

Konzept für eine anwendungsorientierte Produktentwicklung unter
der Berücksichtigung von Knowledge Based Engineering
am Beispiel der Sportbootindustrie

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Maschinenbau und
Verfahrenstechnik der
Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTOR-INGENIEUR

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Dirk F. Meyer

aus

Paris

Referent: PD Dr.-Ing, F. Lobeck

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. B. Künne

Tag der mündlichen Prüfung: 18.02.2010

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	4
1.1	MOTIVATION FÜR DIE ERSTELLUNG DIESER ARBEIT	6
1.2	VORGEHENSWEISE BEI DER ERSTELLUNG DER ARBEIT	8
2	KONSTRUKTIONS-GRUNDLAGEN IM BOOTSBAU	12
2.1	KONSTRUKTION EINES RUMPFES	15
2.1.1	<i>Fahreigenschaften eines Verdränger – Rumpfes</i>	18
2.1.2	<i>Fahreigenschaften eines Halbgleiter – Rumpfes</i>	22
2.1.3	<i>Fahreigenschaften eines Gleiter - Rumpfes</i>	23
2.2	AUSWAHL EINES ANTRIEBES	33
2.3	DEFINITION EINES PROPELLERS	36
2.4	STABILITÄT EINES MSB.....	40
2.5	KRÄFTE AN EINEM GLEITER-RUMPF	44
3	IST-ANALYSE DES PEP IM MSBB	50
3.1	ORGANISATIONSSTRUKTUR DES BEISPIEL-KONZERNS MSB-BAU	52
3.2	DEFINITION DER GESCHÄFTSPROZESSE IM MSBB	57
3.3	GP PRODUKTPLANUNG.....	59
3.4	GP PRODUKTENTWICKLUNG.....	61
3.4.1	<i>TP Produktkonzeption</i>	63
3.4.2	<i>TP Produktdefinition</i>	66
3.4.3	<i>TP Prototyp / Testfahrt</i>	67
3.5	GP VERTRIEB	71
3.6	GP SERIEN-PRODUKTION	74
3.7	GP SERVICE.....	78
3.8	BEZIEHUNGEN ZWISCHEN KUNDE, HÄNDLER UND UNTERNEHMEN	81
3.9	KOMMUNIKATION ZWISCHEN DEN UNTERNEHMENSBEREICHEN	84
3.10	EINGESETZTE INFORMATIONSTECHNOLOGIE	86
3.11	ZUSAMMENFASSUNG DER DEFIZITE.....	86
4	ANFORDERUNGEN AN EINE ANWENDUNGSORIENTIERTE PRODUKTENTWICKLUNG. 89	
4.1	ALLGEMEINE ANFORDERUNGEN	89
4.2	ANFORDERUNGEN AN DIE ORGANISATION.....	91
4.3	ANFORDERUNGEN AN DIE KOMMUNIKATION.....	92
4.4	ANFORDERUNGEN AN DIE INFORMATIONSTECHNOLOGIE.....	94
4.5	ANFORDERUNGEN AN DIE PROZESSE	97
4.6	ANFORDERUNGEN AN DIE PRODUKTE	98
5	AUSWAHL DER IT-KOMPONENTEN FÜR DAS KONZEPT	101
5.1	3D-CAD-SYSTEM FÜR DIE KONSTRUKTION	101
5.2	PDM-SYSTEME FÜR DIE PRODUKTENTWICKLUNG.....	107
5.3	KBE – KNOWLEDGE BASED ENGINEERING	114
5.4	CRM – CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT.....	116
5.5	AUSWAHL DER KOMPONENTEN FÜR DAS KONZEPT	118
6	KONZEPT FÜR EINE ANWENDUNGSORIENTIERTE PE MIT KBE	122
6.1	ÄNDERUNG DER ORGANISATION UND DER KOMMUNIKATION	122
6.2	VERBESSERUNG DER GESCHÄFTSPROZESSE DURCH DAS KONZEPT	125
6.3	ARCHITEKTUR DES SOFTWARE-SYSTEMS	137
6.4	SOFTWARETECHNISCHE UMSETZUNG	145
6.4.1	<i>Aufbau des Datenmodells</i>	145
6.4.2	<i>CAD / KBE</i>	151
6.4.3	<i>Einbindung Web (3D-PDF)</i>	160
6.5	RANDBEDINGUNGEN FÜR DIE UMSETZUNG IN DER PRAXIS	166
7	BEISPIELHAFTE TEIL-UMSETZUNG DES KONZEPTES.....	169
7.1	GRÜNDE FÜR DIE AUSWAHL DES BEISPIELS.....	169

Inhaltsverzeichnis

7.2	DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHSREIHE1	171
7.2.1	<i>Versuchsaufbau 1. Versuch</i>	171
7.2.2	<i>Testergebnis zur Ermittlung der Fahrdynamik</i>	172
7.3	DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHSREIHE2	176
7.3.1	<i>Versuchsaufbau 2. Versuch</i>	176
7.3.2	<i>Testergebnis zum Vergleich des Beschleunigungsverhaltens</i>	177
7.3.3	<i>Testergebnis für das Übersetzungsverhältnis 2,0 : 1</i>	179
7.3.4	<i>Testergebnis für das Übersetzungsverhältnis 2,2 : 1</i>	181
7.4	DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHSREIHE3	183
7.4.1	<i>Versuchsaufbau 3. Versuch</i>	184
7.4.2	<i>Testergebnis mit dem Beschleunigungssensor</i>	185
7.5	DURCHFÜHRUNG DER VERSUCHSREIHE4	186
7.5.1	<i>Versuchsaufbau 4. Versuch</i>	186
7.5.2	<i>Testergebnis Querschleunigungen und Rollwinkel</i>	187
7.5.3	<i>Testergebnis Querschleunigung und Rollwinkel bei Vollgas</i>	190
7.5.4	<i>Testergebnis Longitudinalbeschleunigungen</i>	193
7.6	BEWERTUNG DER ERGEBNISSE UND DEREN NUTZUNG	194
8	ZUSAMMENFASSUNG	197
9	LITERATURVERZEICHNIS	199
10	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	201
11	ANHANG	204

1 Einleitung

Mit der fortschreitenden Globalisierung wird der weltweite Zugang zu den Märkten anderer Kontinente immer mehr vereinfacht. Dies gilt sowohl für die Hersteller der Produkte als auch für die Konsumenten. Insbesondere die weite Verbreitung der Informationstechnologie trägt dazu bei, dass heute fast jedermann über einen Zugang zu dem Internet verfügt und sich somit unter anderem hinreichend über die Angebote der Produkte der Konsumgüterindustrie informieren kann. Dies hat zur Folge, dass die Nachfrage der Konsumenten nach neuen innovativen Produkten zunimmt. Des Weiteren ist der Kunde durch das Internet in der Lage, die von ihm gewünschten Produkte und Dienstleistungen der verschiedenen Anbieter hinsichtlich der Qualität, aber auch der Liefertreue, zu vergleichen und zu bewerten. Diese sich ändernden Kundenwünsche bewirken einerseits eine Zunahme der Komplexität der einzelnen Produkte und andererseits verlangt die Schnelligkeit der Produkte eine ständige Verkürzung der Produktlebenszyklen dieser Konsumgüter.

Durch diesen gewaltigen Wandel in der Konsumgüterindustrie nimmt auch der Druck auf die produzierenden Unternehmen enorm zu, da die Unternehmen ständig neue bessere Produkte in immer kürzeren Zeitabständen auf dem Markt anbieten müssen. Um diesen Anforderungen der Kunden gerecht zu werden und gleichzeitig mit dem durch die Globalisierung verursachten Innovationstempo mithalten zu können, müssen die produzierenden Unternehmen gewaltige Anstrengungen unternehmen, um ihre Organisationsstrukturen, aber auch die Gestaltung ihrer Prozesse in der Produktentwicklung in Bezug auf die Qualitäts- und Effizienzverbesserung zu optimieren. Dies kann aber nur gelingen, wenn in allen Unternehmensbereichen die Informationstechnologie mit der gleichen notwendigen Intensität auch wirklich genutzt wird und ein regelmäßiger Datenaustausch stattfindet, um die Aktualität der bearbeiteten Projekte zu gewährleisten.

Einzelnen Branchen ist dieser Veränderungsprozess hervorragend gelungen, so dass ihre Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt derart gesichert ist, dass diese selbst Krisensituationen wie z.B. die augenblickliche Finanzkrise ungefährdet überstehen. In anderen Branchen wie der Sportbootindustrie liegt die Nutzung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien noch in den Anfängen. In diesem Industriezweig ist besonders in Europa die traditionelle Handarbeit immer noch vorherrschend. Viele der hier tätigen Sportbootbauer sind allein aus finanziellen Gründen nicht in der Lage, neue Technologien und Marketingwerkzeuge, wie sie in der Fahrzeugindustrie schon seit langem angewendet

werden, einzusetzen. Dies liegt unter anderem auch daran, dass die jeweils produzierten Stückzahlen viel zu gering sind, um den Einsatz von modernen Maschinen oder die Nutzung von CAD- / CAE-Systemen wirtschaftlich zu betreiben. Dies gilt nicht nur für die Phase „*vom Konzept zur Produktion*“, sondern auch für alle logistischen und vertriebstechnischen Aufgaben einschließlich der Abwicklung von Garantiefällen, dem Ersatzteilservice und den Maßnahmen zur Produktverbesserung.

Eine zusätzlich angestrebte Wachstumssteigerung ist nur möglich, wenn auch in diesem Industriezweig den Endkunden die größtmögliche Beachtung geschenkt wird. Da in den 60 – 80er Jahren auf besondere Wünsche und / oder auf finanzielle Vorstellungen des Kunden kaum eingegangen werden musste, war die damals angebotene Auswahl an Booten sehr gering. Wie bereits ausgeführt, hat sich wegen der ständigen Zunahme des Zugangs zu dem Internet in Verbindung mit der fortschreitenden Globalisierung das Konsumverhalten erheblich geändert. Um diese vielseitigen Kundenwünsche zukünftig zu berücksichtigen, müssen analog zu der Automobilindustrie auch im Sportbootbau neue Kundensegmente generiert und die Qualitätsstandards erheblich verbessert werden. Die heutige Kundenbefriedigung beruht auf den Auswahlmöglichkeiten gemäß [1].

Einzelne kleine Sportbootbauer werden dies kaum bewerkstelligen können, da diese einerseits nicht über die technischen Ressourcen verfügen und andererseits ihre finanziellen Möglichkeiten einen derartigen Aufwand nicht zulassen. Für eine Umsetzung bleiben nur zwei Möglichkeiten, entweder mehrere Sportbootbauer schließen sich zu einem Unternehmen zusammen oder ein Unternehmen, das über eine Sparte Sportbootbau verfügt, kauft kleinere Sportbootbauer auf oder kooperiert mit einzelnen Sportbootbauern. Insbesondere die zweite Möglichkeit verlangt nach einer gut strukturierten Vorgehensweise, damit jedes der beteiligten Unternehmen davon profitiert.

Ähnliche Überlegungen gelten bereits für den Bereich der Sportbootbauzulieferer. Ein Unternehmen, welches über mehrere Jahrzehnte Marktführer im Bootsmotorensektor gewesen ist, wird heute bereits durch den enormen Konkurrenzdruck neuer Hersteller wie z.B. Yamaha, Mercury, Bombardier / Evinrude / Johnson, Suzuki, Honda, Tohatsu, Selva, Nissan und Volvo zur Anwendung neuer Unternehmensstrategien gezwungen. Dies bedeutet, dass durch den Aufkauf einzelner Zulieferer ein Verdrängungswettbewerb ähnlich wie in den 90er-Jahren für den CAD-Bereich stattfindet, bei dem letztendlich einige große Unternehmen die Markanteile unter sich aufteilen werden.

Da, auf Grund der sich ständig verändernden Lebensbedingungen der Gesellschaft, die Freizeitindustrie zweifelsfrei zu den Märkten mit hohem Wachstum zählt, wird der Verdrängungswettbewerb noch weiter zunehmen. Schon jetzt haben einzelne finanzstarke Unternehmen aus der Sportbootbranche andere kleinere mittelständische Unternehmen aufgekauft und damit die Marktposition für ihre eigenen Produkte erheblich gestärkt. Diesen Vorgang werden diese Unternehmen weiter fortführen, so dass diese zunächst ihr Produktportfolio erweitern und in der Folge ihr Unternehmen durch die Integration anderer Unternehmen, aber auch durch das Outsourcing einzelner Baugruppen-Produktionen nach und nach zu einem Konzern ausbauen. Diese Strategie verlangt von dem Konzern allerdings einen erheblichen Aufwand, da das gesamte Produktportfolio über ähnliche Produkte verfügt, welche durch den Zukauf bedingt, auf verschiedenen Konzepten basieren. Auch dieses Vorhaben lässt sich nur durch den Einsatz neuer moderner Informations- und Kommunikationstechnologie bewerkstelligen.

1.1 Motivation für die Erstellung dieser Arbeit

Der medizinische Fortschritt der letzten Jahre hat dazu geführt, dass die Menschen mehr auf ihre Gesundheit achten und damit auch zwangsläufig länger leben als in den früheren Jahren. Dabei sind die Menschen heute mit 60 Jahren körperlich und geistig noch mindestens genauso (eventuell sogar mehr) fit, wie die 40-jährigen früherer Jahre. Dies führt in der Folge dazu, dass die Freizeitgesellschaft einen ganz anderen Stellenwert erhält. So sind insbesondere alle Arten von sportlichen Aktivitäten heute mehr denn je gefragt. Dies gilt in zunehmendem Maße auch für den Wassersport, der mittlerweile dem Bereich des Breitensports zugeordnet wird. Dies wird auch durch die ständig zunehmenden Besucherzahlen auf den großen Bootsausstellungen unterstrichen. Während in den früheren Jahren eher der Segelsport auf breiter Front gefragt war, so bestimmt heute die Nachfrage nach kleinen bis mittleren **Motorsportbooten (MSB)** die Markt-Situation im Wassersport. Diese grundlegenden Änderungen hinsichtlich der Freizeitgestaltung in der Gesellschaft bedeutet für die betroffenen Unternehmen dieser Branche ein erhebliches Wirtschafts- und Arbeitsmarktpotenzial.

Dem späteren Besitzer eines MSB ist allerdings oftmals nicht bewusst, welche Gefahren die Nutzung dieser Produkte in sich birgt. Die meisten Anwender kommen vom Segelsport und meinen, wenn sie einen Führerschein zum Führen von Motorsportbooten besitzen, sind sie hinreichend informiert und gerüstet, um ein MSB in jeder Hinsicht zu beherrschen. Dies ist

sicherlich ein Trugschluss, wie die vielen Bootunfälle Jahr für Jahr zeigen. Somit ist die Frage zu klären: „*Welche Möglichkeiten hat der Kunde heute, sich über die Fahreigenschaften und deren Konsequenzen zu informieren?*“ Die Literaturrecherchen haben diesbezüglich ergeben, dass für den Bereich der MSB nur sehr wenige Beurteilungskriterien bezüglich des Fahrverhaltens von MSB bekannt sind, die eine objektive und vor allem eindeutige Abschätzung für den Kunden ermöglichen. Dies liegt in erster Linie daran, dass die allgemeine Nutzung von MSB im Vergleich zu den Kraftfahrzeugen immer noch niedriger ist und somit für die MSB nicht der für Kraftfahrzeuge vorhandene hohe Konkurrenzdruck seitens der Hersteller vorliegt. Das nachfolgende Beispiel der Kraftfahrzeugnutzung durch einen Kunden soll vergleichsweise die hier vorliegende Problematik verdeutlichen.

Fast jeder Autofahrer wird durch den ständigen Gebrauch seines Fahrzeugs (beruflich und privat) unbewusst ein „Experte“ und kann somit schon nach wenigen 1.000 km Fahrpraxis ein Kraftfahrzeug bewerten, „zumindest glaubt er dies“. Darüber hinaus werden die Kraftfahrzeuge in der Stadt und auf der Autobahn zum Teil in Extremsituationen genutzt (Vollgas, Vollbremsung, schnell gefahrene Kurven, etc.), so dass ein jeder Autofahrer schnell zu einem routinierten Experten werden kann. Er oder sie merkt sofort, wenn bei der Geradeausfahrt, bei einer Kurvenfahrt, beim Beschleunigen oder beim Bremsen das eine oder andere Fahrzeug besser oder schlechter reagiert (z. B. Reifenquietschen, langer Bremsweg, schlechter Bremsdruck, schwierige Kupplung, laute Motorgeräusche, unpräzise Lenkung). Insbesondere bei einem Vergleich zwischen zwei Fahrzeugen, wenn eins der beiden noch dazu bereits 15 Jahre im Straßenverkehr teilgenommen hat, werden unterschiedliche Fahrleistungen sofort erkannt.

Bei einem MSB ist dies schon deshalb anders, da ein MSB durch seinen Besitzer nicht so häufig genutzt und deshalb auch sehr selten in Grenzbereichen gefahren wird. Aus diesem Grunde ist für den Nutzer auch ein Vergleich mit einem Konkurrenzprodukt nicht gegeben. Des Weiteren führt die gelegentliche Fahrpraxis dazu, dass der Kunde sich erst nach und nach über die Fahrleistungen eines MSB, insbesondere in Extremsituationen, bewusst wird. Diese vorübergehende Unkenntnis birgt ein hohes Gefahrenpotential in sich und führt manchmal zu schweren Unfällen.

Die Unternehmen sind wegen des fehlenden Konkurrenzdruckes häufig allein aus wirtschaftlichen Gründen nicht bereit, die für die Sicherheit der MSB erforderlichen Testfahrten durchzuführen, da diese fürchten, den angestrebten frühen Markteintritt ihres Produktes nicht einzuhalten. Aus diesem Grunde müssen dann bei der späteren Nutzung

durch den Kunden beim Auftreten von Störungen diese Testfahrten durchgeführt werden. Auch diese Testfahrten sind nicht ungefährlich, wie der Autor dieser Arbeit im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit im Motorsportbereich selbst erlebt hat. So ist er bei einer Testfahrt in einer scharfen Kurve über Bord gegangen, zum Glück ohne größeren gesundheitlichen Schaden zu erleiden.

Auch deshalb soll diese Arbeit dazu beitragen, dass die produzierenden Unternehmen sich ihrer Verantwortung bewusst werden und im Rahmen ihrer zweifelsfrei vorhandenen Möglichkeiten auch den Sicherheitsaspekten bei der Herstellung von MSB mehr Aufmerksamkeit widmen.

1.2 Vorgehensweise bei der Erstellung der Arbeit

Zunächst muss die Frage geklärt werden, wie sich das Produkt „**Motorsportboot**“ positioniert, das heißt, in welcher Beziehung stehen die Produzenten und die Nutzer dieses Produktes. Ganz allgemein ist nach [2] ein **Produkt** das Bindeglied zwischen **Markt** und **Unternehmen**. Dies trifft in vollem Umfang allerdings nur zu, wenn der Markt (Kunden) auch einen Kontakt zu dem Unternehmen (Hersteller) hat. Dies ist bei den heute global agierenden Herstellern nicht der Fall, da diese ihre Produkte über **Händler** vermarkten, ohne dass diese über einen direkten Zugang zu den neuesten, herstellereigenen Informationen verfügen (vgl. **Abbildung 1-1**). Die Händler selbst wiederum haben, bedingt durch den Verkauf der MSB an die Kunden, den direkten Kontakt zu den Nutzern dieser Produkte. Dieser indirekte Kommunikationsweg vom Nutzer zum Hersteller ist für eine marktorientierte Produktentwicklung mit erheblichen Nachteilen behaftet. Es ist kaum vorstellbar, dass bei dieser Vorgehensweise eventuell auftretende Fehler bei der späteren Nutzung des Produktes bei dem Hersteller ankommen und somit in die Entwicklung neuer Boote einfließen.

Nun ist ein MSB zwar ein Konsumgut, aber nicht unbedingt ein so genanntes „*Massengut*“, obwohl die prognostizierten Umsatzzahlen ein stetiges Wachstum vermuten lassen und damit auch die Anzahl der interessierten Kunden zunehmen wird. Auf den ersten Blick sieht es so aus, als sei das Produkt „*Motorsportboot*“ für ein **Unternehmen** ein einfach herzustellendes Konsumgut. Tatsächlich aber unterliegt ein Boot sehr hohen Belastungen durch die physikalischen Gesetze der Hydraulik (Schwimmen und Gleiten des Rumpfes im Wasser) und den Auswirkungen der Aerodynamik (Windkraft) auf das gesamte Boot. Diese

beiden Phänomene müssen darüber hinaus noch im Zusammenhang mit dem Motor-Antrieb eines Bootes gesehen werden, da der Fahrer immer wieder mal so schnell wie möglich fahren möchte. Bei einer Nichtbeachtung dieser Gesetze führt dies entweder zu einer Verminderung der Leistungsfähigkeit des Bootes oder zu nicht gewollten Bootsunfällen mit gelegentlich schweren Verletzungen für die Passagiere des Bootes.

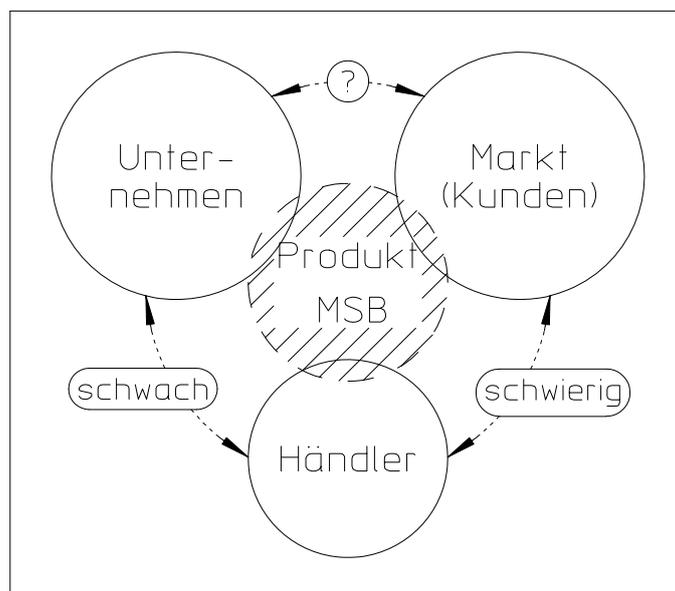


Abbildung 1-1: Kommunikation im Motorsportboot-Bau

Durch diese Bedingungen stehen die Hersteller von MSB vor großen Herausforderungen bezüglich der Entwicklung dieses Produktes. So muss ein Konstrukteur sowohl die Leichtsinnigkeit eines Bootsführers als auch die möglichen äußeren Belastungen in seine Überlegungen mit einbeziehen. Des Weiteren muss er die ständigen Verbesserungen der zum Einsatz kommenden Werkstoffe und den jeweiligen Technologiefortschritt hinsichtlich der Fertigung eines Bootes berücksichtigen. In Verbindung mit den Designwünschen der Kunden bezüglich des äußeren Erscheinungsbildes führen diese Aspekte zu immer neuen Formen und Typen in der Palette der MSB. Hier ist es für einen Konstrukteur sicherlich sehr hilfreich, wenn er auf die positiven und auch negativen Erfahrungen aus früheren Bootskonstruktionen oder auf die Hinweise der späteren Anwender zurückgreifen kann.

Der wirtschaftliche Erfolg der produzierenden Unternehmen ist im Wesentlichen aber auch von dem Erfolg der **Händler** abhängig. Diese haben zunächst die Aufgabe, die Aufmerksamkeit eines **Kunden** zu wecken bzw. in die vom Händler gewollte Richtung zu lenken. Vor allem die Erhaltung und Pflege dieser „Kundenbeziehung“ gehört zu den wichtigsten

Aufgaben eines Händlers. Einen Kunden durch die Bereitstellung gesicherter Informationen verbunden mit entsprechenden Serviceleistungen langfristig zu binden, wird für die produzierenden Unternehmen im Zeitalter der Globalisierung den entscheidenden Wettbewerbsvorteil bringen. Deshalb sind in dem zu erarbeitenden Konzept auch Maßnahmen für eine optimale Kundenorientierung vorzusehen.

Der **Kunde** ist das schwächste Glied in dieser Kette, da er nicht über direkten Zugang zu den Informationen über die jeweils neuen Bootsentwicklungen verfügt. Er ist angewiesen auf die Kataloge der Hersteller, die Hinweise der Händler oder auf die subjektiven Publikationen der Journalisten in den jeweiligen Fachzeitschriften. Insbesondere muss sein ganzes Vertrauen bei dem Kauf eines MSB dem Wort des Händlers gelten. Es kommt leider häufig vor, dass ein MSB nicht rechtzeitig geliefert wird und somit wenig Zeit für die durchaus notwendigen Probefahrten anlässlich des Bootkaufs bleibt. So merkt der Kunde erst zu einem späteren Zeitpunkt, über welche Defizite sein MSB verfügt und hat somit häufig keinen Regressanspruch gegenüber dem Lieferanten.

Zukünftig müssen MSB entwickelt werden, welche auf der einen Seite kostengünstig sind und marktspezifisch noch profitabel den größtmöglichen Kundenkreis ansprechen (hohe Produktionszahlen für Boote und Motoren). Auf der anderen Seite muss aber auch der finanziell lukrative Kundenbereich für die hochwertigen, anspruchsvollen MSB weiterhin adressiert werden können, um hier die hohen Umsatzrenditen zu erreichen. Dies alles vor dem Hintergrund, dass jederzeit die hohen Qualitäts- und Sicherheitsstandards gewährleistet sind in Verbindung mit einer gesicherten Liefertreue.

Zum besseren Verständnis für das noch zu entwickelnde Konzept werden in Kapitel 2 für den **Motor-Sportboot-Bereich (MSBB)** zunächst die Konstruktionsgrundlagen für den Bau von MSB in einer verständlichen Form detailliert beschrieben. In Kapitel 3 wird am Beispiel eines idealisierten Unternehmens der gesamte Ablauf der Produktentstehung eines MSB von der Produkt-Idee über die Produktentwicklung, der Produktion, des Vertriebes und der Nutzung analysiert und die jeweils auftretenden Defizite herausgearbeitet. Diese Defizite bilden in Kapitel 4 die Grundlage für die Formulierung der Anforderungen an ein neues rechnergestütztes Konzept zur Herstellung von MSB. In Kapitel 5 werden die zurzeit auf dem Markt verfügbaren IT-Komponenten und –Technologien bezüglich ihrer Einsetzbarkeit für das Konzept untersucht und die dafür geeigneten Komponenten und Technologien ausgewählt. Auf der Basis der Anforderungen und unter Einbeziehung der ausgewählten Informationstechnologie wird in Kapitel 6 das Konzept erarbeitet und dargestellt. Nach der Erarbeitung der softwaretechnischen Umsetzung wird in Kapitel 7 die Machbarkeit des

Konzeptes exemplarisch nachgewiesen und die hierbei erzielten Ergebnisse hinreichend diskutiert. Eine kurze Zusammenfassung in Kapitel 8 zeigt noch einmal den Lösungsweg auf und in einem kurzen Ausblick wird auf mögliche Verbesserungen und Erweiterungen hingewiesen.

2 Konstruktions-Grundlagen im Bootsbau

Die Produktvielfalt im MSBB ist breit gefächert. Sie reicht von einem einfachen Schlauchboot für ca. 1.000 Euro über Motorsportboote bis hin zu einem Fischereiboot für ca. 5 Mio. Euro. Die Vielzahl der Bootstypen werden in der Literatur ganz allgemein in drei Klassen eingeteilt, die Standardklasse (Kosten: 10.000 – 60.000 Euro), die Mittelklasse (Kosten: 60.000 – 250.000 Euro) und die gehobene Klasse (Kosten: > 250.000 Euro). Dass diese Einteilung nicht genormt ist, zeigt eine ganz andere Darstellung gemäß [3], in welcher 21 Bootstypen mit einer kurzen Beschreibung in 6 Bootsklassen aufgeteilt sind (vgl. **Abbildung 11-1**). Dieser Umfang an MSB macht bereits deutlich, dass im Rahmen einer Dissertation nicht die gesamte Bandbreite unterschiedlicher Boote berücksichtigt werden kann. Dieses ist prinzipiell auch nicht notwendig, da die wichtigen Hauptbestandteile eines MSB, welche die Konstruktion betreffen, bei allen MSB in ähnlicher Form vorhanden sind (vgl. **Abbildung 2-1**).

Die hier gewählte Darstellung ist sehr vereinfacht ausgeführt, da einerseits aus Platzgründen eine komplette Struktur aller Bootstypen mit oft mehr als 1.000 Einzelteilen nicht wiedergegeben werden kann und andererseits die Komplexität der gesamten Produktstruktur eine andere Darstellungsform nicht zulässt. Grundsätzlich kann aber konstatiert werden, dass alle Bootstypen in diesem Bereich über die folgenden Haupt-Komponenten verfügen: den Rumpf, den Antriebsstrang (Motor, Getriebe und Propeller), das Deck und dessen Aufbau mit ganz bestimmten Charakteristika und verschiedenen Optionen.

Wie die detaillierten Beschreibungen noch zeigen werden, liegt die Hauptaufgabe bei der Bootsentwicklung in der Abstimmung von Rumpf und Antriebsstrang. Während die drei Rumpfformen auf den ersten Blick für alle Antriebsformen geeignet erscheinen, so sind für den Antrieb im Detail kleine Unterschiede gegeben. Die eingesetzten Getriebe sind immer nur einstufig und können mit unterschiedlichen Übersetzungsverhältnissen ausgelegt werden. Hingegen ist nicht jeder Motor und/oder Propeller für jede Antriebsart einsetzbar.

Bei einer Betrachtung der Kostenstruktur für die MSB und der Komplexität der Produkte ist die Annahme durchaus berechtigt, dass in diesem Bereich ein erhebliches Optimierungspotential vorhanden sein muss. Insbesondere dann, wenn sich bei der anschließenden Ist-Analyse (Kap. 3) herausstellt, dass die produzierenden Unternehmen weder auf die bereits zur Verfügung stehenden innovativen Softwareprodukte der Informationstechnologie und deren Infrastrukturen noch auf die neuesten Kommunikationstechniken zurückgreifen.

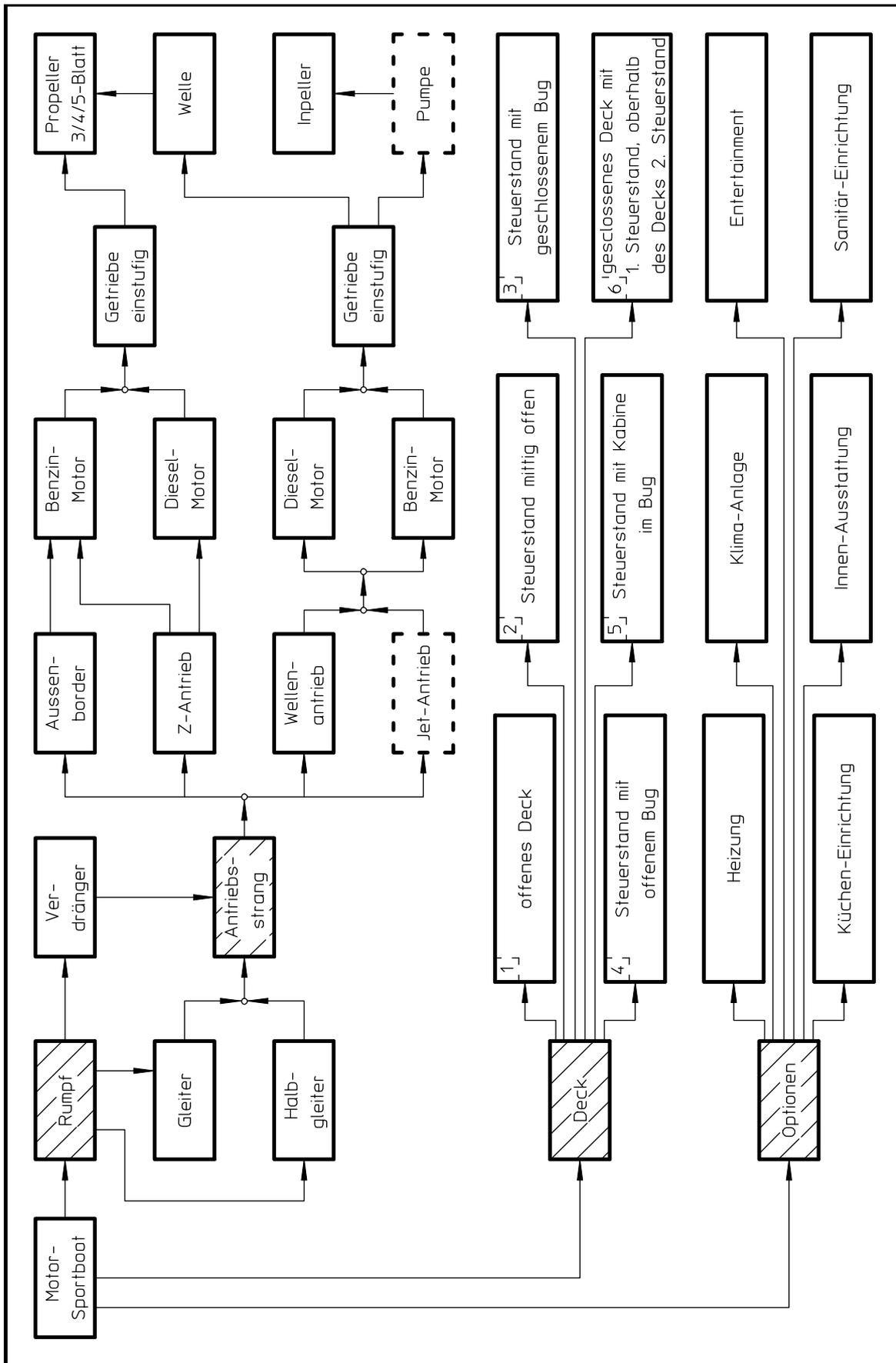


Abbildung 2-1: Produktstruktur-Beispiel für MSB (Auszug)

Das Deck und die dazu gehörenden Aufbauten orientieren sich an den gewünschten Ansprüchen der zukünftigen Kunden. Aus diesem Grunde sind die einzelnen Darstellungen mit einer Ziffer von 1 bis 6 versehen. Wie der erklärende Text auch zeigt, ist der Aufbau mit zunehmender Ziffer immer komfortabler und damit auch jeweils teurer. Die Ziffer 6 lässt fast keinen Wunsch offen und gehört zweifelsfrei zu einer absoluten Luxus-Yacht der gehobenen Klasse.

Die Optionen sind prinzipiell alle wählbar. Aber genauer betrachtet, sind natürlich ganz bestimmte Optionen eigentlich nicht wählbar. Es sei denn, ein Kunde kann tatsächlich auf jeglichen Komfort verzichten, was aber z.B. nach Ansicht des Autors für den Verzicht einer Sanitäreinrichtung schon nicht zutreffend ist. Bestimmte andere Optionen sind bei den oben genannten Bootspreisen ebenfalls kaum wählbar, sondern eher ein unbedingtes Muss, wenn die Bootsfahrt den Kunden auch noch Spaß bereiten soll. Die Zuordnung einzelner Optionen zu den jeweiligen Bootsklassen sind in der **Abbildung 11-1** beispielhaft wiedergegeben. Diese Wahlform wird von der MSBB eigentlich nur als Anreiz für die Händler eingeführt, damit diese im Rahmen ihrer Verkaufsgespräche durch geschicktes Verhandeln die Kunden von der Notwendigkeit der meisten möglichen Optionen überzeugen, mit der Folge, dass der Händler damit seinen persönlichen Profit erhöhen kann.

Wie bereits ausgeführt, werden in dieser Arbeit wegen der hier vorliegenden Vielfalt nicht alle Bootstypen berücksichtigt und deshalb wird der Fokus auf die so genannten Motorsportboot-Yachten gelegt. In der **Abbildung 2-2** wird beispielhaft ein MSB in einer vereinfachten Form dargestellt. Diese Darstellung enthält alle zum Verständnis der Konstruktions-Grundlagen notwendigen Komponenten und Parameter eines MSB.

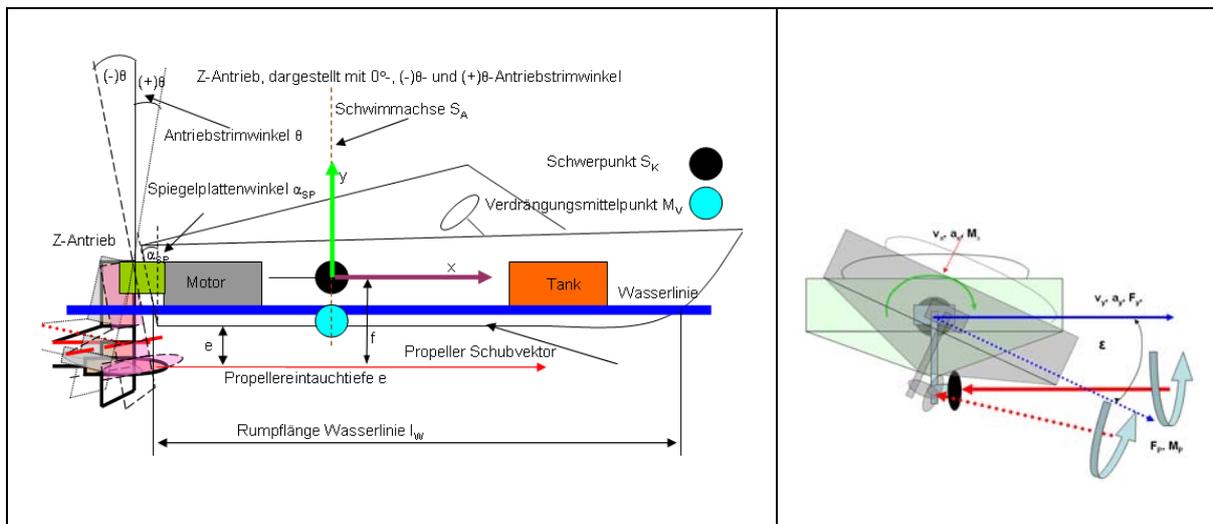


Abbildung 2-2: Vereinfachte Darstellung eines MSB

Im Einzelnen sind dies die Hauptkomponenten Rumpf, Motor, Getriebe, Propeller und Steuerstand sowie verschiedene Winkel, die Lage der Schwerpunkte, einzelne Kraftvektoren und Momente und die Wasserlinie, deren Bedeutungen und Zusammenhänge beschrieben werden. Nachfolgend werden nun die zuerst genannten drei Hauptkomponenten (Rumpf, Antriebsstrang, Propeller) detailliert beschrieben, während die beiden anderen Komponenten zu einem späteren Zeitpunkt dargestellt werden.

2.1 Konstruktion eines Rumpfes

Nach [4] werden im Motorsportbau die folgenden drei verschiedenen Rumpftypen (vgl. **Abbildung 2-1** und **Abbildung 2-3**) eingesetzt:

- Verdränger - Rumpf
- Halbgleiter - Rumpf
- Gleiter - Rumpf

deren hydrodynamischen Phänomene im Zusammenhang mit dem Geschwindigkeits-Längen-Verhältnis „**SL**“ und dem daraus resultierenden Einfluss auf die geometrische Konfiguration der einzelnen Rumpfformen gemäß [9] nachfolgend detailliert dargestellt werden.

Eine Rumpf-Konstruktion orientiert sich immer daran, ob das MSB im Ergebnis der Kategorie Verdränger oder Gleiter (vgl. Abbildung 2-3) zugeordnet werden kann. Unter dem Begriff Verdränger wird im Bootsbau ein Boot verstanden, dessen Unterwasserschiff sich immer ganz im Wasser befindet. Im Gegensatz dazu, hebt sich ein Gleiter mit zunehmender Geschwindigkeit aus dem Wasser, um darauf zu gleiten. Ein Gleiter benötigt bei gleicher Geschwindigkeit weniger Energie als ein Verdränger, deshalb wurde ein so genannter Halbgleiter konzipiert, der in der Verdrängungsphase Energie einsparen soll [4], [5], [6].

Einer der maßgeblichen Parameter für die Zuordnung des jeweiligen Rumpfes zu den drei Rumpf-Kategorien ist der *Rumpfwinkel* β . Für Gleiter beträgt der Wert für den Winkel $\beta = 16^\circ$ bis 24° , für Halbgleiter $\beta = 20^\circ$ bis 24° und für Verdränger ist dieser Wert nicht relevant. Des Weiteren unterscheidet sich der **Quater Beam Buttock - Winkel (QBB-Winkel)** φ für diese 3

Rumpfformen folgendermaßen, für Verdränger ist der Wert für den Winkel $\varphi > 7^\circ$, für Halbgleiter gilt ein Wert $2^\circ < \varphi < 7^\circ$ und für Gleiter ist der Wert $\varphi < 2^\circ$ [7].

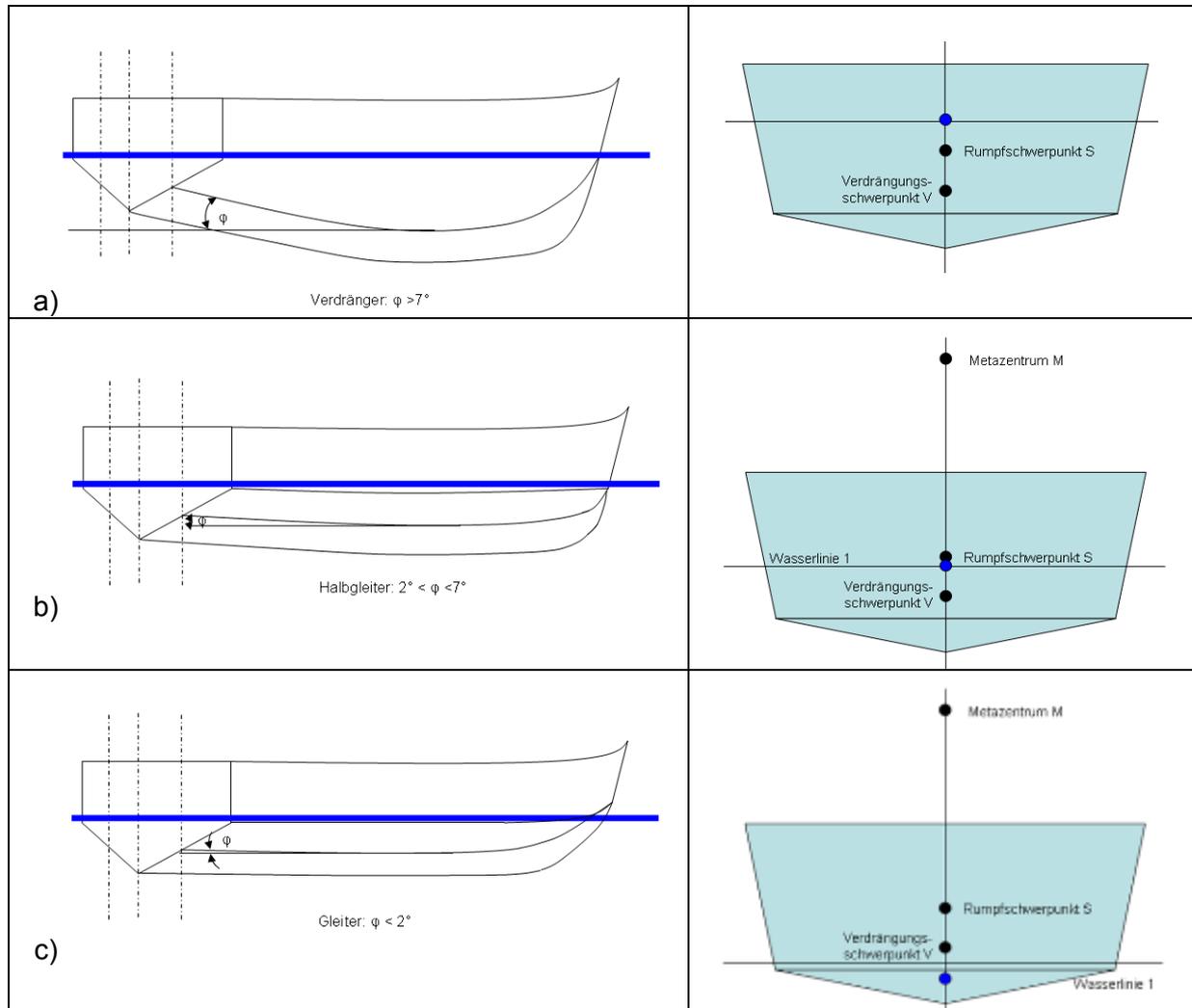


Abbildung 2-3: Rumpfformen für MSB

Ein Wasserfahrzeug, welches auf der Wasseroberfläche entlang fährt, verursacht ein Querwellen-System (Transversalwellen) mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit „ C_k “, welche der gefahrenen Geschwindigkeit „ v “ des Wasserfahrzeuges entspricht. Dieses Wellensystem beinhaltet die für immer verlorene, abgegebene Antriebsenergie des Wasserfahrzeuges als Konsequenz aus dem „Wellen erzeugenden Widerstand“ des Rumpfes. Als erste Annäherung kann diese Transversalwelle mit einer Sinusschwingung verglichen werden, in welcher die Ausbreitungsgeschwindigkeit „ C_k “ als Funktion der Wellenlänge „ L_w “ dargestellt werden kann [8], [9]:

$C_K = 1.3 * \sqrt{LW} \quad [9]$	Gl. 3.1
-----------------------------------	---------

Daraus ergibt sich, dass unabhängig von der Wellenlänge, das Geschwindigkeits-Längen-Verhältnis „**SL_{TW}**“ eines Transversal-Wellensystems immer den Wert 1.3 einnimmt. Das **SL**-Verhältnis eines Bootes ist jedoch sehr stark von der Form des Rumpfes sowie seiner Geschwindigkeit in „*tiefem*“ Wasser abhängig. Da die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit „**C_k**“ der Fahrgeschwindigkeit „**v**“ des Bootes entspricht, kann damit ein Zusammenhang zwischen dem Geschwindigkeits-Längen-Verhältnis „**SLV**“ und dem Ergebnis der Division aus der Wellenlänge „**L_w**“ und der Länge der Wasserlinie „**LWL**“ eines Bootes wie folgt definiert werden [8]:

$L_w / LWL = (SLV)^2 / 1.8$	Gl. 3.2
-----------------------------	---------

Mit Hilfe dieser Gleichung lassen sich die Vergleichswerte gemäß der **Abbildung 2-4** ermitteln.

SLV	L_w / LWL
0,94	0,5
1,10	0,67
1,16	0,75
1,34	1,00
1,90	2,00

Abbildung 2-4: Abhängigkeit zwischen SLV und L_w / LWL

Die Ergebnisse der Werte zeigen, dass bis zu einem Geschwindigkeits-Längen-Verhältnis **SLV = 1,34** die Wellenlänge „**L_w**“ genau bis zur Länge der Wasserlinie „**LWL**“ des Bootes ansteigt. Für **SLV** oberhalb von **1,34** wird die Wellenlänge größer als die Länge der Wasserlinie. Die Bedeutung des Verhältnisses „**L_w / LWL**“ in Bezug auf die 3 Rumpftypen (Verdränger, Halbgleiter und Gleiter) wird im weiteren Verlauf noch erläutert [9].

Ein weiteres wichtiges hydrodynamisches Phänomen ist die negative Druckverteilung an konvex geformten Rumpfstrukturen sowohl in Längsrichtung der Rumpfunterseite als auch in der Querrichtung. Als Beispiel sei hier auf einen einfachen Versuch mit einem Tee- oder Eszlöffel hingewiesen. Wird dieser an dem Stielende hängend festgehalten und die konvexe Seite des Löffels vorsichtig an einen Wasserstrahl gehalten, so wird dieser in den Wasser-

strahl hineingezogen statt herausgedrückt. Daraus folgt, dass auch die **Rumpfform** einen erheblichen Einfluss auf die Rumpfgeschwindigkeit hat.

Nach Archimedes gilt, dass die Auftriebskraft eines Körpers in einem Medium genau so groß ist wie die Gewichtskraft des verdrängten Mediums. Auf ein Boot angewendet bedeutet dies, ein im Wasser schwimmender Rumpf verdrängt genau die Menge an Wasser, welches dem Gewicht des Rumpfes entspricht. Damit ein Rumpf also schwimmen kann, muss das Rumpfvolumen größer sein, als das vom Rumpf verdrängte Wasservolumen. Dieser Effekt erlaubt es, auch Boote aus Materialien herzustellen, welche nicht schwimmen können. Es muss lediglich darauf geachtet werden, dass die Rumpfform ein größeres Volumen erhält, als das von ihm zu verdrängende Wasser. Ein Rumpf soll aber nicht nur schwimmen sondern er muss außerdem auch noch fahrdynamisch eine optimale Leistung gewährleisten und dabei über eine stabile Lage im Wasser verfügen. Da diese beiden Kriterien die jeweilige Rumpfform sehr stark beeinflussen; werden zunächst getrennt voneinander die Fahreigenschaften der drei Rumpfformen und anschließend in einem gemeinsamen Kapitel die Stabilität eines Bootes beschrieben.

2.1.1 Fahreigenschaften eines Verdränger – Rumpfes

Ein Verdränger-Rumpf soll immer im Wasser bleiben, egal wie viel Leistung aufgebracht wird, das heißt, der Rumpf darf sich nicht aus dem Wasser herausheben, um über das Wasser zu gleiten. Ein Motor-Sportboot mit einem Verdränger-Rumpf läuft relativ langsam und erreicht eine Geschwindigkeit von ca. 12 kn (20 km/h). Dabei ist die maximal mögliche Geschwindigkeit von der Rumpflänge abhängig, dies bedeutet, jeder Rumpf hat seine „*Rumpfgeschwindigkeit*“. Diese Geschwindigkeit erreicht das Boot mit einer relativ geringen Motorleistung, so dass nur ein kleiner Motor und somit auch nur ein kleiner Kraftstofftank erforderlich sind. Das ist sehr vorteilhaft, denn es bleibt wesentlich mehr Raum für Kojen, Stauraum, Heizungs- und Sanitäreinrichtungen übrig. Mehr Leistung einzusetzen würde die Fahrleistungen nur unwesentlich erhöhen, aber wesentlich mehr Kraftstoff benötigen.

Im offenen Wasser bewegt sich ein Wellensystem mit einer „Geschwindigkeit zur Wellenlänge“ im Verhältnis von 1,34 vorwärts. Somit kann die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Wellensystems aus der Quadratwurzel einer Wellenlänge (Abstand von Wellental zu Wellental) multipliziert mit dem Faktor 1,34 ermittelt werden:

$c_{Welle} = \sqrt{\lambda_{Welle}} * 1.34$	Gl. 3.3
---	---------

Daraus kann allerdings **nicht** geschlossen werden, dass die optimale Geschwindigkeit eines Verdränger-Rumpfes der folgenden Gleichung entspricht:

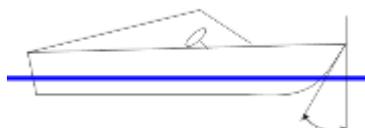
$V_{Verdränger} = \sqrt{LWL} * 1.34$	Gl. 3.4
--------------------------------------	---------

da die optimale Rumpfgeschwindigkeit zu stark von der Rumpfform abhängt. Der Einfluss der Kriterien Aufkimmung, Rumpfbreite, Tiefgang und Rumpfgewicht ist so groß, dass mittels der Rumpflänge in der Höhe der Wasserlinie die maximale Geschwindigkeit eines so genannten Verdränger-Bootes allein nicht bestimmt werden kann, deshalb gilt:

$V_{Verdränger} = \sqrt{LWL} * x$	Gl. 3.5
-----------------------------------	---------

wobei der Parameter „ x “ zwischen 1,34 und 2,0 variiert. Da der Rumpf keine Gleitfahrt erreichen soll, kann deshalb dem Gewicht weniger Bedeutung beigemessen werden. Der Konstrukteur kann aus diesem Grund deutlich mehr Beladung einplanen, was der späteren Anwendung einen größeren Gestaltungsspielraum ermöglicht. So kann z.B. mehr Kraftstoff für lange Fahrten getankt, mehr Frischwasser aufgenommen, mehr Stauraum zur Verfügung gestellt und mehr zusätzliche Einbaugeräte verbaut werden. Die typischen Merkmale eines Verdränger-Rumpfes (vgl. Abbildung 2-3, Fall a) sind unter anderem:

- *Stumpfer Rumpf-Bug Winkel in Höhe der Wasserlinie,*



- konvex geformte Rumpfform in Längsrichtung an der Heckseite des Bootes,
- schmal zusammenlaufendes Heck (Draufsicht) und
- konvex geformte Rumpf-Freibordkante.

Die konvexen Formen sind erforderlich, um vor allem am Heck einen Wasserabriss zu unterbinden, damit die Restwiderstandskomponente des Rumpfes minimiert wird. Der an den konvexen Formen entstehende Unterdruck ist innerhalb der vorab definierten Fahrgeschwindigkeiten für die jeweilige Rumpfform relativ niedrig und übt einen geringen Einfluss auf die

Rumpfleistung aus. Wird allerdings die definierte Rumpfgeschwindigkeit deutlich überschritten, sind diese Randbedingungen nicht mehr gegeben.

Diesen Fall zeigt beispielhaft die **Abbildung 2-5** (oben), wobei das Verhältnis von Geschwindigkeit zur Länge den Wert 0,94 (vgl. Gl. 3.2) einnimmt. Das Verhältnis der Wellenlänge (Transversalwelle) λ_{Welle} zur Länge der Wasserlinie ergibt gemäß der Gl. 3.2 den Wert 0.5. Bei dieser Situation taucht der Rumpf im Vergleich zur Ruhelage etwas mehr ein und der Bug wird gleichzeitig leicht hoch getrimmt.

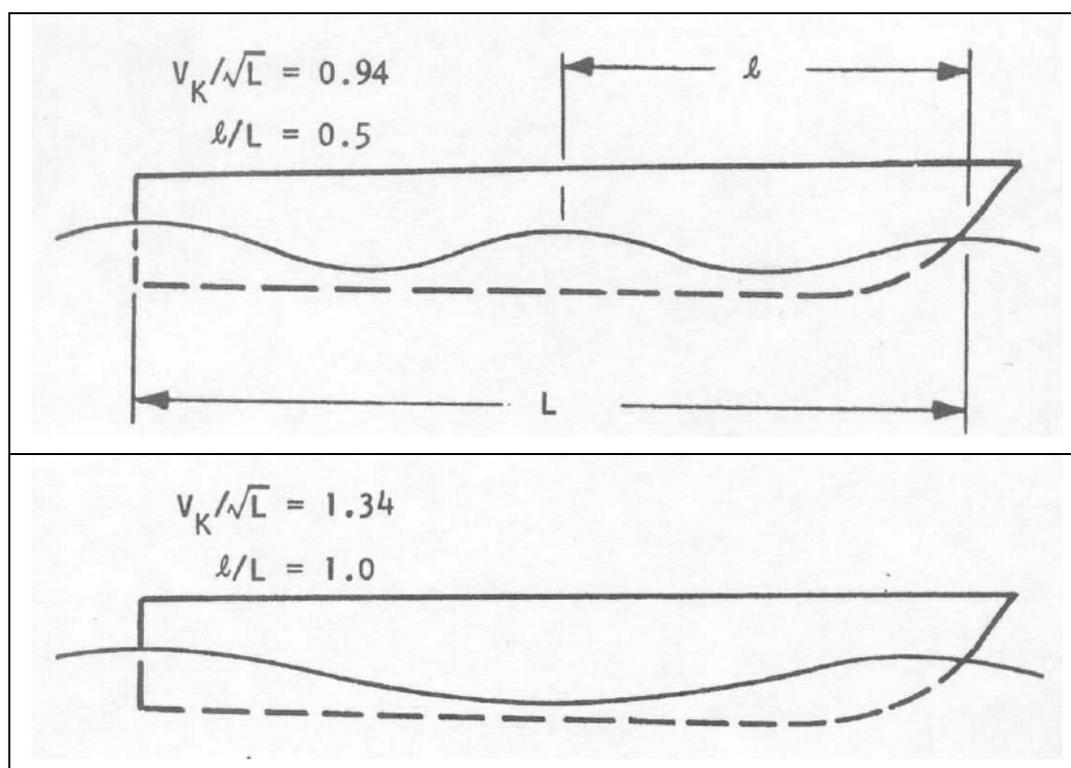


Abbildung 2-5: Verhältnis der Wellenlänge zur Länge der Wasserlinie [9]

Wenn die Geschwindigkeit erhöht wird und das Verhältnis von Geschwindigkeit zu Länge den Wert 1,34 erreicht, ergibt sich für das Verhältnis Wellenlänge zu Länge der Wasserlinie der Wert 1,0. Daraus folgt, bei gleichen Längen entsteht nur ein großes Wellental unter dem Boot und während das Heck dadurch weiter ins Wasser geschoben wird, fängt der Bug an auf seine eigene Bugwelle aufzusteigen (vgl. Abbildung 2-5, unten) und der Neigungswinkel nimmt deutlich zu. Bei diesen Geschwindigkeiten nimmt der Unterdruck an den konvexen Rumpfeckpartien ebenfalls stark zu, was ein weiteres Herunterdrücken des Hecks und eine Vergrößerung des Neigungswinkels mit sich bringen. Der Rumpfströmungswiderstand steigt jetzt dramatisch an und verhindert somit ein weiteres Ansteigen der Geschwindigkeit. Die

Darstellungen in der **Abbildung 11-2** zeigen beispielhaft einen typischen Transversal-Wellenverlauf entlang des Rumpfes für Verdränger-Boote.

Den dramatischen Anstieg des Verhältnisses Rumpf-Widerstand / Gewicht zu dem Verhältnis Geschwindigkeit / Länge zeigt auch die Darstellung in der **Abbildung 2-6** als „**f** (**SLV**)“ recht deutlich. Dabei nimmt die Widerstandskurve bereits ab dem Wert **SLV** = 1,25 zu, um dann bei Werten oberhalb von **SLV** = 1,34 nahezu senkrecht anzusteigen.

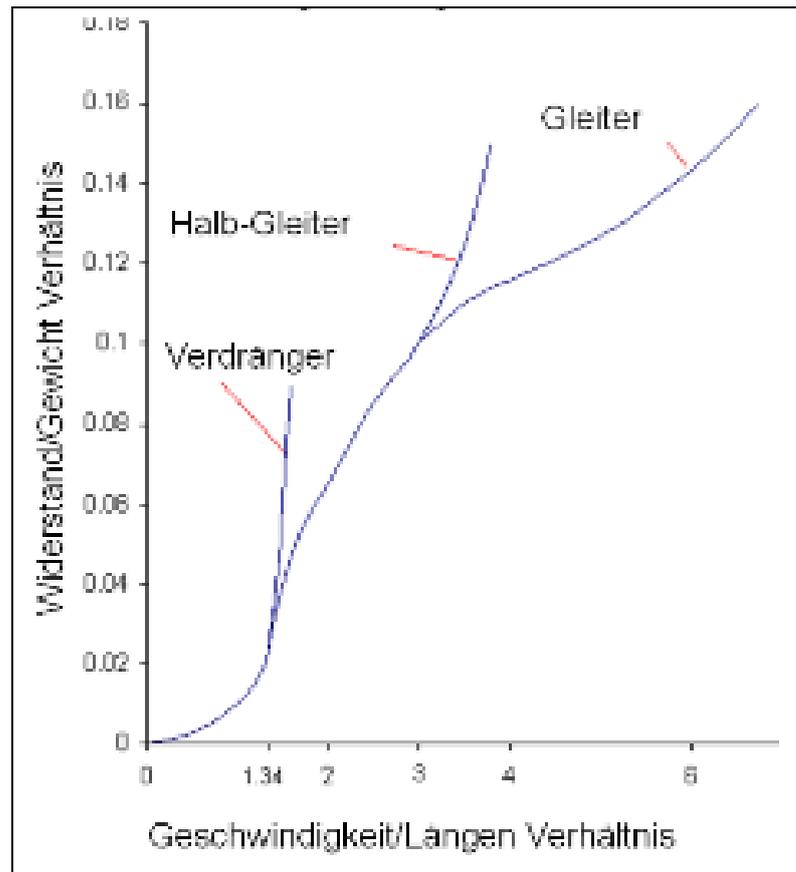


Abbildung 2-6: Rumpf - Widerstand / Gewicht als f (SLV) [10]

Wird ein Verdränger-Rumpf mit Geschwindigkeiten oberhalb des Wertebereiches von **SLV** = 1,34 gefahren (z.B. bei Schleppversuchen in Testbecken) so wird das Heck durch den ansteigenden Unterdruck am Rumpf extrem weit ins Wasser hinein gezogen und das hintere Deck liegt nahezu unter der Wasserlinie. Das quer zum Rumpf verdrängte Wasser tritt fast senkrecht an den Rumpfseiten nach oben aus und bewirkt extrem hohe Neigungswinkel. Die meisten Verdränger-Rümpfe werden deshalb für einen SLV-Bereich von 1,0 – 1,3 konzipiert. Damit auch bei **SLV** - Werten oberhalb von 1,3 gefahren werden kann, muss die Rumpfkonstruktion entsprechend den in diesen Bereichen auftretenden hydrodynamischen Verhältnissen angepasst werden.

2.1.2 Fahreigenschaften eines Halbgleiter – Rumpfes

Der Rumpf eines Halbgleiters ist so konstruiert, dass er bei **SLV** - Werten oberhalb von 1,3 nicht die Eigenschaft besitzt, das Heck tief ins Wasser zu pressen und große Neigungswinkel anzunehmen. Bei **SLV** - Werten oberhalb von 1,3 wird die Wellenlänge der vom Bug erzeugten Transversalwelle „ λ_{Welle} “ immer größer sein als die Länge der Wasserlinie **LWL** des Bootes, also $\lambda_{Welle} / LWL > 1$. Das heißt, unabhängig von der Rumpfform wird das Boot immer gegen seine eigene Bugwelle anfahren. Daraus folgt, dass das Ziel bei der Rumpfantwicklung für Halbgleiter immer sein muss, den Unterdruck im hinteren Bereich der Rumpfunterseite zu verhindern und den Neigungswinkel eines Bootes klein zu halten. Das wird ermöglicht, indem der QBB-Winkel ϕ an der Rumpfunterseite so weit wie möglich eliminiert wird.

Dies wird dadurch erreicht, indem dieser Bereich gerade ausgeführt und der Übergang zur Bootspiegelplatte und zu den Rumpfseiten nicht mehr rund gestaltet wird, sondern so scharf wie möglich. Auch das bei den Verdrängerrümpfen typische enge Zusammenlaufen des Hecks wird vermieden (mehr Auftrieb). Diese Konfiguration bewirkt einen dynamischen Druck am Heck, welcher das Heck sowie den gesamten Rumpf nun anhebt und den Neigungswinkel reduziert. Die typischen Merkmale eines Halbgleiter-Rumpfes (vgl. Abbildung 2-3, Fall b) sind unter anderem:

- Stumpfer Rumpf-Bugwinkel in Höhe der Wasserlinie,
- gerade verlaufende Längslinie an der heckseitigen Rumpfunterseite mit sehr kleinem QBB - Winkel ($2^\circ - 7^\circ$ max.),
- der Übergang vom Rumpf zur Bootspiegelplatte verläuft scharf, mit einem möglichst breit gestalten Bootspiegel,
- der Bootspiegel ist teilweise unter Wasser (zumindest in der Ruhelage des Bootes),
- der Übergang der Rumpfseitenwände zur Rumpfunterseite ist oft noch rund gehalten, aber einige Bootkonstruktoren gestalten die Übergänge im vorderen und/oder hinteren Bereich bereits mit scharfen Übergängen und
- eine gerade verlaufende V-Form im vorderen Bugbereich, vereinzelt mit konkav verlaufenden Linien.

Den typischen Wellenverlauf von Halbgleitern zeigen beispielhaft die Darstellungen in der **Abbildung 11-3**. Nachfolgend werden nun die Eigenschaften der Halbgleiter mit zunehmenden **SLV** -Werten wiedergegeben:

0 < SLV < 0,9: Mit zunehmender Geschwindigkeit kommt es zu einer sauberen Wasserabrissskante am Heckspiegel. Der gesamte Bootsspiegel liegt oberhalb des Kielwassers. Der hintere Rumpfbereich drückt sich leicht ins Wasser und der Neigungswinkel erhöht sich nur wenig.

0,9 < SLV < 2,0: Das Heck erreicht seinen tiefsten Punkt im Wasser und das Boot nimmt den höchsten Neigungswinkel (ca. 2°) an. Es gibt erste Anzeichen eines ansteigenden Querstromes, welcher unterhalb des Rumpfes zu den Rumpfsseitenwänden verläuft. Der hier entstehende Unterdruck hat jedoch kaum einen Einfluss auf den Gesamtströmungswiderstand des Rumpfes.

2,0 < SLV < 3,0: Der Rumpf hebt sich bis auf das Niveau in der Ruhelage an und der Neigungswinkel sinkt mit steigender Geschwindigkeit. An den rund geformten Bilgenkanten (Rumpfunterseite zu Rumpfsseitenwand) entwickelt sich eine nahezu senkrecht aufsteigende Gischt, welche mit zunehmender Geschwindigkeit bis an das Deck ansteigt (SLV = 3,0). Mit ansteigender Geschwindigkeit nimmt der Neigungswinkel weiter ab und die seitlich hochsteigende Gischt nimmt zu (vgl. **Abbildung 11-4**). Die gesamte benetzte Fläche wird nun wesentlich größer als im statischen Ruhestand.

SLV > 3,0: Der Rumpfwiderstand nimmt nun dramatisch zu. Auch bei korrekt entwickelten Spray-Linien entlang des Rumpfes, welche das Bugspray reduzieren sollen, reicht der dynamische Auftrieb nicht aus, um das Boot in die Gleitfahrt zu heben. Die **Abbildung 2-6** zeigt, dass der Rumpf eines Halbgleiters bei einem **SLV = 1,3** leicht die Widerstandsbarriere des Verdrängers passiert, aber ab einem **SLV = 3,0** limitiert die Widerstandsbarriere für Halbgleiter die maximale Reisegeschwindigkeit eines Halbgleiters.

2.1.3 Fahreigenschaften eines Gleiter - Rumpfes

Der Rumpf eines Gleiter-Bootes ist so gestaltet, dass bei hohen Geschwindigkeiten ein dynamischer Überdruck an der Unterseite aufgebaut wird. Dieser hydrodynamische Auftrieb hat zur Folge, dass der Rumpf teilweise aus dem Wasser herausgehoben wird und somit der statische Auftrieb reduziert wird. Dieser Effekt bewirkt, dass bei der Gleitfahrt die benetzte Fläche deutlich geringer ist als im statischen Zustand (Verdränger- und Halbgleiterphase). Leider führt der, durch den hydrodynamischen Auftrieb zu addierende induzierte Strömungswiderstand, zu einem ungünstigen Gesamt-Widerstands-Gewichtsverhältnis. Dieses liegt sogar wesentlich höher, als das von einem Konstrukteur definierte Verhältnis für einen Verdränger oder einen Halbgleiter. Die typischen Merkmale eines Gleiter-Rumpfes (vgl. Abbildung 2-3, Fall c) sind unter anderem:

- Konvexe Flächen werden völlig ausgeschlossen, außer im Bugbereich, welche oberhalb der Wasserlinie liegen, um das Entstehen eines Unterdrucks zu verhindern,
- scharfe Übergänge an den Bilgenkanten, um einen Strömungsabriss der Rumpfquerströmung zu bewirken (vgl. **Abbildung 11-5**),
- ein tief eingetauchter, breiter Bootspiegel mit scharfer Kante, um einen kompletten Strömungsabriss der Longitudinalströmung entlang der Rumpfunterseite sicher zu stellen, die Spiegelaußenwand ist dadurch nur dem atmosphärischen Druck ausgesetzt,
- gerade und absolut horizontal verlaufende Rumpflängsstreben am Heck (QBB-Winkel = 0°) und
- einen deutlichen Rumpfwinkel mit vom Heck zum Bug ansteigendem V-Winkel. Der V-Winkel ist notwendig, um beim Kreuzen von Wellen die Rumpfaufprallbeschleunigungen zu reduzieren. Des Weiteren erlaubt der V-Rumpf den Aufbau von Querkraftkomponenten zur Kursstabilität und zum Manövrieren.

