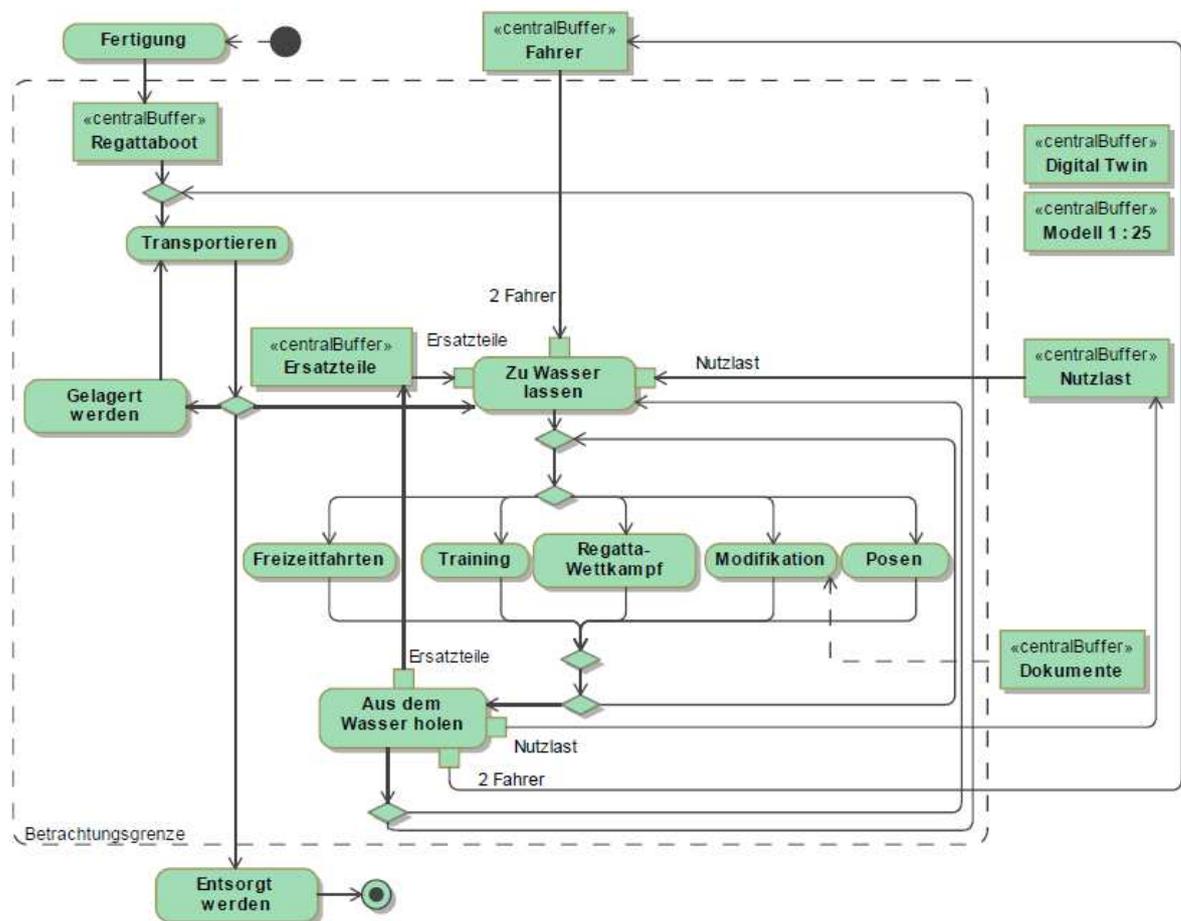


Abbildung 22: Anwendungsfalldiagramm Regatta-Tretboot

Um die Beziehung zwischen den Awf darzustellen und den logischen Ablauf der Nutzung des Regatta-Tretbootes zu veranschaulichen, wird ein Anwendungsfalldiagramm erstellt. In dieser Darstellung soll es vor allem um die zeitliche Abfolge der Awf gehen. Das Anwendungsfalldiagramm (Use-Case-diagramm) des SysML gibt für die Nutzung von Use-Case-diagrammen Einschränkungen vor. Die Reihenfolge der Awf kann nicht dargestellt werden. Daher wird in dieser Arbeit für die Darstellung der Abfolge der Awf ein Activity-Diagramm mit SysML erstellt. Das Ergebnis ist in Abbildung 22 dargestellt.

Die gestrichelte Linie ist die Systemgrenze des SOI. Fahrer und Nutzlast sind außerhalb der Systemgrenzen, werden dem System aber in den entsprechenden Awf hinzugefügt. Die Pfeile geben die Reihenfolge vor, in der die Awf durchgeführt werden können. Die Raute steht dabei für eine Entscheidung zwischen mehreren Awf. Die Nutzung des Regatta-Tretbootes beginnt nach der „Fertigung“, das Regatta-Tretboot wird zunächst transportiert. Nach dem „Transport“ wird es entweder gelagert, zu Wasser gelassen oder entsorgt. Nach dem „zu Wasser Lassen“ nimmt das Regatta-Tretboot entweder am Regattawettkampf teil, fährt zum „Training“, zum „Repräsentieren“ oder zu „Freizeitfahrten“ oder es wird auf dem Wasser modifiziert. Nach diesen Awf kann entschieden werden, ob das Regatta-Tretboot aus dem Wasser geholt wird oder es für einen weiteren dieser Awf genutzt wird. Nach dem „aus dem Wasser Holen“ kann das Regatta-Tretboot entweder wieder transportiert werden oder wieder zu Wasser gelassen werden. Die Betrachtung der Awf des Regatta-Tretbootes endet mit dem „Entsorgt werden“.

Der Awf „Gelagert werden“ lässt sich noch in die Awf „Eingelagert werden“ und „Zwischengelagert werden“ unterteilen. Ebenso kann der Awf „Regattawettkampf“ noch in die Awf der Wettkampfdisziplinen unterteilt werden. Abbildung 22 und das Anwendungsdiagramm mit der genannten Detaillierung sind in Anhang 07 und 08 zu finden.

5.2.2 Definition der Produktanforderungen

Wie bereits beschrieben, werden für die Definition der Produktanforderungen die Kundenanforderungen systematisch in singuläre Anforderungen überführt und überarbeitet. So entstehen messbare, singuläre, eindeutige, verfolgbare Produktanforderungen. Auf Basis der Kundenspezifikation wird das Dokument „Anforderungsspezifikation“ erstellt. Dieses befindet sich in Anhang 09. Die Produktanforderungen der Anforderungsspezifikation werden sowohl aus den Awf, als auch aus den Kundenanforderungen gewonnen. Dabei dient das Anwendungsfalldiagramm ergänzend als Hilfe. Durch iteratives Vorgehen leiten sich Produktanforderungen aus der Systemstruktur und der funktionalen Architektur ab.

Die Produktanforderungen werden zur Rückverfolgbarkeit mit einer eindeutigen Identifikationsnummer versehen und ins SysML Programm eingepflegt. Dabei werden die Anforderungen in funktionale und nicht funktionale Anforderungen, sowie Wünsche unterteilt. Beispielhaft sind die Anforderungen in Tabelle 5 dargestellt. Die restlichen Produktanforderungen finden sich im Anhang 10.

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|--------|--|---|---------------------------------|
| PA_01 | PA_01 Transportlast pro Person | Beim „zu Wasser Lassen“, „aus dem Wasser Holen“ und beim „Transport“ des Regatta- Tretbootes durch 4 Personen muss die Last pro Person weniger als 40kg betragen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_02 | PA_02 Personen aufnehmen | Das System „Regatta-Tretboot“ muss 2 Personen bis zu je 100kg Gewicht und einer Körpergröße zwischen 1,60m und 2,10m aufnehmen können | Anforderung, funktional |
| PzA_65 | PA_65 Fertigungsanteil durch Studenten | Das Regatta-Tretboot soll mindestens zu 75% aus Studentenhand gefertigt werden. | Wunsch |

Tabelle 5: Ausschnitt der Produkthanforderungen an das Regatta-Tretboot

PA_01 ist eine nicht funktionale Anforderung, die in jedem Fall erfüllt werden muss. PA_02 ist eine funktionale Anforderung, die in jedem Fall erfüllt werden muss.

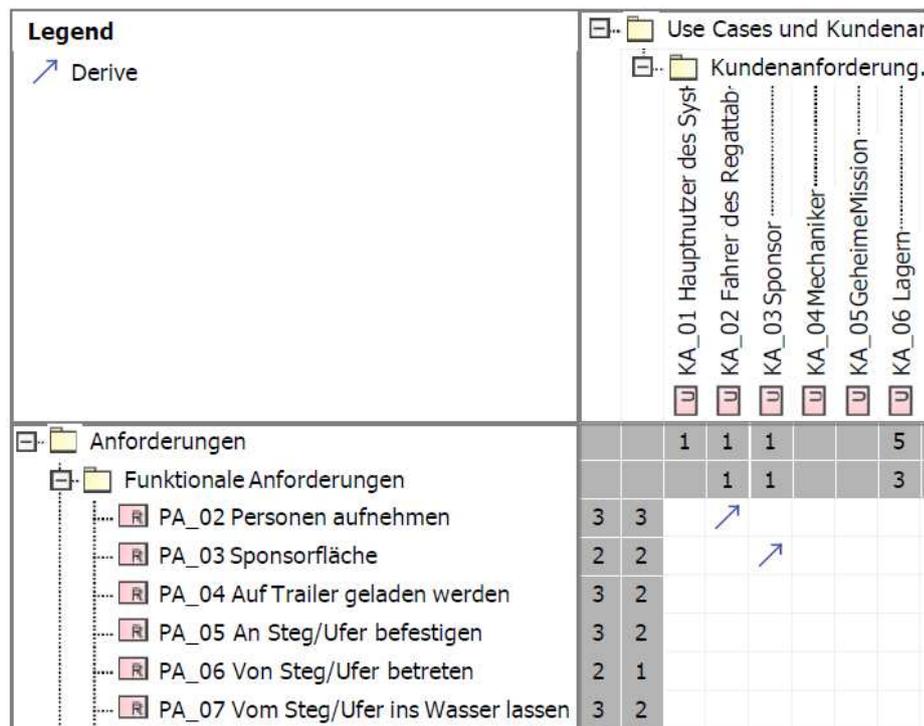


Abbildung 23: Beziehung zwischen Produkthanforderungen und Kundenanforderungen

Wünsche sind keine unter den Produkthanforderungen. Die PA_65 ist ein Wunsch, d.h. eine Anforderung, welche je nach Budget und Möglichkeiten umgesetzt werden soll. Sie ist jedoch eine Prozess- und keine Produkthanforderung. Sind

mehrere Wünsche vorhanden, werden diese hinsichtlich ihrer Priorität bewertet. In diesem Fall gibt es nur einen Wunsch, daher entfällt eine Priorisierung.

Die Rückverfolgbarkeit der Produkthanforderungen lässt sich mit SysML in einer Beziehungsmatrix darstellen. Dafür werden die Produkthanforderungen in einer Abhängigkeitsmatrix den Kundenanforderungen und Awf gegenübergestellt und mit der Verbindung „derive“ („ableiten“) verknüpft. Die Produkthanforderungen leiten sich aus den Kundenanforderungen und den Awf ab. Ein Ausschnitt dieser Verknüpfung ist in Abbildung 23 dargestellt.

In der Matrix sind in den Zeilen die Produkthanforderungen aufgelistet, in den Spalten die Kundenanforderungen und Awf, aus denen die Produkthanforderungen abgeleitet sind. So ist in Abbildung 23 zu sehen, dass die PA_02 „Personen aufnehmen“ aus der KA_02 „Fahrer des Regatta-Tretbootes“ abgeleitet wurde. Die PA_02 „Sponsorfläche“ ist aus der KA_03 „Sponsor“ abgeleitet worden. Die vollständige Matrix befindet sich im Anhang 11.

5.2.3 Definition der Verifikationstests

Im V-Modell in Abbildung 8 ist zu sehen, dass die Anforderungen im späteren Integrationsprozess durch Verifikationstests überprüft werden. Die Verifikationsmethode (Prüfmethode) hat Einfluss auf die Bewertung von Lösungsvarianten der Produkthanforderungen. Daher ist es wichtig, die Verifikationsmethode für die Produkthanforderungen frühzeitig festzulegen. Ein Verifikationstest besteht aus einer Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes (hier: Anforderung), dem zu erwartenden Ergebnis, die anzuwendende Verifikationsmethode sowie der Hierarchieebene des Systems (z.B. Zielsystem SOI, Systemelemente).⁵⁸ Zur Veranschaulichung sind beispielhaft sechs Verifikationstests der Methode „Test“ in Tabelle 6 definiert worden.

⁵⁸ (INCOSE, 4. Ausgabe), S.127

| ID | Name | Beschreibung | Prüfaspekte |
|-------|--|---|--|
| TC_01 | Gewichtsmessung | Das System Regatta-Tretboot wird ohne Beladung an den Transportschnittstellen an n Federwaagen aufgehängt oder an den Schnittstellen auf n Waagen gestellt. (n=Anzahl der Transportschnittstellen) Die Summe der Ergebnisse entspricht dem Gesamtgewicht des Regatta-Tretbootes. Bei der Messung auf Waagen können Hilfshalterungen benutzt werden. | <ul style="list-style-type: none"> • <40kg pro Transportschnittstelle ja/nein? • Gesamtgewicht? |
| TC_02 | Maßkontrolle | Es werden an Land Länge, Breite und Höhe des Bootes an 5 gleichmäßig über die Länge des Bootes verteilten Stellen von Hand gemessen. | <ul style="list-style-type: none"> • Länge Regatta-Tretboot <6m ja/nein? • Breite <Länge ja/nein? • Höhe des Regatta-Tretbootes? |
| TC_03 | Auftrieb, Tiefgang Nutzlast | Das Boot wird mit einer Nutzlast (0,3*0,40*35, 50kg) und 2 Testpersonen (je 100kg- aus Sicherheitsgründen können auch stellvertretend 2 Gewichte genutzt werden) beladen. Die Höhe des Bootes über der Wasserlinie wird von Hand an den 5 Messpunkten der Maßkontrolle gemessen. Die maximale Differenz von Höhe des Bootes und Höhe über der Wasserlinie entspricht dem Tiefgang | <ul style="list-style-type: none"> • (Differenz Höhe und Höhe Überwasser) <1,2m ja/nein? • Boot schwimmt ja/nein? • Nutzlast passt an vorgesehene Stelle ja/nein? • Nutzlast wird gesichert ja/nein? |
| TC_04 | Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsmessung | Das Boot beschleunigt durch die Leistung von 2 Fahrern über 10 Meter. Der Test wird bei ruhiger See durchgeführt. Die Fahrer stellen pro Person 1000 Watt in den ersten 3 Sekunden zur Verfügung, danach 500 Watt. Gemessen wird die Zeit zwischen Startsignal und vollständigem Überfahren von den imaginären Linien nach 10 und 15 Metern. Parallel wird durch ein am Boot befestigtes Gerät die Geschwindigkeit über die Zeit aufgezeichnet. | <ul style="list-style-type: none"> • $t(x=10m) < 2,9s$ ja/nein? • $v(t=2,6s) = 8m/s$ ja/nein? |
| TC_05 | Sichtkontrolle Personenaufnahme und Antrieb | Es wird optisch überprüft, ob folgende Anforderungen erfüllt sind: Personenaufnahme für div. Körpergrößen geeignet, Fläche für Sponsorlogo vorhanden. Antriebsleistung wird aus Muskelkraft generiert. Antriebsleistung wird zu über 50% aus den Beinmuskeln generiert. Das Boot wird ohne Energiespeicher betrieben. | <ul style="list-style-type: none"> • Körpergrößen geeignet 1,60m-2,10m Ja/nein? • Sponsorfläche > 0,5x0,25m² ja/nein? • Antrieb aus Muskelkraft ja/nein? • Antriebskraft aus Beinmuskeln ja/nein? • Antrieb ohne Energiespeicher ja/nein? |
| TC_06 | Zustiegsprüfung | Das Boot wird von 2 Personen von Land aus bestiegen. Die Personen nehmen Platz und prüfen die Zugänglichkeit zu Lenk- und Brems-einrichtung. | <ul style="list-style-type: none"> • Boot kann von Steg betreten werden ja/nein? • Brems-einrichtung zugänglich ja/nein? • Lenkeinrichtung zugänglich ja/nein? |

Tabelle 6: Auswahl einiger Verifikationstests

TC_01 bis TC_03 und TC_05 sind Tests der Kategorie „Akzeptanztest“, TC_04 gehört zu der Kategorie „Betriebstest“. Aus Platzgründen ist auf die Zuordnung der Hierarchieebene des Systems verzichtet worden. Die Zuordnung des Tests zum Untersuchungsgegenstand wird durch Abbildung 23 realisiert. Wie in Tabelle 6 zu sehen, werden sowohl genaue Messwerte überprüft, als auch objektive Prüfaspekte.

| Legend | | Anforderungen | | |
|---|---|---------------|-------|-------|
| ↗ Verify | | | | |
| | | TC_03 | TC_05 | TC_06 |
| [-] Anforderungen | | 4 | 5 | 3 |
| [-] Funktionale Anforderungen | | 3 | 2 | 1 |
| [R] PA_02 Personen aufnehmen | 1 | | ↗ | |
| [R] PA_03 Sponsorfläche | 1 | | ↗ | |
| [R] PA_04 Auf Trailer geladen werden | | | | |
| [R] PA_05 An Steg/Ufer befestigen | | | | |
| [R] PA_06 Von Steg/Ufer betreten | 1 | | | ↗ |
| [R] PA_07 Vom Steg/Ufer ins Wasser lassen | | | | |
| [R] PA_08 Auftrieb erzeugen | 1 | ↗ | | |

Abbildung 24: Verknüpfung der Produkthanforderungen mit den Verifikationstests

Im Test TC_01 „Gewichtsmessung“ wird zunächst überprüft, ob Schnittstellen für den Transport des Regatta-Tretbootes vorhanden sind. Im Anschluss wird das Gewicht überprüft, welches pro Schnittstelle beim Transport anfällt.

Jeder Test ist mit dem von ihm nachzuweisenden Produkthanforderungen verknüpft. Dafür werden die Verifikationstests in einer Beziehungsmatrix im SysML Programm mit „verify“ (überprüfen) verknüpft. Dies ist beispielhaft in Abbildung 24 zu sehen. In den Zeilen sind die Produkthanforderungen aufgelistet, in den Spalten die Tests, durch die die Anforderungen verifiziert werden. In diesem Fall werden die Produkthanforderungen PA_02 „Personen aufnehmen“ und PA_03 „Sponsorfläche“ durch den Verifikationstest TC_05 „Sichtkontrolle Personenaufnahme und Antrieb“ verifiziert. Die PA_08 „Auftrieb erzeugen“ wird durch den TC_03 „Auftrieb, Tiefgang, Nutzlast“ verifiziert.

5.2.4 Funktionsanalyse

Für die Funktionsanalyse werden vorrangig die funktionalen Anforderungen betrachtet. Zur Übersichtlichkeit wird die funktionale Architektur auf die Liefereinheit „Regatta-Tretboot“ reduziert. Die restlichen Liefereinheiten stellen jedoch ebenso Funktionen zur Verfügung, die betrachtet werden können. Mit Hilfe der Awf und dem Feld „Key Functions“ aus dem SF werden die Kernfunktionen des Regatta-Tretbootes herausgearbeitet. Diese sind: „vorwärts/rückwärts fahren“, „Fahrer aufnehmen“, „Last aufnehmen“, „Transportiert werden“, „Gelagert werden“ und „Repräsentieren“.

„Transportiert werden“ und „Gelagert werden“ sind keine Funktionen des Regatta-Tretbootes selbst, sondern Funktionen die an dem Regatta-Tretboot ausgeübt werden. Da das Regatta-Tretboot Unterfunktionen durchführen muss, damit diese Funktionen ausgeführt werden können, werden sie als Funktionen mitbetrachtet.

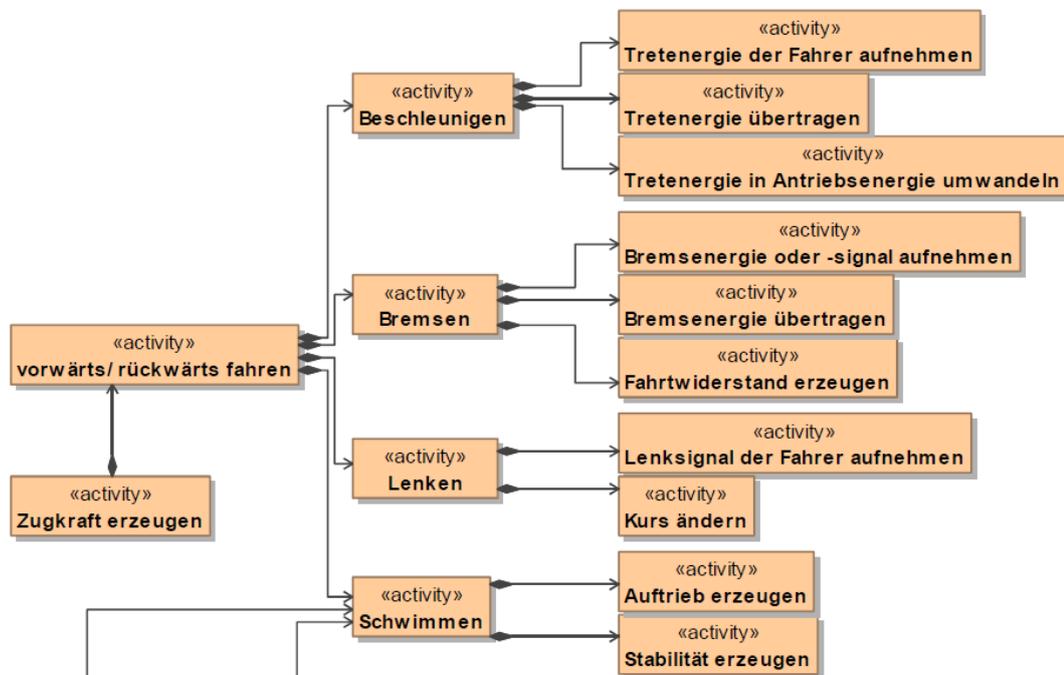


Abbildung 25: Auszug aus der funktionalen Architektur des Systems Regatta-Tretboot

Um die Unterfunktionen zu identifizieren, wird zu jeder Funktion die Frage gestellt, wie diese vom Regatta-Tretboot realisiert wird. Diese Frage wird so lange gestellt, bis die als nötig erachtete Tiefe der Architektur erreicht ist. Ein Auszug aus der funktionalen Architektur ist in Abbildung 25 dargestellt. Die gesamte Architektur ist Anhang 12 zu entnehmen. Die Kernfunktion „vorwärts/rückwärts fahren“ wird dabei in die vier Unterfunktionen „Beschleunigen“, „Bremsen“, „Lenken“ und „Schwimmen“ unterteilt. Die Unterfunktion „Schwimmen“ wird von zwei weiteren Funktionen als Unterfunktion eingeordnet, dies ist an den Pfeilen, die der Funktion zugeführt werden zusehen. Die Unterfunktionen werden in eine weitere, dritte

Ebene runtergebrochen. Die Funktionen der dritten Ebene realisieren die Funktionen der zweiten Ebene.

Für die Rückverfolgbarkeit und um die Vollständigkeit zu prüfen, werden die Funktionen mit den Produkthanforderungen mit „satisfy“ (erfüllen) verknüpft. Die Funktionen erfüllen die Produkthanforderungen. Ein Ausschnitt der Verknüpfungsmatrix ist in Abbildung 26 dargestellt. In den Zeilen sind die funktionalen Produkthanforderungen aufgelistet, in den Spalten die Funktionen aus der funktionalen Architektur. Beispielsweise wird die funktionale Anforderung PA_09 „Beschleunigung 100m Sprint“ durch die Funktion „Beschleunigen“ erfüllt. Die Funktion „Beschleunigen“ erfüllt ausserdem die PA_12 „Beschleunigung 10m Beschleunigungsrennen“ und die PA_13 „Beschleunigung Langstreckenrennen“.

Die vollständige Matrix ist in Anhang 13 zu finden. Um festzustellen, ob die funktionale Architektur vollständig ist, kann in der Matrix überprüft werden, ob jede funktionale Anforderung mit mindestens einer Funktion verknüpft ist und ob diese Funktion ausreicht, die Anforderung zu erfüllen.

| Legend | | Funktionen [Funktionale Archite | | | | | | | |
|--|---|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Satisfy ✗ Multiple criteria | | Ablagefläche bereitst... | Auf einem Trailer bef... | Auf einen Trailer oder... | Auf Körpergröße anp... | Aufmerksamkeit erre... | Auftrieb erzeugen..... | Beschleunigen..... | Bremsen..... |
| <ul style="list-style-type: none"> [-] Funktionale Anforderungen [-] PA_02 Personen aufnehmen [-] PA_03 Sponsorfläche [-] PA_04 Auf Trailer geladen werd [-] PA_05 An Steg/Ufer befestigen [-] PA_06 Von Steg/Ufer betreten [-] PA_07 Vom Steg/Ufer ins Was [-] PA_08 Auftrieb erzeugen [-] PA_09 Beschleunigung 100m S [-] PA_10 Fahren 100m Sprint [-] PA_12 Beschleunigung 10m Be [-] PA_13 Beschleunigung Langstre | | | | 2 | | 3 | 5 | 1 | |
| | 2 | | | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | | |
| | 1 | | ✓ | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | |
| | 1 | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | ✓ | | | |
| | 2 | | | | | | ✓ | | |
| | 2 | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | ✓ | | |
| | 2 | | | | | | ✓ | | |

Abbildung 26: Ausschnitt - Verknüpfung der Funktionen zu den funktionalen Anforderungen

5.2.5 Logische Systemstruktur

Der SF gibt durch die Key-Components (Kernkomponenten) und Key-Deliverables (Kernliefereinheiten) logische Systemelemente vor. Zur Übersichtlichkeit werden die Elemente durch systematisches Vorgehen logisch verknüpft und hierarchisch dargestellt. Um die logischen Systemelemente mit den weiteren Ergebnissen, wie der funktionalen Architektur zu verknüpfen, werden dafür die Elemente der beiden SF-Felder in das SysML Programm übernommen und in einem Block Definition Diagramm verknüpft.

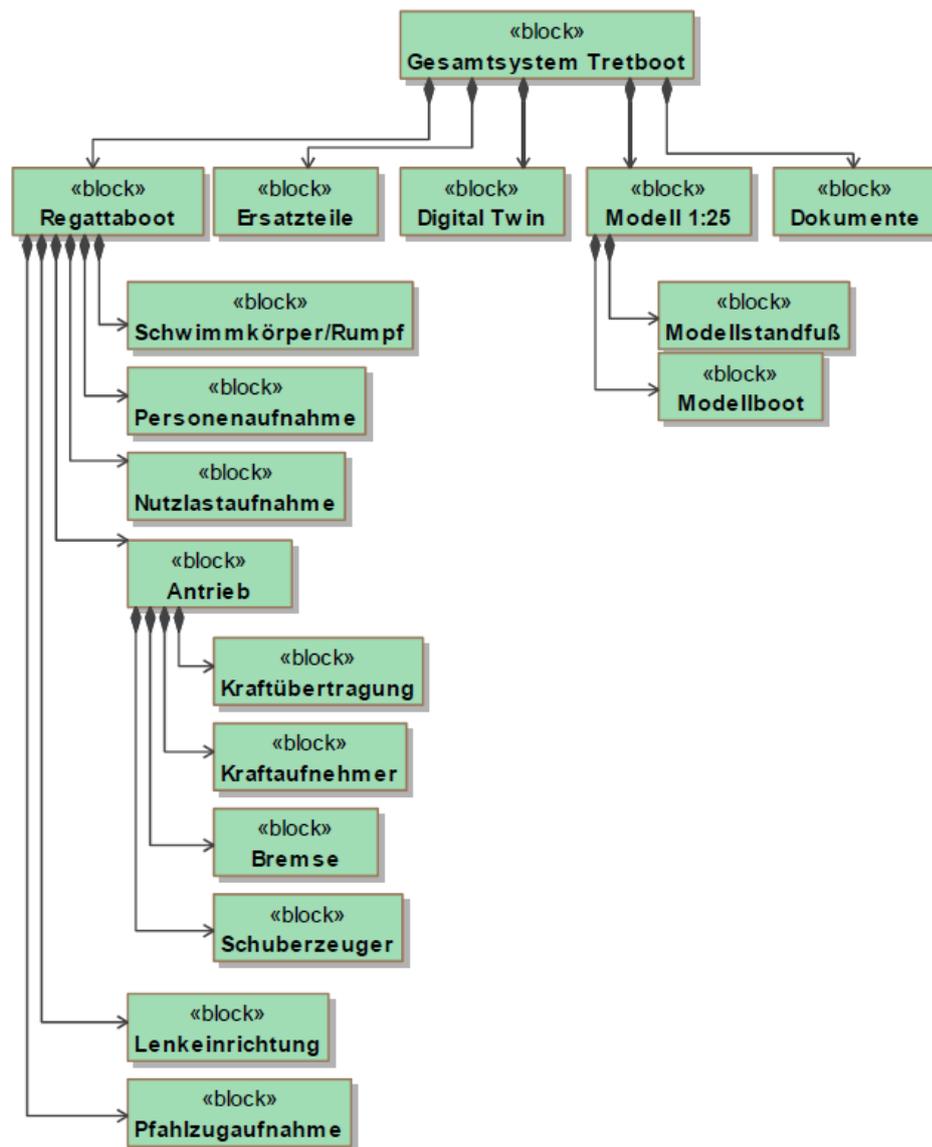


Abbildung 27: Logische Systemstruktur

Das Ergebnis der logischen Systemstruktur des SF ist in Abbildung 27 dargestellt. Das „Gesamtsystem Tretboot“ stellt dabei den Lieferumfang des Produktes an den Kunden dar. Dieser enthält das „Regatta-Tretboot“ selbst sowie „Ersatzteile“, den „Digital Twin“, das „Modell 1:25“ und „Dokumente“.

Das System Regatta-Tretboot lässt sich in die Subsysteme „Personenaufnahme“, „Antrieb“, „Pfahlzugaufnahme“, „Schwimmkörper/Rumpf“, „Nutzlastaufnahme“ und „Lenkeinrichtung“ unterteilen. Der „Antrieb“ ist in weitere Subsysteme unterteilt. Bei der Bezeichnung der Systemelemente ist besonders darauf zu achten, dass sie lösungsneutral formuliert ist. Ein Beispiel dafür ist „Personenaufnahme“ anstatt z.B. einer „Sitzschale“ oder „Kraftaufnehmer“ anstatt von z.B. „Pedalen“.