Obwohl Gleitrumpfboote für hohe **SLV**-Werte ($SLV > 3,0$) entwickelt werden, muss ein Boot zunächst den gesamten **SLV**-Bereich passieren, bevor es seine durch die Konstruktion definierte Geschwindigkeit erreicht. Bis zu einem **SLV**-Wert von 3,0 besitzen Gleit-Rümpfe einen etwas höheren Rumpfwiderstand als Verdränger oder Halbgleiter (Geschwindigkeiten vor der Gleitfahrt). Das liegt in erster Linie an den scharfen Bilgenkanten sowie an den weit untergetauchten, breiten und mit einem relativ großen Winkel ($> 75^\circ$) scharfkantigen gehaltenen Spiegelplatten, welche einen Strömungsabriss provozieren und dadurch den Rumpfwiderstandsfaktor erhöhen. Die Gleitrumpfboote passieren ohne Probleme die typischen Widerstandsbarrieren für Verdränger bei **SLV = 1,3** und für Halbgleiter bei **SLV = 3,0**. Die **Abbildung 11-7** zeigt beispielhaft die Verdrängerfahrt eines Gleitrumpfbootes.

Im Gegensatz zu den anderen Rümpfen, ist das Fahrverhalten eines Gleiter-Rumpfes stark von der longitudinalen und vertikalen Lage des Schwerpunktes abhängig. Der Neigungswinkel bei der Gleitfahrt wird durch die Schwerpunktlage bestimmt. Der Neigungswinkel wiederum, bestimmt hauptsächlich das Widerstands-Gewichtsverhältnis eines Bootes. Im allgemeinen Fall erreicht der Rumpfwiderstand sein Minimum bei einem Neigungswinkel zwischen $3^\circ - 4^\circ$ [12]. Bei geringeren bzw. höheren Neigungswinkeln nimmt der Widerstand zu. Falls der Schwerpunkt eines Gleittrumpf-Bootes nicht mehr variiert werden kann, so können Trimmklappen oder Trimmschieber (Interceptors) verwendet werden, um den Neigungswinkel zu korrigieren (vgl. **Abbildung 11-8**).

An Stelle des veralteten **SLV**-Wertes wird in der Literatur auch immer häufiger die **Froude-Zahl** zur Beurteilung der Rumpfeigenschaften verwendet. Die **Froude-Zahl** „ F_n “ ist dimensionslos und berechnet sich gemäß [11], [21] mit Hilfe der Parameter $v[m/s]$, $g[m/s^2]$, $Lw[m]$:

$F_n = \frac{v}{\sqrt{g * Lw}}$	Gl. 3.6
---------------------------------	---------

Die **Froude-Zahl** lässt sich aber auch aus einem **SLV**-Wert berechnen:

$F_n = 0.3 * SLV$	Gl. 3.7
-------------------	---------

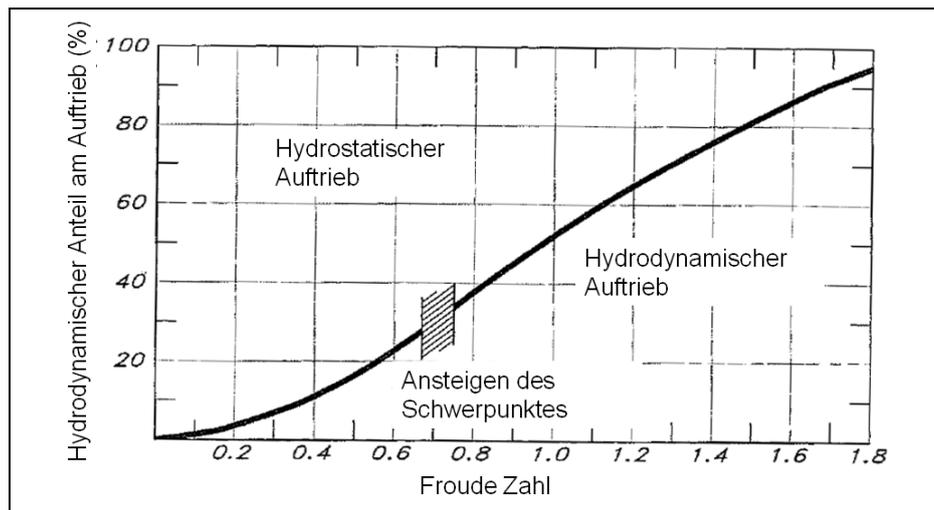


Abbildung 2-7: Auftrieb als Funktion der Froude-Zahl [21]

Die meisten der vorhandenen Berechnungen zu den Gleiter-Rümpfen basieren auf der **Froude-Zahl** „ F_n “ als Funktion des Auftriebes (**Abbildung 2-7**). Mit Hilfe der Darstellung in der **Abbildung 2-7** kann für schnelle Gleittrumpf-Boote der theoretische Übergang in die

Gleitfahrt auf der Basis der Aufteilung der hydrostatischen- und hydrodynamischen Anteile beim Auftrieb als Funktion der **Froude-Zahl** ermittelt werden. Die nachfolgenden Abbildungen sollen das Phänomen der Gleitfahrt noch etwas deutlicher beschreiben.

Die **Abbildung 2-8** zeigt beispielhaft die Druck- und Geschwindigkeitsverteilung unter einer über das Wasser gleitenden Platte. Hierbei ist zu erkennen, dass die Strömung im Staupunkt senkrecht auf die Platte trifft und anschließend wird diese Strömung in zwei Richtungen aufgeteilt, in eine vorwärts- und eine rückwärtsgerichtete Strömung. Am Staupunkt ist der hydrodynamische Druck am höchsten, da die gesamte kinetische Energie in eine Druckenergie umgewandelt wird. An diesem Punkt existiert keine Strömung relativ zur Platte. An beiden Seiten des Staupunktes fällt der Druck ab, bis er schließlich auf Null herabsinkt. Die vorwärtsgerichtete Strömung verläuft parallel zur Platte, bis diese weiter vorn in Form einer dünnen Welle als Spray oder Gischt nach unten abbricht.

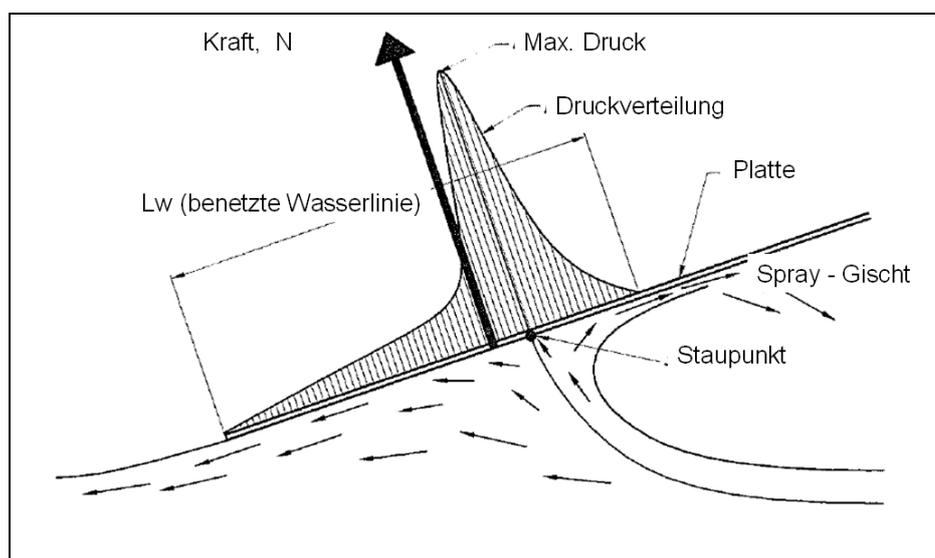


Abbildung 2-8: Druck- und Geschwindigkeitsverteilung [21]

Der hohe Druck im Staupunkt erzeugt eine senkrecht zur Platte wirkende Kraft. Eine weitere Kraftkomponente ist die Auftriebskraftkomponente der Platte (eines Bootes), welche der Gewichtskraft des Bootes entspricht und die immer vertikal nach oben gerichtet ist (vgl. **Abbildung 2-9**). Die horizontal angreifende Kraftkomponente stellt den Gesamtwiderstand, das heißt, den Reibungs- und Druckwiderstand im Wasser dar.

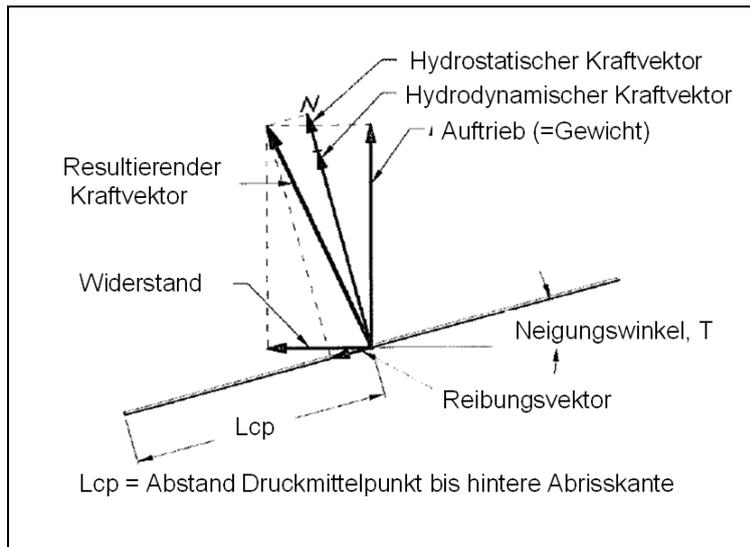


Abbildung 2-9: Kräfte an einer flachen Platte in der Gleitphase [21]

Savitsky (Davidson Laboratory) [21] führte eine große Anzahl systematischer Versuche mit unterschiedlichen Oberflächenformen zur Gleitfahrt durch und entwickelte einige allgemeine Beziehungen, welche häufig von Bootskonstruktoren verwendet werden. Diese sind:

C_v = Geschwindigkeitskoeffizient (Breiten - **Froude** – Zahl) und

C_{Lo} = Auftriebskoeffizient bei $\beta = 0^\circ$ Aufkimmung

$C_v = \frac{v}{\sqrt{g * b}}$	Gl. 3.8
$C_{Lo} = \frac{F_{Lift}}{(0.5 * \rho * v^2 * b^2)}$	Gl. 3.9
$C_{Lo} = \tau^{1.1} * \left(0.012 * \lambda^{0.5} + 0.0055 * \frac{\lambda^{2.5}}{C_v^2} \right)$	Gl. 3.10

mit

λ = benetztes Längen-Breiten-Verhältnis $\frac{L_w}{b}$

τ = Neigungswinkel [°]

Aus den Gleichungen 3.9 und 3.10 zur Berechnung des Auftriebs geht hervor, dass eine breite und kurze Gleitfläche vorteilhafter für einen dynamischen Auftrieb ist. Allerdings hat dies zur Folge, dass der Rumpf breiter konstruiert werden muss, welches den negativen Effekt hat, dass die benetzte Fläche und somit der Widerstand im Wasser (Wellenwiderstand) erheblich ansteigt. Dieses Phänomen führt somit zu einer Limitierung der

Rumpfbreite. Für die Berechnung des Neigungswinkels ist die Lage des Druckmittelpunktes L_{cp} = Abstand Druckmittelpunkt bis Heckabrisskante besonders wichtig:

$\frac{L_{cp}}{L_w} = 0.75 - \frac{1}{\frac{5.21 * C_v^2}{\lambda} + 2.39}$	Gl. 3.11
---	----------

Der Wert für C_{Lo} in der Gl. 3.10 wird aus den bekannten Faktoren „ λ “ und „ τ “ berechnet. Hierbei muss beachtet werden, dass die Bootsbreite „ b “ als Referenzzahl zur Berechnung der Geschwindigkeits- und Auftriebskoeffizienten verwendet wird (entsprechend der **Froude-Zahl**). Der erste Term in Gl. 3.10 bezieht sich auf die statische Auftriebskraft, während der zweite Term sich auf den dynamischen Auftrieb bezieht.

Im Gegensatz zu den beiden anderen Rumpfformen übt der Rumpfwinkel „ β “ in Verbindung mit einer Aufkimmung und dem auftretenden Spritzwasser einen großen Einfluss auf die Fahrndynamik der Gleiter-Rümpfe und muss deshalb nachfolgend noch ausgeführt werden.

Eine flache Rumpfform ist besonders für Wasserskibretter und Surfboards zum Wellenreiten sehr vorteilhaft. So sind wegen des sehr geringen Eigengewichtes keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich, um nach einem Sprung den Aufschlag auf das Wasser zu dämpfen. Hingegen stellt sich diese Situation bei einem Motorsportboot ganz anders dar, da dieses Boot bei hohen Geschwindigkeiten durch bzw. über die Wellen gleiten muss. Bei diesen Wellensprüngen treten hohe vertikale Beschleunigungen auf, die sich insbesondere auf die vorhandenen ungefederten Massen negativ auswirken. Um diese starken Vertikalbeschleunigungen aufzufangen, werden im Sportbootbau so genannte ULLMANN-Sitze verwendet, welche ein aufwendiges Feder-Dämpfer-System beinhalten. Sind derartige Spezial-Sitze nicht vorhanden, können lediglich die Passagiere als gefederte Masse angesehen werden, da dann die Passagiere, wenn diese z. B. in die Hocke gehen, selbst die Vertikalbeschleunigungen mit den Knien, den Beinen, dem Rumpf oder mit dem Kopf abfedern.

Um die vertikalen Beschleunigungen zu vermindern, muss der Rumpf V-förmig gestaltet sein und zwar so, als würde ein Keil in das Wasser getrieben. Während ein flaches Brett mit seiner kompletten Unterseite insgesamt auf das Wasser aufschlägt, taucht bei einem Keil nach und nach eine immer größer werdende Fläche ins Wasser ein und die Reaktionskräfte werden langsam aufgebaut, was eine deutliche Dämpfung erzielt.

Die **Abbildung 2-10** stellt aus einem vom Autor durchgeführten Versuch die gemessenen vertikalen Beschleunigungen eines 6.5 m langen Hartrumpfschlauchbootes (170 PS, 1.850 Kg) beim Passieren von 0,3 – 0,5 m hohen Wellen mit einer Geschwindigkeit von ca. 30 Kn (55 km/h) dar. Die maximalen Werte der Aufschlagbeschleunigungen liegen hier bereits schon bei 2 g. Bei höheren Wellen ist also mit wesentlich höheren Vertikalbeschleunigungen zu rechnen.

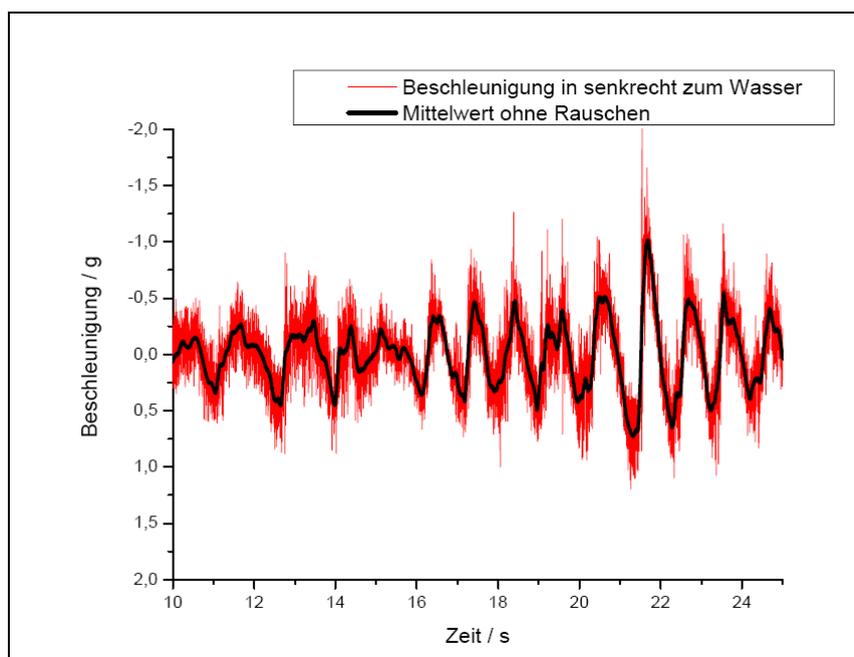


Abbildung 2-10: Vertikale Beschleunigung bei kleinen Wellen

Als Nachteil eines V-Rumpfes ist die Reduzierung des Auftriebs zu nennen, welcher durch einen höheren Neigungswinkel und eine Vergrößerung der benetzten Fläche ausgeglichen werden muss, wobei diese beiden Maßnahmen allerdings den Gesamtrumpfwiderstand erhöhen. Wie bereits ausgeführt, entsteht der hydrodynamische Auftrieb durch eine Richtungsänderung der Wasserpartikel am Rumpf, welche eine Reaktionskraft am Rumpf erzeugen. Bei einer flachen Platte ist die Richtungsumkehr am Staupunkt des Wassers nahezu 180° und führt zu einem sehr hohen Druckaufbau.

Ist hingegen die Richtungsumkehr weit geringer als 180° , wie dies bei einem V-Rumpf der Fall ist, fällt die Reaktionskraft sehr viel geringer aus. Des Weiteren wirkt nur noch ein Teil der Druckkomponente in die vertikale Richtung und ein erheblicher Teil wird als nicht nutzbare Kraftkomponente seitlich zur Innenseite abgelenkt und somit wird die notwendige Auftriebskomponente insgesamt erheblich geringer (vgl. **Abbildung 2-11**).

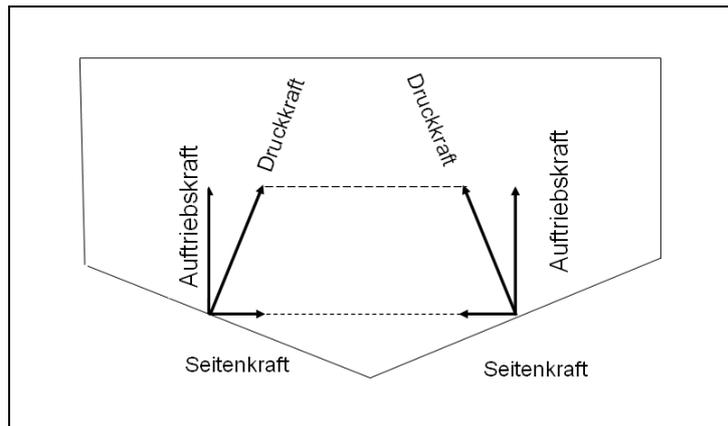


Abbildung 2-11: Kraftkomponenten an einem V-Rumpf [21]

Bei der Berechnung der Auftriebskräfte muss bei einem V-Rumpf zusätzlich noch der Effekt des Spritzwassers berücksichtigt werden. Das Spritzwasser am Boden eines V-Rumpfes erhöht den Reibungswiderstand, da der größte Anteil entgegen der Fahrtrichtung abgelenkt wird. Weiterhin muss geprüft werden, welchen Einfluss die Rumpfaufkimmung auf den Spritzwasserkraftanteil ausübt.

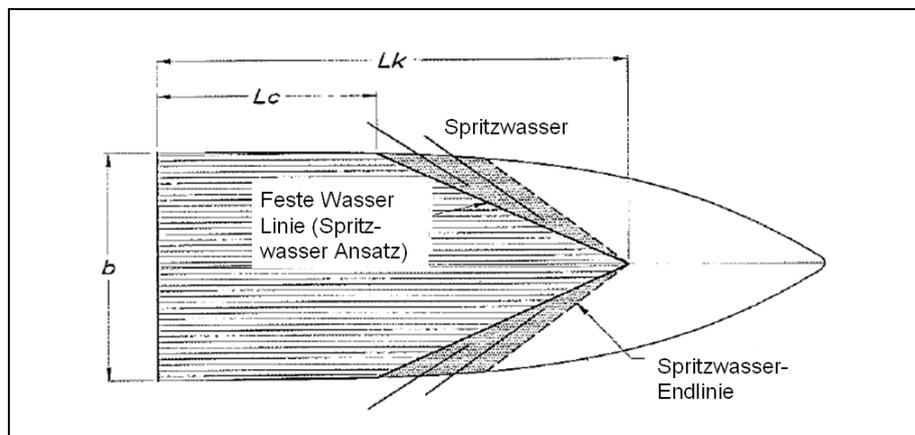


Abbildung 2-12: Benetzte Fläche und Spritzwasserbereich am Rumpfboden [21]

Die **Abbildung 2-12** zeigt die benetzte Fläche des Spritzwasserbereiches am Rumpfboden eines Bootes, aus den dort dargestellten Parametern lässt sich der Auftriebskoeffizient $C_{L\beta}$ für Rumpfwinkel $> 0^\circ$ wie folgt berechnen [13]:

$$C_{L\beta} = C_{L0} - 0.0065 * \beta * C_{L0}^{0.6}$$

Gl. 3.12

Mit

$$L_m = \frac{L_k + L_c}{2} \text{ [m]} = \text{mittlere benetzte Länge}$$

$$\lambda = \frac{L_m}{b} = \text{mittleres benetztes Längen-Breiten-Verhältnis}$$

Savitsky hat einen Spritzwasserkorrekturfaktor ermittelt, welcher in die Formel zur Rumpflängen-Breiten Berechnung mit einfließt. Die **Abbildung 2-13** zeigt die graphische Darstellung des Korrekturfaktors „ $\Delta\lambda$ “ für verschiedene Rumpfwinkel und den Neigungswinkel. „ $\Delta\lambda$ “, welcher in der Berechnung des Spritzwasserwiderstandes „ R_f “ berücksichtigt wird.

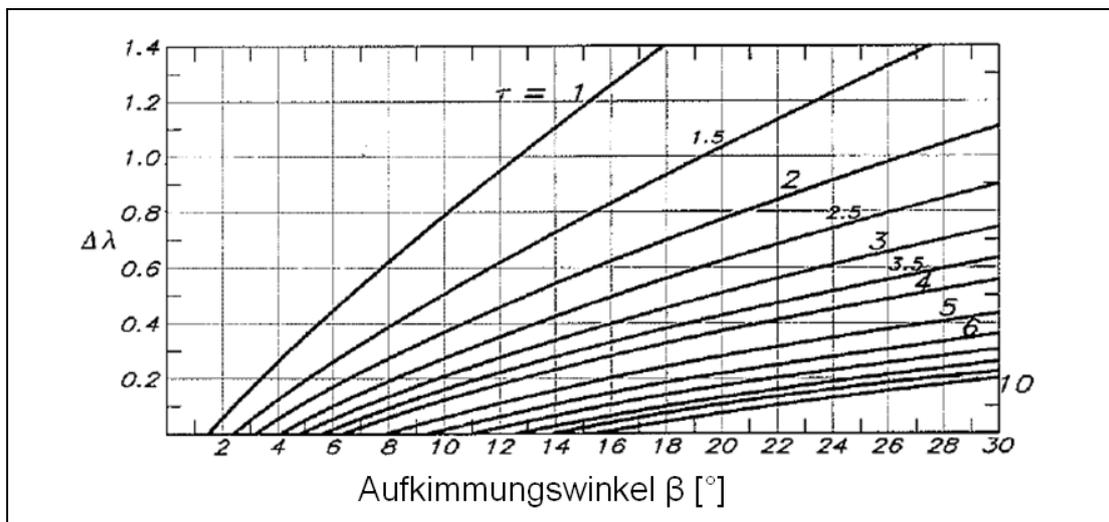


Abbildung 2-13: $\Delta\lambda$ als Funktion der Aufkimmung und des Neigungswinkels [21]

Der Rumpfreibungswiderstand R_f [N] und der am Schwerpunkt angreifende Hebelarm ff [m] der Rumpfgrenzschichtreibung lassen sich berechnen mit den Parametern:

S_w = durch Wasser und Spritzwasser benetzte Fläche [m²]

C_F = Rumpf-Grenzschicht-Reibungskoeffizient

$\Delta\lambda$ = Zunahme des benetzten Längen-Breiten-Verhältnisses auf Grund des Spritzwassers

VCG = Abstand der Kiellinie (Rumpfboden) zum Schwerpunkt

$R_f = C_F * 0.5 * \rho * v^2 * S_w$	Gl. 3.13
$S_w = \frac{L_m}{b} * b * \frac{b}{\cos \beta} = (\lambda + \Delta\lambda) * \frac{b^2}{\cos \beta}$	Gl. 3.14

$R_f = C_F * 0.5 * \rho * v^2 * (\lambda + \Delta\lambda) * \frac{b^2}{\cos \beta}$	Gl. 3.15
$ff = VCG - \frac{b}{4} * \tan \beta \text{ [m]}$	Gl. 3.16

Nun ist noch zu klären, welchen Einfluss die so genannten Rumpfspritzwasserkanten auf den Auftrieb ausüben. Wie bereits erläutert, ist eine starke Rumpfaufkimmung zwar sehr vorteilhaft für die Seetauglichkeit bei hohem Wellengang, aber sehr nachteilig bezüglich des notwendigen Rumpfauftriebes für eine Gleitfahrt.

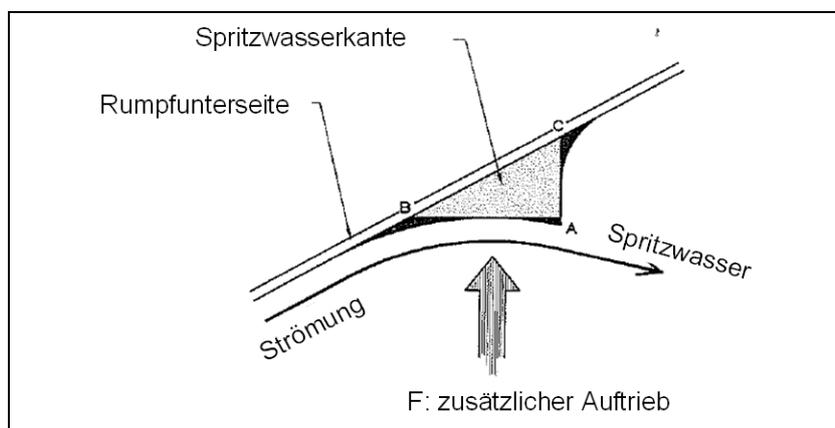


Abbildung 2-14: Querschnitt einer Rumpfspritzwasserkante [21]

Um in diesem Fall die Auftriebskräfte zu erhöhen, werden so genannte Spray Rails oder Strakes als Rumpfspritzwasserkanten längsseits der Rumpfunterseite eingearbeitet. In der **Abbildung 2-14** ist der Querschnitt durch eine Rumpfspritzwasserkante dargestellt. Durch die Aufkimmung wird während der Fahrt das Wasser seitlich weggedrückt. Beim Auftreffen des Wassers auf die Rumpfspritzwasserkante wird das Wasser nach unten umgelenkt. Dadurch entsteht eine weitere hydrodynamische Auftriebskomponente am Rumpfboden.



Abbildung 2-15: Scharfkantig ausgeführte Spritzwasserkante bzw. Strake

Die längs am Rumpfboden angelegte Rumpfspritzwasserkante muss eine scharfkantige Abrisskante (vgl. **Abbildung 2-15**) im Punkt „A“ (vgl. **Abbildung 2-14**) erhalten. Damit in der Verdränger-Phase der Strömungswiderstand an der Spritzwasserkante gering gehalten werden kann, müssen die Übergänge in den Punkten „B“ und „C“ weich gestaltet werden.

2.2 Auswahl eines Antriebes

Zum besseren Verständnis wird für die Wahl des Antriebsstranges aus der **Abbildung 2-1** ein Auszug (**Abbildung 2-16**) vorgenommen, welcher nur den Antriebsstrang zum Inhalt hat.

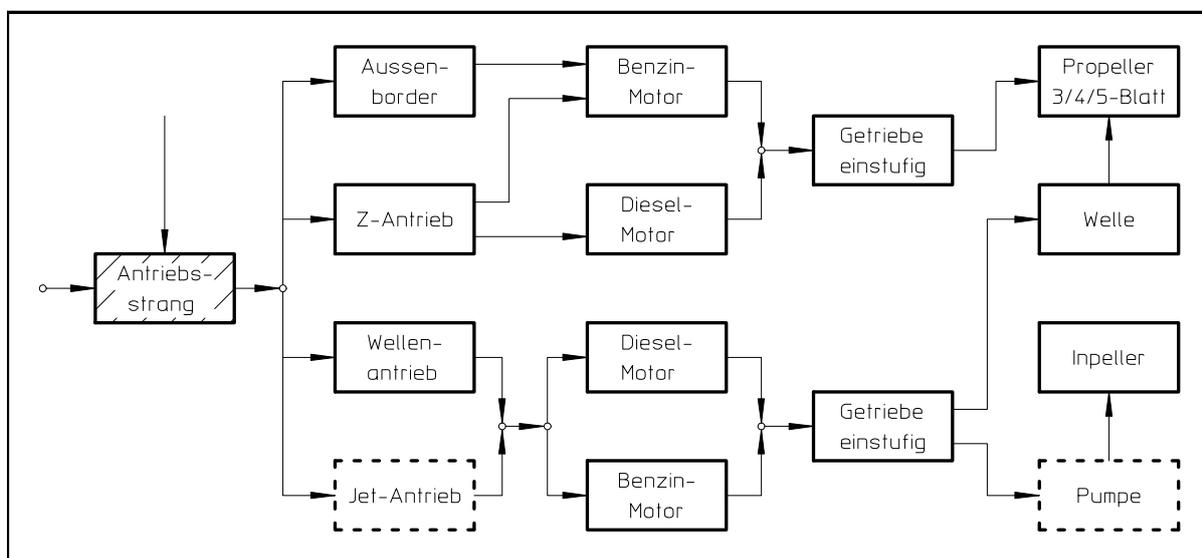


Abbildung 2-16: Antriebsstrang als Auszug aus der Abbildung 2-1

Für die Gestaltung des Antriebsstrangs (Motor-Getriebe-Propeller) gibt es vier Möglichkeiten, von denen drei Versionen (a – c) mit Motor und Propeller ausgerüstet werden. Lediglich der Jet-Antrieb (Version d) weist eine andere Konstruktion auf (vgl. **Abbildung 2-17**).

- a) Bei einem Innenborder mit Z-Antrieb wird der Motor im Rumpf eingebaut und das Getriebe und der Propeller stellen eine Einheit dar und werden **außen** am Bootsspiegel montiert. Eine wasserdichte Verbindung (Flansch) erlaubt die Verbindung über eine horizontale Antriebswelle zum Motor. Eine vertikale Welle gewährleistet die Kraftübertragung nach unten zum Propeller (unter Wasser). Eine weitere horizontale Welle ermöglicht eine Kraftübertragung zum Propeller. Diese Z-Form gibt dem Z-Antrieb seinen Namen. Um eine bestmögliche Anströmung des Propellers zu garantieren, muss die Konstruktion strömungstechnisch betrachtet, ein Optimum darstellen.

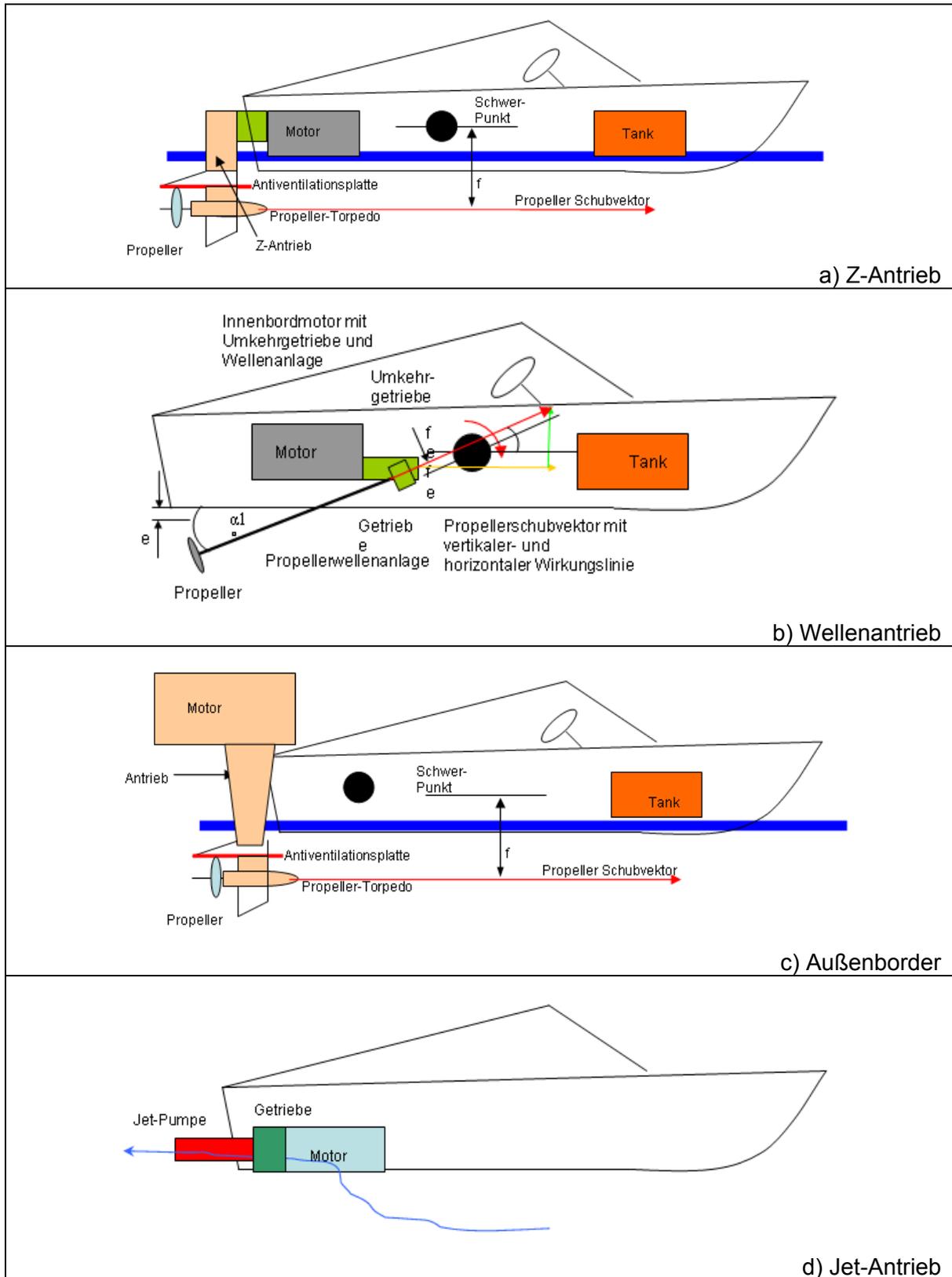


Abbildung 2-17: Antriebs-Systeme für die MSB

- b) Bei einem Innenborder mit Wellenantrieb ist das Getriebe im Rumpf montiert und mittels einer Welle wird die Motorleistung durch den Rumpf nach außen zum Propeller geführt.
- c) Bei einem Außenborder bilden der Motor, das Unterwassergetriebe und der Propeller eine Einheit.
- d) Bei einem Jet-Antrieb (Wasserstrahlantrieb) wird das Wasser durch eine Öffnung unten im Rumpf angesaugt, mit einer Pumpe stark beschleunigt und durch eine Düse mit hoher Geschwindigkeit herausgeschleudert. Das hoch beschleunigte Wasser tritt frei aus und bewirkt einen Rückstosseffekt, welcher das MSB antreibt. Die Pumpe arbeitet intern mit Hilfe eines Impeller [7], [14], [15], [16], [18].

Bezüglich der Motor-Auswahl (Benzin oder Diesel) spielt neben dem vorgegebenen Einsatzzweck sicherlich auch der Preis eine sehr große Rolle. Für eine diesbezügliche Bewertung zeigt die **Abbildung 2-18** einige Preisbeispiele für reine Freizeitboote (keine Rennboote) im Vergleich. Die Außenbordmotoren werden nur als Benziner angeboten.

Unabhängig von dem Motor-Preis gelten die folgenden allgemein gültigen Kriterien für die Motor-Auswahl. Diesel-Motoren sind in erster Linie deshalb beliebt, weil es immer in jedem Hafen oder in einer Marina Dieselkraftstoff gibt und die Boote wegen des geringeren Kraftstoffverbrauchs über eine höhere Reichweite verfügen. Da der Diesel-Kraftstoff nicht explodiert ist eine höhere Sicherheit gegeben und das gute Drehmoment erlaubt eine relative ruhige Fahrgeschwindigkeit bei moderaten Drehzahlen [17].

Leistung	Außenbordmotor	Innenbord - Benzin	Innenbord – Diesel
25 PS	€ 3.200 - € 5.500	nicht erhältlich	€ 9.000 - € 10.500
50 PS	€ 7.000 - € 8.000	nicht erhältlich	€ 14.000 - € 16.000
100 PS	€ 11.500 - € 14.200	€ 10.000 - € 11.200	€ 17.000 - € 22.500
135 - 150 PS	€ 14.500 - € 20.000	€ 8.250 - € 9.800	€ 18.000 - € 23.500
190 - 225 PS	€ 16.500 - € 23.000	€ 9.000 - € 12.500	€ 23.000 - € 36.000
280 - 330 PS	€ 26.000 - € 31.000	€ 16.500 - € 18.000	€ 32.500 - € 42.000
420 - 500 PS	nicht erhältlich	€ 21.000 - € 30.500	€ 44.000 - € 63.000
600 - 700 PS	nicht erhältlich	€ 34.500 - € 65.000	€ 50.000 - € 100.000

Abbildung 2-18: Preisbeispiele für Motoren

Nachteilig ist der sehr hohe Anschaffungspreis, der sich trotz eines geringeren Kraftstoff-Verbrauchs erst nach 15 - 20 Jahren Betriebszeit amortisiert. Dies setzt eine jährliche Fahrzeit von ca. 150 Stunden voraus. Tatsächlich aber werden Freizeitboote im Durchschnitt nur zwischen 20 – 50 Stunden im Jahr genutzt. Durch sein hohes Gewicht sind die Fahreigenschaften (Beschleunigung, Höchstgeschwindigkeit) schlechter und die große Motordimension benötigt mehr Einbauraum. Des Weiteren verursacht der Diesel-Motor hohe Vibrationen und Geräuschentwicklungen bei gleichzeitig hoher Geruchsbelastung und mehr erzeugtem Qualm. Ebenso führt eine Betankung oft zu Geruchsbelastungen an Bord.

Für den Bereich Benzin-Motoren sind die Innenbordmotoren sehr kostengünstig erhältlich und für die Außenbordmotoren ist das Angebot sehr groß. Der Konkurrenzkampf zwischen diesen beiden Motorarten bewirkt einerseits günstige Preise und andererseits schafft eine hohe Nachfrage eine stetige Technologieverbesserung. Für die Benzin-Motoren existiert ein sehr großes Händlernetz und diese Motoren sind leichter zu warten als die Diesel-Motoren.

Unabhängig von der Art des Motors bleibt festzustellen, dass die Bootsmotoren über keine variable Getriebeübersetzung verfügen, da die dafür erforderlichen Kosten (Entwicklung & Fertigung) auf Grund der geringen Stückzahlen aus der Sicht der Hersteller nicht gerechtfertigt sind. Es gibt verschiedene Ansätze, wie z. B. in der Flugzeug- und Schiffsbauindustrie, variable Propellersteigungen zu realisieren, aber auch dies scheitert an den dafür erforderlichen notwendigen hohen Entwicklungskosten. Des Weiteren erlauben die kleinen Bauräume in den Freizeit-Industriemotoren nicht die Integration der notwendigen Technik zur Verstellung der Propellersteigung.

2.3 Definition eines Propellers

Die Konstruktion des Propellers ist für den „richtigen“ Schub und damit für die jeweils gewünschte Geschwindigkeit eines MSB verantwortlich. Einen so genannten optimalen Propeller für jeden Einsatz kann es unter anderem deshalb nicht geben, da sich z.B. während einer Bootsfahrt die Eintauchtiefe des Propellers ständig ändern kann. Für die Auswahl des Propellers bedarf es der Erfahrung eines Fachmannes, der mit Hilfe verschiedener Testfahrten den „scheinbar optimalen“ Propeller findet. Grundsätzlich gibt es den einfachen Propeller mit 3-, 4- und 5-Blatt und einen gegenläufigen Doppelpropeller mit 3- und 4-Blatt (vgl. **Abbildung 2-19**, Typ A und Typ B). Die Auswahl eines Propellers wird

allein schon durch die Tatsache erschwert, dass manche Unternehmen über 100 verschiedenen Propeller für die Leistungsklasse zwischen 6 und 50 PS anbieten [19].



Abbildung 2-19: Propeller-Beispiele für MSB

Der Bootkonstrukteur muss seine ganze Erfahrung nutzen, um für das System „Rumpf-Motor-Getriebe-Propeller“ den optimalen Propeller-Schub zu erreichen [14]. Damit dies gelingt, muss er für die in der **Abbildung 2-20** „*eingerahmten Kriterien*“ das jeweilige Optimum finden, wobei sicherlich der Propeller-Wirkungsgrad die höchste Priorität hat.

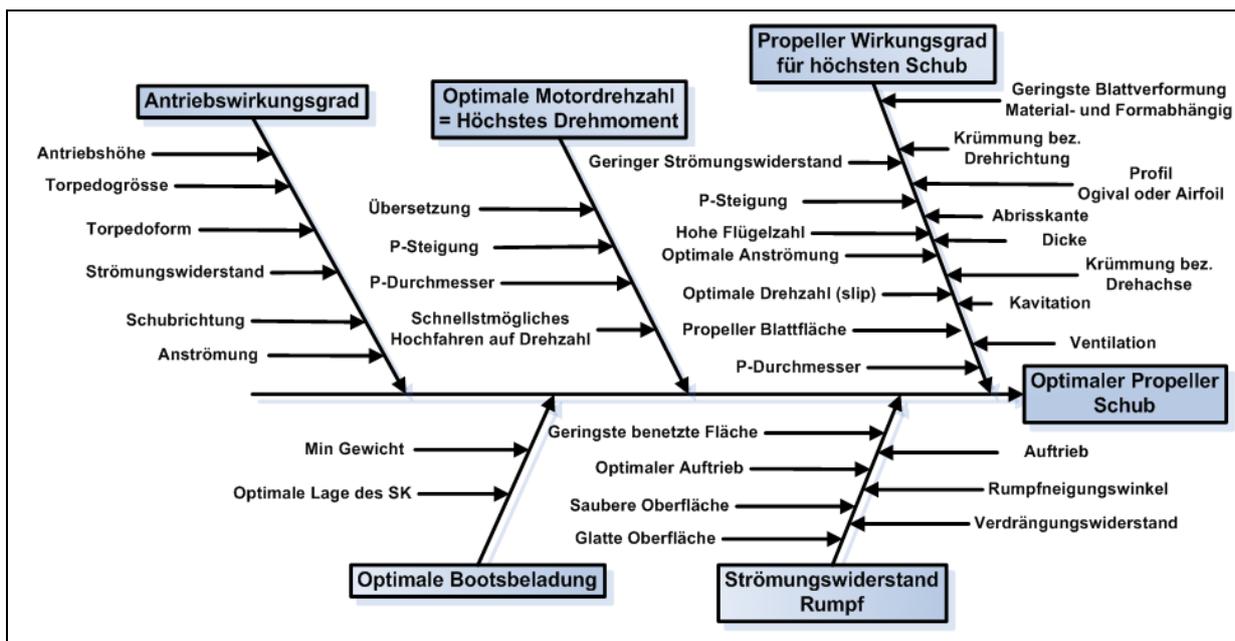


Abbildung 2-20: Parameter für die Ermittlung des Propeller-Schubes

Bei der Wahl des Propellers müssen eine Vielzahl von Einflussfaktoren berücksichtigt werden, die sich sowohl positiv als auch negativ auswirken können, so dass es fast immer zu Kompromisslösungen kommt, um den höchstmöglichen Propeller-Wirkungsgrad zu erreichen. So ist z. B. der theoretische Propeller-Wirkungsgrad bei einem 2-Blatt Propeller höher als bei einem 3-, 4- oder gar 5-Blatt Propeller. Dafür ist aber wegen der erhöhten Vibrationsneigung die Belastung der Getriebeteile und die Geräuschentwicklung bei einem 2-Blatt Propeller wesentlich höher, weshalb die 2-Blatt Propeller kaum noch eingesetzt werden.

Die Propeller-Steigung bestimmt, ähnlich der Gewindesteigung einer Schraube, den Grad der Vorwärtsbewegung im Wasser. Allerdings gilt dies nur für einen beschränkten Drehzahlbereich, in dem der Propeller unter optimalen Strömungsbedingungen läuft. Dies bedeutet, er kann kavitationsfrei drehen (keine Dampfblasenbildung an der vorderen Flügelkante), zieht keine Luft von der Wasseroberfläche (Ventilation) an und wird optimal angeströmt (abhängig von Propeller-Eintauchtiefe, Rumpfgeometrie und Rumpfanbauteilen). Da die Flügelform nicht verändert werden kann, läuft der Propeller deshalb nur in einem bestimmten Drehzahlbereich mit einem optimalen Wirkungsgrad.

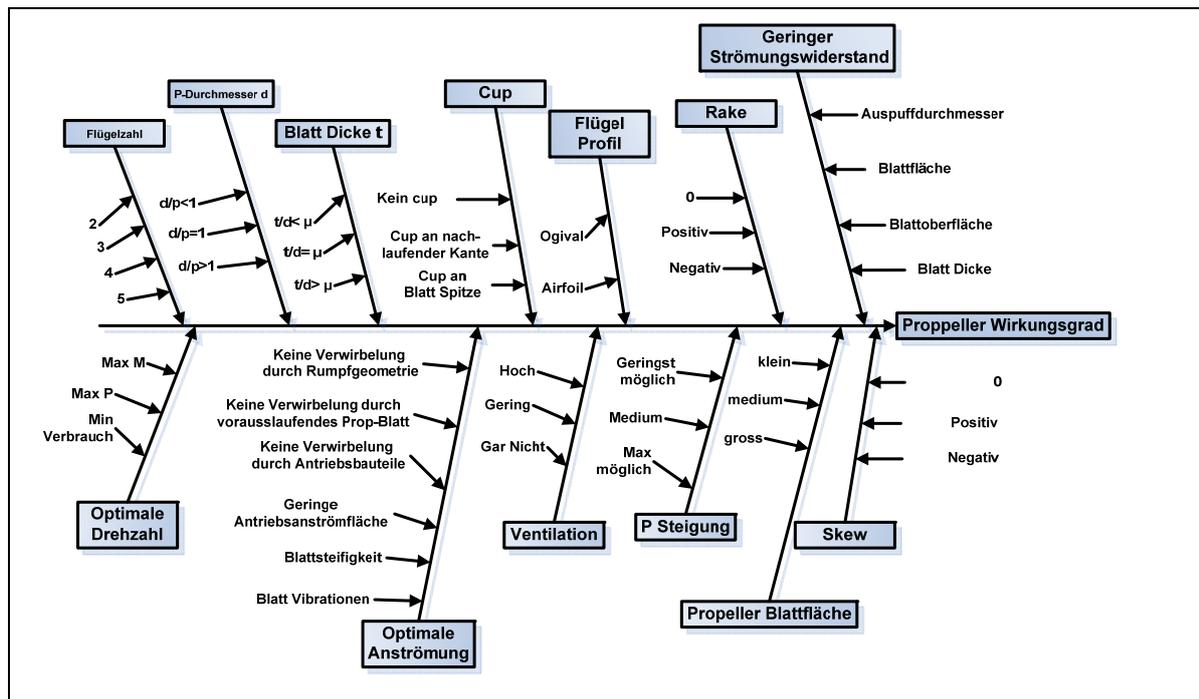


Abbildung 2-21: Parameter für die Ermittlung des Propeller-Wirkungsgrades

Die Propeller-Drehzahl ist wiederum abhängig von der vorhandenen Motorleistung und der Getriebeübersetzung, dem Propellerdurchmesser, der vorwärts zu schiebenden Last sowie den verschiedenen Einflüssen durch die Rumpfgeometrie und die vorhandenen Gewichte.

Da das Angebot an Propellern derart vielfältig ist, muss sich der Konstrukteur für die Propellerwahl neben seiner Erfahrung auch auf die Datenblätter der auf dem Markt angebotenen Propeller stützen. Hierbei muss er immer die aktuellen Werte zur Verfügung haben, da die Propellerentwicklung einer ständigen wissenschaftlichen Weiterentwicklung unterzogen ist. Sehr deutlich zeigt dies die **Abbildung 2-21**, in welcher die einzelnen Kriterien mit ihren beeinflussenden Parametern auf den Propeller-Wirkungsgrad wiedergegeben sind.

Ein Propeller überträgt das Motor-Drehmoment in das Wasser und erzeugt dabei gleichzeitig einen Schub. Für einen optimalen Schub muss ein Propeller genau ausgelegt werden. Jede Form der Propeller-Berechnung während der konstruktiven Gestaltung stellt lediglich einen Richtwert dar, da sich die hydrodynamischen Einflüsse schon allein durch die anderen vorbeifahrenden Wasserfahrzeuge jeweils erheblich ändern. Aus den Daten für die jeweils ausgewählten Parameter (vgl. **Abbildung 2-21**) lassen sich mit Hilfe einer Reihe von Formeln und Tabellen die folgenden Propellereigenschaften bestimmen, welche die Propellerauswahl für den Konstrukteur erleichtern:

- **Steigung:** Geschwindigkeit und Schubleistung über den Drehzahlbereich.
- **Durchmesser:** Je größer, desto mehr Schubleistung im unteren Drehzahlbereich, aber geringere Endgeschwindigkeit bei maximaler Drehzahl.
- **Flügelzahl:** 4 und 5 wenig Vibration, hohe Schubkraft bei niedrigen Drehzahlen. 3 und 2 hohe Vibration, geringe Schubkraft bei niedrigen Drehzahlen, aber höhere Endgeschwindigkeit.
- **Material:** **Aluminium** ist sehr preisgünstig, verbiegt sich bei einer Grundberührung eher als Stahl. Die Flügel müssen dicker ausgelegt werden, um ein Verbiegen bei maximalem Drehmoment zu verhindern (Bruch, Vibrationen und Wirkungsgradverluste).
Stahl ist teuer, insbesondere rostfreier Stahl. Die hohe Materialsteifigkeit erlaubt eine sehr dünne Flügelkonstruktion bei einem besseren Wirkungsgrad. Eine geringe Gefahr des Bruchs bei Grundberührung, aber dafür eine höhere Gefahr für eine Getriebebeschädigung.

2.4 Stabilität eines MSB

Als **Stabilität** wird die Eigenschaft eines Bootes bezeichnet, bei jedem Wind und Wetter aufrecht schwimmend zu bleiben. Besonders bei seitwärts ankommenden Wellen, soll das Boot nicht umkippen. Hierbei wird unterschieden zwischen statischer und dynamischer Stabilität. Die statische Stabilität ist die Eigenschaft eines Bootes, wenn dieses trotz angreifender Kräfte im Ruhezustand aufrecht schwimmt. Eine dynamische Stabilität bedeutet, dass ein durch äußere Kräfte belastetes Boot aus der Gleichgewichtslage geraten ist und anschließend wieder zurück in seine Gleichgewichtslage schwingt.

Statische Stabilität

Der physikalische Hintergrund für die Stabilität von Verdränger-Booten stellt sich nach [20] wie folgt dar. Bei einem Rumpf in der Gleichgewichtslage liegen der Verdrängungsschwerpunkt, der Rumpfschwerpunkt und das Metazentrum auf einer gemeinsamen vertikalen Linie (vgl. **Abbildung 2-22**) [4], [6].

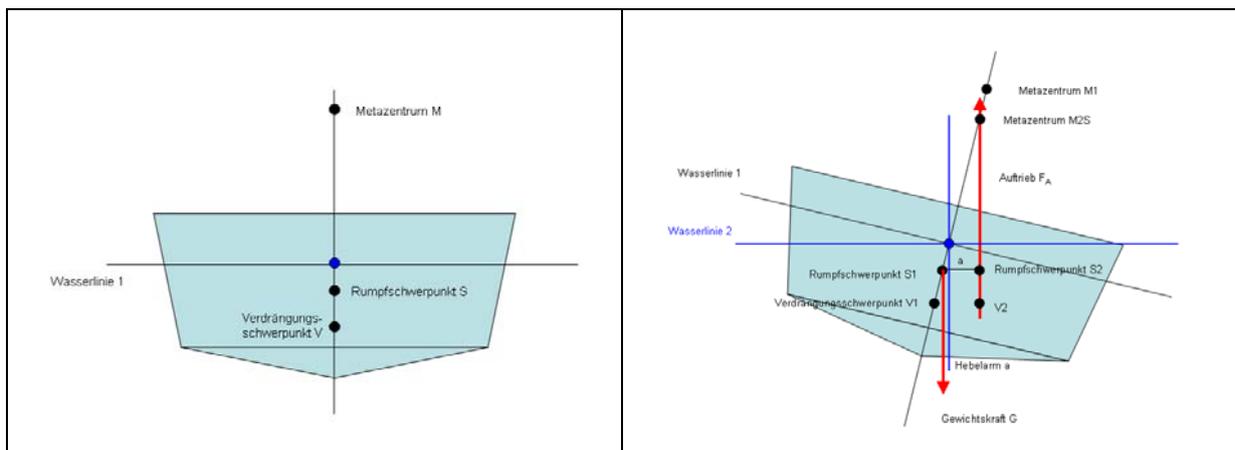


Abbildung 2-22: Gleichgewichtslage und ausgelenkte Lage bei Verdrängern

Sobald der Rumpf aus seiner Gleichgewichtslage herausgedreht wird (Wind, Welle, einseitige Beladung) wird sich der Verdrängungsschwerpunkt auf Grund der neuen Eintauchlage des Rumpfes seitlich verschieben (es ist auch eine vertikale Verschiebung auf Grund der sich verändernden Rumpfgeometrie möglich). Der daraus entstehende Hebelarm „ a “ zwischen dem Rumpfschwerpunkt „ S “ und dem neuen Verdrängungsschwerpunkt „ $V2$ “ bewirkt ein Wiederaufrichten des Rumpfes. Der Abstand „ a “ ermöglicht die Berechnung des Abstandes „ h_m “ zwischen dem Rumpfschwerpunkt „ S “ und dem Metazentrum „ M “. Für den Fall das „ h_m “ negativ wird, gerät der Rumpf in eine instabile Lage und das Schiff kentert.

Die Stabilität in Längsrichtung eines Bootes zeigen die Darstellungen in der **Abbildung 2-23** [21], sowohl in der Ruhelage (Fall **a**) als auch bei einer äußeren Belastung (Fall **b**). Da ein Verdränger-Rumpf nicht für eine Gleitfahrt ausgelegt ist, wird seine Form in erster Linie zur optimalen Gestaltung des Rumpffinnenraums (Platz, Komfort, Zusatzaggregate, etc.) und für eine stabile, sichere Lage bei Seegang ausgelegt. Dies führt meistens zu einer etwas „bauchigen“ Rumpfform in der Längsrichtung des Bootes. Hierbei wird die Rumpfunterseite vom Bug her beginnend nicht gerade zum Heck verlaufend konstruiert, sondern mit einem Winkel φ von $2^\circ - 7^\circ$ versehen, der nach oben ausläuft (vgl. **Abbildung 2-3**, Fall a). Der Winkel φ erlaubt auch ein einfaches Verlegen der Propellerwelle unter dem Rumpf, da der Winkel der Propellerwelle kleiner gehalten oder ein größerer Propellerdurchmesser gewählt werden kann.

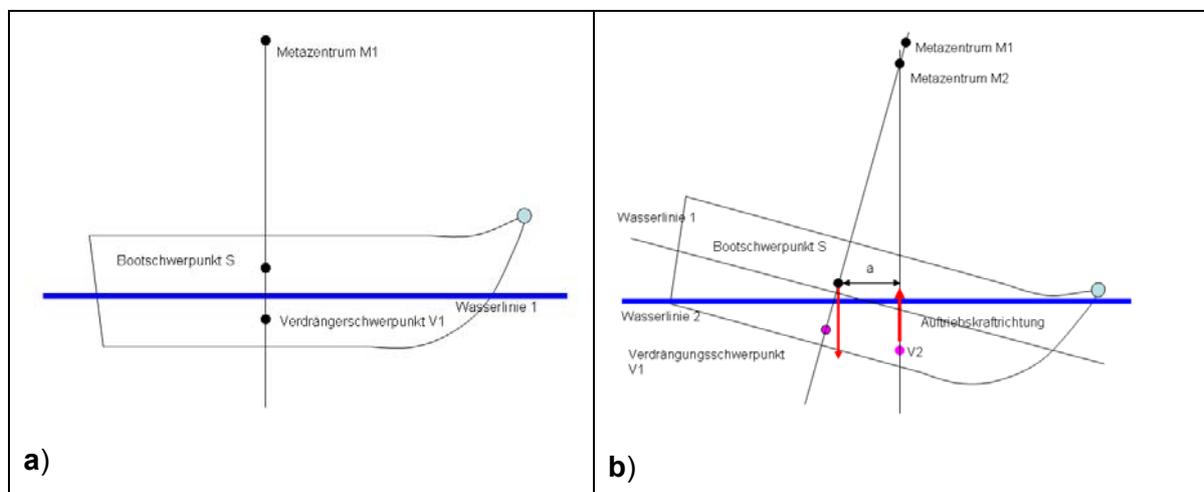


Abbildung 2-23: Stabilität in Längsrichtung eines Bootes

Darüber hinaus erlaubt ein Propeller- und Wellenschutz ein Aufsetzen des gesamten Rumpfes. Diese Rumpfkonstruktion ist besonders beliebt bei Motorsportbooten, welche in Gebieten mit starker Ebbe und Flut genutzt werden. Bei Ebbe wird das Boot auf den Grund gesetzt oder es wird zur Seite gekippt, ohne dass der Propeller beschädigt wird.

Dynamische Stabilität

Bei der dynamischen Stabilität spielen zwei Faktoren (vgl. **Abbildung 2-24**) eine Rolle

1. Die Zentrifugalkräfte, welche vor allem bei einem Richtungswechsel bei hoher Geschwindigkeit eines MSB entstehen und

2. Unterdruckkräfte, welche durch die konvexe Rumpfform in der Rumpflängsrichtung auftreten.

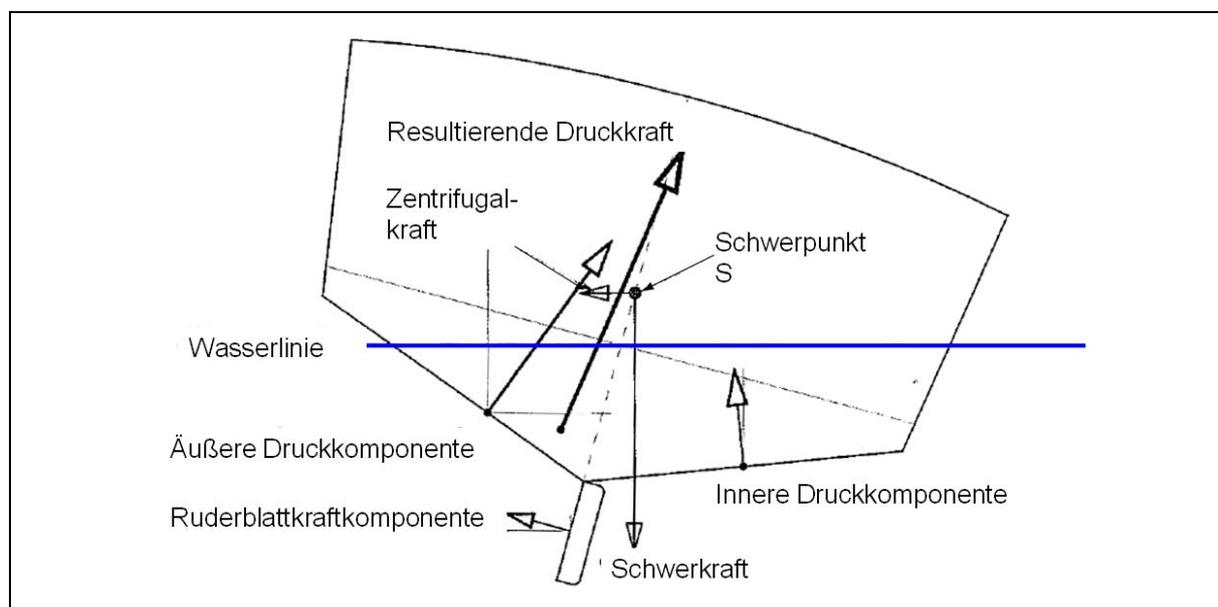


Abbildung 2-24: Dynamische Stabilität [21]

Wenn zunächst nur einem Ruderblatt ein Anstellwinkel aufgeschlagen wird, wird das heranströmende Wasser abgelenkt. Dadurch entsteht eine Druckkraftkomponente auf dem Ruderblatt, welche eine Seitenkraft verursacht. Da das Ruderblatt am Heck angeordnet ist, erfolgt ein Drehmoment um den Schwerpunkt des Bootes, welches das Boot um seine Hochachse (Z-Achse) herumschwenken lässt. Nun steht der Rumpf selber mit einem sich vergrößernden Anstellwinkel in der Strömung, was dazu führt, dass nun eine weitere Seitenkraft am Rumpf aufgebaut wird. Dieses ebenfalls am Schwerpunkt angreifende Drehmoment um die Bootshochachse wirkt entgegen dem Ruderblattdrehmoment. Sobald die beiden entgegengesetzt gerichteten Drehmomente den gleichen Wert erreicht haben, stellt sich eine Rotationsbewegung des Bootes ein und das Boot fährt mit einem konstanten Kurvenradius.

Wenn eine Seitenkraft an dem Ruderblatt angreift, entsteht ein Drehmoment um die Längsachse (Rollachse) eines Bootes, wodurch das Boot mit einem Rollwinkel beaufschlagt wird. Zusätzlich wirkt nun die Zentrifugalkraft im Schwerpunkt des Bootes, welches das Boot nach außen zieht. Die Zentrifugalkraft nimmt bei konstanter Geschwindigkeit mit kleiner werdendem Kurvenradius zu. Am Rumpf baut sich auf der kurvenäußeren Seite eine größere Druckkomponente senkrecht zum Rumpfboden auf, als in der kurveninneren Seite. Diese Druckkomponente lässt sich in eine horizontale und eine vertikale Komponente aufteilen.

Wie die **Abbildung 2-24** zeigt, hängt der Rollwinkel des Bootes sehr stark von dem Rumpfwinkel „ β “ sowie von der Lage des Schwerpunktes des Bootes ab. Das heißt, mit steigender Aufkimmung nimmt der Rollwinkel zu, da sich eine größere äußere Druckkomponente aufbaut. Bei einem flachen Gleiter-Rumpf hingegen hat die Zentrifugalkraft nur einen geringen Einfluss. Anders bei einem hoch gebauten Verdränger-Rumpf mit geringem Rumpfwinkel „ β “ am Heck. Hier zieht die Zentrifugalkraft den Schwerpunkt nach außen. Gleichzeitig wird nur eine kleine äußere Druckkomponente aufgebaut. Bei diesen Booten wird der Rumpf ähnlich wie bei einem Doppeldeckerbus in der Kurve nach außen hin rollen.

Für eine erste überschlägige Berechnung der möglichen Geschwindigkeit v [kn] eines derartigen Bootes benutzen die Konstrukteure die Crouch's Gleiter-Rumpf-Formel [7]:

$v = \frac{C}{\sqrt{\left(\frac{LB}{SHP}\right)}} = \frac{C * 1.16}{\sqrt{\left(\frac{m * 2.2046}{P}\right)}}$	Gl. 3.17
--	----------

Mit den Werten:

- C = Rumpfkongstante entsprechend dem Rumpftyp (vgl. **Abbildung 2-25**)
- LB = Verdrängung [Pfund]
- M = Verdrängung [Kg]
- SHP = Propellerleistung [PS]
- P = Propellerleistung [KW]

C	Boots- bzw. Rumpftyp
150	Gewöhnliches Sportboot, Cruiser
190	Schnelle Sportboote und Cruiser
210	Rennboote
220	3-Punkt- und Stufenrumpf-Hydroboote
230	Renn-Katamaran

Abbildung 2-25: Rumpfkongstante C für einige Bootstypen

In der Gleichung 3.17 wird nur eine effektive Propellerleistung von ca. 55 % - 60 % angenommen, damit noch ausreichend Leistung für eine zusätzliche Beladung, eine Rumpfverschmutzung sowie einen weiteren Geschwindigkeitszuwachs gegeben ist.

2.5 Kräfte an einem Gleiter-Rumpf

Mit Hilfe der Darstellungen in der **Abbildung 2-26** lassen sich nun die Kräfte und Momente an einem Boot mit Gleiter-Rumpf berechnen [9].