In der Verknüpfungsmatrix der logischen Systemstruktur mit den Funktionen wird dargestellt, welche logischen Systemelemente welche Funktionen realisieren. Kann eine Funktion keinem logischen Systemelement zugeordnet werden, muss die logische Systemstruktur ergänzt werden. Ist ein logisches Systemelement keiner Funktion zuzuordnen, wird geprüft, ob das logische Systemelement unverzichtbar ist oder ob eine weitere Funktion der funktionalen Architektur hinzugefügt werden muss.

Ein Auszug der Verknüpfungsmatrix ist in Abbildung 28 dargestellt. In den Zeilen sind die Funktionen dargestellt, in den Spalten die logischen Systemelemente. Die Funktion „Beschleunigen“ wird von den logischen Systemelementen „Antrieb“ und seinen Subsystemen „Kraftaufnehmer“, und „Kraftübertragung“ realisiert. Zusätzlich wird der Fahrer als externes System für die Funktion „Beschleunigen“ benötigt. Die vollständige Verknüpfungsmatrix befindet sich in Anhang 14.

| Legend | | Logische Systemstruktur | | | | | | |
|--|--|-------------------------|--------|--------------|--------|----------|----------------|------------------|
| ↗ Realization | | Antrieb | Bremse | Digital Twir | Fahrer | Nutzlast | Kraftaufnehmer | Kraftübertragung |
| Funktionen | | 5 | 4 | | 3 | | 4 | 3 |
| Ablagefläche bereitstellen | | | | | | | | |
| Auf einem Trailer befestigt werden | | | | | | | | |
| Auf einen Trailer oder von einem Trailer | | | | | | | | |
| Auf Körpergröße anpassen | | | | | | | | |
| Aufmerksamkeit erregen | | | | | | | | |
| Auftrieb erzeugen | | | | | | | | |
| Beschleunigen | | 4 ↗ | | | 1 ↗ | | ↗ | ↗ |

Abbildung 28: Verknüpfung der logischen System Elemente mit den zu realisierenden Funktionen

Um die nichtfunktionalen Produktanforderungen mit den logischen Systemelementen zu verknüpfen, wird ebenfalls eine Beziehungsmatrix erstellt. Die nichtfunktionalen Produktanforderungen werden auf möglichst tiefer Ebene mit

dem logischen System Element verknüpft. Sie werden auf der Ebene verknüpft, auf der eine Produkthanforderung genau einem Systemelement zugeordnet werden kann.

| Legend | | Logische Systemstruk... | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-------------------------|---------|--------|----------|------------------|------------------|-------------|---------------|---------------------|
| Satisfy | | Antrieb | Brem... | Fahrer | Nutzlast | Personenaufnahme | Pfahlzugaufnahme | Regattaboot | Schuberzeuger | Schwimmkörper/Ru... |
| Anforderungen | | 3 | 1 | | 4 | 1 | | 61 | | 2 |
| Nicht-funktionale Anforderungen | | 3 | 1 | | | | | 27 | | |
| PA_01 Transportlast pro Person | | 1 | | | | | | ✓ | | |
| PA_11 Erfüllung Regelwerk IWR | | 1 | | | | | | ✓ | | |
| PA_48 Anteil Antriebskraft aus B... | | 1 | ✓ | | | | | | | |
| PA_49 Antrieb ohne Energiespeic... | | 1 | ✓ | | | | | | | |

Abbildung 29: Beziehung zwischen den nichtfunktionalen Produkthanforderungen und der logischen Systemstruktur

In Abbildung 29 ist ein Auszug dieser „satisfy“ („erfüllen“) -Beziehungen dargestellt. Die nichtfunktionalen Produkthanforderungen PA_48 „Anteil Antriebskraft aus Beinen“ und PA_49 „Antrieb ohne Energiespeicher“ werden vom logischen Systemelement „Antrieb“ erfüllt. Die vollständige Matrix ist in Anhang 15 zu finden. Die funktionalen Anforderungen sind über ihre Verknüpfung zu den Funktionen ebenfalls mit den logischen Systemelementen verknüpft.

Die Verknüpfung zu den Produkthanforderungen hilft ebenfalls dabei, die Vollständigkeit der logischen Systemstruktur zu überprüfen. Können Produkthanforderungen keinem logischen Systemelement zugeordnet werden, wird die Notwendigkeit eines weiteren Systemelements geprüft. Sind die Anforderungen mit einem logischen Systemelement verknüpft, wird die Ebene betrachtet, der das logische Systemelement zugeordnet ist.

In Abbildung 30 ist die logische Systemstruktur für das Subsystem „Regatta-Tretboot“ dargestellt. Wird diese mit der Verknüpfungsmatrix zu den nichtfunktionalen Anforderungen verglichen, fällt auf, dass ein großer Anteil der Anforderungen mit dem System „Regatta-Tretboot“ auf Ebene 1 verknüpft ist. Dies ist der Fall, wenn eine Anforderung durch mehrere logische Systemelemente der Ebene 2 erfüllt wird. Um zu prüfen, ob auf Ebene 2 die logischen Systemelemente vollständig berücksichtigt wurden, werden die Produkthanforderungen in untergeordnete Produkthanforderungen abgeleitet. Dies wird solange durchgeführt,

bis jede untergeordnete Produkthanforderung nur noch einem Element der Ebene 2 zugeordnet ist.

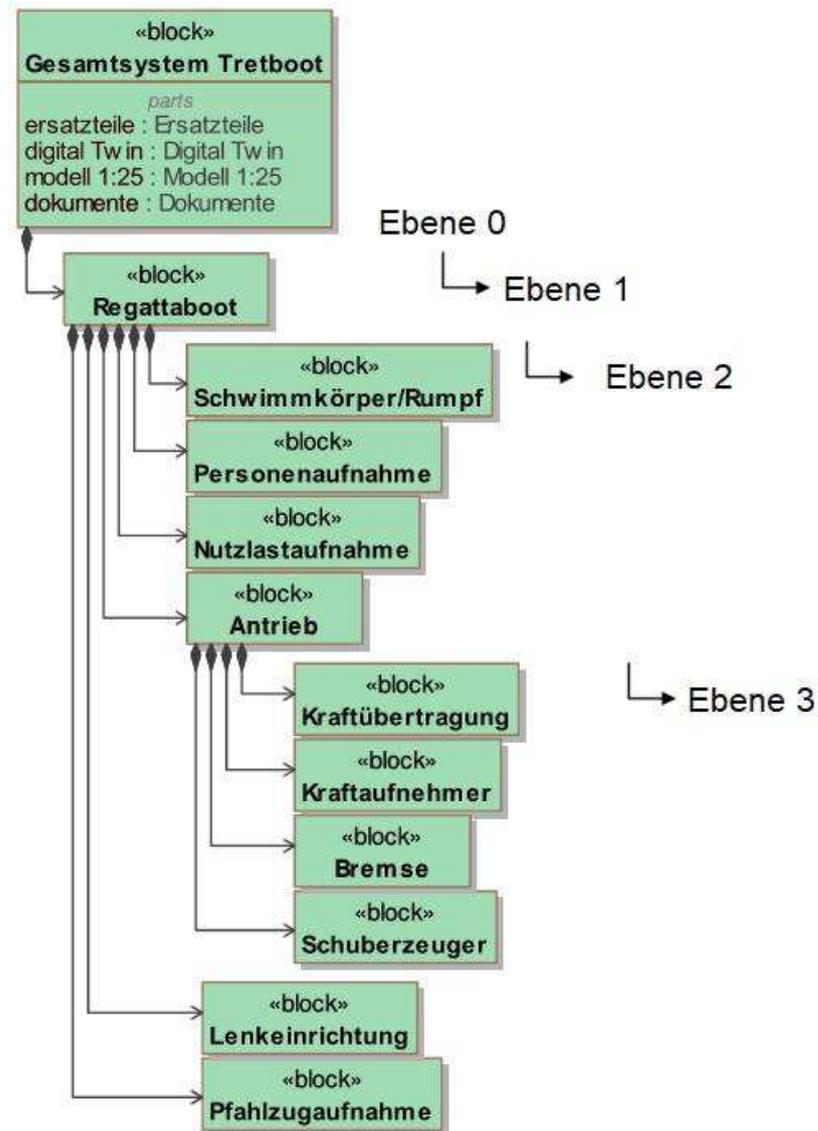


Abbildung 30: Logische Systemstruktur Regatta-Tretboot

Beispielhaft wird dies an der Funktion PA_62 „Platzierung 100m Sprint“ durchgeführt. Die nichtfunktionale Produkthanforderung wird vom System „Regatta-Tretboot“ auf der Ebene 1 erfüllt. Mit den Ergebnissen der IWR 2017 bedeutet dies, dass das Regatta-Tretboot den Wettkampf „100m Sprint“ in unter 21,9 Sekunden absolvieren muss.

Die PA_62 lässt sich in die funktionalen Produkthanforderungen PA-08 „Auftrieb erzeugen“, PA_10 „Fahren 100m Sprint“, PA_09 „Beschleunigen 100m Sprint“ und PA_30 „Kurs halten“ ableiten. Die Produkthanforderungen PA_09 und PA_10 werden ebenfalls durch das logische Systemelement „Regatta-Tretboot“ auf Ebene 1 erfüllt. Daher müssen diese Anforderungen weiter abgeleitet werden. Die

Struktur der Anforderungen ist in Abbildung 31 dargestellt. Die abgeleiteten Anforderungen PA_103 und PA_102 werden vom logischen Systemelement „Schwimmkörper/ Rumpf“ erfüllt, die PA_100 vom logischen Systemelement „Antrieb“. Da beide logischen Systemelemente der Ebene 2 zugeordnet sind, werden die Anforderungen nicht weiter aufgebrochen.

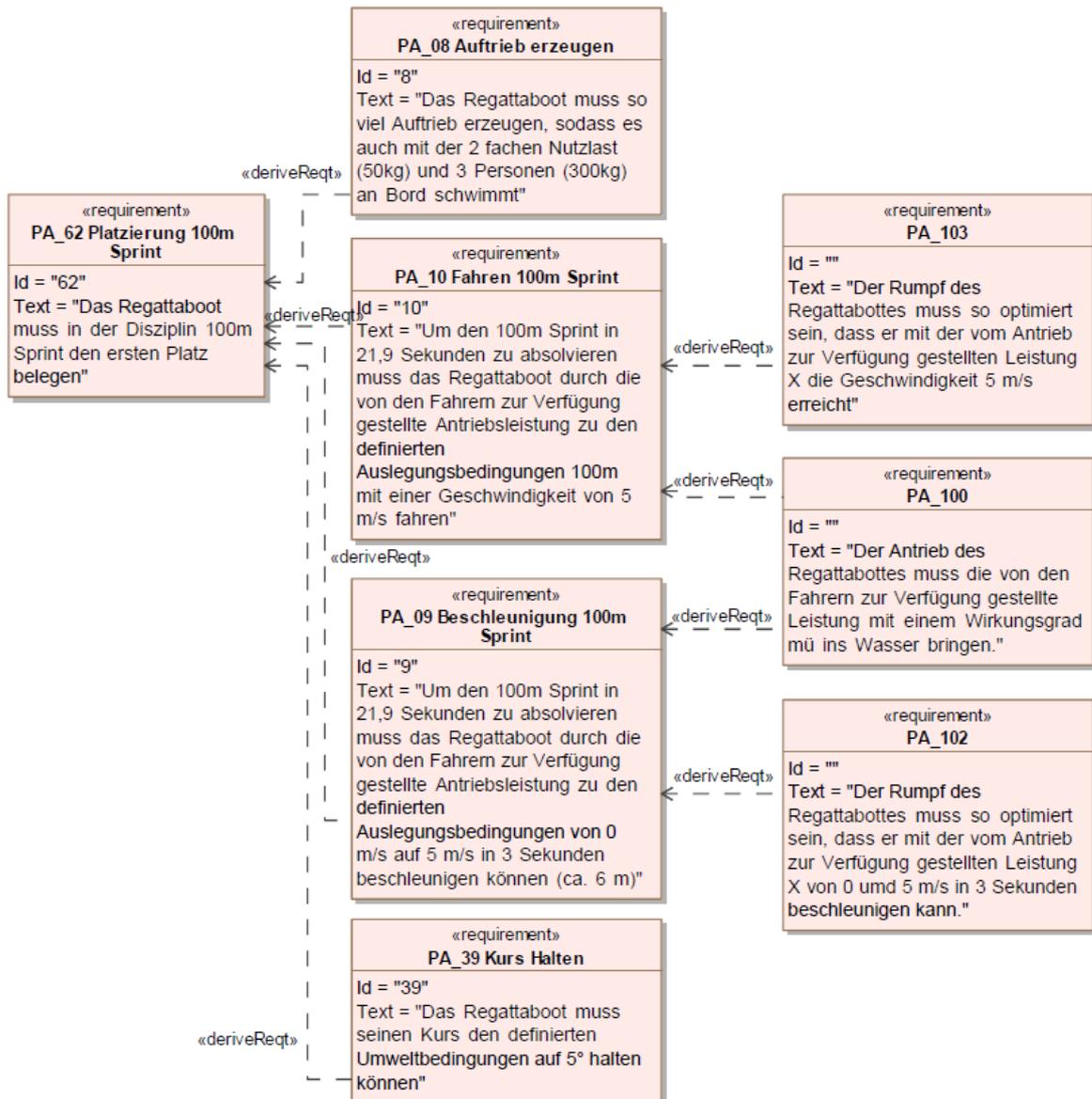


Abbildung 31: Anforderungsstruktur PA_62 Platzierung 100m Sprint

5.2.6 Verknüpfung der Ergebnisse

Jede Produktanforderung ist mit einer Kundenanforderung und/oder einem Aufwand verknüpft, sowie mit einem logischen Systemelement (bei nichtfunktionalen Anforderungen), einer Funktion (bei funktionalen Anforderungen) und z.T. einem Verifikationstest. Diese Verknüpfungen lassen sich in einem

Anforderungsdiagramm darstellen. Für die Produkthanforderung PA_02 „Personen aufnehmen“ ist die Gesamtheit der Verknüpfungen beispielhaft in Abbildung 32 dargestellt. Ebenso wie die Funktionen, lassen sich die funktionalen Anforderungen in eine hierarchische Struktur verknüpfen. Der Vollständigkeit halber wurden in dem Anforderungsdiagramm ebenfalls der PA_02 untergeordnete Anforderungen zugeordnet.

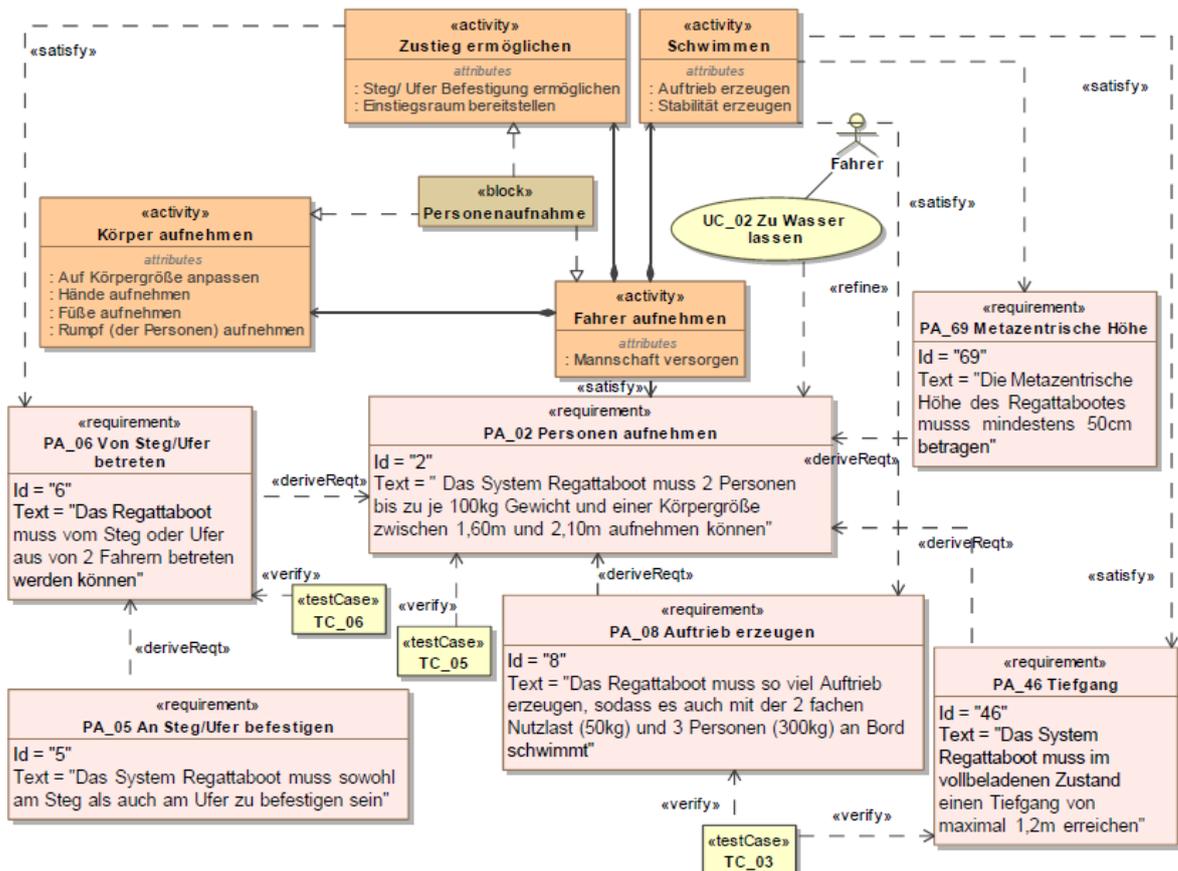


Abbildung 32: Verknüpfte Elemente der PA_02 Personen aufnehmen

Die funktionale Produkthanforderung PA_02 „Personen aufnehmen“ geht aus dem Aufw UC_02 „zu Wasser lassen“ hervor, bei dem der Fahrer eine ausführende Rolle spielt. Sie wird von dem logischen Systemelement „Personenaufnahme“ durch die Funktion „Fahrer aufnehmen“ erfüllt. Untergeordnete funktionale und nichtfunktionale Produkthanforderungen sind die PA_06 „Vom Steg/Ufer betreten“, die PA_08 „Auftrieb erzeugen“, die PA_69 „Metazentrische Höhe“ und die PA_46 „Tiefgang“. Zur Verifikation der PA_02 wird der Verifikationstest TC_05 „Sichtkontrolle Personenaufnahme und Antrieb“ genutzt. Die Erfüllung der untergeordneten Anforderungen PA_06, PA_08 und PA_46 werden durch die Verifikationstests TC_06 und TC_03 geprüft. Die unter der Funktion „Fahrer“ untergeordneten Funktionen erfüllen Produkthanforderungen, die der PA_02 „Personen aufnehmen“ untergeordnet sind.

5.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird die Durchführung der Methoden des Kapitels 3 am Beispiel „Regatta-Tretboot für die IWR“ beschrieben. Nach der SA des Regatta-Tretbootes, wurde der SF mit 8 Teilnehmern in einem Workshop durchgeführt. Jedes Feld konnte mit bis zu 12 Stichpunkten gefüllt werden. Die SA bietet zur Füllung des SF gute Anhaltspunkte. Die Stichpunkte des SF werden in die Lastenheftvorlage des SF übernommen und in Kundenanforderungen und Awf überführt. Die Kundenanforderungen und Awf werden mit eindeutigen Identifikationsnummern versehen und ins SysML-Programm übernommen. Um messbare Anforderungen für die Regattawettkämpfe zu erhalten, werden die Anforderungen anhand der Ergebnisse der IWR 2017 definiert. Das Regatta-Tretboot wird in einem Leistungsprofil mit den ersten drei Siegern der IWR 2017 in Relation gesetzt.

Die Beziehungen zwischen den Awf werden in einem Activity Diagram mit SysML dargestellt. Das Diagramm zeigt die Reihenfolge der Awf auf. Anhand der Awf und der Kundenanforderungen werden eindeutig definierte Produkthanforderungen abgeleitet. Diese werden in der weiteren Vorgehensweise iterativ ergänzt. Die Produkthanforderungen werden in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen unterteilt. Wünsche sind keine unter den Produkthanforderungen. Die Produkthanforderungen werden in einer SysML-Matrix mit den Kundenforderungen und Awf verknüpft. Beispielhaft werden 5 Verifikationstests zur Verifikation einiger Produkthanforderungen definiert und mit den Produkthanforderungen verknüpft.

Aus den funktionalen Anforderungen werden Funktionen abgeleitet und mit SysML in einer funktionalen Architektur strukturiert. Die Unterfunktionen realisieren die übergeordnete Funktion. Diese Funktionen werden in einer Matrix mit den funktionalen Produkthanforderungen verknüpft. Mit Hilfe des SF und der funktionalen Architektur wird iterativ eine logische Systemstruktur entwickelt. Die Funktionen werden mit den logischen Systemelementen und den nichtfunktionalen Produkthanforderungen verknüpft. Kann einer nichtfunktionalen Produkthanforderung kein logisches Systemelement zugeordnet werden, wird die logische Systemstruktur ergänzt. Die Produkthanforderungen werden an einem Beispiel in untergeordnete Produkthanforderung abgeleitet, um sie genau einem logischen Systemelement zuordnen zu können. Um die Verknüpfungen übersichtlich aufzuzeigen, werden diese in einem Anforderungsdiagramm am Beispiel der PA_02 „Personen aufnehmen“ dargestellt.

6 Bewertung

Die angewandten Methoden werden hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf das PS eines Marineschiffes bewertet.

6.1 Systemabgrenzung

Durch Festlegen der Systemgrenze und Identifizierung externer Systeme konnten Schnittstellenanforderungen, wie zum Beispiel Transportschnittstellen definiert werden. Die SA hat die Definition der Schnittstellenanforderung erleichtert. Die Vollständigkeit der betrachteten Systeme kann iterativ durch Betrachtung der Awf und der funktionalen Architektur überprüft werden.

Die Betrachtung der Schnittstellen spielt im Marineschiffbau eine große Rolle. Bordeinsatzkomponenten, wie beispielsweise ein Hubschrauber oder Missionsmodule (z.B. Krankenhauscontainer) werden vom Kunden beigestellt, stellen aber eine Vielzahl an Anforderungen an das PS. Diese müssen im Produktentwicklungsprozess berücksichtigt werden. Um die Schnittstellen zu externen Systemen vollständig zu definieren, sollte die SA ebenso für das PS durchgeführt werden. Aufgrund der Vielzahl der Systeme des PS empfiehlt es sich, die Schnittstellenabgrenzung für das PS jeweils für die Systeme auf den Ebenen HBA, BA, HBGr und BGr durchzuführen. Dies erleichtert den Austausch physikalischer Lösungen bei der Überführung vergangener Produktentwürfe auf aktuelle Projekte.

6.2 System Footprint

Insgesamt ist die Methode SF sehr gut bei den Teilnehmern angekommen. Der SF macht die Verbindung zwischen den Systemen und Anforderungen sichtbar und schafft einen guten Überblick über das SOI. Durch die Nutzung von Klebezetteln und die interaktive Einbindung der Teilnehmer entsteht ein lebendiges Dokument. Es werden verschiedene Sichtweisen berücksichtigt und der Workshop regt zur Diskussion an. Die zeitliche Vorgabe von 2,5 Std war, selbst für ein System dieser geringen Komplexität, sehr knapp.

Ein weiteres Problem ist, dass nicht eindeutig definiert wurde, auf welcher Abstraktionsebene das System betrachtet wird. Dies sollte in einem Vorschritt genauer geklärt werden. Für das PS muss beispielsweise festgelegt werden, ob es sinnvoll ist, ein System auf Höhe der HBGr, BGr oder detaillierter zu betrachten.

In der ersten Phase des Workshops kann jeder Teilnehmer den SF kompromisslos befüllen. Durch unterschiedliche Ansätze und Formulierungen der Teilnehmer kommen zu diesem Zeitpunkt inhaltliche Doppelungen zustande, die zu einem späteren Zeitpunkt aufgedeckt und zusammengefasst werden. Diese Doppelnennungen simulieren vor ihrer Zusammenlegung eine ungewollte Gewichtung der Wertigkeit für das Gesamtsystem, die je nach Konstellation der Teilnehmer variieren kann. Es muss darauf geachtet werden, dass dies keinen Einfluss auf die Bewertung der Anforderungen hat.

Unklar war die Abgrenzung zwischen den Themenfeldern „Technical Constraints“ und „Stakeholder Constraints“. Diese Punkte sind aus Sicht der Teilnehmer nicht zu trennen. Ein Verbesserungsvorschlag ist, auf der linken Seite statt „Technical Constraints“ „Nichtfunktionale Anforderungen“ zu sammeln, und rechts weiterhin die „Stakeholder Constraints“. Bevor man die „Stakeholder Constraints“ sammelt, ist es außerdem sinnvoll, die Stakeholder zu definieren und zu identifizieren.

Für den weiteren Entwurfsprozess ist es zukünftig sinnvoll, Zwischenstände des SF zu dokumentieren. Einige Klebezettel enthielten Stichpunkte, die keine Kerneigenschaft des Produktes darstellen. Diese können jedoch zu einem späteren Zeitpunkt, in einer detaillierteren Entwicklungsphase, hilfreich werden. Ein Beispiel dafür ist „Versicherung für Crew und Material/Transport“. Dieser Stichpunkt ist für den SF aussortiert worden, ist aber ein guter Hinweis für die Erstellung der Prozessanforderungen. Der Stichpunkt „Links-/Rechtshänder“ wurde nicht in den SF übernommen. Bei der Auslegung der Personenaufnahme, der Lenkeinrichtung und der Bremse ist dies jedoch ein wichtiger Hinweis.

Positiv fällt auf, dass das Produkt schon in einem hohen Detaillierungsgrad niedergeschrieben wird. Durch den Workshop werden viele Aspekte berücksichtigt und inhaltlich scheint das Lastenheft die Anforderungen vollständig zu beschreiben. Schwierig ist die fehlende Einteilung der Ebenen bei dem hohen Detaillierungsgrad. So sind bei dem Feld „Key Components“ bereits Elemente des Antriebs auf detaillierter Ebene genannt worden. Die Lenkeinrichtung beispielsweise, wurde noch nicht bis auf die gleiche Ebene abgeleitet. Beim Erstellen des SF ist daher darauf zu achten, dass Ebene für Ebene sauber abgeleitet wird und der Detaillierungsgrad der Ausführungen einheitlich ist.

Insgesamt scheint die Methode geeignet zu sein, sie auf das PS anzuwenden und einen Mehrwert zu bieten. Auf der Ebene der HBA ist das Produkt jedoch zu komplex, um es in seiner Breite mit dem SF abzubilden. Es ist vorstellbar, den SF auf die Ebene der BA oder der HBGr anzuwenden. Um dies zu bestätigen sollte das Unternehmen die Methode an einem System der HBGr testen.

6.3 Anforderungsanalyse

Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse für das Regatta-Tretboot werden mit dem Produktentwicklungsprozess des PS im Marineschiffbau verglichen, um die Eignung der Methoden der Anforderungsanalyse für das PS festzustellen.

Der Umfang der Kundenanforderungen an ein Marineschiff hängt stark vom Kunden ab, liegt aber bei mehreren tausend Kundenanforderungen. Der größte Anteil der Anforderungen fällt dabei auf das ES. Die restlichen Anforderungen teilen sich auf das PS sowie Service und Prozesse auf. Je nach Kunde, kann ein Großteil der Anforderungen bereits als nichtverhandelbare Produkthanforderungen gestellt sein und damit sehr detaillierte Lösungen vorgeben.

Es soll bewertet werden, ob sich die Anforderungsanalyse so, wie sie für das Regatta-Tretboot durchgeführt wurde, für das PS eignet. Dafür wird beispielhaft verglichen, welche Systeme, Awf und Funktionen des Regatta-Tretbootes auf das PS übertragbar sind und welche elementaren Systeme, Awf und Funktionen für die Betrachtung des PS fehlen.

6.3.1 Anwendungsfalldiagramm

Das Anwendungsfalldiagramm gibt einen Überblick über die Awf des Regatta-Tretbootes und eignet sich, um systematisch Projektanforderungen abzuleiten. Die Betrachtung der Awf des Regatta-Tretbootes hat dazu beigetragen, die Produkthanforderungen ganzheitlich zu entwickeln. Durch Verknüpfung der Produkthanforderungen mit den Awf und den Funktionen, sind sekundär Funktionen von Awf abgeleitet worden. Die Awf zu betrachten hilft, den Fokus der Produktentwicklung auf die Kundenbedürfnisse zu legen.

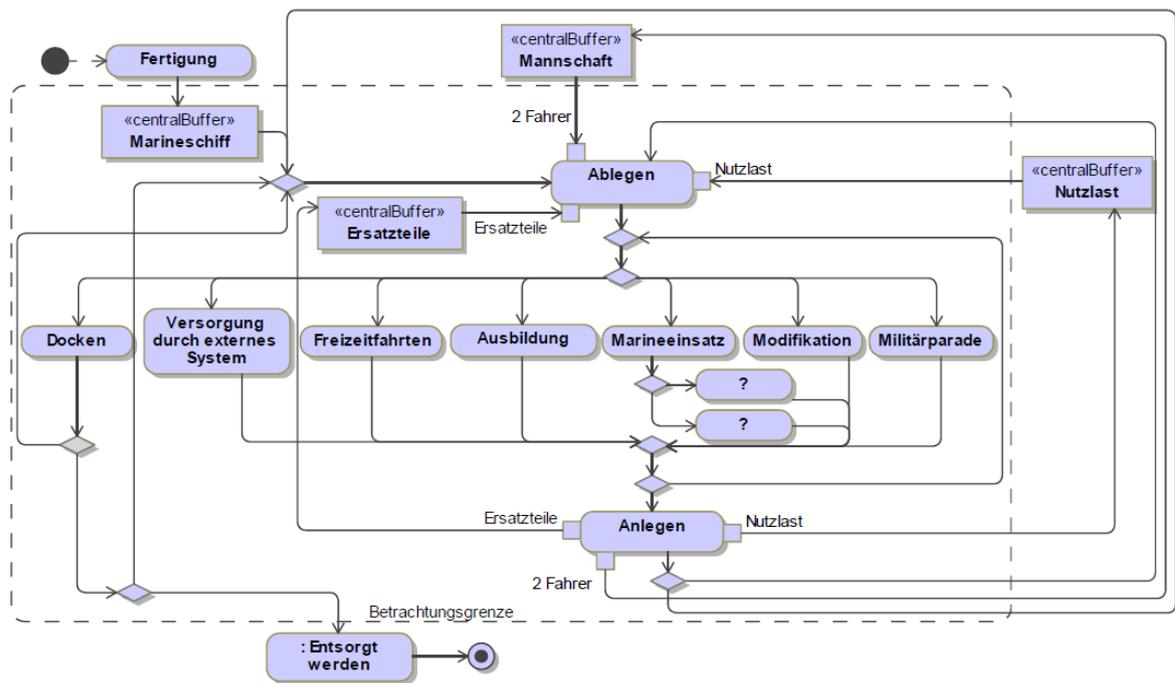


Abbildung 33: Übertragung des Anwendungsfalldiagramms des Regatta-Tretbootes auf das PS eines Marineschiffes

Es fällt auf, dass die Liefereinheiten „Digital Twin“ und das „Modell 1:25“ (KA_08, KA_09) mit keinem Awf verknüpft sind. Das könnte bedeuten, dass die Awf nicht vollständig definiert wurden oder dass beide Liefereinheiten nicht notwendig sind und aus dem Lieferumfang gestrichen werden können. Die Betrachtung der Anwendungsfälle bezieht sich lediglich auf das Regatta-Tretboot. Das „Modell 1:25“ ist für einen Anwendungsfall des Sponsors wie z.B. „Image aufbessern“ gedacht. Bei diesem macht der Sponsor seine Kunden durch das Modell auf die Unterstützung von studentischen Projekten aufmerksam. Der „Digital Twin“ wurde ebenfalls durch den Kunden gefordert. Der Anwendungsfall ist hier nicht klar, daher sollte Rücksprache mit dem Kunden gehalten werden.