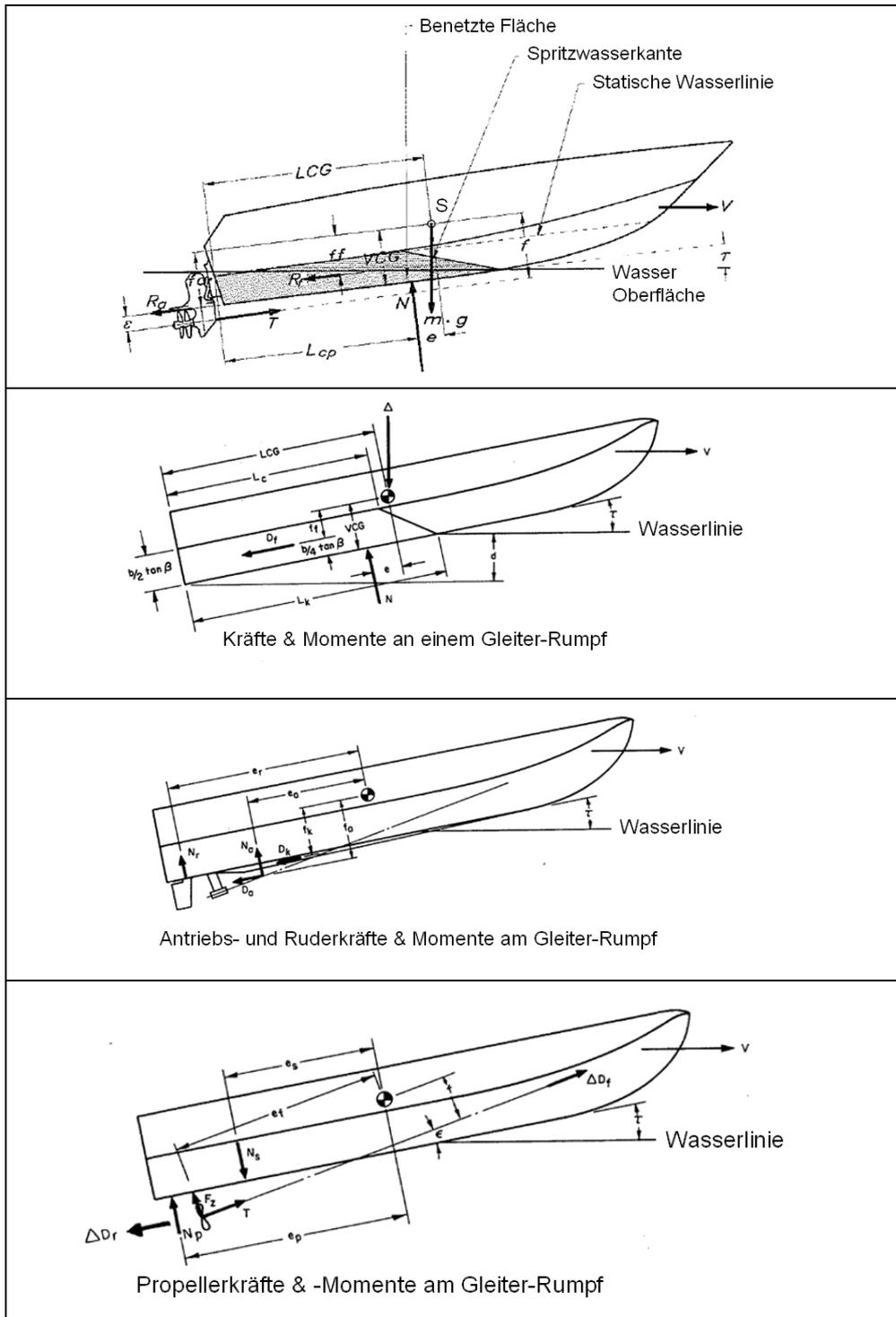


Abbildung 2-26: Kräfte und Momente an einem Boot mit Gleiter-Rumpf

Kräfte und Beziehungen:

- **N** entspricht der resultierenden Druckkraft aus der hydrostatischen und der hydrodynamischen Kraftkomponente im Staupunkt (vgl. Abbildung 2-9).
- **R_f** = Rumpfreibungskomponente
- **T** = Propellerschubvektor
- **R_a** = Antriebsströmungswiderstand (Schaft, Finne, Getriebegehäuse)
- **S** = Schwerpunkt des Bootes
- **e** = Hebelarm Druckkraft im Staupunkt zum Schwerpunkt **S**
- **ff** = Hebelarm Rumpfreibungswiderstand zum Schwerpunkt **S**
- **fa** = Hebelarm Antriebsströmungswiderstand zum Schwerpunkt **S**
- **ε** = Winkel des Propellerschubvektors mit Rumpfküellinie
- **τ** = Neigungswinkel Rumpflängsachse zur Wasseroberfläche
- **m*g** = Bootsgewicht, Masse **m** [kg] des Bootes mal Erdbeschleunigung **g** [m/s²]
- **LCG** = Abstand Schwerpunkt zur Strömungsabrisskante an der Spiegelplatte
- **L_{cp}** = Abstand Staupunkt bzw. Druckmittelpunkt am Rumpfboden zur Wasserabrisskante an der Spiegelplatte
- **V** = Fahrgeschwindigkeit über Wasser

Die Rumpfreibungskomponente „**R_f**“ bewirkt über den Hebelarm „**ff**“ ein Drehmoment um den Schwerpunkt „**S**“, welches den Bug während der Gleitfahrt nach unten drückt. In die gleiche Richtung wirkt das durch „**R_a**“ erzeugte Drehmoment um den Schwerpunkt mit dem Hebelarm „**fa**“. Ebenso bewirkt die vertikale Druckkomponente „**N**“ am Rumpfboden, mit dem Hebelarm „**e**“ ein Absinken des Bugs. Gegen diese 3 Bug senkenden Drehmomente wirkt der Propellerschubvektor „**T**“ mit dem Hebelarm „**f**“. In der Gleitfahrt heben sich diese 4 Drehmomente auf und das Boot nimmt einen stabilen Neigungswinkel ein.

Die Abbildung 2-26 zeigt, dass der Abstand „**e**“, der Druckkraftvektor „**N**“ am Rumpfboden und die benetzte Fläche vom Neigungswinkel „**τ**“ abhängt. Eine Vielzahl von Versuchen [6, 7, 8, 31] sowie auch vom Autor dieser Arbeit durchgeführte Versuche haben ergeben, dass der optimale Neigungswinkel „**τ**“ in der Gleitfahrt bei 3,75° - 4,25° liegt. Der Angriffspunkt der hydrodynamischen Kraftkomponente „**N**“ spielt bei Gleitbooten eine besondere Rolle. Um mit einem Boot möglichst schnell die Gleitfahrt zu erreichen, wird oft mit variablen Gewichten im Bug gearbeitet. So werden z.B. im Bug untergebrachte Wassertanks vor Beginn der Fahrt aufgetankt. Bei der Beschleunigungsphase bewirkt dieses Zusatzgewicht eine Verlagerung des Schwerpunktes „**S**“ nach vorn.

In diesem Augenblick befindet sich der Rumpf noch in der Verdrängungsphase und mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt die Höhe der Bugwelle zu, auf die der Rumpf versucht, auf- bzw. überzulaufen. Die hydrodynamische Kraftkomponente greift in dieser Situation **vor** dem Bootschwerpunkt an. Der Bug wird angehoben und das Heck heruntergedrückt. Mit zunehmendem Propellerschub rückt die ansteigende Kraftkomponente „**N**“ weiter in Richtung Bootschwerpunkt. Bei einer ausreichenden Motorleistung erfolgt nun ein Strömungsabriss und das Boot erreicht in diesem Augenblick den Zustand eines Halbgleiters. Die angreifenden Strömungswiderstände nehmen ab und der Rumpf kann weiter auf seine Bugwelle hinauffahren. In dieser Phase wird oft durch zusätzliche Gewichte im Bug (Wassertank) der Übergang in die Gleitfahrt vereinfacht. Dadurch rückt der Schwerpunkt deutlich nach vorn und die hydrodynamische Kraftkomponente „**N**“ gerät hinter den Schwerpunkt, wodurch ein Bug senkendes Moment aufgebaut wird. Durch das Gewicht im Bug nimmt der Neigungswinkel drastisch ab und der Propellerschubvektor wirkt nahezu parallel zur Fahrtrichtung, es erfolgt der Übergang in die Gleitphase.

Wird nun bei einem Boot, welches im Bereich des optimalen Neigungswinkels läuft, ein Bug senkendes Moment erzeugt (z.B. Gewicht im Bug), so reduziert sich der hydrodynamische Druck „**N**“, aber gleichzeitig vergrößert sich die benetzte Rumpffläche. Beide Effekte können zur Folge haben, dass der Rumpf erheblich absinkt und der Rumpf von dem Gleitzustand zurück in den Halbgleiter- oder gar in den Verdränger-Zustand gelangt und dann die statische höher als hydrodynamische Auftriebskraft ist. Liegt bei einer Gleitfahrt der Schwerpunkt „**S**“ zu weit hinten, steigt der Neigungswinkel auf Grund der Summe der angreifenden Momente noch an. Der Rumpfströmungswiderstand nimmt ab, aber der hydrodynamische Kraftanteil nimmt zu. Daraus folgt, dass der Rumpf zwar noch weiter aus dem Wasser steigt (Höchstgeschwindigkeit), aber gleichzeitig auch der Punkt einer Instabilität erreicht wird. Der zunehmende hydrodynamische Kraftvektor bewirkt ein Absinken des Bugs und dadurch reduziert sich „**N**“ und in der Folge steigt der Bug wieder an. Dieser Prozess wiederholt sich immer wieder und es kommt zum so genannten „*Bugwippen*“. Dieses Bugwippen kann je nach der vorliegenden Bootskonstellation (Leistung, Schwerpunktlage, Propellerschubwinkel) extreme Winkel erreichen, die das Fahren nahezu unmöglich machen. Hierbei haben insbesondere die Strömungswiderstände der Antriebe bzw. Propeller- und Ruderanlagen einen erheblichen Einfluss auf das Bugwippen [14], [21], [22].

Berechnungsgrundlagen der Strömungswiderstände

Nachfolgend werden nun Berechnungsgrundlagen für die Strömungswiderstände für die Antriebs- und der Propeller- und Ruderanlagen erarbeitet [12], [21], [22].

- R_r = Strömungswiderstand der Ruder und/oder Ruderhalter [N]
 S_r = Benetzte Fläche [m²]
 C_{Fr} = Grenzschichtreibungswiderstand
 t/c = Dicken zu Ruderblattsehnen, Verhältnis des Ruderblattes bzw. der Antriebsfinne und des Schaftes
 R_{sh} = Propellerwellenwiderstand [N]
 l = Propellerwellenlänge
 d = Wellendurchmesser [m]
 ε = Propellerwellenwinkel relativ zur Anströmungsrichtung [°]
 bzw. Winkel des Propellerschubvektors mit Rumpfküellinie
 C_{Fsh} = Grenzschichtreibungswiderstand als Funktion der Propellerwellenlänge

$R_r = 0.5 * \rho * v^2 * S_r * C_{Fr} * \left[1 + 2 * \frac{t}{c} + 60 * \left(\frac{t}{c} \right)^4 \right]$	Gl. 3.18
$R_{Fsh} = 0.5 * \rho * v^2 * l * d * (1.1 * \sin^3 \varepsilon + \pi * C_{Fsh})$	Gl. 3.19

Berechnung der Momente, Neigungswinkel und Widerstände

- M_h = Drehmoment auf Grund des Rumpfgewichts als Funktion des Staupunktes
 M_{Da} = Drehmoment durch Antriebströmungswiderstände
 M_{Dw} = Drehmoment auf Grund der angreifenden Luftwiderstände am Rumpf und Deck
 M_{Df} = Drehmoment durch den an der Küellinie angreifenden Strömungswiderstand
 M_{Fz} = durch Propellerschub erzeugtes Drehmoment
 M_{Ns} = durch Propellerunterdruck erzeugtes Drehmoment, senkrecht zum Rumpfboden wirkende Komponente
 M_{Na} = Drehmoment auf Grund der Auftriebwirkung der Antriebskomponenten
 $M_{\Delta Dr}$ = Drehmoment am Antrieb auf Grund eines erhöhten Strömungswiderstandes an Antriebsfinne durch Propellerunterdruck
 p = Anzahl der Propeller

$M_h = \left[\frac{e * \cos(\tau + \varepsilon)}{\cos \varepsilon} - \frac{f * \sin \tau}{\cos \varepsilon} \right]$	Gl. 3.20
---	----------

$M_{Da} = p * D_a \left[f_a - e * \tan \varepsilon - \frac{f}{\cos \varepsilon} \right]$	Gl. 3.21
$M_{Df} = D_f \left[f_f - e * \tan \varepsilon - \frac{f}{\cos \varepsilon} \right]$	Gl. 3.22
$M_{Dw} = D_w \left[f_w + \frac{e * \sin(\tau + \varepsilon)}{\cos \varepsilon} + \frac{f * \cos \tau}{\cos \varepsilon} \right]$	Gl. 3.23
$M_{Fz} = p * F_z \left[e_f - \frac{e}{\cos \varepsilon} - \frac{f * \sin \varepsilon}{\cos \varepsilon} \right]$	Gl. 3.24
$M_{Ns} = p * N_s (e - e_s) + p * N_p (e_p - e)$	Gl. 3.25
$M_{Na} = p * N_a (e_a - e) + r * N_r (e_r - e)$	Gl. 3.26
$M_{\Delta Dr} = p * \Delta D_r \left[f_{ar} - e * \tan \varepsilon - \frac{f}{\cos \varepsilon} \right]$	Gl. 3.27
$\sum M = 0 = M_h + M_{Da} + M_{Df} - M_{Dw} - M_{Fz} - M_{Ns} + M_{Na} + M_{\Delta Dr}$	Gl. 3.28

Berechnung der Bugsenkenden Momente M_{Bs}

Durch eine lineare Interpolation zwischen zwei berechneten Momenten „ $M1_{Bs}$ “ und „ $M2_{Bs}$ “ unter der Verwendung von zwei angenommenen Neigungswinkeln „ $\tau_1 + \tau_2$ “, wird „ τ_0 “ im Zustand des Gleichgewichts berechnet. Durch eine lineare Interpolation zwischen zwei der berechneten Reibungswiderstandswerte „ R_{f1} “ und „ R_{f2} “ wird der zu „ τ_0 “ zugehörige Wert „ R_{f0} “ berechnet. Damit kann anschließend der Gesamtwiderstand „ R_{Total} “ berechnet werden.

$M_{Bs} = M_h + M_{Df} + M_{Da}$	Gl. 3.29
$\tau_0 = \tau_1 - \frac{M_1 * (\tau_2 - \tau_1)}{M_2 - M_1}$	Gl. 3.30
$R_{f0} = R_{f1} + \frac{R_{f2} - R_{f1}}{\tau_2 - \tau_1} * (\tau_0 - \tau_1)$	Gl. 3.31
$R_{Total} = \left[g * m * \sin \tau_0 + R_f \right] * \frac{\cos(\tau_0 + \varepsilon)}{\cos \varepsilon}$	Gl. 3.32

Berechnung der effektiven Leistung P_E

Die effektive Leistung „ P_E “ ist die aufgebrachte Leistung für eine Gleitfahrt. Zur Berechnung der notwendigen Motorleistung „ P_D “ muss noch der Propellerwirkungsgrad, der Getriebewirkungsgrad und weiterhin noch die zusätzlichen Reibungswiderstände auf Grund der zu erwartenden Rumpfaußenhautverschmutzung berücksichtigt werden.

$$P_E = v * R_{Total} \text{ [W]}$$

Gl. 3.33

Berechnung eines Propellers

Propellerberechnungen werden eigentlich erst bei größeren Booten ab 45 Fuß bzw. ab einem Gewicht von 10 t durchgeführt, da für diese Bootsgrößen die Versuchsfahrten sehr aufwendig sind. Für jede neue Testfahrt muss das Boot aus dem Wasser gehoben und auf ein Gestell gesetzt werden, welches das Boot sicher halten muss. Dann müssen die jeweils sehr teuren Propeller gewechselt werden, um anschließend das Boot zur Fortsetzung des Leistungsversuches wieder ins Wasser zu setzen. Da sich aber viele Bootswerften aus Kostengründen gar nicht in der Nähe eines geeigneten Sees oder am Meer befinden, muss dafür immer ein teurer Schwertransport beauftragt werden. In diesem Zusammenhang kommt noch das steigende Risiko von möglichen Beschädigungen an dem Boot hinzu.

Für Gleiter-Rümpfe wird zunächst auf Grund der vorher durchgeführten Rumpfberechnungen die **notwendige Motorleistung P_D** ermittelt [14]. Diese sollte die kleinste notwendige Motorleistung für das Erreichen der Gleitfahrt bei Beladung beinhalten, damit der Bootsbauer den Einstiegspreis für das Boot so klein wie möglich halten kann. Dem gegenüber wird die maximal zulässige Motorleistung aus den vorgegebenen Festigkeitswerten des verantwortlichen Bootkonstruktors und einigen fahrdynamischen Versuchsergebnissen bestimmt. Die Festigkeitswerte basieren auf dem Aufbau des Rumpfes und des Versteifungsrahmens; wobei hier die Wandstärken, das Material und die Materialverarbeitung sowie die Querschnitte der Versteifungskomponenten in den Festigkeits-Berechnungen berücksichtigt werden müssen. Die größten Belastungen der Rumpfstruktur entstehen bei schnellen Kurvenfahrten und durch Wellensprünge, deshalb wird zur Sicherheit der späteren Nutzer eines MSB in Abhängigkeit der Festigkeitsberechnungen und der Versuchsfahrten oft eine maximale Höchstgeschwindigkeit für das jeweilige Bootmodell vorgegeben. Bei bestimmten MSB können dies z. B. 40 Knoten sein.

3 IST-Analyse des PEP im MSBB

Der **Produktentstehungsprozess (PEP)**, von der Produktidee über die Herstellung und Anwendung bis hin zu der Entsorgung eines Produktes, beinhaltet eine ganze Reihe von Geschäftsprozessen, deren Zusammenhänge sich sehr anschaulich mit Hilfe einer Wertschöpfungskette darstellen lassen.

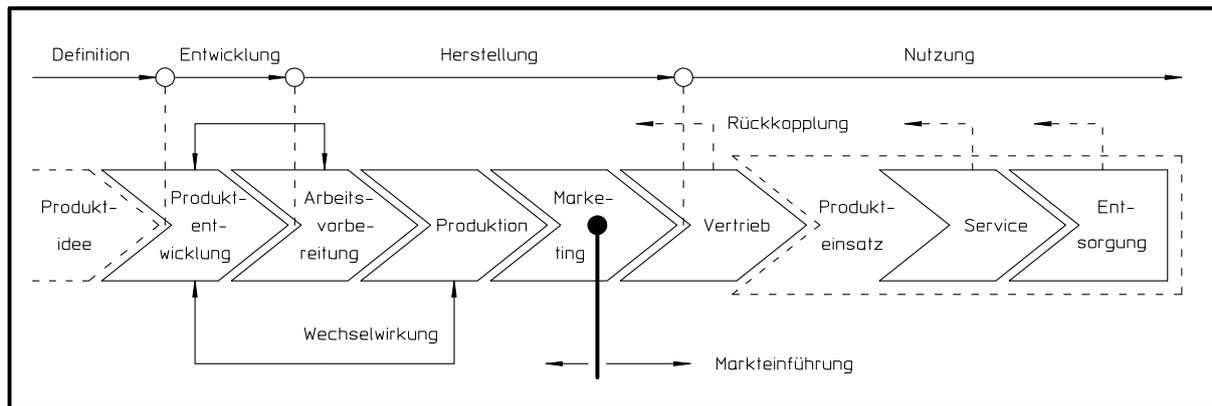


Abbildung 3-1: Wertschöpfungskette in Anlehnung an ([2], [23])

Die Darstellung einer marktorientierten Produktentwicklung [23] gemäß der **Abbildung 3-1** zeigt beispielhaft die wichtigsten Geschäftsprozesse sowie deren Wechselwirkungen untereinander und die möglichen Rückkopplungen zu den bereits bearbeiteten Prozessen, in dem ein erzieltetes Teilergebnis eines Prozesses sich sowohl positiv als auch negativ auf andere Prozesse innerhalb der Wertschöpfungskette auswirken kann und somit eine Überarbeitung des jeweils betroffenen Prozesses erfordert.

Mit jeder dieser Wechselwirkungen oder Rückkopplungen sind Iterationsschleifen zwischen den einzelnen Prozessen verbunden, welche häufig erhebliche Zeitverzögerungen in der Produktentstehung und darüber hinaus auch noch zusätzliche Kosten verursachen, die letztendlich das Produkt teurer werden lassen. Des Weiteren kann der ursprünglich angestrebte Markteintritt nicht gehalten werden, was sich zusätzlich auf die einmal erreichten Marktanteile negativ auswirken kann. Deshalb ist der Gesamtprozess der Produktentstehung so zu gestalten, dass jederzeit eine frühzeitige Abstimmung zwischen allen Prozessbeteiligten gegeben ist, damit jeder einzelne Prozessschritt den jeweils nachfolgenden Prozessschritt im Blick hat und auch umgekehrt. Eine derartige Arbeitsweise verlangt allerdings eine breit angelegte Kommunikationsmöglichkeit, die den Beteiligten auch den

jederzeitigen Zugriff auf alle aktuellen Daten und Informationen während des Produktentstehungsprozesses gestattet.

Diese Forderungen gelten in hohem Maße für den Produktentwicklungsprozess, denn nur wenn das hergestellte Produkt den Bedürfnissen des Marktes entspricht, ist der Erfolg eines Unternehmens gewährleistet. Dies kann aber nur erreicht werden, wenn alle in einem Unternehmen vorhandenen Kompetenzen einschließlich der verfügbaren Informationstechnologie auch tatsächlich genutzt werden. Dies verlangt nach einer gut angelegten Organisation in dem gesamten Unternehmen, die alle Prozesse der Wertschöpfungskette mit einbezieht. Dadurch wird einerseits das Marktpotential ausgeschöpft und andererseits wird der Marktanteil verbessert und die Wettbewerbsposition erheblich gestärkt. Letzteres ist aber nur gewährleistet, wenn der Markteintritt eines neuen Produktes möglichst früh vollzogen wird. Jede Verzögerung, egal aus welchem Grund, stärkt nicht das eigene Unternehmen sondern den Wettbewerb. Deshalb muss in dem neuen Konzept dem Geschäftsprozess des Marketings ein entsprechender Stellenwert eingeräumt werden.

Eine Verzahnung der einzelnen Geschäftsprozesse und ein aktueller Zugriff auf die notwendigen Informationen gestaltet sich in den heutigen Unternehmensstrukturen sehr schwierig, zumal die Unternehmen wegen der weltweiten Globalisierung in hohem Maße wachstumsorientiert agieren. Zur Sicherung ihrer Marktpositionen verstärken und erweitern die Unternehmen ihr Produktportfolio durch Zukauf weiterer Unternehmen oder Unternehmensteile. Diese neuen Bereiche werden aber nicht immer vollständig integriert sondern häufig auch als selbständige Tochter-Unternehmen an das Mutter-Unternehmen angebunden, wodurch an die Kommunikation dieser Unternehmen erhöhte Anforderungen gestellt werden. Die Anforderungen werden noch erheblich verstärkt, wenn die jeweils eingesetzte Informationstechnologie und historisch bedingt, die der Nutzung zugrunde liegende Infrastruktur, ganz verschieden sind, so dass eine gesicherte Kommunikation kaum möglich ist. Ebenso müssen sehr häufig die unterschiedlichen Organisationsformen zunächst aufeinander abgestimmt werden, mit der manchmal in dem neu hinzugekommenen Unternehmen auch nicht gewünschte Personalentscheidungen einhergehen, die nicht immer auf Verständnis bei den neuen Mitarbeitern hervorrufen.

In welcher Form die angesprochenen Kriterien des Produktentstehungsprozesses innerhalb verteilter Unternehmensstrukturen berücksichtigt werden, soll die nachfolgende IST-Analyse am Beispiel des Sportbootbaus zeigen. Prinzipiell kann jede andere Branche in der gleichen Weise analysiert werden, wenn die jeweils herzustellenden Produkte an verteilten und insbesondere auch noch länderübergreifenden Standorten entstehen. Es macht aber wenig

Sinn die IST-Situation im Sportbootbau allgemein zu analysieren. Um die tatsächlichen Defizite aufzuspüren, ist es sehr hilfreich, wenn diesbezüglich auf die Vorgehensweisen von konkreten Unternehmen Bezug genommen werden kann. Der Autor ist seit einigen Jahren in dieser Branche tätig und verfügt berufsbedingt über die notwendigen Erfahrungen, um eine allgemein gültige IST-Situation darzustellen. Da keines der Unternehmen bereit ist, seine Defizite zu veröffentlichen, wird für eine IST-Analyse eine fiktive Unternehmens-Gruppe für den Bereich des Motor-Sportbootbaus definiert, dessen Organisation und Arbeitsweise der Realität entspricht. Dieses Beispiel-Unternehmen erhält in Anlehnung an die zu analysierende Branche im Rahmen dieser Arbeit den Namen **MSB-BAU (Motor-Sport-Boot-Bau)** und soll als Konzern weltweit agieren und sowohl über mehrere Tochter-Unternehmen als auch über entsprechende Kooperationen mit anderen Unternehmen verfügen und diese auch tatsächlich nutzen.

3.1 Organisationsstruktur des Beispiel-Konzerns MSB-BAU

Die heute existierenden Konzerne im Bereich des Bootsbaus sind nach und nach durch den Zukauf von kleinen und mittelständischen Unternehmen entstanden. Hierbei wurden die hinzu gekauften Unternehmen teilweise in ein Mutter-Unternehmen integriert oder als selbstständig agierende Tochter-Unternehmen eingebunden. Letzteres geschieht häufig allein deshalb, um nicht vorhersehbare Risiken der neu hinzu gekauften Unternehmen unmittelbar in das Mutter-Unternehmen einzubringen. Wenn dann derartige Risiken tatsächlich eintreten, ist zunächst nur das jeweilige Tochter-Unternehmen maßgeblich involviert und dem Mutter-Unternehmen verbleibt genügend Zeit, um geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Die Gründe für die Entstehung solcher Konzerne im Motorsportbootbau sind vielfältig. So hat z. B. ein Unternehmen, das zunächst nur die Komponenten des Antriebes, die Motoren und / oder die Propeller entwickelte und vermarktete, die Produktion der Komponenten in ein Tochter-Unternehmen ausgelagert und das bisherige Unternehmen übernimmt die Funktion eines Mutter-Unternehmens, welches zukünftig den gesamten Motorsportbootbau zum Ziel hat. Durch den Ankauf von weiteren Unternehmen für die Entwicklung und Produktion von MSB schafft sich das Mutter-Unternehmen die Möglichkeit, eine komplette Produktlinie „**Motorsportboote**“ zu generieren, um unter anderem in diesen Booten auch die eigenen Antriebe zu platzieren und somit unter anderem für das ursprüngliche Unternehmen den Marktanteil dieser bereits vorhandenen Produktlinie zu verbessern und dessen Wettbewerbsposition zu stärken, was letztlich dann auch für die eigene Position gilt.

Wenn die angestrebte Strategie bezüglich des Motorenverkaufs und weiterer Komponenten für das Unternehmen MSB-BAU auf Dauer erfolgreich ist, kann dadurch zukünftig jährlich ein Produktionsplan mit einer relativ guten Genauigkeit für das jeweils kommende Jahr erstellt werden. Dies führt dazu, dass die den Profit verringernden Preis- bzw. Marktkämpfe mit der Konkurrenz ausbleiben. Des Weiteren kann durch eine gezielte Unternehmenskonzentration ein weltweit hervorragendes Qualitätsimage aufgebaut werden, indem allen dem Konzern angehörenden Unternehmen permanent eine intensive technische Unterstützung angeboten werden kann. Allerdings nur dann, wenn diese Maßnahmen neben den regelmäßigen technischen Schulungen über die Technologieerneuerungen auch eine Einführung in die neuen Methoden und Prozesse hinsichtlich der Verbesserung der Qualität beinhalten.

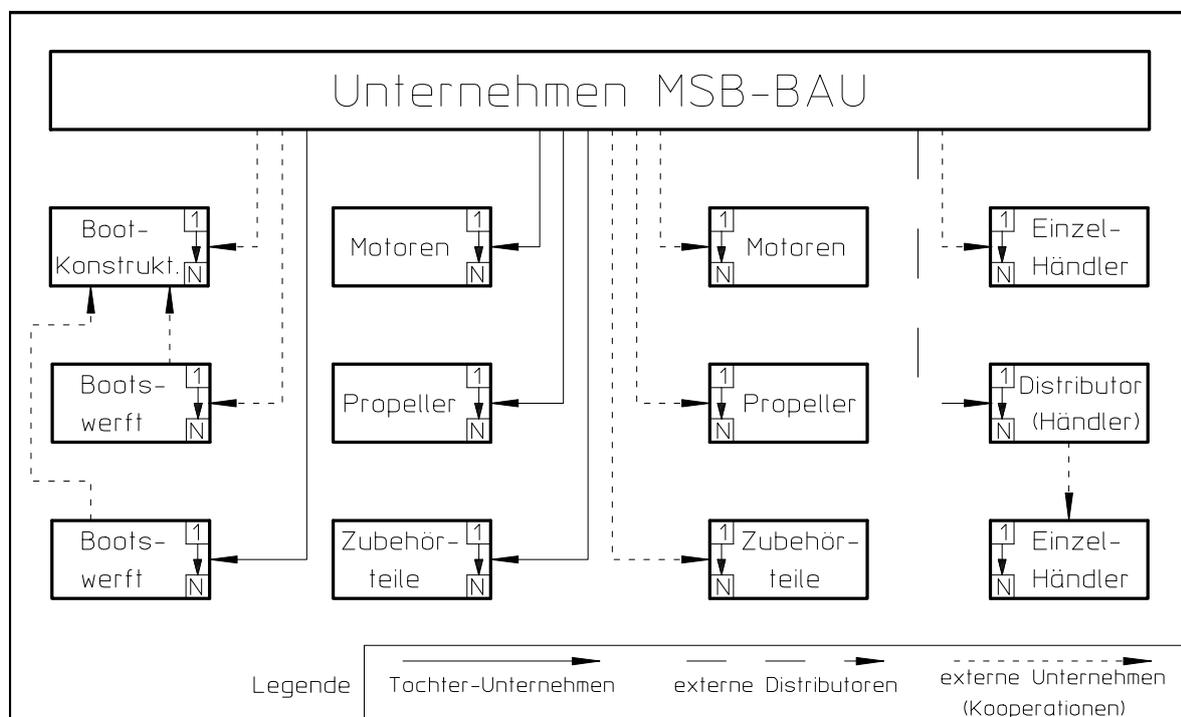


Abbildung 3-2: Organisationsstruktur des Beispiel-Konzerns MSB-BAU

Die **Abbildung 3-2** zeigt beispielhaft einen Konzern, welcher verschiedene Produktlinien des gesamten Sportbootbaus weltweit vermarktet, aber in dieser Darstellung wird der Fokus nur auf die Produktlinie „**Motorsportboote**“ gelegt. Das Mutter-Unternehmen (MSB-BAU) übt in erster Linie die Funktion eines Handelsunternehmens aus und übernimmt in diesem Zusammenhang die gesamte Planung des Sportbootbaus und dessen Abwicklung von der Umsetzung einer Produkt-Idee bis hin zu der Auslieferung eines fertigen Produktes „**Motorsportboot**“ an einen Kunden und dem sich anschließenden Service. Die Organisa-

tionsstruktur zeigt, dass in den Produktionsbereichen wie z.B. bei der Motoren-Herstellung auch einzelne externe Unternehmen (Anzahl = 1 bis N) nur über Kooperationen für das Unternehmen MSB-BAU tätig sind. Auf diese Art und Weise kann ein MSB-Anbieter einem Kunden auf Wunsch auch einen Motor eines Konkurrenten einbauen, obwohl dies sicherlich nicht dem ursprünglich angestrebten Ziel der MSB-BAU entspricht. Aber im Zeitalter der Globalisierung und des Internets sind die Unternehmen zu solchen Maßnahmen gezwungen, wenn diese ihre Kunden auf Dauer behalten möchten. Nachfolgend werden nun die Aufgaben der beteiligten externen Unternehmen kurz skizziert.

Für die Konzerne ist die Erweiterung durch den Zukauf weiterer produktiver Unternehmen erste und eine Kooperation immer nur die zweite Wahl. Hingegen ist für den Bereich der Händler nur die Kooperation gegeben, wie später noch erläutert wird. Bei dem Zukauf der Unternehmen stand in den letzten 10 Jahren wegen der stetig zunehmenden Globalisierung der unbedingte Wachstumswille im Vordergrund, um den Marktanteil möglichst weltweit ständig zu erhöhen, obwohl aus der Vergangenheit hinreichend bekannt war, dass die oben genannten Probleme mit jedem Zukauf eher größer als kleiner wurden, da für deren Lösung zu keinem Zeitpunkt die erforderlichen Kapazitäten bereitgestellt wurden. Stattdessen wurden auf allen Kontinenten Zweigniederlassungen gegründet, die in ähnlicher Weise gehandelt haben, wie das Mutter-Unternehmen MSB-BAU. Andere Konzerne haben in diesem Zeitraum ähnlich gehandelt, so dass dieser gewollte Verdrängungswettbewerb zu Lasten kleinerer Bootswerften im Ergebnis zu einer Konzentration des Sportbootbereiches des gesamten Welt-Marktes führte.

Diese Vorgehensweise hat es früher schon im Bereich der Informationstechnologie gegeben, wo die großen Unternehmen wie SIEMENS, IBM oder DASSAULT zunächst die entwickelnden Unternehmen für ein CAD-System, später für FEM- und CAM-System und letztlich auch noch für ein PDM-System aufgekauft haben, um den produzierenden Unternehmen als Kunden eine IT-Infrastruktur für eine integrierte Produkt-Entwicklung und auch –Herstellung anbieten zu können. Dieses Angebot aus einer Hand konnten die einzelnen IT-Unternehmen weder fachlich noch kostenmäßig leisten, so dass auch hier die Konzentration von den kleineren IT-Unternehmen auf Dauer nicht verhindert werden konnte. In ähnlicher Art und Weise wird dies zukünftig auch die gesamte Sportbootbranche betreffen.

Nachfolgend werden die Probleme im Zusammenhang mit der Konzentration eingehend analysiert und auch dargestellt, allerdings auch für eine Produktlinie und nur auf den Bereich Europa. Zunächst werden die Aufgaben der beteiligten Akteure gemäß der Abbildung 3-2 aufgezeigt.

Die guten, anerkannten Bootkonstrukteure sind historisch gesehen, meistens aus Familienunternehmen hervorgegangen, welche sich in den letzten Jahrzehnten mit ihren Produkten einen „Namen“ erarbeitet haben. Diese Unternehmen beobachten ständig die Nachfrage des Marktes nach von ihnen konstruierten Modellen sehr genau, um aus den negativen und positiven Kritiken abzuleiten, wie sie zukünftig bestimmte Modelle marktgerecht modifizieren können. Diese Konstrukteure besitzen ein sehr umfassendes know how, welches sie nicht nur einem Unternehmen zur Verfügung stellen möchten, da sie durch eine feste Einbindung in einen Konzern hinsichtlich ihrer weiteren fachlichen Qualifikation zukünftig auf spezielle Bootstypen fokussiert werden. Einige Bootkonstrukteure verfügen zwar über eine kleine Werft, sind aber wegen ihrer Größe nicht in der Lage, den heutigen Anforderungen einer Serienproduktion gerecht zu werden.

Die Bootswerften, meistens in der Nähe von Wasser aufgebaut, sind die Produzenten aller nur denkbaren Bootsmodelle, das heißt, dass diese nicht nur auf den Bau von Motorsportbooten reduziert sind. Allerdings verfügen diese Unternehmen nicht immer über einen fest angestellten Bootkonstrukteur, so dass diese bei einer Auftragserteilung für ein spezielles MSB nicht nur von dem Auftraggeber sondern noch von einem weiteren Unternehmen abhängig sind. Der häufigste Grund für das Fehlen eines fest angestellten Konstrukteurs liegt darin begründet, dass eine Bootentwicklung in diesem Bereich ca. 3 – 6 Monate, aber die spätere Nutzung am Markt ca. 5 – 10 Jahre dauert. In diesem Zeitraum stehen dann für diesen Bootstyp keine komplette Neu-Entwicklung sondern nur einzelne, marktbedingte Modifikationen an und deshalb ist ein Bootkonstrukteur in diesem Zeitraum nicht genügend ausgelastet. Grundsätzlich wird die MSB-BAU immer zunächst versuchen, einen Auftrag an ihre eigenen Bootswerften zu vergeben, vorausgesetzt, diese haben das nötige know how und können die Dienste eines guten Bootkonstrukteur nachweisen und sie verfügen momentan über eine hinreichende Kapazität für einen Prototypen und später auch für die eventuell nachfolgende Serienproduktion. Wenn eines dieser Kriterien nicht gegeben ist, muss die MSB-BAU eine in Kooperation tätige Bootswerft beauftragen. Dies kann dann so weit gehen, dass die MSB-BAU sogar versuchen wird, dieses Unternehmen aufzukaufen, wenn sich die MSB-BAU von dem Vertrieb dieses momentan zu beauftragenden Bootstyps einen überdurchschnittlichen wirtschaftlichen Erfolg verspricht.

Die anderen produzierenden Unternehmen für die Hauptkomponenten Motor, Propeller und Zubehörteile sind hinsichtlich ihrer Produkte vielfältig gestreut und müssen bezüglich der übergeordneten Produktlinie „**Motorsportboot**“ unbedingt über das Kriterium „*einbaufähig*“ verfügen. Da diese Unternehmen seit Jahren selbstständig arbeiten und eine eigene

Produkt-Entwicklung besitzen, ist seitens des MSB-BAU der Wunsch nach einer Einbindung in das eigene Unternehmen nicht die oberste Priorität, solange sich dieses Zuliefer-Unternehmen in jeder Hinsicht kooperativ verhält. Sollte allerdings die Nachfrage durch die Kunden nach einer dieser Komponenten extrem zunehmen, wird der MSB-BAU natürlich versuchen dieses Unternehmen zu erwerben, um den Eigenerwerb abzusichern und gleichzeitig die Kontrolle über den Verkauf an den Wettbewerb zu übernehmen.

Die Händler nehmen in dieser Organisationsstruktur eine Sonderstellung ein. Da ein einzelnes Unternehmen oder ein Konzern gar nicht in der Lage ist, diese nicht überschaubare Anzahl von Einzel-Händlern (EH) weltweit zu bedienen und noch weniger zu kontrollieren, besteht seitens MSB-BAU auch keinerlei Interesse an einer Einbindung dieser EH. Vielmehr ist das führende Unternehmen bemüht, für bestimmte Regionen, in denen der Markt einen erhöhten Bedarf von MSB erwartet, einen so genannten Großhändler als Distributor-Händler (DH) zu gewinnen, der seinerseits in dieser Region ein Händlernetz mit den **EH** aufbaut und dieses auch mit Produkten und Informationsmaterial bedient und auch in jeder Hinsicht zum Wohle des Endkunden betreut. Diese Vorgehensweise reduziert den Aufwand für die MSB-BAU enorm, da sich dadurch die Anzahl der Ansprechpartner erheblich reduziert und somit die Kommunikation vereinfacht wird. Lediglich in Regionen in denen es nur jeweils ein oder zwei **EH** gibt, wie z.B. auf der Insel Tahiti, schließt die MSB-BAU einen Kooperationsvertrag mit einem **EH**.

Ein Unternehmen, welches alle notwendigen Geschäftsbereiche für den Motorsportbootbau im eigenen Unternehmen integriert hat, ist horizontal organisiert und entspricht in seinem Aufbau der Darstellung der Wertschöpfungskette gemäß der Abbildung 3-1. Demgegenüber verfügen die Unternehmen mit einem Aufbau gemäß MSB-BAU über eine vertikale Organisationsstruktur. Nach Jarillo [24] hat eine *vertikale Organisation* von Konzernen vor allem den Vorteil, dass die einzelnen Prozesse in der Vertikalen harmonisch aufeinander abgestimmt sind. Allerdings arbeiten die einzelnen Unternehmen kaum integrativ, so dass diese einzelnen Unternehmen „das Rad“ häufig konstruktiv immer wieder neu erfinden, ohne auf bereits vorhandene Konstruktionen zurückzugreifen. Diese Vorgehensweise führt zu sehr hohen Ausgaben im FuE-Bereich, wodurch zwangsläufig die Fixkosten insgesamt zunehmen. Die hohen FuE-Kosten führen wiederum dazu, dass die Unternehmen dann nur in einem sehr geringen Maße innovative Technologien einführen.

Demgegenüber ermöglicht eine *horizontale Organisation* innerhalb eines Unternehmens eine Spezialisierung in den einzelnen Geschäftsprozessen des gesamten Unternehmens, was insgesamt zu erheblichen Verbesserungen in allen Unternehmensbereichen führt. Ebenso

werden die Gesamtkosten für FuE reduziert und damit können innovative Technologien leichter eingeführt und damit alle Prozesse insgesamt optimiert werden.

In der hier vorliegenden vertikalen Organisationsform stellt die schwierige Integrationsmöglichkeit der einzelnen externen Unternehmen das größte Problem für einen unternehmensübergreifenden Produktentstehungsprozess dar. Die Lösung dieses Problems stellt an MSB-BAU bezüglich der Kommunikation mit allen beteiligten Personen und Organisationen eine große Herausforderung dar, wie die IST-Analyse der Geschäftsprozesse zeigen wird.

3.2 Definition der Geschäftsprozesse im MSBB

Für eine IST-Analyse der **Geschäftsprozesse (GP)** bietet sich auf den ersten Blick die von [19] definierte Wertschöpfungskette gemäß der Abbildung 3-1 an, da dort alle relevanten Geschäftsprozesse aufeinander folgend angeführt sind. Da aber im MSBB überwiegend eine vertikale Organisationsstruktur vorherrscht und darüber hinaus auch der Handel (**DH / EH**) des Produktentstehungsprozesses wesentlich beeinflusst, ist diese Darstellung nicht geeignet. Aus diesem Grund wird hier eine andere Darstellungsform gewählt (vgl. **Abbildung 3-3**), in welcher aber die wichtigen Kriterien der Abbildung 3-1 und der Abbildung 3-2 berücksichtigt sind.

Nachfolgend werden nun die einzelnen **GP** analysiert und eventuell auftretende Defizite diskutiert. Des Weiteren wird in der IST-Analyse auch auf die vorab genannten Wechselwirkungen und die möglichen Rückkopplungen gemäß der Abbildung 3-1 eingegangen. Ebenso werden die Aufgaben des Handels (Händler) und die Form und Inhalte der jeweils erzeugten Produktdaten (dargestellt durch das große Fragezeichen in der Mitte) und die Art und Weise der Kommunikation (gekennzeichnet als Informationsfluss) zwischen allen beteiligten Unternehmensbereichen und externen Unternehmen mit dem Unternehmen MSB-BAU auf Schwachstellen untersucht und abschließend werden die Defizite noch einmal kurz zusammengefasst.

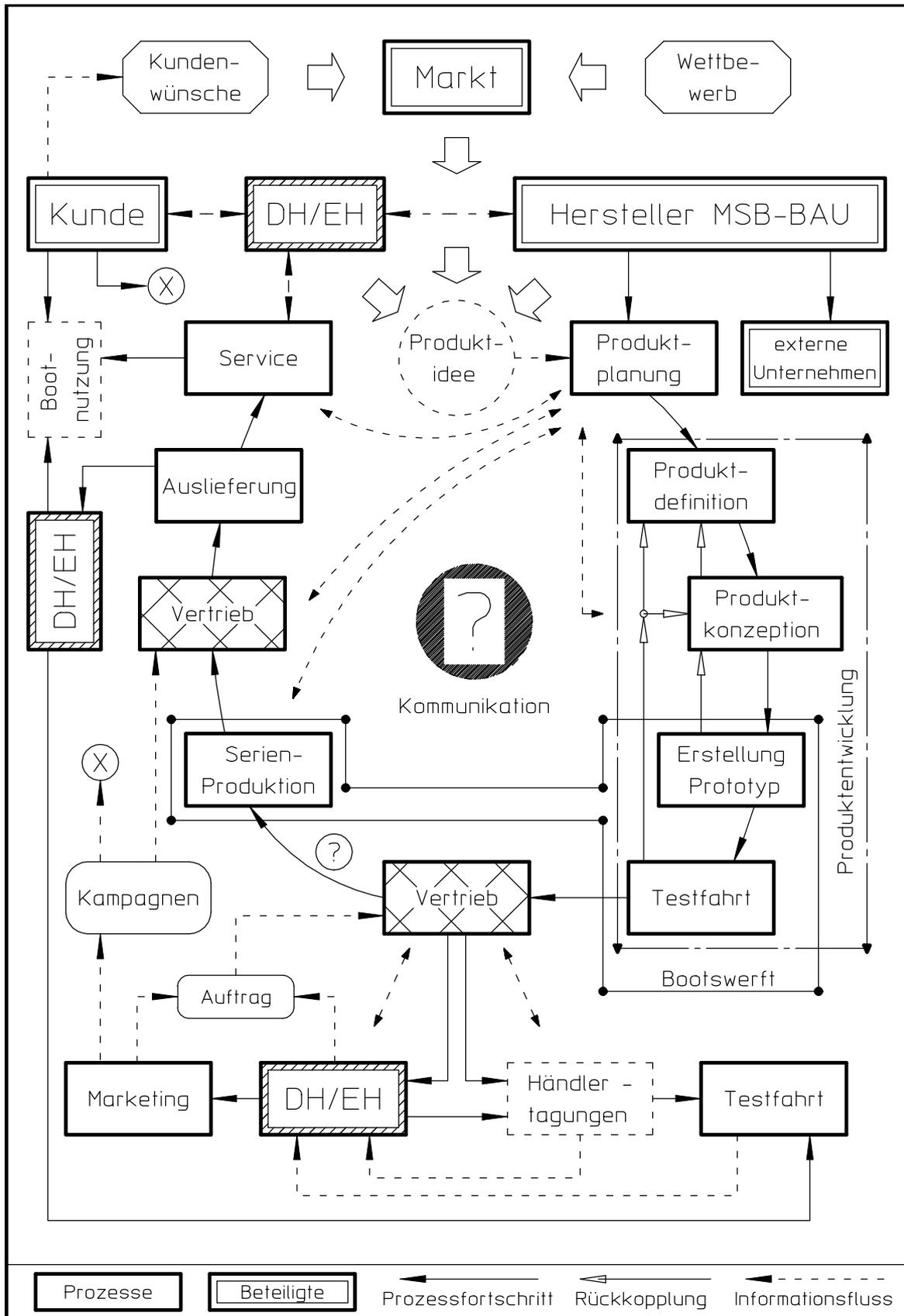


Abbildung 3-3: Prozesskette einer möglichen Produktentstehung

3.3 GP Produktplanung

Eine neue Produktidee wird in erster Linie durch den Markt oder durch ein produzierendes Unternehmen initiiert. Der Markt wird einerseits durch die Kundenwünsche, resultierend aus den Erfahrungen der Kunden durch die Nutzung der Produkte oder durch die Produkte des Wettbewerbs, welche die Kunden als interessanter einstufen, die interessierten Unternehmen auf diesen Sachverhalt aufmerksam machen. Jedes Unternehmen wiederum wird nach Kenntnis dieser Situation versuchen, diese Kunden durch die Entwicklung eigener Neuheiten zu überzeugen und gegebenenfalls zurück zu gewinnen. Daneben gibt es noch den Handel (Händler), der aus der Bewertung der Ergebnisse der Kundengespräche, aber auch durch die Tatsache, dass dieser über einen sehr nahen Kontakt zum Markt verfügt, ein Initiator für eine Produkt-Idee sein kann.

Wenn eine Produkt-Idee vorliegt, hat nunmehr der interne Unternehmensbereich Produktplanung des Unternehmen MSB-BAU die primäre Aufgabe, diese Idee zu überprüfen und durch geeignete Maßnahmen (Marktanalyse, Unternehmensanalyse) zu klären, ob mit einer Produktplanung begonnen wird. Eine positive Entscheidung kann verschiedene Gründe haben, diese kann z.B. für das Unternehmen zur Verbesserung des eigenen Marktanteils strategisch wichtig sein, oder um eine vorhandene Marktlücke zu schließen oder eventuell einen erheblichen wirtschaftlichen Nutzen für das Unternehmen zur Folge haben. Im Rahmen dieses Teil-Prozesses wird durch MSB-BAU die gesamte Produktentstehung bis hin zur Auslieferung des fertigen Produktes gesteuert und überwacht. Die wesentlichen Schritte sind gemäß der Abbildung 3-3, die:

- Beauftragung eines Bootkonstruktors mit der Produktentwicklung einschließlich der Überwachung bei der Herstellung eines Prototyps in einer von der Produktplanung beauftragten Bootswerft **oder** Beauftragung einer Bootswerft mit der Bootentwicklung einschließlich der Produktionsaufgaben.
- Vorstellung des bzw. der Prototypen auf so genannten Händler-Tagungen, damit die **DH** und **EH** selbst beurteilen können, ob und wie dieses MSB auf dem Markt platziert werden kann.
- Entscheidung, ob und wie viel MSB produziert werden (vgl. Fragezeichen „?“ in der Darstellung zwischen Vertrieb und Serien-Produktion) und zwar in Abhängigkeit der Anzahl der eingehenden Bestellungen durch die **DH** und **EH**.
- Auslieferung der MSB durch den Vertrieb unmittelbar nach der Fertigstellung an die **DH**, unabhängig davon, ob für die bestellten MSB bei den **DH** ein Kaufvertrag von einem **EH** bereits vorliegt.

- Weiterleitung der MSB von den **DH** an die **EH** und die wiederum an die Kunden.

Im Rahmen des Produktentstehungsprozesses wird neben der Auftragsvergabe und der Auftragsüberwachung von MSB-BAU auch die gesamte Beschaffung und Bereitstellung aller notwendigen Komponenten für das zu entwickelnde und zu produzierende MSB übernommen. Diese Aufgabe muss allein wegen der Wertschöpfung von MSB-BAU unbedingt intern ausgeführt werden, damit gewährleistet ist, dass diese Komponenten zu möglichst 100 % von den Tochter-Unternehmen zum Einsatz kommen, vorausgesetzt, diese eigenen Unternehmen produzieren die jeweils benötigten Komponenten.

Die Neuentwicklung von MSB ist für die Produktplanung nicht die Hauptaufgabe, sondern eher die Überwachung und gegebenenfalls die Weiterentwicklung der vorhandenen in der Anwendung befindlichen MSB. Aus diesem Grunde muss MSB-BAU die Nachfrage der von ihnen gefertigten Sportboot-Modelle (Absatzzeitraum bis zu ca. 10 Jahren) sehr genau beobachten, um daraus abzuleiten, ob sie zukünftig ein bestimmtes Modell weiterführen, modifizieren oder aus dem Programm herausnehmen. Aus der Vielzahl derartiger Beobachtungen sind hier ohne Berücksichtigung einer Priorität einige Beispiele wiedergegeben, welche eine Modifikation zur Folge haben oder eine Produktion beenden könnten:

1. Extremer Rückgang der Nachfrage, oder gar keine Nachfrage (Flop, deshalb keine weitere Produktion).
2. Fehlen eines Modell-Typs, der eine Nachfragelücke schließen kann.
3. Erweiterung oder Änderung der Motorisierung.
4. Neue Anforderungen wegen Nutzungsänderungen der MSB.

Wie in jedem Unternehmen wird im Rahmen der Unternehmensplanung durch die Produktplanung ein mittelfristiges Konzept definiert, für welches die strategische Geschäftsführung einen Produktplan vorgibt, welche neue Bootstypen in naher Zukunft marktgerecht entwickelt und welche in der Nutzung befindlichen Bootstypen modifiziert oder deren Produktion eingestellt werden sollen. Derartige Entscheidungen sind mit einem sehr kostspieligen Risiko verbunden und erfordern deshalb seitens der Entscheidenden eine jahrelange Erfahrung, genaue Marktkenntnisse, ein gewisses Maß an Enthusiasmus und eine hohe Risikobereitschaft. Da aber der Geschäftsführung in der Regel die hier geforderte jahrelange Erfahrung speziell in der Bootkonstruktion fehlt, ist diese auf die richtige Auswahl eines Bootkonstruktors angewiesen.

Für die Bewältigung dieser Aufgabe gibt es eine Vielzahl von wirklichen „*Experten*“, die historisch bedingt, als so genannte „*kleine*“ Sportbootbauer in mehreren europäischen Ländern (Schweden, Norwegen, Polen, Slowenien, etc.) und einige wenige auch in Deutschland selbstständig tätig sind. Die guten, selbstständigen Bootkonstrukteure sind wegen ihrer Größe aus Kostengründen bezüglich ihrer Tätigkeiten auf die Entwicklung einer neuen Bootkonstruktion beschränkt und können deshalb aus Kapazitätsgründen auch nicht die Herstellung eines Prototypen übernehmen. Da aber seitens der Produktplanung die Forderung besteht, im Rahmen des Gesamtprozesses zumindest die Produktentwicklung in einer Hand zu belassen, müssen die Bootkonstrukteure auch die externe Herstellung eines Prototyps mit beaufsichtigen. Dies führt manchmal zu einer länderübergreifenden Entwicklung, da sich die Standorte der in Frage kommenden Produzenten nicht immer in dem Land des Bootkonstruktors befinden (vgl. Kap. 3.1, Abbildung 3-2).

Dies bedeutet, dass der beauftragte Bootkonstrukteur alle Informationen, die im Zusammenhang mit der Neuentwicklung entstehen, detailliert sammeln und wegen der Komplexität der Informationen diese auch möglichst strukturiert aufheben muss, um diese enorme Anzahl von Daten und Informationen zum Abschluss der Entwicklungsarbeit dem Auftraggeber, der Produktplanung, zur weiteren Nutzung zu übergeben (vgl. **Abbildung 3-3**). Die Bereitstellung dieser Informationen ist ohne den Einsatz der Informationstechnologie (3D-CAD, Produkt-Daten-Management, etc.) eine kaum lösbare Aufgabe.

Liegt dieser Mangel vor, wird die Arbeit der Produktplanung in hohem Maße erschwert, da diese auf eine zeitnahe und vollständige Bereitstellung aller Informationen aus allen Unternehmen angewiesen ist. Nur so wird die Produktplanung in die Lage versetzt, ein Projekt optimal zu koordinieren und damit den vorher angestrebten Zeitpunkt der Markteinführung zu gewährleisten. Auch die später zum Einsatz kommenden Händler benötigen einen Zugriff auf die Produktdaten, damit diese dem Vertrieb jederzeit den Stand ihrer Verkaufsmaßnahmen mitteilen können. Denn nur wenn die Produktplanung jeweils aktuell eine vollständige Rückmeldung erhält, kann diese wiederum so früh wie möglich die Jahresproduktion für das kommende Jahr definieren.

3.4 GP Produktentwicklung

Wie bereits ausgeführt, verfügen nicht alle Bootswerften über einen eigenen Bootkonstrukteur, deshalb ist für eine gute Zusammenarbeit die Wahl der Kombination selbst-

ständiger Bootkonstrukteur mit einer Bootswerft eine der wichtigsten Aufgabe der MSB-BAU für eine neue MSB-Entwicklung. Über welche Erfahrungen ein Konstrukteur für die Entwicklung und die Weiterentwicklung von MSB haben muss, wurde bereits in Kap. 2 hinreichend dargestellt. Der von MSB-BAU aufgestellte Produktplan enthält unter anderem die Bootstypen (inklusive Größe, Motorisierung, Innenausstattung, etc.) die mittelfristig im Rahmen der **Produktentwicklung** bearbeitet bzw. realisiert werden sollen. Bei den MSB wird hierbei unterschieden zwischen einer:

1. Produktverbesserung bzw. -pflege,
2. Weiterentwicklung bzw. Modifikation und
3. Neuentwicklung.

Eine Produktverbesserung wird an einem Modell nur vorgenommen, welches sich in der Vergangenheit sehr gut vermarkten ließ und auch zukünftig einen wirtschaftlichen Erfolg verspricht. In erster Linie handelt es sich dabei um Qualitätsverbesserungen, welche einen möglichst geringen Einfluss auf die Konstruktion bzw. auf das Aussehen des Bootes haben. Dadurch kann das Risiko, potentielle Kunden zu verlieren, so klein wie möglich gehalten werden. Beispielhaft ist nachfolgend ein aufgetretener Qualitätsmangel wiedergegeben.

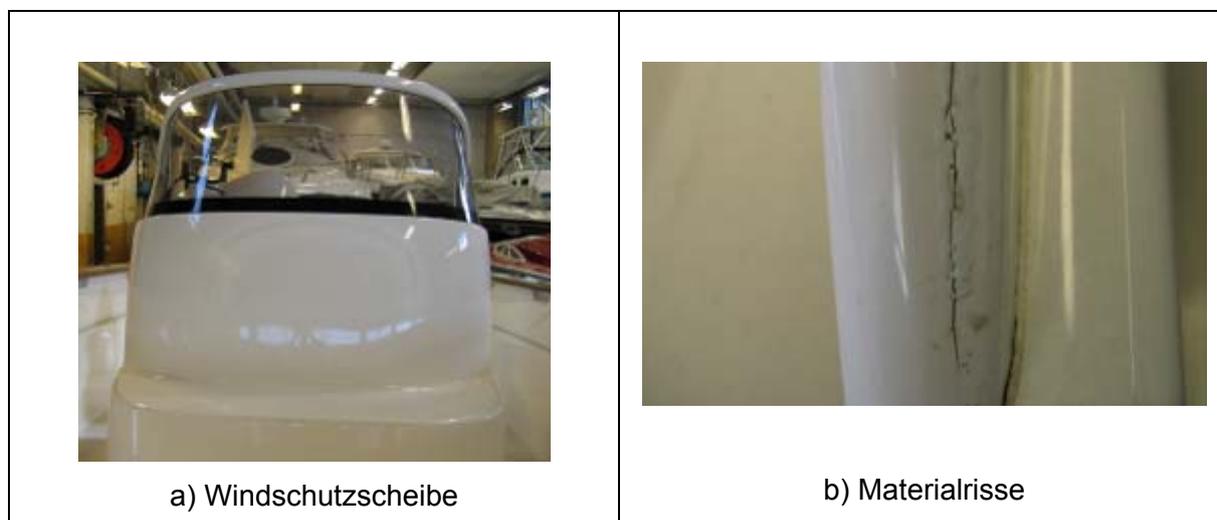


Abbildung 3-4: Qualitätsproblem

Erhöhte Garantieforderungen wegen schadhafter Windschutzscheibenrahmen (vgl. **Abbildung 3-4, a**). Mehrere unterschiedliche Werkstätten berichteten, dass bei einem bestimmten Bootsmodell der Windschutzscheibenrahmen nach nur wenigen Wochen in der Längsrichtung an verschiedenen Stellen aufplatzte (vgl. **Abbildung 3-4, b**). Die Untersuchungen der Werkstätten haben eindeutig ergeben, dass Feuchtigkeit in das Material

gelangen konnte. Die Holzschichten der Holz-Glasfaserkonstruktion dehnen sich dadurch aus und es entstehen immer weiter sich vergrößernde, sichtbare Spalten auf dem Rahmen. Die Reparatur eines Rahmens ist ausgesprochen teuer, da der Rahmen komplett ausgetauscht werden muss und zusätzlich sehr aufwändige Spachtel- und Schleifarbeiten unternommen werden müssen. Im Rahmen einer **Qualitätsverbesserung** wurde ein neuer Rahmen mit einer verbesserten Fertigungsmethode entworfen und eingeführt.

Im Rahmen einer Produktpflege wurde eine teure und technisch sehr interessante, aber optisch weniger reizvolle Instrumentierung eines Bootsmodells neu ausgelegt. Diese Pflege beeinflusste zwar in keiner Weise die Bootkonstruktion, aber erhöhte das Image von MSB-BAU, da diese Maßnahme in jeder Hinsicht den Marktbedürfnissen entsprach.

Eine Neuentwicklung ist zwangsläufig immer mit erheblich hohen Kosten verbunden. Da für diesen Bereich das größte Potential für die Verbesserung der Produktentwicklung gegeben ist, soll im Rahmen dieser Arbeit der Fokus in erster Linie auf die Neuentwicklung von MSB gelegt werden. Das Konzept wird allerdings so allgemeingültig ausgelegt, dass damit auch die vorher definierten Änderungen vorhandener MSB bearbeitet werden können.

Die Produktentwicklung gliedert sich gemäß der Abbildung 3-1, wie auch in der Abbildung 3-3 dargestellt, in die Teil-Prozesse (TP) **Produktkonzeption**, **Produktdefinition** und **Prototyp / Testfahrt**.

3.4.1 TP Produktkonzeption

In dem TP **Produktkonzeption** werden die Anforderungen an ein neues MSB-Modell noch zwar sehr allgemein, aber möglichst umfassend beschrieben, damit später nicht nur die Bootkonstruktion wie gewünscht gelingt, sondern dass darüber hinaus gewährleistet ist, dass auch die richtigen Lieferanten ausgewählt werden können. Dies ist schon allein deshalb so wichtig, da der MSB-BAU möglichst die eigenen Tochter-Unternehmen damit beauftragen möchte. Unabhängig von den konstruktiven Möglichkeiten bei der Entwicklung eines neuen MSB sind die Entwicklung und damit die Auswahl der Komponenten und deren Optimierung in erster Linie auch von dem gewünschten Verwendungszweck für ein MSB abhängig. Da die konstruktiven Gestaltungsmöglichkeiten derart vielfältig sind, können diese auch nicht allgemein formuliert werden. Deshalb werden nachfolgend beispielhaft für zwei verschiedene

Bootstypen mit einer gleichen Bootlänge von 6 m die konstruktiven Möglichkeiten gemäß Kap. 2 gegenüber gestellt.

Beispiel 1: Ein **Wasserskizugboot** erfordert eine schnelle und konstante Beschleunigung bei einem niedrigen Nickwinkel und ein möglichst schnelles Erreichen der Gleitfahrt bei niedrigen Geschwindigkeiten. Niedrige Heckwellen gestatten ein problemloses Durchlaufen von Slalomkurven und engen Kurven in künstlich angelegten Wasserskibahnen. Eine niedrige Motor-Drehzahl spart Kraftstoff und reduziert die Geräusch- und Schadstoffemissionen. Gewünscht ist ein möglichst großer Kraftstofftank, dessen Füllstandshöhe die Fahrdynamik nicht merklich beeinflussen darf. Ein Mindestplatzbedarf für ca. 3 Personen einschließlich der Ausrüstung. Diese Kriterien verlangen die nachfolgenden Konstruktionsbedingungen.

Ein geringer Nickwinkel während der Beschleunigung und im Übergang zur Gleitfahrt verlangt einen niedrig liegenden Bootsschwerpunkt, welcher möglichst in der Mitte des Bootes anzuordnen ist. Es muss deshalb ein mittig angeordneter Motor mit bugseitig montiertem Wendegetriebe und einer Propellerwelle berücksichtigt werden, welche unter dem Motor aus dem Rumpf austritt. Die starr angeordnete, angewinkelte Propellerwelle bewirkt, dass der Propellerschubvektor nahezu durch den Bootsschwerpunkt hindurchgeht.

Zur Bestimmung der Schwerpunktlage soll das Gewicht möglichst vorne positioniert werden, deshalb wird der Fahrerstand im vorderen Bereich, also im ersten Drittel des Bugs platziert. Der Kraftstofftank muss auf Grund der gewünschten Größe flach und tief in den Rumpf montiert werden. Zur Optimierung des Nickwinkels meistens mittig oder direkt am Cockpit. Um den Schwerpunkt so niedrig wie möglich zu halten, werden diese Boote sehr flach konstruiert (niedriger Freibord, kaum Deckaufbauten, geringe Windschutzscheibenhöhe). Ein schneller Übergang in die Gleitfahrt verlangt nach einem sehr flachen Rumpfwinkel ($\leq 10^\circ$). Damit trotzdem kleinere Wellen durchfahren werden können, wird die Aufkimmung zum Bug hin gleichmäßig erhöht. Um trotz des flachen Rumpfwinkels enge Kurven bei konstanter Geschwindigkeit (extreme Bremskräfte durch den Wasserskifahrer in Kurven) durchfahren zu können, muss ein maximal mögliches Motor- und Propellerdrehmoment vorhanden sein. Dies erfordert eine entsprechende Hubraumstärke und damit einen schweren Motor.

Für eine enge Kurvenfahrt erweist sich die Propellerwellenoption als vorteilhaft. Gesteuert wird diese mittels eines Ruderblattes, da der Propeller feststeht. Somit entfällt die Propellerschubkomponente, welche den Rumpf seitlich wegschiebt. Für das Durchfahren enger Kurven müssen häufig im Rumpf eine oder gar 2 Längsstufen konstruiert werden, um

einen seitlichen Halt im Wasser aufzubauen. Wegen der Geruchsbelästigung werden überwiegend Benzinmotoren verwendet. Diese sind seit diesem Jahr auch mit Katalysatoren erhältlich.

Beispiel 2: Ein preisgünstiges Familiensportboot für eine junge Familie muss auf einen Anhänger passen und soll ein sportliches Fahrverhalten (Wasserski & Wakeboard) auf geschützten Binnengewässern gewährleisten. Diese Kriterien verlangen die nachfolgenden Konstruktionsbedingungen.

Es kommt ein GFK-Rumpf mit einem Rumpfwinkel = $14^\circ - 18^\circ$ zum Einsatz. Gewählt wird ein Innenbordmotor mit einem Hubraum von 3.0 Liter und einer Leistung von 135 PS als günstigster Motor seiner PS- und Drehmomentklasse. Ein Innenbordmotor erlaubt eine freie Sicht nach hinten sowie die nachträgliche Montage einer Wasserskizugstange, während ein Außenbordmotor diesen Vorgang erheblich behindern würde. Als Getriebe kommt ein Z-Antrieb zum Einsatz, für welchen verschiedene Übersetzungen erhältlich sind und eine große Propellerauswahl zur Verfügung steht. Ein Propellerwechsel ist sehr leicht ausführbar, da anders als bei einer Wellenanlage (hier muss das Boot herausgehoben werden oder ein geschulter Taucher wechselt den Propeller) der Z-Antrieb angehoben werden kann und das Boot somit im Wasser bleibt. Zum Ausgleich des großen Gewichtes des Innenbordmotors müssen das Cockpit und der Tank vorne im Bug platziert werden, um die Lage des Schwerpunktes besser zu positionieren.

Wenn ein Kunde für sein Freizeitsportboot allerdings mehr Platz im Innenraum fordert, muss ein Außenbordmotor montiert werden. Dies wird einerseits teurer und andererseits wird die Lage des Schwerpunktes nach oben und nach hinten verschoben. Diese Änderung führt wegen der höheren Roll- und Nickwinkel zu einer schlechteren Fahrdynamik. Die Gleitfahrt wird dadurch später erreicht und die Höchstgeschwindigkeit nimmt wegen der reduzierten benetzten Rumpffläche zu. Wenn hingegen der Kunde für sein Boot bessere Seegangseigenschaften wünscht, muss das Boot einen höheren Rumpfwinkel erhalten und der Tiefgang muss erhöht werden. Dies birgt einerseits die Gefahr einer Grundberührung in sich sowie die Beschleunigung als auch die Endgeschwindigkeit nehmen ab.

Diese allgemeinen Festlegungen für die beiden Beispiele bilden nun jeweils die Grundlage für die weitere Arbeit des Bootkonstruktors, die er im Rahmen der Produktdefinition in ein reales **MSB** umsetzen muss, welches den gewünschten Forderungen der Kunden entspricht.

3.4.2 TP Produktdefinition

In dem TP **Produktdefinition** wird nun auf der Basis der vorgegebenen Kriterien aus dem TP **Produktkonzeption** das gesamte neue MSB-Produkt gestaltet. Die beiden vorab diskutierten einfachen Anwendungsbeispiele haben bereits im Ansatz die vielfältigen Möglichkeiten gezeigt, mit denen ein Konstrukteur im Rahmen einer Bootsentwicklung konfrontiert wird. Neben der Berücksichtigung des gewünschten Designs, der Einhaltung der geforderten Funktionalitäten, ist die richtige Werkstoffauswahl die Grundvoraussetzung für das Gelingen der Hauptaufgabe des Bootkonstruktors.

Die Vielfalt der Konstruktionsmöglichkeiten für die Entwicklung eines MSB wurde im Kap. 2 im Einzelnen ausführlich und detailliert dargestellt. Neben der konstruktiven Gestaltung der einzelnen Komponenten gehört es zu den Hauptaufgaben eines Konstrukteurs, den Rumpf und den Antriebsstrang (Motor, Getriebe und Propeller) so zu konstruieren bzw. zu dimensionieren, dass diese vier Komponenten im Zusammenwirken ein **Optimum** erreichen (vgl. **Abbildung 3-5**). Im Ergebnis soll die Variation dieser Komponenten dazu führen, dass die für den geforderten Einsatzzweck notwendige maximale Schubkraft erreicht wird und die gewünschten Fahreigenschaften bei einer gleichzeitig hohen Sicherheit für die Fahrgäste gewährleistet sind (vgl. Kap. 1.1). Auf die einzelnen Konstruktionsmerkmale für die vier Komponenten **Rumpf**, **Motor**, **Getriebe** und **Propeller** und deren Wechselwirkungen muss mit einem Hinweis auf Kap. 2 hier nicht mehr näher eingegangen werden.