In Abbildung 33 wurde das Anwendungsfalldiagramm des Regatta-Tretbootes beispielhaft auf das PS eines Marineschiffes übertragen. Vergleicht man das Anwendungsfalldiagramm des Regatta-Tretbootes in Abbildung 22 mit dem des PS in Abbildung 33, ergeben sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch

Unterschiede. Die beiden Anwendungsfalldiagramme sind in Abbildung 34 gegenübergestellt. Das PS ist blau dargestellt, das Regattaboot grün. Gemeinsamkeiten sind rot dargestellt. Betrachtet man ausschließlich die Awf des PS nach Abgabe des Marineschiffes, entfällt der Awf „Transportieren“. „Einlagern“ ist bei einem Marineschiff ebenfalls kein üblicher Awf. „Zu Wasser Lassen“ und „Aus dem Wasser Holen“ finden bei einem Marineschiff jeweils nur ein einziges Mal statt, dies ist aber außerhalb der betrachteten Anwendungsfälle im Zuge der „Fertigung“ oder des „Entsorgt werden“. Es ist davon auszugehen, dass sich die Anforderungen des Marineschiffes, welche sich aus den Awf ergeben, an vielen Stellen deutlich vom Regatta-Tretboot unterscheiden.

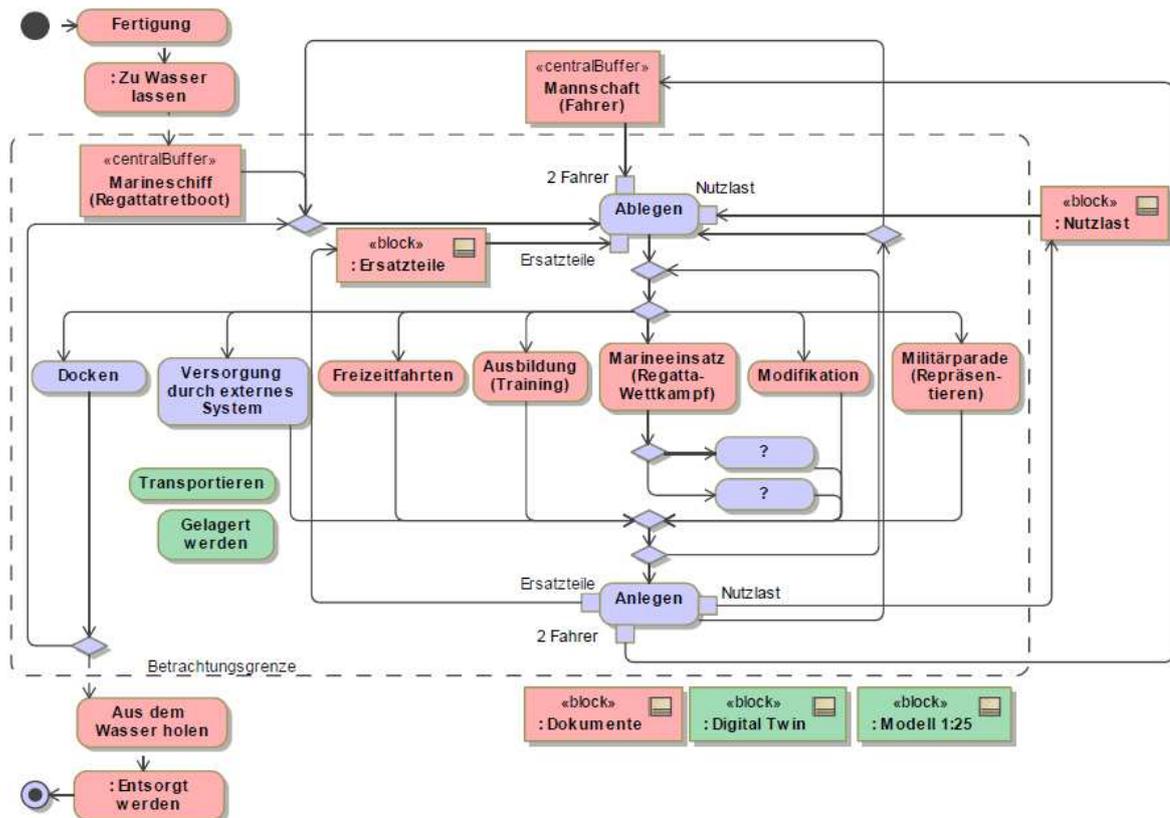


Abbildung 34: Vergleich Anwendungsfälle Marineschiff und Regatta-Tretboot

Der Awf „Repräsentieren“ existiert sehr ähnlich bei einem Marineschiff. Viele Kunden legen hohen Wert auf ein ansprechendes Design des Marineschiffes. Stellvertretend für das „Repräsentieren“ beim Regatta-Tretboot werden mit den Marineschiffen Militärparaden veranstaltet. Den Awf „Modifikation“ kann es ebenfalls für das Marineschiff geben. In diesem wird ein Marineschiff für unterschiedliche Einsätze umgerüstet.

Den Awf „Regattawettkampf“ gibt es als solchen nicht. Die untergeordneten Awf, die Wettkampfdisziplinen, werden jedoch ebenso von einem Marineschiff abverlangt. Abgeleitet aus Marineeinsätzen werden an das PS Anforderungen gestellt, die den Wettkampfdisziplinen ähneln. Sie geben beispielsweise einen einzuhaltenden Drehkreis, ein Zick-Zack-Manöver oder eine

Höchstgeschwindigkeit vor, welche bei einer Probefahrt verifiziert werden. Die Awf des PS, welche sich aus dem Marineeinsatz ergeben, können nicht von den Awf des Regatta-Tretbootes abgeleitet werden.

Ein Awf der nicht betrachtet wurde, ist u.a. die „Versorgung durch ein externes System“. Ein Marineschiff wird während eines Einsatzes regelmäßig durch ein anderes Schiff oder einen Helikopter mit Ressourcen wie beispielsweise Treibstoff oder Nahrungsmitteln versorgt. Dafür müssen Schnittstellen zwischen den Systemen vorgesehen werden.

Im Marineschiffbau werden Awf durch Einsatzszenarien vorgegeben. Um die vom Kunden gewünschten Einsatzszenarien im Produktentwicklungsprozess systematisch zu berücksichtigen, empfiehlt sich hier die Verknüpfung der Awf mit den Produkthanforderungen. Entfällt beim Übertragen eines vergangenen Projektes auf ein aktuelles ein Awf, kann nachvollzogen werden, welche Anforderungen und damit Funktionen und logische Systemelemente obsolet geworden sind.

6.3.2 Definition der Produkthanforderungen

Durch die Verknüpfung der Produkthanforderungen mit ihren Kundenanforderungen konnte übersichtlich überprüft werden, ob die Produkthanforderungen vollständig abgeleitet wurden. Durch die Verknüpfung der Funktionen und nichtfunktionalen Produkthanforderungen mit den logischen Systemelementen konnte außerdem überprüft werden, ob jedes logische Systemelement notwendig ist und ob die logische Systemstruktur vollständig ist. Die Methode einer Verknüpfungsmatrix eignet sich sehr gut, um die Produkthanforderungen und logische Systemstruktur auf ihre Vollständigkeit hinsichtlich der Erfüllung der Kundenanforderungen des Regatta-Tretbootes zu prüfen. Es ist vorstellbar, diese auf das PS zu übertragen.

Das PS wird von Kundenseite durch über 1000 Anforderungen spezifiziert, die in mehrere Tausend Produkthanforderungen abgeleitet werden. Eine Matrix dieser Größe wird schnell unübersichtlich. Dennoch ist es wichtig, diese Verknüpfungen herzustellen. Die Produkthanforderungen sollten themensortiert verknüpft werden. Dafür eignet sich eine ähnliche Struktur, wie die der ersten Ebene der Mindmap in Abbildung 18. Übergeordnete Themen können zum Beispiel sein: Einsatzszenarien, Versorgung der Fahrmannschaft, Umweltbedingungen, Schock, Intensivnutzung, Wartung usw.

6.3.3 Definition der Validierung/Verifikationstests

Für die Entwicklung der funktionalen Architektur des Regatta-Tretbootes haben Validierung und Verifikation untergeordnet eine Rolle gespielt. Auf das Definieren von Verifikationsmethoden für die Produkthanforderungen wurde weitestgehend verzichtet. Ob die frühzeitige Definition von Verifikationstests im weiteren Verlauf des Produktentwicklungsprozesses Vorteil bietet, kann erst bewertet werden, wenn der Entwicklungsprozess betrachtet wird. Daher wird hier auf eine Bewertung verzichtet.

Für das PS des Marineschiffes wird dieser Mehrwert deutlich größer sein. Die Komplexität des Marineschiffes bedingt, dass Validierung und Verifikation

möglichst früh in den Produktentwicklungsprozess einfließen müssen. Da mehrere 1000 Anforderungen im Produktentwicklungsprozess verarbeitet werden, ist es notwendig, Methoden zur Validierung festzulegen. Um die Anforderungen zu validieren, bietet sich z.B. eine Checkliste an. Eindeutig formulierte Produkthanforderungen bedingen außerdem die Definition ihrer Verifikationsmethode. Bei dem Entwurf von physischen Lösungen sind Validierung und Verifikation auf allen Ebenen durchzuführen, um Konflikte frühzeitig aufzudecken und späte Änderungen zu vermeiden.

6.3.4 Funktionsanalyse

Die funktionale Architektur des System Regatta-Tretboot konnte mit einfachen Mitteln aus den funktionalen Anforderungen abgeleitet werden. Dies liegt vor allem an der geringen Komplexität des Systems. Die Architektur kann durch Verknüpfung der Funktionen mit den funktionalen Anforderungen auf Vollständigkeit überprüft werden. Die funktionalen Anforderungen PA_20 „Aus dem Wasser Holen“ und PA_34 „In Subsysteme zerlegt werden“ sind mit keiner Funktion verknüpft. Dies liegt daran, dass beide Anforderungen keine Funktion bedingen, die das Regatta-Tretboot selbst aktiv durchführen muss. Die PA_34 kann den nichtfunktionalen Anforderungen zugeordnet werden. Für die PA_20 ist die Bereitstellung von Schnittstellen erforderlich, nicht das Bereitstellen von Funktionen. Möglich wäre, die Anforderungen nicht ausschließlich in funktionale und nichtfunktionale Anforderungen zu unterteilen, sondern zusätzlich in Schnittstellenanforderungen.

In Abbildung 35 ist ein Ausschnitt der Übertragung der funktionalen Architektur des Regatta-Tretbootes auf das Plattformsystem zu sehen. Der komplette Vergleich ist in Anhang 16 zu finden. Die Übertragbarkeit ist dabei stichprobenartig überprüft worden. Das Regattaboot ist grün dargestellt, das PS blau. Gemeinsame Funktionen sind rot dargestellt. Generell gilt zu sagen, dass das PS deutlich mehr Funktionen bereitstellen muss, als das Regatta-Tretboot. Um zu bewerten, wie die Erstellung der funktionalen Architektur sich für das PS eignet, muss festgestellt werden, inwieweit es Überschneidungen beider Systeme gibt. Auf der ersten Ebene der funktionalen Architektur des Regatta-Tretbootes gibt es die Funktionen „vorwärts/rückwärts fahren“, „Fahrer aufnehmen“, „Zugkraft erzeugen“, „Last aufnehmen“, „Transportiert werden“, „Gelagert werden“ und „Repräsentieren“. Wie bereits in Kapitel 6.3.1 beschrieben, gibt es keinen AwF „Transportiert werden“ für das PS und daher keine entsprechende Funktion. Die Funktion „Repräsentieren“ gibt es ebenfalls beim Marineschiff. Die Funktion „vorwärts-/rückwärts fahren“ kann man auf das Marineschiff mit seinen Subfunktionen übertragen. Für die Funktion „Schwimmen“ würde es für das PS u.a. noch eine Unterfunktion wie „Seegangeigenschaften verbessern“ geben, bei der es darum geht, bei hohem Seegang das Schiff aktiv ruhig zu halten. Dies kann zum Beispiel mit Stabilisatoren realisiert werden.

Betrachtet man die Funktionen „Last aufnehmen“ und „Fahrer aufnehmen“, gibt es diese in größerem Umfang ähnlich für das Marineschiff. Neben „Landbe/-entladung ermöglichen“ und „Stauraum bereitstellen“ muss das PS auf See von einem Versorgungsschiff beladen werden können. Es muss Missionsmodule oder Waffen aufnehmen können. Ebenso muss es Ressourcen wie Treibstoff, Nahrungsmittel, Nutzwasser oder Löschmittel aufnehmen und abgeben können.

Eine wesentliche Funktion des PS vieler Marineschiffe ist die Lagerung und Versorgung eines Helikopters. Diese Funktion des PS kann aus keiner Funktion des Regatta-Tretbootes abgeleitet werden. Die Funktion „Fahrer aufnehmen“ beinhaltet beim Marineschiff die Versorgung der Mannschaft und damit das Bereitstellen von Nahrung, Unterkünften und Freizeitmöglichkeiten.



Abbildung 35: Ausschnitt Übertragung der funktionalen Architektur des Regatta-Tretbootes auf das PS

Als Träger für die zur Durchführung der operationellen Aufgaben notwendigen Mittel ist eine weitere wesentliche Funktion des PS die Herstellung elektrischen Stroms zur Versorgung aller elektrischen Systeme, einschließlich der ES. Diese Funktion wird beim Regatta-Tretboot aufgrund des Verbots von Energiespeichern durch das Regelwerk der IWR nicht betrachtet.

Die Reduzierung von Signaturen wird ebenfalls bei einem Regatta-Tretboot nicht betrachtet. Signaturen sind Informationen, die das Schiff abgibt und an denen es aus der Ferne entdeckt werden kann. Dies sind zum Beispiel RCS-Signaturen (rückkehrende Radarsignaturen), IR-(Wärme-)Signaturen, magnetische Signale oder akustische Signale. Eine wichtige Funktion des Marineschiffs ist daher die

Reduzierung dieser Signaturen sowohl passiv, – z.B. über die Form des Schiffkörpers – als auch aktiv – z.B. durch Runterkühlen der Abgase.

Die funktionale Architektur bildet die Kernfunktionen des Regatta-Tretbootes übersichtlich ab. Die Funktion wird durch Identifizierung der Unterfunktionen auf einen für die Lösungsfindung benötigten Detaillierungsgrad heruntergebrochen. Durch Verknüpfung der funktionalen Architektur mit logischen Elementen können benötigte logische Systemelemente identifiziert werden.

Auf der betrachteten untersten Ebene der funktionalen Architektur fällt auf, dass diese Ebene die externen Schnittstellen zum System offenbart. Auf der ersten Ebene der Architektur sind die Funktionen als Blackbox abstrahiert. Es ist schwierig auf dieser Ebene benötigte, logische Systemelemente und Schnittstellen zu definieren.

Ein Beispiel dafür ist die Funktion „Lenken“. Diese wird in die Unterfunktionen „Lenksignal aufnehmen“ und „Kurs ändern“ unterteilt. Daraus lassen sich für das logische Systemelement „Lenkeinrichtung“ die logischen Systemelemente „Signalaufnehmer (lenken)“ und „Widerstandserzeuger (lenken)“ ableiten. Der „Signalaufnehmer (lenken)“ stellt dabei die Schnittstelle zum Fahrer dar, der „Widerstandserzeuger (lenken)“ die Schnittstelle zum Wasser.

Für thyssenkrupp Marine Systems ist die funktionale Architektur eine Chance, benötigte Schnittstellen und logische Systemelemente zu identifizieren. Das Unternehmen sollte die funktionale Architektur für die Funktionen der HBA z.B. „3000 Elektrische Anlagen“ entwickeln, um diesen Mehrwert deutlich zu machen. Gerade die elektrischen Anlagen haben eine Vielzahl an Schnittstellen zu Systemen, welche sie versorgen. Die funktionale Architektur sollte erstellt werden, um den Einfluss von Änderungen des Schiffsentwurfs auf das Auslegungskonzept der elektrischen Anlagen feststellen zu können.

6.3.5 Logische Systemstruktur

Stellt man die die logischen Systemstrukturen des Regatta-Tretbootes dem MBGrV gegenüber, können die Strukturen an einigen Stellen verknüpft werden. Durch die Verknüpfung wird ersichtlich, an welchen Stellen sich die Systeme des Regatta-Tretbootes eignen, beispielhaft für komplexere Systeme betrachtet zu werden. Diese Verknüpfungen sind als Strichlinien in Abbildung 36 zu sehen. Zur Übersichtlichkeit ist das PS blau eingefärbt, das Regatta-Tretboot grün. Darüber hinaus sind nicht alle BA der betrachteten HBA dargestellt.

Das Subsystem „Ersatzteile“ des Regatta-Tretbootes ist direkt dem „Gesamtsystem Regatta-Tretboot“ zugeordnet. Im PS sind „Ersatzteile“ dem HBA „9000 Geräte, Werkzeuge, Ersatzteile, Technische Unterlagen, Werkzeugmaschinen“ untergeordnet. Dieser HBA ist eine Sammlung von Systemelementen. Hier unterscheidet sich die Zuordnung der Detaillierungsstufe der Systeme stark. Die „Pfahlzugaufnahme“ des Regatta-Tretbootes ist auf der betrachteten Ebene keinem System des PS zuzuordnen. Diese ist im MBGrV als BGr „1695 Schleppausrüstung“ in der HBGr „1690 Allgemeine Decksausrüstung“ dem BA „1600 Ausrüstung“ eingeordnet.

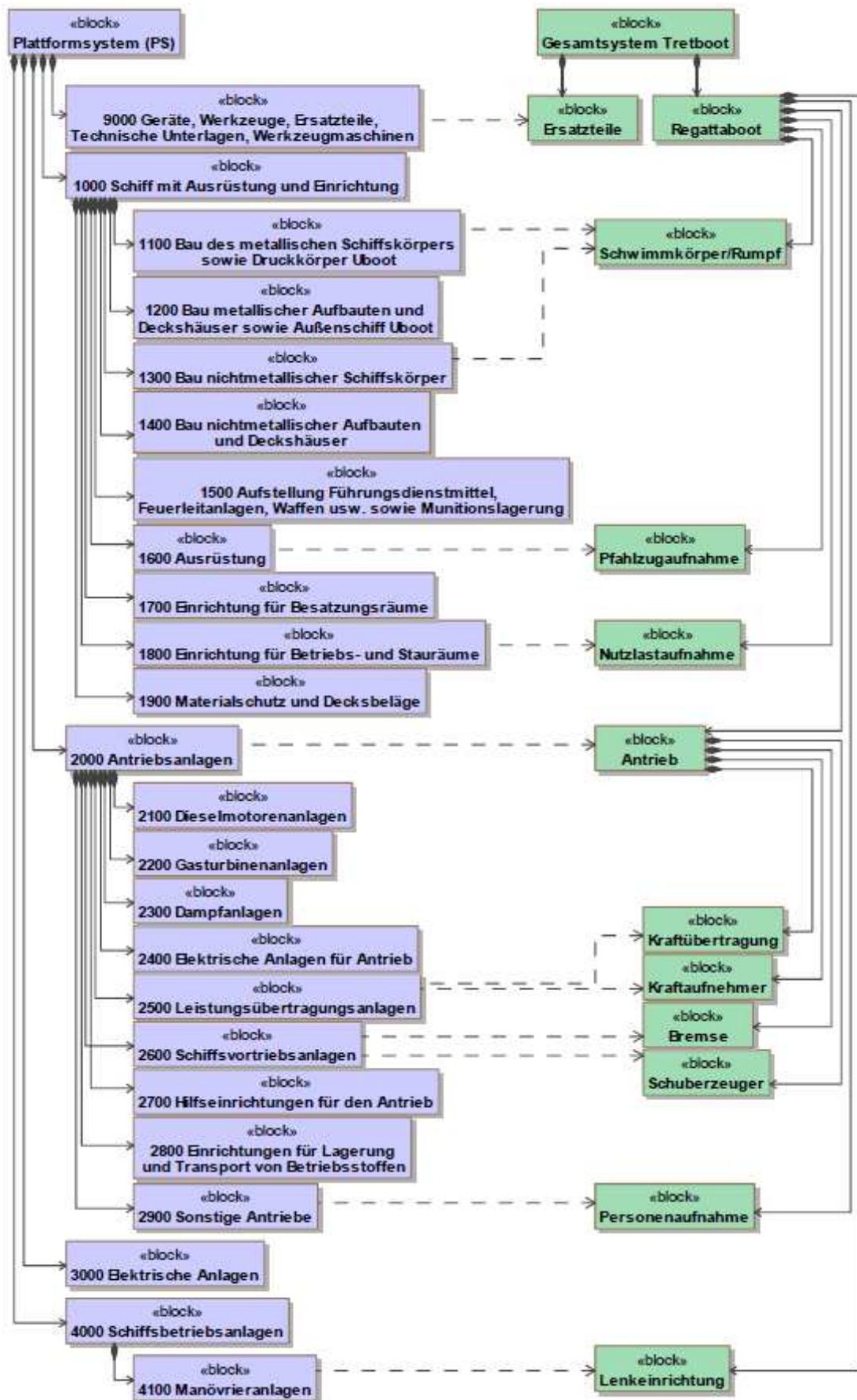


Abbildung 36: Vergleich der logischen Systemstrukturen des Regatta-Tretbootes und des PS

Die „Lenkeinrichtung“ des Regatta-Tretbootes findet sich als „4100 Manövrieranlage“ im HBA „4000 Schiffsbetriebsanlagen“ wieder. Die anderen BA der HBA werden nicht durch das Regatta-Tretboot betrachtet. Der HBA „3000 Elektrische Anlagen“ wird durch das Regatta-Tretboot ebenfalls nicht betrachtet, da das Regatta-Tretboot kein vergleichbares System beinhaltet. Der HBA „1000 Schiff mit Einrichtung und Ausrüstung“ fasst die im Regatta-Tretboot getrennten Subsysteme „Schwimmkörper/Rumpf“, „Pfahlzugaufnahme“ und „Nutzlastaufnahme“ zusammen. Vergleicht man beide Strukturen, lässt sich feststellen, dass das MBGrV neben logischen Systemelementen auch physische Lösungselemente vorgibt. So ist der Schiffskörper je nach Wahl des Materials im BA „1100 Bau des metallischen Schiffskörpers“ oder „1300 Bau nichtmetallischer Schiffskörper“ einzuordnen.

Für die Antriebsanlagen werden bereits physische Lösungen, wie die BA „2100 Dieselmotorenanlagen“ und „2200 Gasturbinenanlagen“ vorgegeben. Der Aufbau des MBGrV ist systemorientiert, nicht funktionsorientiert. Dadurch wird ein Teil des Lösungsspielraums genommen.

Die logische Systemstruktur des Regatta-Tretbootes ist durch die Ergebnisse des SF und durch Ableiten der Funktionen entstanden. Dies hat den Vorteil, dass ausschließlich logische Systemelemente in der Struktur aufgenommen werden, die einem Funktionselement zugeordnet werden können. Entfällt eine Funktion, kann nachvollzogen werden, welche logischen Systemelemente obsolet sind. Beim Erstellen der Systemstruktur mithilfe des MBGrV ist dies nicht der Fall, da hier vor allem physische Systeme Quelle der Struktur sind.

Beim Regatta-Tretboot ist das bei den Systemen „Digital Twin“ und „Modell 1:25“ ähnlich. Diese sind durch den SF bereits sehr detailliert ohne großen Spielraum zu bieten. Dies führt zu wenig Entwurfsfreiheiten und damit fixierten Kosten. Bei Systemen mit vielen Schnittstellen zu anderen Systemen kann dies Einfluss auf den Entwurf umliegender Systeme haben. Je mehr Freiraum der Kunde für die Wahl der Systeme lässt, desto mehr Möglichkeiten gibt es, Systemlösungen und Kosten zu optimieren.

In der Regel wird das MBGrV unausgesprochen vom Kunden als Grundlage der Systemstruktur gefordert. Wird für ein Produkt eine Systemstruktur erstellt, werden anhand der Anforderungen die offensichtlich benötigten Elemente des MBGrV übernommen. Durch die Bindung an Lösungen verliert die Systemstruktur ihre Änderungsflexibilität und den SE Gedanken.

Um Schiffentwürfe aus vergangenen Projekten risikoarm auf aktuelle Projekte übertragen zu können, empfiehlt es sich, physische Systemelemente der Systemstruktur deutlich zu kennzeichnen und übergeordnete logische Systemelemente zu ergänzen. Darüber hinaus sollte das Unternehmen jedes logische Systemelement mit den Funktionen, welche dieses realisiert, verknüpfen. Diese Verknüpfung zwischen Funktionen und Systemen sollte so früh wie möglich durchgeführt werden, sodass produktunabhängige Entwürfe risikoarm angepasst werden können.

6.3.6 Verknüpfung der Ergebnisse

Die Darstellung aller Verknüpfungen der PA_02 des Regatta-Tretbootes eignet sich sehr gut, um abzubilden, welche weiteren Ergebnisse durch die Anforderung beeinflusst werden. Die hergestellten Beziehungen sollten mindestens im gleichen Umfang im Produktentwicklungsprozess des PS erstellt werden, um die Nachverfolgbarkeit der Anforderungen zu gewährleisten. Eine Abbildung aller Verknüpfungen in einem Diagramm, wie in Abbildung 32 dargestellt, ist nicht geeignet, um sie auf die Anforderungen des PS zu übertragen. Weder für das Regatta-Tretboot, noch für das Marineschiff. Dafür gibt es zu viele Anforderungen, die ein Vielfaches an Verknüpfungen mit sich bringen. Das Diagramm eignet sich, um den Beteiligten des Produktentwicklungsprozesses beispielhaft darzustellen, welche Zielinformationen aus der Anforderung generiert werden.

Für das PS bietet es sich an, die Verknüpfungen zu den Anforderungen in einer Datenbank zu hinterlegen, aus der sich tabellarisch die benötigten Informationen generieren lassen. So kann man bei Anpassung einer Anforderung nachvollziehen, auf welche Folgeinformationen diese Änderung Einfluss hat. Gegebenenfalls können bei einer Anforderung so die Verknüpfungen ausgegeben und (rück-) verfolgt werden.

7 Fazit und Handlungsempfehlung

Der SF ist ein guter Einstieg in den Produktentwicklungsprozess. Er bietet dem Produktentwicklungsprozess Mehrwert, da er die interdisziplinäre Kommunikation stärkt und einen Überblick über ein System verschafft. Der SF ist von tkMS dahingehend zu prüfen, ob sich die Betrachtung des Systems auf Ebene der HBGr oder BGr eignet. Der nächste Schritt für tkMS wäre daher, den SF an einer ausgewählten BGr des PS durchzuführen. Vor Durchführung des Workshops muss die Abstraktionsebene für die Teilnehmer geklärt werden. Das SF-Feld „Technical Constraints“ sollte durch „Nichtfunktionale Anforderungen“ ersetzt werden. Mit der SA sollten vor dem SF die Stakeholder definiert werden. Ebenfalls sollten die Zwischenstände des SF in der Dokumentation aufgenommen werden. Das Durchführen des SF kann im Unternehmen genutzt werden, um problembehaftete BGr gezielt intensiver zu betrachten und die interdisziplinäre Kommunikation zu stärken.

Das Anwendungsfalldiagramm hat dazu beigetragen, systematisch Produkthanforderungen für das Regatta-Tretboot abzuleiten. Für das PS ist die Verknüpfung der AwF mit den Produkthanforderungen sinnvoll. Über die Verknüpfung zu den Produkthanforderungen und damit zu den Funktionen und logischen Systemelementen, kann die Bedeutung der logischen Systemelemente für die AwF des PS identifiziert werden. So können vergangene Produktentwürfe bei tkMS risikoärmer auf aktuelle übertragen werden.

Die Erstellung einer funktionalen Architektur bietet deutlichen Mehrwert für den Produktentwicklungsprozess. Aus der funktionalen Architektur können logische Systemelemente abgeleitet und auf ihre Notwendigkeit überprüft werden. Werden die Funktionen abgeleitet, können zuverlässig Schnittstellen identifiziert werden. Für tkMS ergibt sich daraus die Möglichkeit für komplexe Systeme, wie das PS, Risiken im Produktentwicklungsprozess zu reduzieren. Beim Übertragen vergangener Projekte auf aktuelle kann die funktionale Architektur durch das Unternehmen genutzt werden, um logische Systemelemente auf seine Notwendigkeit zu überprüfen und so ggf. durch Streichen von Systemelementen Kosten zu sparen.

Eine Hürde zur Entwicklung der funktionalen und logischen Architektur im Marineschiffbau bildet das MBGrV, da es diese Betrachtungen nicht trennt. Funktionale, logische und physische Elemente des PS werden vermischt. Um diese Unschärfe zu minimieren ist es sinnvoll, dass tkMS die Systemstruktur für aktuelle Projekte durch Informationen über die Art des Systemelementes (funktional, logisch, physisch) und übergeordnete logische Systemelemente zu ergänzen. Für schnittstellenreiche Systeme wie den HBA „3000 Elektrische Anlagen“ sollte das Unternehmen in einem aktuellen Projekt eine funktionale Architektur entwickeln und mit den logischen Systemelementen verknüpfen. Im Laufe des Projektes können die Risiko- und Kostenminimierung aufgezeigt werden, indem man das Projekt mit vergangenen vergleicht. Überträgt tkMS im Anschluss das aktuelle Projekt mit Hilfe seiner funktionalen Architektur auf zukünftige Projekte, lässt sich aufzeigen, wie groß das Ausmaß der Vorteile der Methode ist.

Auf die Darstellung jeglicher Verknüpfungen einer Produkthanforderung in einem Diagramm sollte für das PS verzichtet werden. Um jedoch bei Änderungen des Entwurfs eines Systems den Einfluss auf andere Systeme sicher bewerten zu können, ist es wichtig die Verknüpfungen zu hinterlegen. Mit SysML können diese Verknüpfungen bei Bedarf abgerufen werden. Für ein aktuelles Projekt bei tkMS sollte daher eine SysML-Datenbank eingeführt werden, in der die genannten Informationen hinterlegt werden. Wird eine funktionale Architektur aus den funktionalen Anforderungen abgeleitet und in logische Systemelemente überführt, können diese Verknüpfungen in der Datenbank hinterlegt werden. Werden Entwürfe angepasst kann das Fehlerrisiko durch Abrufen dieser Daten minimiert werden.

8 Literaturverzeichnis

Alt Oliver Modellbasierte Systementwicklung mit SysML, Carl Hanser Verlag München, 2012

Bundeswehr Marinebaugruppenverzeichnis für Wasserfahrzeuge der Bundeswehr, 2017

Eigner , Martin; Gilz, Thorsten und Zafirov, Radoslav Interdisziplinäre Produktentwicklung - Modellbasiertes Systems Engineering, PLMportal - Ulrich Sendler, <http://www.plmportal.org/de/forschung-detail/interdisziplinaere-produktentwicklung-modellbasiertes-systems-engineering.html>, 01/18

Eigner, Martin; Roubanov, Daniil und Zafirov, Radoslav Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung, Springer Vieweg, 2014

Feldhausen, Jörg und Grote, Karl-Heinrich Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Springer Vieweg, 2013

Haberfellner, Reinhard [et al.] Systems Engineering - Grundlagen und Anwendungen, orell füssli, 12. Auflage

<http://www.iwr2016.at/Welcome.html> International Waterbike Regatta 2016 , Verein Technik und Sport - Wien, <http://www.iwr2016.at/Welcome.html>, 11/17

INCOSE Systems Engineering Handbuch, Gesellschaft für Systems Engineering e.V., 4. Ausgabe

ISO/IEC/IEEE-15288 ISO/IEC/IEEE 15288 Systems and software engineering - System life cycle processes, 2015

oose CSE-C (GfSE Certified Systems Engineer Level C) - Vorbereitungskurs A-D, oose Innovative Informatik eG, Version 1.1.1.

Pfingsten, Maik Agile Lastenhefte, blueshaper UG., <https://member.lastenhefterstellen.de/login/>, 11/17

Pfingsten, Maik The System Footprint, blueshaper UG., http://www.system-footprint.de/The_System_Footprint.html, 11/17

Pfingsten, Maik Zukunftsarchitekten Podcast, <http://zukunftsarchitekten-podcast.de/2012/03/za004-the-system-footprint/>, 11/17

Schelberg, Hans-Joachim Systematic Product Development I - Vorlesungsfolien, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, 2017

VDI-2803 VDI 2803: Funktionenanalyse Grundlagen und Methode, Verein Deutscher Ingenieure, 2017

Weilkiens, Tim [et al.] Model Based System Architecture, John Wiley & Sons, 2016

9 Anhang

01. Rules International Waterbike Regatta
02. INCOSE Systems Engineering Handbuch S.295
03. Mindmap Regatta-Tretboot
04. Kundenspezifikation – System Footprint Version
05. Anwendungsfälle Regatta-Tretboot
06. Kundenanforderungen Regatta-Tretboot
07. Anwendungsfalldiagramm 1 Regatta-Tretboot
08. Anwendungsfalldiagramm 2 Regatta-Tretboot
09. Anforderungsspezifikation Regatta-Tretboot
10. Produkthanforderungen Regatta-Tretboot
11. Beziehungsmatrix Produkthanforderungen und Kundenanforderungen
12. Funktionale Architektur Regatta-Tretboot
13. Beziehungsmatrix funktionale Anforderungen und Funktionen
14. Beziehungsmatrix Funktionen und logische Systemelemente
15. Beziehungsmatrix logische Systemelemente und nichtfunktionale Anforderungen
16. Vergleich funktionale Architekturen Regatta-Tretboot und PS

Rules International Waterbike Regatta

1. General
 - a) Every participant must act according to the convention of fair play and sportsmanship.
 - b) Participants are responsible for damages, injuries and loss of life on their own.
 - c) Participants compromising nature or third party property will be disqualified from the races. Also all participants acting unfair or not like the convention of sportsmanship will be disqualified.
 - d) The IWR is open for all waterbikes constructed and built by students. The usage of prebuilt hulls or prebuilt power trains is forbidden.
 - e) The drivers have to be students.
 - f) Alumnis and their boats are allowed to participate. The official winners of the IWR 2016 will be determined from of the teams of students.
2. Official Rules
 - a) The English version is authoritative.
 - b) Changes of the Official Rules or uncovered decisions:
 - i) Decisions concerning changes of the rules are made by the Race Committee, consisting of four people.
 - ii) If the captains are highly dissatisfied about a decision made by the Race Committee the captains have the chance to discuss this decision at the next Captains Meeting.
 - iii) The organizers of the IWR 2016 have the final say in decisions concerning safety and time-table.
 - c) Any changes of the Official Rules will be posted at the announcement board.
3. Safety
 - a) All participants are responsible for their behavior on their own.
 - b) Life jackets have to be worn on board of any waterbike and at any time being on the water.
 - c) All participants must obey the assignments of the safety crew.
 - d) Any participant contravening these assignments or rules can be disqualified.
4. Captains Meeting
 - a) Only one person per boat is allowed to participate in the Captains Meeting.
 - b) At the registration the teams will get one Captains-Meeting-Card for each boat. Every team member who wants to participate in the Captains Meeting has to bring such a card.
 - c) The Captains Meeting will be called up on a regular basis after breakfast and lunch.
 - d) There will be an announcement if the Captains Meeting must be called up additionally.
5. Boats
 - a) The captain of each boat is responsible for his boat concerning all intents and purposes.
 - b) The boats must get their propelling force out of muscular strength. The main muscular strength has to be produced by the legs. Any kind of energy storage before the start of the particular races is prohibited.
 - c) The boats must be equal or shorter than 6m in length ($Loa \leq 6m$).

- d) The boats must be shorter in the width than in the length.
 - e) The draft of the boats must be less than 1,2m.
 - f) Only two persons are allowed to generate the propelling force.
 - g) The boats are only allowed to drive in approved water. The area of approved water will be announced by the organization team. The fairway is to be omitted in all cases.
 - h) Changes in the boat, which increase the performance of the boat in some disciplines:
 - I. Changes have to be done at the swimming boat in the water.
 - II. All parts (except tools) needed for these changes have to be carried on board during all races.
 - III. If the boat is damaged it can be repaired ashore. The Race Committee has to be informed as fast as possible about necessary repairs. During that kind of repairs, no changes improving the performance of the boat may be done.
 - IV. The shape of the boat may not be changed.
 - V. A boat breaking these rules will be disqualified from all Races.
6. Races
- a) The races start, when the Race Committee says so. In case of problems, these can be discussed in a Captains Meeting.
 - b) The IWR consists of the following competitions:
 - I. 100m Sprint
 - II. Slalom
 - III. Forward-Stop-Backward (FSB)
 - IV. Acceleration (10m sprint)
 - V. Bollard Pull
 - VI. Long Distance
 - VII. Secret Mission
 - VIII. Overall-Performance, will be calculated by the Low-Point-System out of the following disciplines:
 - 1. 100m Sprint
 - 2. Slalom
 - 3. Forward-Stop-Backward (FSB)
 - 4. Acceleration (10m sprint)
 - 5. Bollard Pull
 - 6. Long Distance
 - c) The results of the races will be posted at the announcement board.
 - d) Boats which are not racing are not to constrain races. If a boat constrains racing boats the constraining boat will be disqualified for that discipline.
 - e) Boats which are disqualified or did not attend to a race are scored by the number of finished boats at that race (Qualification, Semi-Final, Final, ...) plus one point.
 - f) All boats that are needed for a race must come to the starting area at the posted time. In case of doubt the race committee decides about additional time. All participants have to keep in mind that the schedule has to be pursued reducing time for special treatment.
 - g) If a boat is damaged and cannot compete the Race Committee has to be informed immediately.
 - h) If a boat gets damaged in a race it has the chance to rerace after a repair if it does not cross the finish line before. In case of damage the

team has to give a signal and stop the boat. This rule does not apply during the Long-Distance-Race.

- i) Jump Start
 - I. A boat jump starting in 100m, FSB, Slalom will not be evaluated in this run.
 - II. A race with a jump-starting boat is not abandoned. The time of the other boats will be evaluated.
 - III. The flag of the lane number where a jump start has been detected will be hoisted.
 - IV. Except at the Long-Distance-Race, every jump-started boat gets one chance to rerace that run. If the boat jump starts again it will be disqualified for that discipline.

7. Disciplines

- a) 100m Sprint
 - I. The 100m Sprint is a race over about 100m.
 - II. This discipline is started in a standing start.
 - III. The boats will start from a starting pontoon, which means they will be held at the rear.
 - IV. The boat has finished the race, when all parts of the boat have crossed the finish line.
 - V. At most 4 boats race against each other in one run.
 - VI. All boats attend the Qualifying.
 - VII. The fastest 16 boats of the Qualifying attend the Semi-Final.
 - VIII. The fastest 4 boats of the Semi-Final-Runs attend the A-Final. The boats with the 5th to the 8th fastest time attend the B-Final.
 - IX. The fastest boat of the A-Final wins the competition. Places 2 to 4 are ranked by the A-Final. Places 5 to 8 are ranked by the B-Final. Places 9 to 16 are ranked by the time of the Semi-Final-Runs. All others are ranked by the time of the Qualification-Run.
 - X. In Semi-Finals and Finals it is not possible to rerace in case of a damage or technical problem.
- b) Slalom
 - I. The Slalom is set out by the Race Committee.
 - II. All boats must round the buoys on the correct side in the correct order.
 - III. The buoys can be touched, but all parts of the boat must go around the buoys.
 - IV. This discipline is started in a standing start.
 - V. The boats will start from a starting pontoon, which means they will be held at the rear.
 - VI. The boat has finished the race, when all parts of the boat have crossed the finish line.
 - VII. At most 4 boats race against each other in one run.
 - VIII. All boats attend the Qualifying.
 - IX. The fastest 16 boats of the Qualifying attend the Semi-Final.
 - X. The fastest 4 boats of the Semi-Final-Runs attend the A-Final. The boats with the 5th to the 8th fastest time attend the B-Final.
 - XI. The fastest boat of the A-Final wins the competition. Places 2 to 4 are ranked by the A-Final. Places 5 to 8 are ranked by the B-Final. Places 9 to 16 are ranked by the time of the Semi-Final-Runs. All others are ranked by the time of the Qualification-Run.

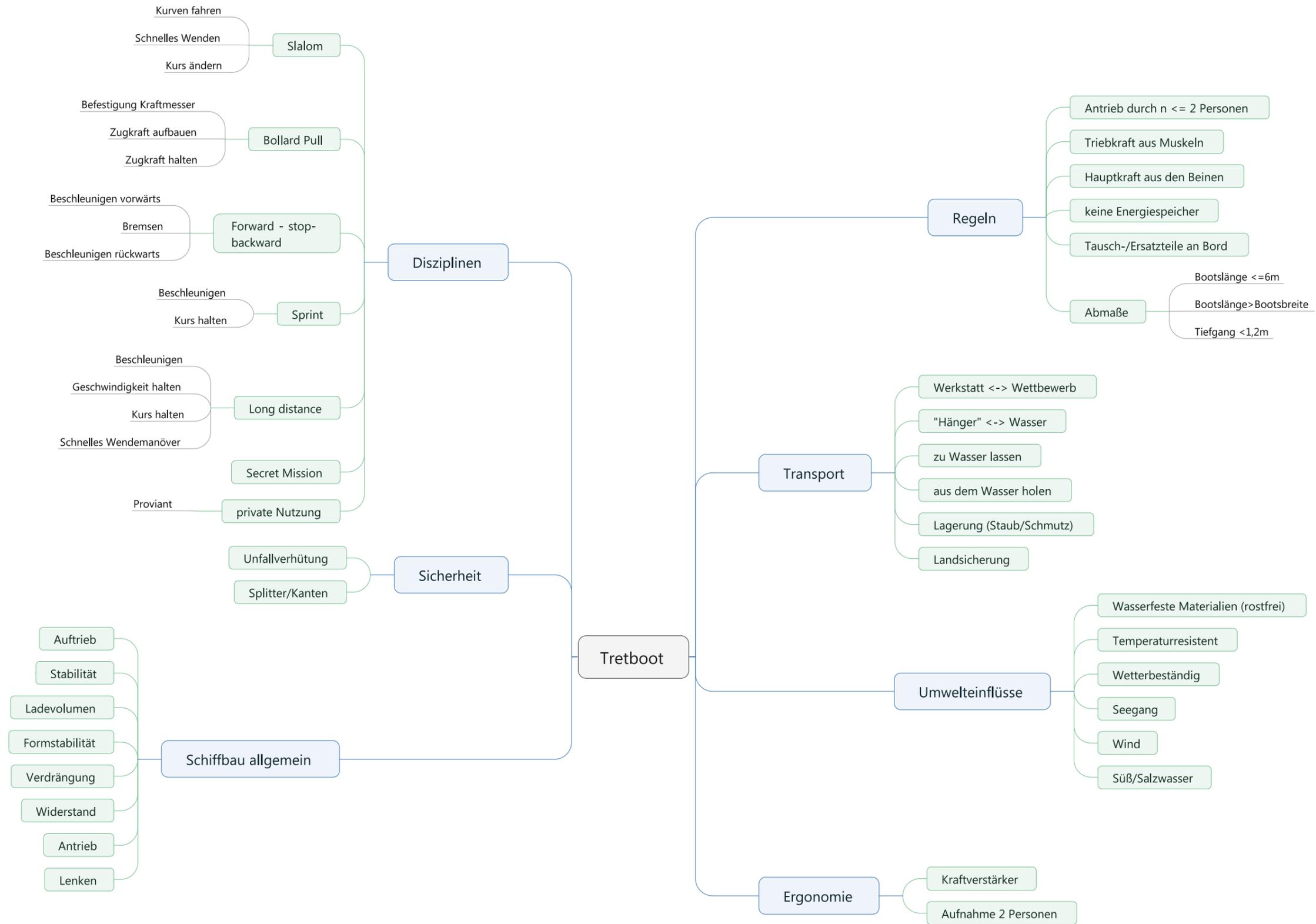
- XII. In Semi-Finals and Finals it is not possible to rerace in case of a damage or technical problem.
- c) Forward-Stop-Backward
 - I. The boats have to go approximately 50m forward. Then they have to stop after an imaginary line and have to drive backwards to the starting/finishing line.
 - II. The imaginary line has to be passed by all parts of the boat.
 - III. The imaginary line will be specially marked.
 - IV. This discipline is starting in a standing start.
 - V. The starting line will be also the finish line.
 - VI. The boat has finished the race, when all parts of the boat have crossed the finish line.
 - VII. All boats attend the Qualifying.
 - VIII. The fastest 16 boats of the Qualifying attend the Semi-Final.
 - IX. The fastest 4 boats of the Semi-Final-Runs attend the A-Final. The boats with the 5th to the 8th fastest time attend the B-Final.
 - X. The fastest boat of the A-Final wins the competition. Places 2 to 4 are ranked by the A-Final. Places 5 to 8 are ranked by the B-Final. Places 9 to 16 are ranked by the time of the Semi-Final-Runs. All others are ranked by the time of the Qualification-Run.
 - XI. In Semi-Finals and Finals it is not possible to rerace in case of a damage or technical problem.
- d) Bollard Pull
 - I. The feeding force will be measured over 30sec. The boat with the highest mean force over the 30sec will win this competition. The first peak will be excluded from the mean force.
 - II. All boats have one attempt.
- e) Acceleration
 - I. The Acceleration is a race of about 10m.
 - II. This discipline is started in a standing start.
 - III. The boat has finished the race, when the bow of the boat crosses the finish line.
 - IV. The ranking will be made out of the Acceleration time.
 - V. All boats have three attempts and the best one counts.
- f) Long-Distance
 - I. The Long-Distance-Race will start out of a flying start. The exact starting system will be explained at the Captains Meeting.
 - II. All boats will race together in one group.
 - III. The Long-Distance-Race will take approximately one hour of racing. The exact procedure will be announced at the Captains Meeting.

INCOSE Systems Engineering Handbuch, Vierte Ausgabe, S.295

QUERSCHNITTLICHE SYSTEMS ENGINEERING METHODEN

Die Ergebnisse von FBSE können je nach Phase des Projekts und der spezifischen Technik, die zur Entwicklung der funktionalen Architektur verwendet wird, verschiedene Formate haben. Im Folgenden sind die häufigsten Ergebnisse, die durch FBSE erzeugt werden, aufgezählt:

1. *Input-process-output (IPO) diagrams*: Datenflussdiagramm auf der höchsten Systemebene. Dieses Diagramm zeigt alle Eingaben und Ergebnisse einer Systemfunktion aber keine Zerlegung.
2. *Verhaltensdiagramme* (Behavior Diagram): Beschreiben auf Systemebene das Reaktionsverhalten auf Stimuli mit Hilfe von Konstrukten, die den zeitlichen Ablauf, Gleichzeitigkeit, Bedingungen, Synchronisationspunkte, Zustandsinformationen und Leistung beschreiben.
3. *Kontrollfluss-Diagramme* (Control Flow Diagram): Zeigen alle möglichen Abläufe von Vorgängen, die von einem System oder einem Softwareprogramm durchgeführt werden können. Es gibt verschiedene Arten von Kontrollfluss-Diagrammen, darunter Blockdiagramme, Flussdiagramme und Zustandsübergangsdigramme (State Transition Diagram).
4. *Datenflussdiagramme* (Data Flow Diagram, DFD): Stellen die Verbindungen zwischen den einzelnen Transformationen dar, die das System ausführen muss. Alle Eingaben an die Funktionen und alle erzeugten Ergebnisse werden mitsamt den Datenspeichern, auf die sie zugreifen müssen, identifiziert. Jedes Datenflussdiagramm muss auf Konsistenz mit dem IPO-Diagramm oder einem übergeordneten Datenflussdiagramm geprüft werden.
5. *Objektbeziehungsdiagramme* (Entity Relationship (ER) Diagram): Zeigen eine Gruppe von Objekten (z. B. Funktionen oder Architekturelemente) und die logischen Beziehungen zwischen diesen.
6. *Funktionsfluss-Blockdiagramme* (Functional Flow Block Diagrams, FFBDs): Bringen die Eingaben einer Funktion mit den Ergebnissen in Verbindung und geben einen Einblick in die Flüsse zwischen den Funktionen.
7. *Integration Definition for Functional Modeling (IDEF0) Diagramme*: Zeigen die Verbindung zwischen Funktionen durch sequenzielle Eingabe- und Ausgabe-Flüsse. Prozesssteuerungen werden als Einfluss oberhalb der Funktion dargestellt und die die Funktion unterstützende Mechanismen werden unterhalb dieser dargestellt.
8. *Datenkatalog* (Data Dictionary): Dokumentation der Definitionen für Datenflüsse, Datenelemente, Dateien etc., um Kommunikation zwischen allen Entwicklungsorganisationen zu ermöglichen.
9. *Modelle*: Abstraktionen von relevanten Merkmalen eines Systems, die verwendet werden, um ein System zu verstehen, zu vermitteln, zu entwerfen und zu bewerten. Sie werden eingesetzt, bevor das System fertiggestellt ist und während es getestet wird oder in Betrieb ist.
10. *Simulationsergebnisse*: Ergebnisse aus einer Simulation des Systems, das sich wie das Zielsystem verhält oder wie das Zielsystem arbeitet, wenn es vorgegebene Eingaben erhält.



Kundenspezifikation

System Footprintversion

Projekt:
Tretboot für die Internationale Waterbike Regatta



Dokumenteninformation

Kunde: Studenten einer Schiffbauhochschule
Projektname Tretboot für die Internationale Waterbike Regatta
Produktlinie

Version: V0.1
Status: in Erstellung

| Verantwortlich | Name | Datum |
|-------------------------|-------------------|----------|
| Erstellt / Aktualisiert | Johanna Weinstock | 04.12.17 |
| Intern reviewed | | |
| Extern reviewed | | |
| Freigegeben | | |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|--------------|
| 1. Einleitung | 6 |
| 1.1. Ziel des Dokuments | 6 |
| 1.2. Fokus des Dokuments | 6 |
| 1.3. Referenzen | 6 |
| 1.4. Dokumentenabhängigkeit | 6 |
| 2. Projektkontext | 6 |
| 2.1. Annahmen | 6 |
| 2.2. Grenzen und Einschränkungen | 6 |
| 2.3. Definitionen | 6 |
| 3. Marktinformation | 8 |
| 4. Systemabgrenzung | 8 |
| 5. Benutzer des Systems | 8 |
| 5.1. Fahrer | 8 |
| 5.2. Sponsor | 8 |
| 5.3. Mechaniker | 8 |
| 6. Hauptnutzungsfälle | 8 |
| 6.1. Use-Case „Transportieren“ | 8 |
| 6.2. Use Case „Zu Wasser lassen“ | 8 |
| 6.3. Use-Case „Fahren/Schwimmen“ | 8 |
| 6.4. Use-Case „Regatta-Wettkampf“ | 9 |
| 6.4.1. 100m Sprint | 9 |
| 6.4.2. Beschleunigungsrennen 10m | 9 |
| 6.4.3. Langstrecke | 9 |
| 6.4.4. Slalom | 9 |
| 6.4.5. Pfahlzug | 9 |
| 6.4.6. Vorwärts-Stopp-Rückwärts | 9 |
| 6.4.7. Geheime Mission | 9 |
| 6.5. Use-Case „Training“ | 9 |
| 6.6. Use-Case „Modifikation“ | 10 |
| 6.7. Use-Case „Freizeitfahrten“ | 10 |
| 6.8. Use-Case „Präsentieren“ („Posen“) | 10 |
| 6.9. Use-Case „Aus dem Wasser holen“ | 10 |
| 6.10. Use-Case „Gelagert werden“ | 10 |
| 6.10.1. Zwischenlagern | 10 |
| 6.10.2. Einlagern | 10 |
| 6.11. Use-Case „Entsorgt werden“ | 10 |
| 7. Haupt-Liefereinheiten | 10 |
| 7.1. Regattaboot | 10 |
| 7.2. Digital Twin | 10 |
| 7.3. Modell 1:25 verkleinert | 11 |
| 7.4. Ersatzteile | 11 |
| 7.5. Gebrauch und Materialspezifikation, Dokumentation | 11 |
| 8. Nutzenversprechen | 11 |
| 8.1. Publikumsliebling | 11 |
| 8.2. Gesamtsieg | 11 |
| 8.3. Sprint | 11 |
| 8.4. Produktdesign | 11 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 9. | Haupt-Funktionen | 11 |
| 9.1. | <i>Fahrer aufnehmen</i> | 11 |
| 9.2. | <i>Schwimmen</i> | 11 |
| 9.3. | <i>Beschleunigen</i> | 11 |
| 9.4. | <i>Fahren</i> | 11 |
| 9.5. | <i>Bremsen</i> | 12 |
| 9.6. | <i>Kurs halten</i> | 12 |
| 9.7. | <i>Kurs ändern</i> | 12 |
| 9.8. | <i>An Seil ziehen (Pfahlzug)</i> | 12 |
| 9.9. | <i>Fracht transportieren</i> | 12 |
| 9.10. | <i>Festmachen</i> | 12 |
| 10. | Haupt-Komponenten | 12 |
| 10.1. | <i>Personenaufnahme</i> | 12 |
| 10.2. | <i>Schuberzeuger</i> | 12 |
| 10.3. | <i>Ersatz und Verschleißteile</i> | 12 |
| 10.4. | <i>Kraftaufnehmer</i> | 12 |
| 10.5. | <i>Kraftübertragung</i> | 12 |
| 10.6. | <i>Bremse</i> | 12 |
| 10.7. | <i>Schwimmkörper/Rumpf</i> | 12 |
| 10.8. | <i>Pfahlzugaufnahme</i> | 12 |
| 10.9. | <i>Lenkeinrichtung</i> | 12 |
| 10.10. | <i>Nutzlastaufnahme</i> | 12 |
| 11. | Schnittstellen | 13 |
| 11.1. | <i>Fahrer (Kraftübertragung)</i> | 13 |
| 11.2. | <i>Fahrer (Steuerung)</i> | 13 |
| 11.3. | <i>Wasser</i> | 13 |
| 11.4. | <i>Kraftmessungsgerät</i> | 13 |
| 11.5. | <i>Steg</i> | 13 |
| 11.6. | <i>Trailer</i> | 13 |
| 11.7. | <i>Lagerbock</i> | 13 |
| 12. | Technische Einschränkungen | 13 |
| 12.1. | <i>Bearbeitbares Material</i> | 13 |
| 12.2. | <i>Nachhaltige Nutzung</i> | 13 |
| 12.3. | <i>Realisierbarkeit (Bau)</i> | 13 |
| 12.4. | <i>COTS vs. Sonderanfertigung</i> | 13 |
| 12.5. | <i>Salz- Wasser Resistenz</i> | 13 |
| 12.6. | <i>Robustheit</i> | 14 |
| 12.7. | <i>Mehrfachnutzung</i> | 14 |
| 12.8. | <i>Haltbarkeit im Wasser</i> | 14 |
| 12.9. | <i>Modularität</i> | 14 |
| 12.10. | <i>Wetter/Umweltbedingungen</i> | 14 |
| 12.11. | <i>Wellengang (Stabilität)</i> | 14 |
| 12.12. | <i>Technisch versiertes Produkt</i> | 14 |
| 13. | Stakeholder Einschränkungen | 14 |
| 13.1. | <i>Verfügbares Budget</i> | 14 |
| 13.2. | <i>Wartbarkeit</i> | 14 |
| 13.3. | <i>Bestes Preis-/Leistungsverhältnis</i> | 14 |
| 13.4. | <i>Verfügbare Kraft des Fahrers</i> | 14 |
| 13.5. | <i>Branding</i> | 14 |
| 13.6. | <i>Reputation /Image</i> | 14 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 13.7. | <i>Ergonomie</i> | 15 |
| 13.8. | <i>Handling mit 4 Personen</i> | 15 |
| 13.9. | <i>Regelwerk IWR</i> | 15 |

1. Einleitung

1.1. Ziel des Dokuments

Das Lastenheft beschreibt die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt aus Sicht des Produktmanagements. Das Dokument führt alle Anforderungen von unterschiedlichen Informationsquellen in eine Spezifikation zusammen und reduziert Missverständnisse aus Sicht des Gesamtbildes.

1.2. Fokus des Dokuments

Das Lastenheft beschreibt die Produkthanforderungen für das zu entwickelnde System. Das Lastenheft liegt auf der gleichen Ebene wie andere Spezifikationen der Kundenanforderungen und dient somit als technische Spezifikation. Es dient als Eingangsinformation für das Pflichtenheft.

Das Dokument beinhaltet keine planungsspezifischen Anforderungen für das Projektmanagement (Entwicklungskosten, Lieferanten, etc.).

1.3. Referenzen

Das Dokument soll den Entwicklungsprozess unterstützen. Das Dokument ist angelehnt an die IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications in der IEEE 1233-1998 und beschreibt die Produkthanforderungen aus Sicht des Kunden.

1.4. Dokumentenabhängigkeit

Die Eingangsinformationen sind Dokumente verschiedener Stakeholder (als Beispiel: Abschlussbericht der Vorentwicklung, Lastenhefte anderer Produktentwicklungen, Besprechungsprotokolle, Präsentationen, ...).

| Dokumentnummer | Dokumentname | Revision |
|----------------|----------------|----------|
| 01 | Regeln der IWR | |
| 02 | Systemgrenzen | |
| 03 | Mindmap | |

2. Projektkontext

2.1. Annahmen

Die erste Version des Lastenhefts basiert auf dem System Footprint Workshop zur Visualisierung und Aufnahme aktueller Informationen unterschiedlicher Interessensgruppen. Nach einer weiteren Sichtung zusätzlicher Eingangsinformationen soll dieses Dokument aktualisiert werden, um mögliche Annahmen zu entfernen.

2.2. Grenzen und Einschränkungen

Entsprechend der aktuellen Projektsituation sollte das Dokument eine stufenbasierte Entwicklung nutzen.

2.3. Definitionen

Beschleunigen

Um eine vereinfachte Annahme für die Leistungsparameter treffen zu können, gehe ich von einer konstanten Beschleunigung des Schiffes und von konstanten

gegen die Schiffsbeschleunigung wirkenden Beschleunigungsparametern wie z.B. Wasserwiderstand aus.

Definierte Umweltbedingungen

Seegang Stärke 1 und maximal 25km/h Windgeschwindigkeit

Definierte Auslegungsbedingungen

Glatte See und maximal 5km/h Windgeschwindigkeit

Einlagerungsort

Ort langzeitiger Lagerung an Land z.B. in einer Werkstatt oder Scheune.

KA_01

Kundenanforderungen aus der Anforderungsspezifikation des System Foot Print

Lagerungsort

Ort kurzzeitiger Lagerung an Land am Einsatzort.

Leichter Schaden

Der Schaden beeinträchtigt die Fähigkeiten des Bootes, welche den Wettkampf betreffen, nicht.

Mittlerer Schaden

Bei einem mittleren Schaden, ist ein Teil der Bootsfähigkeiten nicht erfüllt, welche den Regattawettkampf betreffen. Die Fähigkeit Schwimmen ist voll erfüllt. Der zeitliche Reparaturaufwand beträgt maximal 45Minute. Hierzu wird lediglich transportables Werkzeug benötigt.

Optimierung

Zwischen den Disziplinen ist es möglich das Boot umzubauen. Diese kann im Entwurf optional vorgesehen sein, wenn sich z.B. Leistungsparameter unterschiedlicher Disziplinen untereinander negativ beeinflussen.

PA_01

Aus den Kundenanforderungen abgeleitete Projektanforderungen werden mit PA und einer laufenden Nummer angegeben.

Seetauglich

Alle Use Cases können unter Verletzung der geforderten Leistungsparameter ausgeführt werden.

UC_01

Use-Cases werden mit UC und einer laufenden Nummer abgekürzt.

Verschleißteile

Verschleißteile sind nach dem Wartungsplan vorgesehene Tauschteile.

Voll beladener Zustand

Das Boot hat seine Nutzlast von 25Kg an Bord. Das Boot hat alle für die Regatta vorgesehenen Ersatz- und Verschleißteile an Bord. Es befinden sich 2 Fahrer a 100kg an Bord.