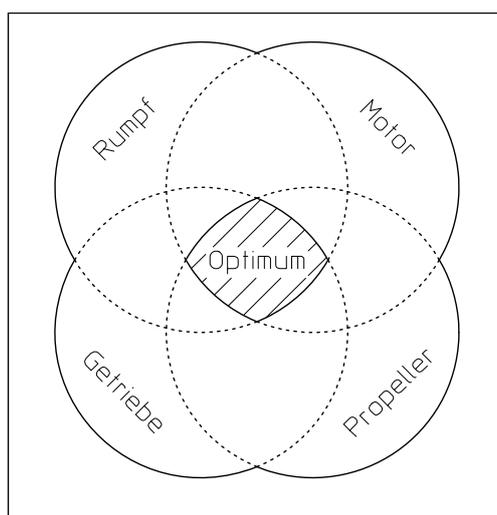


Abbildung 3-5: Wechselwirkungen bei der Entwicklung des Antrieb-Systems

Ob der Konstrukteur bezüglich seines Optimierungswunsches letztendlich die richtige Wahl für alle Komponenten eines **MSB** sowohl für die Verdränger- als auch für die Gleitphase

getroffen hat, kann selbst ein sehr erfahrener Konstrukteur nicht mit der erforderlichen Sicherheit vorab garantieren. Deshalb müssen seine sicherlich positiv angenommenen Beurteilungskriterien mit Hilfe eines Prototyps, mit welchem mindestens 2 oder 3 Testfahrten absolviert werden sollten, noch verifiziert werden. Dies ist schon deshalb notwendig, da mit der Anwendung dieses Produktes immer Menschen betroffen sind, deren Sicherheit über alles gehen muss.

3.4.3 TP Prototyp / Testfahrt

Zur Überprüfung, ob eine Bootskonstruktion richtig ausgeführt wurde, dient der Teil-Prozess **Prototyp / Testfahrt**. Wie die inhaltliche Beschreibung der Produktdefinition gezeigt hat, ist eine „richtige“ Konstruktion eines MSB im Wesentlichen von der Erfahrung seines Konstrukteurs abhängig. Es stellt sich somit die Frage: Was bedeutet „richtig“? Die Festigkeit eines MSB muss zumindest den äußeren Beanspruchungen gerecht werden und dies sowohl bei ruhiger als auch bei stürmischer See. Ebenso kann der Konstrukteur nicht davon ausgehen, dass ein Boot immer nur von „Experten“ genutzt bzw. gefahren wird. Letzteres stellt insbesondere an die Fahreigenschaften eines Bootes erhöhte Anforderungen. Die Berechnung der Fahreigenschaften ist von vielen Kriterien abhängig, die nicht alle vorab mit Sicherheit definiert werden können. Um diese Gefahrenpunkte und deren Wirksamkeit vor einer endgültigen Nutzung durch einen Kunden zu testen oder zu erproben, bietet sich ein Versuch mit einem Prototyp an.

Prototyp

Für Versuchszwecke eines MSB-Prototyps wird nicht ein Präsentationsmodell im Maßstab 1:40 oder 1:10, sondern ein Modell im Maßstab 1:1 hergestellt. Dazu müssen die Schiffsbauarchitekten bzw. Sportbootkonstrukteure die für die Herstellung des Modells notwendigen Zeichnungen erzeugen und dem Modellbauer des späteren Produktionsunternehmens zur Verfügung stellen. Obwohl in der letzten Zeit vereinzelt 3D-CAD-Systeme zum Einsatz kommen, sind im MSBB die 2D-CAD-Zeichnungen immer noch vorherrschend. Mit Hilfe der 2D- oder 3D-CAD-Zeichnungen wird dann vom Modellbauer mittels Holz- und Spachtel arbeiten ein Holzmodell von Hand gefertigt. Dieses Modell hat bereits eine sehr genaue Gestaltung (Nachbildung) aller Hauptbauteile (Rumpf, Motor, Propeller, etc.) und enthält auch alle zusätzlichen Anbauteile mit den vorgegebenen Optionen (Teakholz Verkleidungen, Sitzfarben, Polsterformen, Chrombauteile, Instrumente, etc.). Aus diesem Modell werden zunächst die Formen für alle Hauptbauteile und anschließend auch der

komplette Prototyp gefertigt. Eine weitergehende Beschreibung hinsichtlich der Herstellung des Prototyps wird in Kap. 3.6 dargestellt.

Dieses erste gefertigte Boot, der Prototyp, ist immer ein vollständig fertig gestelltes MSB, welches unmittelbar für die Versuchsfahrten verwendet wird. Bei den Versuchsfahrten muss sich das in den vorherigen Teil-Prozessen festgelegte Antriebskonzept (Motor Typ, Motorleistung, Antriebstop und Lage) behaupten, da dieses Konzept einen sehr großen Einfluss auf die Lage und die Gestaltung sämtlicher Kabinen und die Aufbauten des Bootes und somit auch auf die Lage des Schwerpunktes ausübt. Deshalb ist es sehr sinnvoll, wenn diese Versuche mit einem Prototyp und nicht erst mit einem Serienprodukt durchgeführt werden, denn wenn bei der späteren Nutzung des Bootes durch Test-Versuch Änderungen an dem Boot notwendig werden, führt dies zu erheblichen Zusatzkosten.

Nicht immer wird der Prototyp in Bootsausstellungen vorgestellt, um eventuell durch eine Resonanz von erfahrenen Kunden Verbesserungen zu ermöglichen. Häufig wird das Konzept von dem „Vater der Idee“ ohne Versuche bis zur Fertigungsreife durchgedrückt. Dies bedeutet, dass aus den handgefertigten Modellen bereits die zeit- und kosten aufwendigen Formen für den Rumpf und das Deck hergestellt werden, welche unmittelbar für die Produktion eines voll funktionstüchtigen Bootes dienen, das anschließend für eine erste Fahrerprobung benutzt wird. Diese ersten „Testboote“ werden später häufig als Serienboot verkauft, ausgenommen, Reparaturen und/oder Zerstörungen lassen einen Verkauf nicht mehr zu oder es handelt sich um ein grundsätzlich neues Konzept, das zunächst auf seine Realisierbarkeit und Anwendbarkeit hin untersucht werden muss.

Im Rahmen dieser IST-Analyse wird der komplizierte Fall zugrunde gelegt, dass die Aufträge für die MSB-Entwicklung und die Herstellung eines Prototyps von zwei Unternehmen ausgeführt werden (vgl. Kap. 3.3 und **Abbildung 3-3**). Damit ergibt sich ein Problem hinsichtlich der Übermittlung der Konstruktionsunterlagen und Fertigungshinweise an die produzierende Bootswerft. Nur sehr wenige Bootkonstrukteure setzen ein 3D-CAD-System ein und verfügen deshalb nur über die üblichen Papierzeichnungen, deren Nutzung für die Herstellung eines Prototyps durch eine nachgeschaltete Produktionsfirma sehr aufwändig ist, da mit der Umsetzung dieser Unterlagen in fertigungsgerechte Dokumente per Hand die Fehlerquellen erheblich sein können. Aber selbst das Vorhandensein eines 3D-CAD-Systems würde nicht viele Vorteile bringen, wenn nicht gleichzeitig die dafür erforderliche IT-Infrastruktur im gesamten MSB-BAU, einschließlich der Tochter-Unternehmen, vorliegt. Die Voraussetzung dafür ist die Installation eines umfassenden Produktdaten-Modells (vgl.

Abbildung 3-3, großes Fragezeichen in der Mitte), in welchem der Bootkonstrukteur die vorhandenen digitalen Informationen einbringt und die von den weiteren beteiligten Unternehmen zur eigenen Nutzung abgerufen, eventuell modifiziert und wieder gespeichert werden können. Ohne der IST-Analyse diesbezüglich vorzugreifen, kann schon jetzt festgestellt werden, dass diese Voraussetzungen nicht gegeben sind (vgl. Kap. 3.9 und Kap. 3.10).

Ein derartiges Produktdaten-Modell würde auch die gesamte Produktentwicklung wesentlich vereinfachen und die angestrebten Lösungen lassen sich erheblich schneller und auch sicherer gestalten. Die in der **Abbildung 3-3** dargestellten Rückkopplungen und Wechselwirkungen zwischen den drei Teil-Prozessen der Produktentwicklung verlangen bei einer manuellen Vorgehensweise eine äußerst hohe Aufmerksamkeit durch die jeweils ausführende Person. Hierbei sind zweifelsfrei einzelne Datenübertragungsfehler vorprogrammiert. Wenn diese nicht rechtzeitig bemerkt werden, ergeben sich daraus für das jeweils betroffene Unternehmen erhebliche Folgekosten. Wenn kein Produktdaten-Modell vorliegt, sollte als Hersteller eines Prototyps nur ein produzierendes Unternehmen ausgesucht werden, welches später auch die Serien-Produktion des neuen MSB übernehmen kann.

Die Neuentwicklung eines MSB und die anschließende Herstellung eines Prototyps bedeutet nicht automatisch, dass dieses neue Produkt auch tatsächlich in Serie produziert wird. Aus diesem Grunde werden allein aus Kostengründen die Einbauten auch nicht im Original eingebaut, sondern durch so genannte *Dummys* ersetzt. Diese *Dummys* sind häufig gefüllte Wassertanks, die dem Gewicht der jeweiligen Einbauten entsprechen und die an den später vorgesehenen Orten der Originale positioniert und auch befestigt werden. Dies ist schon deshalb notwendig, damit die Lage des Schwerpunktes den konstruktiven Vorgaben entspricht, die für die Fahreigenschaften und für die Stabilität des MSB vom Konstrukteur zu Grunde gelegt worden sind.

Testfahrt

Wie bereits deutlich wurde, ist die Bemessung des Antriebes und damit der Motorenstärke ein großes Problem, welches noch zusätzlich durch die richtige Wahl des Preis- / Leistungsverhältnis verstärkt wird. Vor einer ersten **Testfahrt** muss ein MSB zunächst eine Überprüfung der erforderlichen Bootsautriebseignungsversuche gemäß der CE-Richtlinie ISO12772 1-3, Auftriebsuntersuchung, max. Motorleistung, einzuhaltende Sichtkriterien, etc. bestehen. Hierbei werden die Bootsautriebseigenschaften bei unterschiedlichen Verlagerungen der maximal zulässigen Beladung überprüft. Dieser Versuch ist vorgeschrieben, um einerseits die maximale Beladung zu definieren und um andererseits zu vermeiden, dass bei

einer ungewollten plötzlichen Verlagerung der vorhandenen Ladung an Bord (Passagiere und anderes) ein Kippen bzw. Sinken des Bootes verursacht wird. Wenn die Bootkonstruktion den ISO-Basisanforderungen entspricht, kann nun mit Hilfe von Testfahrten eine Optimierung des Antriebskonzeptes durchgeführt werden, die gegebenenfalls eine Rückkopplung innerhalb der Produktentwicklung zur Folge haben kann. Allerdings ist hier unbedingt die Frage zu klären: „**Was kann und was wird wirklich wie oft getestet?**“

Als erstes sei hier unbedingt angemerkt, dass häufig nur eine Testfahrt durchgeführt wird, auch wenn die Ergebnisse nicht zufriedenstellend sind. Allein zur Überprüfung der richtigen Propellerwahl sind sicherlich mehrere Testfahrten notwendig, wie die Darstellung der Propellerauswahl gezeigt hat. Einer der Gründe mag sein, dass für die durchzuführenden Testfahrten keinerlei Zwang besteht und auch keine Norm vorliegt, welche die zu ermittelnden Testwerte definiert. Dies hat zur Folge, dass häufig von Fachzeitschriften Testfahrten in Auftrag gegeben werden, um die so ermittelten Ergebnisse anschließend gewinnbringend zu publizieren. Die Aussagekraft dieser Ergebnisse ist für den späteren Käufer eines MSB ohne jeglichen Nutzen, da diese Testergebnisse eine sinnvolle Beurteilung der Fahreigenschaften nicht gestatten.

Eine intensive Literaturrecherche zeigt in ähnlicher Form, dass die momentan verfügbaren und gelegentlich zum Einsatz kommenden Beurteilungskriterien über das Fahrverhalten von MSB überwiegend auf allgemein formulierten Kriterien und auf der Wiedergabe von einzelnen Werten beruhen, ohne dass die Bedingungen für deren Ermittlung genauer erläutert wird. Inhaltlich sind, wie bereits in der Einleitung dargestellt, dort immer die folgenden Angaben zu finden über:

1. Zeiten zur Erreichung der maximalen Höchstgeschwindigkeit und wann eine Gleitfahrt oder wann eine ganz bestimmte Geschwindigkeit z. B. 20 Kn erreicht wird.
2. Sicherheiten über allgemeine Manövrierfähigkeit eines Bootes, wobei Kurvenradien und Bootsreaktionen abgeschätzt und notiert worden sind.
3. Geräuschbildung durch Motor, Wasser und Wind (dB Meter) und Geruchs- und Emissionsbelastung durch CO, Verbrennungsgase und Qualm.
4. Kraftstoffverbrauch bei optimaler Marschgeschwindigkeit.

Die Objektivität dieser in der Literatur oder in Fachzeitschriften angegebenen Werte leidet unter anderem auch darunter, dass als Messgeräte z.B. ein Hand-GPS und eine Stoppuhr benutzt werden und somit der subjektive Eindruck bzw. die persönliche Bewertung der

Testperson in die ermittelten Werte mit einget. Diese Messungen lassen zwar schon eine recht gute, aber nur allgemeine Bewertung eines MSB zu. Darüber hinaus werden die jeweils erfassten Daten für eine weitere Verarbeitung in den produzierenden Unternehmen kaum genutzt, da keine sinnvolle Speicherung dieser Daten vorgenommen wird.

So können zwar sehr erfahrene Fachleute aus diesen unzureichenden Beurteilungskriterien sofort erkennen, ob der richtige Propeller montiert ist, ob der richtige Antrieb (Übersetzungsverhältnis Motor – Propeller) vorgesehen oder ob die Motorleistung unterdimensioniert ist, der Kunde hingegen hat kenntnisbedingt diese Möglichkeit nicht. In all diesen Fällen wird das Boot nur eine unzufriedene Höchstgeschwindigkeit oder nur nach einer zu langen Fahrzeit die Gleitfahrt erreichen oder extrem laute Geräusche aufzeigen oder einen zu hohen Kraftstoffverbrauch erfordern. Besonders, wenn ein Boot zunächst unbeladen und anschließend beladen untersucht wird, kann zwar eine nicht ausreichende Motorleistung schnell und einfach diagnostiziert werden, aber alles Weitere kann sicherlich nicht objektiv kritisiert werden.

3.5 GP Vertrieb

Im GP Vertrieb wird von dem Unternehmen MSB-BAU kein direkter Vertrieb vorgenommen, sondern für den Vertrieb der MSB wird ein möglichst gut gestreutes und mit sehr guten Fachleuten ausgerüstetes, weltweites Händlernetz aufgebaut, welches permanent betreut und überwacht wird. Alle Händler sind selbstständig tätig und per Vertrag an MSB-BAU gebunden (vgl. **Abbildung 3-2**). Der Trend geht heute in die Richtung, nur Händler (Distributoren) aufzubauen, die auch umfassend so genannte Marinas¹ betreiben. Diese können im Rahmen ihrer eigenen Tätigkeit auch neue Kunden für ein MSB ansprechen oder durch so genannte „*Schnupperkurse*“ (Boot fahren, Trailer benutzen, Bootspflege und –Wartung, etc.) neue Kunden gewinnen.

In einem Produktentstehungsprozess für ganz „*normale Konsumgüter*“ nimmt ein Vertrieb bei einer Produkt-Neuentwicklung seine Tätigkeit erst mit dem Beginn der Produktion dieses Produktes auf, da zu diesem Zeitpunkt alle Randbedingungen geklärt sind und darüber hinaus alle Informationen vorliegen, die entsprechende Marketingaktivitäten auslösen können, damit der Markteintritt des neuen Produktes gut vorbereitet ist. Im MSBB liegt eine

*Marinas*¹ = Sportboothafen oder Yachthafen

ganz andere Situation vor, da nach Abschluss der Produktentwicklung und dem Vorhandensein eines Prototyps noch nicht sicher ist, ob dieses Produkt in Serie gebaut wird. Dies liegt unter anderem daran, dass ein MSB nicht zu den so genannten „preiswerten“ Produkten gehört, da die Herstellkosten wegen der überwiegenden Handarbeit erhebliche Kosten verursachen und darüber hinaus auch nicht sichergestellt ist, dass das neue Produkt in dem vom MSB-BAU gewünschten Umfang von den Kunden auch angenommen wird.

Deshalb werden vor einer Auftragserteilung an das produzierende Tochter-Unternehmen die Neuentwicklungen vom **Vertrieb** 2 - 3 Tage lang bei **Händler**tagungen (**HT**) den Händlern vorgestellt. Diesen ist die aktuelle Marktsituation bestens bekannt und sie besitzen auch die notwendige Erfahrung zu beurteilen, ob dieses Produkt vertriebsfähig ist. Für diese **HT** gibt es zwei Kategorien. Die **HT** der ersten Kategorie finden immer nur einmal jährlich statt, zu welcher ausschließlich nur die wichtigsten (größten) an MSB-BAU vertraglich gebundenen Distributoren eingeladen werden. Die Veranstaltungsorte wechseln, wobei möglichst immer einer der Distributoren mit einer Marina ausgewählt wird. Es folgen dann weitere, länderspezifische **HT** (Italien, Frankreich, Deutschland, Griechenland, etc) der zweiten Kategorie, wo nicht nur die Neuentwicklungen sondern auch die Weiterentwicklungen vorgestellt werden und an denen nun möglichst alle Händler eines Landes oder einer Region teilnehmen. Diese **HT** werden zeitlich so organisiert, dass diese nicht in den regionalen Ferien und möglichst immer im Zusammenhang mit einer bevorstehenden Bootsmesse durchgeführt werden.

Diese Veranstaltungen geben einen Überblick über die neuesten organisatorischen Entwicklungen des MSB-BAU, die in den letzten 2 - 3 Jahren realisierten technischen Neuentwicklungen (Boote, Motoren, Zubehör), die in den nächsten Monaten zu erwartenden technischen Neuerscheinungen und natürlich ausführliche Beschreibungen der ausgestellten Produkte (Boote, Motoren, Zubehör). Parallel zu den Präsentationen finden auch Testfahrten der einzelnen Boote statt. Idealerweise befindet sich auf jedem Boot ein Skipper, welcher die besonderen Eigenschaften eines Bootes den Händlern in der Landessprache erläutern kann. Die Händler können während der Testfahrten die Leistungsentfaltung des Bootes erfahren, die Fahrtüchtigkeit erproben sowie die Verarbeitung, Ausstattung und angebotenen Extras des Bootes begutachten. In den nachfolgenden Gesprächen wird erörtert, was noch an den Booten zu verbessern oder zu ändern ist.

Die Händler haben auf diesen **HT** auch die Gelegenheit ihre Bestellungen entsprechend der von ihnen erwartenden Kundenwünsche und Regionen gegenüber dem **Vertrieb** abzugeben

(vgl. **Abbildung 3-3**). Die Händler müssen die von ihnen bestellten Produkte selbst vermarkten. Dies erfolgt bei händlerinternen Verkaufsveranstaltungen oder Bootsausstellungen oder durch eigene Marketingaktionen. Manchen Händlern bietet der **Vertrieb** für ihre Bootsausstellungen ihre Hilfe an, indem dieser dem Händler Boote, Motoren und Fachpersonal zur Verfügung stellt. Gelegentlich kommt es auch vor, dass die Händler an einem ganz bestimmten Bootstyp kein Interesse haben bzw. dieses für nicht vertriebsfähig halten und dann wird dieser Bootstyp nicht produziert und dadurch müssen die Kosten für die Bootentwicklung von MSB-BAU als Defizit verbucht werden.

Bei diesen **HT**-Gesprächen werden auch zukünftige Entwicklungsrichtungen erörtert. Das beinhaltet unter anderem die generellen Bootstypen und -größen, die Ausstattungsmerkmale, die zu verwendenden Materialien und die Motorisierungswünsche. Darüber hinaus wird auch ausführlich über die Tätigkeiten der Konkurrenz diskutiert. Neben diesen speziellen Vertriebsthemen werden noch weitere Themen im Detail behandelt. Die oberste Priorität haben die (meist gewaltigen) Qualitätsprobleme. Deshalb werden diese **HT** von den Händlern auch gerne dazu genutzt, um sehr intensiv diese Qualitätsprobleme zu besprechen und mögliche Lösungsvorschläge zu diskutieren. Denn diese Qualitätsprobleme können, vertragsbedingt, zu verheerenden Folgen bei den Händlern führen. Die Abwicklung eines eventuellen Qualitätsproblems ist immer dann besonders schwierig, wenn sich das Boot im Ausland befindet und deshalb eine sehr zeitintensive und aufwendige Kommunikation erforderlich ist. Als zweite Priorität ist wie überall die Preisgestaltung zu nennen. Der Preis muss zwar attraktiv und konkurrenzfähig sein, aber für alle Beteiligten auch einen Gewinn garantieren. Auch hier wird wieder sehr deutlich, dass das Fehlen eines Produktdaten-Modells die Abwicklung insgesamt erschwert.

Zu den weiteren Aufgaben des **Vertriebes** gehört auch die Erstellung der zukünftigen Kundenerwartungen, in welche unbedingt die eigene Preisentwicklung sowie die Produkte und die Marketingaktivitäten der Konkurrenz im Detail mit einbezogen werden müssen. Leider zeigt die Erfahrung, dass diese Informationen wenig strukturiert und nicht sinnvoll dokumentiert werden, was wiederum eine spätere Umsetzung fast unmöglich macht. Im Rahmen der Definition der Kundenerwartungen werden fast alle neuen Boote noch einmal Probe gefahren und die Ausstattung und die Auswahl der Optionen noch detaillierter festgelegt. Des Weiteren werden regionale Wünsche (Ausstattung, Instrumentierung, Präferenzen in der Motorenauswahl, Farben, etc.) besser definiert, um kostengünstige und aus logistischer Sicht möglichst leicht zu koordinierende Lösungen zu finden.

Der Vertrieb führt aber nicht nur die **HT** durch, sondern unterstützt durch umfangreiche Werbungen (Erstellung von Testberichte, Werbung in Zeitschriften, Bootsausstellungen, etc.) die von ihm autorisierten Händler bei dem Verkauf seiner Produkte. So kann z.B. zur Unterstützung der Kundengenerierung ein einfaches „*Brainstorming*“ helfen, welches darauf basiert, darzustellen

- wie leicht Gründe **gegen** den Bootssport, aber
- wie schwer gute Gründe **für** den Bootssport zu finden sind.

Für die Händler gilt ähnliches wie für den **Vertrieb** selbst. Ein MSB muss so schnell wie möglich ohne zusätzliche Kosten (Änderungsarbeiten, Qualitätsprobleme, zusätzliche Modifikationen, Versuche, etc.) verkauft werden. Hingegen werden von den Händlern einzelne Optionen (Radar, GPS, Polster, Holzanbauteile, Radio / DVD / Funk) gerne noch zusätzlich installiert und mit hohem Gewinn verkauft. Darüber hinaus gehören auch die zwingend notwendige Motoreninspektion, der Motorenservice bzw. die Wintervorbereitung zu den profitablen Einnahmen der Händler.

Wenn der **Vertrieb** alle Bestellungen durch die Händler vorliegen hat, kann der **Vertrieb** die Produktion der Neuentwicklung des MSB gemäß der Abbildung 3-3 über die Produktplanung in Auftrag geben. Auch hier wird wieder deutlich, dass die Produktplanung nicht während der gesamten Entwicklungszeit eines MSB umfassend informiert ist sondern erst mit dem Abschluss über alle notwendigen Informationen verfügt.

3.6 GP Serien-Produktion

Zu dem GP Serien-Produktion wird auch die Arbeitsvorbereitung mit einbezogen. Im MSBB gehört zu der Arbeitsvorbereitung in erster Linie die Anschaffung bzw. Herstellung der Formen aller notwendigen Bauteile (Rumpf, Längsversteifungen, Deck, Inneneinsatz, Kabine, Verkleidungen, Klappen, Bänke und Deckaufbauten etc.) entsprechend den Konstruktionszeichnungen bzw. den angefertigten Bauteilen aus dem Modellbau. Des Weiteren müssen die einzelnen Prozessschritte für das zu fertigende Boot logistisch so aufbereitet werden, dass diese Prozesse nahtlos in den vorhandenen Produktionsprozess integriert werden können. Neben den Rohstoffen für den Laminierungsprozess [25] müssen auch alle benötigten Bauteile und Komponenten (Zukaufteile oder Eigenherstellung)

identifiziert und an einer geeigneten Stelle in der Produktionshalle gelagert werden. Als Voraussetzung für eine sehr gute Logistik muss bereits in der Produktionsplanung eine optimale Losgröße der Bauteile definiert werden, damit die gelagerten Bauteile zeitnah verarbeitet werden können. Für diese Rückkopplung muss ein möglichst guter Kompromiss für die Losgröße gefunden werden, denn eine zu geringe Losgröße kann zu einem Abbruch der Produktion führen und eine zu hohe Losgröße erfordert erhöhte Lagerkosten.

Wie bereits in Kap. 3.4.3 ausgeführt, wird das erste fertig gestellte Boot als Prototyp bezeichnet. Aus dem vorliegenden Holzmodell werden alle Formen für die Hauptkomponenten hergestellt. Dies geschieht heute noch meistens von Hand (kleine Rumpfformen bei geringen Stückzahlen). Sehr selten wird mittels eines 5 Achsen-Hochgeschwindigkeits-Roboters (große Rumpfkonstruktionen und große Stückzahlen) aus „Hartschaum Polystyren“ ein Modell (Plug) im Maßstab 1:1 entsprechend der späteren Bauform hergestellt.

Bei der Verwendung eines 5-Achsen-Roboters wird eine Form im ersten Schritt in ca. 15 - 25 min (je nach Größe) grob gefräst (rough cutting). Anschließend wird ebenfalls per Roboter mittels eines Extruders eine 20 mm starke PU-Schicht auf die Form aufgetragen. Dies erfolgt in Streifen zu jeweils 5 mm Breite und benötigt ca. 3 - 4 Stunden. Nach dem Aushärten der PU-Schicht wird die Oberfläche zunächst fein abgefräst (3 - 4 Stunden) und dann poliert (30 - 60 min). Dieser Aufwand ist für die Herstellung des Modells (Plug) unbedingt notwendig, wenn eine besonders hochwertige Oberflächenbeschaffenheit erreicht werden soll. Deshalb muss die Oberfläche hochglänzend poliert und frei von Unebenheiten sein.

Die Nutzung eines Roboters kommt allein aus Kosten- und auch aus Platzgründen sehr selten zum Einsatz, obwohl die Formen hier sehr sauber und mit einer sehr genauen Toleranz hergestellt werden können. Darüber hinaus kann bei Bedarf (höhere Nachfrage oder eine beschädigte Form) sehr schnell eine neue Form mit exakt den gleichen Dimensionen erzeugt werden. Auf diese so genannten Negativ-Formen wird während der Produktion entsprechend der Aufgabenstellung eine Kunststoffschicht aufgetragen, die im Ergebnis jeweils einer der geforderten Hauptkomponenten (vgl. **Abbildung 3-6**) entspricht.

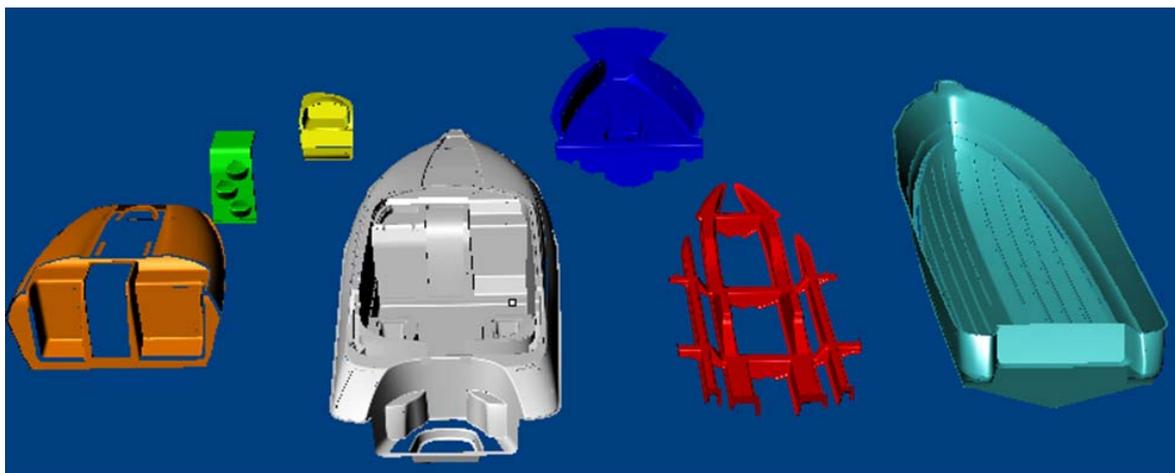


Abbildung 3-6: Hauptkomponenten eines Bootes

Nach dem Entformen der Hauptkomponenten müssen diese nachgearbeitet werden. Alle Ecken und Kanten werden entgratet bzw. geschliffen. Diese Arbeiten werden je nach Betriebs- und Losgröße per Hand oder mit einem Roboter ausgeführt. Die später genutzten Klebeflächen an Rumpf und Deck werden geschliffen und auf die korrekten Masse geschnitten. Ähnliches gilt für den Versteifungsrahmen, bevor dieser in den Rumpf einlaminieren wird. An Rumpf und Deck werden zusätzlich alle weiteren Öffnungen, Bohrungen und Schnitte durchgeführt um den späteren Einbau von Instrumenten, Klappen, Bugfenstern, Türen, Sitzbefestigungen, Cockpiteinschübe, Fensterrahmen sonstiger Einbauteile sauber zu halten und zu erleichtern.

Da die Möglichkeiten der 3D-CAD-Technik heute kaum genutzt werden, müssen die Formen zum größten Teil in mühsamer Handarbeit hergestellt werden, wodurch sehr oft erhebliche Passungengenauigkeiten entstehen. Das bedeutet, dass viele Einbauteile (Schottwände, Türen, Sanitäreinrichtungen, Treppen bis hin zu den Motoren und Zusatzaggregaten) erst bei dem Bau des Prototyps exakt angepasst werden können. In der Folge führt dies zu sehr zeitaufwendigen Modifikationen der Einzelkomponenten bevor diese überhaupt eingebaut werden können. Dieser Zeitaufwand und die dabei nicht zu vermeidenden Beschädigungen der Einbauteile treiben die Herstellungskosten in die Höhe. Neben den zusätzlichen Kosten ist ein weiterer Nachteil nicht zu unterschätzen, nämlich dass zu diesem Zeitpunkt nur noch geringe Korrekturen möglich sind.

Anschließend gelangen die Hauptkomponenten in die Montagehalle an die jeweilige Montagestation, an welcher der Einbau der Inneneinrichtungen, Motoren und Aggregate, Verkleidungen, elektrische Leitungen und Entertainmenteinrichtungen ausgeführt werden.

Parallel zu diesen Arbeiten werden weitere Innenraumbauteile z. B. aus furniertem Holz hergestellt. Diese Bauteile werden überwiegend ebenfalls in der hauseigenen Produktion gefertigt. Während der Montage müssen unbedingt die aus dem Prototypenbau und der anschließenden Testfahrt ermittelten Änderungen berücksichtigt werden. Die **Abbildung 3-7** zeigt grob den Gesamtproduktionsablauf.

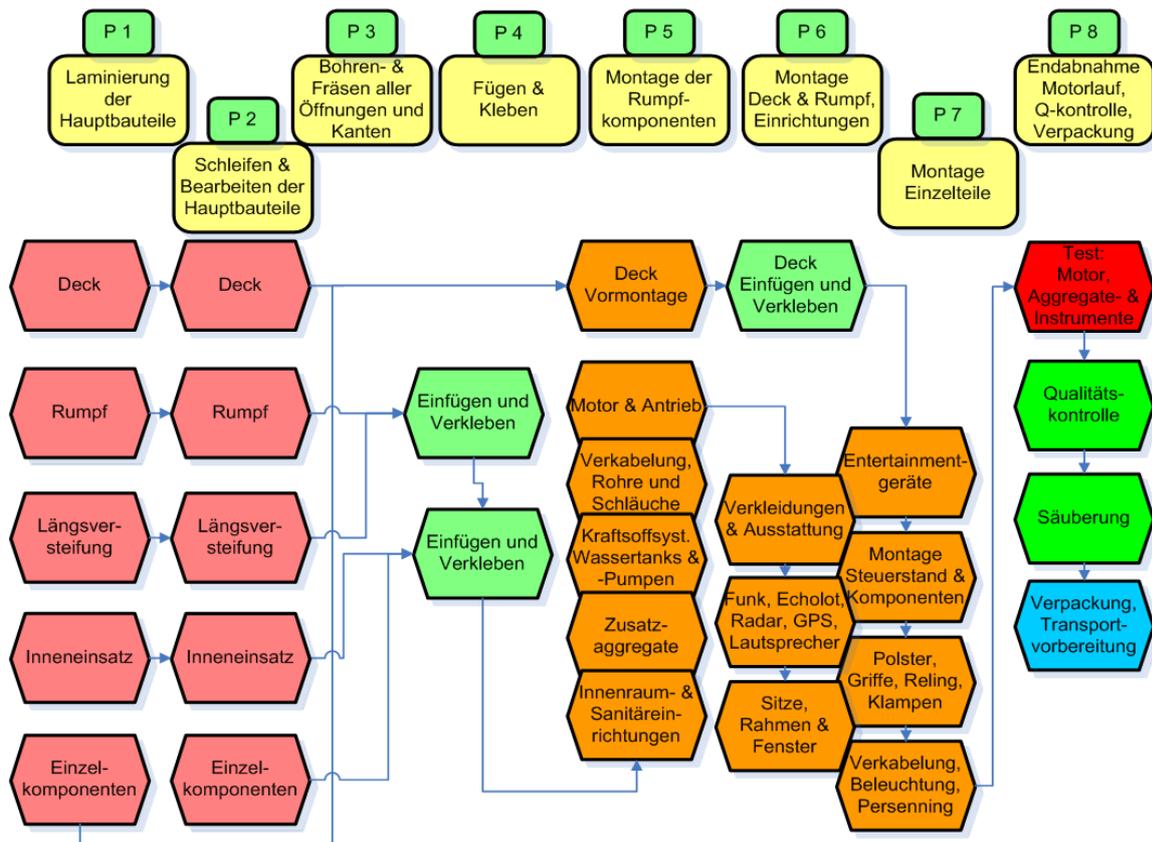


Abbildung 3-7: Grober Produktionsprozess

Für die Montage des Bootes wird ein detaillierter Produktionsablaufplan mit genau festgelegten, gleichen Taktzeiten (z. B. 2h) für jeden Prozessschritt erstellt. Bei der Erstellung müssen natürlich die örtlichen Bedingungen berücksichtigt werden, da die Größe und Aufteilung der Produktionshallen eine große Rolle bei der Positionierung der Fertigungsstationen spielen. Der Produktionsfluss ist so zu gestalten, dass keine aufwendigen Einrichtungen benötigt werden, um einen gleichmäßigen und sicheren Produktionsfluss zu gewährleisten. Die Fertigungstaktzeiten müssen für jede Fertigungsstation gleich gehalten werden. Das ist besonders schwierig, wenn verschiedene Bootsmodelle mit der gleichen Linie gefertigt werden sollen, da große Motoryachten wesentlich mehr Komponenten enthalten als kleine Sportboote. In größeren Unternehmen

mit verschiedenen Modellen werden in der Regel mehrere Produktionslinien für die unterschiedlichen Modelle aufgestellt.

Zu Beginn der Serienproduktion wird oft auch Hilfe von den einzelnen Zulieferern bereitgestellt, da einige Zukaufkomponenten (Motoren und Steuereinrichtungen) einen nicht unerheblichen technischen Aufwand für deren Einbau mit sich bringen. Dazu kommt, dass immer mehr computergesteuerte Technik verwendet wird, welche nach der Montage von einem Techniker programmiert und kalibriert werden muss. Mangelhafte Installationen und Programmierungen führen zu einer extrem hohen Kundenunzufriedenheit, da die Systemausfälle zu einem kompletten Ausfall der Steuerung führen können. In der Folge verursachen derartige Fehler hohe Kosten, da geschulte Techniker auf der Basis langer und teurer Anfahrten häufig nur kleine Korrekturen durchführen müssen.

3.7 GP Service

Die Leistungen im GP **Service** werden überwiegend durch die Händler erbracht, allerdings mit äußerst unterschiedlichen Absprachen. So kann z. B. der MSB-BAU in den Verkaufspreis eine durchschnittliche Service- und Garantieleistung an den Händler mit einkalkulieren (höhere Marge). In diesem Fall bleiben alle folgenden Garantiekosten beim Händler. Dieses System zwingt den Händler jeweils eine ausführliche Qualitätskontrolle und eine genaue Auslieferungsinspektion durchzuführen. Allerdings besteht hierbei die Gefahr, dass Garantieanträge der Kunden möglichst kostengünstig und damit nur so gut wie nötig durchgeführt werden. Dieses Risiko führt letztendlich dazu, dass ein Händler den Verkauf einer Bootsmarke aufgibt, wenn die Kosten der Garantiefälle die erwarteten Gewinnmargen übersteigen. Der Leidtragende einer derartigen Garantieabwicklung ist meistens der Kunde.

Im Allgemeinen kann ein Händler alle Garantie- und Reparaturleistungen beim MSB-BAU zurückfordern. Das ist vorteilhaft für den Kunden, da seine Mängel schnell und auch umfangreich bearbeitet werden. Als nachteilig anzusehen ist, dass die MSB-BAU immer nach Möglichkeiten suchen muss, wie sie die Garantieanträge und die Reparaturen besser kontrollieren kann, da sie sonst Gefahr läuft, wesentlich mehr als nötig an den Händler zurück zu erstatten. Das Resultat ist ein sehr aufwändiger Prozess, für welchen eine detaillierte Problembeschreibung (oft in englischer Sprache inklusive Bilder) erforderlich ist,

was manchmal zu vielen Missverständnissen und Kommunikationsproblemen führen kann und am Ende „leidet“ wieder der Kunde.

Als äußerst nachteilig für die weiteren Entwicklungen muss hier das Fehlen eines Daten-Modells angemerkt werden, da es keine Möglichkeit gibt, die negativen Erfahrungen aus der Anwendung eines MSB zielgerichtet einem MSB zuzuordnen, damit diese Defizite bei den nachfolgenden Produktentwicklungen vermieden werden (vgl. „Rückkopplungen“ in Abbildung 3-1). Mit der momentan üblichen Form einer schriftlichen Mitteilung fehlt die direkte Zuordnung zu dem jeweils betroffenen MSB. Dies birgt die Gefahr in sich, dass diese negativen Auswirkungen bei einer Weiterentwicklung dieses MSB nicht berücksichtigt werden, da dies ausschließlich von der Aufmerksamkeit des Konstrukteurs abhängig ist.

Besonders wichtig ist eine realistische Beurteilung der notwendigen Schulungsmaßnahmen bei der Einführung einer neuen Technologie. Wie bereits im Abschnitt GP Serienproduktion erwähnt wurde, führt die Verwendung neuer Technologien zu vielen teuren, aber vermeidbaren Problemen. Diese können wesentlich reduziert werden, indem bereits im Vorfeld eine effiziente Planung der notwendigen regionalen Schulungsmaßnahmen, der international zur Verfügung stehenden Service Techniker und aller notwendiger Ersatzteile durchgeführt wird. Da alle Händler und auch der Absatzmarkt bekannt sind, können somit bereits im Vorfeld alle Händler gezielt geschult und umfassend eingewiesen werden. So kann frühzeitig flächendeckend ein optimaler Service gewährleistet werden. Ohne ein jederzeit aktualisiertes Datenmodell ist eine derartige Vorgehensweise nicht effektiv.

Die Aufgaben im GP Service sind sehr vielseitig und auch konfliktbehaftet, da von den Kunden und den Händlern nicht immer eindeutige Forderungen an MSB-BAU gestellt werden. Der GP Service ist in erster Linie für drei Bereiche verantwortlich:

- Ermittlung der durch die Produktion verursachten Qualitätsprobleme, obwohl diese sich kaum eingrenzen lassen und somit die zu erwartenden Kundenreklamationen nicht vorhersehbar sind. Da die Fehlerquellen in der Produktion so vielseitig und gleichzeitig die vorhandenen Möglichkeiten der Qualitätskontrolle (hohe Kosten, fehlende Technologien) nicht gut genug sind, ist kaum auszuschließen, dass ein Boot fehlerlos ausgeliefert wird.
- Überprüfen der Kundenreklamationen, da seitens der Händler häufig versucht wird, den Kaufpreis durch Angabe von Mängeln nachträglich zu reduzieren. Die Händler

wissen, dass bis zu einer gewissen Schadenssumme der Arbeitsaufwand für die Untersuchung des Schadens für den Service zu groß ist. So kommt es, dass der Service Garantieanträge ohne weitere Kontrollen akzeptiert, obwohl der Verdacht des Betruges manchmal sehr nahe liegt.

Um diese Händlerstrategien zu unterbinden, werden den Händlern vom Service ständig verbesserte Prozeduren vorgeschrieben, welche eine genaue Fehlerursachenbeschreibung mit Fotodokumentation verlangen. Da aber kein einheitliches, unternehmensweites Produktdatenmodell vorliegt, führen diese scheinbaren Verbesserungen nicht zu dem vom Service gewünschten Ziel.

- Umfassende Beratung bei allgemeinen Reparaturarbeiten und Ersatzteilanfragen der Händler sowie Schulung der Händler.

Bei größeren Kundenreklamationen, welche immer von den Händlern zu bearbeiten sind, muss der GP Service entscheiden, ob das Boot zur Reparatur zurück zur Produktionsstätte transportiert werden muss oder ob geschulte Techniker zum Boot reisen sollen. Die Verhandlungsmethoden des GP Service sind bezüglich der Unternehmensreputation und der Kundenzufriedenheit äußerst wichtig. Um wirklich alle Beteiligten zufrieden zu stellen, sind sehr gute Kenntnisse notwendig über:

- das Produkt (Boot)
- alle Anbauteile (Optionen, Zukaufteile)
- den Produktionsprozess
- die vorhandenen Qualitätskontrollen sowie über die verwendeten und einsehbaren Kontrollpläne
- die Auslieferungskontrolle und Transportverfahren
- die Händlerübernahme und deren Kontrollverantwortung bezüglich der Auslieferung an die Kunden
- die allgemeine Nutzung des Produktes bzw. über mögliche, fehlerhafte Nutzung, welche zu Problemen führen kann
- die Rechte der Händler, der Kunden und des Werkes über die nationalen und internationalen gesetzlichen Garantierebestimmungen und über unternehmens-eigene vertraglich festgelegte Garantiebestimmungen

Die dafür notwendige Kommunikation erfolgt in erster Linie per Telefon. Natürlich werden heute auch verstärkt PC-Techniken angewendet, aber das allgemeine Ausbildungsniveau sowie die Tatsache, dass viele Servicemitarbeiter zum Teil schon seit 15-25 Jahre in den Unternehmen beschäftigt sind, lassen eine sinnvolle und effiziente Nutzung heutiger Kommunikationstechniken oft nicht zu.

3.8 Beziehungen zwischen Kunde, Händler und Unternehmen

Wie die **Abbildung 3-3** zeigt, hat der Kunde keinen Zugriff auf weitergehende Informationen über das von ihm gewünschte MSB. Dies bedeutet, er ist entweder auf die allgemeinen Informationen aus den vom Vertrieb zur Verfügung gestellten Katalogen oder auf die subjektiven Testberichte einzelner Journalisten oder auf die Hinweise und Argumente, des für ihn zuständigen Händlers angewiesen. Somit stellt sich für einen **Kunden** die Frage:

„Welche Möglichkeiten hat der Kunde heute tatsächlich, sich über die Fahreigenschaften eines ganz bestimmten MSB und deren Konsequenzen zu informieren?“

Die Literaturrecherchen haben ergeben, dass momentan für den Bereich der MSB nur sehr wenige Beurteilungskriterien bezüglich des Fahrverhaltens bekannt sind, die eine objektive und vor allem eindeutige Abschätzung für den Kunden ermöglichen. Dies liegt in erster Linie daran, dass die allgemeine Nutzung von MSB im Vergleich zur Kraftfahrzeugindustrie immer noch niedriger ist und somit für die MSB nicht der für Kraftfahrzeuge vorhandene hohe Konkurrenzdruck vorliegt. Dieser mangelnde Druck ist sicherlich ein Kriterium dafür, warum die Anforderungen an die Sicherheit, die Leistung und den Komfort von MSB nicht so hoch sind wie bei den Kraftfahrzeugen. Dieses Manko hat zur Folge, dass

1. die Sportbootindustrie überhaupt keinen Bedarf und keine Notwendigkeit sieht, Anstrengungen bezüglich der Verbesserungen der Fahrleistungen anzustreben,
2. die Messmethoden zur Beurteilung der Fahrleistungen kaum entwickelt sind bzw. werden,
3. ein Kunde gezwungen ist, nur durch speziell entwickelte Messmethoden Antworten auf die von ihm gewünschten Verbesserungen der Fahreigenschaften zu erhalten,
4. dass die meisten der durchgeführten Verbesserungen nur „*subjektiv*“ beurteilt werden können, da diese wegen der fehlenden Überprüfung keine Allgemeingültigkeit aufweisen. Dies wiederum liegt daran, dass

5. der heutige Produktentstehungsprozess im Bereich Sportbootbau sich nicht an dem Lebenszyklus des Produktes „*Sportboot*“ orientiert, sondern er wird in den jeweiligen produzierenden Unternehmen nicht bereichsübergreifend gestaltet und deshalb ist für die Entwicklung von Beurteilungskriterien hinsichtlich der Fahrleistungen auch kein Zugriff auf alle notwendigen Daten möglich.

Dies bedeutet, dass sich der Kunde ausschließlich auf die Aussagen seines Händlers verlassen muss und dies häufig vor dem Hintergrund, dass das produzierende Unternehmen es mit der Liefertreue nicht sehr genau nimmt. Dies wiederum kann dazu führen, dass die späte Lieferung mit der Planung eines Kunden nicht vereinbar ist und der Kunde nicht die für ihn notwendigen Testfahrten mit dem Händler durchführen kann. Dieser Mangel kann bei dem Kunden bei der anschließenden Nutzung seines MSB zu Problemen führen, mit denen er sicherlich nicht rechnen kann. Basierend auf den Erfahrungen des Autors werden nachfolgend ohne die Berücksichtigung einer Priorität die möglichen Gefahrenquellen bezüglich des Fahrverhaltens von MSB auszugsweise aufgeführt:

- Wenn die Einflussfaktoren (Propellereintauchtiefe, Rumpfwinkel, Schwerpunktlage, etc.) auf die allgemeine Fahrdynamik nicht korrekt untersucht worden sind und die Probleme bei den Probefahrten nicht festgestellt werden, kann dies bedeuten, der Kunde kann später nur eingeschränkt Wasserski fahren, da das Boot in engen Kurven anfängt zu ventilieren. Es erfolgt sofort ein Schubabfall und der Wasserskifahrer stürzt. Dies verlangt nach einer konstruktionsbedingten Änderung der Fahrdynamik. Da in dieser Phase aber derartig umfangreiche Änderungen allein aus Kostengründen nicht mehr durchgeführt werden, muss der Kunde sich mit einem Kompromiss zufrieden geben.
- Kunden sind häufig mit dem Fahrverhalten bei der Beschleunigung der Boote unzufrieden. Als Gründe werden genannt: Auftretens eines sehr hohen **Nickwinkels** und die erforderliche Zeit bis zum Erreichen der Gleitphase.
- Des Weiteren können extrem auftretende **Rollwinkel** große Unsicherheiten bei den Passagieren verursachen. Tatsächlich können derartige Vorkommnisse zum Überschlagen eines Bootes führen. Hier muss unbedingt geklärt werden: „*Von welchen Faktoren hängt Rollwinkel ab?*“ In der Literatur finden sich dazu keine korrekten Antworten.
- In engen schnellen Kurven führen extreme **Rumpfwinkel** zum Einhaken des Bootes, so dass in der Folge Passagiere herausgeschleudert werden können. (*Ist dem Autor während einer Testfahrt in Südfrankreich bei ca. 50 km / h tatsächlich passiert!*) In

diesem Zusammenhang besteht zusätzlich noch die Gefahr vom Propeller oder dem Unterwasserteil des Motors erfasst zu werden.

- Bei sehr hohem Wellengang führt eine zu kurze **Propellereintauchtiefe** zu Ventilationsproblemen², die überhöhte Motordrehzahlen mit Schubabfall verursachen.
- Zu tiefe hängende Propeller führen zu Strömungsverlusten sowie Ventilationsproblemen, die einen Schubabfall verursachen können. Des Weiteren entstehen viel zu hohe Nickwinkel in der Beschleunigungs- und Verdrängerphase, was zu einer extrem verminderten Sicht führen kann.
- Mit abnehmender Propellereintauchtiefe wird das Boot schneller und reagiert somit empfindlicher in Bezug auf die Ventilation, insbesondere in einer Kurvenfahrt. Damit ist die Sicherheit der Boote in Extremsituationen zum Teil nicht mehr gegeben und führt deshalb jedes Jahr zu Unfällen, bei denen Passagiere über Bord gehen oder das ganze Boot sich überschlägt.
- Die Sitze und die Haltegriffe in den Booten sind oft unterdimensioniert, da keine Angaben über die vorherrschenden Fliehkräfte und Beschleunigungen existieren. Darüber hinaus sind die Sitze mangelhaft konstruiert und erlauben den Passagieren keinen festen Halt in Extremsituationen z. B. bei einem Ausweichmanöver.

Aber gerade die Fahreigenschaften bei einer Kurvenfahrt, z. B. bei plötzlich eingeleiteten Kurven oder bei Wellensprüngen während gefahrener Höchstgeschwindigkeit müssen objektiv beurteilt werden können. Fahranfänger verschätzen sich leicht beim Kreuzen mit einer Heckwelle eines anderen Wasserfahrzeuges. Es kommt dann zu einem gewaltigen Sprung des Bootes, welcher gefährlich enden kann.

Auch geschieht es immer wieder, dass ein Boot bei hoher Geschwindigkeit plötzlich einem Taucher, Wasserskifahrer, Riff, anderem Boot oder einer Boje ausweichen muss und ein derartig plötzliches Ausweichmanöver kann leicht in einer Tragödie enden. So kann ein schlecht konstruiertes Boot (sehr starker V-Rumpf, hoher Schwerpunkt, extremes Driften bei flachem Rumpfboden, Luftziehen der Schraube, extreme Kräfte in der Lenkung) sich sogar überschlagen oder es kann der Gefahr nicht mehr rechtzeitig ausweichen..

Die eigentlich notwendige Mitteilung solcher Unfälle an den Hersteller geschieht heute rein subjektiv und orientiert sich überwiegend an der Höhe der auftretenden Verletzungen der Passagiere, da in diesem Augenblick der Händler wegen der Schadensregulierung sehr

² *Ventilation = Propeller saugt Luft, es fehlt der Widerstand des Wassers und somit bricht der Schub ab.*

stark involviert ist. Die Ursache für derartige Verletzungen bzw. Schäden bei Unfällen können z. B. sein, der Bruch eines Sitzfußes oder der Sitzlehne, ein abgerissenes Lenkrad oder ein abgerissener Haltegriff, eine aus der Verankerung gelöste Batterie oder Motorhalterung, eine gerissene Windschutzscheibe oder sogar ein gerissener Bootsrumpf.

Die Kenntnis derartiger Defizite interessieren zwar die Unternehmen in hohem Maße hinsichtlich der Weiterentwicklung ihrer Produkte, da aber die dafür notwendigen Kommunikationswege nicht vorhanden sind, können diese Erfahrungen auch nicht genutzt werden. Lediglich die an der jeweiligen Schadensuntersuchung teilnehmenden Journalisten merken an Hand der Stoss- und Platzwunden oder den gebrochenen Rippen der betroffenen Passagiere „*wie gut oder besser gesagt wie schlecht*“ das zu untersuchende Boot in kritischen Fahrsituationen reagiert und werden diese Erkenntnisse in den von ihnen publizierten Testberichten subjektiv wiedergegeben.

3.9 Kommunikation zwischen den Unternehmensbereichen

Wegen der zum Teil sehr weit auseinander liegenden Geschäfts- und Unternehmensbereiche (Europa, USA, Asien, Australien, Afrika), aber auch auf Grund der Sprachenvielfalt wird der größte Teil der Kommunikation in der Sprache „*Englisch*“ durchgeführt und zwar entweder via e-mail (elektronische Post) oder per Telefon. Des Weiteren werden auch regelmäßig Audio- und neuerdings auch (eher selten) Videokonferenzen durchgeführt. Die schriftliche Kommunikation reduziert zwar das Risiko der Missverständnisse und erlaubt eine einfache historische Zusammenfassung und Rückverfolgung der jeweiligen Projekte, allerdings mit dem dafür erforderlichen Aufwand. Dieser Aufwand lässt sich nur durch den Einsatz eines Projektmanagement-Systems reduzieren, welches darüber hinaus auch noch in ein unternehmensübergreifendes IT-Konzept eingebunden ist.

Bei den Projekten, die über mehrere Monate bearbeitet werden, müssen zusätzlich auch Mitarbeiterbesprechungen organisiert und durchgeführt werden. Obwohl diese immer mit einem hohen Anteil an Reisezeit und somit einer Ausfallzeit bezüglich der produktiven Arbeit einhergehen, erlauben diese Versammlungen einen direkten und wesentlich effektiveren Informationsaustausch, mit denen viele Projektdetails und unvorhersehbare Missverständnisse geklärt werden können. Da für alle hier aufgezeigten Kommunikationsmöglichkeiten weder eine organisatorische Grundlage noch ein strukturierter Plan existiert, bleibt festzustellen, dass sowohl die sprachlichen als auch die kommunikativen Fähigkeiten (Regeln der

Diskussionsführung und Argumentation, Nutzung von Medien wie z.B. Flip Charts, Powerpoint Präsentationen, Arbeitspapiere, allgemeine Soft Skills wie Vorträge geben, Emotionen erkennen und bewerten können, eigene Emotionen kontrollieren, etc.) bei den vielen Beteiligten wegen der fehlenden Kontrollfunktionen häufig erheblich vernachlässigt werden.

Grundsätzlich ist die Kommunikation zwischen den Unternehmens-Bereichen sehr unterschiedlich, da auch die Aufgaben der einzelnen Bereiche sehr verschieden sind. Neben der Sprache als eigentliches Kommunikationsmittel werden auch sehr viele graphische Methoden benutzt, welche in der Regel in Präsentationen oder auf Flip Charts dargestellt werden. Dies ist besonders in den kaufmännischen Bereichen der Fall. Sehr typisch ist hier die Verwendung von Linien-, Säulen- und Kuchendiagrammen, welche eine einfache und schnell verständliche Darstellung der Geschäftsergebnisse erlauben.

In der Bootsentwicklung ist das eingesetzte Technologieniveau etwas niedriger. Das liegt zum einen an der wesentlich geringeren Anzahl der zur Verfügung stehenden Fachkräfte und Spezialisten (Schiffsbauingenieure) und zum anderen an den geringeren technischen Anforderungen des Marktes bzw. der Kunden. Aus diesem Grund werden bei Weitem nicht so aufwendige FEM - Analysen zur Steifigkeits-, Gewichts und Geräuschoptimierung durchgeführt. Im MSBB werden für die Bootslängen bis zu 15 m grundsätzlich keine Optimierung angestellt, deshalb werden 3D-CAD-Zeichnungen nur sehr selten gefordert. Ein weiterer Grund ist einerseits in der fehlenden Hardware zu suchen und andererseits ist kaum und nur sehr wenig Personal vorhanden, welches in der Lage ist, diese CAD-Zeichnungen zu bearbeiten. Bei größeren Motoryachten (ab 12 m bis 20 m und mehr) werden hingegen verstärkt CAD- und CAE - Methoden eingesetzt. Das hier beschriebene Technologiegefälle zwischen Motoren- und Bootsentwicklung führt zwangsläufig zu einer „*Barriere*“, welche eine innovative und effiziente Zusammenarbeit zwischen den Bereichen verhindert.

Im Bereich Service wird schon wegen der weltweit operierenden Regionen die Kommunikation immer mehr mittels e-Mail und mit den auf internen Netzwerken basierenden Intranetprogrammen ermöglicht. So können z.B. die Qualitätsprobleme (Garantiefälle) sofort weltweit kommuniziert und deren Lösungen ebenfalls „*am richtigen Ort*“ schnellsten zur Verfügung gestellt werden. Der bereits erwähnte schwierige Zugriff auf 2D- und 3D-Zeichnungen erschwert und verzögert in diesem Zusammenhang die Arbeit der Marketingabteilung wesentlich. Ebenso werden die notwendigen CAD-Zeichnungen meistens zu spät

freigegeben, um eine vernünftige Markteinführung mit Video-Animationen, Detailbildern und Zeichnungen durch den **Vertrieb** in Zusammenarbeit mit den **Händlern** zu bewerkstelligen.

3.10 Eingesetzte Informationstechnologie

Während auf den höheren Geschäftsebenen in erster Linie e-mail und Microsoft Office Applikationen (Word, Powerpoint, Excel, Visio, MS Project) verwendet werden, so werden wesentlich anspruchsvollere Programme (CAD, CAE, FEM, etc.) innerhalb der Entwicklung und Konstruktion der Motoren und Antriebe eingesetzt. Für das Bestellwesen und die Lagerverwaltung werden die aktuell auf dem Markt verfügbaren Softwaresysteme eingesetzt. Außerhalb der Verwaltung, Buchhaltung, FuE und Produktion, d.h. im Service (Qualitätssicherung, Händler- und Kundenunterstützung) und dem Verkauf, ist die Kommunikation auf einem sehr niedrigen Stand.

Die Bestellungen der Händler werden zum größten Teil telefonisch oder per Fax eingereicht. Eine Kommunikation zwischen den Händlern zwecks Teile- oder Produktverfügbarkeit ist nicht möglich. Das Gleiche gilt für nahezu alle Bootswerften. Eine Kommunikation erfolgt lediglich per e-mail, wobei heute kaum Zeichnungen und Informationen über Teile, Material, etc. ausgetauscht werden. Der Austausch von CAD-Zeichnungen zwischen der Motorenkonstruktion und der Bootskonstruktion nimmt bei größeren Motoryachten bereits zu und wird in Zukunft auch bei den kleineren Motorsportbooten vermehrt verlangt werden. Viele regionale Verkaufsabteilungen, welche heute den Geschäftsverkehr mit den lokal angesiedelten Bootswerften betreuen, sind allerdings weder dazu ausgebildet, noch besitzen diese das notwendige IT-Know how, um 2D- oder gar 3D-CAD-Zeichnungen zu bearbeiten.

3.11 Zusammenfassung der Defizite

Die Vorteile des Zusammenschlusses mehrerer weltweit und in Europa tätigen Bootswerften zu einem Unternehmen werden heute kaum genutzt. Das fängt schon bei der strategischen Planung an. Eine einzelne Bootswerft kann aus finanziellen Gründen nicht die notwendigen, aber sehr aufwendigen Marktrecherchen und Strategieberatungen betreiben, um die zukünftige Marktentwicklung entscheidend zu beeinflussen. Aber gerade diese Möglichkeiten muss ein

weltweiter Zusammenschluss der führenden und größten Bootswerften unbedingt für sich nutzen, wenn er in der zunehmenden Globalisierung konkurrenzfähig bleiben möchte.

Es kann mit Sicherheit festgestellt werden, dass genug Ressourcen vorhanden sind, um den Markt zu evaluieren. Allerdings sind die hierfür vorhandenen Kommunikationswerkzeuge zu schwach, um mit der vorhandenen Anzahl der Mitarbeiter eine bestmögliche Unterstützung zur höchsten Zufriedenheit der Werksbesitzer, Händler und der Kunden zu bewerkstelligen und noch dazu eine gute Trendanalyse zu erhalten. Dies gilt bereits für ganz einfache Qualitätsprobleme, welche bei den Händlern auftreten.

Ein weiteres Defizit ist, dass die enormen Marktkenntnisse und die Kenntnisse bezüglich der zukünftigen Markttrends der Händler, welche in den Fachveranstaltungen mit Hilfe von Umfragen, in persönlichen Gesprächen, in Tiefen-Interviews oder in Quizspielen gesammelt werden, nicht richtig dokumentiert und deshalb kaum umgesetzt und somit auch nicht genutzt werden. Der Hauptgrund für die schlechte Nutzung dieser Kenntnisse liegt in der ungenügenden Händlerintegration in den momentanen Gesamtprozess.

Zurzeit wird lediglich bei Bootsausstellungen, Händlerausstellungen und im Internet Werbung für die Produkte betrieben. Das reicht bei Weitem nicht aus, um die große Anzahl von berufstätigen und etablierten, potentiellen Kunden anzusprechen und schon gar nicht um Neukunden zu gewinnen. Die meisten dieser möglichen Kunden haben wahrscheinlich das Geld, aber nicht die Zeit, um sich auf dem aktuellen Bootsmarkt zu informieren und gegebenenfalls zu investieren.

Zusammengefasst bedeutet dies, dass nur mit Hilfe einer gut kommunizierenden und effizient aufgestellten Organisation sich eine effektive und effiziente Projektarbeit realisieren lässt. Die Analyse hat gezeigt, dass die täglichen Aufgaben und auch die Bearbeitung neuer Projekte scheitern an den:

- fehlenden Verantwortlichkeiten,
- nicht ausreichenden Ressourcen,
- zu niedrig geplanten bzw. nicht aufgestellten Budgets und
- zu langen Kommunikationswegen.

Neben den organisatorischen Defiziten ist insbesondere das Fehlen eines unternehmensweiten Produktdatenmodells das größte Problem. Die einzelnen Unternehmensbereiche

müssen sich immer mühsam die für ihre Arbeit notwendigen Informationen beschaffen. Dies führt unter anderem dazu, dass häufig die später vorzunehmenden Einbauten nicht in der gewünschten Form durchgeführt werden können, da die tatsächlichen Masse nicht den Vorgaben entsprechen. Dies liegt sicherlich auch daran, dass die Lieferanten zu wenig in den Prozess integriert sind und die ganze Kommunikation nur über die Produktplanung abläuft. Wenn z. B. die Komponenten der Lieferanten in digitaler Form vorliegen würden und deren Einbau unmittelbar in der Produktentwicklung simuliert werden könnte, entfallen die vorgenannten Probleme bezüglich ihres späteren Einbaus.

Ein weiteres Problem ist dadurch gegeben, dass die vielen negativen Erfahrungen, die in der Konstruktion, in der Produktion, im Service oder während der späteren Nutzung auftreten nicht mit der erforderlichen Sorgfalt dokumentiert und der nachfolgenden Entwicklung zur Verfügung gestellt werden. Allein die Berücksichtigung dieser negativen Erfahrungen führt zu einer erheblichen Kostenreduzierung und steigert die Qualität der Produkte wesentlich, was wiederum das Image des Herstellers enorm verbessert.

Nachfolgend werden nun die Anforderungen an ein rechnergestütztes Konzept für den Bau von Motorsportbooten formuliert.

4 Anforderungen an eine anwendungsorientierte Produktentwicklung

4.1 Allgemeine Anforderungen

Die IST-Analyse hat gezeigt, dass die heute verfügbaren Werkzeuge der Informationstechnologie im Sportbootbau noch nicht in der gesamten Breite der Konstruktion und Produktion von Booten eingesetzt werden. Diese Defizite betreffen einerseits in starkem Maße den kaufwilligen Kunden, da er seine erforderlichen Informationen nur unter äußerst schwierigen Bedingungen erhält und andererseits den Hersteller der Boote, da er das Kaufverhalten nicht richtig einschätzen kann und somit auch nicht in der Lage ist marktgerecht und zukunftsorientiert zu produzieren. Darüber hinaus müssen die Hersteller auch noch die Probleme der verteilten Standorte einzelner Geschäftsbereiche berücksichtigen, die durch den ständigen Zukauf einzelner Unternehmensbereiche entstanden sind. Deshalb muss ein Konzept entwickelt werden, das die enorme Vielfalt der in den einzelnen Unternehmensbereichen vorhandenen Informationen sowohl dem gesamten Unternehmen, den Lieferanten, den Händlern und eingeschränkt auch den Kunden zur Verfügung stellt.

Um in der weltweit zunehmenden Globalisierung wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen zukünftig im Motorsportbootbau unter anderem die folgenden Anforderungen berücksichtigt werden:

1. Die Kundenresonanz, d.h., die Kundenbedürfnisse und die Kundenwünsche müssen sowohl für hochvolumige Produkte als auch für „teure“ Nischenprodukte sowie für alle Neuerscheinungen den aktuellen Marktbedürfnissen angepasst werden und darüber hinaus müssen diese erbrachten Leistungen auch unmittelbar den Händlern zum Vertrieb bereitgestellt werden.
2. Als wesentliche Grundlage muss gewährleistet sein, dass immer nur die momentan weltweit anerkannten Rumpfkonstruktionen berücksichtigt werden und dass die Ausstattung in erster Linie kundenorientiert in Verbindung mit einer sehr guten Fertigungsqualität realisiert wird. Die damit verbundenen Verkaufsargumente lassen sich zusätzlich durch bessere Fahr- und Geräuscheigenschaften sowie einem guten Seegangverhalten bei einer entsprechenden Stabilität des Bootes noch erhöhen. Ebenso spielen sicherlich auch das Gewicht, die Qualität und die Haltbarkeit des Bootes eine wesentliche Rolle. Da diese Kriterien in einzelnen Details voneinander

abhängig sind, deren Ausführungen aber an häufig verschiedenen Orten stattfinden, sind die Anforderungen an die interne Kommunikation besonders hoch.

3. Der durch die Globalisierung entstehende Kostendruck verlangt nach einer profitablen Konstruktion und Fertigung der Sportboote. Dies wiederum verlangt Arbeitsmöglichkeiten, die es gestatten, auch von verschiedenen Standorten aus an dem gleichen Projekt zu arbeiten, ohne dass ein Informationsverlust entsteht und somit an allen Orten der gleiche aktuelle Datenbestand vorliegt.
4. Das Datenmodell muss so konzipiert werden, dass nicht nur die Konstruktion und Fertigung zeit- und kostengünstig arbeiten kann, sondern darüber hinaus sind auch die betriebswirtschaftlichen Bereiche einzubinden, damit ein kostengünstiger Material- und Teileeinkauf zentralisiert vorgenommen werden kann.
5. Der jederzeitige Informationszugriff muss die einzelnen Produktionslinien besser planbar machen und die Markteinführung neuer Produkte zu einem möglichst frühen Zeitraum erlauben.
6. Eine flexible Produktion muss sowohl den von den Kunden geforderten Optionen und Bestellungen Rechnung tragen, als auch auf die häufig vorkommenden saisonalen Schwankungen in gewisser Masse reagieren können. Dies bedeutet, die Produktion muss durch eine einfache Umstellung einer Produktionslinie eventuell verschiedene Bootsmodelle und deren Optionen realisieren oder die Produktionskapazitäten erweitern oder bei einer geringen Produktionsauslastung die Ressourcen auf aufwendige Nischenmodelle konzentrieren können.

Zum besseren Verständnis werden anschließend die zunächst allgemein formulierten Anforderungen in die folgenden Bereiche zusammengefasst:

- Anforderungen an die Organisation
- Anforderungen an die Kommunikation
- Anforderungen an die Informationstechnologie
- Anforderungen an die Prozesse
- Anforderungen an die Produkte

4.2 Anforderungen an die Organisation

In den Unternehmen im Bereich Sportbootbau liegt nur eine sehr geringe oder gar keine Verknüpfung zwischen den weltweit operierenden Entwicklungs- und Produktionszentren vor. Um eine effiziente und effektive Zusammenarbeit zwischen diesen zum Teil weit entfernt aufgestellten Abteilungen zu ermöglichen, müssen in den jeweiligen Unternehmen zunächst die organisatorischen Voraussetzungen geschaffen werden, damit die zweifelsfrei vorhandenen IT-Ressourcen für eine möglichst optimale Kommunikation auch tatsächlich genutzt werden können.

Dies kann z.B. die Installation einer Position „Direktor Operations Excellence“ (**DOE**) sein, dessen Inhaber über das nötige know how verfügen muss, um durch eine unternehmensübergreifende, strategische Planung eine intensive Zusammenarbeit der weltweit vorhandenen Potentiale zu gewährleisten. Neben der Identifikation der vorhandenen, fehlenden, nicht genutzten und gefährdeten Potentiale muss der DOE insbesondere die Kommunikationstechniken verbessern. Die Anforderungen an die Organisation betreffen alle nur denkbaren Unternehmensbereiche. Eine optimale Planung kann nur gelingen, wenn regelmäßige Expertentreffen zu jeweils vorab definierten Themen stattfinden. Diese einzelnen Veranstaltungen, so genannte „*Manufacturing days*“, sollten immer nur an den Entwicklungs- bzw. Produktionsstandorten durchgeführt werden, deren Bezug zu dem gewählten Thema am größten ist und deshalb jeweils am besten geeignet erscheinen.

Dazu ist es erforderlich, dass der **DOE** im Vorfeld die Themen entsprechend einer ausgearbeiteten Prioritätenliste zusammenstellt, wobei er insbesondere die jeweils davon betroffenen Werke und Entwicklungsbüros entsprechend der Themenzusammenstellung sehr gut analysiert, damit später ein optimaler „win – win“ - Effekt erzielt wird. Eine sehr gute Vorbereitung führt im Ergebnis zu:

- einem Lerneffekt bei allen Beteiligten,
- einer Auswertung der Besuche im Sinne von „guten“ oder „schlechten“ Beispielen
- einer direkten Einführung von Verbesserungen in dem vorher identifizierten Werk,
- Besuchen von Veranstaltungen einzelner Zulieferer, welche innovative Profit- & Qualitätsverbesserungen versprechen,
- einer Identifikation des vorhandenen Potentials (technische Ressourcen, Erfahrungen, Expertise, etc.), aber auch

- zur Identifikation von nicht genutztem, oder fehlendem Potential, wie z.B. eine enge Zusammenarbeit mit kooperierenden Universitäten, Fachhochschulen und Forschungseinrichtungen

Alle diese zu ermittelnden Einzelergebnisse bilden die Grundlage für eine optimale, papierlose Kommunikation zwischen den beteiligten Unternehmensbereichen, da ihre Inhalte unter anderem eine erheblich verbesserte

- Aussage über die Zeichnungen, Analysen, Daten, Präsentationen und andere Dokumente gestatten,
- einen Vergleich der aktuellen mit den im Budget veranschlagten Projektkosten ermöglichen,
- die Ressourcenplanung in Beziehung zu der Projektpriorisierung bringen und
- eine ständige aktualisierte Kostenübersicht zur Budgetkontrolle gewährleisten.

Für eine erhebliche Vereinfachung der Kommunikation in dem gesamten Unternehmen reicht es nicht aus, wenn nur die Organisation verbessert wird, vielmehr gibt es auch noch eine ganze Reihe von Anforderungen, die organisationsunabhängig die Art der Kommunikation und der Umgang mit ihr betreffen.

4.3 Anforderungen an die Kommunikation

Insbesondere die Optimierung der Kommunikationswege ist eines der wichtigsten Kriterien, die einer Veränderung bedürfen. In einem global arbeitenden Unternehmen ist es nicht möglich, alle an einem Projekt beteiligten Mitarbeiter „an einen Tisch“ zu bekommen. Deshalb muss unbedingt erreicht werden, dass sich alle beteiligten Personen durch eine einfache, verständliche und jederzeit abrufbare Kommunikation auf den aktuellen Stand bringen können und dies zu jeder Zeit und von jedem Ort. Diese Forderung ist insbesondere zu den üblichen Urlaubszeiten von großer Bedeutung. So kommt es vor allem in den Sommermonaten Juni, Juli, August und September durch die häufig weit gestreuten Urlaubsplanungen zu erheblichen Verzögerungen in der Entscheidungsfindung und in der Auftragsabwicklung. Es sollten zumindest die nachfolgenden Änderungen bzw. Verbesserungen durchgeführt werden.

Abbau von Kommunikationsbarrieren

Eines der größten Probleme in der Kommunikation besteht in den so genannten „*zusammengekauften*“ Unternehmen in einem sehr unterschiedlichen Bildungs- und Ausbildungsniveau. Obwohl die englische Sprache von dem größten Teil der weltweit agierenden Mitarbeiter recht gut beherrscht wird, so sind die vorhandenen Schreibfähigkeiten ausgesprochen gering. Das gilt nicht nur für die „*Fremdsprache*“ Englisch sondern auch für die jeweilige Muttersprache. Viele der langjährigen Mitarbeiter haben es zu recht hohen Positionen gebracht ohne ihre Schreibfähigkeiten dementsprechend anzupassen und darüber hinaus haben sie es versäumt, Kenntnisse für die Handhabung eines PC's zu erwerben. Durch diese Defizite sind die leitenden Mitarbeiter von ihren Assistenten und Angestellten teilweise abhängig, da die vielen Reisetätigkeiten, Kundenbesuche und Versammlungen eine schnelle, detaillierte und unmissverständliche Zusammenfassung der Ergebnisse, Arbeitsanweisungen mit Nennung der Verantwortlichen usw. verlangen. Wenn ein Vorgesetzter dazu nicht in der Lage ist, wird seine Arbeitsweise auf die Dauer nicht „*effizient*“ und eine Neuorientierung seiner Funktion im Unternehmen ist dann nicht ausgeschlossen. Diese Maßnahme führt in der Folge fast immer zu einer Demotivation und einer weiteren Effizienzreduktion in dem Unternehmen und das vorhandene Potential wird dann nicht mehr hinreichend genutzt.

Neben den hier genannten Defiziten wird in den durch Zukauf „*wachsenden*“ Unternehmen wegen der wechselnden Zuständigkeiten häufig versäumt, den erforderlichen Wissenstand an die sich verändernden Technologien anzupassen. Der Slogan „*Nichts kann Erfahrung ersetzen*“ ist zwar durchaus korrekt, aber „*Wissen ist Macht*“ gilt ebenfalls nach wie vor. Alle Mitarbeiter, gleichgültig in welchen Positionen, aber vor allem in Führungspositionen, müssen dafür Sorge tragen, dass sie immer auf dem letzten Stand der Technik sind. Das gilt für alle Unternehmensbereiche wie Konstruktion, Produktion, Service, etc. Sind diese Kenntnisse nicht vorhanden, muss dies zwangsläufig zu Kommunikationsproblemen führen, da die neuen Technologien, Prozesse, Strategien, Analysemethoden, Marketingmaßnahmen nicht verstanden werden und die damit einhergehenden Aufgaben nicht schnell und präzise bearbeitet werden können.

Mangelnde Disziplin und Führungsfähigkeiten ausgleichen

Manche Vorgesetzte fragen viel zu oft nach einem neuen „*Statusbericht*“. Die heute verfügbaren Werkzeuge der Kommunikationstechnologie ermöglichen allen Beteiligten eine jederzeit abrufbare Berichterstattung, in welcher die Fakten und Ergebnisse von allen regelmäßigen oder auch unregelmäßigen Besprechungen enthalten sind. Diese Vorgehensweise garantiert einerseits, dass alle „*offenen*“ Punkte auch tatsächlich bearbeitet werden

und andererseits sind dadurch alle Beteiligten und deren Vorgesetzte über alle Details aktuell informiert. Die modernen Managementsysteme erlauben es sogar, dass das System aus der Berichterstattung automatisch Anweisungen und Terminplanungen an die entsprechenden Mitarbeiter weiterleitet. Eine derartige Berichtserstattung muss als so genanntes „*lebendes Dokument*“ aufgebaut werden, welches im Zuge des Projektmanagements ständig an Bedeutung gewinnt und erst mit dem Projektende „*abgeschlossen*“ wird. Unabhängig davon, muss gewährleistet sein, dass dieses Dokument jederzeit wieder aufgerufen werden kann und als Grundlage für die Bearbeitung ähnlicher Projekte zukünftig eingesetzt werden kann.

Einfache Kommunikation mit Hilfe der IT

Insbesondere die vielen kleinen neu hinzugekommenen Sportbootbauer in einem global arbeitenden Unternehmen nutzen für ihre Kommunikation und den Austausch von Informationen überwiegend das „*Papier*“. Diese Arbeitsweise ist mit der zunehmenden Komplexität der Daten und Informationen zukünftig in jeder Hinsicht nicht geeignet. Hierzu bedarf es geeigneter Softwaresysteme, welche mit einer den Bedürfnissen angepassten Benutzeroberfläche die jeweils benötigten Informationen anfordern bzw. abrufen können, wie z.B. CAD-Zeichnungen, Animationen, Testberichte, Informationen zu Produkten und einzelnen Teilen, Installationsbeschreibungen, Reparaturanleitungen, Fehlerdiagnosen, etc.

Insbesondere der Service profitiert von dieser Arbeitsweise, so können Teilebestellungen mit Hilfe einer einfachen Dialogmaske direkt eingegeben und bearbeitet werden können. In der Folge kann der Tag der Bestellung automatisch festgehalten, alle für das Bootsmodell relevanten Teile aufgelistet und mit einer Beschreibung, einem Bild und dem dazu gehörenden Preis versehen werden. Nach Eingabe der Bestellung muss es möglich sein, dass sofort die Verfügbarkeit der bestellten Teile aufgezeigt und die erstmögliche Auslieferung angegeben wird. Diese Vorgehensweise erlaubt dem Sportbootbauer eine Koordination seiner Zulieferer, eine „*Just-in-Time*“-Planung seiner Produktion und vorab eine Kalkulation seiner Kosten.

4.4 Anforderungen an die Informationstechnologie

Die vorliegende IT-Infrastruktur ist für ein weltweit agierendes Unternehmen zu heterogen angelegt. Dies gilt insbesondere für die Nutzung der in den einzelnen Unternehmen gespeicherten Produktdaten. Ein Zugriff ist allein wegen der unterschiedlichen

Datenstrukturen der verschiedenen IT-Systeme nicht möglich. Darüber hinaus verfügen nicht alle Unternehmen über digitale Produktinformationen, wie die Arbeit der Bootskonstruktoren gezeigt hat. Deshalb ist es unbedingt notwendig, dass hier ein einheitliches Datenmodell (vgl. **Abbildung 4-1**) konzipiert und im MSB-BAU installiert wird und auf welches die einzelnen Beteiligten entsprechend ihrer jeweiligen Berechtigung mittels Internet zugreifen können. Auf diese Art und Weise ist gewährleistet, dass alle Benutzer immer auf aktualisierte Daten zugreifen.

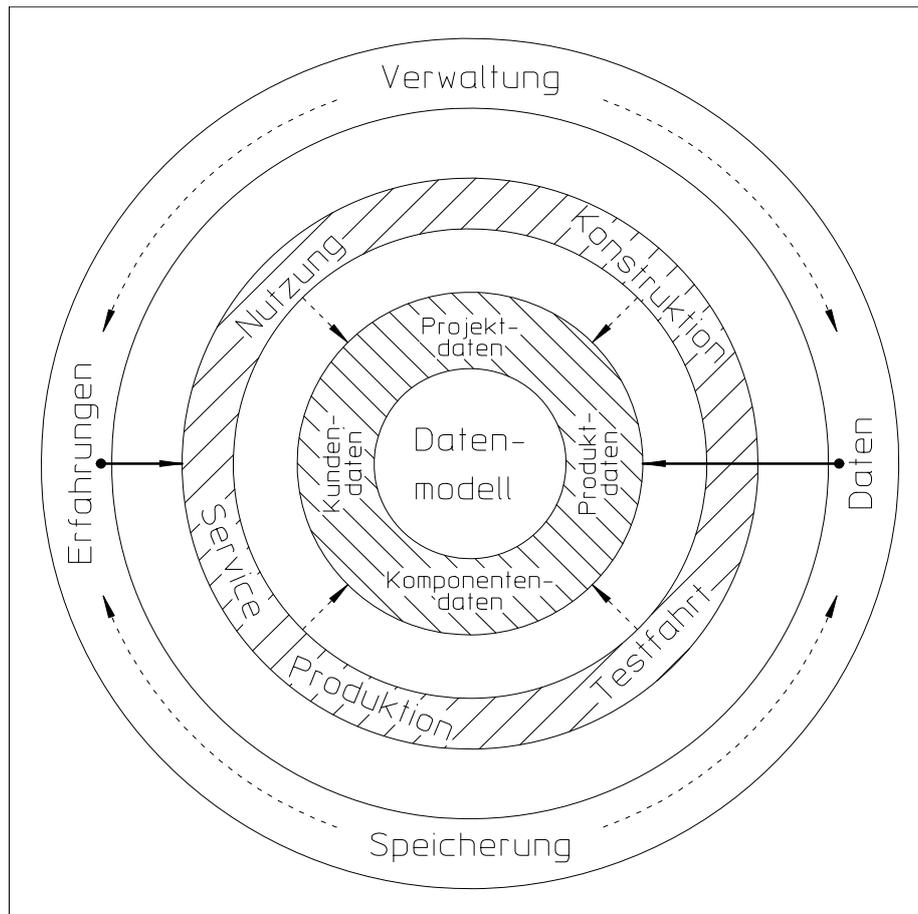


Abbildung 4-1: Vereinfachte Darstellung eines Datenmodells

Des Weiteren muss eine Möglichkeit geschaffen werden, dass nicht nur die Daten sondern auch die jeweils gewonnenen Erfahrungswerte gespeichert und dem Projekt bzw. Produkt zugeordnet werden können. Dies können z.B. sein: die Konstruktion stellt fest, dass für einen bestimmten Bootstyp eine Mindestwanddicke erforderlich ist, die Produktion kann ein bestimmtes Detail nur äußerst schwierig fertigen, oder der Service hat für die Wartung eines Einzelteils nicht genügend Arbeitsraum zur Verfügung, oder der Kunde stellt bei einer Probefahrt Defizite im Sicherheitsbereich fest. Nur wenn diese negativen Erfahrungen

bekannt sind, ist deren Berücksichtigung in der nachfolgenden Entwicklung von MSB gegeben.

Da die schriftliche (textliche) Kommunikation in den global agierenden Unternehmen häufig ein Problem darstellt, muss die zum Einsatz kommende Informationstechnologie auch eine Software für eine sprachunterstützte Verarbeitung der Informationen und Daten erlauben und dies möglichst mit einer zusätzlichen Übersetzung in die englische Sprache. Darüber hinaus müssen sich aus den textlichen Eingaben automatisch verschiedene, vom Benutzer gewünschte Darstellungsformen (Tabellen, Diagramme, Graphiken, etc.) erstellen lassen.

Damit jederzeit der aktuelle Stand der Technik berücksichtigt wird, muss unbedingt eine sportbootspezifische Zusatz-Datenstruktur generiert werden, in welcher für die einzelnen Unternehmensbereiche (Technik, FuE, Einkauf, Marketing, Verkauf, etc.) alle Informationen und Daten mit Angabe der Quelle und des Erscheinungsdatums auf einfache Art und Weise automatisch kategorisiert und gespeichert werden. Einerseits gestattet dies den Benutzern aufgabenspezifisch eine schnelle Datenaufbereitung und bei Bedarf können sie die Quellen via Intranet weltweit aufrufen und auch einsehen.

Aus Gründen der Geheimhaltung kann nicht jeder Mitarbeiter eines Unternehmens zu allen Daten einen Zugriff erhalten. Darum muss den jeweiligen Vorgesetzten eine einfache Verwaltung der Zugriffsrechte ermöglicht werden, damit gewährleistet ist, dass der einzelne Mitarbeiter nur die für ihn relevanten Daten abrufen kann. So darf z.B. ein Techniker, Ingenieur oder Konstrukteur keinen Zugriff auf die Kosten und Preise erhalten. Diese Einschränkung vermindert unter anderem auch die Gefahr, dass vertrauliche Informationen an Wettbewerber oder Kunden weitergegeben werden können.

Darüber hinaus muss unabhängig vom Standort ein einfacher (und natürlich schneller) weltweiter Zugriff auf Informationen und Daten via Inter- bzw. Intranet gesichert sein. Dies verbessert auch wesentlich die Zusammenarbeit der einzelnen Unternehmen in einem Unternehmensverbund, da die an einem Standort vorhandenen Präsentationen (nach Themen und Bereichen kategorisiert), wie z.B. CAD-Zeichnungen oder Informationen zu Produktionsprozessen und Produktionslinien in kürzester Zeit eingesehen und unmittelbar für neue, ähnliche Themen verwendet werden können. Des Weiteren kann durch gezielte Rückfragen an die entsprechenden Autoren dieser Präsentationen die Kommunikation zwischen den verschiedenen Regionen erheblich optimiert werden [26].

4.5 Anforderungen an die Prozesse

Die einzelnen Geschäftsprozesse zur Herstellung und Vertrieb von MSB werden noch überwiegend manuell bearbeitet. Um aber schneller auf Marktveränderungen reagieren zu können, müssen die Prozesse zukünftig rechnergestützt bearbeitet werden, vorausgesetzt die dafür notwendige IT-Infrastruktur (vgl. Kap. 4.3 und 4.4) ist verfügbar. Des Weiteren muss für jeden Unternehmensbereich der Zugriff auf die gesamte Software gewährleistet sein, damit jeweils die aktuellen Projekt- und Produktinformationen allen Beteiligten zur Verfügung stehen.

Damit die **Produktplanung** die Produkte auch markt- und kundengerecht gestalten kann, müssen die Händler ebenfalls einen Zugriff auf das IT-System erhalten, um die von den Kunden aktuell gewünschten Produkthanforderungen dem System auch mitteilen zu können. Durch das rechtzeitige Vorhandensein aller aktuellen Informationen können bei der Produktplanung einerseits Fehlentwicklungen (nicht marktfähige Produkte oder nicht benötigte Funktionalitäten der Produkte) vermieden werden und andererseits ist auch eine bessere Planung der Kapazitäten für die Produktion und eine sicherer Absatzplanung für den Vertrieb gegeben.

Für eine optimale **Produktentwicklung** ist die Konstruktion als zentraler Detailprozess der Produktentwicklung unbedingt mit einer 3D-CAD-Software auszustatten, die eine volumenorientierte Generierung eines MSB-Modells ermöglicht. Dadurch hat der Konstrukteur unmittelbar die Möglichkeit das dargestellte Ergebnis dahingehend zu überprüfen, ob dieses seinen Vorstellungen entspricht. Ist dies nicht der Fall, ist durch eine Parametervariation eine jederzeitige Änderung möglich, bis das vom Konstrukteur gewünschte Ergebnis vorliegt. Darüber hinaus erlaubt ein 3D-Modell schon während der Konstruktionsphase die Simulation von Einbauten. Ebenso ist eine Festigkeitsberechnung mit Hilfe einer FEM-Software gegeben [27]

Durch die direkte Übertragung der vorliegenden Modelldaten aus der Konstruktion ist die **Produktion** vor Übertragungsfehlern geschützt, die bei einer manuellen Datenübermittlung immer wieder auftreten können. Ebenso können die Probleme, die bei der Anfertigung der Formen erkannt werden, auf dem gleichen Weg unmittelbar an die Konstruktion zurück gemeldet werden. Dadurch ist eine jederzeit aktualisierte Zuordnung zwischen der Konstruktion und der Produktion gewährleistet und außerdem wird durch die direkte

Übertragung sichergestellt, dass die Konstruktionsmerkmale und Produktionsverfahren im Unternehmen verbleiben.

Der **Vertrieb** führt zusammen mit den Händlern die Marketingmaßnahmen durch und steuert und koordiniert die dafür notwendigen Tätigkeiten um zu einem sehr frühen Zeitpunkt eine effiziente Markteinführung vorzubereiten (vgl. Abbildung 3-1). Dazu benötigt er alle Produktinformationen aus den verschiedenen Unternehmensbereichen und von den Händlern, was eine jederzeitige Pflege des Datenmodells durch alle Beteiligten voraussetzt. Wenn dies umgesetzt wird, kann der Service alle relevanten Informationen zusammentragen, um sowohl einen frühzeitigen Markteintritt der Produkte zu garantieren als auch zukünftig ein einheitliches Erscheinungsbild des Unternehmens und seiner Produkte sicher zu stellen.

Da im MSBB ein indirekter Vertrieb über Händler vorliegt, müssen die Händler auch unterstützend für den **Service** tätig sein. Für eine Klärung, ob der Service vor Ort oder im Hersteller-Unternehmen durchgeführt werden muss, ist das Vorhandensein von Konstruktionsunterlagen und Service-Handbüchern eine unabdingbare Notwendigkeit. Die benötigten Informationen lassen sich durch das Vorhandensein eines Datenmodells mit einer geeigneten Software durch das Internet an allen Orten individuell zur Verfügung stellen. Auf diese Weise wird der Service-Techniker in die Lage versetzt, die erforderlichen Ersatzteile zu bestimmen und mittels einer Internet-Verbindung abzurufen bzw. zu bestellen. Neben der dabei erzielten Zeitersparnis wird auch die Fehleranfälligkeit einer telefonischen Bestellung reduziert.

4.6 Anforderungen an die Produkte

Das oberste Ziel eines weltweit operierenden Unternehmens muss es sein, dass die einzelnen hergestellten Produkte unabhängig von dem jeweiligen Produktionsland weltweit in Bezug auf Qualität und Leistung anerkannt werden. Damit dies sichergestellt werden kann, müssen für die jeweiligen Produktlinien die Kundenerwartungen bezüglich der Motoren, der Boote, des Zubehörs, des Verkaufs und des Service sehr genau ermittelt werden. Aus der Analyse dieser Kundenerwartungen ergibt sich der Fokus der zukünftigen technischen Entwicklungen. Dazu gehören sowohl neue, innovative Produkte und Produkteigenschaften als auch Methoden der Qualitäts- und Prozessverbesserung. Aus der Vielzahl der möglichen

Bewertungskriterien durch den Kunden gehören sicherlich die Sicherheit und der Fahrkomfort zu den wichtigsten Gründen.

Neben einer fehlerfreien Produktion muss auch eine pünktliche Auslieferung der Boote gesichert werden. Oft wird die zu erwartende Nachfrage falsch (zu niedrig oder zu hoch) eingeschätzt, was automatisch eine uneffiziente Produktionsplanung nach sich zieht. Dieses Problem hat zur Folge, dass mit der jeweiligen Produktion die Nachfrage nicht erfüllt werden kann und manche Kunden dann frustriert feststellen, dass sie ihr Boot nicht vor sondern erst nach ihrem Urlaub erhalten werden. Dies wiederum führt dann zu Stornierungen der Bestellungen durch den Kunden und die Händler und die Produzenten sind die Leidtragenden.

Ein Boot beinhaltet eine Vielzahl von Komponenten und Teilen, die sich mehr oder weniger gegenseitig beeinflussen können. Dies ist unter anderem der Rumpf, versteckte nicht Styling beeinflussende Teile, aber auch sichtbare Styling beeinflussende Teile oder so genannte Gleichteile. Das oberste Ziel innerhalb einer Produktlinie beinhaltet die Forderung möglichst immer gleiche Teile einzusetzen.

Um für ein Boot ein Optimum zu erzielen, versuchen die Entwickler der einzelnen Komponenten und Teile diese jeweils für sich zu optimieren, da häufig jeder Entwickler der Beste sein möchte. Darüber hinaus muss jeder Entwickler auch noch die so genannten optimalen „*Fahreigenschaften*“ im Auge behalten. Hierbei wird oft übersehen, dass einzelne Veränderungen jeweils wechselseitige Auswirkungen auf andere Einzelteile haben können. So kann die Verbesserung einer Eigenschaft einer Komponente zwangsläufig eine Verschlechterung von Eigenschaften anderer Komponenten nach sich ziehen und damit werden die geforderten Eigenschaften des Bootes nicht mehr erreicht. Dieser Sachverhalt stellt insbesondere in Unternehmen mit verteilten Standorten ein sehr großes Problem dar, wenn nicht gewährleistet ist, dass bei der Bearbeitung eines gemeinsamen Projektes alle Standorte auf den gleichen, aktuellen Datensatz zurückgreifen können. Für dieses Problem muss das hier zu entwickelnde Konzept unbedingt eine weit reichende und sichere Lösung bieten.

Ein weiteres gravierendes Problem stellt sich bei dem schon mehrfach erwähnten Zukauf einzelner Unternehmen ein, wenn es dadurch innerhalb des Unternehmens verschiedene Komponenten gibt, die alle den gleichen Zweck erfüllen. Zur Optimierung der eigenen Produktlinien ist es aber sinnvoll, diese Produktvielfalt im Komponentenbereich zu redu-

zieren, um einerseits die Herstellungskosten und andererseits die Service-Kosten zu minimieren.

Die Umsetzung dieser Anforderungen lassen sich nur mit einem rechnergestützten Konzept realisieren, welches in einem Gesamtprozess sowohl die internen Geschäftsprozesse unternehmensweit integriert als auch die externen Unternehmen bzw. Lieferanten und Händler mit einbezieht. Bevor das Konzept entwickelt wird, werden zunächst die IT-Komponenten ausgewählt, die für das Konzept geeignet sind.

5 Auswahl der IT-Komponenten für das Konzept

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die Anforderungen für eine Optimierung des **Product Lifecycle Management (PLM)** in der Sportbootindustrie formuliert. Dabei wurde bereits deutlich, dass eine solche Optimierung im Rahmen des gesamten Produktentstehungsprozesses nur gestützt durch den Einsatz moderner IT-Systeme effizient erreicht werden kann. Aus diesem Grund werden nun die IT-Systeme diskutiert, die einen wesentlichen Einfluss auf das zu entwickelnde Konzept haben. Daran anschließend kann die Auswahl der Systeme erfolgen, welche die technologische Grundlage für das Konzept bilden.

5.1 3D-CAD-System für die Konstruktion

Wie bereits dargestellt, besteht im Bereich der Sportbootindustrie eine andere Situation als beispielsweise im allgemeinen Maschinenbau oder der Automobilindustrie. Dort haben sich in der Produktentwicklung bereits flächendeckend 3D-CAD-Systeme durchgesetzt. Da CAD-Systeme für die Entwicklung von Sportbooten jedoch heute nicht durchgängig eingesetzt werden, erfolgt zunächst eine Darstellung über den Stand der Technik im CAD-Umfeld sowie eine Diskussion der verfügbaren CAD-Systeme, damit die Grundlage für die Auswahl eines CAD-Systems für das Konzept gegeben ist.

Neben 2D-CAD-Systemen, welche die Erstellung von technischen Zeichnungen ermöglichen, haben die 3D-CAD-Systeme mittlerweile eine marktbeherrschende Stellung eingenommen. Im Gegensatz zu den 2D-CAD-Systemen, welche im Wesentlichen auf der Nutzung von geometrischen Elementen Punkt und Kontur (beschrieben durch X-, Y-Koordinaten) basieren, können 3D-CAD-Systeme einen realen Körper als rechnerinternes dreidimensionales Modell abbilden. Der Mehrwert eines 3D-CAD-Systems geht jedoch weit über die Tatsache hinaus, dass damit neben den X- und Y-Koordinaten auch die dritte Dimension als Z-Koordinate zur Verfügung steht. Vielmehr ergeben sich durch eine vollständige, geometrische Beschreibung eines Bauteils viele Vorteile sowohl für die Konstruktion als auch für die nachfolgenden Prozesse der Produktentwicklung. Da die CAD-Systeme die Basis für den Informationsgehalt des gesamten Produktmodells liefern, erfüllen sie eine zentrale Funktion innerhalb des zu entwickelnden Konzeptes.

Innerhalb der 3D-CAD-Systeme existieren unterschiedliche Arten der rechnerinternen Modellbildung (**Abbildung 5-1**). Diese sind in erster Linie durch die historische Entwicklung der Systeme bedingt. Zunächst sind die so genannten Drahtmodelle zu nennen, welche die erste Entwicklungsstufe von 3D-CAD-Systemen darstellen. Hierbei werden die Körperkanten eines Modells als Raumkurven abgespeichert. Ein **Drahtmodell** verfügt über den geringsten Informationsgehalt eines realen Körpers, da beispielsweise keine Aussage über die Flächen, welche sich zwischen den Kanten befinden, getroffen werden kann. So kann in dem Beispiel der **Abbildung 5-1** nicht festgestellt werden, ob der dargestellte Quader des Drahtmodells über ebene Begrenzungsflächen oder gekrümmte Körperflächen verfügt. Daraus folgt, dass ebenfalls keine physikalischen Eigenschaften des Modells, wie Masse oder die Position des Schwerpunktes ermittelt werden können.

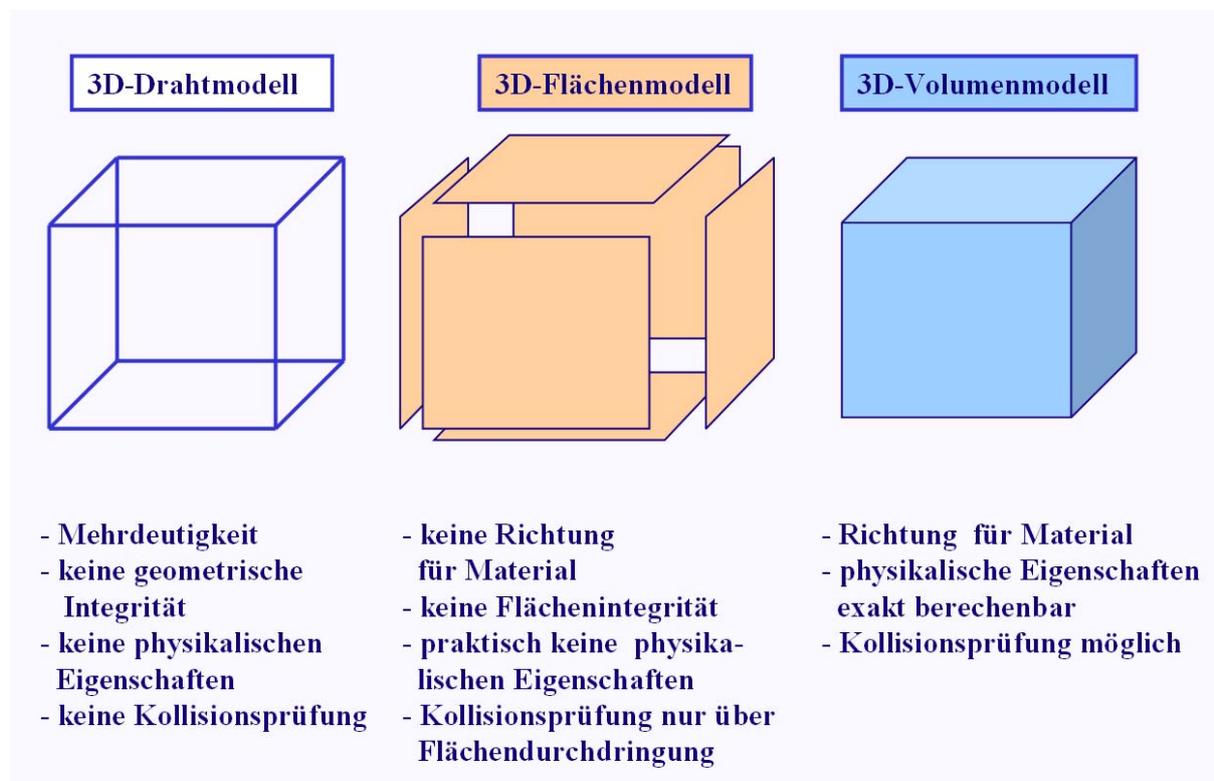


Abbildung 5-1: Vergleich der 3D-Modellieretechniken ([28])

Die nächste Entwicklungsstufe stellen die **Flächenmodellierer** dar. Diese Systeme gestatten die Definition von räumlichen Oberflächen eines Modells. Oftmals verfügen CAD-Systeme, die auf einem Flächenmodellierer basieren, über eine Vielzahl an Funktionen zur Beschreibung von Freiformflächen, so dass durchaus komplexe Modelle entstehen können. Für einige Anwendungsbereiche, wie zum Beispiel die Konstruktion von Automobilkarosserien werden Flächenmodellierer auch heute noch eingesetzt. Der Informationsgehalt von Flächenmodellen ist jedoch immer noch eingeschränkt. So kann beispielsweise keine

Aussage darüber gemacht werden, auf welcher Seite einer Fläche Material vorhanden ist. Dadurch sind die Funktionen zur Ermittlung der physikalischen Eigenschaften auch bei den Flächenmodellierern ebenfalls eingeschränkt. Außerdem besteht auch bei den Flächenmodellierern die Möglichkeit inkonsistente Modelle zu erstellen, da es leider möglich ist, dass begrenzende Körperflächen Lücken oder Überlappungen aufweisen.

Den höchsten Informationsgehalt und somit auch eine vollständige geometrische Beschreibung eines Bauteils bieten die **Volumenmodelle**. Durch so genannte Materialvektoren, die senkrecht auf den Körperflächen stehen, wird definiert, auf welcher Seite sich das Material befindet. Mit Hilfe von Volumenmodellen kann die Konsistenz von Modellen sichergestellt werden. Sie bieten darüber hinaus auch die Möglichkeit, die CAD-Daten für viele nachgelagerte Prozesse der Produktentwicklung zu nutzen. Beispielsweise kann die Erstellung von NC-Programmen auf der Basis der 3D-CAD-Daten erfolgen. Andere CAE-Systeme, wie zum Beispiel FEM-Simulationen für Festigkeitsberechnungen, verwenden ebenfalls diese CAD-Daten. Durch die Vermeidung dieser redundanten Modellierungsaufgaben kann in der Produktentwicklung erhebliche Zeit eingespart werden. Des Weiteren wird dadurch die Qualität der Entwicklung gesteigert, da jede Neubeschreibung einer Geometrie auch eine potentielle Fehlerquelle darstellt. Die Volumenmodellierer stellen heute die Basis für die überwiegende Mehrzahl der 3D-CAD-Systeme dar.

Die heute gängigen 3D-CAD-Systeme sind darüber hinaus dadurch geprägt, dass es sich um so genannte **parametrische** CAD-Systeme handelt oder auch um Systeme, welche auf der **Featuretechnologie** basieren. Durch die Entwicklung von parametrischen CAD-Systemen hat sich das Leistungsspektrum der CAD-Technologie dramatisch erweitert. Es steht nicht mehr nur die Definition eines dreidimensionalen Modells im Vordergrund, welches über die gewünschten geometrischen Eigenschaften verfügt. Vielmehr nimmt die Abbildung der zugrunde liegenden Konstruktionsabsicht einen hohen Stellenwert ein. Dies geschieht mit dem Ziel, die Wiederverwendbarkeit von einmal erstellten Modellen zu gewährleisten. Dadurch wird auch explizit die Variantenkonstruktion unterstützt. Bei feature-orientierten oder parametrischen CAD-Systemen beinhalten die CAD-Modelle neben der Geometrie eines Bauteils auch Informationen, die aus der Konstruktionsabsicht resultieren.

Diese können in Form von Parametern und / oder Gleichungen für Bemaßungen oder beispielsweise in konfigurationsabhängigen Regeln für die Gestaltung einzelner Features vorliegen. So lassen sich 3D-CAD-Modelle für Variantenkonstruktionen definieren, die mittels weniger Steuerungsparameter und anderen von diesen abhängig gesteuerten Parametern ein sinnvolles Modell erzeugen, welches der impliziten Konstruktionsabsicht entspricht.

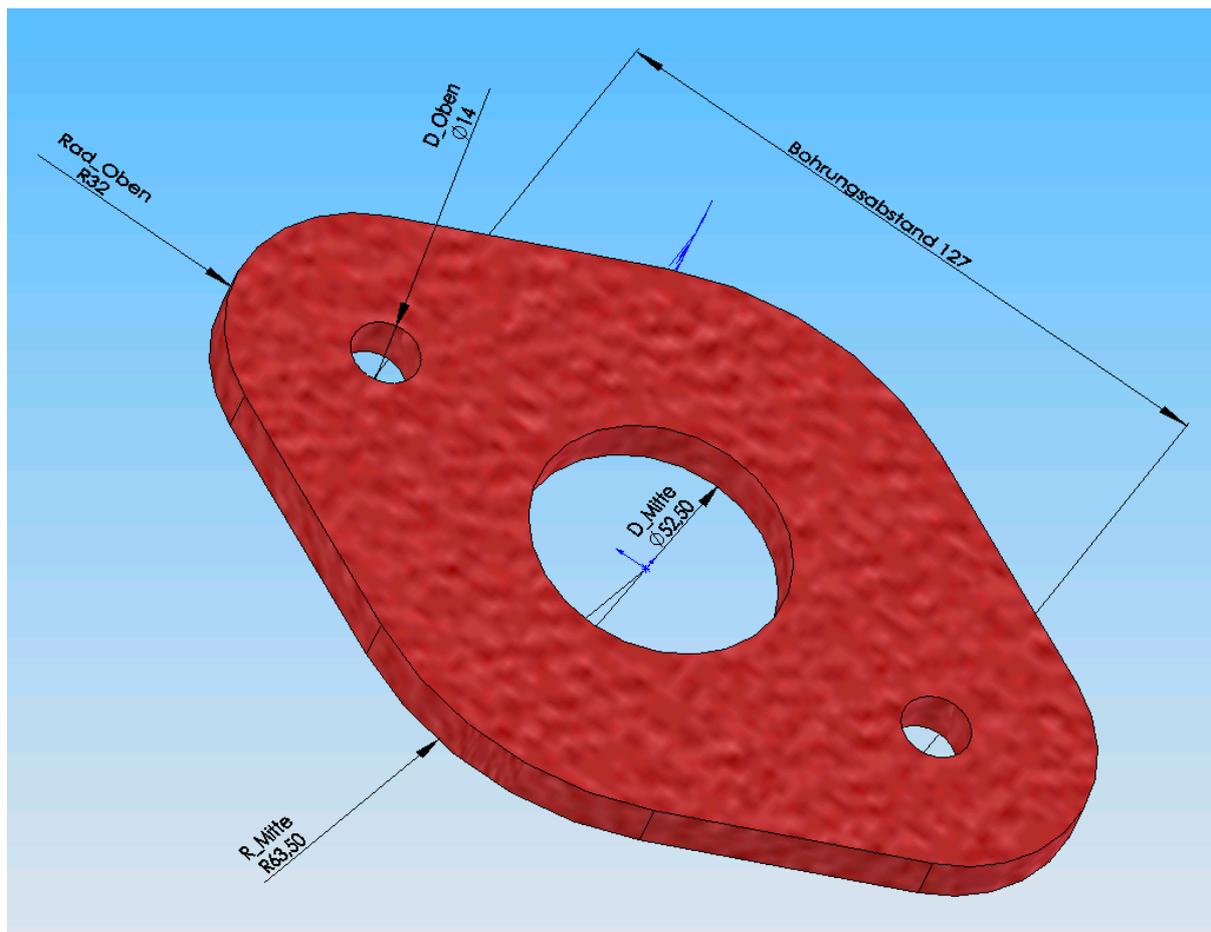


Abbildung 5-2: Parametrisiertes CAD-Modell einer Dichtung

Konkret bedeutet dies, dass die Geometrie eines 3D-CAD-Modells durch variable Parameter gesteuert wird. In dem Beispiel in **Abbildung 5-2** wird der Durchmesser der zentralen Bohrung durch den Parameter „D_Mitte“ gesteuert. Eine Überschreibung der Bemaßung bewirkt einen Neuaufbau des Modells mit dem aktualisierten Maß. Neben der direkten Werteingabe durch den Benutzer können Parameterwerte noch durch andere Mechanismen gesetzt werden, wie beispielsweise durch eine Wertermittlung in Form einer Gleichung oder durch die Zuweisung von Werten aus einer hinterlegten Wertetabelle. In diesem Fall wird von gesteuerten Parametern gesprochen, da ihr Wert direkt oder indirekt von anderen Parametern abhängt.

Die Featuretechnologie stellt eine Weiterentwicklung der Parametrik dar. Dabei werden unter dem Begriff **Feature** in erster Linie Konstruktionselemente bezeichnet, die aus Featurebibliotheken abgerufen werden können. Dabei handelt es sich in der Regel ebenfalls um parametrisierte Konstruktionselemente [29]. Ein einfaches Beispiel für ein Feature ist z. B.

eine Bohrung mit den Parametern „*Durchmesser*“ und „*Tiefe*“. Die Verwendung von Feature bietet jedoch auch die Möglichkeit, Informationen in ein 3D-CAD-Modell zu integrieren, die nicht nur einen Bezug zur Geometrie haben. So lassen sich beispielsweise auch Fertigungsinformationen in ein 3D-CAD-Modell einfügen.

Da die Featuretechnologie in Verbindung mit der Parametrik ein sehr umfangreiches Themengebiet darstellt, wird für eine weiterführende Darstellung auf die Fachliteratur verwiesen. Im Hinblick auf die Verwendung von 3D-CAD-Systemen im Rahmen des neu zu entwickelnden Konzepts werden jedoch die folgenden relevanten Eigenschaften zusammenfassend festgehalten.

Der Einsatz moderner featureorientierter 3D-CAD-Systeme bietet die Möglichkeit, CAD-Modelle zu erstellen, die so aufgebaut sind, dass eine hohe Effizienz bei der Konstruktion von Produktvarianten erreicht wird. Die Erstellung von Produktkonfigurationen wird ebenfalls direkt von den CAD-Systemen unterstützt. Durch die implementierte Assoziativität unterstützen 3D-CAD-Systeme eine Weiterverwendung der Konstruktionsergebnisse in den nachfolgenden Entwicklungsstufen der Produktentwicklung ohne Konvertierungsschritte.

Um das volle Potenzial ausschöpfen zu können, welches featureorientierte 3D-CAD-Systeme für die gesamte Produktentwicklung bieten, ist allerdings auch eine angepasste Arbeitsweise bei der Modellerstellung zwingend erforderlich. So stellt die Definition von wiederverwendbaren 3D-CAD-Modellen erhöhte Anforderungen an die rechnerinterne Abbildung der Konstruktionsabsicht in dem Modell gegenüber einer Modellierung, die lediglich auf eine korrekte geometrische Definition ausgelegt ist. Eine falsche oder lückenhafte Parametrisierung kann sogar dazu führen, dass Modelle entstehen, die vom System nicht mehr aufgebaut werden können. In solchen Fällen entsteht ein wesentlich erhöhter Aufwand durch die Bereinigung der Featureparameter. In diesem Zusammenhang muss festgestellt werden, dass im Rahmen der Neueinführung eines featureorientierten 3D-CAD-Systems die qualifizierte Ausbildung der Konstrukteure für die Effizienz des Systems eine wesentliche Rolle spielt.

Eine Betrachtung der auf dem Markt verfügbaren 3D-CAD-Systeme zeigt, dass dort eine Konsolidierung stattgefunden hat. Dabei ist jedoch auch eine Segmentierung des Marktes zu beobachten, wobei insbesondere die Leistungsfähigkeit und die Komplexität der 3D-CAD-Systeme sowie die Unternehmensgröße des CAD-Entwicklers und die Systemkosten die entscheidenden Kriterien sind.

Der so genannte High-End-Bereich ist durch einen Kundenkreis gekennzeichnet, der überwiegend aus großen Unternehmen bzw. Konzernen besteht. Oftmals liegt eine komplexe Produktstruktur vor, die aus mehreren 10.000 Komponenten besteht. Dementsprechend hoch ist auch die Zahl der erforderlichen CAD-Arbeitsplätze und somit der eingesetzten Lizenzen. Typische Branchen dieses High-End Bereiches sind die Luftfahrt- oder die Automobilindustrie.

Die High-End-Systeme dieser Gruppe kommen historisch überwiegend aus der UNIX-Welt. Alle Hersteller bieten heute jedoch zumindest eine Windows-Version des jeweiligen Systems an, oftmals ist dies auch die von den Herstellern empfohlene Variante. Bei diesen Systemen handelt es sich um äußerst leistungsfähige integrierte CAD-/ CAM- / CAE-Applikationen, welche neben der reinen Modellierungs- und Zeichnungsfunktionalität über weitere Module verfügen. Dies sind in der Regel integrierte Simulations-Module, Module für die NC-Bearbeitung sowie zahlreiche weitere Module, wie beispielsweise Funktionen zum Planen von Rohrleitungssystemen. Diese Systeme bieten ein branchenübergreifendes Leistungsspektrum innerhalb einer konsistenten Umgebung ohne Konvertierungsprobleme.

Kennzeichnend ist weiterhin, dass diese Systeme in den einzelnen Teilgebieten die höchste Leistungsfähigkeit anbieten. Beispielhaft sei hier das Beschreiben von Freiformflächen genannt. Eine große Zahl von 3D-CAD-Systemen ist prinzipiell in der Lage Freiformflächen zu verarbeiten, wogegen nur sehr wenige Systeme hier auch wirklich umfassende Lösungen anbieten. Meistens sind die Funktionsbereiche in Form von Modulen realisiert, die in Abhängigkeit von den Kundenanforderungen kombiniert werden können. Als grobe Richtlinie kann ein Bereich von 15.000,00 EUR bis 50.000,00 EUR für die Anschaffungskosten je Arbeitsplatz genannt werden. Typische Vertreter solcher Systeme sind:

- CATIA V5 von Dassault Systems
- Unigraphics von Siemens PLM
- ProEngineer von Parametric Technology Corporation

Die zweite Gruppe von CAD-Systemen wird dem Bereich der Low-End-Systeme zugeordnet und besteht im Wesentlichen aus 3D-CAD-Systemen, welche direkt für die Windows-Plattform entwickelt wurden. Diese sind bezüglich der Kosten deutlich unterhalb der zuerst genannten Systeme angesiedelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass eine Obergrenze von 10.000,00 EUR nicht erreicht wird. Im Bereich der Funktionalität stellen sich diese Systeme im reinen 3D-CAD-Bereich durchaus gut dar. Sie beinhalten oftmals denselben Kern, wie entsprechende High-End-Systeme, verfügen jedoch in Spezialgebieten

über einen eingeschränkten Funktionsumfang. Deutliche Unterschiede treten aber bei der Betrachtung der Zusatzfunktionalitäten auf, wie NC-Bearbeitung, FEM-Simulation etc. Solche Module sind oft nicht vorhanden oder müssen als Zusatzmodule von Drittanbietern erworben werden. In diesem Bereich sind auch Einschränkungen der Leistungsfähigkeit zu bemerken. So ist beispielsweise mit der für das 3D-CAD-System SolidWorks verfügbaren FEM-Applikation lediglich eine Lösung von Festigkeitsproblemen im elastischen Bereich möglich, während bei der Alternative aus dem High-End-Bereich keine Einschränkungen vorliegen. Je nach Anwendungsgebiet können Low-End-Systeme demnach eine gute Auswahl darstellen. So sind diese Systeme im Umfeld des klassischen Maschinenbaus durchaus etabliert. Typische Vertreter dieser Systeme sind:

- SolidWorks von Dassault Systems
- SolidEdge von Siemens PLM

Eine konkrete Systemauswahl ist jedoch erst möglich, wenn definiert ist, welche weiteren IT-Systeme für die Entwicklung des Konzepts Verwendung finden, damit gewährleistet ist, dass alle ausgewählten IT-Systeme miteinander kommunizieren können.

5.2 PDM-Systeme für die Produktentwicklung

PDM-Systeme³ unterstützen den Produktlebenszyklus auf vielfältige Weise. Da sowohl ihr Einsatzgebiet als auch die Funktionalitäten im Vergleich zu anderen CAx-Systemen relativ komplex sind, erfolgt zunächst eine grundsätzliche Beschreibung der Systeme hinsichtlich ihrer Entwicklung, der angestrebten Ziele und der ihr zugrunde liegende Architektur. Dabei soll auch eine Erklärung und Abgrenzung der Begriffe PDM und PLM vorgenommen werden.

Durch den Einsatz von CAD- und anderen CAE-Systemen werden Dokumente in Form von Modell- und Zeichnungsdateien erzeugt. Bereits der Einsatz von 2D-CAD-Systemen führte dazu, dass eine Menge an elektronischen Zeichnungen vorhanden war. Die Organisation und Verwaltung dieser Dateien, wie beispielsweise eine geordnete Ablage nach Zeichnungsnummern, ist ohne Hilfsmittel bereits sehr aufwendig, wenn mehrere Konstrukteure mit einem Datenbestand arbeiten.

³ PDM: Produkt Daten Management

Zur Lösung dieser Problematik wurden **Zeichnungsverwaltungssysteme (ZVS)** entwickelt und eingesetzt. Dabei handelt es sich um Datenbank Anwendungen, die über Programmschnittstellen mit den CAD-Systemen verbunden werden, um das Laden und Speichern von Dateien zu ermöglichen. In der Regel handelt es sich um einfach strukturierte Datenbanken, welche eine Zuordnung von CAD-Dateien mit Hilfe einer zentralen Zeichnungsnummer erlauben. Diese Systeme ermöglichen eine geordnete Ablage von Zeichnungsdaten und das Auffinden von Zeichnungen. Sie verfügen in der Regel bereits über die Möglichkeiten der Versionierung von Zeichnungen.

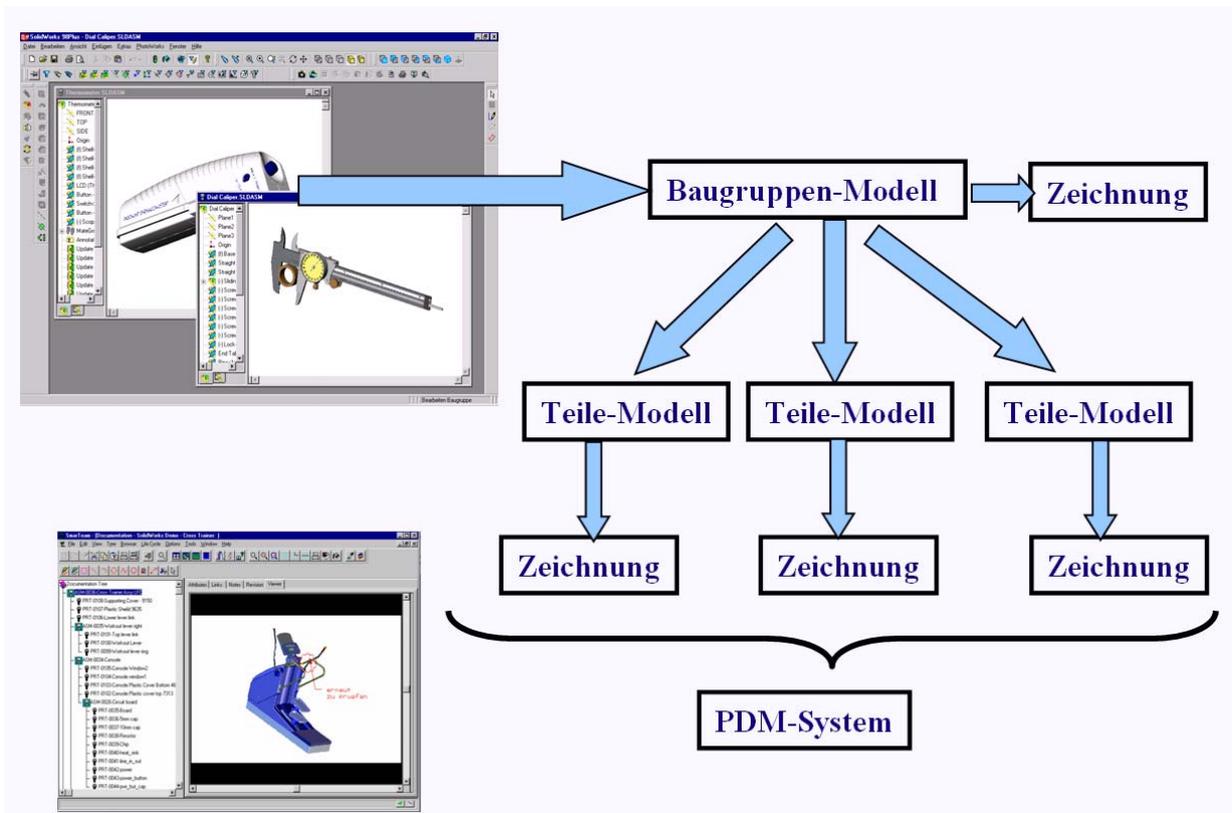


Abbildung 5-3: 3D-CAD- und PDM-Systeme [30]

Mit der Verbreitung von 3D-CAD-Systemen stellte sich jedoch eine neue Herausforderung, da auf Grund der Arbeitsweise dieser Systeme die zu verwaltende Datenmenge drastisch zunahm und andererseits auch komplexere Strukturen abgebildet werden mussten. Während ein 2D-CAD-System für die Beschreibung eines Produktes oder Bauteils jeweils eine CAD-Zeichnungsdatei verwendet, erzeugt ein 3D-CAD-System mehrere Dateien (vgl. **Abbildung 5-3**). Die 3D-CAD-Systeme kennen mindestens die folgenden drei unterschiedlichen Dokumentarten:

- Teil
- Baugruppe
- Zeichnung

Die Modellgeometrie wird in diesem Zusammenhang ausschließlich in Teilen abgelegt. Für die Konstruktion von Baugruppen werden Baugruppen-Dateien verwendet. Diese enthalten selbst keine Modellgeometrien, greifen aber über Referenzen auf die Teile-Dokumente zu, welche als Komponenten der Baugruppe verwendet werden. Als weitere Informationen werden die Positionen und Verknüpfungen der enthaltenen Komponenten verwaltet. Wird eine Baugruppe in ein CAD-System geladen, so ist es erforderlich, die referenzierten Teile-Dokumente ebenfalls zu laden, damit die Geometrie des Modells vorhanden ist. Komplexe Produktstrukturen können dadurch erzeugt werden, indem Baugruppen neben Teilen auch andere Baugruppen als Komponenten enthalten können.

Für die Erstellung von 2D-Zeichnungen werden assoziative Ableitungen der Ansichten von den 3D-CAD-Modellen eines Teils oder einer Baugruppe erzeugt. Die Assoziativität bewirkt dabei, dass Änderungen an den Modellen automatisch zu Aktualisierungen der Zeichnungen führen. Bei einigen 3D-CAD-Systemen ist eine bidirektionale Assoziativität implementiert. Das bedeutet, dass bei der Änderung eines Maßes in einer Zeichnung auch das zu Grunde liegende Modell aktualisiert wird.

Diese Arbeitsweise hat viele Vorteile. Neben der Vermeidung von Redundanzen bei der Speicherung von Modellinformationen, wird auch die Fehlerhäufigkeit von Zeichnungen reduziert, da diese immer automatisch an die Modelländerungen angepasst werden. Auf der anderen Seite beinhaltet die Verwaltung dieser Dokumentstrukturen aber auch Probleme, vor allem, wenn mehrere Anwender einen gemeinsamen Teilstamm eines Unternehmens verwenden und dabei gleiche Teile in verschiedenen Produkten referenziert werden. Diese Aufgabe lässt sich allein durch organisatorische Maßnahmen in einem Dateisystem nicht lösen. Daher wurden die ersten PDM-Systeme entwickelt, mit dem Ziel, eine Dokumentenverwaltung für CAD-Dateien zu gewährleisten, die einen Mehrbenutzerbetrieb gestattet.

Im Laufe der Zeit haben sich die PDM-Systeme weiterentwickelt. So werden heute nicht nur CAD-Dokumente verwaltet, sondern Dateien von nahezu allen Anwendungsprogrammen, die in der Produktentwicklung eingesetzt werden. Auch auf funktionaler Seite hat es eine umfassende Entwicklung gegeben. Neben vielen Funktionen, die den Kernbereich des Engineering unterstützen, wurde das Leistungsspektrum auf den gesamten Lebenszyklus von Produkten ausgeweitet (vgl. **Abbildung 5-4**), was auch zur Einführung des neuen

Begriffes **PLM** führte. Dieser Begriff beinhaltet eine Strategie, deren Anspruch über den Bereich der Entwicklung hinausgeht, die eine ganzheitliche Verwaltung aller Daten zum Ziel hat, die während des gesamten Lebenszyklus eines Produktes anfallen. Dies beinhaltet auch die Fähigkeit, alle Prozesse der Produktentstehung sowie deren Informationsfluss zu steuern und zu kontrollieren.

Es ist allerdings zu beachten, dass ein so genanntes „*PLM-System*“ nicht mit einem CAD- oder PDM-System vergleichbar ist, da es sich nicht um ein IT-System handelt, welches installiert und in Betrieb genommen werden kann, sondern wie bereits erwähnt, bezeichnet PLM eine Strategie. Eine PLM-Strategie kann immer nur für einen konkreten Anwendungsfall unter Berücksichtigung der kundenspezifischen Anforderungen aufgebaut werden. Es basiert in aller Regel auf einem PDM-System und erfordert organisatorische und technische Maßnahmen bzw. Änderungen innerhalb eines Unternehmens zur Umsetzung dieser PLM-Strategie.

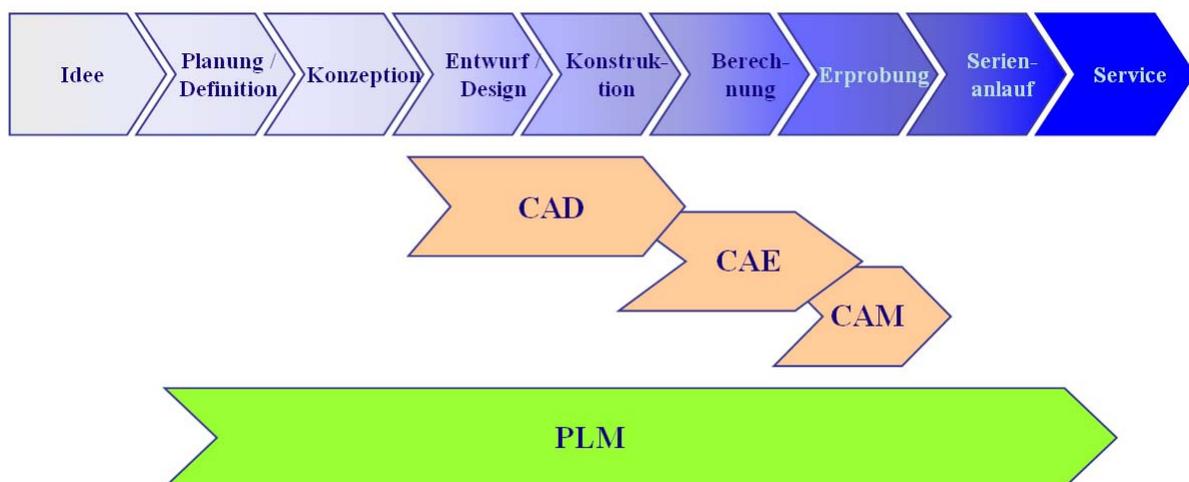


Abbildung 5-4: IT-Systeme im Produktlebenszyklus [31]

Neben der Einbindung aller Anwendungssysteme in eine PLM-Strategie, wie CAx und ERP (**E**nterprise **R**essource **P**lanning) kommen auch Systeme hinzu, welche unternehmensübergreifend eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind die Systeme SCM (**S**upply **C**hain **M**anagement) oder CRM (**C**ustomer **R**elationship **M**anagement).

Ein PDM-System hat bei allen Überlegungen zur Optimierung der Produktentwicklung eine herausragende Bedeutung. Wie in **Abbildung 5-5** dargestellt, verwaltet ein PDM-System die

zentrale Datenbasis, welche alle Informationen beinhaltet, die über das Produkt im Unternehmen vorhanden sind. Dies setzt voraus, dass alle beteiligten Anwendungsprogramme über Schnittstellen mit dem PDM-System verbunden sind, um Daten abzulegen und auf vorhandene Daten zuzugreifen. Innerhalb der zentralen Datenbasis liegen die Informationen über das Produkt in strukturierter Form vor. Sie bilden das so genannte virtuelle Produktmodell, welches ein Produkt vollständig beschreibt. Ein zentral geführtes Produktmodell ist die Voraussetzung für einen abteilungsübergreifenden Zugriff auf Produktdaten.

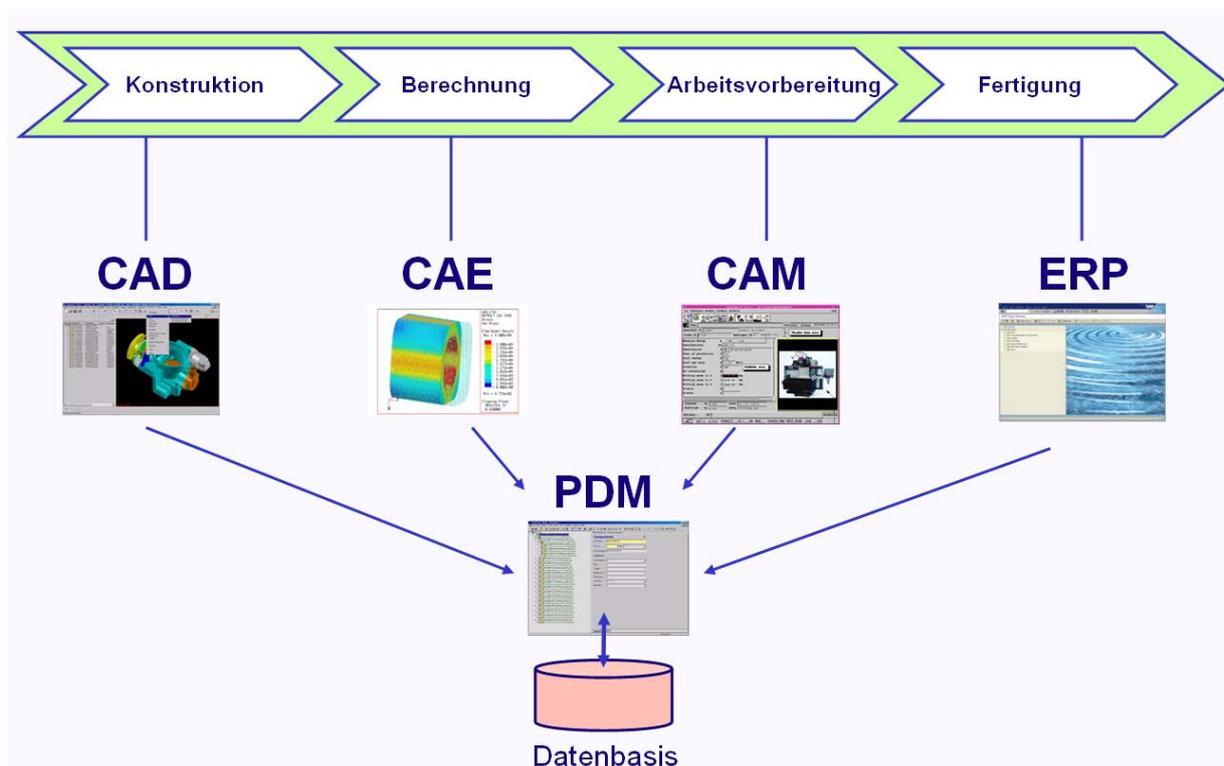


Abbildung 5-5: PDM als Integrationsmittelpunkt [30]

Da ein Produktmodell alle Daten über die Produkte eines Unternehmens verwalten soll, ist der Aufbau dieses Modells für eine effiziente Verwendung der abgelegten Informationen von entscheidender Wichtigkeit. Neben der sicheren Ablage der Daten ist vor allem wichtig, dass benötigte Informationen auch gefunden werden. Dazu wird eine Klassifizierung des Datenbestandes durchgeführt. Bei der Klassifizierung wird die Gesamtheit der Informationen mit Hilfe sinnvoller Klassen strukturiert. Eine Klasse verfügt dabei ähnlich wie in der objektorientierten Softwareentwicklung über einen Satz von beschreibenden Attributen.

Jedes Objekt innerhalb des Produktmodells verfügt in Abhängigkeit von seiner Klassenzugehörigkeit über diesen Satz von Attributen, welche jeweils mit den individuellen Attributwerten des Objektes belegt sind. Mit Hilfe der Klasseninformation und der Attribute

lassen sich Abfragen formulieren, um gezielt nach bestimmten Informationen zu suchen. Auf diese Weise kann beispielsweise nach allen CAD-Teilen gesucht werden, die einen Flansch mit kreisförmigem Anschluss und mit einem Durchmesser von 20 mm enthalten. Für die konkrete Art der Klassifizierung existiert keine allgemeingültige Vorgabe, da hier viele unterschiedliche Faktoren, wie die Unternehmensgröße, das Produktspektrum, die Fertigungstiefe usw. eine Rolle spielen, so dass eine Klassifizierung immer individuell erarbeitet werden muss.

Die grundsätzliche Art der Informationsverwaltung in PDM-Systemen entspricht jedoch der **Abbildung 5-6**. Dabei wird zwischen *Daten* und *Metadaten* unterschieden. Unter Daten werden dabei alle Informationen über das Produkt verstanden, die in Form von Dateien vorliegen. Bei den Dateien handelt es sich um alle Dateien, die im Zusammenhang mit dem Produkt stehen, beispielsweise CAD-, CAM-Dateien, Textdokumente oder Tabellen. Sie bilden den Kern der Produktinformationen. Die Daten werden in einem gesonderten Festplattenbereich abgelegt, der nur für das PDM-System zugänglich ist, so dass ein geregelter Zugriff sichergestellt werden kann.