Voll einsatzfähig

Alle Use Cases können unter Einhaltung der geforderten Leistungsparameter ausgeführt werden.

3. Marktinformation

Siehe Bachelorarbeit

4. Systemabgrenzung

Siehe Bachelorarbeit

5. Benutzer des Systems

Hauptnutzer des Systems sind Fahrer, Sponsor und der Mechaniker. Als Nutzer, nicht jedoch Hauptnutzer sind noch die Logistiker zu betrachten, welche das System transportieren (Siehe dazu auch im Kapitel Schnittstellen.)

5.1. Fahrer

Die Fahrer sind jene Personen, welche das Regattaboot während des Wettkampfes antreiben und lenken. Ggf. sind sie auch die Personen, welche das Regattaboot zu Wasser und es wieder herausholen. Das Regattaboot wird mit 2 Personen angetrieben.

5.2. Sponsor

Der Sponsor kann das Regattaboot zu Werbe- oder Freizeitfahrten nutzen. Werbefahrten dienen dazu den Sponsor und ggf. deren Produkt auf geeigneten Stellen des Bootes zu bewerben. Freizeitfahrten finden außerhalb jeden Wettbewerbs statt und finden zur persönlichen Belustigung statt.

5.3. Mechaniker

Der Mechaniker nimmt Modifikationen am System vor. Diese können sowohl auf dem Wasser als auch an Land stattfinden.

6. Hauptnutzungsfälle

Die Hauptnutzungsfälle sind die vorgesehenen Prozesse, welche mit dem Regattaboot durchgeführt werden können.

6.1. Use-Case „Transportieren“

Das Regattaboot wird von seinem Fertigungsort oder Einlagerungsort zum Einsatzort transportiert. Dazu wird es von maximal 4 Personen auf einen Hänger o.ä. verladen. Am Einsatzort wird das Regattaboot von maximal 4 Personen vom Hänger zum Steg transportiert und kann zu Wasser gelassen werden. Nach seinem Einsatz und dem aus-dem-Wasser-holen wird das Regattaboot vom Steg zum Lagerort oder zum Hänger und danach zum Einlagerungsort transportiert (siehe Definition Kapitel 3.5).

6.2. Use Case „Zu Wasser lassen“

Das Regattaboot befindet sich auf dem Steg oder in unmittelbarer Nähe zum Wasser. Es wird von dort aus ins Wasser gelassen und am Steg oder Ufer befestigt. Die Fahrer des Bootes besteigen das Fahrzeug und bringen sich in Position, um das Regattaboot antreiben zu können.

Es befinden sich zu diesem Zeitpunkt auch andere Boote in unmittelbarer Nähe des Bootes im Wasser. Ist nach diesem Use-Case der Use-Case „Freizeitfahrten“ vorgesehen, wird das Regattaboot während des Vorgangs mit Proviant beladen.

~~6.3. Use Case „Fahren/Schwimmen“~~

~~Ist kein Use-Case sondern Kernfunktion~~

6.4. Use-Case „Regatta-Wettkampf“

Das Regattaboot befindet sich bereits im Wasser und begibt sich in Startposition. Nach einem Startsignal erfolgt jeweils ein Wettstreit in den Disziplinen Sprint, Acceleration, Langstrecke, Slalom, Bullard-Pull, Vorwärts-Stopp-Rückwärts und Geheime Mission an. Andere Boote sind ebenfalls im Wasser und können mit dem Regattaboot in Berührung kommen.

6.4.1. 100m Sprint

Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von 100m. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

6.4.2. Beschleunigungsrennen 10m

Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von 10m. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

6.4.3. Langstrecke

Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von ca. 5 km. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

6.4.4. Slalom

Das Regattaboot legt so schnell wie möglich eine Strecke von ca. 100 m zurück. Dabei umfährt es im Slalom um 4 Hindernisse, welche sich jeweils im Abstand von ca. 20m auf der Strecke befinden. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

6.4.5. Pfahlzug

Ein Kraftmessungsgerät wird zwischen einem Pfahl und dem Regattaboot befestigt. Zunächst fährt das Regattaboot bis das Seil gerade so auf Spannung ist. Dann fährt das Regattaboot an und bringt so viel Kraft wie möglich auf. Die Kraft wird 30 Sekunden lang gemessen. Das Regattaboot mit der höchsten mittleren Kraft gewinnt.

6.4.6. Vorwärts-Stopp-Rückwärts

Das Regattaboot fährt so schnell wie möglich in Richtung einer 50m entfernten imaginären Linie und bremst dann ab. Es passiert die Linie mit seinem Heck vollständig, bevor es rückwärts beschleunigt und so schnell wie möglich mit dem gesamten Bug die Startlinie überquert. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt.

6.4.7. Geheime Mission

Die geheime Mission ist eine vom Veranstalter festgelegte individuelle Disziplin. Da diese nicht vorherzusehen ist, hat sie keinen Einfluss auf die Anforderungen an das Boot.

6.5. Use-Case „Training“

Das Regattaboot befindet sich im Wasser. Der Use-Case „Regatta-Wettkampf“ wird simuliert, um die Fahrer des Bootes zu trainieren. Die Umweltbedingungen wie die Art des Gewässers und das Klima können sich vom Wettkampf unterscheiden. Der

physische Kontakt mit anderen Booten spielt in diesem Use-Case eine untergeordnete Rolle.

6.6. Use-Case „Modifikation“

Das Regattaboot hat einen mittleren Schaden (Siehe Kapitel 3.5) erlitten und wird für den erneuten Einsatz bereitgemacht. Dies soll in möglichst kurzer Zeit geschehen, ggf. auf dem Wasser. Zwischen den Regatta-Disziplinen können Optimierungen nötig sein, um das Regattaboot an die Disziplin anzupassen. Diese müssen auf dem Wasser geschehen. Verschleiß- und Ersatzteile werden für beide Fälle ausschließlich auf dem Regattaboot mitgeführt.

6.7. Use-Case „Freizeitfahrten“

Das Regattaboot kann auch außerhalb des Wettkampfes benutzt werden. Dazu muss es mit Nutzlast (z.B. Proviant) beladen werden können.

6.8. Use-Case „Präsentieren“ („Posen“)

Das Regattaboot ist bereits zu Wasser gelassen und die Fahrer befinden sich im Boot. Das Regattaboot und die Fahrer sind gut sichtbar für Außenstehende am Ufer und erregen Aufmerksamkeit. Fahren ist in diesem Use-Case ebenfalls möglich.

6.9. Use-Case „Aus dem Wasser holen“

Das Regattaboot wird am Steg befestigt. Die Fahrer steigen aus dem Regattaboot heraus. Falls nötig wird die Nutzlast des Bootes entladen. Das Regattaboot wird aus dem Wasser herausgeholt und an Land abgelegt.

6.10. Use-Case „Gelagert werden“

Es wird zwischen einlagern und zwischenlagern unterschieden. (Siehe hierzu auch Definition Lagerort und Einlagerungsort). Das Regattaboot wurde zum Lagerort oder Einlagerungsort transportiert und soll dort abgesetzt werden.

6.10.1. Zwischenlagern

Das Regattaboot wurde an seinem Einsatzort vom Hänger zum Steg transportiert und soll zwischengelagert werden, bevor es zu Wasser gelassen wird.

6.10.2. Einlagern

Das Regattaboot soll längerfristig gelagert werden. Hierzu wird es zu einer Werkstatt oder Halle transportiert und dort eingelagert. Um es vor schädlichen Umwelteinflüssen zu schützen, wird es abgedeckt. Regelmäßige Wartungsarbeiten finden ebenfalls statt, während das Boot eingelagert ist.

6.11. Use-Case „Entsorgt werden“

Das Regattaboot wird nicht mehr benötigt und soll entsorgt werden. Dafür wird es in Einzelteile zerlegt, welche dann verkauft, entsorgt oder weiterverwendet werden.

7. Haupt-Liefereinheiten

Die Hauptliefereinheiten definieren den Umfang der Lieferung. Nur aufgelistete Systeme sind Teil des Lieferumfangs.

7.1. Regattaboot

Abgeliefert wird das Regattaboot selbst mit seinen Hauptkomponenten (siehe Kapitel 9).

7.2. Digital Twin

Das Regattaboot ist digital als 3D-CAD Model abgebildet. Es wird im Format step auf DVD geliefert.

7.3. Modell 1:25 verkleinert

Ein physisches mehrfarbiges Model 1:25 aus Polymergips(CJP) welches vom Digital Twin abgeleitet ist. Es wird auf einem Standfuß geliefert.

7.4. Ersatzteile

Ersatzteile sind jede Teile, welche nicht Verschleißteile (Siehe Kapitel 3.5) sind, aber für eine Reparatur benötigt werden. Im Lieferumfang sind lediglich Verschleißteile enthalten, keine Ersatzteile. Der Umfang der Verschleißteile entspricht einer Lebensdauer des Bootes von 3 Jahren oder 2000 Betriebsstunden. Das Werkzeug für Wartung ist nicht Bestandteil des Lieferumfangs. Umbauteile, welche ggf. für verschiedene Disziplinen benötigt werden sind Teil der Liefereinheit „Regattaboot“.

7.5. Gebrauch und Materialspezifikation, Dokumentation

Die Dokumentation beinhaltet eine Wartungs- und Pflegeanleitung des Bootes, sowie eine Optimierungsanleitung für die verschiedenen Disziplinen (falls Umbau vorgesehen). Diese Dokumente werden im PDF Format digital ausgeliefert.

8. Nutzenversprechen

8.1. Publikumsliebbling

Der Name des Bootes hat Wiedererkennungswert. Das Regattaboot erregt so viel Aufmerksamkeit, dass es von der Mehrzahl des Publikums auch noch Wochen später auf Bildern wiedererkannt werden würde.

8.2. Gesamtsieg

Das Regattaboot belegt in der Gesamtwertung mindestens einen der ersten drei Plätze. Mit hoher Wahrscheinlichkeit belegt es sogar den ersten Platz.

8.3. Sprint

In der Disziplin „Sprint“ belegt das Regattaboot einen der ersten 3 Plätze belegen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit belegt es sogar den ersten Platz.

8.4. Produktdesign

Das Regattaboot überzeugt mit einem ansprechenden Produktdesign, welches für ernstzunehmenden Schiffbau steht. Es ist optisch kein „Spaßboot“.

9. Haupt-Funktionen

9.1. Fahrer aufnehmen

Das Regattaboot nimmt 2 Fahrer eines bestimmten Gewichtes und variierender Körpergröße auf. (Siehe 12.7 und 9.1)

9.2. Schwimmen

Das Regattaboot erzeugt Auftrieb. Es geht auch bei voller Beladung mit Nutzlast und Fahrer nicht unter.

9.3. Beschleunigen

Das Regattaboot erreicht in einer vorgegebenen Zeit mit Muskelkraft angetrieben eine bestimmte Geschwindigkeit. Die Muskelkraft kommt hauptsächlich aus den Beinen.

9.4. Fahren

Das Regattaboot hält die erreichte Geschwindigkeit über einen längeren Zeitraum nur über Muskelkraft der beiden Fahrer.

9.5. Bremsen

Das Regattaboot bremst aus maximaler Geschwindigkeit möglichst schnell ab.

9.6. Kurs halten

Das Regattaboot hält seinen Kurs. Dabei können Kursabweichungen manuell von den Fahrern korrigiert werden.

9.7. Kurs ändern

Das Regattaboot kann den Kurs ändern, um die Fahrtrichtung zu wechseln.

9.8. An Seil ziehen (Pfahlzug)

Das Regattaboot kann an einem Pfahlzug Kraft aufbauen und diese für eine gewisse Zeit halten.

9.9. Fracht transportieren

Das Regattaboot muss zusätzlich zu den Fahrern Platz für eine Nutzlast einer bestimmten Größe und Gewicht zur Verfügung stellen. (Siehe 9.10)

9.10. Festmachen

Das schwimmende Regattaboot kann an Land sicher festgemacht werden.

10. Haupt-Komponenten

10.1. Personenaufnahme

Das Regattaboot nimmt 2 Personen auf. (Siehe 12.7). Die Personen leiten Muskelkraft in den Kraftaufnehmer ein. Die Muskelkraft kommt hauptsächlich aus den Beinen. Die Personen lenken und bremsen das Regattaboot aus ihrer Fahrposition.

10.2. Schuberzeuger

Wandelt die mechanische Energie aus der Muskelkraft der Fahrer in kinetische Energie um.

10.3. Ersatz und Verschleißteile

Alle zur Teilnahme am Wettkampf relevanten Ersatz- und Verschleißteile werden während des Wettkampfes auf dem Regattaboot mitgeführt.

10.4. Kraftaufnehmer

Nimmt die Muskelkraft der Fahrer auf.

10.5. Kraftübertragung

Überträgt die Muskelkraft der Fahrer vom Kraftaufnehmer auf den Antrieb.

10.6. Bremse

Nimmt die Bremskraft des Fahrers auf und reduziert aktiv die Geschwindigkeit des Bootes.

10.7. Schwimmkörper/Rumpf

Hält das Regattaboot über Wasser. Nimmt die Personenaufnahme auf.

10.8. Pfahlzugaufnahme

Überträgt die Zugkraft des Bootes über ein Seil auf den Pfahlzug.

10.9. Lenkeinrichtung

Nimmt das Lenksignal des Fahrers auf und ändert die Fahrtrichtung des Bootes

10.10. Nutzlastaufnahme

Nimmt Nutzlast einer bestimmten Größe und Masse zum Transport auf und hindert sie am Herunterfallen vom Regattaboot.

11. Schnittstellen

11.1. Fahrer (Kraftübertragung)

Der Fahrer leitet über die Beine oder Füße die Kraft in das Regattaboot ein

11.2. Fahrer (Steuerung)

Der Fahrer leitet den Steuerungs-/Lenkvorgang per Signalübertragung ein

11.3. Wasser

Das Wasser gibt dem Regattaboot Auftrieb. Es leistet auch Widerstand bei Lenk oder Bremsvorgängen. Das Wasser kann Salz- oder Süßwasser sein.

11.4. Kraftmessungsgerät

Das Kraftmessungsgerät wird am Regattaboot befestigt um für die Disziplin „Pfahlzug“ die Zugkraft des Bootes aufzunehmen und zu messen.

11.5. Steg

Am Steg wird das Regattaboot zu Wasser gelassen und herausgeholt. Er dient zur Befestigung des Bootes an Land. Über den Steg nimmt das Regattaboot die Fahrer und die Fracht auf.

11.6. Trailer

Der Trailer dient als Transportmittel um das Regattaboot zwischen der Werkstatt, dem Lagerort und dem Ort des Wettkampfes hin und her zu transportieren. Er kann auch eine Transportmöglichkeit zur direkten Nähe des Steges darstellen.

11.7. Lagerbock

Der Lagerbock dient als Lagereinheit des Bootes an Land. Der Lagerbock darf das Regattaboot auch bei längerer Lagerung nicht beschädigen. Der Lagerbock kann ein Teilelement des Trailers sein.

12. Technische Einschränkungen

12.1. Bearbeitbares Material

Das Regattaboot wird zu großen Teilen von Studenten bearbeitet. Daher wird Material verwendet, welches kein komplexes Fachwissen oder Fertigungserfahrung benötigt.

12.2. Nachhaltige Nutzung

Das Regattaboot wird zu großen Teilen aus recyclebarem Material gebaut.

12.3. Realisierbarkeit (Bau)

Die Konstruktion ist auf die Fähigkeiten und Fertigungsmöglichkeiten der Studenten angepasst. Siehe hierzu auch 11.4

12.4. COTS vs. Sonderanfertigung

Der Großteil des Bootes stammt aus eigener Fertigung. Ausgenommen sind hiervon alle für die Wartung vorgesehenen Verschleißteile (siehe 12.2).

In Ausnahmefällen kann über eine externe Fertigung einzelner Subsystem nachgedacht werden. Dabei ist insbesondere auf 12.3 einzuhalten.

12.5. Salz- Wasser Resistenz

Das Regattaboot fährt ganzjährig unter Voraussetzung Wetter/Umweltbedingungen (siehe 11.10) in Salzwasser und Süßwasser.

12.6. Robustheit

Bei seitlicher Kollision mit bis zu 5kn erleidet das Regattaboot keinen dauerhaften Formverlust.

12.7. Mehrfachnutzung

Das Regattaboot wird mehrere IWS-Wettbewerbe hintereinander genutzt. Es überzeugt mit seinem Konzept mindestens 3 Jahre lang.

12.8. Haltbarkeit im Wasser

Das Regattaboot wird 3 Jahre hintereinander im Wettbewerb genutzt werden, ohne dass große Nacharbeiten nötig sind. Es wird 2mal im Jahr gewartet. Siehe hierzu 12.2

12.9. Modularität

Das Regattaboot ist modular konzipiert, sodass Subsysteme ohne eigene Beschädigung ausgebaut und in zukünftigen Regattabooten verbaut werden können.

12.10. Wetter/Umweltbedingungen

Das Regattaboot muss Umgebungstemperaturen hält auch frostigen Temperaturen stand.

Regen bis zu einer bestimmten Stärke behindert die Fahrt des Bootes nicht.

12.11. Wellengang (Stabilität)

Das Regattaboot fährt auch auf leicht bewegter See.

12.12. Technisch versiertes Produkt

Bei der konstruktiven Lösungsfindung werden innovative technische Lösungen in Betracht gezogen und mit herkömmlichen Lösungen verglichen.

13. Stakeholder Einschränkungen

13.1. Verfügbares Budget

Das Material des Regattabootes samt Ersatzteilen darf ein bestimmtes Budget nicht übersteigen. Für die restlichen Liefereinheiten ist ein eigenes Budget vorgesehen.

13.2. Wartbarkeit

Das Regattaboot wird maximal 2-mal im Jahr gewartet. Für die Wartung sind keine Spezialwerkzeuge benötigt. Alle für die Wartung benötigten Verschleißteile sind Normteile.

13.3. Bestes Preis-/Leistungsverhältnis

Beim Entwurf ist darauf zu achten, dass das beste Preis/Leistungsverhältnis für das vorgegebene Budget gewählt wird.

13.4. Verfügbare Kraft des Fahrers

Die Leistung des Bootes ist abhängig von der verfügbaren Kraft der Fahrer. Bei der Ermittlung zur Erfüllung der Fähigkeiten sind durchschnittlich sportliche Fahrer einzusetzen.

13.5. Branding

Das Regattaboot weist für die Zuschauer sichtbare Flächen auf, auf denen z.B. das Sponsorenlogo abgebildet werden kann.

13.6. Reputation /Image

Das Design des Regattabootes unterstützt das Marketing und Image des Sponsors positiv.

13.7. Ergonomie

Die Fahreraufnahme kann auf die Fahrergröße angepasst werden. Die Fahreraufnahme stützt die Körper der Fahrer, sodass auch Fahrten bis zu 4 Std den Körper durch die Körperhaltung nicht ermüden lassen.

13.8. Handling mit 4 Personen

Das Regattaboot wird mit maximal 4 Personen zum Trailer bzw. dem Lagerbock und zurück zu transportiert und auf den Trailer bzw. Lagerbock verladen. Das Zu-Wasser-lassen und aus dem Wasser holen wird mit maximal 4 durchschnittlich starken Personen realisiert. Dabei wird eine vorgegebene Last pro Person nicht überschritten.

13.9. Regelwerk IWR

Das Regattaboot wird nach den Regeln der IWR gebaut.

Anwendungsfälle aus der Kundenspezifikation

| ID | Name | Beschreibung |
|-------|---------------------------------|---|
| UC_00 | UC_00 Regatta-Wettkampf | Das Regattaboot befindet sich bereits im Wasser und begibt sich in Startposition. Nach einem Startsignal erfolgt jeweils ein Wettstreit in den Disziplinen Sprint, Acceleration, Langstrecke, Slalom, Bullard-Pull, Vorwärts-Stop-Rückwärts und Geheime Mission an. Andere Boote sind ebenfalls im Wasser und können mit dem Regattaboot in Berührung kommen. |
| UC_01 | UC_01 Transportieren | Das Regattaboot wird von seinem Fertigungsort oder Einlagerungsort zum Einsatzort transportiert. Dazu wird es von maximal 4 Personen auf einen Hänger o.ä. verladen. Am Einsatzort wird das Regattaboot von maximal 4 Personen vom Hänger zum Steg transportiert und kann zu Wasser gelassen werden. Nach seinem Einsatz und dem aus-dem-Wasser-holen wird das Regattaboot vom Steg zum Lagerort oder zum Hänger und danach zum Einlagerungsort transportiert. |
| UC_02 | UC_02 Zu Wasser lassen | Das Regattaboot befindet sich auf dem Steg oder in unmittelbarer Nähe zum Wasser. Es wird von dort aus ins Wasser gelassen und am Steg oder Ufer befestigt. Die Fahrer des Bootes besteigen das Fahrzeug und bringen sich in Position, um das Regattaboot antreiben zu können. Es befinden sich zu diesem Zeitpunkt auch andere Boote in unmittelbarer Nähe des Bootes im Wasser. Ist nach diesem Use-Case der Use-Case „Freizeitfahrten“ vorgesehen, wird das Regattaboot während des Vorgangs mit Proviant beladen. |
| UC_03 | UC_03 100m Sprint | Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von 100m. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen. |
| UC_04 | UC_04 10m Beschleunigungsrennen | Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von 10m. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen. |
| UC_05 | UC_05 Langstrecke | Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von ca. 5 km. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen. |

| ID | Name | Beschreibung |
|-------|-------------------------------|--|
| UC_06 | UC_06 Slalom | Das Regattaboot legt so schnell wie möglich eine Strecke von ca. 100 m zurück. Dabei umfährt es im Slalom um 4 Hindernisse, welche sich jeweils im Abstand von ca. 20m auf der Strecke befinden. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen. |
| UC_07 | UC_07 Pfahlzug | Ein Kraftmessungsgerät wird zwischen einem Pfahl und dem Regattaboot befestigt. Zunächst fährt das Regattaboot bis das Seil gerade so auf Spannung ist. Dann fährt das Regattaboot an und bringt so viel Kraft wie möglich auf. Die Kraft wird 30 Sekunden lang gemessen. Das Regattaboot mit der höchsten Mittleren Kraft gewinnt. |
| UC_08 | UC_08 Vorwärtsstopp-rückwärts | Das Regattaboot fährt so schnell wie möglich in Richtung einer 50m entfernten imaginären Linie und bremst dann ab. Es passiert die Linie mit seinem Heck vollständig, bevor es rückwärts beschleunigt und so schnell wie möglich mit dem gesamten Bug die Startlinie überquert. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt. |
| UC_09 | UC_09 Training | Das Regattaboot befindet sich im Wasser. Der Use-Case „Regatta-Wettkampf“ wird simuliert, um die Fahrer des Bootes zu trainieren. Die Umweltbedingungen wie die Art des Gewässers und das Klima können sich vom Wettkampf unterscheiden. Der physische Kontakt mit anderen Booten spielt in diesem Use-Case eine untergeordnete Rolle. |
| UC_10 | UC_10 Modifikation | Das Regattaboot hat einen mittleren Schaden (Siehe Kapitel 3.5) erlitten und wird für den erneuten Einsatz bereit gemacht. Dies soll in möglichst kurzer Zeit geschehen, ggf. auf dem Wasser. Zwischen den Regatta Disziplinen können Optimierungen nötig sein, um das Regattaboot an die Disziplin anzupassen. Diese müssen auf dem Wasser geschehen. Verschleiß- und Ersatzteile werden für beide Fälle ausschließlich auf dem Regattaboot mitgeführt. |
| UC_11 | UC_11 Freizeitfahrten | Das Regattaboot kann auch außerhalb des Wettkampfes benutzt werden. Dazu wird es beim „Zu Wasser lassen“ mit Nutzlast(z.B. Proviant) beladen. |
| UC_12 | UC_12 Präsentieren | Das Regattaboot ist bereits zu Wasser gelassen und die Fahrer befinden sich im Boot. Das Regattaboot und die Fahrer sind gut sichtbar für Außenstehende am Ufer und erregen Aufmerksamkeit. Fahren ist in diesem Use-Case ebenfalls möglich. |

| ID | Name | Beschreibung |
|-------|-------------------------------|--|
| UC_13 | UC_13 Aus dem Wasser holen | Das Regattaboot wird am Steg befestigt. Die Fahrer steigen aus dem Regattaboot heraus. Falls nötig wird die Nutzlast des Bootes entladen. Das Regattaboot wird aus dem Wasser herausgeholt und an Land abgelegt. |
| UC_14 | UC_14 Zwischengelagert werden | Das Regattaboot wurde an seinem Einsatzort vom Hänger zum Steg transportiert und soll zwischengelagert werden, bevor es zu Wasser gelassen wird. |
| UC_15 | UC_15 Eingelagert werden | Das Regattaboot soll längerfristig gelagert werden. Hierzu wird es zu einer Werkstatt oder Halle transportiert und dort eingelagert. Um es vor schädlichen Umwelteinflüssen zu schützen, wird es abgedeckt. Regelmäßige Wartungsarbeiten finden ebenfalls statt, während das Boot eingelagert ist. |
| UC_16 | UC_16 Entsorgt werden | Das Regattaboot wird nicht mehr benötigt und soll entsorgt werden. Dafür wird es in Einzelteile zerlegt, welche dann verkauft, entsorgt oder weiterverwendet werden. |

Kundenanforderungen aus der Kundenspezifikation

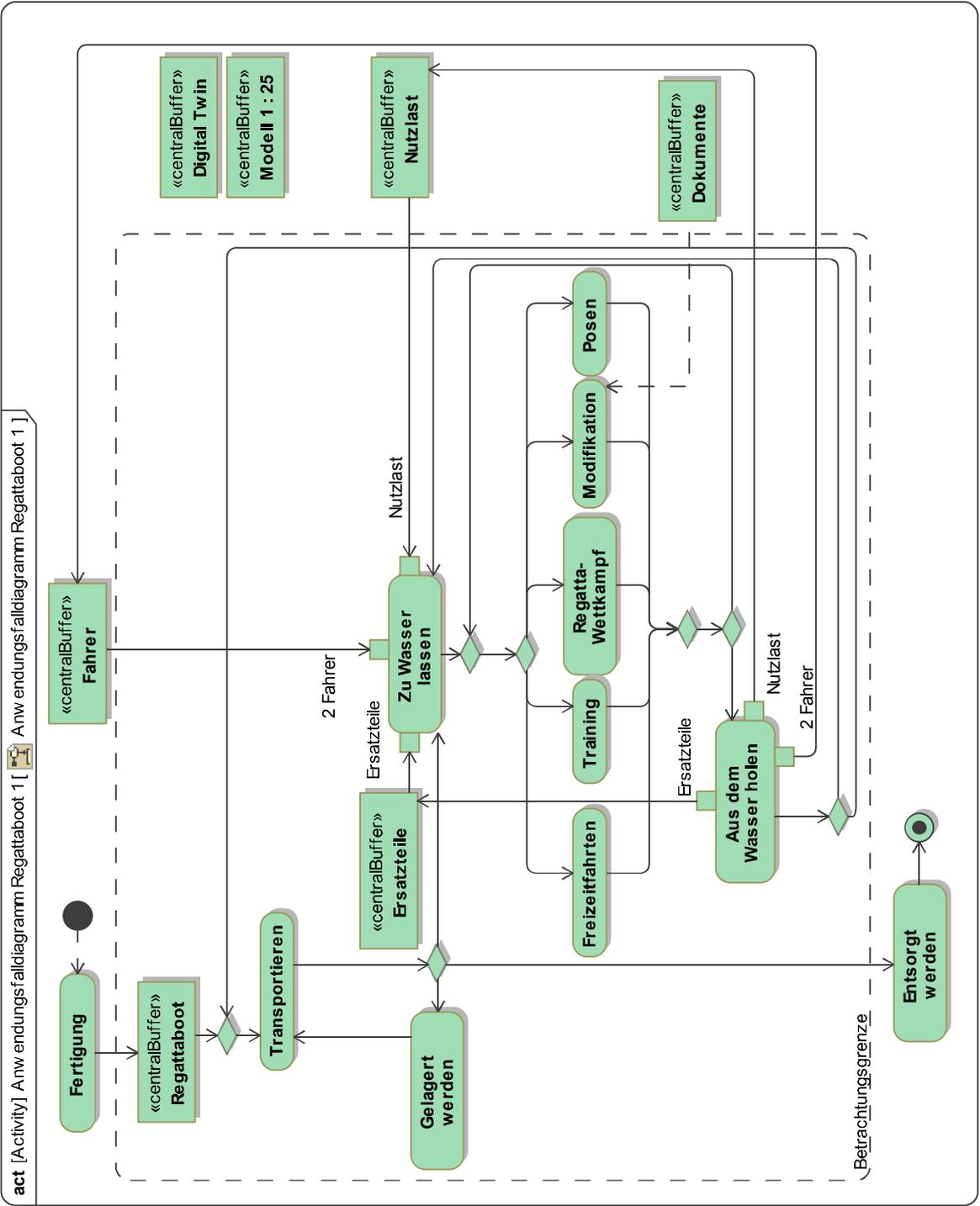
| ID | Name | Text |
|-------|-------------------------------|---|
| KA_01 | KA_01 Hauptnutzer des Systems | Hauptnutzer des Systems sind Fahrer, Sponsor und der Mechaniker. Als Nutzer, nicht jedoch Hauptnutzer sind noch die Logistiker zu betrachten, welche das System transportieren (Siehe dazu auch im Kapitel Schnittstellen.) |
| KA_02 | KA_02 Fahrer des Regattaboots | Die Fahrer sind jene Personen, welche das Regattaboot während des Wettkampfes antreiben und lenken. Ggf. sind sie auch die Personen, welche das Regattaboot zu Wasser und es wieder herausholen. Das Regattaboot wird mit 2 Personen angetrieben |
| KA_03 | KA_03 Sponsor | Der Sponsor kann das Regattaboot zu Werbe- oder Freizeitfahrten nutzen. Werbefahrten dienen dazu den Sponsor und ggf. deren Produkt auf geeigneten Stellen des Bootes zu bewerben. Freizeitfahrten finden außerhalb jeden Wettbewerbs statt und finden zur persönlichen Belustigung statt |
| KA_04 | KA_04 Mechaniker | Der Mechaniker nimmt Modifikationen am System vor. Diese können sowohl auf dem Wasser als auch an Land stattfinden. |
| KA_05 | KA_05 Geheime Mission | Die geheime Mission ist eine vom Veranstalter festgelegte individuelle Disziplin. Da diese nicht vorherzusehen ist, hat sie keinen Einfluss auf die Anforderungen an das Boot |
| KA_06 | KA_06 Lagern | Es wird zwischen einlagern und zwischenlagern unterschieden. (Siehe hierzu auch Definition Lagerort und Einlagerungsort). Das Regattaboot wurde zum Lagerort oder Einlagerungsort transportiert und soll dort abgesetzt werden |
| KA_07 | KA_07 Lieferung Regattaboot | Abgeliefert wird das Regattaboot selbst mit seinen Hauptkomponenten (siehe Kapitel 9) |
| KA_08 | KA_08 Digital Twin | Das Regattaboot ist digital als 3D-CAD Model abgebildet. Es wird im Format step auf DVD geliefert. Der Digital Twin soll die nachhaltige Nutzung von Subsystemen des Regattaboots in Folgebooten erleichtern |
| KA_09 | KA_09 Modell 1:25 | Ein physisches mehrfarbiges Model 1:25 aus Polymergips(CJP) welches vom Digital Twin abgeleitet ist. Es wird auf einem Standfuß geliefert |
| KA_10 | KA_10 Ersatzteile | Ersatzteile sind jede Teile, welche nicht Verschleißteile (Siehe Kapitel 3.5) sind, aber für eine Reparatur benötigt werden. Im Lieferumfang sind lediglich Verschleißteile enthalten, keine Ersatzteile. Der Umfang der Verschleißteile entspricht einer Lebensdauer des Bootes von 3 Jahren oder 1500 Betriebsstunden |
| KA_11 | KA_11 Werkzeug | Das Werkzeug für Wartung ist nicht Bestandteil des Lieferumfangs. Umbauteile, welche ggf. für verschiedene Disziplinen benötigt werden sind Teil der Liefereinheit „Regattaboot“ |