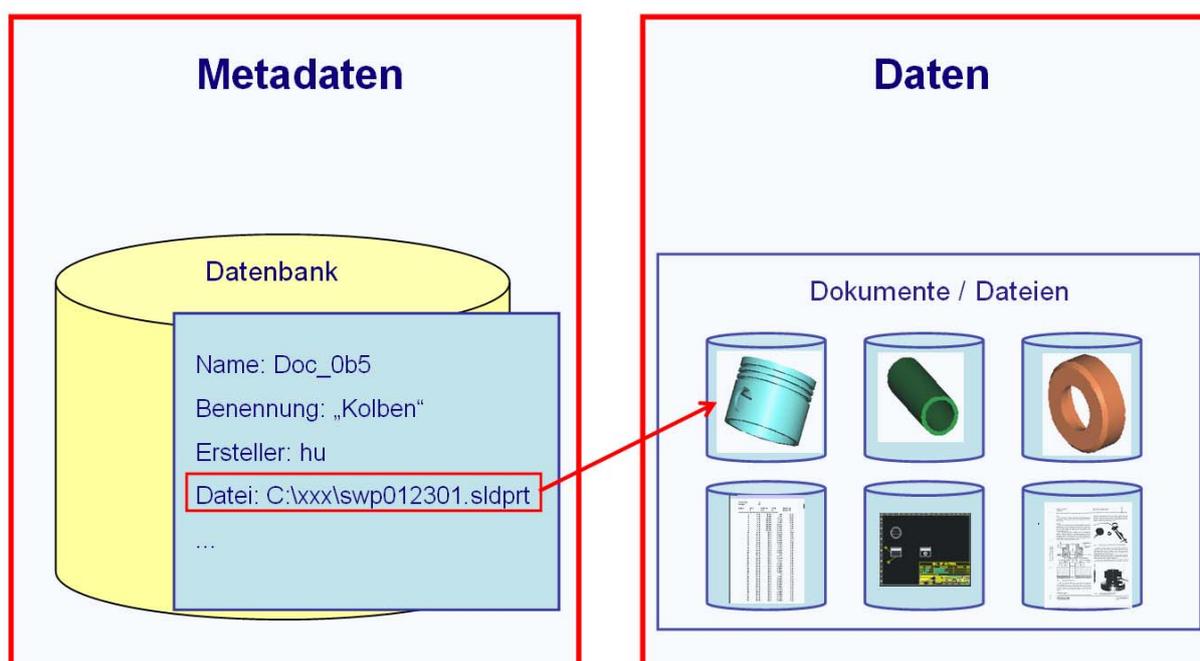


Abbildung 5-6: Informationen in PDM-Systemen [30]

Als Metadaten werden beschreibende Informationen bezeichnet. Die Metadaten sind identisch mit den Attributen der Objekte innerhalb des Produktmodells. Sie bestehen jeweils aus Attributen unterschiedlicher Datentypen, die einen Wert annehmen können. Neben

Metadaten, die vom System vorgegeben werden, können Metadaten auch frei definiert werden. Wenn Metadaten auch als Attribute von Objekten interpretiert werden, so werden sie technologisch in aller Regel durch das PDM-System in Form von Einträgen in Tabellen einer relationalen Datenbank abgebildet.

Typische Beispiele für Metadaten sind der Name, das Erstellungsdatum, die Benennung, der Ersteller usw., die auch jeweils in einem Schriftkopf einer Zeichnung enthalten sind. Die gesamte Datenbasis gliedert sich somit in zwei Bereiche, den für die Daten und die Metadaten. Während der gesonderte Speicherbereich für die Daten als Tresor oder Vault bezeichnet wird, werden die Metadaten in einer Datenbank abgelegt. Dabei handelt es sich bei den meisten Systemen um eine relationale Datenbank, die von einem innerhalb des PDM-Systems angesiedelten DBMS⁴, wie beispielsweise MS-SQL-Server oder Oracle verwaltet wird. Die Verknüpfung von Metadaten und Daten geschieht, wie in Abbildung 5-6 dargestellt, mit Hilfe eines speziellen Attributes, welches den Namen der Datei im Vault enthält. Über die Datenbank hat das PDM-System demnach Zugriff auf alle vorhandenen Dokumente.

Gerade mit Bezug zur Sportbootindustrie, die in hohem Maße von dezentralen Strukturen geprägt ist, ist die so genannte *Multi-Site* Fähigkeit von PDM-Systemen zu erwähnen. Dies bedeutet, dass ein PDM-System in der Lage ist, die logische zentrale Datenbasis physikalisch an mehreren Standorten zu verwalten. Diese Funktionalität geht auf eine entsprechende Eigenschaft der aktuell eingesetzten DBMS zurück. Dies ist nicht damit zu verwechseln, dass ein Zugriff auf eine zentrale Datenbank von beliebigen Standorten aus möglich ist. Vielmehr besteht die Möglichkeit, die Daten primär an verschiedenen Standorten abzulegen.

Diese Vorgehensweise macht immer dann Sinn, wenn bestimmte Produkte oder Varianten in erster Linie an einem Standort entwickelt werden. Dieser Standort wird dann als der „*führende Standort*“ bezeichnet, da dieser die „*Hoheit*“ über die dort verwalteten Daten besitzt. Über Synchronisationsmechanismen wird jedoch geregelt, dass von allen anderen Standorten aus auf alle Informationen zugegriffen werden kann. Sollen bestimmte Daten auch an einem anderen Standort bearbeitet bzw. geändert werden, so kann die Hoheit über die ausgewählten Datenbereiche auf diesen Standort übertragen werden. [RH]

⁴ DBMS: Database Management System

5.3 KBE – Knowledge Based Engineering

Das Thema „*Wissensbasierende Konstruktion*“ wird unter der Bezeichnung KBE von einigen Anbietern als aktuelle Neuentwicklung propagiert und gilt als Werkzeug für eine Optimierung der Produktentwicklung. KBE stellt einen sehr weit gefassten Bereich dar, der sowohl im Zusammenhang mit Wissensmanagement, mit CAD-Systemen und mit PLM steht. Historisch gesehen, wurden bereits gegen Mitte der 80er Jahre so genannte KBE-Systeme im Bereich der mechanischen Konstruktion veröffentlicht, welche sich parallel zu den CAD-Systemen entwickelten. Dabei spielte im KBE-Umfeld vor allem die Programmiersprache LISP⁵ eine entscheidende Rolle. Kennzeichnend war, dass die Programmierung des eigentlichen Anwendungssystems auf der Anwenderseite durch den Kunden stattfand. Mit Hilfe der KBE-Basissysteme und der in der Programmiersprache LISP erstellten individuellen Erweiterungen entstanden so umfangreiche, regelbasierte Expertensysteme für verschiedene Anwendungen. In vielen Bereichen wurden auf diese Weise äußerst leistungsfähige Entwicklungswerkzeuge geschaffen.

Diese Art der Systementwicklung konnte sich jedoch auf Dauer nicht am Markt in einer signifikanten Breite durchsetzen. Da für die Entwicklung dieser Expertensysteme sowohl Expertenwissen im technologischen Anwendungsbereich als auch in der Programmierung erforderlich ist, können nur große Unternehmen einen derartigen Aufwand leisten. Die erzielten Expertensysteme sind in ihrem Einsatzbereich meist auf einen kleinen Spezialbereich beschränkt und nicht auf andere Anwendungsgebiete übertragbar. Daher konnten sich die CAD-Systeme gegenüber den KBE-Systemen auf dem Markt weitgehend durchsetzen.

Die Anbieter der High-End CAD-Systeme bieten auch heute noch Lösungen für die Anwendung von KBE im Rahmen ihrer CAD-Systeme an. So ist mit *Knowledgeware* eine Implementierung innerhalb des Systems Catia von Dassault Systemes und mit *Knowledge Fusion* (KF) für das System NX von Siemens PLM verfügbar. Unter dem Titel Wissensmanagement wird vor allem das KF momentan stark beworben. Die Wiederentdeckung des Themas KBE nutzt zum einen die neuen Möglichkeiten der Featuretechnologie und zum anderen hat sich an dem prinzipiell regelbasierenden Ansatz nicht viel geändert. Prinzipiell stellt ein KBE-Zusatzmodul eine Makrosprache dar.

⁵ LISP: List Processing = Listen-Verarbeitung, 1958 am MIT erstmals definiert

Mit dieser Makrosprache hat der Anwender die Möglichkeit, die für die Konstruktion seiner Produkte identifizierten Regeln in Programme zu transformieren. Neu ist hingegen, dass durch die Ausnutzung der Featuretechnologie die 3D-CAD-Modelle direkt assoziativ aktualisiert werden. Im Einzelnen ist die Programmiersprache KF durch die folgenden Eigenschaften charakterisiert [32]:

- Objekt-orientiert, deklarativ und interpretiert
- Demand-Driven, Werte werden erst berechnet, wenn durch ein Update angefordert
- Geometrische Objekte und die zugehörigen Regeln sind immer synchron: Interaktive Änderungen an einem Objekt führen zu Regeländerungen und umgekehrt
- Syntax der Sprache ähnlich Java
- Umfangreiche Klassen- und Funktionsbibliothek
- Grafische Entwicklungsumgebung User-Interface-Styler für Benutzeroberflächen

Aus der Sicht des Autors hat der Ansatz eines Wissensmanagements mit Hilfe von KBE-Systemen, die in 3D-CAD-Systeme eingebunden sind, für den hier behandelten Aufgabenbereich jedoch einige Schwachstellen. Zunächst existiert naturgemäß eine große Abhängigkeit von dem jeweils eingesetzten 3D-CAD-System. Die heute verfügbaren kommerziellen Systeme sind außerdem vorwiegend nur für den High-End Bereich der 3D-CAD-Systeme verfügbar, was den Kostengesichtspunkt besonders für mittelständische Unternehmen zu einem kritischen Faktor werden lässt. Auch der Aufwand zur Erfassung des vorhandenen Wissens und seine Abbildung in einem Programm zur Definition eines gültigen Regelwerks stellt einen nicht zu unterschätzenden initialen Aufwand dar, der von den meisten mittelständischen Unternehmen selbst nicht erbracht werden kann.

Ein ganz wesentlicher Nachteil dieser „neuen“ KBE-Strategie liegt jedoch darin, dass die Wissensbasis innerhalb des 3D-CAD-Systems und damit in der Konstruktion angesiedelt ist. Wenn als übergeordnetes Ziel eine Optimierung der gesamten Produktentwicklung angestrebt wird, so erscheint eine Unterstützung durch den Einsatz von Wissensmanagement nur dann sinnvoll, wenn dabei auch die gesamte Breite der Produktentwicklung unterstützt wird.

Daher wird für die Entwicklung des Konzeptes auf eine Verwendung der in den 3D-CAD-Systemen integrierten KBE-Module verzichtet. Stattdessen wird in dieser Arbeit ein neuer Ansatz verfolgt, um eine wissensbasierte Produktentwicklung zu unterstützen. Dabei findet die Einbettung des Wissensmanagement auf der Ebene eines PDM-Systems statt. Dadurch wird eine Nutzung auch in anderen Unternehmensbereichen als der Konstruktion möglich.

Eine Voraussetzung dafür ist allerdings, dass das zum Einsatz kommende PDM-System über ein flexibles Datenmodell und eine leistungsfähige API⁶ verfügt, damit die erforderlichen Erweiterungen dort eingebunden werden können. Darüber hinaus muss die Schnittstelle des PDM-Systems mit dem 3D-CAD-System auf einer hohen technologischen Ebene angesiedelt sein, damit ein Zugriff auf die internen Strukturen der 3D-CAD-Modelle möglich ist.

5.4 CRM – Customer Relationship Management

Die Händler sind für ein rechnergestütztes Gesamtsystem eine wertvolle Quelle für alle nur denkbaren Kundeninformationen. Diese Kundendaten erhält ein Händler über Beschaffungskanäle wie Veranstaltungen, persönliche Empfehlungen oder über das Internet. Das Internet ist in den letzten Jahren zu einer wertvollen Quelle für Interessenten geworden. Dies bedeutet, die Händlerintegration in das Gesamtkonzept muss ein elementarer Bestandteil sein, da die Händler den besten Kontakt zu den Kunden haben und die derart gewonnenen Kundeninformationen für die Boothersteller eine wertvolle Anregung zur Optimierung der Prozesse im Bootsbaus darstellen. Ein derartiges Kundenbeziehungsmanagement, auch CRM genannt, ist Teil einer Unternehmensstrategie, welche die Kundenorientierung dauerhaft in einem Unternehmen verankern soll.

Ähnlich dem PLM-Konzept ist auch das CRM mehr als nur eine Software, zu dessen Nutzung zunächst eine CRM-Strategie entwickelt werden muss. Dazu müssen die vorhandenen Geschäftsprozesse bezüglich der Vermarktung von Produkten im Hinblick auf die vom Unternehmen gewünschte Kundenorientierung hin überprüft und gegebenenfalls korrigiert bzw. optimiert werden. Anschließend kann eine CRM-Strategie durch die Unterstützung einer CRM-Software den gesamten „*Kundenlebenszyklus*“ abbilden und schafft damit die Voraussetzung für eine nachhaltige Verbesserung der Prozesse Marketingplanung, Kundenakquisition, Vertrieb, Auftragsabwicklung und Kundenservice, wodurch die Kundenorientierung im Hinblick auf eine erhöhte Kundenzufriedenheit und eine langfristige Kundenbindung erheblich gesteigert werden kann [33].

Mit der Umsetzung von CRM in Unternehmen sind zwei zentrale Themenbereiche betroffen. So ist häufig eine Neuausrichtung der Geschäftsprozesse erforderlich, die zur Marktbearbeitung sowie zu einem definierten Verkaufsprozess notwendig sind. Diese Prozesse

⁶ API: *Application Interface*

müssen dann abteilungsübergreifend auf der Basis einer Unternehmensstrategie auf den Kunden hin fokussiert werden. Des Weiteren ist ein integriertes IT-System notwendig, das alle Kommunikationskanäle synchronisiert, damit alle kundenbezogenen Informationen bearbeitet werden können. Hierbei können durch den Einsatz einer Datenbank so genannte profitable und unprofitable Kunden identifiziert und mit der Kenntnis ihrer Bedürfnisse gezielt angesprochen und betreut werden. In der Praxis wird heute immer noch entweder der IT- oder der Strategie-Orientierung des CRM eine höhere Bedeutung beigemessen, obwohl für einen optimalen CRM-Einsatz beide Strategien erforderlich sind [34].

Das CRM kann mittlerweile auf einige Jahre Entwicklungszeit zurückblicken, die Wachstumsraten sind durchaus ansprechend und mittlerweile existiert auch eine CRM-expo, trotzdem haben bis heute nur sehr wenige mittelständische Unternehmen und nur ca. die Hälfte aller Großkonzerne sich eingehend mit CRM auseinander gesetzt. Somit stellt sich hier die Frage: *Worin liegt dies begründet?* Die Antwort kann hier nur lauten: Die Unternehmen haben sich einseitig auf eine IT- oder eine Strategie-Orientierung fokussiert und das muss zwangsläufig zum Scheitern eines CRM-Vorhabens führen.

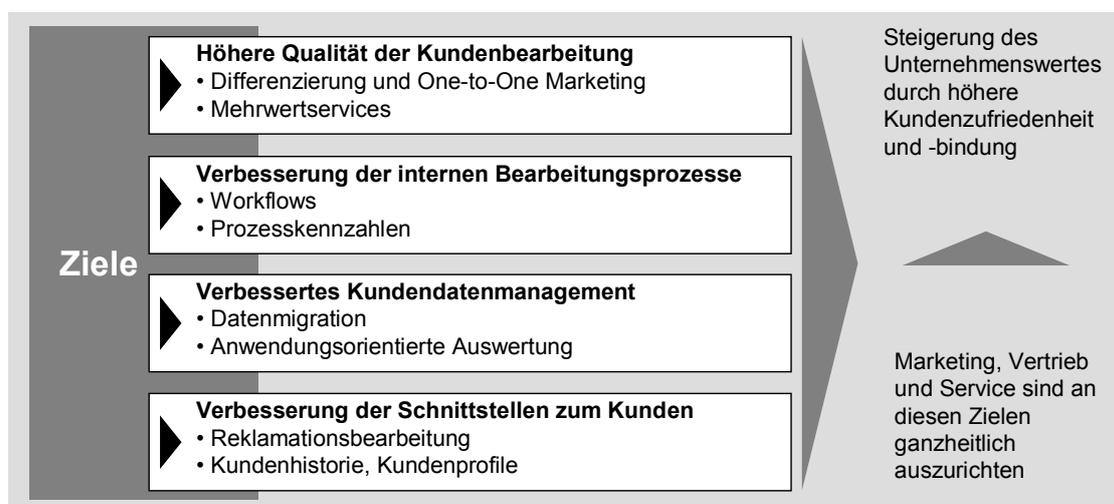


Abbildung 5-7: Grundsätzliche Ziele von CRM [34]

Die Umsetzung aller möglichen Ziele des CRM gemäß der **Abbildung 5-7** ist im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit von [34] realisiert worden. In dieser Arbeit wird der Kunde in den Mittelpunkt des unternehmerischen Handelns gestellt und es wird aufgezeigt, dass die Verbesserung der Kundenbeziehungen zwischen Unternehmen und Kunde zu einer langfristig orientierten Kundenbindung führt, wodurch ein Unternehmenswachstum und eine Rentabilität erreicht werden kann. Dieser Sachverhalt entspricht genau den Anforderungen

an eine optimale Händlerintegration, so wie weiter oben gefordert. Eine derart komplexe Arbeit kann in ihrer Gesamtheit nicht in das hier vorliegende Konzept integriert werden, aber in dem Konzept wird eine Möglichkeit vorgesehen, die in einer späteren Ausbaustufe die Einbeziehung von CRM gestattet.

5.5 Auswahl der Komponenten für das Konzept

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die grundsätzlichen Eigenschaften von 3D-CAD- und PDM-Systemen sowie die Strategien und Methoden des PLM und des KBE vorgestellt. Damit sind die wesentlichen Technologien genannt, die im Rahmen des neu zu entwickelnden Konzepts angewendet werden sollen. Bevor jedoch das Konzept konkret entwickelt wird, erfolgt zunächst die Auswahl der Systeme und Komponenten, welche als Basis für das neue System fungieren.

Dazu wird ein Ansatz für die Integration der Komponenten formuliert, der die verfügbaren Standardkomponenten, wie beispielsweise ein 3D-CAD-System, mit den neu zu entwickelnden Modulen in einer Art verbindet, dass ein homogenes Gesamtsystem entsteht, welches in der Lage ist, die gestellten Anforderungen zu erfüllen. Die **Abbildung 5-8** zeigt die verschiedenen Bestandteile des Gesamt-Systems sowie die jeweils zu realisierenden Verbindungen, die einen Informationsfluss ermöglichen. Mit diesem Gesamtsystem wird auch den Anforderungen gemäß der **Abbildung 4-1** Rechnung getragen. In der Abbildung 5-8 sind die neu zu entwickelnden Komponenten, wie beispielsweise das Modul „**Integration**“ gegenüber den Standardkomponenten farblich hervorgehoben.

Die Basis des gesamten Systems stellt ein PDM-System dar. Dabei handelt es sich um ein aufgabenspezifisches, konfiguriertes PDM-System, welches in der Lage ist, alle produkt-relevanten Dateien und mit Hilfe einer zugrunde liegenden Datenbank auch alle Metadaten zu verwalten. Das neu zu entwickelnde Modul „**Integration**“ bildet die Schnittstelle zwischen dem PDM-System und allen weiteren Anwendungen. Die Integrationsebene stellt damit auch die Verbindung zwischen dem PDM- und dem 3D-CAD-System her.

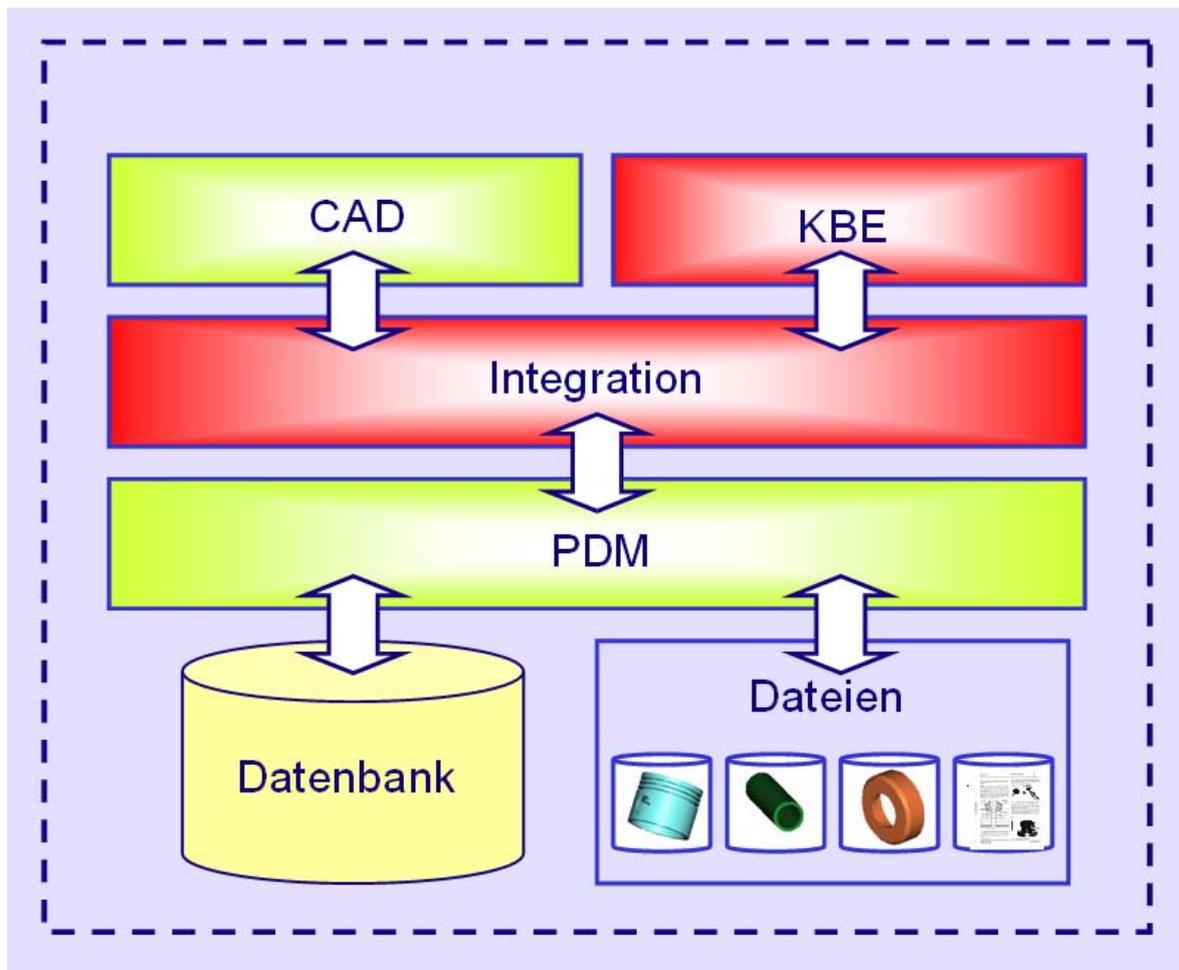


Abbildung 5-8: Komponenten für den Integrationsansatz

Durch die Verwendung der Programmierschnittstellen der jeweiligen Systeme wird auf diese Weise ein Zugriff auf die internen Strukturen hergestellt. So kann das 3D-CAD-System die von ihm benötigten Dateien, über die Integrationsebene aus dem PDM-System abrufen. In der anderen Richtung werden zum Beispiel Attribute, wie ein Zeichnungsmaßstab von dem 3D-CAD-System abgefragt und an das PDM-System übertragen. Das Integrationsmodul tritt für den Anwender nicht als eigenständiges Programm in Erscheinung, vielmehr wird es über die Benutzeroberflächen von dem 3D-CAD- und dem PDM-System implizit aktiviert.

Die Funktionalitäten des Wissensmanagements werden durch das Modul „**KBE**“ bereitgestellt. Da hier ein Ansatz verfolgt wird, der das Thema KBE in dem gesamten Bereich der Produktentwicklung ansiedelt und nicht auf die reine Konstruktion beschränkt, verfügt das Modul „**KBE**“ durch die Anbindung an das Integrationsmodul über einen Zugang zu der zentralen Datenbasis des PDM-Systems.

Unter der Berücksichtigung der hier formulierten Rahmenbedingungen können nun im Folgenden die zu verwendenden Standardsysteme für das Konzept ausgewählt werden.

Die Auswahl eines **3D-CAD-Systems** kann sich auf Grund der Kostenkriterien im Sportbootbau nicht in dem High-End Bereich bewegen. Bei der Betrachtung der zur Verfügung gestellten Funktionalitäten speziell für den Sportbootbau, bieten die 3D-CAD-Systeme im Low-End Bereich leider keine speziellen Module an, lediglich im High-End Bereich finden sich spezielle Anpassungen für den allgemeinen Schiffbau, weniger für den Sportbootbau. Aus diesem Grund werden von den großen Werften überwiegend die 3D-CAD-Systeme Unigraphics NX oder Catia eingesetzt, da sich diese mit Hilfe von branchenspezifischen Anpassungen im Wesentlichen an der Handhabung der komplexen Strukturen von Großschiffen orientieren, wie z.B. der Erstellung der Rohrpläne.

Für den hier vorliegenden Anwendungsfall kann somit die Auswahl eines 3D-CAD-Systems auf den Bereich der Low-End beschränkt werden. Da die beiden bereits genannten 3D-CAD-Systeme SolidEdge und SolidWorks über eine vergleichbare Architektur und Funktionalität verfügen, wird auf einen detaillierten Benchmarktest verzichtet. Einzelne wissenschaftliche Arbeiten, die an dem Institut für Ingenieurinformatik der Universität Duisburg-Essen durchgeführt wurden, enthalten eine Reihe von Benchmarktests für CAD- und PDM-Systeme, auf die hier ebenfalls zurückgegriffen werden kann [36]. Somit fällt in diesem Fall die Auswahl auf das 3D-CAD-System **SolidWorks** von Dassault, da der Autor darüber hinaus auch noch mit diesem System bereits gut vertraut ist.

Für den Bereich der **PDM-Systeme** ist es für das zu entwickelnde Konzept besonders wichtig, ein System auszuwählen, welches über Mechanismen verfügt, die eine möglichst einfache und flexible Definition des Datenmodells erlauben. Daneben ist für die Anbindung des Integrationsmoduls eine leistungsfähige Programmierschnittstelle erforderlich. Unter diesen Gesichtspunkten fällt die Auswahl auf das PDM-System **Smarteam** von Dassault Systemes. Smarteam verfügt über zahlreiche Hilfsprogramme, welche eine tiefgehende Anpassung des Systems ohne Programmierung erlauben. So kann beispielsweise das Datenmodell mit Hilfe des „Data Model Designer“ komplett grafisch interaktiv beschrieben werden. Die Programmierschnittstelle von Smarteam ist in Form einer COM⁷-API gestaltet und ermöglicht die Erstellung von eingebetteten oder eigenständigen Anwendungsprogrammen in jeder Programmiersprache, die COM unterstützt.

⁷ COM: Component Object Model, Schnittstellentechnologie von Microsoft

Für den Bereich der **CRM-Systeme** ist zweifelsfrei der Marktführer **SAP** besonders geeignet. Da aber in der ersten Phase der Schwerpunkt auf der Integration von Produktinformationen aus dem Kundenumfeld in die Produktentwicklung liegt, ist keine Implementierung einer vollständigen CRM-Lösung erforderlich. Aus diesem Grund wird ein erweitertes Adressmanagement mit einer Anbindung von technischen Mitteilungen entwickelt, welches mit Hilfe von Funktionalitäten des PDM-Systems bereitgestellt werden kann.

Damit sind die beiden entscheidenden Standardkomponenten CAD und PDM festgelegt. Für die Erstellung der neu zu entwickelnden Software-Komponenten ist noch zu definieren, mit welcher **Programmiersprache** diese umgesetzt werden. Da auch das 3D-CAD-System SolidWorks eine COM-API beinhaltet, kommt prinzipiell jede Programmiersprache in Betracht, die über eine Unterstützung der COM-Technologie verfügt. Aus diesem Grund fällt die Auswahl auf die objektorientierte Programmiersprache **C++**. Neben einer vollständigen Unterstützung des objektorientierten Paradigmas bietet C++ eine hervorragende Performance. Auf Grund der weiten Verbreitung stehen für C++ - Programme viele Bibliotheken zur Verfügung, welche für spezielle Teilaufgaben eingebunden werden können. Für eine detaillierte Beschreibung des Sprachumfangs wird aus Platzgründen verzichtet und deshalb auf die ausreichend verfügbare Fachliteratur verwiesen.

6 Konzept für eine anwendungsorientierte PE mit KBE

Die IST-Analyse und die daraus abgeleiteten Anforderungen haben gezeigt, dass im Sportbootbau die moderne Informationstechnologie noch nicht den Stellenwert erreicht hat, der notwendig ist, um den Herausforderungen der Globalisierung gerecht zu werden. Dieser Nachteil trifft auf fast alle Unternehmensbereiche eines weltweit agierenden Konzerns zu. Bevor ein rechnergestütztes Konzept entwickelt wird, sollen zunächst noch einmal die Kriterien erarbeitet werden, welche eine Konstruktion, die Produktion und den Verkauf von Sportbooten langfristig sichern. Im Rahmen dieser Arbeit lassen sich nicht alle Kriterien detailliert herausarbeiten, da deren Anzahl viel zu hoch ist und darüber hinaus ist der damit verbundene Informationsbedarf sehr umfangreich und komplex. Insbesondere die Komplexität der Daten erschwert eine ganzheitliche Bearbeitung der Sportbootentwicklung, da die einzelnen Daten nicht „*eindimensional*“ sondern eher „*mehrdimensional*“ zu handhaben sind. Darunter wird hier verstanden, dass fast jede Information immer mehrere Kriterien gleichzeitig beeinflusst. So kann die Änderung einer Information bei dem ersten Kriterium eine positive und bei einem anderen Kriterium eine negative Beeinflussung bewirken. Allein dieser Sachverhalt rechtfertigt in jeder Hinsicht ein rechnergestütztes Konzept, damit diese gegenseitigen Beeinflussungen dann durch eine Simulation möglichst schnell und sicher zu einem Optimum geführt werden können.

Nachfolgend werden zunächst die für das Konzept notwendigen Änderungen hinsichtlich der Organisation und Kommunikation in den Unternehmen definiert, bevor die Verbesserungen in den Geschäftsprozessen und hier insbesondere für die Konstruktion für ein Konzept zur rechnergestützten Bearbeitung herausgearbeitet werden. Diese Änderungen bilden in Verbindung mit den Anforderungen die Grundlage für die Generierung einer Software-Architektur, deren Inhalte anschließend detailliert vorgestellt werden.

6.1 Änderung der Organisation und der Kommunikation

In den global arbeitenden Unternehmen gibt es in der Regel keine einheitlich strukturierte Organisation, da das so genannte „*Mutter*“ - Unternehmen durch den ständigen Zukauf von Unternehmensteilen häufig nicht über die notwendige Zeit verfügt, ihre Organisationsstruktur der jeweils neuen Situation anzupassen. Speziell im Sportbootbau ist meistens die vertikale Organisation der Werften vorhanden.

Nach Jarillo [24] hat die vertikale Organisation von Branchen vor allem den Vorteil, dass die einzelnen Prozesse harmonisch aufeinander abgestimmt sind. Allerdings arbeiten die einzelnen Unternehmen kaum integrativ, so dass diese Unternehmen „das Rad“ konstruktiv immer wieder neu erfinden, ohne auf bereits vorhandene Konstruktionen zurückzugreifen. Diese Vorgehensweise führt zu sehr hohen Ausgaben im FuE - Bereich, wodurch zwangsläufig die Fixkosten insgesamt zunehmen. Die hohen FuE - Kosten führen wiederum dazu, dass die Unternehmen dann nur in einem sehr geringen Maße innovative Technologien einführen.

Demgegenüber erlaubt eine horizontale Organisation den Unternehmen eine Spezialisierung in den verschiedenen Geschäftsprozessen, was insgesamt zu erheblichen Verbesserungen in allen Unternehmensbereichen führt. Ebenso werden die Gesamtkosten für FuE reduziert und damit können innovative Technologien eingeführt und damit die Prozesse optimiert werden, mit dem Ziel

- einer enormen Qualitätsverbesserung,
- bei einer Material- und Kosteneinsparung, aber auch
- verkürzter Entwicklungs- und Produktionszyklen sowie
- der Schaffung wettbewerbsfähiger Marktpreise.

Dies sind wesentliche Gründe, die für eine Umstellung von einer vertikalen zu einer horizontalen Organisation sprechen. Da aber der Bootsbau nicht in nur einem Unternehmen stattfindet, sondern auf viele Unternehmen verteilt ist, kann dies nicht so einfach durchgeführt werden. Dieses Problem wird durch den momentan stattfindenden Informationsfluss zwischen den beteiligten Unternehmen (vgl. **Abbildung 3-3**) noch erheblich verstärkt. Wie die Darstellung dort zeigt, sind nicht immer alle Unternehmensbereiche über den augenblicklichen Stand einer MSB-Bearbeitung informiert. Insbesondere die Tochter-Unternehmen und die externen Unternehmen (z.B. Lieferanten von Motoren, Propellern, etc.) kommunizieren nur mit der Planungsabteilung der MSB-BAU, obwohl der Bootkonstrukteur die Einbaumasse von späteren Einbauten von diesen Lieferanten möglichst zeitnah benötigt, diese aber erst über einen langen organisatorischen Weg erhält.

Dieser Sachverhalt wird auch durch die Anforderung an das Konzept bestätigt, indem alle beteiligten Unternehmen zukünftig immer nur auf aktuelle Informationen zurückgreifen sollen. Aus diesem Grunde wird die Organisation und Kommunikation dahingehend geändert, indem in der Darstellung des Produktentstehungsprozesses (vgl. **Abbildung 3-3**) der Mittelpunkt

(Viereck mit Fragezeichen, Kommunikation) gemäß Kap. 4.4 durch ein Datenmodell (vgl. **Abbildung 6-1**) ersetzt wird, welches in dem Mutterunternehmen MSB-BAU installiert wird. In diesem Datenmodell werden alle Informationen (Daten und Erfahrungswerte) (vgl. Abbildung 4-1) gespeichert, ständig aktualisiert und verwaltet. Auf dieses Datenmodell sollen neben den Unternehmensbereichen der MSB-BAU auch die am Gesamtprozess beteiligten Tochter-Unternehmen, externe Unternehmen, die Händler und die Kunden nach genau definierten Regeln zugreifen dürfen. Dadurch ist ein besserer Informationsfluss gewährleistet und die Kommunikation insgesamt wird erheblich verbessert.

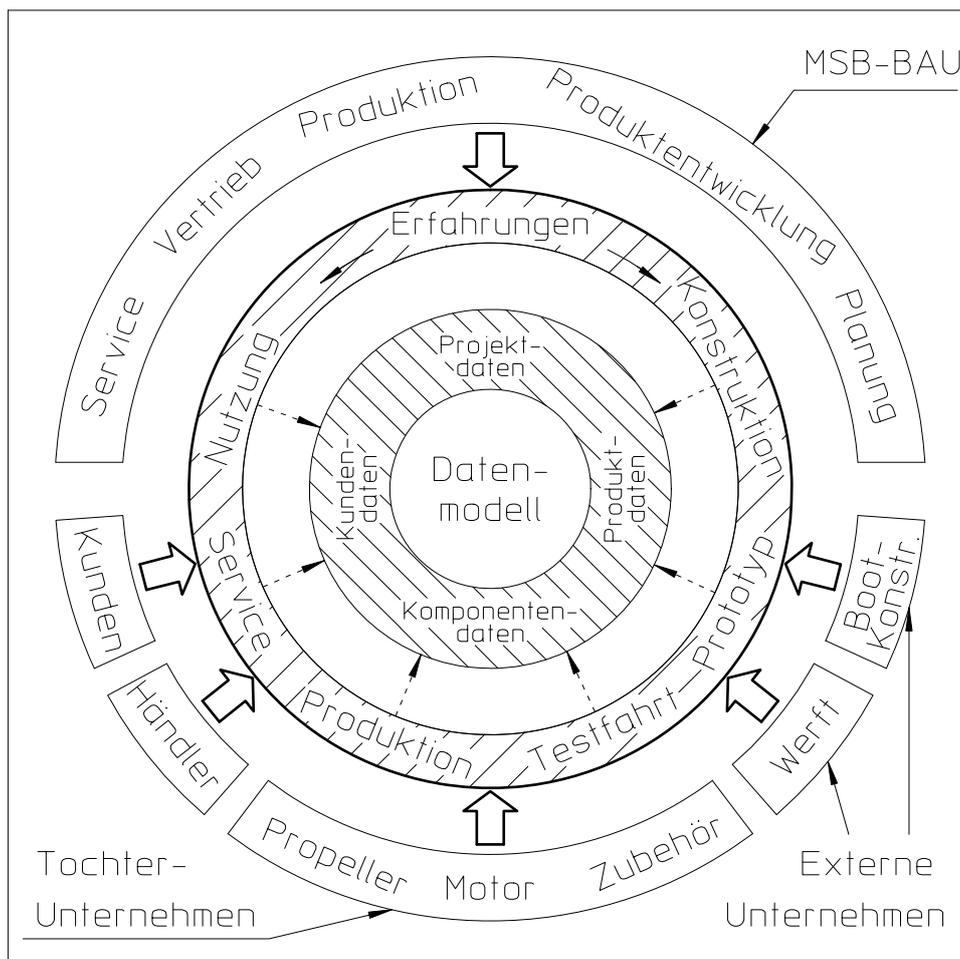


Abbildung 6-1: Zugriffe auf das Datenmodell

Der in Kap. 4.2 geforderte DOE im MSB-BAU ist zusammen mit den Experten der einzelnen Unternehmensbereiche für die Konzeption des Datenmodells verantwortlich. Hierbei ist festzulegen, welche Informationen gespeichert werden sollen und in welcher Beziehung die einzelnen Informationen zueinander stehen, damit die Anwender mit möglichst einfachen Mitteln auch wirklich auf alle Informationen zugreifen können.

Des Weiteren muss der DOE ein Berechtigungskonzept erstellen, welches definiert, welcher Anwender (intern oder extern) auf welche Informationen lesend und / oder schreibend zugreifen darf. Dies ist schon allein deshalb notwendig, damit gewährleistet ist, dass das im MSB-BAU vorhandene know how nicht in unbefugte Hände gerät. Es ist davon auszugehen, dass das erste entwickelte Datenmodell auf Grund der hier vorliegenden Komplexität sicherlich nicht alle denkbaren Möglichkeiten enthält. Deshalb muss der DOE eine Art Überwachungsfunktion übernehmen und bei jeweils gravierenden Anregungen durch die Anwender das Datenmodell von Zeit zu Zeit modifizieren.

6.2 Verbesserung der Geschäftsprozesse durch das Konzept

Das vorhandene Datenmodell eröffnet für die Arbeitsweise in den einzelnen Geschäftsprozessen eine ganze Reihe von Möglichkeiten, die zu einer Verbesserung der Qualität, einer Verkürzung der Durchlaufzeiten und zu einer besseren Liefertreue führen. Dies beginnt schon in dem GP Planung damit, dass die Ergebnisse einer breit angelegten überregionalen Marktanalyse, in welche die vertragsgebundenen regionalen Händler mit einbezogen werden, in das Datenmodell eingetragen werden und somit den Unternehmen genügend Hinweise geben, wie diese zukünftig ihr Produktportfolio ausrichten müssen, um konkurrenzfähig zu bleiben.

Eine Verbesserung der Geschäftsprozesse ist aber nur möglich, wenn die Mitarbeiter in den einzelnen Unternehmensbereichen die von ihnen gemachten negativen Erfahrungen auch wirklich in das Gesamtsystem eingeben. Dazu sind seitens des DOE Funktionen bereit zu stellen, die es dem Anwender erlauben, diese Erfahrungswerte zielgerichtet einzugeben, damit der spätere Nutzer diese Informationen ohne große Suchaktionen auch wirklich wieder findet. In dem Moment, wenn ein Anwender selbst in die Verlegenheit kommt, dass er für die Fortsetzung seiner momentanen Bearbeitung eines Problems derartige Erfahrungswerte benötigt und diese im System auch tatsächlich findet, wird dieser zweifelsfrei seine vielleicht vorhandene Abneigung gegen eine Mitteilung seiner eigenen Erfahrung überwinden und damit zukünftig selber auch mitteilungsfreudiger werden.

Dass alle Geschäftsprozesse von dem Datenmodell profitieren ist ohne Zweifel gegeben. Da innerhalb des Produktentstehungsprozesses der **GP Produktentwicklung** und hier insbesondere der **TP Konstruktion** mit der Gestaltung des Rumpfes (vgl. Kap. 2.1) die größten Probleme hat, sollen die Verbesserungen in dem TP Konstruktion detailliert vorgestellt werden. Mit Hilfe eines 3D-CAD-Systems kann ein MSB auf der Basis einer Parameter-

variation konstruiert werden, wodurch neben dem Vorteil der Zeitersparnis bei der Konzeption des Rumpfes insbesondere auch eine bessere Berücksichtigung der Vorgaben hinsichtlich des Platzbedarfs, der Fahrdynamik, der Sicherheit, etc. gewährleistet wird.

So ist eine einfache Gestaltung bestimmter Rumpfstiltypen, Aufbauten, Einrichtungen und Farben (Retrodesign, Wasserskiboot, moderne oder gar futuristische Linien, Cockpit, Sitze, Staufächer) entsprechend den aktuellen stilistischen Entwicklungen in der Auto- oder Möbelindustrie und den allgemeinen Entwicklungen aus dem Bereich des Industriedesigns möglich (vg. **Abbildung 6-2**). Dies bedeutet, dass entsprechend den Vorstellungen eines Kunden sehr schnell das von ihm gewünschte Designkonzept erstellt werden kann. Die häufig von einer Marketinggruppe ermittelten Kundenwünsche (z. B. aus Umfragen, Focus groups, Kundenreaktion auf Neuerscheinungen) können sogar unmittelbar im Gespräch mit den Teilnehmern in eine 3D-CAD-Konstruktion umgesetzt und als Zeichnung sofort ausgegeben werden.

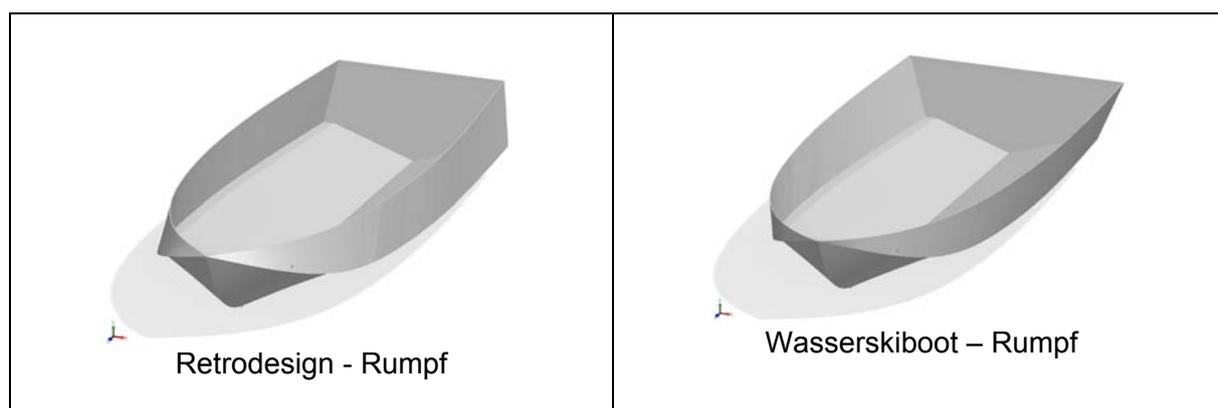


Abbildung 6-2: Designbeispiele für einen Rumpf

Die anschließende Variation der Parameter ermöglicht eine sofortige Ergebnis-Analyse der vorgenommenen Konstruktionsänderungen. So kann eine einfache Umgestaltung der Boot-Seitenwände das Platzangebot erheblich beeinflussen oder die Veränderung der Rumpfkimmung (Rumpfwinkel β) wirkt sich enorm auf die Fahrdynamik und auf den Einbauraum für die Motoren aus. Das nachfolgende Beispiel soll diese Vorgehensweise verdeutlichen.

Die **Abbildung 6-3** zeigt ein 6 m langes Motorsportboot (MSB_6m) mit einem sehr flach gestalteten Rumpf. Der Rumpfwinkel β fängt an der Spiegelplatte mit einem relativ geringen Wert ($\beta = 18^\circ$) an und steigt moderat bis $\beta = 40^\circ$ an der Bugspitze an (vgl. in der Abbildung 6-3 von rechts nach links) [37].

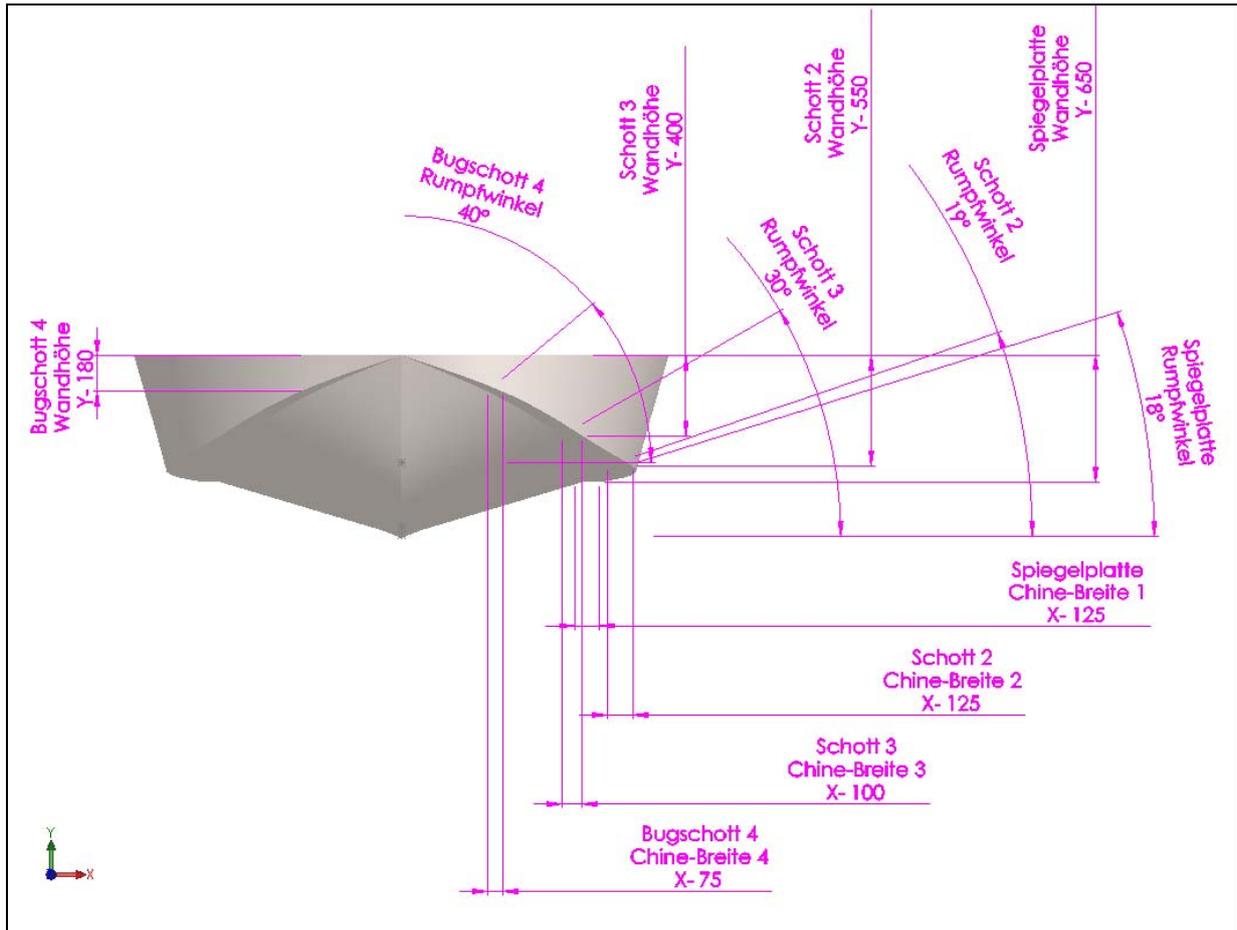


Abbildung 6-3: Liniendarstellung des MSB_6m

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
2		D3@Skizze5 Kiellinie	Lges@Skizze5 Kiellinie	Laengenpunkt Kielradius@Skizze5 Kiellinie	D6@Skizze5 Kiellinie	Tiefe Kielradius@Skizze5 Kiellinie	Randhoehe@Skizze5 Kiellinie	Kiellinie Gerade@Skizze5 Kiellinie	Spiegelwinkel@Skizze5 Kiellinie	DL@Position Schottwände	Z-Lage Schott 3 @Position Schottwände	Deckbreite1@Skizze6_Decklinie	BugwinkelD4@Skizze6_Decklinie	DL@Ebene1_Abspalten_Bugspitze	DL@Wandung1	Deckbreite2@Skizze6_Decklinie	Deckbreite3@Skizze6_Decklinie	Beta1@Skizze7 Spiegelplatte 1	Beta2@Skizze12 Schott 2	Beta3@Skizze13 Schott 3	Beta4@Skizze14 Schott 4 Bugbereich	Bordwandhoehe2@Skizze12 Schott 2	Bordwandhoehe3@Skizze13 Schott 3	Bordwandhoehe4@Skizze14 Schott 4 Bugbereich	Bordwandhoehe1@Skizze7 Spiegelplatte 1	Chine 1@Skizze7 Spiegelplatte 1	Chine 2@Skizze12 Schott 2	Chine 3@Skizze13 Schott 3	Chine 4@Skizze14 Schott 4 Bugbereich
3	Std 22-44Grad	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2000	40	100	10	1950	700	22	23	33	44	550	400	180	650	125	125	100	75
4	Std 16-40Breit	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2250	40	100	10	2500	850	16	18	28	40	550	400	180	650	125	125	100	75
5	Std 16-40Schmal	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2000	40	100	10	1950	700	16	18	28	40	550	400	180	650	125	125	100	75
6	Std 24-48Grad	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2000	40	100	10	1950	700	24	25	38	48	580	400	180	650	125	125	100	75
7	Std 18-45Grad	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2000	40	100	10	1950	700	18	21	32	45	550	400	180	650	125	125	100	75
8	Std 16-50Grad	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2000	40	100	10	1950	700	16	24	34	50	520	400	180	650	125	125	100	75
9	Std 18-40Schmal	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	1750	40	100	10	2150	700	18	19	30	40	550	400	180	650	125	125	100	75
10	Std 18-40Breit	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2450	65	100	10	2500	1000	18	19	30	40	550	400	180	650	125	125	100	75
11	Std24-50Grad	0	6000	5645	0	537	900	3596	14	0	5000	2000	40	100	10	1950	700	24	25	40	50	550	400	180	650	125	125	100	75

Abbildung 6-4: EXCEL-Tabelle für die Parameter-Variation des MSB_6m (Auszug)

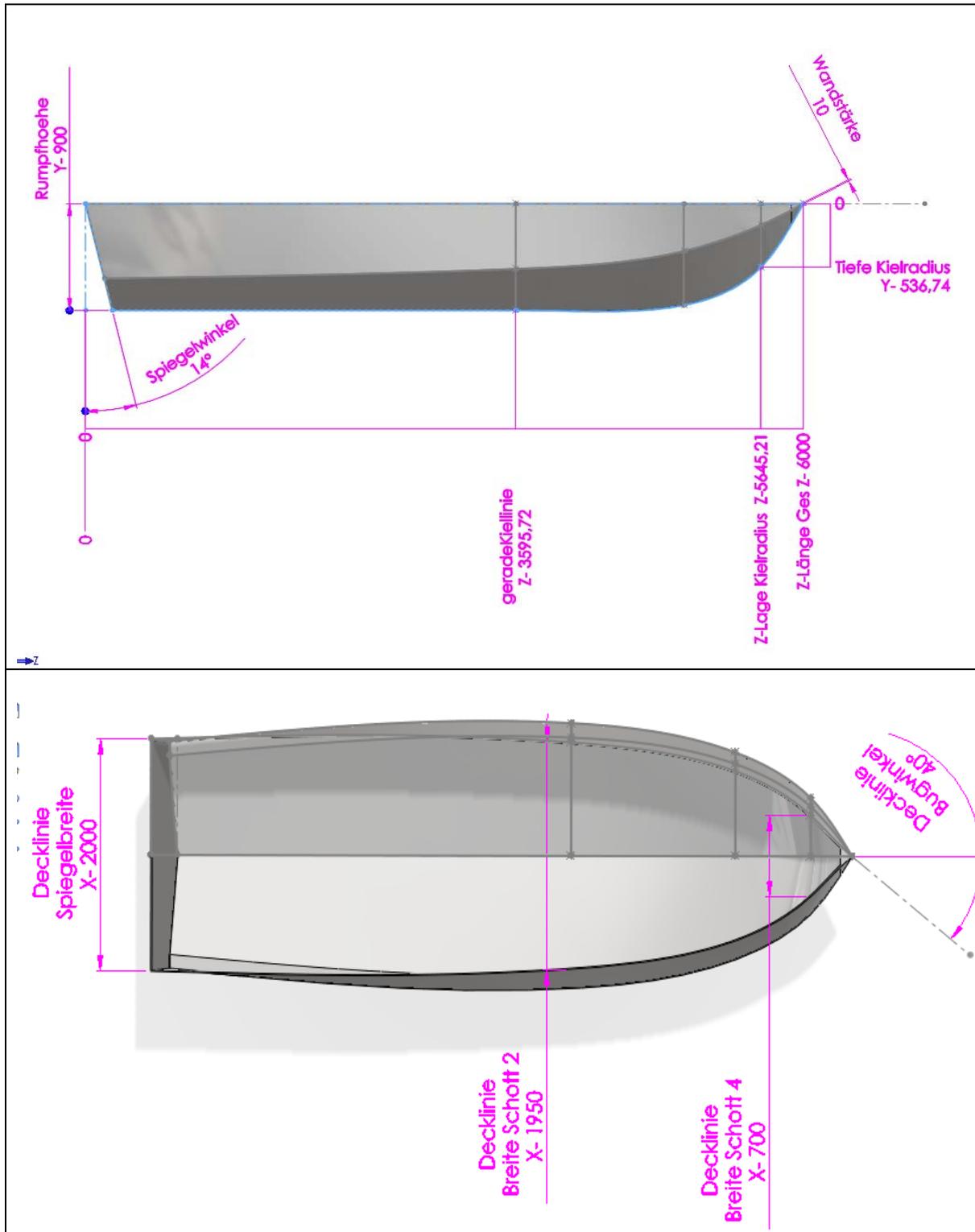


Abbildung 6-5: Seitenansicht und Draufsicht des MSB_6m

Da es sich hier um eine 3D-Konstruktion handelt, lassen sich nicht alle Parameter in der Abbildung 6-3 definieren. Alle weiteren Parameter sind in den beiden anderen Ansichten in der **Abbildung 6-5** definiert. Alle Parameter-Namen aus diesen beiden Abbildungen werden

in eine EXCEL-Tabelle (vgl. **Abbildung 6-4**, Zeile 2) eingetragen und zunächst mit Standardwerten versehen. Die Spalte A enthält den Variantennamen, z. B. Std 22-40 Grad in Zeile 3, wobei 22-40 die Bandbreite des Rumpfwinkels in Grad beinhaltet. Die Zeile 9 (Std 18-40 Schmal) zeigt die Standardwerte für den Rumpfwinkel von $\beta = 18^\circ$ bis $\beta = 40^\circ$ (vgl. **Abbildung 6-4**, Parameter Beta1@Skizze7 Spiegelpalte 1, Beta2@Skizze 12 Schott 2, Beta3@Skizze13 Schott3, Beta4@Skizze14 Schott 4 Bugbereich) und alle übrigen Standard-Werte für die Kiellinie, Schottwände, Bordwandhöhe, etc. In den Zeilen von 3 bis 11 sind beispielhaft die Werte für die Varianten wiedergegeben, wobei außer für den Rumpfwinkel alle übrigen Werte konstant sind, ausgenommen die Parameter für die Deckbreite in den Spalten L, P und Q in den Zeilen 4, 9 und 10. Durch das Anklicken einer ganz bestimmten Zeile in der EXCEL-Tabelle in **Abbildung 6-4** (hier Zeile 9) variiert Solid Works gemäß den dort vorgegebenen Parametern die vorhandene 3D-Konstruktion und gibt diese unmittelbar auf dem Bildschirm z.B. als dimetrische Ansichts-Darstellung (vgl. **Abbildung 6-6**) aus.

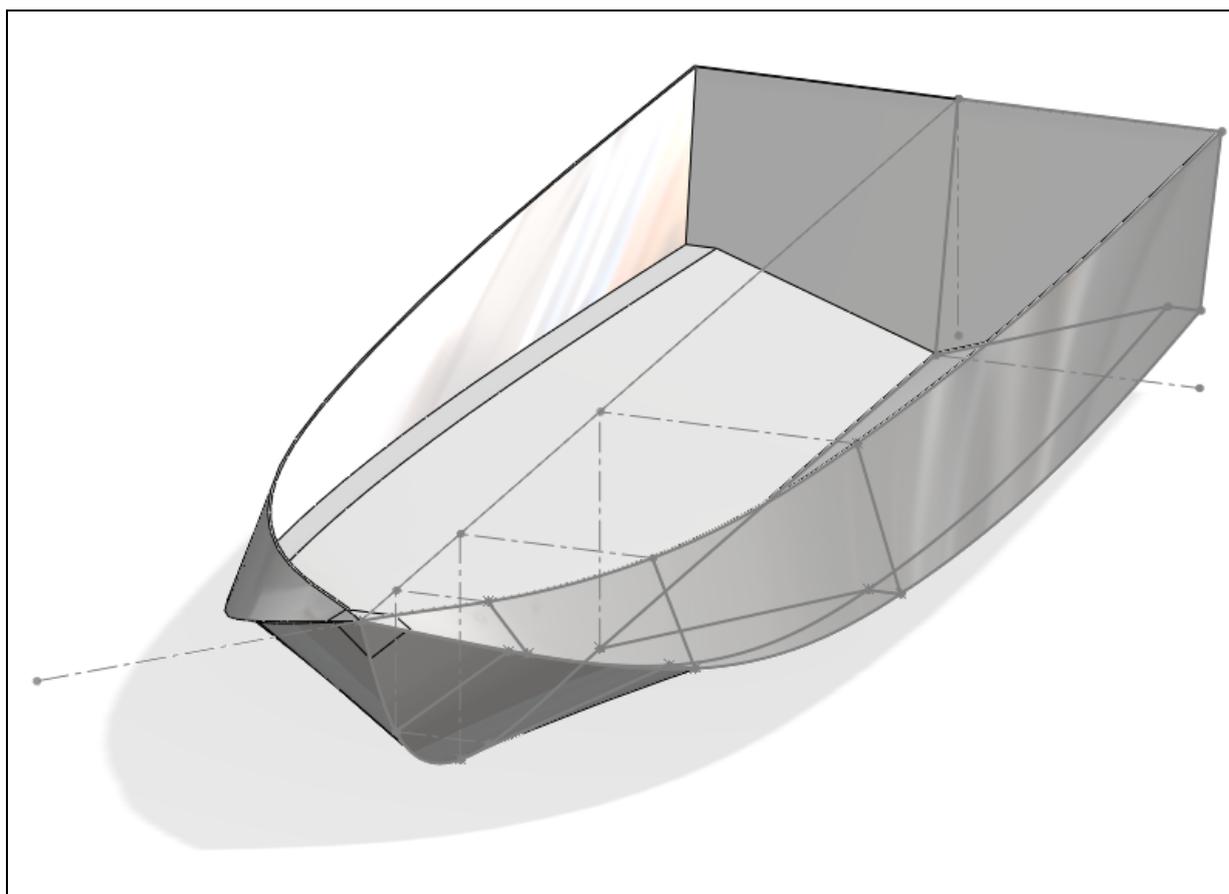


Abbildung 6-6: Dimetrische Ansicht des MSB_6m

Die Darstellung in der **Abbildung 6-7** zeigt im Vergleich zu der Darstellung in der Abbildung 6-6 ein MSB-1_6m mit einer Verbreiterung des Decks. Das Ergebnis dieser Parametervariation Std 18-40 Breit entspricht der Zeile 10 in der EXCEL-Tabelle. Hierbei wurden gegenüber der vorherigen Darstellung (Zeile 9: Std 18-40 Schmal) nur die folgenden Parameter geändert:

Spalte L: Deckbreite1@Skizze6_Decklinie von 1750 mm auf 2450 mm

Spalte P: Deckbreite2@Skizze6_Decklinie von 2150 mm auf 2500 mm

Spalte Q: Deckbreite3@Skizze6_Decklinie von 700 mm auf 1000 mm

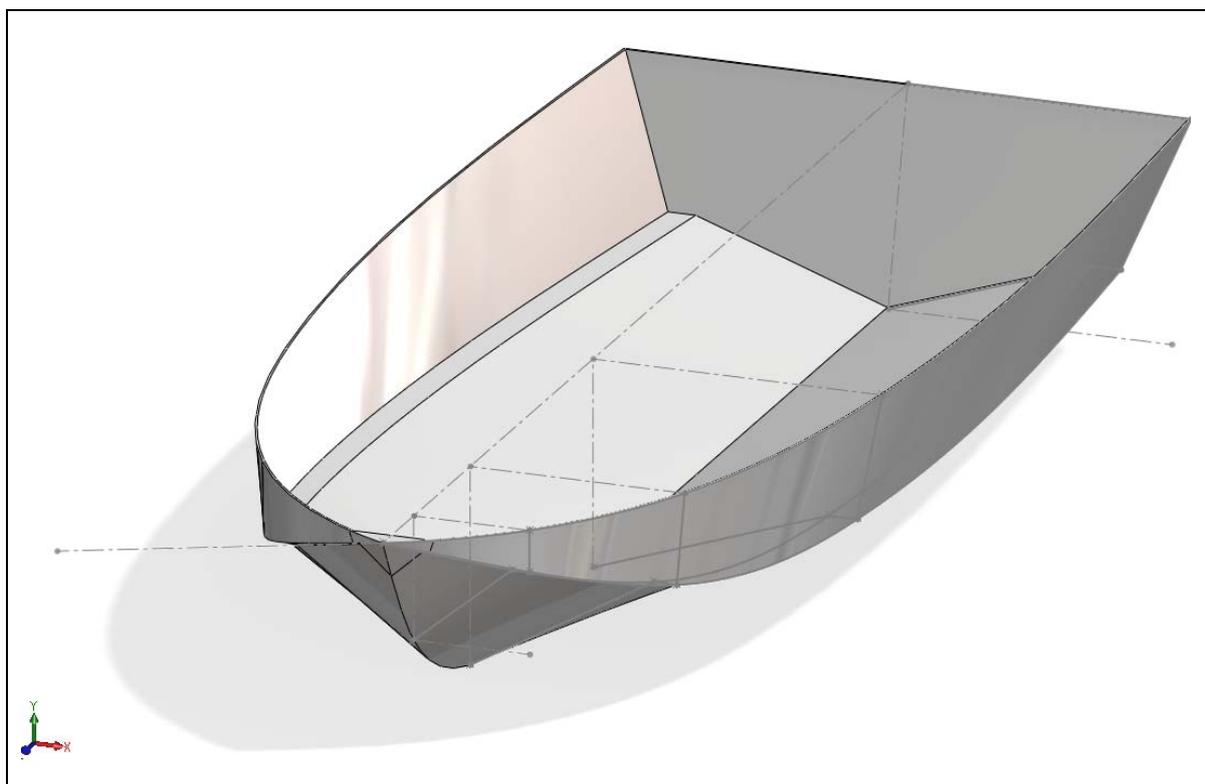


Abbildung 6-7: Variation Deckverbreiterung des MSB-1_6m

Die Möglichkeiten, die eine rechnergestützte 3D-CAD-Konstruktion bietet, zeigen anschließend zwei Variationen im Vergleich. Zunächst wird die Veränderung der Deckbreite bei konstantem Rumpfwinkel (vgl. **Abbildung 6-8**) und anschließend die Variation des Rumpfwinkels bei konstanter Deckbreite (vgl. **Abbildung 6-9**) wiedergegeben. Die Vergleiche zeigen jeweils die Frontansicht, die Draufsicht, die Seitenansicht, die dimetrische Darstellung und die Ansicht, in welcher die Parameter-Variation bemaßt ist. Aus den Darstellungen lassen sich die konstruktiven Veränderungen, welche durch die Variation verursacht werden, sehr gut erkennen.

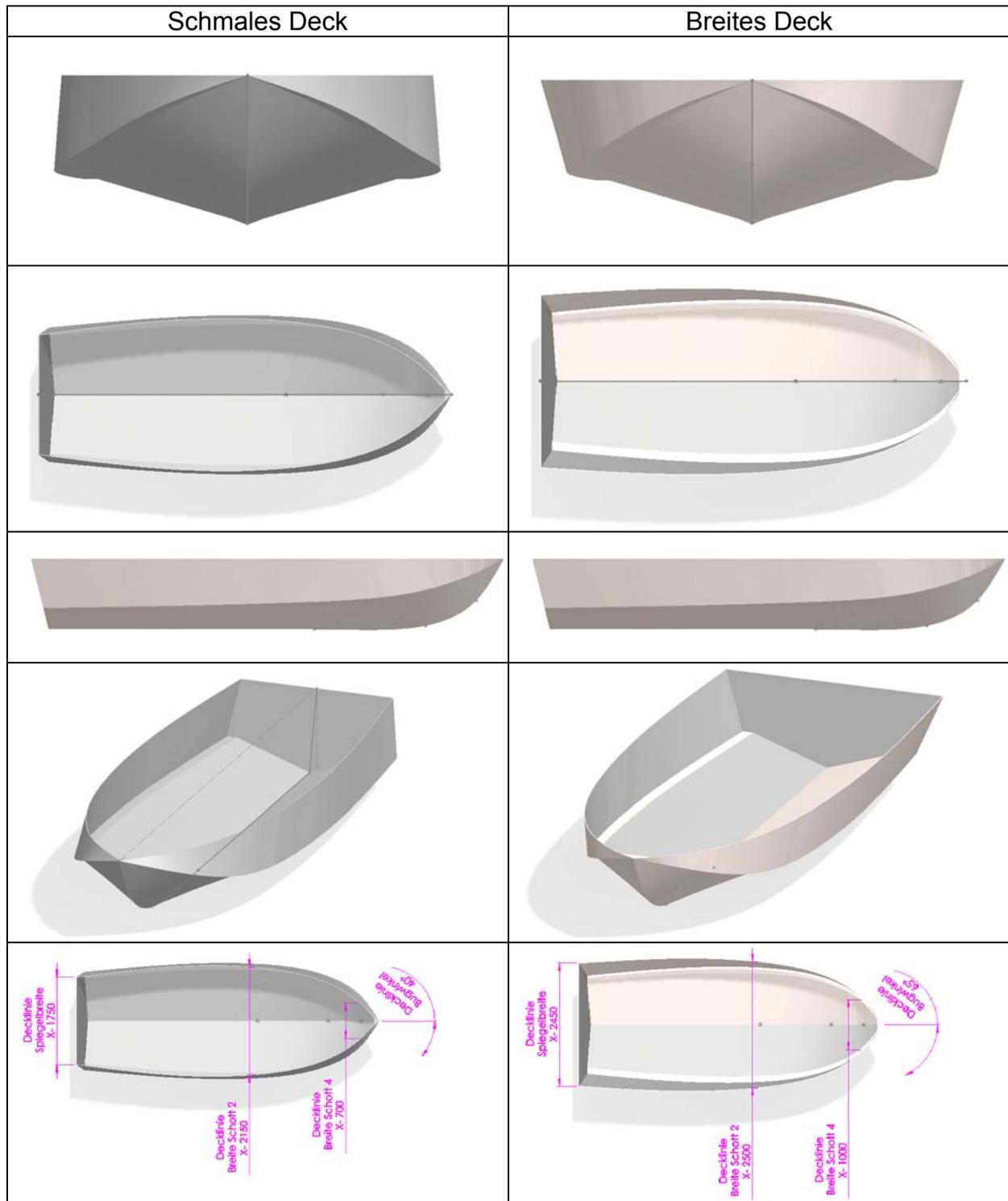


Abbildung 6-8: Variation der Deckbreite

Die Darstellungen in der Abbildung 6-8 resultieren aus den Parameter-Werten der Abbildung 6-4 in Zeile 9, Spalte R - U (Schmales Deck) und in Zeile 10, Spalte L, P und Q (Breites Deck). Dies bedeutet, der Rumpfwinkel β ist für beide Darstellungen konstant mit dem

Werte-Bereich 18° - 19° - 30° - 40° und die Deckbreite haben die Werte Schmal / Breit:
1750mm / 2450mm – 2150mm / 2500mm – 700mm / 1000mm.

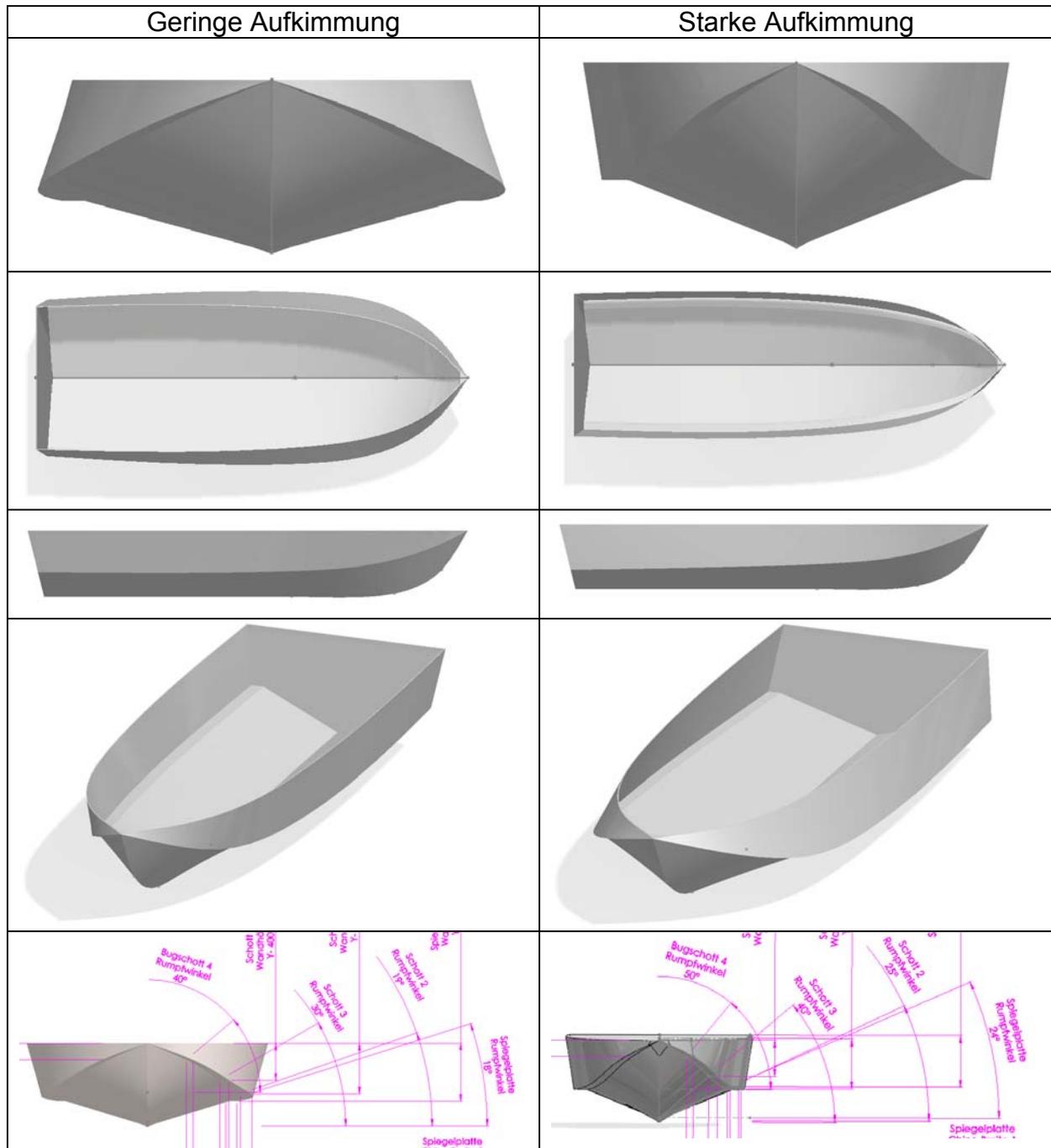


Abbildung 6-9: Variation des Rumpfwinkels

Die Darstellungen in der Abbildung 6-9 resultieren aus den Parameter-Werten der Abbildung 6-4 in Zeile 4, Spalte R - U (Geringe Aufkimmung) und in Zeile 11, Spalte L, P und Q (Starke Aufkimmung). Dies bedeutet, der Rumpfwinkel β ist für beide Darstellungen variabel mit den

beiden Werte-Bereichen geringe / starke Aufkimmung: $16^\circ / 24^\circ - 18^\circ / 25^\circ - 28^\circ / 40^\circ - 40^\circ / 50^\circ$ und einer konstanten Deckbreite von 2000mm – 1950mm – 700mm.

Durch die 3D-CAD-Parametervariation lassen sich sehr schnell Varianten erzeugen, bei deren Vergleich der Konstrukteur die Möglichkeit erhält, das jeweils erzielte Ergebnis seiner Konstruktion einer ersten groben Analyse zu unterziehen. Die Variation kann er solange fortsetzen bis er ein für ihn befriedigendes Ergebnis erzielt hat. So kann er z. B. bei der Variation der Deckbreite (vgl. **Abbildung 6-8**) die folgenden Eigenschaften mit einander vergleichen und gegebenenfalls variieren:

- Den Einbauraum für eine Einzel- und Doppelmotorisierung.
- Den Einbauraum für Kraftstofftanks und alle weiteren notwendigen und optional einzubauenden Bauteile.
- Den Gesamtauftrieb und somit die Höhe der Wasserlinie bei unterschiedlichen Beladungszuständen.
- Der zu erwartende Krängungswinkel des MSB bei einseitiger Beladung.
- Das zu erwartende Fahrverhalten in der Beschleunigungsphase und beim Übergang in die Gleitfahrt durch die veränderte Gesamtauftriebsfläche und das Gesamtgewicht.
- Eine überschlägige Berechnung der mindestens notwendigen Motorleistung.
- Eine überschlägige Berechnung der Wandstärken, der Knotenpunkte und des Versteifungsrahmens.

Bei der Variation des Rumpfwinkels β (vgl. Abbildung 6-9) kann der Konstrukteur das Fahrverhalten des Sportbootes beeinflussen:

- Eine hohe Aufkimmung
 - verbessert den Komfort beim Durchfahren von Wellen,
 - erfordert eine zusätzliche Motorleistung, um frühzeitig die Gleitfahrt und hohe Fahrgeschwindigkeiten zu erreichen und
 - verschiebt den Auftriebsschwerpunkt des Bootes nach unten, wodurch die statische Stabilität erhöht, aber leider auch das statische Wanken bei Wellengang erhöht wird.
- Eine geringe Aufkimmung
 - verbessert den frühen Übergang in die Gleitfahrt und
 - vermindert die Kursstabilität bei der Kurvenfahrt.

Allerdings muss auch festgestellt werden, dass selbst ein erfahrener Konstrukteur in einer bildlichen Darstellung eines MSB nicht alles erkennen kann, wie z.B. die tatsächlichen Fahreigenschaften eines MSB in Extremsituationen sowie beim Übergang in die Gleitfahrt. Dies können sein:

- Beginnt das MSB beim Übergang in die Gleitfahrt mit dem gefährlichen Bugsteuern?
- Ist die Motorisierung ausreichend um im beladenden Zustand und verschmutztem Rumpf in Gleitfahrt zu kommen?
- Wie reagiert der Rumpf bei schnell gefahrenen engen Kurven (Rollen, Aufschwingen, Überschlagen, Propellerventilieren, abrupter Abbruch der Gleitfahrt)?
- Welchen Einfluss haben kleine Variationen der Rumpfparameter (Grad und Verlauf der Aufkimmung, Rumpfbreite zu Rumpflänge, zusätzliche eingearbeitete Spritzkanten, veränderte Chine-Breiten und Chine-Winkel usw.) auf die Fahrdynamik?
- Welchen Einfluss üben die Propellereintauchtiefe und die Propellergeometrie oder zusätzlich montierte Trimmklappen auf die Fahrdynamik aus?
- Wenn Trimmklappen erforderlich, wo sind diese auf dem MSB optimal positioniert?

Zur Klärung dieser Fragen ist der **TP Testfahrt**, dessen Wichtigkeit in Kapitel 3.4.3 ausführlich dargestellt wurde, mit einzubeziehen, der neben dem TP Konstruktion ebenfalls zu dem GP Produktentwicklung gehört. Die Wechselwirkungen zwischen Testfahrt und Konstruktion (vgl. Abbildung 3-3) lassen sich insbesondere durch die Parameterdarstellung in Solid Works gut realisieren, indem eine effiziente und effektive Integration der Versuchsergebnisse zur Verbesserung der Fahrdynamik beiträgt. Zu einer Optimierung der Fahrdynamik eines MSB können alle relevanten Einflussfaktoren der Rumpfgeometrie durch Fahrversuche erfasst werden und die daraus resultierenden mathematisch-physikalischen Zusammenhänge können unmittelbar in der rechnergestützten Entwicklung der 3D-CAD-Rumpfkonstruktionen berücksichtigt werden.

Dies setzt allerdings geeignete Messinstrumente zur Ermittlung der fahrdynamisch relevanten Parameter der Rumpfgeometrie und das Vorhandensein von geeigneten Beurteilungsmethoden voraus. Die aus der Testfahrt ermittelten Werte lassen sich in zweifacher Hinsicht für die Konstruktion des Rumpfes nutzen. So können die gemessenen Werte zum Vergleich mit den von der Konstruktion berechneten Werten herangezogen werden. Langfristig gesehen besteht die Möglichkeit, dass mit Hilfe der ermittelten Werte eine Datenbank aufgebaut wird, aus welcher der jeweilige Grad für eine Veränderung einzelner Rumpfparameter bestimmt werden kann, um das jeweils gewünschte optimale Fahrverhalten zu erlangen.

Durch die parametrisch aufgebaute Rumpfgeometrie können die gemessenen Werte gezielt in eine EXCEL-Tabelle (vgl. **Abbildung 6-4**) eingetragen werden. Solid Works greift auf diese EXCEL-Tabelle zurück und die daraus resultierenden geometrischen Veränderungen werden sofort auf dem Bildschirm sichtbar und können unmittelbar analysiert werden. Diese Vorgehensweise zeigt die Notwendigkeit der Integration von KBE in CAD, da auf diese Weise die hydrodynamischen Zusammenhänge eines MSB bereits während des Aufbaus der Rumpfgeometrie berücksichtigt werden. Für die praktische Vorgehensweise zur Ermittlung der KBE-Werte gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. Hier soll nachfolgend eine Möglichkeit aufgezeigt werden.

1. Zunächst müssen die fahrdynamisch relevanten Werte von vorhandenen MSB bzw. deren Rümpfe mit Hilfe von geeignetem Testequipment aufgezeichnet werden. Hierbei sind zumindest die folgenden Werte zu ermitteln:
 - Bootstrimmwinkel während der Beschleunigungsphase bis Endgeschwindigkeit
 - Bootstrimmwinkel für den gesamten Drehzahlbereich
 - Bootstrimmwinkel als Funktion des Antriebstrimmwinkels
 - Bootsrollwinkel als Funktion von Motordrehzahl, Geschwindigkeit und Bootstrimmwinkel
 - Bootsrollwinkel als Funktion der Geschwindigkeit und des Trimmklappenwinkels erfassen
 - Bootsrollwinkel als Funktion von Antriebseinschlagwinkel und Fahrgeschwindigkeit
 - Bootsgeschwindigkeit als Funktion der Motordrehzahl
 - Querschleunigungen am Fahrerstand als Funktion von Geschwindigkeit, Kurvenradius und Rollwinkel
 - Vertikalbeschleunigung als Funktion von Geschwindigkeit und Wellenhöhe

2. Beurteilung und Einstufung der Messwerte mit Hilfe eines Expertenteams sowie durch Befragung von Kunden z.B. zulässige Rollwinkel, Bugnicken, Heckdriften, Bootstrimmwinkel, optimale Marschfahrt, Beschleunigungsverhalten, Höchstgeschwindigkeit und Übergang zur Gleitfahrt. Insbesondere durch die Befragungen werden die so genannten „*subjektiven*“ Beurteilungskriterien zu „*objektiven*“ Kriterien.

3. Anschließend muss eine Beschreibung der Zusammenhänge Fahrdynamik – Bootkonstruktion zur Identifizierung der Parameter erfolgen, welche die Fahrdynamik in welcher Form beeinflussen. Dies sollten sein:

- Gewicht
- Lage des Schwerpunktes als Funktion der Beladung (Kraftstoff, Passagiere, Equipment)
- Lage des Auftriebs-Schwerpunktes
- Lage der Wasserlinie im Zustand der Ruhe, bis zum Übergang in die Gleitfahrt sowie bis zum Erreichen der Höchstgeschwindigkeit
- Rumpfgeometrie:
 - Länge und Breite
 - Rumpfwinkel β (Aufkimmung) als Funktion der Rumpflänge und dem Grad der Aufkimmung
 - Lage und Dimensionen der „Spritzstufen“
 - Spiegelplattenwinkel
 - „Chine“-Breite als Funktion der Rumpflänge
 - Seitenwandhöhe als Funktion der Rumpflänge
 - Seitenwandwinkel zur Wasserebene als Funktion der Rumpflänge
 - „Chine“-Winkel zur Wasserebene als Funktion der Rumpflänge
 - Rumpfkrümmung (Bugbereich) als Funktion der Rumpflänge
- Motorleistung als Funktion der Motordrehzahl
- Propellerleistung als Funktion der Propellerdrehzahl und Propellergeometrie
 - Propellerdurchmesser
 - Propellerflügelsteigung
 - Flügelanzahl
 - Material
- Antriebseintauchtiefe und Antriebstrimmwinkel

Ein Teil dieser Werte wird auch bereits in der EXCEL-Tabelle in der Abbildung 6-4 aufgeführt. Mit jedem weiteren Messversuch wird sich der Inhalt der Datenbank verbessern, so dass die Optimierung der Rumpfkonstruktion zukünftig immer besser und auch für die Fahrgäste sicherer gestaltet werden kann.

Der **GP Serien-Produktion** profitiert in hohem Maße von der 3D-CAD-Bearbeitung, vorausgesetzt er verfügt über ein IT-System, welches die Daten des 3D-CAD-Modells lesen und verarbeiten kann. In diesem Fall entfällt die manuelle Übertragung von 2D-Zeichnungen, aus denen anschließend die Masse für die Herstellung der Zeichnungen für die Formen entnommen werden müssen. Bei jeder manuellen Übertragung von Daten sind Fehler vorprogrammiert. In einem weiteren Schritt können aus den Geometriedaten des 3D-CAD-

Modells automatisch mit einer geeigneten Software auch so genannte Negativformen für die Formenherstellung automatisch gewonnen werden. Dies reduziert die möglichen Fehlerquellen noch einmal erheblich.

Der **GP Service** hat nicht nur die Funktion, technische Probleme und Kundenreklamationen im Feld zu lösen, sondern er sollte auch durch die Servicetätigkeit Produktionsprobleme so schnell wie möglich erkennen und im Zuge der Wechselwirkungen (vgl. Abbildung 3-1) möglichst schon Lösungsmöglichkeiten definieren, damit weitere fehlerhafte Auslieferungen verhindert werden können. Hierzu ist eine genaue, aber trotzdem übersichtliche Erfassung aller gemeldeter Fehler und Reklamationen sowie eine Speicherung in dem Datenmodell erforderlich. Dazu gehört auch eine enge Zusammenarbeit mit den verschiedenen Produktionsstätten, damit die gemeldeten Fehler und ihre Ursachen schnell besprochen und zukünftig ausgeschlossen werden können.

6.3 Architektur des Software-Systems

In Kapitel 5 wurde bereits der grobe Aufbau des Software-Systems skizziert, indem die ausgewählten Komponenten vorgestellt wurden. Auf der Basis der dort genannten Standardapplikationen und den neu zu entwickelnden Komponenten wird nunmehr ein Gesamtsystem entwickelt, welches eine integrierte Produktentwicklung für den Bereich von Motorsportbooten ermöglicht und dabei die vielfältigen besonderen Anforderungen dieses Anwendungsbereiches erfüllt. In der Folge wird das zu entwickelnde Software-System als

Integrated Marine Engineering System (IMES)

bezeichnet.

Das System IMES entsteht durch die Kombination von verschiedenen Modulen, die mit Hilfe von geeigneten Schnittstellen verbunden werden. Bevor die einzelnen Module beschrieben werden, wird zunächst die Architektur des Gesamtsystems dargestellt. Die

Abbildung 6-10 zeigt schematisch den Aufbau des IMES sowie die unterschiedlichen Arten des Zugriffs auf das System. Für die softwaretechnische Umsetzung wurde eine Drei-Ebenen-Architektur gewählt, bestehend aus einer

- Daten - Ebene
- Logik – Ebene
- Anwendungs - Ebene.

Dieser Aufbau gewährleistet ein möglichst hohes Maß an Modularität und Erweiterbarkeit.

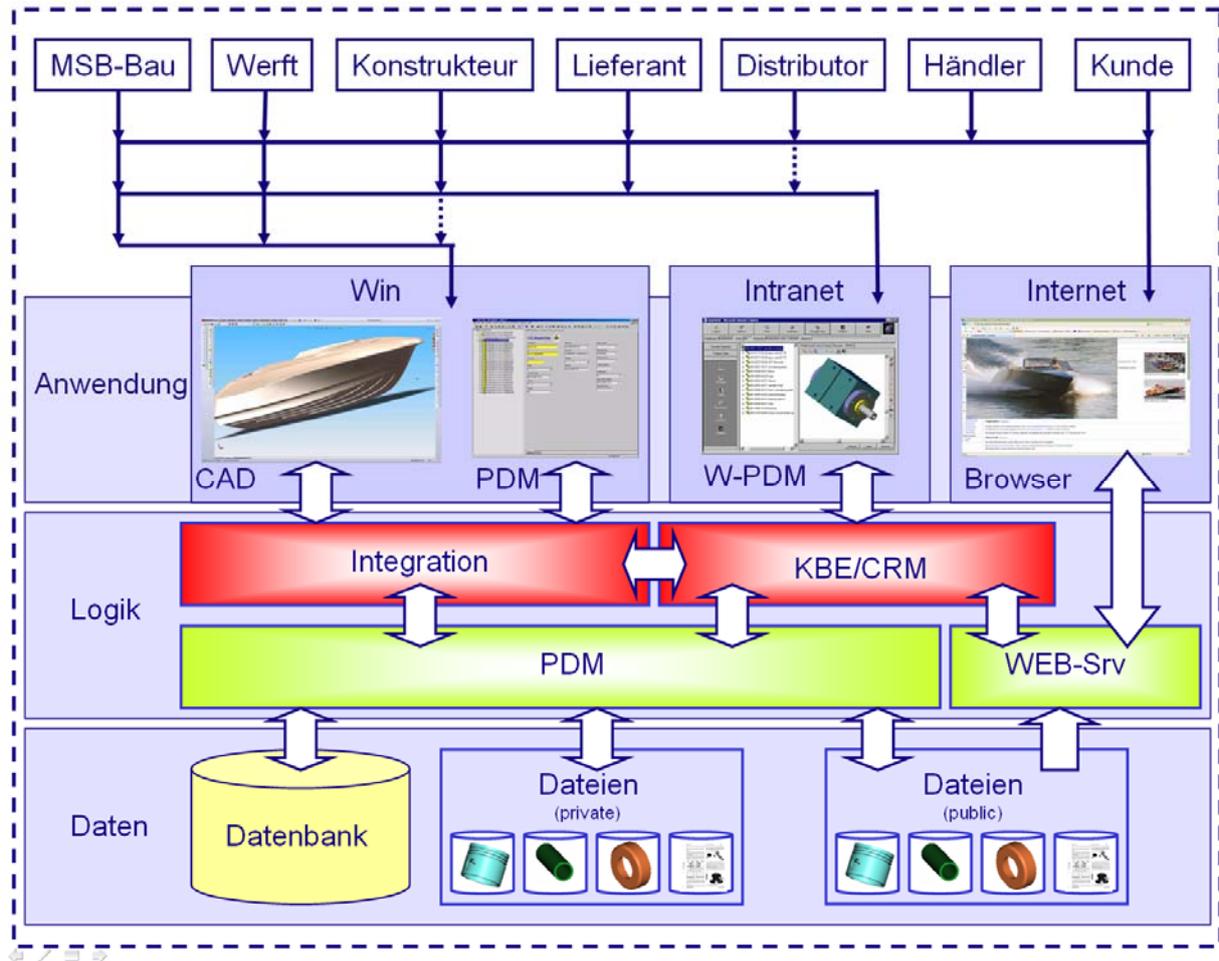


Abbildung 6-10: Architektur des Software-Systems

Die Basis des Systems stellen die enthaltenen Informationen dar. Diese werden innerhalb der Daten-Ebene in drei Bereichen verwaltet. Wie bereits in Kapitel 5.2 beschrieben wurde, erfolgt die Ablage von Informationen in einem PDM-System getrennt für Daten und Metadaten. Diese Arbeitsweise wird auch im Rahmen dieses Konzeptes verwendet, da sie durch das PDM-System vorgegeben ist. In einer relationalen Datenbank werden alle Metadaten verwaltet. Alle Dateien, die im Rahmen der Produktentwicklung verwaltet werden, werden in einem Vault-Bereich gehalten. Die Datenbank und der Vault werden ausschließlich von dem PDM-System verwaltet.

Datenbank und Vault bilden gemeinsam die Datenbasis für das PDM-System und beinhalten alle Informationen, die für die Produktentwicklung benötigt werden. Daneben wird noch ein dritter Bereich der Datenhaltung eingeführt. Hier werden Dateien abgelegt, die in erster Linie

durch einen Web-Server über das Internet veröffentlicht werden. Deshalb wird dieser Speicherort auch als public (öffentlich zugänglich) bezeichnet, während die internen Informationen durch das PDM-System abgeschirmt werden. Auf den öffentlichen Datenbereich greifen sowohl das PDM-System als auch ein Web-Server zu. Dabei werden durch das PDM-System die Dateien eingestellt, die zur Veröffentlichung vorgesehen sind, während der Web-Server lediglich lesend auf die Dateien zugreift und diese im Kontext einer Internetverbindung an einen Internet-Browser weiterleitet.

Durch die hier gewählte Art der Datenhaltung wird somit die Verfügbarkeit von ausgewählten aktuellen Produktinformationen über das Medium Internet in Form von dynamischen Webseiten ermöglicht, wobei gleichzeitig die sensiblen Produktinformationen nur intern verfügbar sind. Dateien, die von dem PDM-System zur Veröffentlichung vorgesehen sind, werden vor dem Einstellen in den öffentlichen Dateibereich in ein neutrales Datenformat konvertiert, welches durch standardisierte Browser-Anwendungen interpretierbar ist. In erster Linie ist hier das HTML⁸-Dateiformat für den prinzipiellen Aufbau von Webseiten zu nennen. Mediendateien werden in entsprechende Formate umgewandelt. Als Beispiel können die 3D-Modell-Dateien genannt werden.

Da die Verfügbarkeit von aktuellen Produktinformationen für Händler, aber auch für potentielle Kunden im Internet heute von großer Bedeutung für die Marktposition eines Unternehmens ist, müssen technische Daten und ansprechende Darstellungen der aktuellen Produkte in einer modernen Art verfügbar gemacht werden. Dazu werden durch das PDM-System ausgewählte Parameter eines Produktes in vordefinierte HTML-Formulare eingefügt. Um neben einer textbasierten auch eine für den Betrachter aufschlussreichere visuelle Beschreibung der Produkte zu präsentieren, wird auf die in der Produktentwicklung vorhandenen CAD-Daten zurückgegriffen.

Eine Veröffentlichung von CAD-Daten im nativen Dateiformat des CAD-Systems weist jedoch mehrere schwerwiegende Nachteile auf. Zunächst kann davon ausgegangen werden, dass die große Mehrzahl der Anwender nicht über das zum Öffnen der Datei notwendige CAD-System verfügt. Darüber hinaus wird mit einer CAD-Datei auch das technische Know How über das Produkt veröffentlicht und somit Wettbewerbern zugänglich gemacht und die dadurch Informationen über geometrische Eigenschaften und Konstruktionsparameter

⁸ *HTML: Hypertext Markup Language, Textbasierte Beschreibungssprache für Dokumente, die durch einen Web-Browser interpretiert werden kann.*

erlangen. Aus diesem Grunde werden die zu veröffentlichenden CAD-Dateien in das VRML⁹-Format konvertiert. Die so veröffentlichten Dateien bieten dem Benutzer die Möglichkeit ein komplettes dreidimensionales Modell des Produktes in seinem Web-Browser anzeigen zu lassen, wobei auch Funktionen wie Rotation und stufenlose Vergrößerung möglich sind.

Bei den Modulen **PDM** und **Web-Srv** (Abbildung 6-10), die innerhalb der Logik-Ebene des IMES angesiedelt sind und auf die Informationen der Daten-Ebene zugreifen können, handelt es sich um Standard-Komponenten. Diese werden allerdings für die Verwendung innerhalb dieses Konzepts angepasst, um die formulierten Anforderungen optimal zu erfüllen.

Die ebenfalls innerhalb der Logik-Ebene angeordneten Module **Integration** und **KBE / CRM** stellen dagegen individuell für das IMES entwickelte Softwarekomponenten dar. Sie enthalten die Implementierung der Funktionalitäten, die nicht direkt durch das PDM-System erbracht werden. Der Zugriff auf die Datenbasis des IMES geschieht indirekt über das PDM-System. Dazu sind die Module mit Hilfe der PDM-API an das PDM-System angebunden. Auf der anderen Seite stellt das Modul **Integration** die Verbindung zu den Programmen der Anwendungs-Ebene her. Beispielsweise erfolgt durch die Einbindung einer Laufzeitbibliothek die Integration von PDM-Funktionen innerhalb des CAD-Systems, wobei wiederum primär die API des CAD-Systems verwendet wird. Das Modul **Integration** ist also in erster Linie für die Verbindung der verschiedenen beteiligten Software-Komponenten verantwortlich, damit IMES im Kontext der Produktentwicklung als ein homogenes Gesamtsystem wirken kann. Das Modul **KBE / CRM** enthält dagegen in erster Linie die Algorithmen, die zur Optimierung der Produktentwicklung umgesetzt werden.

Innerhalb der Anwendungs-Ebene stellt das IMES drei grundsätzliche Arten zur Verfügung, wie die Benutzer auf das System zugreifen können. Dies ist zunächst der so genannte **Win-Bereich**. Hier finden sich die üblichen Clientanwendungen, die auf der Basis des Betriebssystems Windows lauffähig sind. Dazu gehören beispielsweise die PDM-Client-Anwendung, CAD-Anwendungen und alle anderen Programme, die im Rahmen dieses Konzeptes für die Produktentwicklung verwendet werden. Generell stehen diese Anwendungen auf den Arbeitsplätzen zur Verfügung, auf denen sie installiert sind und die eine direkte Anbindung an die Infrastruktur des MSB-Unternehmens haben, beispielsweise durch eine LAN¹⁰-Verbindung. Diese Verbindungsart stellt die bevorzugte Alternative für alle Benutzer dar, die

⁹ VRML: *Virtual Reality Modeling Language*

¹⁰ LAN: *Local Area Network*

regelmäßig mit dem IMES arbeiten und das System häufig nutzen. Vor allem für Arbeitsplätze, an denen Informationen, besonders in Form von Dateien, in das IMES eingebracht werden.

Ein typisches Anwendungsszenario stellt ein Konstruktionsarbeitsplatz dar. Der Anwender arbeitet hier vorrangig mit dem CAD-System. Dieses ist durch das Integrationsmodul des IMES mit der Datenbasis des Systems verbunden, so dass der Anwender in der Lage ist, in dem Datenbestand nach Komponenten zu suchen, die er in seine Konstruktion einbauen kann. Ebenso werden neu erstellte CAD-Modelle über das Integrationsmodul direkt in die Datenbasis des IMES gespeichert. In Verbindung mit den Client-Applikationen bildet das IMES in dieser Betriebsart eine leistungsfähige Arbeitsumgebung mit dem maximalen Funktionsumfang. Diese Betriebsart steht für die Mitarbeiter des Unternehmens MSB-BAU sowie angeschlossener Werften zur Verfügung. Andere externe Mitarbeiter, wie beispielsweise freie Konstrukteure können gegebenenfalls auch darauf zugreifen.

Die zweite Betriebsart wird im Rahmen dieses Konzepts kurz als **Intranet** bezeichnet (vgl. Abbildung 6-10). Dies bezieht sich nicht in erster Linie auf die netzwerktechnische Topologie, sondern auf die Zugriffshierarchie des Systems. Bei der Verwendung der Intranet-Verbindung greift der Anwender mit Hilfe eines Web-Client auf das IMES zu. Dieser Web-Client ist Bestandteil des PDM-Systems und erfordert ebenfalls eine Installation auf dem Arbeitsplatzrechner. Innerhalb dieser Applikation steht dem Anwender ein großer Teil der Funktionen des PDM-Systems zur Verfügung, wie die strukturierte Ansicht mit allen Suchoptionen oder die Ansicht von hinterlegten Dokumenten mit Hilfe eines integrierten Viewers. Ebenso stehen die Funktionen des Workflow-Management uneingeschränkt zur Verfügung. Da diese Betriebsart auf der Web-Technologie basiert, bestehen jedoch gegenüber der Windows-Plattform auch deutliche Einschränkungen der Funktionalität. So ist auf Grund der fehlenden Integration in andere Anwendungsprogramme (CAD, Office etc.) jede Operation im Zusammenhang mit Dateien nur eingeschränkt möglich. Ein direktes Laden von Dateien aus dem PDM-System in eine Anwendung ist nicht möglich und kann nur manuell durch einen Download erreicht werden. Neben einem erhöhten manuellen Aufwand für den Anwender ist ein solches Verfahren aber auch mit gewissen Risiken verbunden, da die eindeutige Zuordnung von Daten und Metadaten in diesem Fall nicht garantiert ist. Der Zugriff auf das IMES mit Hilfe der Web-PDM Anwendung ist demnach für Anwender geeignet, die zwar intensiv mit IMES arbeiten, das System jedoch in erster Linie zur Beauskunftung verwenden.

Die dritte Zugriffsart, in der **Abbildung 6-10** als **Internet** bezeichnet, unterscheidet sich von den beiden erstgenannten in mehreren Punkten. Zunächst ist hier die Art des Zugriffs zu nennen, die lediglich die Verwendung eines Web-Browsers erfordert. Es sind also auf dem Arbeitsplatzrechner keinerlei Softwarekomponenten des IMES zu installieren. Über diese Zugriffsart kann von jedem beliebigen Computer aus zugegriffen werden, der über eine Internet-Verbindung verfügt. Der zweite gravierende Unterschied besteht darin, dass in diesem Modus nicht auf die eigentliche Datenbasis des IMES zugegriffen wird. Der Aufruf der entsprechenden Web-Seite stellt eine Verbindung zu dem Web-Server her. Dessen Infrastruktur entspricht der einer Standard-Web-Seite mit dynamischen Inhalten. Die Datenbasis des Web-Servers wird durch HTML-Seiten dargestellt, die in einem Verzeichnis abgelegt sind. Der Web-Server verschickt auf die Anfrage eines Client die angeforderten Seiten und Informationen. Dabei ist der Datei-Bereich des Web-Servers auch physikalisch von der Datenbasis des PDM-Systems getrennt.

Die Erstellung der Inhalte der Webseiten erfolgt mit Unterstützung des Moduls KBE / CRM. Hierzu enthält das Modul KBE / CRM einen Funktionsbereich für die Veröffentlichung von Informationen des IMES. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Funktionalität besteht in der Konvertierung von Dateien aus dem Vault-Bereich des Systems. Wie bereits zu Anfang dieses Kapitels beschrieben wurde, ist eine Konvertierung von Modelldateien in ein neutrales Dateiformat erforderlich, welches mit Hilfe eines Web-Browsers visualisiert werden kann. Dazu bieten sich z. B. die standardisierten Grafikformate an. Hierbei existiert eine Vielzahl von Dateiformaten, von denen beispielsweise das TIFF¹¹-Format genannt wird. Dabei handelt es sich um ein standardisiertes, weit verbreitetes Format zur Bildbeschreibung im Rasterformat. Ohne weiter auf die Einzelheiten dieses Dateiformats einzugehen, kann festgestellt werden, dass die Mehrheit der Anwendungsprogramme über Funktionen zum Exportieren von Grafikdateien im TIFF-Format verfügen. Damit lassen sich qualitativ hochwertige Bilddateien erzeugen, die sowohl online als auch in gedruckter Form verteilt werden können. Nachteilig bei der Verwendung von Grafikformaten ist im Allgemeinen jedoch, dass es sich stets um zweidimensionale Ansichten handelt.

Für die Verwendung im Rahmen des IMES ist jedoch eine dreidimensionale Darstellung auch für die Präsentation im öffentlichen Web-Bereich von Vorteil. Diese bietet dem Anwender einen sehr viel höheren Informationsgehalt. So besteht u. a. die Möglichkeit, das dargestellte Modell von allen Seiten zu betrachten oder die Darstellung in der Größe zu variieren. Zu diesem Zweck wird auf das Dateiformat 3D-PDF der Firma Adobe

¹¹ *TIFF: Tagged Image File Format*

zurückgegriffen. Dieses Format ist explizit auch für die Konvertierung von CAD-Modellen vorgesehen, so dass eine Vielzahl von CAD-Systemen über entsprechende Exportfilter verfügt. Ein weiterer Vorteil liegt in der weiten Verbreitung des PDF-Formats, die dazu führt, dass auf nahezu jedem Arbeitsplatzrechner das zum Öffnen von PDF-Dateien benötigte Programm „*Acrobat Reader*“ vorhanden ist. Aktuelle Versionen dieses Readers können kostenfrei installiert und betrieben werden. Da die Firma Adobe auch ein kostenfreies Plug-In des Acrobat Readers für alle gängigen Web-Browser anbietet, können 3D-PDF-Dateien auch problemlos in der Betriebsart **Internet** des IMES veröffentlicht werden.

Der Grund für die Implementierung von drei unterschiedlichen Zugangsbereichen auf der Anwendungs-Ebene des IMES ist die höchstmögliche Erfüllung der Anforderungen für eine integrierte Produktentwicklung unter Einbeziehung der verschiedenen, teilweise externen, Beteiligten wie in Kapitel 4 beschrieben. Der Kernbereich der Produktentwicklung mit den Funktionsgruppen CAD und PDM wird vorwiegend innerhalb des MSB-Unternehmens selbst und bei angeschlossenen Werften erbracht. Hier ist die volle Funktionalität des IMES erforderlich, welche durch eine nahtlose Integration in die Anwendungsprogramme erreicht wird. Die Infrastruktur dieser Betriebsart entspricht der einer Client-Server Architektur, wie sie bei den meisten PDM-Systemen realisiert ist. In der Zugangsart **Intranet** besteht ebenfalls eine Zugriffsmöglichkeit auf alle im IMES gehaltenen Informationen. Allerdings ist durch die fehlende Anwendungsintegration die Funktionalität besonders im Bereich der Dokumentenverwaltung eingeschränkt. Diese Betriebsart ist geeignet für Anwender, die auch in die internen Prozesse der Produktentwicklung eingebunden, aber nicht primär an der Erzeugung von Produktdaten beteiligt sind. Typische Anwender aus diesem Kreis sind große Händler oder Distributoren, die beispielsweise an den Produkttests teilnehmen. Ihnen stehen alle benötigten Informationen über das jeweilige Produkt zur Verfügung. Sie sind mit Hilfe des Workflow-Moduls in die Prozesse direkt eingebunden und können Informationen, wie zum Beispiel Testergebnisse von Probefahrten, direkt in das IMES eingeben. Diese Informationen stehen der Produktentwicklung somit unmittelbar zur Verfügung und können zeitnah berücksichtigt werden.

Die Betriebsart **Internet** hingegen ist für die Außendarstellung des Unternehmens konzipiert. Händler, aber auch Kunden oder Interessenten, können sich in den explizit veröffentlichten Bereichen informieren. Dies schließt Informationsmaterial über aktuelle Produkte ein. Im Sinne des CRM stellt das Modul darüber hinaus auch Funktionen bereit, die es einem Händler oder Kunden gestatten, in einen Dialog mit dem Unternehmen zu treten. Für registrierte Anwender besteht die Möglichkeit, sich an dem System anzumelden. Nach

erfolgter Anmeldung stehen dann weitere Funktionen zur Verfügung. Dadurch erhalten beispielsweise Händler Zugriff auf Informationsmaterial, wie beispielsweise Marketingunterlagen oder technische Mitteilungen.

Wie in Kapitel 5.4 beschrieben, stellt eine strategische Einführung von CRM ein sehr umfangreiches Projekt für ein Unternehmen dar, welches mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Daher würde die Einführung dieses Konzeptes in Verbindung mit der gleichzeitigen Einführung von CRM jedes Unternehmen zwangsläufig überfordern.

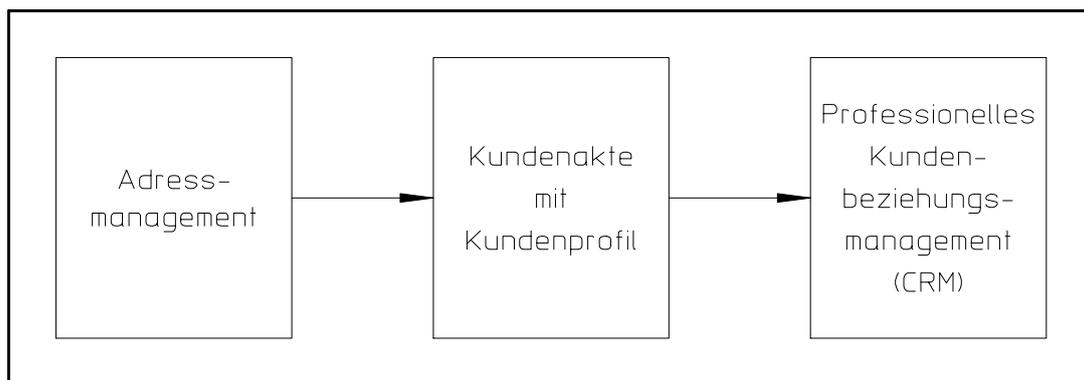


Abbildung 6-11: Der Weg vom Adressmanagement zum CRM [35]

Nach [35] ist der Weg von einem einfachen Adressmanagement zu einem professionellen CRM gemäß der **Abbildung 6-11** in drei Phasen möglich. In der ersten Phase lassen sich die Attribute aus dem Adressmanagement als Suchkriterien für die Korrespondenz der Händler verwenden. In der zweiten Phase sind bereits die Bedürfnisse der Kunden gespeichert, so dass der jeweilige Händler seine Marketing- und Vertriebsaktivitäten gezielt steuern kann. Die dritte Phase gestattet die Durchführung von Kampagnen und die Bearbeitung aller Informationen entlang des „Kundenlebenszyklus“, was nicht nur den Händlern sondern insbesondere auch dem Hersteller zu Gute kommt.

Im Rahmen dieses Konzeptes wird eine Verwaltung von Kundendaten analog der Phase eins implementiert, wobei neben den Adressdaten von Kunden auch die Beziehungen zu den Produkten bereits erfasst werden. Eine nachträgliche Erweiterung zur vollständigen Abbildung von Kundenprofilen und damit ein Erreichen der Phase zwei kann in der Folge durch schrittweise Erweiterung des Datenmodells vorgenommen werden. Die erforderlichen Funktionen zur Eingabe, Verwaltung und Verwendung der kundenbezogenen Informationen werden durch das verwendete PDM-System erbracht. Damit stehen die fundamentalen

CRM-Funktionen bereits im Rahmen des hier entwickelten Konzeptes zur Verfügung, und es besteht die Möglichkeit Informationen aus dem Markt in die Produktentwicklung einzubringen. Gleichzeitig ist das System für eine spätere Ausweitung der CRM-Strategie offen. Dabei werden Informationen über Kunden bereits von Anfang an kontinuierlich erfasst, so dass diese dann später auch direkt für ein vollständiges Kundenbeziehungsmanagement genutzt werden können.

6.4 Softwaretechnische Umsetzung

Da das IMES ein komplexes IT-System darstellt, ist im Rahmen einer Dissertation keine Beschreibung der Implementierung aller Komponenten möglich. In diesem Kapitel erfolgt daher die Darstellung an Hand von charakteristischen Beispielen.

6.4.1 Aufbau des Datenmodells

Das Datenmodell des IMES ist für die Funktionsweise des gesamten Konzeptes von zentraler Bedeutung. Da hier die Art der Informationen, die das System verarbeiten kann, und die Beziehungen zwischen verschiedenen Informationstypen festgelegt werden, bestimmt das Datenmodell sowohl die Eigenschaften als auch die Skalierbarkeit des IMES. Die Definition des Datenmodells erfolgt bei dem hier gewählten Ansatz mit Hilfe des PDM-Systems. Das PDM-System stellt Funktionen bereit, um die Datenbank individuell zu erstellen. Hierbei unterstützt das ausgewählte System SmarTeam einen objektorientierten Ansatz. Dies bedeutet, dass innerhalb des PDM-Systems ein Datenmodell aufgebaut wird, indem Klassen beschrieben werden. In Übereinstimmung mit dem Paradigma der **Objektorientierten Software Entwicklung (OOSE)** können Klassen Attribute sowie Methoden für den verhaltensorientierten Bereich enthalten. Zur Strukturierung der definierten Klassen kann außerdem auch auf den Mechanismus der Vererbung zurückgegriffen werden. Die Verhaltensweise des Systems zur Laufzeit kann mit Hilfe einer ereignisgesteuerten Programmierung festgelegt werden. Für die Durchführung dieser Anpassungen stellt das PDM-System SmarTeam Hilfsprogramme zur Verfügung, die eine grafisch interaktive Arbeitsweise ermöglichen. Dies bedeutet, dass für die Umsetzung des Datenmodells keine Programmierkenntnisse

erforderlich sind. Eine Beschreibung dieser Hilfsprogramme und der erforderlichen Schritte zur Definition des Datenmodells kann der Dokumentation des PDM-Systems entnommen werden. In der Folge wird nun die Struktur des entwickelten Datenmodells vorgestellt.

Das Datenmodell enthält zur Anwendung des CRM Klassen für die Erfassung und Verwaltung von Kundeninformationen. Diese dienen der Adressverwaltung und der Verwaltung von Firmen und Personen. Im Gegensatz zu einer konventionellen Adressverwaltung werden die entsprechenden Klassen jedoch um Verweise erweitert, die eine Zuordnung zu den Produkten erlauben. Wie in **Abbildung 6-12** dargestellt, wird ein zentrales Element durch die Klasse **CKontakt** eingefügt, welches jeweils eine Kontaktinformation enthält, die entweder auf einen Ansprechpartner in einem Unternehmen oder eine natürliche Person verweisen kann.

In Kapitel 2.1 wurde bereits die Produktstruktur für Motorsportboote beschrieben. Die Datenstruktur des IMES wird in einer Weise aufgebaut, die der Produktstruktur weitgehend entspricht und gleichzeitig die für eine Optimierung erforderlichen Elemente enthält. Da die Klassen zur generellen Abbildung von Projekten, Produkten und CAD-Modellen bereits im Standard des PDM-Systems enthalten sind, ist an dieser Stelle keine Erweiterung der Klassenhierarchie erforderlich. Um jedoch in Bezug auf die Nutzung des Wissensmanagements für die Produktentwicklung eine geeignete Basis zu schaffen, werden neue Klassen definiert, die für eine durchgängige Strukturierung erforderlich sind.

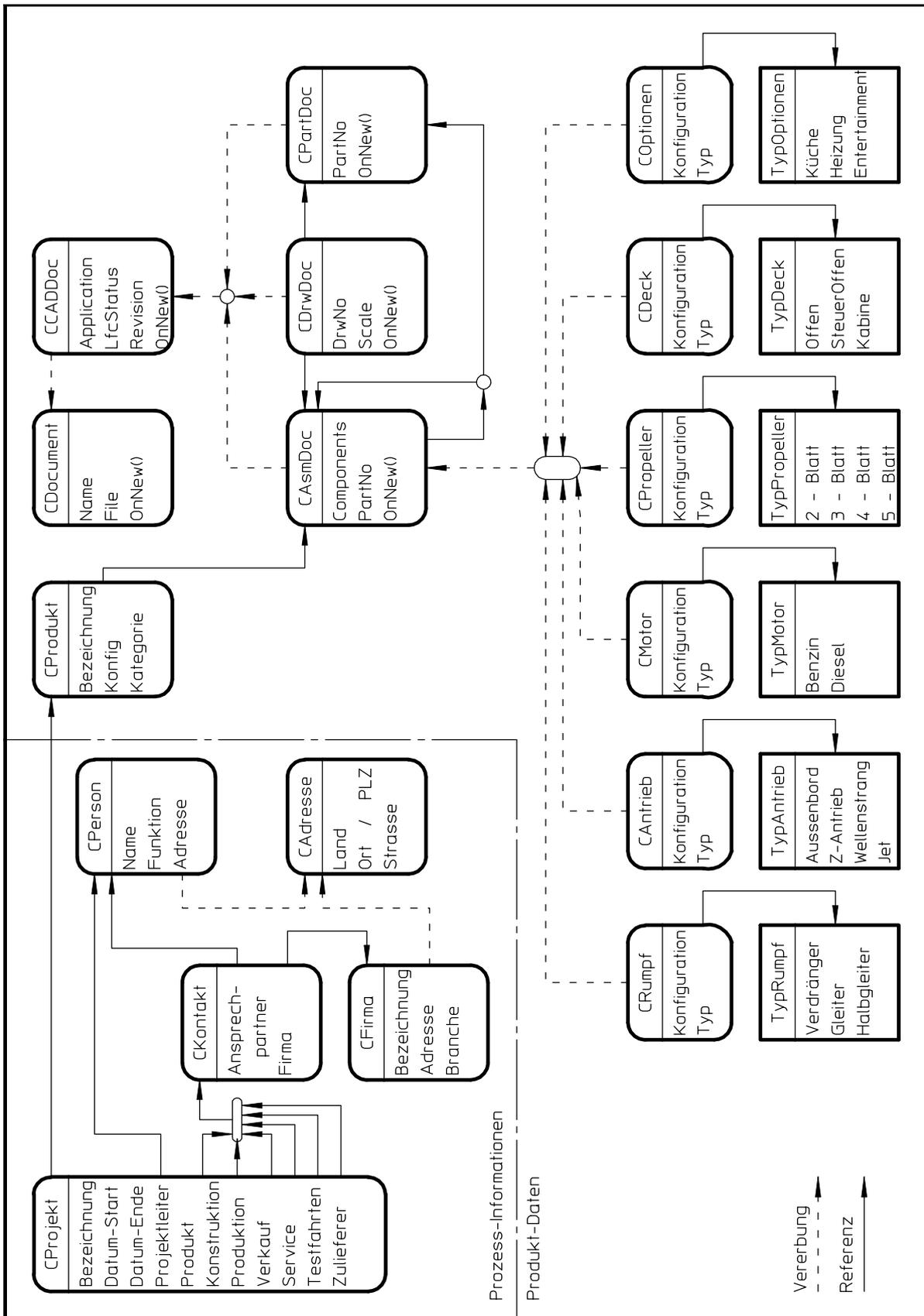


Abbildung 6-12: Auszug der Klassenhierarchie des IMES

Die **Abbildung 2-1** zeigt die Produktstruktur für MSB. Die Umsetzung dieser Struktur im Bereich der CAD-Verwaltung ist in der **Abbildung 6-12** dargestellt. Da die gesamte Klassenstruktur des IMES für eine einheitliche Darstellung zu umfangreich und komplex ist, beschränkt sich der Inhalt der Abbildung auf den Ausschnitt der Datenstruktur, der für die Verwaltung der CAD-Dokumente relevant ist. Die zentrale Klasse CProdukt entsteht durch eine Anpassung der Standard-Klasse CProject des PDM-Systems SmarTeam. Diese Klasse stellt die zentrale Informationseinheit dar. Von hier aus bestehen Verknüpfungen zu allen Informationen, die einem Produkt zugeordnet sind, wie beispielsweise Artikelstammdaten, Stücklisten, Kunden, etc. Dies zeigt die Verknüpfung zwischen CProdukt und den CAD-Strukturen. Generell sind in der Abbildung zwei Arten von Verknüpfungen dargestellt. Dies sind zum einen die Referenzen, die als durchgezogene Pfeile gekennzeichnet sind. Sie stellen Verbindungen zwischen zwei Objekten dar und verdeutlichen, dass ein Objekt ein anderes „kennt“ und somit einen Zugriff auf dessen Informationen hat. Die zweite Art der Verknüpfung ist die bereits beschriebene Vererbung, die in der Abbildung durch gestrichelte Pfeile dargestellt ist. Die Richtung der Pfeile ist zu interpretieren als eine „Erbt von...“ - Beziehung.

Die Klasse **CProdukt** verfügt über einen Link zu der Klasse **CAsmDoc**. Das hier referenzierte Objekt repräsentiert das CAD-Modell, welches zu dem Produkt gehört, wie beispielsweise ein Motorboot oder ein Motor, sofern dieses bzw. dieser als eigenständiges Produkt geführt wird.

In Kapitel 5.2 wurden die Zusammenhänge zwischen den Dokumentarten Baugruppe, Teil und Zeichnung beschrieben. Die Klasse **CAsmDoc** ist die Klasse zur Verwaltung von CAD-Baugruppen-Dokumenten des ausgewählten CAD-Systems. Sie erbt von der Basisklasse **CCADDoc**. Diese virtuelle Basisklasse kann selbst keine Objekte instanziiieren, hält jedoch die für die Verarbeitung von CAD-Daten allgemein gültigen Funktionen bereit. Sie erbt wiederum von der Klasse CDocument diejenigen Eigenschaften, die für die allgemeine Dokumentenverwaltung benötigt werden. Die zusätzliche Klasse **CCADDoc** ist deshalb sinnvoll, da mit dem IMES eine Reihe von verschiedenen Dateiformaten verwaltet werden können. Auf diese Art können CAD-spezifische Eigenschaften, wie beispielsweise das Versionsmanagement an zentraler Stelle implementiert werden. Dementsprechend erben auch die Klassen CPartDoc für die CAD-Modelle von Einzelteilen und **CDrwDoc** für die 2D-CAD-Zeichnungen von der Klasse **CCADDoc**.

Die Klasse **CAsmDoc** hat für die Verwaltung der Produktdaten eine zentrale Bedeutung. Sie dient zur Repräsentation von CAD-Baugruppen. Da sowohl ein komplettes CAD-Modell eines Motorsportbootes als auch die meisten Komponenten von dem CAD-System in Form von Baugruppen erzeugt werden, geschieht die Implementierung von spezifischen Attributen und Methoden in erster Linie innerhalb dieser Klasse.

Damit das Produktmodell eine maximale Übereinstimmung mit der realen Produktstruktur erhält, werden von der Klasse **CAsmDoc** weitere Klassen abgeleitet, welche die Komponenten eines MSB darstellen. Dazu gehören die Klassen **CRumpf**, **CDeck**, **CMotor** und die weiteren Klassen, wie in **Abbildung 6-12** dargestellt. Die Produktstruktur von MSB ist dadurch gekennzeichnet, dass der Charakter eines Bootes durch Ausprägungen von bestimmenden Komponenten definiert wird, die sich in Kategorien einordnen lassen. So kann es sich bei dem Rumpf um einen Verdränger, einen Gleiter oder einen Halbgleiter handeln. Diese Zusammenhänge werden im Datenmodell in der Form abgebildet, dass jede der Klassen zur Darstellung von Bootskomponenten die Ausprägung der beschriebenen Komponente wiedergibt. Dazu wird ein Attribut **Typ** eingefügt. Dieses verweist jeweils auf eine hinterlegte Auswahlliste mit Typspezifikationen. Für die Komponente Rumpf wird demnach die Klasse **CRumpf** definiert. Sie erbt alle allgemeingültigen Eigenschaften von der Basisklasse **CAsmDoc**. Über die Membervariable **Typ** wird auf die Auswahltabelle **TypRumpf** verwiesen. Diese enthält die möglichen Ausprägungen für den Bootsrumpf in Form einer Liste mit den Elementen Verdränger, Gleiter und Halbgleiter.

Zur besseren Veranschaulichung des Datenmodells wird in der Folge ein beispielhafter Ausschnitt aus der Objektstruktur des IMES erläutert. Während in dem Klassendiagramm die strukturellen Beziehungen dargestellt werden, spiegelt das Objektdiagramm einen möglichen Zustand des Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt wieder. In **Abbildung 6-13** ist am Beispiel einer Testfahrt eines MSB dargestellt, welche Objekte zur Laufzeit im System existieren.

Das zentrale Objekt in diesem Kontext ist das Objekt mit der Kennzeichnung „Testfahrt Marktbreit“. Dieses Objekt stellt eine Instanz der Klasse **CProjekt** dar. Das Projekt verfügt über einen Link zu einem Objekt mit der Bezeichnung „Cruiser_100“ vom Typ **CProdukt**. Über diesen Link sind alle direkten Produktinformationen des getesteten MSB verfügbar, wie beispielsweise die CAD-Datenstruktur mit allen Komponenten wie Rumpf, Motor etc.

Weiterhin verfügt das Projekt mit dem Attribut Testfahrt über einen Verweis zu der Beschreibung der Testverfahren mit direktem Zugriff auf die zugrunde liegenden Normen.

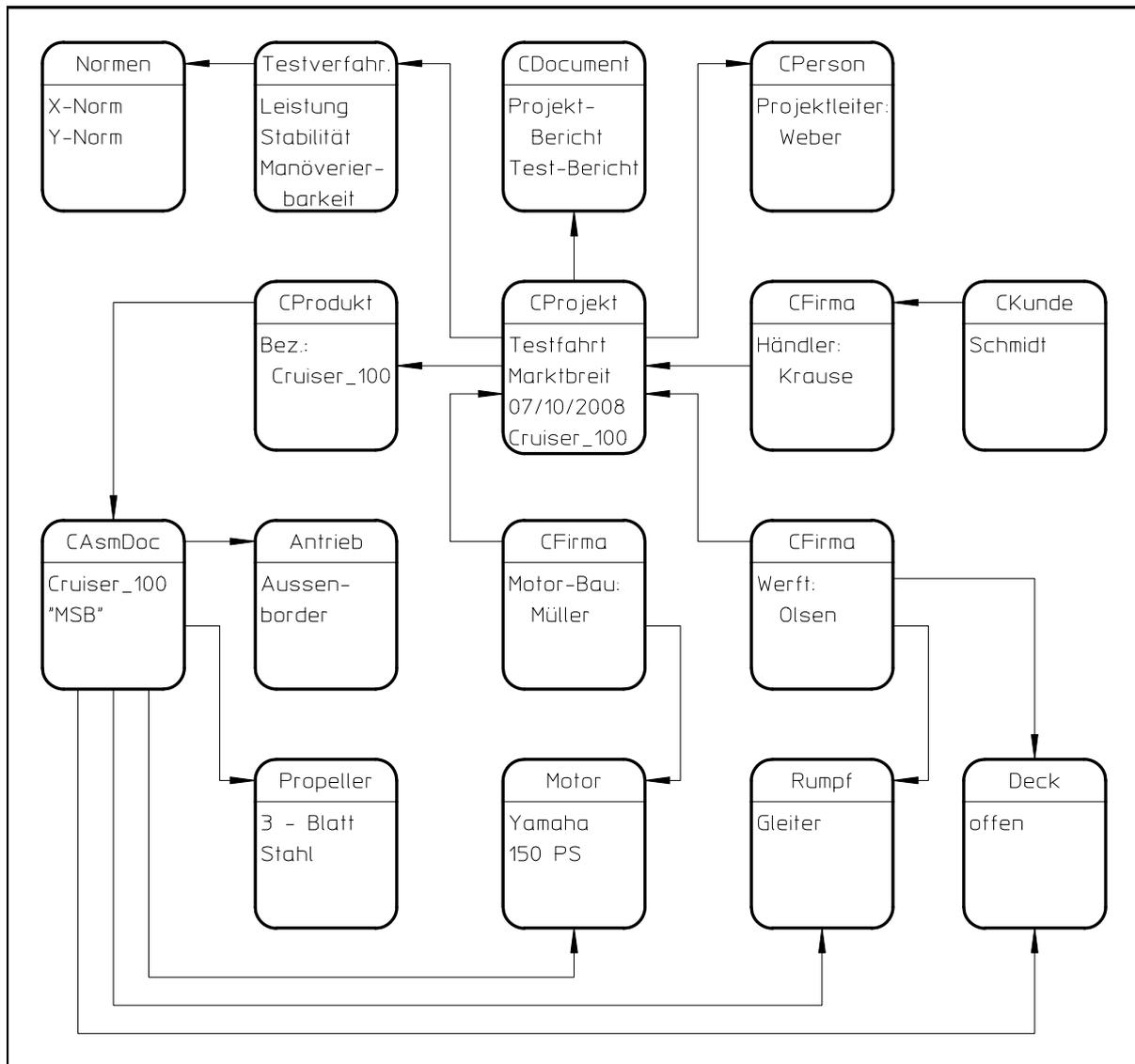


Abbildung 6-13: Beispielhafte Objektstruktur

Die Ergebnisse des Tests werden in einem Testbericht zusammengefasst, der in der Folge auch als Bestandteil des Wissensmanagements genutzt wird. Auch nach Abschluss des Projektes verbleiben die zugehörigen Objekte in der Datenbasis, so dass auch zu jedem späteren Zeitpunkt eine Analyse der Testergebnisse in Bezug auf spezielle Produkte oder Produktreihen möglich ist. Dadurch entsteht ein Hilfsmittel zur Qualitätssteigerung in der Produktentwicklung, da Erkenntnisse aus früher durchgeführten Testfahrten für die Entwicklung neuer Produkte genutzt werden können.

Für die Definition eines erweiterbaren Datenmodells sowie die Umsetzung der KBE-Mechanismen haben die typabhängigen Konfigurationen die entscheidende Bedeutung. Daher wird dieser Aspekt des Datenmodells im folgenden Kapitel im Zusammenhang mit der Umsetzung des Wissensmanagements beschrieben.

6.4.2 CAD / KBE

Die Grundlage für die Anwendung von KBE liegt in der Verwendung von CAD-Modellen in Verbindung mit dem PDM-System. Wie bereits in Kapitel 5.3 dargestellt wurde, wird im Rahmen des IMES das KBE nicht mit Hilfe einer speziellen Programmierlogik realisiert. Vielmehr erfolgt die Umsetzung von KBE im Rahmen dieses Konzeptes auf der Grundlage einer nahtlosen Integration von CAD- und PDM-Informationen. Dabei findet die KBE-Implementierung prinzipiell auf den folgenden Ebenen statt:

- CAD-Templates für Bootskomponenten
- Durchgängige Attribute in CAD und PDM
- Integrierte Ermittlung der kritischen Eigenschaften

Da die einzelnen Maßnahmen stark ineinander verzahnt sind, orientiert sich die Beschreibung im Folgenden nicht an den genannten Ebenen, sondern primär an der Umsetzung der KBE-Methodik.

Ein großes Defizit der heutigen Arbeitsweise ist die unkoordinierte dezentrale Entwicklung, die immer wieder dazu führt, dass Bootskomponenten miteinander kombiniert werden, die nicht zusammen passen. Um diese Problematik zu lösen, wird durch dieses Konzept eine verbindliche Arbeitsweise in der Konstruktion vorgegeben. Dies geschieht nicht nur durch die Formulierung von Konstruktionsrichtlinien, sondern wird vielmehr dadurch unterstützt, dass bestimmte wesentliche Eigenschaften bereits implizit in die Arbeitsprozesse der Entwicklung integriert werden.

Das CAD-System benötigt für die Erstellung von Dokumenten jeweils eine Dokumentenvorlage, welche auch als Template bezeichnet wird. Im Standard sind drei Dokumentenvorlagen für Teile, Baugruppen und Zeichnungen vorhanden. Die Templates enthalten

Voreinstellungen, die für die Arbeit mit dem CAD-System benötigt werden. Dazu zählen das Basiskoordinatensystem und die drei vordefinierten Standard-Ebenen für die räumliche Positionierung der Geometrie. Darüber hinaus sind in den Templates auch Vorbelegungen für andere Modelleigenschaften, wie zum Beispiel die Vorgabe von Materialwerten vorhanden.

Mit dem gewählten CAD-System SolidWorks können Dokumentenvorlagen auch selbst erstellt werden. Dies wird im Rahmen dieses Konzeptes in der folgenden Art genutzt. Zu den im vorhergehenden Kapitel genannten Klassen des PDM-Datenmodells, die für die Verwaltung von Bootskomponenten definiert werden, wie die Klassen **CRumpf** oder **CDeck** werden jeweils zugehörige CAD-Templates erstellt. Diese enthalten CAD-Voreinstellungen, die speziell für die Verwaltung der jeweiligen Komponenten angepasst sind. Der Konstrukteur entscheidet also zu Beginn der Entwurfstätigkeit bereits durch Auswahl der Dokumentenvorlage, welche Komponente eines MSB bearbeitet werden soll. Die PDM-CAD-Integration erkennt beim erstmaligen Abspeichern des CAD-Modells den Typ der CAD-Vorlage und erstellt dementsprechend ein korrespondierendes Objekt innerhalb der PDM-Datenbasis.

Der Grund für diese Vorgehensweise liegt in der Verfügbarkeit von CAD-Parametern auch auf der Ebene des PDM-Systems, und somit in der übergeordneten Verfügbarkeit für den gesamten Produktentwicklungsprozess. So stellt beispielsweise die Lage des Schwerpunktes eines Bootes eine der wesentlichen Kenngrößen dar. Diese kann im CAD-System durch Verwendung der Funktionen aus dem Bereich *MassProperties* automatisch ermittelt werden. In der Dokumentenvorlage für einen Bootsrumpf wird nun ein Hilfspunkt inklusive einer Bemaßung des Schwerpunktes eingefügt. Jedes CAD-Modell eines Rumpfes, welches diese Vorlage verwendet, verfügt also implizit bereits über die Kennzeichnung des Schwerpunktes.

Das zugehörige PDM-Objekt verfügt seinerseits über ein Attributfeld für die Koordinaten des Schwerpunktes, die durch die Funktionen des IMES ständig mit den Werten aus dem CAD-System abgeglichen werden. Im Rahmen des Konzeptes für das IMES müssen also die benötigten Templates definiert werden, wobei stets der direkte Bezug zu den entsprechenden Klassen der PDM-Datenbasis im Vordergrund steht. Ein Hauptaspekt der CAD-Templates liegt demnach in der Integration von den wesentlichen Produktmerkmalen, welche in das PDM-System gespiegelt werden. Die **Abbildung 6-14** zeigt das Prinzip, wie Informationen, die innerhalb einer CAD-Template Datei vorgegeben sind, in das PDM-

System übertragen werden. Innerhalb des Templates werden, wie am Beispiel des Schwerpunktes erläutert, Parameter zur eindeutigen Beschreibung eingefügt. Dies geschieht in der Regel durch das Einfügen von Referenzelementen, die durch eine Bemaßung gekennzeichnet werden. In der Abbildung 6-14 sind dies beispielsweise die Parameter `d1@skizze1`, `d2@skizze1` und `d3@skizze1`, welche die x-, y- und z-Koordinaten des Massenschwerpunktes darstellen.

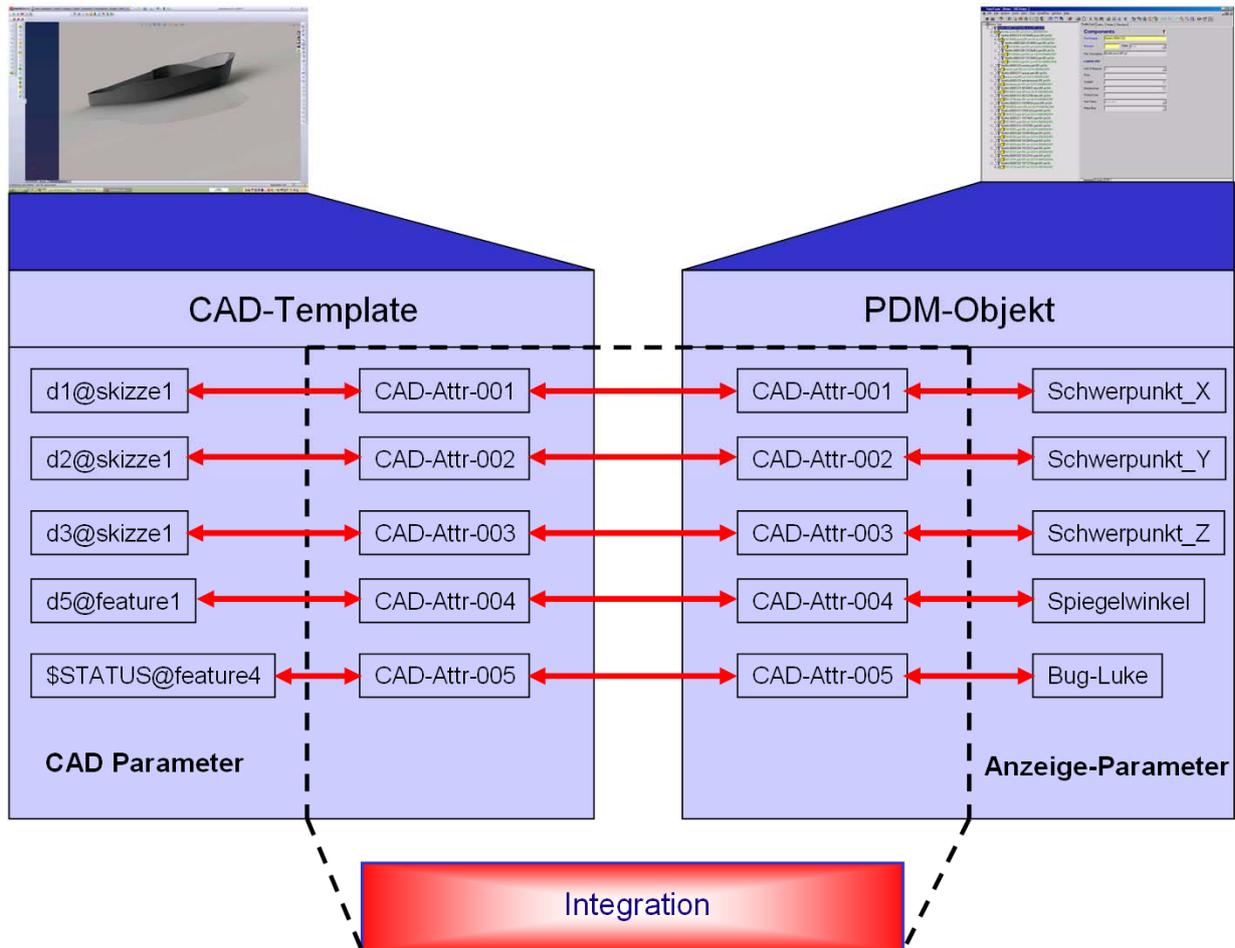


Abbildung 6-14: Attribut-Mapping mit Hilfe von CAD-Templates

Mit Hilfe von Gleichungen können diese Werte in dem CAD-System SolidWorks mit den Masseneigenschaften des Modells verknüpft werden, so dass diese stets die aktuellen Koordinaten des Schwerpunktes enthalten. Per Definition verfügt jedes Template darüber hinaus über einen Satz weiterer Attribute, deren Namen in aufsteigender Sequenz nach einheitlichem Schema vergeben ist. Bei der Erstellung des Templates werden durch einfache Gleichungen diese Attribute mit den Konstruktionsparametern verknüpft, so dass sich die jeweiligen Werte entsprechen.