| ID | Name | Text |
|-------|-------------------------------|--|
| KA_12 | KA_12 Dokumentation | Die Dokumentation beinhaltet eine Wartungs- und Pflegeanleitung des Bootes, sowie eine Optimierungsanleitung für die verschiedenen Disziplinen (falls Umbau vorgesehen). Diese Dokumente werden im PDF Format digital ausgeliefert |
| KA_13 | KA_13 Publikums-liebling | Der Name des Bootes hat Wiedererkennungswert. Das Regattaboot erregt so viel Aufmerksamkeit, dass es von der Mehrzahl des Publikums auch noch Wochen später auf Bildern wiedererkannt werden würde |
| KA_14 | KA_14 Gesamtsieg | Das Regattaboot belegt in der Gesamtwertung den ersten Platz. |
| KA_15 | KA_15 Sprint | In der Disziplin „Sprint“ belegt das Regattaboot den ersten Platz |
| KA_16 | KA_16 Produktdesign | Das Regattaboot überzeugt mit einem ansprechenden Produktdesign, welches für ernstzunehmenden Schiffbau spricht. Es ist optisch kein „Spaßboot“ |
| KA_17 | KA_17 Fahrer aufnehmen | Das Regattaboot nimmt 2 Fahrer eines bestimmten Gewichtes und variierender Körpergröße auf. |
| KA_18 | KA_18 Schwimmen | Das Regattaboot erzeugt Auftrieb. Es geht auch bei voller Beladung mit Nutzlast und Fahrer nicht unter |
| KA_19 | KA_19 Beschleunigen | Das Regattaboot erreicht in einer vorgegebenen Zeit mit Muskelkraft angetrieben eine bestimmte Geschwindigkeit. Die Muskelkraft kommt hauptsächlich aus den Beinen |
| KA_20 | KA_20 Fahren | Das Regattaboot hält die erreichte Geschwindigkeit über einen längeren Zeitraum nur über Muskelkraft der beiden Fahrer |
| KA_21 | KA_21 Bremsen | Das Regattaboot bremst aus maximaler Geschwindigkeit möglichst schnell ab |
| KA_22 | KA_22 Kurs halten | Das Regattaboot hält seinen Kurs. Dabei können Kursabweichungen manuell von den Fahrern korrigiert werden |
| KA_23 | KA_23 Kurs ändern | Das Regattaboot kann den Kurs ändern, um die Fahrtrichtung zu wechseln |
| KA_24 | KA_24 An Seil ziehen | Das Regattaboot kann an einem Pfahlzug Kraft aufbauen und diese für eine gewisse Zeit halten |
| KA_25 | KA_25 Nutzlast transportieren | Das Regattaboot muss zusätzlich zu den Fahrern Platz für eine Nutzlast einer bestimmten Größe und Gewicht zur Verfügung stellen. |
| KA_26 | KA_26 Festmachen | Das schwimmende Regattaboot kann an Land sicher festgemacht werden |
| KA_27 | KA_27 Regelwerk IWR | Das Regattaboot ist nach den Regeln der International Waterbikeregatta gebaut |
| KA_28 | KA_28 Personen-aufnahme | Das Regattaboot nimmt 2 Personen auf. Die Personen leiten Muskelkraft in den Kraftaufnehmer ein. Die Muskelkraft kommt hauptsächlich aus den Beinen. Die Personen lenken und bremsen das Regattaboot aus ihrer Fahrposition |
| KA_29 | KA_29 Schuberzeuger | Wandelt die mechanische Energie aus der Muskelkraft der Fahrer in kinetische Energie um |

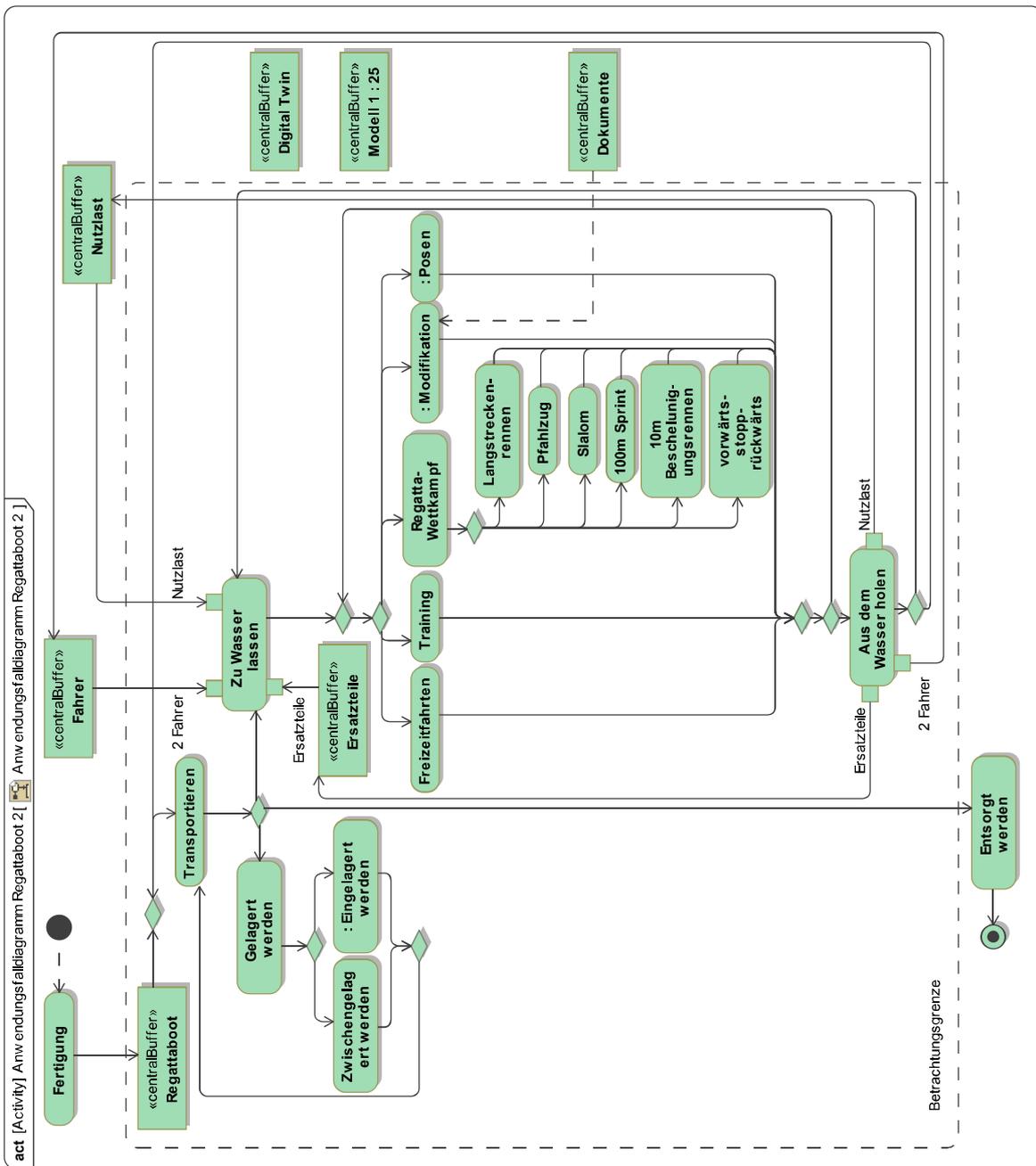
| ID | Name | Text |
|-------|--|---|
| KA_30 | KA_30 Ersatz- und Verschleißteile | Alle zur Teilnahme am Wettkampf relevanten Ersatz- und Verschleißteile werden während des Wettkampfes auf dem Regattaboot mitgeführt |
| KA_31 | KA_31 Kraftaufnehmer | Nimmt die Muskelkraft der Fahrer auf |
| KA_32 | KA_32 Kraftübertragung | Überträgt die Muskelkraft der Fahrer vom Kraftaufnehmer auf den Antrieb |
| KA_33 | KA_33 Bremse | Nimmt die Bremskraft des Fahrers auf und reduziert aktiv die Geschwindigkeit des Bootes |
| KA_34 | KA_34 Schwimmkörper/ Rumpf | Hält das Regattaboot über Wasser. Nimmt die Personenaufnahme auf |
| KA_35 | KA_35 Pfahlzug | Überträgt die Zugkraft des Bootes über ein Seil auf den Pfahlzug |
| KA_36 | KA_36 Lenkeinrichtung | Nimmt das Lenksignal des Fahrers auf und ändert die Fahrtrichtung des Bootes |
| KA_37 | KA_37 Nutzlastaufnahme | Nimmt Nutzlast einer bestimmten Größe und Masse zum Transport auf und hindert sie am Herunterfallen vom Regattaboot |
| KA_38 | KA_38 Schnittstelle Kraftübertragung | Der Fahrer leitet über die Beine oder Füße die Kraft in das Regattaboot ein |
| KA_39 | KA_39 Schnittstelle Steuerung | Der Fahrer leitet den Steuerungs-/Lenkvorgang per Signalübertragung ein |
| KA_40 | KA_40 Schnittstelle Wasser | Das Wasser gibt dem Regattaboot Auftrieb. Es leistet auch Widerstand bei Lenk oder Bremsvorgängen. Das Wasser kann Salz- oder Süßwasser sein |
| KA_41 | KA_41 Schnittstelle Kraftmessungsgerät | Das Kraftmessungsgerät wird am Regattaboot befestigt um für die Disziplin „Pfahlzug“ die Zugkraft des Bootes aufzunehmen und zu messen |
| KA_42 | KA_42 Schnittstelle Steg | Am Steg wird das Regattaboot zu Wasser gelassen und herausgeholt. Er dient zur Befestigung des Bootes an Land. Über den Steg nimmt das Regattaboot die Fahrer und die Fracht auf |
| KA_43 | KA_43 Schnittstelle Trailer | Der Trailer dient als Transportmittel um das Regattaboot zwischen der Werkstatt, dem Lagerort und dem Ort des Wettkampfes hin und her zu transportieren. Er kann auch eine Transportmöglichkeit zur direkten Nähe des Steges darstellen |
| KA_44 | KA_44 Schnittstelle Lagerbock | Der Lagerbock dient als Lagereinheit des Bootes an Land. Der Lagerbock darf das Regattaboot auch bei längerer Lagerung nicht beschädigen. Der Lagerbock kann ein Teilelement des Trailers sein |
| KA_45 | KA_45 Bearbeitbares Material | Das Regattaboot wird zu großen Teilen von Studenten bearbeitet. Daher wird Material verwendet, welches kein komplexes Fachwissen oder Fertigungserfahrung benötigt |

| ID | Name | Text |
|-------|------------------------------------|--|
| KA_46 | KA_46 Nachhaltige Nutzung | Das Regattaboot wird zu großen Teilen aus recyclebarem Material gebaut |
| KA_47 | KA_47 Realisierbarkeit | Die Konstruktion ist auf die Fähigkeiten und Fertigungsmöglichkeiten der Studenten angepasst. |
| KA_48 | KA_48 COTS vs. Sonderanfertigung | Der Großteil des Bootes stammt aus eigener Fertigung. Ausgenommen sind hiervon alle für die Wartung vorgesehenen Verschleißteile (siehe 12.2). In Ausnahmefällen kann über eine externe Fertigung einzelner Subsysteme nachgedacht werden. Dabei ist insbesondere auf 12.3 einzuhalten |
| KA_49 | KA_49 Salz-Wasser-Resistenz | Das Regattaboot fährt ganzjährig unter Voraussetzung Wetter/Umweltbedingungen (siehe 11.10) in Salzwasser und Süßwasser |
| KA_50 | KA_50 Robustheit | Bei seitlicher Kollision mit bis zu 5kn erleidet das Regattaboot keinen dauerhaften Formverlust |
| KA_51 | KA_51 Mehrfachnutzung | Das Regattaboot wird mehrere IWS-Wettbewerbe hintereinander genutzt. Es überzeugt mit seinem Konzept mindestens 3 Jahre lang |
| KA_52 | KA_52 Haltbarkeit im Wasser | Das Regattaboot wird 3 Jahre hintereinander im Wettbewerb genutzt werden, ohne dass große Nacharbeiten nötig sind. Es wird 2mal im Jahr gewartet. Siehe hierzu 12.2 |
| KA_53 | KA_53 Modularität | Das Regattaboot ist modular konzipiert, sodass Subsysteme ohne eigene Beschädigung ausgebaut und in zukünftigen Regattabooten verbaut werden können |
| KA_54 | KA_54 Wetter/Umweltbedingungen | Das Regattaboot muss Umgebungstemperaturen hält auch frostigen Temperaturen stand. Regen bis zu einer bestimmten Stärke behindert die Fahrt des Bootes nicht |
| KA_55 | KA_55 Wellengang (Stabilität) | Das Regattaboot fährt auch auf leicht bewegter See |
| KA_56 | KA_56 Technisch versiertes Produkt | Bei der konstruktiven Lösungsfindung werden innovative technische Lösungen in Betracht gezogen und mit herkömmlichen Lösungen verglichen |
| KA_57 | KA_57 Verfügbares Budget | Das Material des Regattabootes samt Ersatzteilen darf ein bestimmtes Budget nicht übersteigen. Für die restlichen Liefereinheiten ist ein eigenes Budget vorgesehen |
| KA_58 | KA_58 Wartbarkeit | Das Regattaboot wird maximal 2-mal im Jahr gewartet. Für die Wartung sind keine Spezialwerkzeuge benötigt. Alle für die Wartung benötigten Verschleißteile sind Normteile |
| KA_59 | KA_59 Preis-/Leistungsverhältnis | Beim Entwurf ist darauf zu achten, dass das beste Preis/Leistungsverhältnis für das vorgegebene Budget gewählt wird |

| ID | Name | Text |
|-------|---|---|
| KA_60 | KA_60 Verfügbare Kraft des Fahrers | Die Leistung des Bootes ist abhängig von der verfügbaren Kraft der Fahrer. Bei der Ermittlung zur Erfüllung der Fähigkeiten sind sportliche Fahrer einzusetzen. Sportlich ist hier so zu verstehen, dass folgende Leistungen über einen bestimmten Zeitraum von je einem Fahrer zu Verfügung gestellt werden können: Durchschnittlich 1000 Watt über einen Zeitraum von 3 Sekunden. Durchschnittlich 500 Watt über einen Zeitraum von 30 Sekunden. Durchschnittlich 250 Watt über einen Zeitraum von 1 Stunde |
| KA_61 | KA_61 Branding | Das Regattaboot weist für die Zuschauer sichtbare Flächen auf, auf denen z.B. das Sponsorenlogo abgebildet werden kann |
| KA_62 | KA_62 Ergonomie | Die Fahreraufnahme kann auf die Fahrergröße angepasst werden. Die Fahreraufnahme stützt die Körper der Fahrer, sodass auch Fahrten bis zu 4 Std den Körper durch die Körperhaltung nicht ermüden lassen |
| KA_63 | KA_63 Handling mit 4 Personen | Das Regattaboot wird mit maximal 4 Personen zum Trailer bzw. dem Lagerbock und zurück zu transportiert und auf den Trailer bzw. Lagerbock verladen. Das Zu-Wasserlassen und aus dem Wasser holen wird mit maximal 4 durchschnittlich starken Personen realisiert. Dabei wird eine vorgegebene Last pro Person nicht überschritten |
| KA_64 | KA_64 Reputation/ Image | Das Design des Regattabootes unterstützt das Marketing und Image des Sponsors positiv |



07 Anwendungsfalldiagramm Regatta-Tretboot 1



08 Anwendungsfalldiagramm Regatta-Tretboot 2

Dokumenteninformation

Kunde: Studenten einer Schiffbauhochschule
Projektname Tretboot für die Internationale Waterbike Regatta
Produktlinie

Version: V0.2
Status: in Erstellung

| Verantwortlich | Name | Datum |
|-------------------------|-------------------|----------|
| Erstellt / Aktualisiert | Johanna Weinstock | 08.12.17 |
| Intern reviewed | | |
| Extern reviewed | | |
| Freigegeben | | |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|--------------|
| 1. Einleitung | 6 |
| 1.1. Ziel des Dokuments | 6 |
| 1.2. Fokus des Dokuments | 6 |
| 1.3. Referenzen | 6 |
| 1.4. Dokumentenabhängigkeit | 6 |
| 2. Projektkontext | 6 |
| 2.1. Annahmen | 6 |
| 2.2. Grenzen und Einschränkungen | 6 |
| 2.3. Definitionen | 6 |
| 3. Marktinformation | 7 |
| 4. Systemabgrenzung | 8 |
| 5. Benutzer des Systems | 8 |
| 5.1. Fahrer | 8 |
| 5.2. Sponsor | 8 |
| 5.3. Mechaniker | 8 |
| 6. Hauptnutzungsfälle | 8 |
| 6.1. Use-Case „Transportieren“ – | 8 |
| 6.2. Use Case „Zu Wasser lassen“ – UC_02-Zu-Wasser-lassen | 9 |
| 6.3. Use-Case „Fahren/Schwimmen“ | 9 |
| 6.4. Use-Case „Regatta-Wettkampf“ | 9 |
| 6.4.1. 100m Sprint | 9 |
| 6.4.2. 10m Beschleunigungsrennen | 9 |
| 6.4.3. Langstrecke | 10 |
| 6.4.4. Slalom | 10 |
| 6.4.5. Pfahlzug | 10 |
| 6.4.6. Vorwärts-Stopp-Rückwärts | 10 |
| 6.4.7. Geheime Mission | 11 |
| 6.5. Use-Case „Training“ | 11 |
| 6.6. Use-Case „Modifikation“ | 11 |
| 6.7. Use-Case „Freizeitfahrten“ | 11 |
| 6.8. Use-Case „Präsentieren“ | 11 |
| 6.9. Use-Case „Aus dem Wasser holen“ | 12 |
| 6.10. Use-Case „Gelagert werden“ | 12 |
| 6.10.1. Zwischengelagert werden | 12 |
| 6.10.2. Eingelagert werden | 12 |
| 6.11. Use-Case „Entsorgt werden“ | 12 |
| 7. Haupt-Liefereinheiten | 12 |
| 7.1. Regattaboot | 13 |
| 7.2. Digital Twin | 13 |
| 7.3. Modell 1:25 verkleinert | 13 |
| 7.4. Ersatzteile | 13 |
| 7.5. Dokumentation | 13 |
| 8. Nutzenversprechen | 13 |
| 8.1. Publikumsliebbling | 13 |
| 8.2. Gesamtsieg | 13 |
| 8.3. Sprint | 14 |
| 8.4. Produktdesign | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 9. Haupt-Funktionen | 14 |
| 9.1. Fahrer aufnehmen | 14 |
| 9.2. Schwimmen | 14 |
| 9.3. Beschleunigen | 14 |
| 9.4. Fahren | 14 |
| 9.5. Bremsen | 14 |
| 9.6. Kurs halten | 14 |
| 9.7. Kurs ändern | 14 |
| 9.8. An Seil ziehen (Pfahlzug) | 14 |
| 9.9. Nutzlast transportieren | 14 |
| 9.10. Festmachen | 15 |
| 10. Haupt-Komponenten | 15 |
| 10.1. Personenaufnahme | 15 |
| 10.2. Schuberzeuger | 15 |
| 10.3. Ersatz und Verschleißteile | 15 |
| 10.4. Kraftaufnehmer | 15 |
| 10.5. Kraftübertragung | 15 |
| 10.6. Bremse | 15 |
| 10.7. Schwimmkörper/Rumpf | 15 |
| 10.8. Pfahlzugaufnahme | 15 |
| 10.9. Lenkeinrichtung | 15 |
| 10.10. Nutzlastaufnahme | 15 |
| 11. Schnittstellen | 15 |
| 11.1. Fahrer (Kraftübertragung) | 15 |
| 11.2. Fahrer (Steuerung) | 15 |
| 11.3. Wasser | 16 |
| 11.4. Kraftmessungsgerät | 16 |
| 11.5. Steg | 16 |
| 11.6. Trailer | 16 |
| 11.7. Lagerbock | 16 |
| 12. Technische Einschränkungen | 16 |
| 12.1. Bearbeitbares Material | 16 |
| 12.2. Nachhaltige Nutzung | 16 |
| 12.3. Realisierbarkeit (Bau) | 16 |
| 12.4. COTS vs. Sonderanfertigung | 16 |
| 12.5. Salz- Wasser Resistenz | 16 |
| 12.6. Robustheit | 16 |
| 12.7. Mehrfachnutzung | 17 |
| 12.8. Haltbarkeit im Wasser | 17 |
| 12.9. Modularität | 17 |
| 12.10. Wetter/Umweltbedingungen | 17 |
| 12.11. Wellengang (Stabilität) | 17 |
| 12.12. Technisch versiertes Produkt | 17 |
| 13. Stakeholder Einschränkungen | 17 |
| 13.1. Verfügbares Budget | 17 |
| 13.2. Wartbarkeit | 18 |
| 13.3. Bestes Preis-/Leistungsverhältnis | 18 |
| 13.4. Verfügbare Kraft des Fahrers | 18 |
| 13.5. Branding | 18 |
| 13.6. Reputation /Image | 18 |

| | | |
|-------|--------------------------------|----|
| 13.7. | <i>Ergonomie</i> | 18 |
| 13.8. | <i>Handling mit 4 Personen</i> | 18 |
| 13.9. | <i>Regelwerk IWR</i> | 18 |

1. Einleitung

1.1. Ziel des Dokuments

Die Anforderungsspezifikation (Das Lastenheft) beschreibt die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt aus Sicht des Produktmanagements. Das Dokument führt alle Anforderungen von unterschiedlichen Informationsquellen in eine Spezifikation zusammen und reduziert Missverständnisse aus Sicht des Gesamtbildes.

1.2. Fokus des Dokuments

Die Anforderungsspezifikation (Das Lastenheft) beschreibt die Produkthanforderungen für das zu entwickelnde System. Sie liegt auf der gleichen Ebene wie andere Spezifikationen der Kundenanforderungen und dient somit als technische Spezifikation. Es dient als Eingangsinformation für das Pflichtenheft.

Das Dokument beinhaltet keine planungsspezifischen Anforderungen für das Projektmanagement (Entwicklungskosten, Lieferanten, etc.).

1.3. Referenzen

Das Dokument soll den Entwicklungsprozess unterstützen. Das Dokument ist angelehnt an die IEEE Guide for Developing System Requirements Specifications in der IEEE 1233-1998 und beschreibt die Produkthanforderungen aus Sicht des Kunden.

1.4. Dokumentenabhängigkeit

Die Eingangsinformationen sind Dokumente verschiedener Stakeholder (als Beispiel: Abschlussbericht der Vorentwicklung, Lastenhefte anderer Produktentwicklungen, Besprechungsprotokolle, Präsentationen, ...).

| Dokumentnummer | Dokumentname | Revision |
|----------------|----------------|----------|
| 01 | Regeln der IWR | |
| 02 | Systemgrenzen | |
| 03 | Mindmap | |

2. Projektkontext

2.1. Annahmen

Die erste Version der Spezifikation basiert auf dem System Footprint Workshop zur Visualisierung und Aufnahme aktueller Informationen unterschiedlicher Interessensgruppen. Nach einer weiteren Sichtung zusätzlicher Eingangsinformationen soll dieses Dokument aktualisiert werden, um mögliche Annahmen zu entfernen.

2.2. Grenzen und Einschränkungen

Entsprechend der aktuellen Projektsituation sollte das Dokument eine stufenbasierte Entwicklung nutzen.

2.3. Definitionen

Beschleunigen

Um eine vereinfachte Annahme für die Leistungsparameter treffen zu können, gehe ich von einer konstanten Beschleunigung des Schiffes und von konstanten gegen die Schiffsbeschleunigung wirkenden Beschleunigungsparametern wie z.B. Wasserwiderstand aus.

Definierte Umweltbedingungen

Seegang Stärke 1 und maximal 25km/h Windgeschwindigkeit

Definierte Auslegungsbedingungen

Glatte See und maximal 5km/h Windgeschwindigkeit

Einlagerungsort

Ort langzeitiger Lagerung an Land z.B. in einer Werkstatt oder Scheune.

KA_01

Kundenanforderungen aus der Anforderungsspezifikation des System Foot Print

Lagerungsort

Ort kurzzeitiger Lagerung an Land am Einsatzort.

Leichter Schaden

Der Schaden beeinträchtigt die Fähigkeiten des Bootes, welche den Wettkampf betreffen, nicht.

Mittlerer Schaden

Bei einem mittleren Schaden, ist ein Teil der Bootsfähigkeiten nicht erfüllt, welche den Regattawettkampf betreffen. Die Fähigkeit Schwimmen ist voll erfüllt. Der zeitliche Reparaturaufwand beträgt maximal 45Minute. Hierzu wird lediglich transportables Werkzeug benötigt.

Optimierung

Zwischen den Disziplinen ist es möglich das Boot umzubauen. Diese kann im Entwurf optional vorgesehen sein, wenn sich z.B. Leistungsparameter unterschiedlicher Disziplinen untereinander negativ beeinflussen.

PA_01

Aus den Kundenanforderungen abgeleitete Projektanforderungen werden mit PA und einer laufenden Nummer angegeben.

Platzierungen in der Regatta

Zur Leistungsorientierung werden zum Vergleich die Wettbewerbsergebnisse der IWR 2017. Zur Erfüllung der Anforderungen Bsp. „Platzierung unter den besten 15%“ werden diese Leistungswerte als Zielwerte genommen. Um beispielsweise die Anforderung „Erster Platz im 100m Sprint“ zu erfüllen, muss man den 100m Sprint in geringer Zeit absolvieren, als das Gewinnerboot des 100m Sprint der IWR 2017.

Seetauglich

Alle Use Cases können unter Verletzung der geforderten Leistungsparameter ausgeführt werden.

UC_01

Use-Cases werden mit UC und einer laufenden Nummer abgekürzt.

Verschleißteile

Verschleißteile sind nach dem Wartungsplan vorgesehene Tauschteile.

Voll beladener Zustand

Das Boot hat seine Nutzlast von 25Kg an Bord. Das Boot hat alle für die Regatta vorgesehenen Ersatz- und Verschleißteile an Bord. Es befinden sich 2 Fahrer a 100kg an Bord.

Voll einsatzfähig

Alle Use Cases können unter Einhaltung der geforderten Leistungsparameter ausgeführt werden.

3. Marktinformation

Siehe Bachelorarbeit

4. Systemabgrenzung

Siehe Bachelorarbeit

5. Benutzer des Systems

KA_01 Hauptnutzer des Systems sind Fahrer, Sponsor und der Mechaniker. Als Nutzer, nicht jedoch Hauptnutzer sind noch die Logistiker zu betrachten, welche das System transportieren (Siehe dazu auch Kapitel 11.)

PA_01 Beim Zu-Wasser-lassen, Aus-dem-Wasser-holen und beim Transport des Regattabootes durch 4 Personen muss die Last pro Person weniger als 40kg betragen.

5.1. Fahrer

KA_02 Die Fahrer sind jene Personen, welche das Regattaboot während des Wettkampfes antreiben und lenken. Ggf. sind sie auch die Personen, welche das Regattaboot zu Wasser und es wieder herausholen. Das Regattaboot wird mit 2 Personen angetrieben.

PA_02 Das System Regattaboot muss 2 Personen bis zu je 100kg Gewicht und einer Körpergröße zwischen 1,60m und 2,10m aufnehmen können.

5.2. Sponsor

KA_03 Der Sponsor kann das Regattaboot zu Werbe- oder Freizeitfahrten nutzen. Werbefahrten dienen dazu den Sponsor und ggf. deren Produkt auf geeigneten Stellen des Bootes zu bewerben. Freizeitfahrten finden außerhalb jeden Wettbewerbs statt und finden zur persönlichen Belustigung statt.

PA_03 Das Regattaboot muss eine Möglichkeit bieten den Sponsor und dessen Produkt mit bis zu 0,5x0,25 m² sichtbar nach außen zu bewerben

5.3. Mechaniker

KA_04 Der Mechaniker nimmt Modifikationen am System vor. Diese können sowohl auf dem Wasser als auch an Land stattfinden.

6. Hauptnutzungsfälle

Die Hauptnutzungsfälle sind die vorgesehenen Prozesse, welche mit dem Regattaboot durchgeführt werden können.

6.1. Use-Case „Transportieren“ –

UC_01 „Transportieren“: Das Regattaboot wird von seinem Fertigungsort oder Einlagerungsort zum Einsatzort transportiert. Dazu wird es von maximal 4 Personen auf einen Hänger o.ä. verladen. Am Einsatzort wird das Regattaboot von maximal 4 Personen vom Hänger zum Steg transportiert und kann zu Wasser gelassen werden. Nach seinem Einsatz und dem aus-dem-Wasser-holen wird das Regattaboot vom Steg zum Lagerort oder zum Hänger und danach zum Einlagerungsort transportiert.

PA_04 Das System Regattaboot muss von maximal 4 Personen auf einen fahrbaren Trailer geladen werden.

PA_52 Das Regattaboot muss von maximal 4 Personen von einem fahrbaren Trailer heruntergeladen werden.

PA_53 Das System Regattaboot muss auf einem fahrbaren Trailer mit bis zu 80km/h transportiert werden können.

6.2. Use Case „Zu Wasser lassen“ – UC_02-Zu-Wasser-lassen

UC_02 „Zu Wasser lassen“: Das Regattaboot befindet sich auf dem Steg oder in unmittelbarer Nähe zum Wasser. Es wird von dort aus ins Wasser gelassen und am Steg oder Ufer befestigt. Die Fahrer des Bootes besteigen das Fahrzeug und bringen sich in Position, um das Regattaboot antreiben zu können. Es befinden sich zu diesem Zeitpunkt auch andere Boote in unmittelbarer Nähe des Bootes im Wasser. Ist nach diesem Use-Case der Use-Case „Freizeitfahrten“ vorgesehen, wird das Regattaboot während des Vorgangs mit Proviant beladen.

PA_07 Das Regattaboot muss von maximal 4 Personen vom Steg oder unmittelbar ins Wasser gelassen werden können.

PA_06 Das Regattaboot muss vom Steg oder Ufer aus von 2 Fahrern betreten werden können.

PA_05 Das System Regattaboot muss sowohl am Steg als auch am Ufer zu befestigen sein.

PA_08 Das Regattaboot muss so viel Auftrieb erzeugen, sodass es auch mit der 2-fachen Nutzlast (50kg) und 3 Personen (300kg) an Bord schwimmt.

~~6.3. Use Case „Fahren/Schwimmen“~~

~~Ist kein Use-Case sondern Kernfunktion~~

6.4. Use-Case „Regatta-Wettkampf“

UC_00 Das Regattaboot befindet sich bereits im Wasser und begibt sich in Startposition. Nach einem Startsignal erfolgt jeweils ein Wettstreit in den Disziplinen Sprint, Acceleration, Langstrecke, Slalom, Bullard-Pull, Vorwärts-Stopp-Rückwärts und Geheime Mission an. Andere Boote sind ebenfalls im Wasser und können mit dem Regattaboot in Berührung kommen.

6.4.1. 100m Sprint

UC_03 „100m Sprint“: Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von 100m. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

PA_09 Um den 100m Sprint in 21,9 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 m/s auf 5 m/s in 3 Sekunden beschleunigen können (ca. 6 m)

PA-10 Um den 100m Sprint in 21,9 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 100m mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s fahren.

6.4.2. 10m Beschleunigungsrennen

UC_04 „10m Beschleunigungsrennen“: Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von 10m. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

PA_12 Um den 10m Sprint in unter 2,9 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zu Verfügung gestellte Antriebsleistung von 0 m/s auf 8 m/s in 2,6 Sekunden beschleunigen können.

6.4.3. Langstrecke

UC_05 „Langstrecke“: Das Regattaboot beschleunigt und fährt so schnell wie möglich eine abgesteckte Strecke von ca. 5 km. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

PA_13 Um die 3 km/h des Langstreckenrennens in unter 15,4 Minuten zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 auf 5 m/s in 3 Sekunden beschleunigen können

PA_14 Um die 3 km/h des Langstreckenrennens in unter 15,4 Minuten zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 3 km mit durchschnittlich 3,5m/s fahren können.

6.4.4. Slalom

UC_06 „Slalom“: Das Regattaboot legt so schnell wie möglich eine Strecke von ca. 100 m zurück. Dabei umfährt es im Slalom um 4 Hindernisse, welche sich jeweils im Abstand von ca. 20m auf der Strecke befinden. Die Zeit wird vom Startsignal gemessen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem das Heck des Schiffs vollständig die Zielgerade überquert hat. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt das Rennen.

PA_17 Um die Disziplin Slalom in unter 20 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot bei einer Geschwindigkeit von 5m/s den Kurs innerhalb von 4 Sekunden von 0° auf 5°bb ändern können.

PA_18 Um die Disziplin Slalom in unter 20 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot bei einer Geschwindigkeit von 5m/s den Kurs innerhalb von 4 Sekunden von 0° auf 5°sb ändern können.

6.4.5. Pfahlzug

UC_07 „Pfahlzug“: Ein Kraftmessungsgerät wird zwischen einem Pfahl und dem Regattaboot befestigt. Zunächst fährt das Regattaboot bis das Seil gerade so auf Spannung ist. Dann fährt das Regattaboot an und bringt so viel Kraft wie möglich auf. Die Kraft wird 30 Sekunden lang gemessen. Das Regattaboot mit der höchsten mittleren Kraft gewinnt.

PA_19 Um eine über 30 Sekunden gemittelte Zugkraft von mindesten 690N auf einen Pfahlzug zu erzeugen muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 720N Zugkraft (690+5%) erzeugen können

6.4.6. Vorwärts-Stopp-Rückwärts

UC_08 „Vorwärts-Stopp-Rückwärts“: Das Regattaboot fährt so schnell wie möglich in Richtung einer 50m entfernten imaginären Linie und bremst dann ab. Es passiert die Linie mit seinem Heck vollständig, bevor es rückwärts beschleunigt und so schnell wie möglich mit dem gesamten Bug die Startlinie überquert. Das Regattaboot mit der kürzesten Zeit gewinnt.

PA_20 Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 auf 5,2 m/s in unter 3 Sekunden beschleunigen

- PA_21 Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 50m mit einer Geschwindigkeit von 5,2m/s fahren können.
- PA_22 Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 5,2 auf 0 m/s in unter 3 Sekunden abbremsen
- PA_23 Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 auf -4 m/s in unter 3 Sekunden rückwärts beschleunigen
- PA_24 Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 50m mit einer Geschwindigkeit von -4 m/s rückwärtsfahren können.

6.4.7. Geheime Mission

KA_05 Die geheime Mission ist eine vom Veranstalter festgelegte individuelle Disziplin. Da diese nicht vorherzusehen ist, hat sie keinen Einfluss auf die Anforderungen an das Boot.

6.5. Use-Case „Training“

UC_09 „Training“: Das Regattaboot befindet sich im Wasser. Der Use-Case „Regatta-Wettkampf“ wird simuliert, um die Fahrer des Bootes zu trainieren. Die Umweltbedingungen wie die Art des Gewässers und das Klima können sich vom Wettkampf unterscheiden. Der physische Kontakt mit anderen Booten spielt in diesem Use-Case eine untergeordnete Rolle.

6.6. Use-Case „Modifikation“

UC_10 „Modifikation“: Das Regattaboot hat einen mittleren Schaden (Siehe Kapitel 2.3) erlitten und wird für den erneuten Einsatz bereitgemacht. Dies soll in möglichst kurzer Zeit geschehen, ggf. auf dem Wasser. Zwischen den Regatta-Disziplinen können Optimierungen nötig sein, um das Regattaboot an die Disziplin anzupassen. Diese müssen auf dem Wasser geschehen. Verschleiß- und Ersatzteile werden für beide Fälle ausschließlich auf dem Regattaboot mitgeführt.

PA_25 Das Regattaboot muss während des Regatta-Wettkampfes alle für die Reparatur und Optimierung vorgesehenen Ersatz- und Verschleißteile mit an Bord führen.

PA_26 Nach einem mittleren Schaden muss das Regattaboot innerhalb von 1 Std repariert werden können

PA_27 Sind Optimierungen vorgesehen, müssen diese auf dem Wasser stattfinden.

6.7. Use-Case „Freizeitfahrten“

UC_11 „Freizeitfahrten“: Das Regattaboot kann auch außerhalb des Wettkampfes benutzt werden. Dazu wird es beim „Zu Wasser lassen“ mit Nutzlast (z.B. Proviant) beladen.

6.8. Use-Case „Präsentieren“

UC_12 „Präsentieren“: Das Regattaboot ist bereits zu Wasser gelassen und die Fahrer befinden sich im Boot. Das Regattaboot und die Fahrer sind gut sichtbar für Außenstehende am Ufer und erregen Aufmerksamkeit. Fahren ist in diesem Use-Case ebenfalls möglich.

PA_60 Um bei den Zuschauern Aufmerksamkeit erregen zu können muss das Regattaboot den Fahrern genügend Bewegungsfreiraum zur Verfügung stellen, sodass sie die Zuschauer mit ihren Armen und Händen animieren können.

6.9. Use-Case „Aus dem Wasser holen“

UC_13 „Aus dem Wasser holen“: Das Regattaboot wird am Steg befestigt. Die Fahrer steigen aus dem Regattaboot heraus. Falls nötig wird die Nutzlast des Bootes entladen. Das Regattaboot wird aus dem Wasser herausgeholt und an Land abgelegt.

PA_28 Das Regattaboot muss von 2 Fahrern auf den Steg oder ans Ufer verlassen werden können.

PA_29 Das System Regattaboot muss von maximal 4 Personen aus dem Wasser geholt und auf den Steg oder ans Ufer transportiert werden können.

6.10. Use-Case „Gelagert werden“

KA_06 Es wird zwischen einlagern und zwischenlagern unterschieden. (Siehe hierzu auch Definition Lagerort und Einlagerungsort). Das Regattaboot wurde zum Lagerort oder Einlagerungsort transportiert und soll dort abgesetzt werden.

6.10.1. Zwischengelagert werden

UC_14 „Zwischengelagert werden“: Das Regattaboot wurde an seinem Einsatzort vom Hänger zum Steg transportiert und soll zwischengelagert werden, bevor es zu Wasser gelassen wird.

PA_30 Das Regattaboot muss an Land zwischengelagert werden.

6.10.2. Eingelagert werden

UC_15 „Eingelagert werden“: Das Regattaboot soll längerfristig gelagert werden. Hierzu wird es zu einer Werkstatt oder Halle transportiert und dort eingelagert. Um es vor schädlichen Umwelteinflüssen zu schützen, wird es abgedeckt. Regelmäßige Wartungsarbeiten finden ebenfalls statt, während das Boot eingelagert ist.

PA_31 Das Regattaboot muss auf einer dafür vorgesehenen Einrichtung – zum Beispiel Lagerbock – in einer Halle eingelagert werden können.

PA_75 Das Regattaboot muss bei Einlagerung vor Umwelteinflüssen geschützt werden.

PA_32 Das Regattaboot muss jeweils 6 Monate oder 250 Betriebsstunden wartungsfrei zu betreiben sein.

PA_33 Alle im Wartungsplan vorgesehenen Verschleißteile müssen Normteile sein

PA_74 Für die regelmäßige Wartung muss ein Wartungsplan in PDF-Format mitgeliefert werden.

6.11. Use-Case „Entsorgt werden“

UC_16 „Entsorgt werden“: Das Regattaboot wird nicht mehr benötigt und soll entsorgt werden. Dafür wird es in Einzelteile zerlegt, welche dann verkauft, entsorgt oder weiterverwendet werden.

PA_34 Das Regattaboot muss für die Entsorgung in seine Subsystem 1.Ordnung zerlegbar sein, ohne dass dabei seine Subsysteme 1.Ordnung zerlegbar sein, ohne dass dabei die Subsysteme beschädigt werden.

7. Haupt-Liefereinheiten

Die Hauptliefereinheiten definieren den Umfang der Lieferung. Nur aufgelistete Systeme sind Teil des Lieferumfangs.

7.1. Regattaboot

KA_07 Abgeliefert wird das Regattaboot selbst mit seinen Hauptkomponenten (siehe Kapitel 10).

7.2. Digital Twin

KA_08 Das Regattaboot ist digital als 3D-CAD Model abgebildet. Es wird im Format step auf DVD geliefert. Der Digital Twin soll die nachhaltige Nutzung von Subsystemen des Regattaboote in Folgebooten erleichtern.

PA_59 Von dem System Regattaboot gibt es ein 3D-CAD Model, welche im Format step auf DVD abgeliefert werden muss.

7.3. Modell 1:25 verkleinert

KA_09 Ein physisches mehrfarbiges Model 1:25 aus Polymergips(CJP) welches vom Digital Twin abgeleitet ist. Es wird auf einem Standfuß geliefert.

PA_35 Ein vom Digital Twin abgeleitetes mehrfarbiges Model 1:25 aus Polymergips (CJP) muss auf einem Standfuß mitgeliefert werden.

7.4. Ersatzteile

KA_10 Ersatzteile sind jede Teile, welche nicht Verschleißteile (Siehe Kapitel 2.3) sind, aber für eine Reparatur benötigt werden. Im Lieferumfang sind lediglich Verschleißteile enthalten, keine Ersatzteile. Der Umfang der Verschleißteile entspricht einer Lebensdauer des Bootes von 3 Jahren oder 1500 Betriebsstunden.

PA_36 Im Lieferumfang müssen alle im Wartungsplan vorgesehene Verschleißteile beinhalten, welche de, Schiff eine Lebensdauer von 3 Jahren oder 1500 Betriebsstunden sichern.

KA_11 Das Werkzeug für Wartung ist nicht Bestandteil des Lieferumfangs. Umbauteile, welche ggf. für verschiedene Disziplinen benötigt werden sind Teil der Liefereinheit „Regattaboot“.

7.5. Dokumentation

KA_12 Die Dokumentation beinhaltet eine Wartungs- und Pflegeanleitung des Bootes, sowie eine Optimierungsanleitung für die verschiedenen Disziplinen (falls Umbau vorgesehen). Diese Dokumente werden im PDF Format digital ausgeliefert.

PA_37 Der Lieferumfang muss einen Wartungsplan in PDF Format enthalten.

PA_38 Im Lieferumfang muss – falls Optimierungen nach 4.6 vorgesehen sind – ein Optimierungsplan im PDF Format enthalten sein.

8. Nutzenversprechen

8.1. Publikumsbeliebter

KA_13 Der Name des Bootes hat Wiedererkennungswert. Das Regattaboot erregt so viel Aufmerksamkeit, dass es von der Mehrzahl des Publikums auch noch Wochen später auf Bildern wiedererkannt werden würde.

8.2. Gesamtsieg

KA_14 Das Regattaboot belegt in der Gesamtwertung mindestens einen der ersten drei Plätze. Mit hoher Wahrscheinlichkeit belegt es sogar den ersten Platz.

PA_61 Das Regattaboot muss in der Disziplin Slalom unter den ersten 15% abschneiden.

PA_72 Das Regattaboot muss in der Disziplin Langstrecke unter den ersten 15% abschneiden.

PA_73 Das Regattaboot muss in der Disziplin Vorwärts-Stopp-Rückwärts unter den ersten 15% abschneiden.

8.3. Sprint

KA_15 In der Disziplin „Sprint“ belegt das Regattaboot einen der ersten 3 Plätze belegen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit belegt es sogar den ersten Platz.

PA_62 Das Regattaboot soll in den Disziplinen 100m Sprint den ersten Platz belegen

PA_63 Das Regattaboot soll in der Disziplin 10m Beschleunigungsrennen den ersten Platz belegen

8.4. Produktdesign

KA_16 Das Regattaboot überzeugt mit einem ansprechenden Produktdesign, welches für ernstzunehmenden Schiffbau spricht. Es ist optisch kein „Spaßboot“.

9. Haupt-Funktionen

9.1. Fahrer aufnehmen

KA_17 Das Regattaboot nimmt 2 Fahrer eines bestimmten Gewichtes und variierender Körpergröße auf. (Siehe 12.7 und 9.1)

9.2. Schwimmen

KA_18 Das Regattaboot erzeugt Auftrieb. Es geht auch bei voller Beladung mit Nutzlast und Fahrer nicht unter.

9.3. Beschleunigen

KA_19 Das Regattaboot erreicht in einer vorgegebenen Zeit mit Muskelkraft angetrieben eine bestimmte Geschwindigkeit. Die Muskelkraft kommt hauptsächlich aus den Beinen.

9.4. Fahren

KA_20 Das Regattaboot hält die erreichte Geschwindigkeit über einen längeren Zeitraum nur über Muskelkraft der beiden Fahrer.

9.5. Bremsen

KA_21 Das Regattaboot bremst aus maximaler Geschwindigkeit möglichst schnell ab.

9.6. Kurs halten

KA_22 Das Regattaboot hält seinen Kurs. Dabei können Kursabweichungen manuell von den Fahrern korrigiert werden.

PA_39 Das Regattaboot muss seinen Kurs den definierten Umweltbedingungen auf 5° halten können.

9.7. Kurs ändern

KA_23 Das Regattaboot kann den Kurs ändern, um die Fahrtrichtung zu wechseln.

PA_40 Das Regattaboot muss seinen Kurs bei den definierten Umweltbedingungen auf 5° genau ändern können.

9.8. An Seil ziehen (Pfahlzug)

KA_24 Das Regattaboot kann an einem Pfahlzug Kraft aufbauen und diese für eine gewisse Zeit halten.

9.9. Nutzlast transportieren

KA_25 Das Regattaboot muss zusätzlich zu den Fahrern Platz für eine Nutzlast einer bestimmten Größe und Gewicht zur Verfügung stellen. (Siehe 9.10)

PA_41 Das System Regattaboot muss eine Nutzlast von mindestens 25kg und den Maßen 0,3*0,4m² und einer Höhe von 0,35m aufnehmen können.

PA_42 Das System Regattaboot muss von Land aus be- und entladen werden können.

PA_43 Die Nutzlast muss bei den Umweltbedingungen A durch das Regattaboot gegen Rutschen gesichert werden.

9.10. Festmachen

KA_26 Das schwimmende Regattaboot kann an Land sicher festgemacht werden.

10. Haupt-Komponenten

10.1. Personenaufnahme

KA_28 Das Regattaboot nimmt 2 Personen auf. (Siehe 12.7). Die Personen leiten Muskelkraft in den Kraftaufnehmer ein. Die Muskelkraft kommt hauptsächlich aus den Beinen. Die Personen lenken und bremsen das Regattaboot aus ihrer Fahrposition.

PA_47 Der Antrieb des Bootes muss ausschließlich mit der Muskelkraft von maximal 2 Personen betrieben werden können.

10.2. Schuberzeuger

KA_29 Wandelt die mechanische Energie aus der Muskelkraft der Fahrer in kinetische Energie um.

10.3. Ersatz und Verschleißteile

KA_30 Alle zur Teilnahme am Wettkampf relevanten Ersatz- und Verschleißteile werden während des Wettkampfes auf dem Regattaboot mitgeführt.

10.4. Kraftaufnehmer

KA_31 Nimmt die Muskelkraft der Fahrer auf.

10.5. Kraftübertragung

KA_32 Überträgt die Muskelkraft der Fahrer vom Kraftaufnehmer auf den Antrieb.

10.6. Bremse

KA_33 Nimmt die Bremskraft des Fahrers auf und reduziert aktiv die Geschwindigkeit des Bootes.

10.7. Schwimmkörper/Rumpf

KA_34 Hält das Regattaboot über Wasser. Nimmt die Personenaufnahme auf.

10.8. Pfahlzugaufnahme

KA_35 Überträgt die Zugkraft des Bootes über ein Seil auf den Pfahlzug.

10.9. Lenkeinrichtung

KA_36 Nimmt das Lenksignal des Fahrers auf und ändert die Fahrtrichtung des Bootes

10.10. Nutzlastaufnahme

KA_37 Nimmt Nutzlast einer bestimmten Größe und Masse zum Transport auf und hindert sie am Herunterfallen vom Regattaboot.

11. Schnittstellen

11.1. Fahrer (Kraftübertragung)

KA_38 Der Fahrer leitet über die Beine oder Füße die Kraft in das Regattaboot ein

PA_50 Die Fahreraufnahme muss so gestaltet sein, dass die Fahrer aus ihrer Fahrposition ausbremsen können

11.2. Fahrer (Steuerung)

KA_39 Der Fahrer leitet den Steuerungs-/Lenkvorgang per Signalübertragung ein.

PA_51 Die Fahreraufnahme muss so gestaltet sein, dass die Fahrer aus ihrer Fahrposition aus lenken können

11.3. Wasser

KA_40 Das Wasser gibt dem Regattaboot Auftrieb. Es leistet auch Widerstand bei Lenk oder Bremsvorgängen. Das Wasser kann Salz- oder Süßwasser sein

11.4. Kraftmessungsgerät

KA_41 Das Kraftmessungsgerät wird am Regattaboot befestigt um für die Disziplin „Pfahlzug“ die Zugkraft des Bootes aufzunehmen und zu messen.

11.5. Steg

KA_42 Am Steg wird das Regattaboot zu Wasser gelassen und herausgeholt. Er dient zur Befestigung des Bootes an Land. Über den Steg nimmt das Regattaboot die Fahrer und die Fracht auf.

11.6. Trailer

KA_43 Der Trailer dient als Transportmittel um das Regattaboot zwischen der Werkstatt, dem Lagerort und dem Ort des Wettkampfes hin und her zu transportieren. Er kann auch eine Transportmöglichkeit zur direkten Nähe des Steges darstellen.

11.7. Lagerbock

KA_44 Der Lagerbock dient als Lagereinheit des Bootes an Land. Der Lagerbock darf das Regattaboot auch bei längerer Lagerung nicht beschädigen. Der Lagerbock kann ein Teilelement des Trailers sein.

12. Technische Einschränkungen

12.1. Bearbeitbares Material

KA_45 Das Regattaboot wird zu großen Teilen von Studenten bearbeitet. Daher wird Material verwendet, welches kein komplexes Fachwissen oder Fertigungserfahrung benötigt.

PA_65 Das Regattaboot soll mindestens zu 75% aus Studentenhand gefertigt werden.

12.2. Nachhaltige Nutzung

KA_46 Das Regattaboot wird zu großen Teilen aus recyclebarem Material gebaut.

PA_64 Das Regattaboot muss zu mindestens 50% aus recyclebarem Material gebaut werden.

12.3. Realisierbarkeit (Bau)

KA_47 Die Konstruktion ist auf die Fähigkeiten und Fertigungsmöglichkeiten der Studenten angepasst. Siehe hierzu auch 11.4

12.4. COTS vs. Sonderanfertigung

KA_48 Der Großteil des Bootes stammt aus eigener Fertigung. Ausgenommen sind hiervon alle für die Wartung vorgesehenen Verschleißteile (siehe 12.2). In Ausnahmefällen kann über eine externe Fertigung einzelner Subsystem nachgedacht werden. Dabei ist insbesondere auf 12.3 einzuhalten.

12.5. Salz- Wasser Resistenz

KA_49 Das Regattaboot fährt ganzjährig unter Voraussetzung Wetter/Umweltbedingungen (siehe 11.10) in Salzwasser und Süßwasser.

PA_55 Das Regattaboot muss für Süßwasser und Salzwasser ausgelegt sein.

12.6. Robustheit

KA_50 Bei seitlicher Kollision mit bis zu 5kn erleidet das Regattaboot keinen dauerhaften Formverlust.

PA_70 Das System Regattaboot muss bei einem seitlichen, zur eigenen Längsachse rechtwinkligen, Aufprall eines anderen Bootes bis 5kn, strukturell intakt bleiben.

12.7. Mehrfachnutzung

KA_51 Das Regattaboot wird mehrere IWS-Wettbewerbe hintereinander genutzt. Es überzeugt mit seinem Konzept mindestens 3 Jahre lang.

PA_66 Das System Regattaboot muss für eine Teilnahme am Regatta-Wettkampf von 3 Jahren hintereinander ausgelegt werden.

12.8. Haltbarkeit im Wasser

KA_52 Das Regattaboot wird 3 Jahre hintereinander im Wettbewerb genutzt werden, ohne dass große Nacharbeiten nötig sind. Es wird 2mal im Jahr gewartet. Siehe hierzu 12.2

12.9. Modularität

KA_53 Das Regattaboot ist modular konzipiert, sodass Subsysteme ohne eigene Beschädigung ausgebaut und in zukünftigen Regattabooten verbaut werden können.

PA_67 Das Regattaboot muss modular konzipiert werden, sodass Subsysteme in zukünftigen Regattabooten verbaut werden können.

12.10. Wetter/Umweltbedingungen

KA_54 Das Regattaboot muss Umgebungstemperaturen hält auch frostigen Temperaturen stand. Regen bis zu einer bestimmten Stärke behindert die Fahrt des Bootes nicht.

PA_56 Das Regattaboot muss für Lufttemperaturen zwischen -5° und 35°C vorgesehen sein.

PA_78 Das System Regattaboot muss für Wassertemperaturen zwischen 5° und 30°C vorgesehen sein

PA_57 Das Regattaboot muss bei Regen bis zu 10 Litern pro Quadratmeter pro Stunde voll einsatzfähig sein.

PA_58 Das Regattaboot muss bis Seegang Stärke 1 und Windgeschwindigkeiten bis zu 25km/h seetauglich sein

12.11. Wellengang (Stabilität)

KA_55 Das Regattaboot fährt auch auf leicht bewegter See.

PA_69 Die Metazentrische Höhe des Regattabootes muss mindestens 50 cm betragen

12.12. Technisch versiertes Produkt

KA_56 Bei der konstruktiven Lösungsfindung werden innovative technische Lösungen in Betracht gezogen und mit herkömmlichen Lösungen verglichen.

13. Stakeholder Einschränkungen

13.1. Verfügbares Budget

KA_57 Das Material des Regattabootes samt Ersatzteilen darf ein bestimmtes Budget nicht übersteigen. Für die restlichen Liefereinheiten ist ein eigenes Budget vorgesehen.

PA_68 Das Material für das Regattaboot plus seine Ersatzteile darf max. einen Wert von 10.000€ haben

PA_80 Die Kosten für die Liefereinheiten Digital Twin, Modell 1:25 und Dokumentation dürfen in Summe nicht mehr als 1500€ betragen

PA_77 Das Regattaboot muss mit einem Budget von maximal 200€ zu entsorgen sein. Vergleichsdatum für die Schätzung der Aufwandskosten ist der 01.01.18

13.2. Wartbarkeit

KA_58 Das Regattaboot wird maximal 2-mal im Jahr gewartet. Für die Wartung sind keine Spezialwerkzeuge benötigt. Alle für die Wartung benötigten Verschleißteile sind Normteile.

13.3. Bestes Preis-/Leistungsverhältnis

KA_59 Beim Entwurf ist darauf zu achten, dass das beste Preis/Leistungsverhältnis für das vorgegebene Budget gewählt wird.

13.4. Verfügbare Kraft des Fahrers

KA_60 Die Leistung des Bootes ist abhängig von der verfügbaren Kraft der Fahrer. Bei der Ermittlung zur Erfüllung der Fähigkeiten sind sportliche Fahrer einzusetzen. Sportlich ist hier so zu verstehen, dass folgende Leistungen über einen bestimmten Zeitraum von je einem Fahrer zu Verfügung gestellt werden können:

- Durchschnittlich 1000 Watt über einen Zeitraum von 3 Sekunden
- Durchschnittlich 500 Watt über einen Zeitraum von 30 Sekunden
- Durchschnittlich 250 Watt über einen Zeitraum von 1 Stunde

13.5. Branding

KA_61 Das Regattaboot weist für die Zuschauer sichtbare Flächen auf, auf denen z.B. das Sponsorenlogo abgebildet werden kann.

13.6. Reputation /Image

KA_64 Das Design des Regattabootes unterstützt das Marketing und Image des Sponsors positiv.

PA_71 Das Design des Regattabootes unterstützt das Marketing und Image des Sponsors positiv.

13.7. Ergonomie

KA_62 Die Fahreraufnahme kann auf die Fahrergröße angepasst werden. Die Fahreraufnahme stützt die Körper der Fahrer, sodass auch Fahrten bis zu 4 Std den Körper durch die Körperhaltung nicht ermüden lassen.

13.8. Handling mit 4 Personen

KA_63 Das Regattaboot wird mit maximal 4 Personen zum Trailer bzw. dem Lagerbock und zurück zu transportiert und auf den Trailer bzw. Lagerbock verladen. Das Zu-Wasser-Lassen und aus dem Wasser holen wird mit maximal 4 durchschnittlich starken Personen realisiert. Dabei wird eine vorgegebene Last pro Person nicht überschritten.

13.9. Regelwerk IWR

KA_27 Das Regattaboot ist nach den Regeln der International Waterbikeregatta gebaut

PA_44 Die Gesamtlänge des Regattabootes muss 6m oder kürzer sein.

PA_45 Das Regattaboot muss länger als breit sein.

PA_46 Das System Regattaboot muss im vollbeladenen Zustand einen Tiefgang von maximal 1,2m erreichen.

PA_48 Die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebskraft muss zu über 50% aus den Beinen stammen.

PA_49 Das Regattaboot muss ohne Energiespeicher angetrieben werden können.

Produktanforderungen

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|---|--|---------------------------------|
| PA_01 | PA_01 Transportlast pro Person | Beim Zu-Wasser-lassen, Aus-dem-Wasser-holen und beim Transport des Regattabootes durch 4 Personen muss die Last pro Person weniger als 40kg betragen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_02 | PA_02 Personen aufnehmen | Das System Regattaboot muss 2 Personen bis zu je 100kg Gewicht und einer Körpergröße zwischen 1,60m und 2,10m aufnehmen können | Anforderung, funktional |
| PA_03 | PA_03 Sponsorfläche | Das Regattaboot muss eine Möglichkeit bieten den Sponsor und dessen Produkt mit bis zu 0,5x0,25m ² sichtbar nach außen zu bewerben | Anforderung, funktional |
| PA_04 | PA_04 Auf Trailer geladen werden | Das System Regattaboot muss von maximal 4 Personen auf einen fahrbaren Trailer geladen werden | Anforderung, funktional |
| PA_05 | PA_05 An Steg/Ufer befestigen | Das System Regattaboot muss sowohl am Steg als auch am Ufer zu befestigen sein | Anforderung, funktional |
| PA_06 | PA_06 Von Steg/Ufer betreten | Das Regattaboot muss vom Steg oder Ufer aus von 2 Fahrern betreten werden können | Anforderung, funktional |
| PA_07 | PA_07 Vom Steg/Ufer ins Wasser lassen | Das Regattaboot muss von maximal 4 Personen vom Steg oder unmittelbar ins Wasser gelassen werden können | Anforderung, funktional |
| PA_08 | PA_08 Auftrieb erzeugen | Das Regattaboot muss so viel Auftrieb erzeugen, sodass es auch mit der 2 fachen Nutzlast (50kg) und 3 Personen (300kg) an Bord schwimmt | Anforderung, funktional |
| PA_09 | PA_09 Beschleunigung 100m Sprint | Um den 100m Sprint in 21,9 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 m/s auf 5 m/s in 3 Sekunden beschleunigen können (ca. 6 m) | Anforderung, funktional |
| PA_10 | PA_10 Fahren 100m Sprint | Um den 100m Sprint in 21,9 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 100m mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s fahren | Anforderung, funktional |
| PA_11 | PA_11 Erfüllung Regelwerk IWR | Das System Regattaboot muss nach den Regeln der International Waterbike Regatta konzipiert werden | Anforderung, nichtfunktional |

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|--|--|----------------------------|
| PA_12 | PA_12 Beschleunigung 10m Beschleunigungsrennen | Um das 10m Beschleunigungsrennen in unter 2,9 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zu Verfügung gestellte Antriebsleistung von 0 m/s auf 8 m/s in 2,6 Sekunden beschleunigen können | Anforderung, funktional |
| PA_13 | PA_13 Beschleunigung Langstreckenrennen | Um die 3 km/h des Langstreckenrennens in unter 15,4 Minuten zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 auf 5 m/s in 3 Sekunden beschleunigen können | Anforderung, funktional |
| PA_14 | PA_14 Fahren Langstreckenrennen | Um die 3 km/h des Langstreckenrennens in unter 15,4 Minuten zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 3 km mit durchschnittlich 3,5m/s fahren können | Anforderung, funktional |
| PA_17 | PA_17 Kursänderung hart bb | Um die Disziplin Slalom in unter 20 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot bei einer Geschwindigkeit von 5m/s den Kurs innerhalb von 4 Sekunden von 0° auf 5°bb ändern können. | Anforderung, funktional |
| PA_18 | PA_18 Kursänderung hart sb | Um die Disziplin Slalom in unter 20 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot bei einer Geschwindigkeit von 5m/s den Kurs innerhalb von 4 Sekunden von 0° auf 5°sb ändern können. | Anforderung, funktional |
| PA_19 | PA_19 Zugkraft | Um eine über 30 Sekunden gemittelte Zugkraft von mindesten 690N auf einen Pfahlzug zu erzeugen muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 720N Zugkraft (690+5%) erzeugen können | Anforderung, funktional |
| PA_20 | PA_20 Beschleunigen vw. Vorwärts- Stopp- Rückwärts | Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 auf 5,2 m/s in unter 3 Sekunden beschleunigen | Anforderung, funktional |

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|--|--|---------------------------------|
| PA_21 | PA_21 Fahren vw Vorwärts- Stopp- Rückwärts | Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 50m mit einer Geschwindigkeit von 5,2m/s fahren können | Anforderung, funktional |
| PA_22 | PA_22 Bremsen Vorwärts-Stopp- Rückwärts | Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 5,2 auf 0 m/s in unter 3 Sekunden abbremsen | Anforderung, funktional |
| PA_23 | PA_23 Beschleunigen rw. Vorwärts- Stopp- Rückwärts | Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen von 0 auf -4 m/s in unter 3 Sekunden rückwärts beschleunigen | Anforderung, funktional |
| PA_24 | PA_24 Rückwärts- fahren Vorwärts- Stopp- Rückwärts | Um den Vorwärts-Stopp-Rückwärts in unter 41 Sekunden zu absolvieren muss das Regattaboot durch die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebsleistung zu den definierten Auslegungsbedingungen 50m mit einer Geschwindigkeit von -4 m/s rückwärtsfahren können | Anforderung, funktional |
| PA_25 | PA_25 Optimierungs- teile an Bord | Das Regattaboot muss während des Regatta-Wettkampfes alle für die Reparatur und Optimierung vorgesehenen Ersatz- und Verschleißteile mit an Bord führen | Anforderung, funktional |
| PA_26 | PA_26 Reparaturdauer mittlerer Schaden | Nach einem mittleren Schaden muss das Regattaboot innerhalb von 1 Std repariert werden können | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_27 | PA_27 Ort der Optimierung | Sind Optimierungen vorgesehen, müssen diese auf dem Wasser stattfinden | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_28 | PA_28 An Ufer/Steg verlassen | Das Regattaboot muss von 2 Fahrern auf den Steg oder ans Ufer verlassen werden können | Anforderung, funktional |
| PA_29 | PA_29 Aus dem Wasser holen | Das System Regattaboot muss von maximal 4 Personen aus dem Wasser geholt und auf den Steg oder ans Ufer transportiert werden können | Anforderung, funktional |

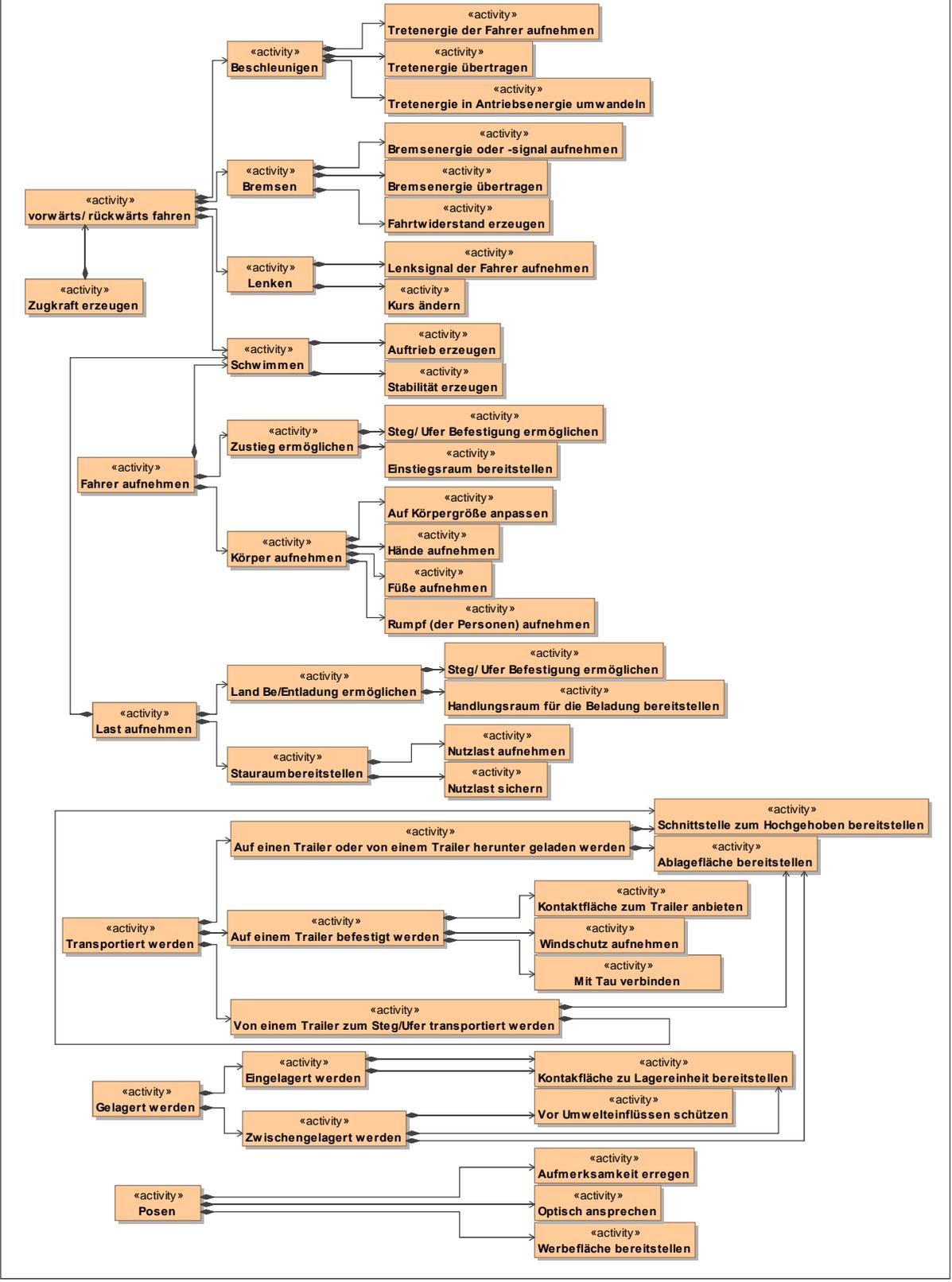
| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|--|--|------------------------------|
| PA_30 | PA_30 Zwischenlagern | Das Regattaboot muss an Land zwischengelagert werden | Anforderung, funktional |
| PA_31 | PA_31 Einlagern | Das Regattaboot muss auf einer dafür vorgesehen Einrichtung – zum Beispiel Lagerbock – in einer Halle eingelagert werden können | Anforderung, funktional |
| PA_32 | PA_32 Wartungsfreie Betriebszeit | Das Regattaboot muss jeweils 6 Monate oder 250 Betriebsstunden wartungsfrei zu betreiben sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_33 | PA_33 Anteil der Verschleißteile als Normteile | Alle im Wartungsplan vorgesehenen Verschleißteile müssen Normteile sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_34 | PA_34 In Subsysteme zerlegen | Das Regattaboot muss für die Entsorgung in seine Subsystem 1.Ordnung zerlegbar sein, ohne dass dabei seine Subsysteme 1.Ordnung zerlegbar sein, ohne dass dabei die Subsysteme beschädigt werden | Anforderung, funktional |
| PA_35 | PA_35 Standfuß für Model 1:25 | Ein vom Digital Twin abgeleitetes mehrfarbiges Model 1:25 aus Polymergips (CJP) muss auf einem Standfuß mitgeliefert werden | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_36 | PA_36 Lieferumfang Verschleißteile | Im Lieferumfang müssen alle im Wartungsplan vorgesehen Verschleißteile beinhalten, welche dem Schiff eine Lebensdauer von 3 Jahren oder 1500 Betriebsstunden sichern | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_37 | PA_37 Wartungsplan Lieferumfang | Der Lieferumfang muss einen Wartungsplan in PDF Format enthalten | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_38 | PA_38 Lieferumfang Optimierungsplan | Im Lieferumfang muss – falls Optimierungen nach 4.6 vorgesehen – ein Optimierungsplan im PDF Format enthalten sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_39 | PA_39 Kurs Halten | Das Regattaboot muss seinen Kurs den definierten Umweltbedingungen auf 5° halten können | Anforderung, funktional |
| PA_40 | PA_40 Kurs Ändern | Das Regattaboot muss seinen Kurs bei den definierten Umweltbedingungen auf 5° genau ändern können | Anforderung, funktional |
| PA_41 | PA_41 Nutzlast aufnehmen | Das System Regattaboot muss eine Nutzlast von mindestens 25kg und den Maßen 0,3*0,4m ² und einer Höhe von 0,35m aufnehmen können | Anforderung, funktional |
| PA_42 | PA_42 Be- und Entladen werden | Das System Regattaboot muss von Land aus be- und entladen werden können | Anforderung, funktional |

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|--|---|------------------------------|
| PA_43 | PA_43 Nutzlast sichern | Die Nutzlast muss bei den Umweltbedingungen A durch das Regattaboot gegen Rutschen gesichert werden | Anforderung, funktional |
| PA_44 | PA_44 Gesamtlänge Regattaboot | Die Gesamtlänge des Regattabootes muss 6m oder kürzer sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_45 | PA_45 Länge-/Breiteverhältnis | Das Regattaboot muss länger als breit sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_46 | PA_46 Tiefgang | Das System Regattaboot muss im vollbeladenen Zustand einen Tiefgang von maximal 1,2m erreichen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_47 | PA_47 Antrieb durch Muskelkraft | Der Antrieb des Bootes muss ausschließlich mit der Muskelkraft von maximal 2 Personen betrieben werden können | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_48 | PA_48 Anteil Antriebskraft aus Beinen | Die von den Fahrern zur Verfügung gestellte Antriebskraft muss zu über 50% aus den Beinen stammen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_49 | PA_49 Antrieb ohne Energiespeicher | Das Regattaboot muss ohne Energiespeicher angetrieben werden können | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_50 | PA_50 Abbremsen aus Fahrposition | Die Fahreraufnahme muss so gestaltet sein, dass die Fahrer aus ihrer Fahrposition aus bremsen können | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_51 | PA_51 Lenken aus Fahrposition | Die Fahreraufnahme muss so gestaltet sein, dass die Fahrer aus ihrer Fahrposition aus lenken können | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_52 | PA_52 Von Trailer heruntergeladen werden | Das Regattaboot muss von maximal 4 Personen von einem fahrbaren Trailer heruntergeladen werden | Anforderung, funktional |
| PA_53 | PA_53 Auf Trailer transportiert werden | Das System Regattaboot muss auf einem fahrbaren Trailer mit bis zu 80km/h transportiert werden können | Anforderung, funktional |
| PA_55 | PA_55 Süß- und Salzwasserbeständig | Das Regattaboot muss für Süßwasser und Salzwasser ausgelegt sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_56 | PA_56 Lufttemperatur beständig | Das Regattaboot muss für Lufttemperaturen zwischen -5° und 35°C vorgesehen sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_57 | PA_57 Regenbeständig | Das Regattaboot muss bei Regen bis zu 10 Litern pro Quadratmeter pro Stunde voll einsatzfähig sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_58 | PA_58 Seetauglichkeit | Das Regattaboot muss bis Seegang Stärke 1 und Windgeschwindigkeiten bis zu 25km/h seetauglich sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_59 | PA_59 3D CAD Modell | Von dem System Regattaboot gibt es ein 3D-CAD Model, welche im Format step auf DVD abgeliefert werden muss | Anforderung, nichtfunktional |

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|---|--|------------------------------|
| PA_60 | PA_60 Bewegungs- spielraum zur Aufmerksam- keitserzeugung | Um bei den Zuschauern Aufmerksamkeit erregen zu können muss das Regattaboot den Fahrern genügend Bewegungsfreiraum zur Verfügung stellen, sodass sie die Zuschauer mit ihren Armen und Händen animieren können | Anforderung, funktional |
| PA_61 | PA_61 Platzierung Slalom | Das Regattaboot muss in der Disziplin Slalom unter den ersten 15% abschneiden | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_62 | PA_62 Platzierung 100m Sprint | Das Regattaboot muss in der Disziplin 100m Sprint den ersten Platz belegen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_63 | PA_63 Platzierung 10m Beschleunigungsrennen | Das Regattaboot muss in der Disziplin 10m Beschleunigungsrennen den ersten Platz belegen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_64 | PA_64 Anteil recyclebares Material | Das Regattaboot muss zu mindestens 50% aus recyclebarem Material gebaut werden | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_65 | PA_65 Fertigungsanteil durch Studenten | Das Regattaboot soll mindestens zu 75% aus Studentenhand gefertigt werden | Wunsch |
| PA_66 | PA_66 Auslegung Mehrfachnutz- ung Regatta- Wettkämpfe | Das System Regattaboot muss für eine Teilnahme am Regatta-Wettkampf von 3 Jahren hintereinander ausgelegt werden | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_67 | PA_67 Modularität | Das Regattaboot muss modular konzipiert werden, sodass Subsysteme in zukünftigen Regattabooten verbaut werden können | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_68 | PA_68 Budget für Regattaboot und Ersatzteile | Das Material für das Regattaboot plus seine Ersatzteile darf max. einen Wert von 10.000€ haben | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_69 | PA_69 Metazentrische Höhe | Die Metazentrische Höhe des Regattabootes muss mindestens 50cm betragen | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_70 | PA_70 Resistenz gegen seitlichen Aufprall | Das System Regattaboot muss bei einem seitlichen, zur eigenen Längsachse rechtwinkligen, Aufprall eines anderen Bootes bis 5kn, strukturell intakt bleiben | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_71 | PA_71 Sponsorimage unterstützen | Das Design des Regattabootes unterstützt das Marketing und Image des Sponsors positiv | Anforderung, funktional |
| PA_72 | PA_72 Platzierung Langstrecken- rennen | Das Regattaboot muss in der Disziplin Langstrecke unter den ersten 15% abschneiden | Anforderung, nichtfunktional |

| ID | Name | Text | F/NF/W |
|-------|---|---|------------------------------|
| PA_73 | PA_73 Platzierung Vorwärts-Stopp-Rückwärts | Das Regattaboot muss in der Disziplin Vorwärts-Stopp-Rückwärts unter den ersten 15% abschneiden | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_75 | PA_75 Schutz vor Umwelteinflüssen | Das Regattaboot muss bei Einlagerung vor Umwelteinflüssen geschützt werden | Anforderung, funktional |
| PA_76 | PA_76 Von Trailer zu Steg transportiert werden | Das Regattaboot muss von maximal 4 Personen vom Trailer zum Steg oder Ufer transportiert werden können | Anforderung, funktional |
| PA_77 | PA_77 Budget Entsorgung | Das Regattaboot muss mit einem Budget von maximal 200€ zu entsorgen sein. Vergleichsdatum für die Schätzung der Aufwandskosten ist der 01.01.18 | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_78 | PA_78 Auslegung Wassertemperatur | Das System Regattaboot muss für Wassertemperaturen zwischen 5° und 30°C vorgesehen sein | Anforderung, nichtfunktional |
| PA_80 | PA_80 Budget Digital Twin, Modell 1:25, Dokumentation | Die Kosten für die Liefereinheiten Digital Twin, Modell 1:25 und Dokumentation dürfen in Summe nicht mehr als 1500€ betragen | Anforderung, nichtfunktional |

| Legend | | Use Cases and Kundenanforderungen | |
|---|---|---|---------------------|
| Derive | | Use Cases | Kundenanforderungen |
| <ul style="list-style-type: none"> PA_02 Personen aufnehmen PA_03 Sponsorfläche PA_04 Auf Trailer geladen werden PA_05 An Steg/Ufer befestigen PA_06 Von Steg/Ufer betreten PA_07 Vom Steg/Ufer ins Wasser lassen PA_08 Auftrieb erzeugen PA_09 Beschleunigung 100m Sprint PA_10 Fahren 100m Sprint PA_12 Beschleunigung 10m Beschleunigungsrennen PA_13 Beschleunigung Langstreckenrennen PA_14 Fahren Langstreckenrennen PA_17 Kursänderung hart bb PA_18 Kursänderung hart sb PA_19 Zugkraft PA_20 Beschleunigen vw, Vorwärts-Stopp-Rückwärts PA_21 Fahren vw Vorwärts-Stopp-Rückwärts PA_22 Bremsen Vorwärts-Stopp-Rückwärts PA_23 Beschleunigen rw, Vorwärts-Stopp-Rückwärts PA_24 Rückwärtsfahren Vorwärts-Stopp-Rückwärts PA_25 Optimierungsteile an Bord PA_28 An Ufer/Steg verlassen PA_29 Aus dem Wasser holen PA_30 Zwischenlagern PA_31 Einlagern PA_34 In Subsysteme zerlegen PA_39 Kurs Halten PA_40 Kurs Ändern PA_41 Nutzlast aufnehmen PA_42 Be- und Entladen werden PA_43 Nutzlast sichern PA_52 Von Trailer heruntergeladen werden PA_53 Auf Trailer transportiert werden PA_60 Bewegungsspielraum zur Aufmerksamkeitszerzeugung PA_71 Sponsorimage unterstützen PA_75 Schutz vor Umwelteinflüssen PA_76 Von Trailer zu Steg transportiert werden | <ul style="list-style-type: none"> KA_01 Hauptnutzer des Sys... KA_02 Fahrer des Regattaab... KA_03 Sponsor KA_04 Mechaniker KA_05 Geheimwissen KA_06 Lager KA_07 Lieferung Regattabo... KA_08 Digital Twin KA_09 Modell 1:25 KA_10 Ersatzteile KA_11 Werkzeug KA_12 Dokumentation KA_13 Publikumsziehung KA_14 Gesamtziele KA_15 Sprint KA_16 Produktdesign KA_17 Fahrer aufnehmen KA_18 Schwimmen KA_19 Beschleunigen KA_20 Fahren KA_21 Bremsen KA_22 Kurs halten KA_23 Kurs ändern KA_24 An Seil ziehen KA_25 Nutzlast transportier... KA_26 Festschrauben KA_27 Regelwerk IWR KA_28 Personenaufnahme KA_29 Schuberezeuger KA_30 Ersatz- und Verschlei... KA_31 Kraftaufnehmer KA_32 Kraftübertragung KA_33 Bremse KA_34 Schwimmkörper/Rumpf KA_35 Pfahlzug KA_36 Lenkeinrichtung KA_37 Nutzlastaufnahme KA_38 Schnittstelle Kraftüb... KA_39 Schnittstelle Steuerur... KA_40 Schnittstelle Wasser KA_41 Schnittstelle Kraftme... KA_42 Schnittstelle Steg KA_43 Schnittstelle Trailer KA_44 Schnittstelle Lagerbo... KA_45 Bearbeitbares Polieri... KA_46 Nachhaltige Nutzung KA_47 Realisierbarkeit KA_48 COTS vs. Sonderanfe... KA_49 Salz-Wasser-Resister KA_50 Robustheit KA_51 Mehrfachnutzung KA_52 Haltbarkeit im Wasser KA_53 Modularität KA_54 Wetter-/Umweltbedin... KA_55 Wellengang/Stabilitä... KA_56 Technisch versiertes KA_57 Verfügbares Budget KA_58 Wartbarkeit KA_59 Preis-/Leistungsverh... KA_60 Verfügbare Kraft des KA_61 Branding KA_62 Ergonomie KA_63 Handling mit 4 Person... KA_64 Reputation/Image | <ul style="list-style-type: none"> UC_03 100m Sprint UC_04 10m Beschleunigung UC_05 Langstrecke UC_06 Slalom UC_07 Pfahlzug UC_08 Vorwärts-stopp-r... UC_09 Transportieren UC_10 Zu Wasser lassen UC_11 Training UC_12 Modifikation UC_13 Freizeitfahren UC_14 Präsentieren UC_15 Aus dem Wasser hoh... UC_16 Aus dem Wasser hoh... UC_17 Zwischengelagert we... UC_18 Eingelagert werden UC_19 Entorgt werden | |
| <ul style="list-style-type: none"> PA_01 Transportlast pro Person PA_11 Erfüllung Regelwerk IWR PA_26 Reparaturdauer mittlerer Schaden PA_27 Ort der Optimierung PA_32 Wartungsfreie Betriebszeit PA_33 Anteil der Verschleißteile als Normteile PA_35 Standfuß für Model 1:25 PA_36 Lieferumfang Verschleißteile PA_37 Wartungsplan Lieferumfang PA_38 Lieferumfang Optimierungsplan PA_44 Gesamtlänge Regattaboat PA_45 Länge-/Breiteverhältnis PA_46 Tiefgang PA_47 Antrieb durch Muskelkraft PA_48 Anteil Antriebskraft aus Beinen PA_49 Antrieb ohne Energiespeicher PA_50 Abbremsen aus Fahrposition PA_51 Lenken aus Fahrposition PA_55 Süß- und Salzwasserbeständig PA_56 Lufttemperatur beständig PA_57 Regenbeständig PA_58 Seetauglichkeit PA_59 3D CAD Modell PA_61 Platzierung Slalom PA_62 Platzierung 100m Sprint PA_63 Platzierung 10m Beschleunigungsrennen PA_64 Anteil recycelbares Material PA_66 Auslegung Mehrfachnutzung Regatta-Wettkämpfe PA_67 Modularität PA_68 Budget für Regattaboat und Ersatzteile PA_69 Metazentrische Höhe PA_70 Resistenz gegen seitlichen Aufprall PA_72 Platzierung Langstreckenrennen PA_73 Platzierung Vorwärts-Stopp-Rückwärts PA_77 Budget Entsorgung PA_78 Auslegung Wassertemperatur PA_80 Budget Digital Twin, Modell 1:25, Dokumentation PA_65 Fertigungsanteil durch Studenten | <ul style="list-style-type: none"> KA_01 Hauptnutzer des Sys... KA_02 Fahrer des Regattaab... KA_03 Sponsor KA_04 Mechaniker KA_05 Geheimwissen KA_06 Lager KA_07 Lieferung Regattabo... KA_08 Digital Twin KA_09 Modell 1:25 KA_10 Ersatzteile KA_11 Werkzeug KA_12 Dokumentation KA_13 Publikumsziehung KA_14 Gesamtziele KA_15 Sprint KA_16 Produktdesign KA_17 Fahrer aufnehmen KA_18 Schwimmen KA_19 Beschleunigen KA_20 Fahren KA_21 Bremsen KA_22 Kurs halten KA_23 Kurs ändern KA_24 An Seil ziehen KA_25 Nutzlast transportier... KA_26 Festschrauben KA_27 Regelwerk IWR KA_28 Personenaufnahme KA_29 Schuberezeuger KA_30 Ersatz- und Verschlei... KA_31 Kraftaufnehmer KA_32 Kraftübertragung KA_33 Bremse KA_34 Schwimmkörper/Rumpf KA_35 Pfahlzug KA_36 Lenkeinrichtung KA_37 Nutzlastaufnahme KA_38 Schnittstelle Kraftüb... KA_39 Schnittstelle Steuerur... KA_40 Schnittstelle Wasser KA_41 Schnittstelle Kraftme... KA_42 Schnittstelle Steg KA_43 Schnittstelle Trailer KA_44 Schnittstelle Lagerbo... KA_45 Bearbeitbares Polieri... KA_46 Nachhaltige Nutzung KA_47 Realisierbarkeit KA_48 COTS vs. Sonderanfe... KA_49 Salz-Wasser-Resister KA_50 Robustheit KA_51 Mehrfachnutzung KA_52 Haltbarkeit im Wasser KA_53 Modularität KA_54 Wetter-/Umweltbedin... KA_55 Wellengang/Stabilitä... KA_56 Technisch versiertes KA_57 Verfügbares Budget KA_58 Wartbarkeit KA_59 Preis-/Leistungsverh... KA_60 Verfügbare Kraft des KA_61 Branding KA_62 Ergonomie KA_63 Handling mit 4 Person... KA_64 Reputation/Image | <ul style="list-style-type: none"> UC_03 100m Sprint UC_04 10m Beschleunigung UC_05 Langstrecke UC_06 Slalom UC_07 Pfahlzug UC_08 Vorwärts-stopp-r... UC_09 Transportieren UC_10 Zu Wasser lassen UC_11 Training UC_12 Modifikation UC_13 Freizeitfahren UC_14 Präsentieren UC_15 Aus dem Wasser hoh... UC_16 Aus dem Wasser hoh... UC_17 Zwischengelagert we... UC_18 Eingelagert werden UC_19 Entorgt werden | |



| Legend | | Logische Systemstruktur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|-------------------------|--------|--------------|-----------|-------------|-----------------------|-----|--------|----------|----------------|------------------|-----------------|-------------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|---------------------|--|
| ↗ Realization | | Antrieb | Bremse | Digital Twin | Dokumente | Ersatzteile | Gesamtsystem Tretboot | Kon | Fahrer | Nutzlast | Kraftaufnehmer | Kraftübertragung | Lenkeinrichtung | Modell 1:25 | Modellboot | Modellstandfuß | Nutzlastaufnahme | Personenaufnahme | Pfahlzugaufnahme | Regattaboat | Schubzeuger | Schwimmkörper/Rumpf | |
| Funktionen | | 5 | 4 | | | | | 3 | 4 | 3 | 2 | | | | | 5 | 7 | 2 | 22 | 1 | 5 | | |
| Ablagefläche bereitstellen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auf einem Trailer befestigt werden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auf einen Trailer oder von einem Trailer | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auf Körpergröße anpassen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aufmerksamkeit erregen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Auftrieb erzeugen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beschleunigen | 4 | ↗ | | | | | | 1 | ↗ | ↗ | ↗ | | | | | | | | | | | | |
| Bremsen | 2 | | ↗ | | | | | 1 | ↗ | | | | | | | | | | | | | | |
| Bremsenergie oder -signal aufnehmen | 2 | | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bremsenergie übertragen | 2 | | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Eingelagert werden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Einstiegsraum bereitstellen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fahrer aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fahrtwiderstand erzeugen | 2 | | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Füße aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gelagert werden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hände aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Handlungsraum für die Beladung bereitst | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kontaktfläche zu Lagereinheit bereitstelle | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kontaktfläche zum Trailer anbieten | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Körper aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kurs ändern | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Land Be/Entladung ermöglichen | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Last aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lenken | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Lenksignal der Fahrer aufnehmen | 2 | | | | | | | 1 | ↗ | ↗ | | | | | | | | | | | | | |
| Mit Tau verbinden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nutzlast aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nutzlast sichern | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Optisch ansprechen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Posen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rumpf (der Personen) aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schnittstelle zum Hochgehoben bereitste | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schwimmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stabilität erzeugen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stauraumbereitstellen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Steg/ Ufer Befestigung ermöglichen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Transportiert werden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tretenergie der Fahrer aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tretenergie in Antriebsenergie umwande | 2 | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tretenergie übertragen | 2 | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Von einem Trailer zum Steg/Ufer transpo | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vor Umwelteinflüssen schützen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| vorwärts/ rückwärts fahren | 1 | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Werbefläche bereitstellen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Windschutz aufnehmen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zugkraft erzeugen | 2 | ↗ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zustieg ermöglichen | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zwischengelagert werden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

14 Beziehungsmatrix Funktionen und logische Systemelemente

| Legend | | Logische Systemstruktur | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|---|-------------------------|--------|--------------|-----------|-------------|--------------|-----------|--------|----------|----------------|------------------|-----------------|-------------|------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------|---------------|---------------------|
| Satisfy | | Antrieb | Bremse | Digital Twin | Dokumente | Ersatzteile | Gesamtsystem | Treibbock | Fahrer | Nutzlast | Kraftaufnehmer | Kraftübertragung | Lenkeinrichtung | Modell 1:25 | Modellboot | Modellstandfuß | Nutzlastaufnahme | Personenaufnahme | Prähizugaufnahme | Regattaboot | Schuberzeuger | Schwimmkörper/Rumpf |
| Nicht-funktionale Anforderungen | | 3 | 1 | | | 1 | 4 | | | | | | | | | 1 | | | | 28 | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_01 Transportlast pro Person | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_11 Erfüllung Regelwerk IWR | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_26 Reparaturdauer mittlerer Schaden | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_27 Ort der Optimierung | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_32 Wartungsfreie Betriebszeit | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_33 Anteil der Verschleißteile als Normteile | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_35 Standfuß für Modell 1:25 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_36 Lieferumfang Verschleißteile | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_37 Wartungsplan Lieferumfang | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_38 Lieferumfang Optimierungsplan | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_44 Gesamtlänge Regattaboot | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_45 Länge-/Breiteverhältnis | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_46 Tiefgang | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_47 Antrieb durch Muskelkraft | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_48 Anteil Antriebskraft aus Beinen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_49 Antrieb ohne Energiespeicher | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_50 Abbremsen aus Fahrposition | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_51 Lenken aus Fahrposition | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_55 Süß- und Salzwasserbeständig | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_56 Lufttemperatur beständig | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_57 Regenbeständig | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_58 Seetauglichkeit | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_59 3D CAD Modell | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_61 Platzierung Slalom | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_62 Platzierung 100m Sprint | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_63 Platzierung 10m Beschleunigungsrennen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_64 Anteil recycelbares Material | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_66 Auslegung Mehrfachnutzung Regatta-Wettkämpfe | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_67 Modularität | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_68 Budget für Regattaboot und Ersatzteile | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_69 Metazentrische Höhe | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_70 Resistenz gegen seitlichen Aufprall | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_72 Platzierung Langstreckenrennen | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_73 Platzierung Vorwärts-Stopp-Rückwärts | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_77 Budget Entsorgung | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_78 Auslegung Wassertemperatur | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> R | PA_80 Budget Digital Twin, Modell 1:25, Dokumentation | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