In den Klassendefinitionen der Klasse **CCADDoc** ist eine Liste mit Attributen definiert, die in derselben Weise benannt sind. Durch die Vererbung der Klassen in der PDM-Datenbasis stehen diese Attribute in allen abgeleiteten Klassen für die Bootskomponenten zur Verfügung. Jedes PDM-Objekt, welches von einer dieser Klassen gebildet wird, verfügt also über Attribute, mit denselben Namen, wie die CAD-Modelle, die durch die Verwendung der Templates erstellt werden. Innerhalb der Komponentenklassen, wie beispielsweise der Klasse **CRumpf**, werden diesen Attributen nun Anzeigewerte zugeordnet, die den inhaltlichen Bezug zu der Bedeutung des Attributes im CAD-Modell wieder herstellen. Das Attribut **CAD-Attr-001** wird innerhalb des PDM-Systems in diesem Zusammenhang als **Schwerpunkt_X** dargestellt.

Das Integrationsmodul des IMES führt bei jedem Lade- und Speichervorgang einen Abgleich der Attribute zwischen CAD- und PDM-System durch. Für den Fall, dass im CAD-System das Modell gespeichert wird, fragt das Integrationsmodul also alle Attribute ab, deren Namen mit der Zeichenkette „CAD-Attr-“, beginnt und überträgt die Werte dieser Attribute an die gleichnamigen Attribute im PDM-Objekt.

Um das Potential des Attribut-Austausches zwischen CAD- und PDM-System im Hinblick auf die Anwendung von KBE auszuschöpfen, wird der Austausch von Attributen nicht nur vom CAD- in das PDM-System sondern bidirektional implementiert. Für jedes Attribut kann festgelegt werden, wie der Austausch durchgeführt werden soll. Das heißt, dass mit Hilfe des IMES nicht nur Werte von Produktmerkmalen aus dem CAD-Modell in das PDM-System übertragen werden können, sondern, dass auch die Produkteigenschaften in dem PDM-System geändert werden können, wodurch die zugehörigen CAD-Parameter angepasst werden.

Neben dem Schwerpunkt des MSB, der mit Hilfe der hinterlegten Materialeigenschaften der verwendeten Komponenten durch das CAD-System ermittelt werden kann, stehen die Massen der einzelnen Komponenten und des gesamten Bootes zur Verfügung. Dadurch besteht für die Entwicklung von MSB nunmehr die Möglichkeit, die Gesamtkonstruktion zu optimieren, bevor ein realer Prototyp hergestellt wurde. Unter anderen lassen sich die folgenden Aufgabenbereiche mit Hilfe von durchgängigen Attributen in CAD und PDM deutlich optimieren:

- Rumpfkonstruktion
- Ermittlung der Versteifung
- Auslegung der Motorfundamente
- Deckkonstruktion
- Innenausbau
- Position und Größe von Motoren und Tanks (Kraftstoff- und Wassertanks)
- Anbauteile (Sitze, Badeplattform, Luken, Türrahmen etc.)

Dies stellt gegenüber der heutigen Situation bereits einen großen Fortschritt dar und bietet die Möglichkeit einen Großteil der potenziellen Fehlerquellen auszuschließen, die bei der konventionellen Arbeitsweise bestehen. Diese Parameter, und besonders die Masseneigenschaften eines Bootes haben nicht nur einen Einfluss auf die statischen Eigenschaften des Bootes, sondern beeinflussen auch die dynamischen Fahreigenschaften. Wie bereits in Kapitel 2 ausführlich dargestellt wurde, stellt die Ermittlung von Fahreigenschaften jedoch eine aufwendige und schwierige Aufgabe dar, die konventionell lediglich mit Hilfe einer Probefahrt mit einem fertigen Boot durchgeführt wird.

Die Unterstützung durch das IMES erlaubt eine Ermittlung von einigen der wesentlichen Eigenschaften bereits zur Entwicklungszeit. Die beschriebenen Produktmerkmale, die in den CAD-Modellen hinterlegt sind, dienen dabei als Ausgangsbasis. Für viele Bootseigenschaften, wie den Auftrieb, Trimmwinkel, Übergang von Verdränger- in Gleitfahrt, können strömungsmechanische Berechnungsverfahren angewendet werden, um qualitative Aussagen über ein neues Bootsmodell zu treffen. Diese werden ebenfalls in die CAD-Vorlagen integriert, so dass sie für die Entwicklung neuer Komponenten zur Verfügung stehen. Dazu wird die Fähigkeit der CAD-Systeme ausgenutzt, mehrere Konfigurationen eines CAD-Modells zu verwalten.

Als Repräsentation der Wasseroberfläche wird eine Referenzebene in das CAD-Modell eingefügt. Die Position des Bootes relativ zu dieser Ebene wird durch Bemaßungsparameter gesteuert, die in Abhängigkeit der Masseneigenschaften ermittelt werden. Die **Abbildung 6-15** zeigt ein CAD-Modell eines Bootsrumpfes auf der virtuellen Wasseroberfläche in der statischen Lage. Durch eine Verknüpfungsoperation wird der Rumpf durch die Referenzebene geschnitten. Die resultierende Kurve entspricht dann der Wasserlinie.

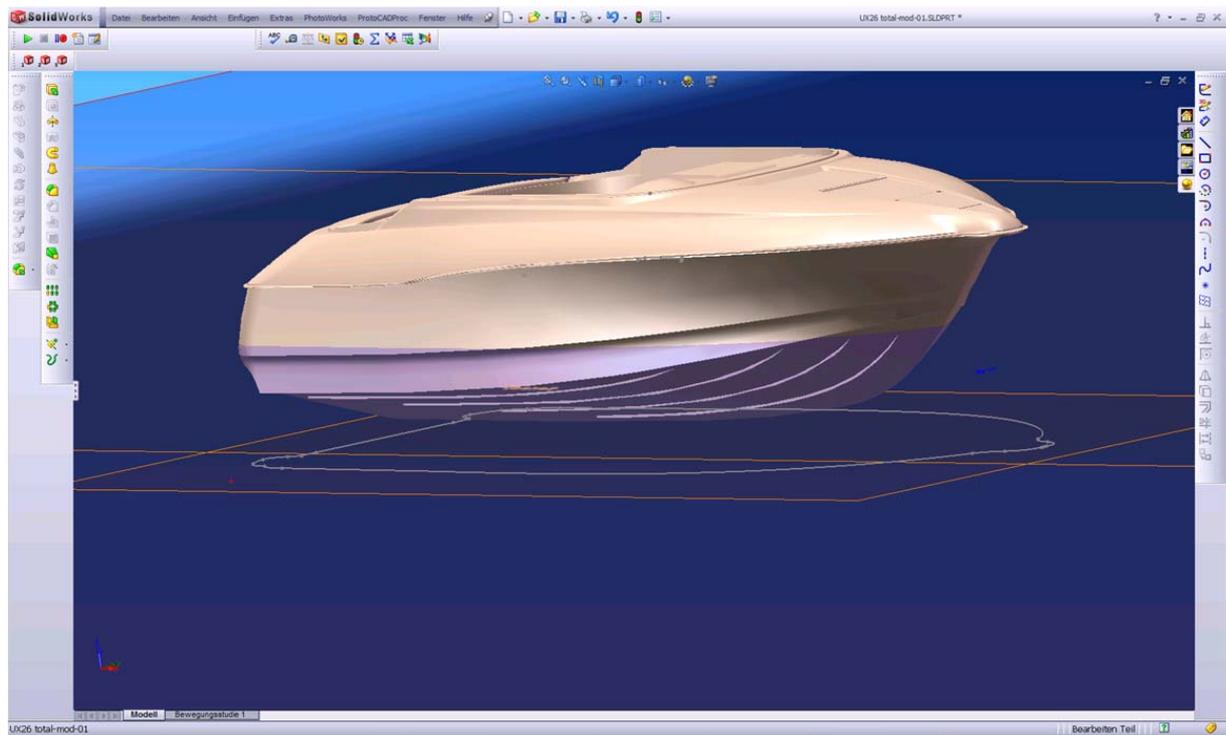


Abbildung 6-15: CAD-Modell Rumpf in Konfiguration Wasserlinie WL-0

Für die Beurteilung verschiedener Fahrsituationen des Bootes werden innerhalb des CAD-Systems verschiedene Konfigurationen erstellt. Diese lassen sich mit Hilfe des bereits beschriebenen Attribut-Austausches auch von dem PDM-System aus aktivieren. Als Beispiel wird hier die Trimmlage genannt. In Abbildung 6-15 ist das Modell in der Konfiguration **WL-0** abgebildet. Die hinterlegten Parameter wie das Metazentrum des Bootes oder der Auftriebspunkt werden in Abhängigkeit der Wasserlinie ermittelt und können vom Anwender direkt innerhalb des CAD-Modells visualisiert oder abgelesen werden.

Durch die Aktivierung einer weiteren Konfiguration **WL-1** (vgl. **Abbildung 6-16**), wird der Neigungswinkel des Bootes relativ zur Referenzebene, welche die Wasseroberfläche repräsentiert, variiert. Da alle hinterlegten Parameter und Gleichungen bei dem Wechsel der Konfiguration aktualisiert werden, steht ein aktualisiertes Modell ad hoc zur Verfügung. Dieses gestattet dem Konstrukteur ein Ablesen der relevanten Produktmerkmale ohne, eine erneute aufwendige Berechnung.

Prinzipiell wird KBE im Rahmen dieses Konzeptes durch die Integration von Produktwissen in CAD-Modelle realisiert. Dieses Produktwissen liegt in Form von definierten Parametern

und Gleichungen vor, die gewährleisten, dass die entsprechenden Informationen stets aktuell und konsistent innerhalb der CAD-Modelle geführt werden. Eine solche Vorgehensweise kann theoretisch auch nur durch den konsequenten Einsatz eines parametrischen CAD-Systems erzielt werden. Dies hat jedoch im Hinblick auf eine effiziente Wissensnutzung gravierende Nachteile. So müssten beispielsweise die erforderlichen Informationen für jedes neue CAD-Modell immer neu eingegeben werden, was mit erhöhtem Aufwand und einem zusätzlichen Fehlerrisiko verbunden ist. Außerdem sind die hinterlegten Produktmerkmale nur implizit innerhalb des CAD-Systems vorhanden und nicht in einem übergeordneten Zusammenhang verfügbar.

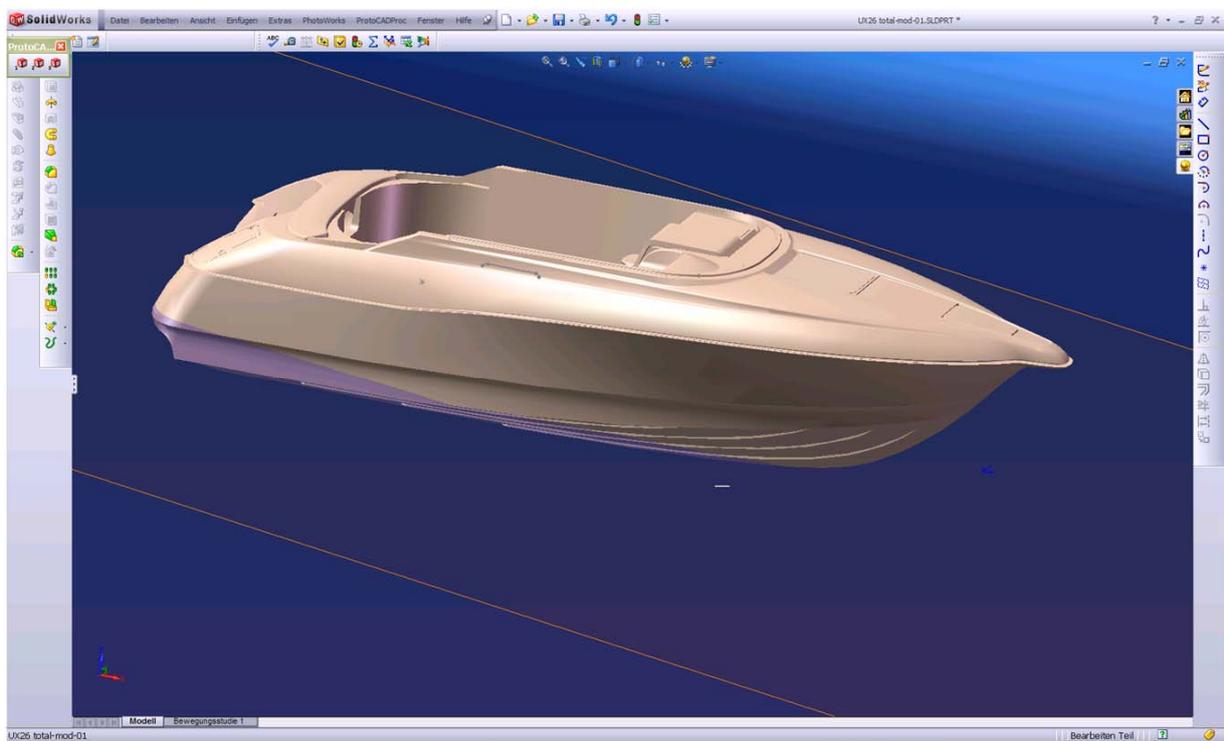


Abbildung 6-16: CAD-Modell Rumpf in Konfiguration Wasserlinie WL-1

Durch die Verwendung von angepassten Dokumenten-Templates in Verbindung mit assoziierten PDM-Klassen und dem erweiterten Informationsaustausch zwischen CAD- und PDM-System werden die relevanten Produktinformationen auf die Ebene des Produktentwicklungsprozesses angehoben und stehen auch anderen Bereichen als der Konstruktion zur Verfügung. Hierbei ist besonders zu erwähnen, dass durch die hier gewählte Art der Informationsverwaltung die Eingabe und Pflege der Produktinformationen und Beziehungen nicht bei jeder Entwicklung explizit neu erfolgen muss, sondern bereits Bestandteil der verwendeten Vorlagen ist.

In Ergänzung zu der oben beschriebenen Umsetzung von KBE bietet das IMES auch die Möglichkeit, explizite Informationen zu einzelnen MSB-Komponenten sowie zu anderen relevanten Themen zu verwalten. Dazu verfügt das System über eine integrierte Wissensbasis, welche kontinuierlich durch die Anwender erweitert wird. Diese Wissensbasis ist konzeptionell an das Wiki¹²-Konzept angelehnt.

Unter einem Wiki wird ein System verstanden, welches Inhalte auf Hypertext- Basis anbietet, wobei diese Inhalte jederzeit online von jedem Benutzer geändert werden können. Das wohl bekannteste Wiki-System ist die Online-Enzyklopädie „Wikipedia“¹³. Es existiert allerdings darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Wikis, zu speziellen Themenbereichen oder für besondere Anwender, die beispielsweise nur innerhalb eines Unternehmens verfügbar sind. Die wesentlichen Eigenschaften eines Wiki-Systems sind:

- Einfache Bedienung

Die Eingabe und das Bearbeiten von Texten erfordern von dem Benutzer keine Kenntnisse über Programmierung oder den Aufbau der Markup-Syntax von HTML. Formatierungen des Textes oder das Einfügen von anderen Elementen, wie Grafiken werden mit Hilfe von wenigen einfachen Befehlen durchgeführt. Der fertige Text wird durch das Wiki-System für die Präsentation in das HTML-Format übersetzt, so dass für die Ansicht jeder Web-Browser verwendet werden kann.

- Verlinkung

Artikel sind einem Stichwort, bzw. einer Überschrift zugeordnet. Innerhalb des Textes können auf einfache Art Links auf andere Artikel oder Internetseiten eingefügt werden. Dadurch können Querverweise zu verwandten Themen oder zu Begriffserklärungen in den Text eingebracht werden.

- Versionsverwaltung

Da jeder Benutzer die Möglichkeit zur Bearbeitung der Inhalte hat ohne, dass eine redaktionelle Prüfung stattfindet, besteht immer die Gefahr, dass Informationen, die bereits in dem Wiki vorhanden sind, durch fehlerhafte Eingaben beschädigt werden oder verloren gehen. Aus diesem Grund verfügen Wiki-Systeme über ein integriertes Versionsmanagement. So kann mit einfachen Mitteln ein früherer Status eines Artikels wieder hergestellt werden.

¹² Wiki: hawaiisch für „schnell“

¹³ Wikipedia: <http://www.wikipedia.org/de>, Adresse der deutschsprachigen Wikipedia

In der Praxis hat sich gezeigt, dass dieser Ansatz der Wissensverarbeitung überaus erfolgreich ist. Die Befürchtungen, dass wegen der fehlenden Zugriffskontrollen und Prüfungen die Qualität der hinterlegten Informationen in dem anarchischen System eines Wiki nicht mit der von redaktionellen Systemen konkurrieren kann, haben sich nicht bestätigt. Es kann im Gegenteil beobachtet werden, dass Wiki-Systeme die Möglichkeit zum Aufbau einer kollaborativen Wissensbasis darstellen, die den Erfahrungsschatz und das Wissen der Autoren enthält. Aus diesem Grund wird dieser Aspekt des Wissensmanagements auch für das IMES umgesetzt.

Im Gegensatz zu einer über das Internet frei zugänglichen Enzyklopädie ist das Wissensmanagement innerhalb des IMES jedoch vollständig in die Benutzerverwaltung des Gesamtsystems integriert. Dies ist zwingend erforderlich, da in den enthaltenen Artikeln auch sensibles Produktwissen des MSB-Unternehmens enthalten ist. Die Bearbeitung und Präsentation erfolgt, wie bei den meisten Wiki-Anwendungen auf Basis des HTML-Formats, wobei die Übersetzung in das HTML-Format durch das IMES erfolgt, sodass das Prinzip der einfachen und schnellen Bearbeitung eingehalten wird.

Aus datentechnischer Sicht werden die Artikel innerhalb der Datenbank des PDM-Systems verwaltet. Da die Kernfunktionen der Verlinkung und des Versionsmanagements von Wiki-Systemen in PDM-Systemen ebenfalls vorhanden sind, lässt sich die Informationsverwaltung in derselben Datenbasis abbilden, die auch für die Verwaltung des virtuellen Produktmodells verwendet wird. Die einheitliche Datenhaltung ist zwar mit zusätzlichem Programmieraufwand verbunden, weil anstelle eines verfügbaren Wiki-Systems die entsprechenden Funktionen im Rahmen des PDM-Systems neu implementiert werden müssen. Die Vorteile einer einheitlichen Datenbasis überwiegen jedoch, da hier die Möglichkeit gegeben ist, innerhalb der Artikel auch Verweise zu Objekten des Produktmodells zu verwenden. Umgekehrt können Verweise auf Wissensartikel auch an die PDM-Objekte angefügt werden. So kann beispielsweise einem bestimmten Rumpftyp ein Verweis auf einen Artikel hinzugefügt werden. Ein Benutzer hat somit einen direkten und einfachen Zugang zu einer erweiterten Produktinformation, wenn dieser Verweis auf einen Erfahrungsbericht oder die Auswertung und Interpretation von Produkttests führt.

Ein Artikel in der Datenbasis beinhaltet wie jedes andere PDM-Objekt auch, Attribute des PDM-Systems. Hier wird ein zusätzliches Attribut eingefügt, welches den jeweiligen Artikel als *public* oder *private* klassifiziert. Dieses Attribut steuert die externe Verfügbarkeit der Informationen in der Form, dass nur Artikel die als *public* deklariert sind auch extern

veröffentlicht werden und somit für die Allgemeinheit über das Web-Portal zugänglich sind. Per Definition wird jeder Artikel zunächst als private angelegt, damit eine unbeabsichtigte Veröffentlichung von sensiblen Produktinformationen vermieden wird. Der Autor kann nach der Bearbeitung durch Änderung des Status einen Artikel jedoch als public kennzeichnen und somit veröffentlichen.

Zusammenfassend wird im Rahmen des IMES ein umfassendes Wissensmanagement implementiert, welches einen kontinuierlichen Aufbau einer umfassenden Wissensbasis ermöglicht. Dieses Konzept stützt sich auf die Verknüpfung von Expertenwissen der Autoren, also der Mitarbeiter des MSB-Unternehmens, und der Erfassung von implizitem Produktwissen, welches in Form von Parametern und Konstruktionsregeln innerhalb der CAD-Modelle vorhanden ist. Durch die zentrale Anordnung aller Aspekte des Wissensmanagements in der Datenbasis des PDM-Systems wird eine effiziente Nutzung des Wissens gefördert, da diese innerhalb der Funktionen der Produktentwicklung direkt erfolgt.

6.4.3 Einbindung Web (3D-PDF)

Die bereichsübergreifende Verwendung von Produktinformationen erfordert nach dem hier gewählten Konzept, dass Produktdaten weitgehend verfügbar sein müssen. So ist es zwingend notwendig, dass von dem IMES auch in den Web-basierten Betriebsarten Visualisierungen der Produkte zur Verfügung gestellt werden können. Da im Bootsbau ein großes Defizit in der dezentralen Entwicklung darin besteht, dass oftmals Komponenten verwendet werden, die nicht zu einander passen, liegt ein Schwerpunkt dieses Konzeptes in der maximalen Verfügbarkeit von grafischen Produktinformationen. Dies setzt voraus, dass Daten, die originär aus dem CAD-System stammen, anderen Bereichen und externen Partnern oder Kunden frühzeitig zur Verfügung gestellt werden können. Es ist allerdings nicht angestrebt, die CAD-Daten direkt weiterzugeben. Zum einen kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Adressaten über ein CAD-System und die erforderlichen Systemkenntnisse verfügen. Zum anderen bedeutet eine Weitergabe von CAD-Modellen auch immer eine Weitergabe von Produktwissen. Gerade dieses Produktwissen stellt jedoch die Kernkompetenz eines MSB-Unternehmens dar und kann nicht extern veröffentlicht werden.

Deshalb wird eine Verfahrensweise entwickelt, die es ermöglicht, grafische dreidimensionale Modelle zu erstellen, die zwar in Form und Gestalt dem Produkt entsprechen, die darüber hinaus aber keine Konstruktionsdetails enthalten. Diese Modelle müssen ebenfalls in einfacher Art und Weise erstellt und verteilt werden können.

Hier bietet das Dateiformat PDF der Firma Adobe eine gute Möglichkeit für den Informationsaustausch. 3D-PDF Dateien können sowohl in gewöhnliche PDF-Dokumente, wie beispielsweise Montageanleitungen, eingebunden, als auch mit Hilfe eines gewöhnlichen Web-Browsers online verfügbar gemacht werden. Im Ausdruck einer PDF-Datei wird das Bildobjekt dabei in einer bevorzugten Ansicht dargestellt, die bei der Erstellung eingestellt werden kann. Wird das PDF-Dokument an einem Computer geöffnet, so besteht die Möglichkeit, durch Aktivierung des Objekts verschiedene Ansichtsoptionen interaktiv zu wählen. So kann das Objekt sowohl rotiert und skaliert als auch in beliebigen Ebenen geschnitten dargestellt werden. Darüber hinaus besteht bei Objekten, die aus 3D-CAD-Modellen erstellt wurden, die Möglichkeit, mit Hilfe einer Strukturansicht einzelne Komponenten ein- und auszublenden.

3D PDF-Dateien werden im Rahmen des IMES für verschiedene Zwecke eingesetzt. Die Benutzeroberfläche des PDM-Systems stellt neben den Metadaten eines ausgewählten Objektes auch eine Vorschau von CAD-Daten zur Verfügung. Diese Vorschaudateien bieten auch den Benutzern eine Zugangsmöglichkeit, die auf ihrem Computer kein CAD-System installiert haben. In Verbindung mit einem geeigneten Viewer werden für diesen Zweck bevorzugt Dateien in einem neutralen Dateiformat verwendet.

Da diese Anforderungen zum großen Teil mit den Anforderungen einer Veröffentlichung über eine Web-Plattform identisch sind, wird das PDF-Format als das einzige neutrale Format für Visualisierungen verwendet, da es sich sowohl für die Darstellung von dreidimensionalen Modellen eignet, als auch alle Anforderungen erfüllt, die für die Speicherung zweidimensionaler technischer Zeichnungen erfüllt werden müssen.

Da das PDF-Format für die Visualisierung eine zentrale Rolle spielt, wird die Erstellung der PDF-Dateien direkt in der CAD-Integration verankert. Bei jedem Speichervorgang einer CAD-Datei wird durch die Speicher-Funktion des Integrationsmoduls neben der CAD-Datei eine Vorschaudatei erzeugt und in der Datenbasis des PDM-Systems abgelegt. Diese Vorschaudatei ist mit dem PDM-Objekt in derselben Weise verknüpft wie die originale CAD-Datei, so dass sie jederzeit verfügbar ist.

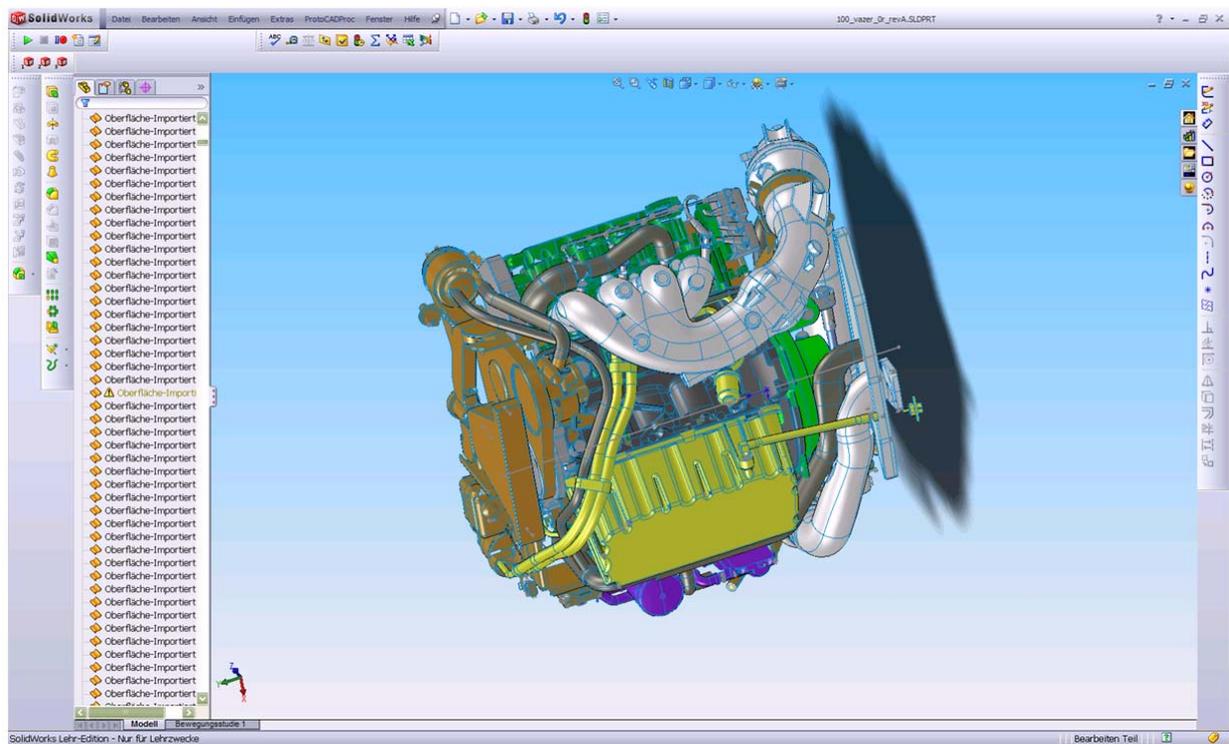


Abbildung 6-17: 3D-Modell Bootsmotor im CAD-System

Die **Abbildung 6-17** zeigt das Modell einer Baugruppe eines Bootsmotors innerhalb des CAD-Systems. Das CAD-System SolidWorks verfügt bereits im Standard über die Möglichkeit, Daten im PDF-Format zu exportieren. Dabei können Zeichnungen als gewöhnliche PDF-Dateien und Teile und Baugruppen als 3D-PDF-Dateien gespeichert werden. Die Funktion zum Exportieren in das PDF-Format wird auch über die COM-API des CAD-Systems zur Verfügung gestellt.

Da die Funktionalität zur Erzeugung der Vorschaudateien eine überschaubare Komplexität aufweist, wird diese Funktion genutzt, um beispielhaft die Funktionsweise des Integrationsmoduls zu beschreiben. In der **Abbildung 6-18** ist der Ablauf der Funktion „CreatePreview“ grob dargestellt. Die Abbildung ist in drei Spalten aufgeteilt, wobei die Spalten jeweils den Systemen zugeordnet sind, in denen die Implementierung der einzelnen Schritte erfolgt. Der hier dargestellte Ablauf ist ein Bestandteil der CAD-Integration und stellt den Speichervorgang für ein Teil-Dokument oder Zeichnungs-Dokument dar. Bei der Speicherung einer Baugruppe wird dieser Ablauf für jedes der enthaltenen Teile durchlaufen.

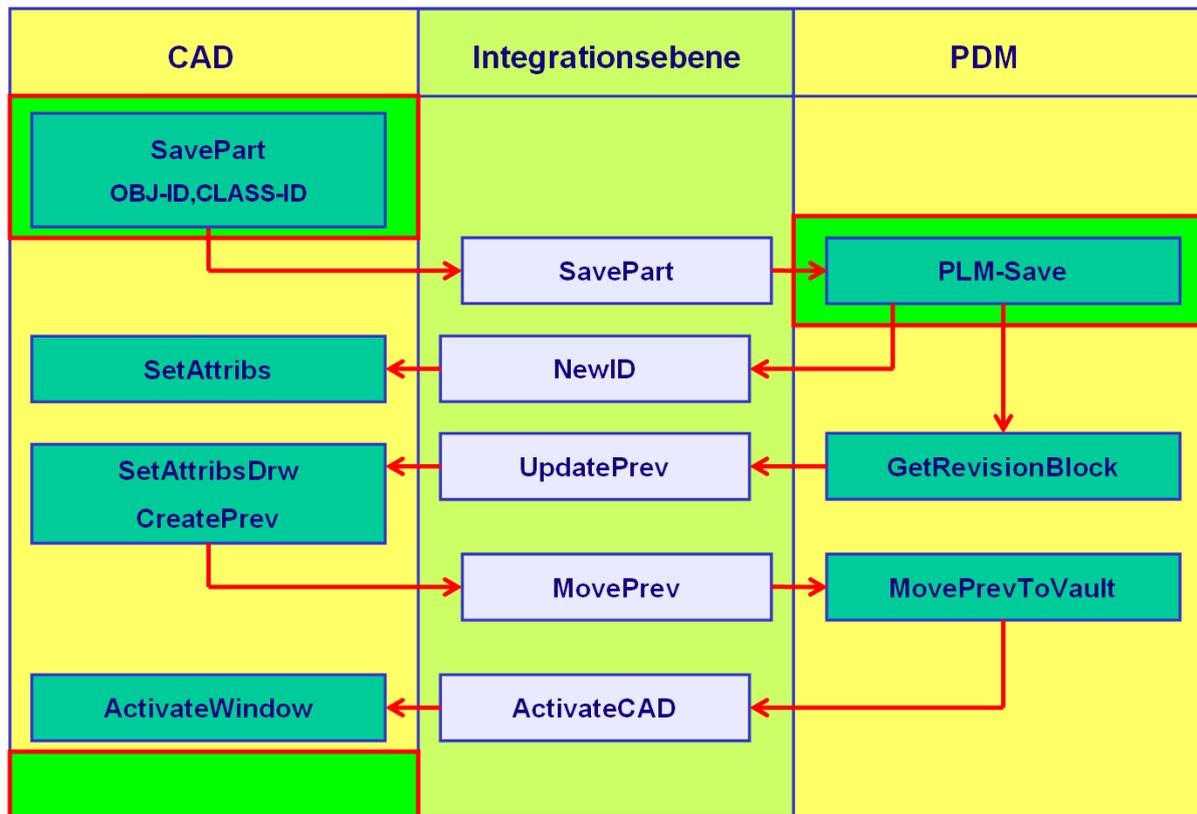


Abbildung 6-18: Ablauf der Erstellung einer Vorschaudatei

Es ist zu erkennen, dass zwischen den Systemen CAD und PDM eine asynchrone Kommunikation stattfindet. Ist eine Benutzereingabe in eines der Systeme erforderlich, so erfolgt eine Aktivierung der betreffenden Applikation, was dazu führt, dass das Anwendungsfenster in den Vordergrund gebracht wird und somit den Eingabefokus erhält. Die Aktivierung einer Applikation ist in der Abbildung durch eine grüne Hervorhebung gekennzeichnet.

Die Funktion beginnt damit, dass innerhalb des CAD-Systems das Speichern des aktuellen Dokuments ausgelöst wird, wobei die Auslösung interaktiv durch den Benutzer oder durch eine vor gelagerte Funktion des Integrationsmoduls erfolgen kann. Die Funktion „SavePart“ ermittelt im Wesentlichen zunächst ob die internen Identifizierungsnummern „Class-ID“ und „Object-ID“ gesetzt sind. Diese Schlüssel stellen die eindeutige Identität jedes Objekts innerhalb der Datenbasis dar. Sind die Attribute bei einem neu erstellten Teil noch nicht vorhanden, so wird als **OBJ-ID** der leere Wert „0“ eingetragen, wogegen der Wert für das Attribut „Class-ID“ mit dem Wert für die Klassenzugehörigkeit „SOLIDWORKS-PART“ versehen wird. Zusammen mit dem Dateinamen werden diese Attributwerte in der

Anweisung „SavePart“ über die Integrationsebene an das PDM-System weitergeleitet, wo nach Auswertung der empfangenen Nachricht die Funktion „PLM-Save“ aufgerufen wird.

Das PDM-System prüft an Hand der übergebenen ID-Nummern, ob ein neues Objekt erstellt oder ein vorhandenes Objekt aktualisiert werden muss. In beiden Fällen wird die Profilkarte mit den Attributen des Objektes angezeigt. Bei der Neuanlage hat der Benutzer die Möglichkeit, Attributwerte von Hand einzugeben. Andere Werte werden automatisch vom System vergeben. Dies sind zum Beispiel Zeichnungs- oder Teilenummern, oder der Benutzername des Erstellers und das Erstellungsdatum.

Nach der erfolgreichen Speicherung bzw. Aktualisierung des PDM-Objektes werden die neuen Identifizierungsnummern zusammen mit einem neuen eindeutigen Dateinamen in Form der Nachricht „NewID“ an das CAD-System übermittelt. Das Integrationsmodul innerhalb des CAD-Systems ruft auf Grund dieser Nachricht die Funktion „SetAttribs“ auf. In dieser Funktion werden die neuen Werte in den CAD-Attributen „OBJ-ID“ und „CLASS-ID“ gespeichert. Im Anschluss daran wird die CAD-Datei unter dem neuen Dateinamen im Arbeitsverzeichnis gespeichert. Im Anschluss an das Absenden der Nachricht „NewID“ wird innerhalb des PDM-Systems eine erweiterte Attributabfrage durch die Funktion „GetRevisionBlock“ durchgeführt. Vor allem für Zeichnungsdokumente werden hier Attribute zur Versionshistorie der vorhergehenden Versionen des Teiles ermittelt und in eine Listenstruktur eingetragen.

Diese Informationen werden durch die Nachricht „UpdatePreview“ an das CAD-System übermittelt. Hier erfolgt in der Funktion „SetAttribsDrw“ zunächst eine Aktualisierung der Attribute mit den neuen übergebenen Werten. Dies betrifft sowohl Teile-Attribute, die von dem PDM-System geführt werden, als auch besonders die Attribute, die auf dem Schriftpol einer Zeichnung angeordnet sind. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Vorschaudatei immer die aktuellen Informationen wiedergibt. Nach der erfolgten Aktualisierung wird der eigentliche Exportvorgang für die Vorschaudatei gestartet. Die PDF-Datei wird dabei in das lokale Arbeitsverzeichnis des Benutzers gespeichert.

Nach erfolgreicher Speicherung wird von dem CAD-System die Nachricht „MovePrev“ an die PDM-Seite übermittelt. Dort wird durch die Funktion „MovePrevToVault“ die PDF-Datei in den zentralen Datenbestand des Vaults übertragen. Die Vorschaudatei hat denselben Namen, wie das CAD-Dokument, verfügt jedoch über die Dateierweiterung „.pdf“. Durch die Übertragung der Vorschaudatei in den zentralen Vault wird sichergestellt, dass die Vorschau

mit dem aktuellen Stand des Dokuments für alle Benutzer verfügbar ist, was nicht der Fall wäre, wenn sie sich noch im lokalen Arbeitsverzeichnis befinden würde. Da der gesamte Vorgang aus dem CAD-System heraus initiiert wurde, erfolgt abschließend die Aktivierung des CAD-Systems. Dazu wird die Nachricht „ActivateCAD“ an das CAD-System versendet. Mit Hilfe der Funktion „ActivateWindow“ wird das Programmfenster des CAD-Systems wieder in den Vordergrund gebracht und aktiviert, so dass der Benutzer seine Arbeit im CAD-System fortsetzen kann.

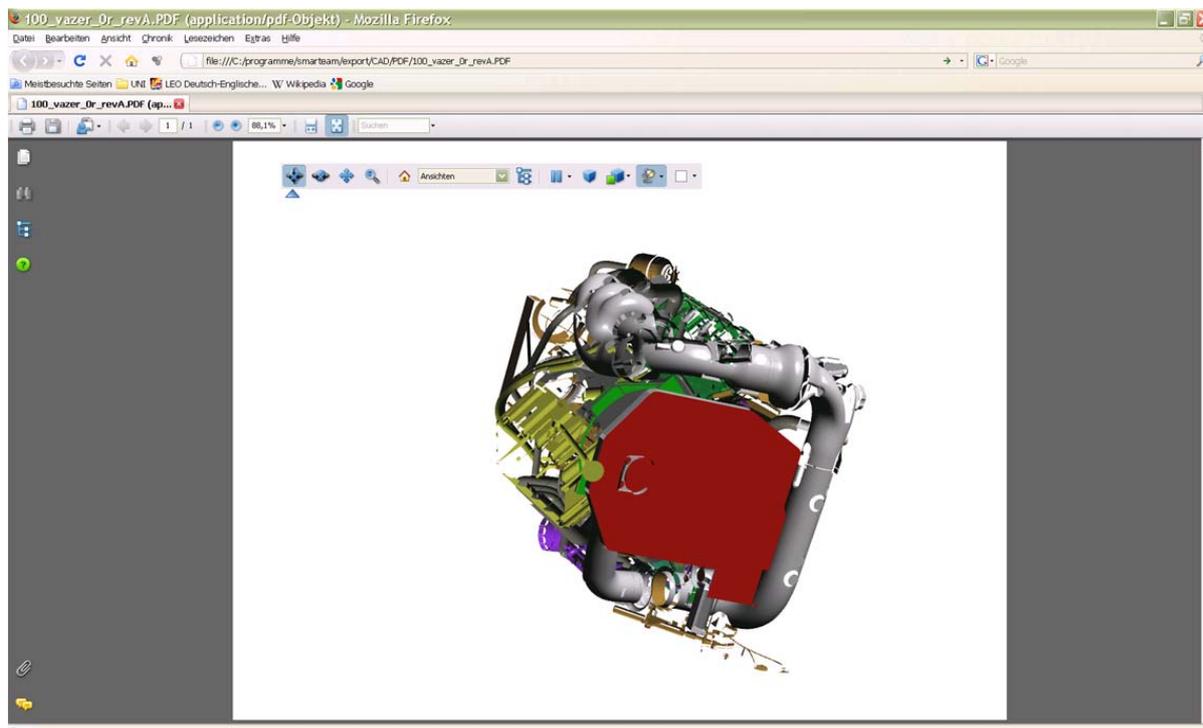


Abbildung 6-19: 3D-Visualisierung Bootsmotor im Web-Browser

Nach dem Export und der Ablage der PDF-Datei in der Datenbasis kann die Vorschau über alle Zugangsarten des IMES abgerufen werden. Dazu ist auf dem Client-Rechner lediglich die Installation des frei verfügbaren Acrobat-Readers erforderlich. Dieser Reader wird bei der Installation automatisch auch als Erweiterung in die installierten Web-Browser integriert, so dass eine Ansicht der dreidimensionalen Modelle auf einfache Weise möglich ist. Die **Abbildung 6-19** zeigt das konvertierte CAD-Modell aus der **Abbildung 6-17** in Form einer 3D-PDF Datei innerhalb eines Standard Web-Browsers.

6.5 Randbedingungen für die Umsetzung in der Praxis

Eine sofortige komplette Umsetzung des hier vorliegenden Konzeptes in die Praxis scheitert sicherlich daran, dass sowohl in dem Unternehmen MSB-BAU als auch in den externen Unternehmen (Zulieferer, Händler, etc.) nicht die geeignete IT-Infrastruktur vorliegt. Deshalb muss zunächst eine Möglichkeit geschaffen werden, damit die verschiedenen Konstruktionsbüros und die Werften 3D-CAD-Daten und Versuchsdaten optimal miteinander austauschen können. Das setzt voraus, dass überall möglichst ein einheitliches CAD-System verwendet wird, damit ein einfacher Datenaustausch aller Daten gewährleistet ist. Weiterhin müssen die Prozesse zur Durchführung und Dokumentation der Versuchsfahrten einschließlich der zu ermittelnden Daten genau definiert werden. Das verlangt natürlich auch nach einheitlichen Messmethoden und Versuchseinrichtungen.

Sobald diese Randbedingungen erfüllt sind, können sämtliche Konstruktionsdaten der dem Unternehmen zugehörigen Bootsmodule erfasst und deren Merkmale miteinander verglichen werden. Innerhalb kürzester Zeit können alle Konstruktionsparameter untersucht und ihre positiven und negativen Eigenschaften bezüglich der Bootkonstruktion und der Fahrdynamik ermittelt werden. Mit zunehmender Datenmenge könnte eine Matrix erstellt werden, welche genau auf die angestrebten Modellvarianten und deren Konstruktionsmerkmale sowie den geforderten Fahreigenschaften fokussiert ist. Damit können negative Effekte bestimmter Parameter in der Zukunft minimiert und die positiven Effekte weiter verbessert werden.

Neu eingeführte Materialien, Konstruktionselemente (Geometrien) und Technologien (Trimmklappen, Trimmschieber, Trimmflügel, Antriebe / Propeller, Leistungen und Drehmomente) können direkt mit aufgenommen werden und ihre Vorteile in allen Bereichen genutzt werden. Die Verwendung einer einheitlichen 3D-CAD-Software erlaubt die sofortige Integration der entwickelten Technologien in allen Abteilungen der Bootsentwicklung. So kann zeit- und kostengünstig die jeweils optimale Technologie flächendeckend verwendet werden, was zu einem sofortigen Wettbewerbsvorteil für die Boot bauenden Unternehmen führt. Für die Konkurrenz wird es schwierig werden, bestimmte Konstruktionsparameter zu übernehmen, da die Eigenschaften der jeweiligen Parameter für sie weiterhin unbekannt bleiben.

Die dem Konzept zugrunde liegende Datenbank ermöglicht dem Einkauf und der Entwicklung zukünftig einen hohen Anteil von Gleichteilen zu berücksichtigen, wie z.B. Kraftstofftanks, Befestigungsteile, Verkabelungen, Dichtungen, Rohstoffe, Werkzeuge, zu

verarbeitende Stoffe, etc. Des Weiteren können eventuell auftretende Qualitätsprobleme sofort allen zuständigen Unternehmensbereichen (Service, FuE, Konstruktion und Händler) mitgeteilt werden, um gemeinsam eine schnelle und einfache Problemlösung zu realisieren. Eine enge Zusammenarbeit mit den jeweiligen Marketingabteilungen der Händler gewährleistet, dass die jeweiligen Kundenwünsche in die neuen Modellentwicklungen mit einfließen.

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Umsetzung in die Praxis mit der Größe eines einführenden Unternehmen sicherlich einfacher und auch wirtschaftlicher gestaltet werden kann, da größere Unternehmen in einem bestimmten Zeitraum eine größere Anzahl von Bootsmodellen entwickeln und somit zwangsläufig auch eine Vielzahl von Versuchen durchführen müssen.

Allerdings müssen für die Durchführung eines derart großen Projektes zunächst die Voraussetzungen gemäß Kap. 5 geschaffen werden. Dazu müssen bereits im Vorfeld eines Einführungsprojektes eine Vielzahl von Überzeugungsgesprächen mit der Geschäftsleitung und dem anschließend ausführenden Personenkreis in dem betroffenen Unternehmen vorgenommen werden, damit seitens des einführenden Unternehmens eine Zustimmung erfolgt. Bei derartig komplexen IT-Projekten verweisen zu Beginn dieser Gespräche, die für die Umsetzung verantwortlichen Personen, zunächst immer auf so genannte unüberwindliche Barrieren. Erst wenn es durch eine gezielte Überzeugungsarbeit gelingt, dem betroffenen Personenkreis die damit zusammenhängenden Vorteile für die Mitarbeiter und den zu erzielenden Mehrwert für das Unternehmen darzustellen, schlägt die ablehnende Haltung ins Positive über und die Erarbeitung eines Einführungskonzeptes kann beginnen.

Natürlich kann die Umsetzung des Konzepts wegen der Komplexität (vgl. **Abbildung 6-20**) nicht sofort in allen Abteilungen und Tochterunternehmen gleichzeitig vorgenommen werden. Es sollte zunächst in einem Werk begonnen werden, jeweils ein vorab genau evaluiertes 3D-CAD-System und ein PDM-System einzuführen. Parallel dazu muss ein, den Testbedingungen und den zu erwartenden Versuchsergebnissen entsprechendes Messdatenerfassungssystem eingerichtet werden. Das dafür notwendige Personal muss für die Anwendung dieser Technologien geschult sein. Nach einer Probephase muss im Team bestimmt werden, ob die in einem kleinen Rahmen erzielten Ergebnisse den Beweis liefern, dass das hohe angestrebte Ziel tatsächlich erreicht werden kann. In dieser ersten Phase sollte auf eine enge Betreuung durch Experten zurückgegriffen werden.

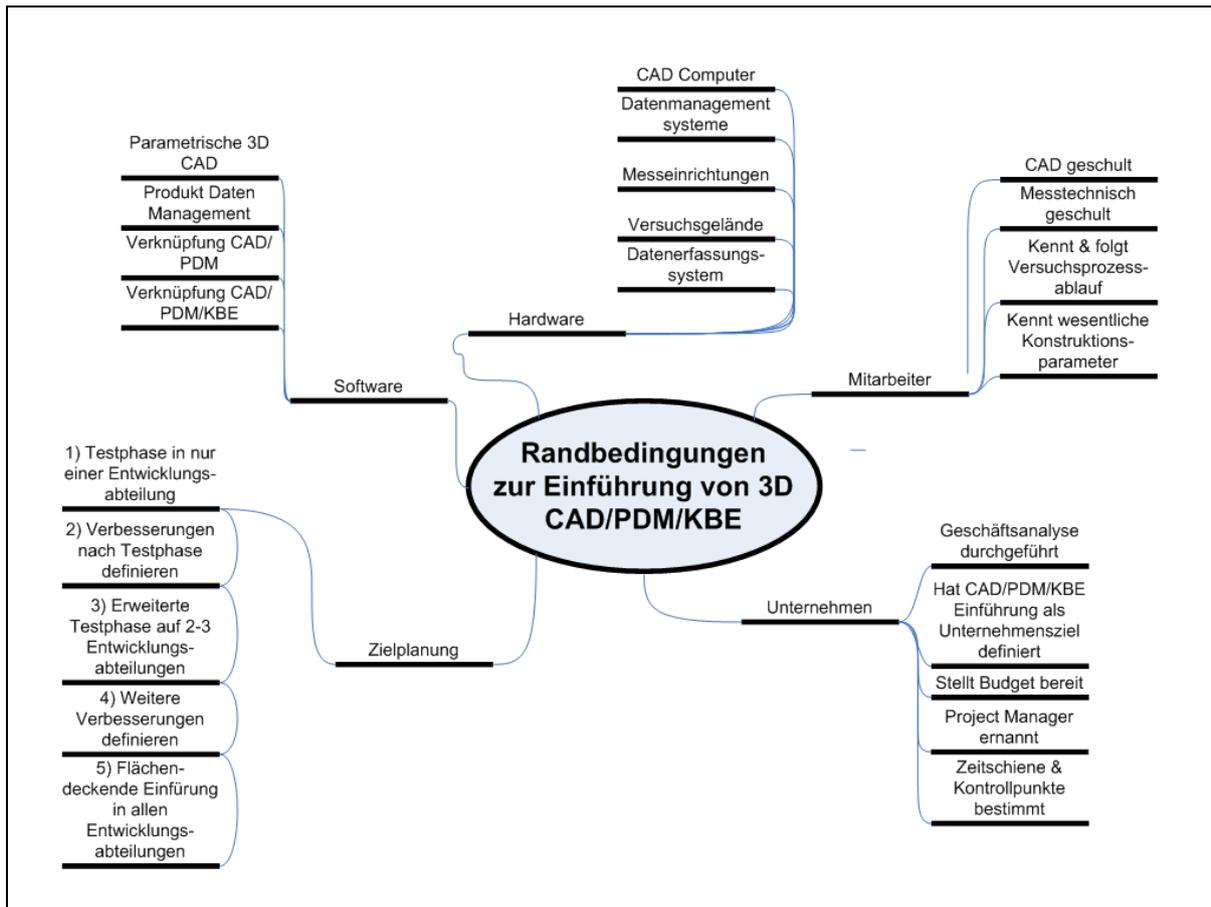


Abbildung 6-20: Randbedingungen zur Einführung

Nach einer Versuchsphase (Hard- und Software-Beschaffung, Schulung, Projektmanagement und Projektevaluierung) können Schritt für Schritt weitere, dem Unternehmen angehörige Entwicklungs- und Konstruktionsabteilungen an das Datenmanagementsystem angeschlossen werden. Die weiteren Schulungen können jetzt von dem bereits geschulten Personal durchgeführt werden. Diese erste Lernphase erlaubt eine Optimierung des ausgewählten 3D-CAD-Systems und des PDM-Systems, bevor es in allen dem Unternehmen zugehörigen Abteilungen eingeführt wird.

7 Beispielhafte Teil-Umsetzung des Konzeptes

Unabhängig von den in Kap. 6.5 genannten Gründen ist die praktische Umsetzung eines so umfangreichen Konzeptes im Rahmen einer Dissertation durch eine Person bezüglich des dafür notwendigen Arbeitsaufwandes nicht durchführbar. Deshalb soll im Rahmen dieser Arbeit eine Detailaufgabe aus dem Gesamtkonzept exemplarisch umgesetzt werden. Es wird darauf geachtet, dass das Beispiel einerseits die Machbarkeit des Konzeptes widerspiegelt und andererseits soll dieses Beispiel eventuell vorhandene Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Detailprozessen innerhalb des Produktentstehungsprozesses aufzeigen. Des Weiteren soll dieses Beispiel auch den unmittelbaren Nutzen sowohl für den Hersteller als auch für den Anwender des ausgewählten Produktes widerspiegeln. Insbesondere dem zuletzt genannten Argument widmet sich das hier gewählte Beispiel, zumal die ermittelten Ergebnisse der Sicherheit bezüglich der Fahreigenschaften eines MSB und damit dem Schutz der Anwender in hohem Maße Rechnung tragen.

7.1 Gründe für die Auswahl des Beispiels

Bei dem hier gewählten Beispiel handelt es sich um die vom Autor selbst durchgeführten praktischen Untersuchungen des Fahrverhaltens von Gleittrumpfsportbooten in Abhängigkeit der Propeller-Eintauchtiefe, der Rumpfgeometrie und der Gewichtsverteilung im Boot [38]. Hierbei soll eine objektive Mess- und Beurteilungsmethode die Fahreigenschaften von Sportbooten in der Praxis aufzeigen (vgl. Kap. 6.2), deren Ergebnisse sowohl für die Produktentwicklung der Sportbootbauindustrie (Hersteller) als auch für die Sportbootfahrer (Kunden / Händler) genutzt werden können, da das hier entwickelte Konzept bereichsübergreifend von der Entwicklung eines Bootes über dessen Nutzung bis hin zu seiner Entsorgung angelegt ist (vgl. **Abbildung 7-1**).

Mit Hilfe von moderner Messtechnik, welche ursprünglich für den Automobilbereich entwickelt wurde, können nun auch die Fahreigenschaften von MSB (vgl. Kap. 6.2, Wechselwirkungen zwischen TP Testfahrt und TP Konstruktion) durch folgende Punkte detailliert beurteilt werden:

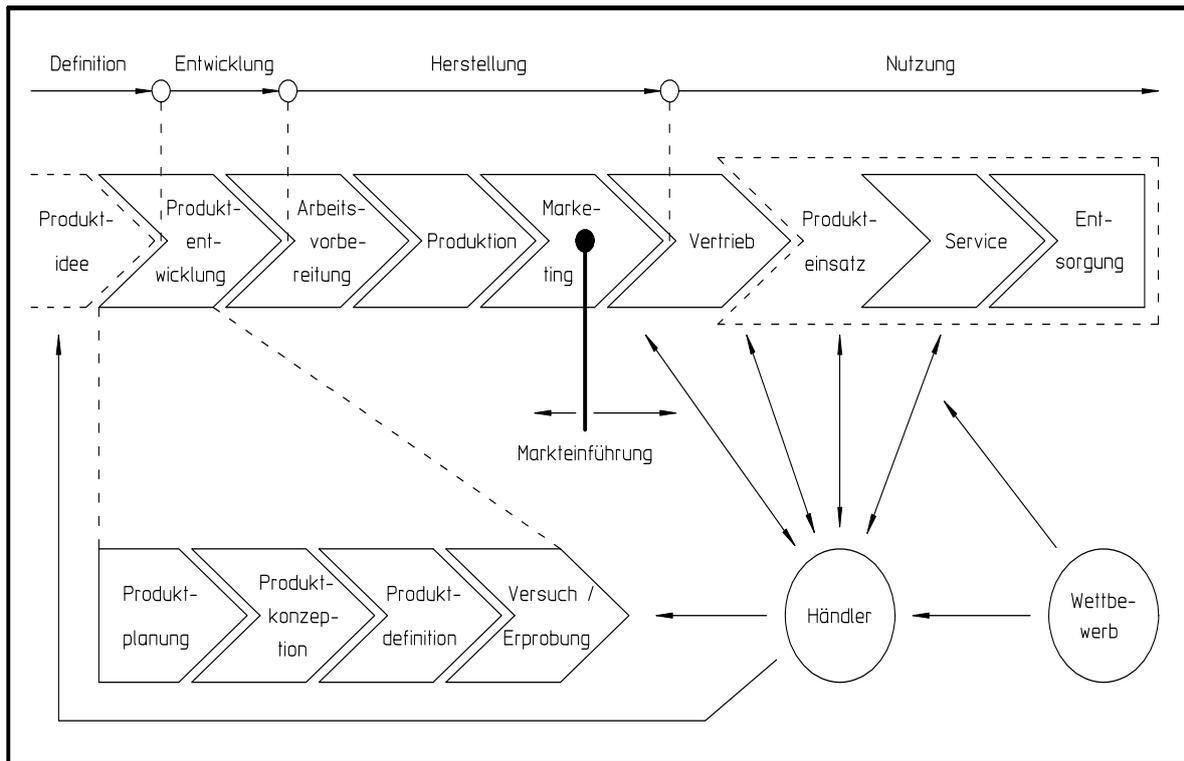


Abbildung 7-1: Produktnutzung (Erweiterung der Abbildung 3-1)

1. Genaue Messungen und ein Vergleich der Beschleunigungen und Höchstgeschwindigkeiten via on-line Datenerfassung und anschließender späterer Bearbeitung.
2. Messung und on-line Aufzeichnung des Bootstrimmwinkels in der Beschleunigungs- und Höchstgeschwindigkeitsphase. Das Wippen eines Bootes bei Höchstgeschwindigkeit und v_{max} kann analysiert und die Zusammenhänge mit der Propellerwahl, der Beladung, der Antriebsmontage hergestellt werden. Dies wiederum erlaubt Rückschlüsse auf eine optimale Anbauhöhe des Propellers (Motor bzw. Antrieb) und des Trimbereichs des Antriebes.
3. Messung und on-line Aufzeichnung des Bootswankwinkels bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Kritische Wankwinkel werden schnell ermittelt (bevor ein Passagier über Bord geht) und erlauben es, konstruktive Änderungen beim Sportbootbauer zu fordern.
4. Unakzeptable Kurvenradien als Funktion der Geschwindigkeit, welche ein Ausweichmanöver nicht mehr erlauben, können aus den aufgezeichneten Messungen schnell ermittelt werden.

Nachfolgend werden in vier Versuchen die hier genannten Werte ermittelt und die erzielten Messwerte diskutiert:

- (1) Untersuchung zur Ermittlung der Fahrdynamik in Abhängigkeit von Bugnickwinkel und Geschwindigkeit (Kap. 7.2).
- (2) Welches Antriebsübersetzungsverhältnis und welche Propellersteigungszahl gewährleistet eine optimale Leistungsausbeute (Kap. 7.3).
- (3) Beurteilung der Fahrdynamik in Kurven und ähnlichen Extremsituationen (Kap. 7.4).
- (4) Untersuchungen der Longitudinal-, Vertikal- und Querschleunigung (Kap. 7.5).

7.2 Durchführung der Versuchsreihe1

Die Versuchsreihe 1 dient zur Beurteilung des Antriebsstranges. Wenn neben den etablierten Antriebssträngen (Motor, Antrieb und Propeller) von einem Lieferanten **X** auch Antriebsstränge eines Lieferanten **Y** in das Programm aufgenommen werden sollen, muss sichergestellt sein, dass die neuen Antriebsstränge die gleichen oder bessere Fahreigenschaften als die bisherigen aufweisen. Dazu kann die folgende Versuchsreihe1 durchgeführt werden:

1. Ermittlung des Bootsnickwinkels in der Beschleunigungsphase und bei Vollgas.
2. Beginn des Bugwippens bei Vollgas bei maximal ausgetrimmten Antrieb.
3. Einfluss der Beladung eines Bootes und der Antriebshöhe auf den Bootsnickwinkel und die Höchstgeschwindigkeit.

7.2.1 Versuchsaufbau 1. Versuch

Als Versuchsboot kommt ein normales MSB gemäß der **Abbildung 7-2** mit einem $2 * 5.7$ l **V8 Motor mit jeweils 300 PS pro Motor zum Einsatz (vgl. Abbildung 11-9, a)**. Als **Antrieb** liegt ein Doppelschraubenantrieb mit einer Übersetzung von $2,20 : 1$ vor (vgl. **Abbildung 11-9, b**). Für jeden Versuch wird immer ein Propeller mit 23 Zoll Steigung und 15,5 & 14,25 Zoll Durchmesser montiert.

Als Messgerät wird das Gerät Racelogic VBOX3 (vgl. **Abbildung 11-10**) benutzt, mit dem die Werte Zeit, Geschwindigkeit und Neigungswinkel für die folgenden Messungen ermittelt werden:

1. Der Beginn und die endgültig erreichte Gleitphase als Funktion des Bootsnickwinkels (Pitch-angle) mit den variierten Parametern:

- a. Original-Antriebslänge und Verlängerung der Antriebslänge um 5 cm
- b. Zusätzliche Gewichte am Heck und anschließend unter Deck (350 kg Blei)¹⁴
2. Die erreichte Höchstgeschwindigkeit als Funktion der Antriebslänge und der Beladung mit den variierten Parametern (siehe Punkt 1.).
3. Beginn des Bugwippens bei Vollgas und aus getrimmtem Antrieb.

Rumpflänge: 9,96 m (33 Fuß)	Gewicht: > ca. 6.100 kg
Gesamtbreite: 3,45 m	Kraftstofftank: 520 Liter



Abbildung 7-2: Testboot 33 Fuss-Motoryacht

7.2.2 Testergebnis zur Ermittlung der Fahrdynamik

Die durchgeführten Versuche zeigen das Verhalten des Testbootes während einer Beschleunigung mit Vollgas unter 2 verschiedenen Bedingungen (gegen die Strömung bzw. mit der Strömung). Im Einzelnen wurden die folgenden Versuche bezüglich des Fahrverhaltens durchgeführt:

- 1) Original Antriebslänge bei unbeladenem Boot.
- 2) Verlängerung der Propellereintauchtiefe bei einem unbeladenen Boot um 5 cm.
- 3) Zusätzliche Beladung von 350 kg nur im Bug bei 5 cm Antriebsverlängerung.
- 4) Gewicht an Deck im Vergleich zu Gewicht im Bug.

Die **Abbildung 7-14** zeigt die erzielten Versuchsergebnisse für ein unbeladenes Boot für

¹⁴ 350 kg Blei = 4 – 5 Personen

- Versuch 1): Bootsnickwinkel = grüne / Geschwindigkeit = rote Kurve und
- Versuch 2): Bootsnickwinkel = schwarze / Geschwindigkeit = blaue Kurve.

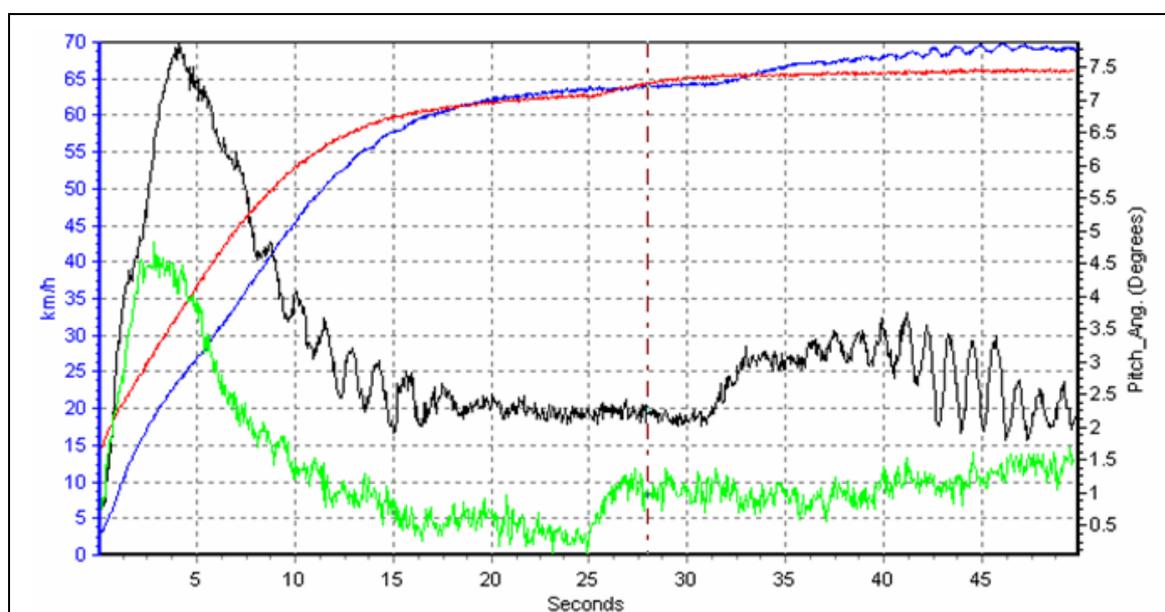


Abbildung 7-3: Messergebnis bei unbeladenem Boot

Zu 1) Die grüne Kurve gibt den Bootsneigungswinkel mit einer Standard Antriebslänge an. Bei dem kürzeren Antrieb erreicht das MSB bei Vollgas lediglich einen maximalen Bugnickwinkel von $4 - 5,5^\circ$. Bemerkenswert ist, dass dieses Maximum bei einer Geschwindigkeit von 27 km/h erreicht wird. Dies ist nahezu die gleiche Geschwindigkeit, die mit dem 5 cm längeren Antrieb (Punkt 2) erreicht wird. Ohne den Antrieb herauszufahren, erreicht das MSB exakt die gleiche Höchstgeschwindigkeit wie zuvor ($63 - 64 \text{ km/h}$). Beim Rauftrimmen des Antriebs ($\text{max. } +5^\circ$) wird der maximale Antriebstrimmwinkel durch den Beginn der Propellerventilation (Luftsaugen der Propeller) begrenzt. Die maximal erreichte Höchstgeschwindigkeit liegt bei 66 km/h . Das heißt, dass mit der originalen Antriebslänge nur eine etwas niedrigere Höchstgeschwindigkeit erreicht werden kann, da der Antriebstrimmwinkel nicht voll genutzt werden kann (Propeller beginnen zu ventilieren) [39]. Im weiteren Verlauf fällt der Bootsnickwinkel stetig ab und pendelt sich bei ganz runter getrimmten Antrieb von (-5°) auf ca. $1,5^\circ$ ein.

Zu 2) Die schwarze Kurve gibt den Bootsnickwinkel mit einem 5 cm verlängerten Antrieb wieder. Der Bug hebt sich sofort aus dem Wasser (steil und stetig ansteigende Kurve des Bootsnickwinkels) und dabei wird bei einer Geschwindigkeit von ca. 25 km/h (blaue Kurve) ein maximaler Bootsnickwinkel von $7,8^\circ$ erreicht. Unmittelbar nach dem Erreichen des Maximums fällt die Kurve wieder stetig ab, bis das Boot seine maximale Höchstge-

geschwindigkeit erreicht. Das erste Geschwindigkeitsmaximum liegt bei ca. 64 km / h. Hier sind die Antriebe noch komplett runtergetrimmt (ca. -5°). Der Bootsnickwinkel beträgt ca. $2,2^\circ$. Sobald die Antriebe raufgetrimmt werden (bis auf max. $+5^\circ$) steigt die Höchstgeschwindigkeit auf 75 km / h, begleitet von einem ständig zunehmenden Bugnicken. Der Fahrer ist gezwungen die Antriebe wieder leicht zurückzustellen. Bei ca. $+2^\circ$ Antriebstrimmwinkel nimmt das Bugnicken ab, ohne dass Geschwindigkeitsreduzierungen auftreten. Die maximale Geschwindigkeit liegt bei 68,8 km / h bei leichtem Bugnicken ($2^\circ - 2,5^\circ$).

Durch den verlängerten Antrieb (5 cm) entsteht ein höherer Bootsnickwinkel in der Beschleunigungsphase (schwarze Kurve). Weiterhin kann das MSB besser ausgetrimmt werden, da die tiefer liegenden Propeller einen höheren Antriebstrimmwinkel erlauben, bevor die Propeller Luft ziehen (Ventilieren). Das heißt, der Antriebstrimmwinkel des verlängerten Antriebs hat einen größeren Einfluss auf den Bootsnickwinkel, was sich positiv auf die Höchstgeschwindigkeit auswirkt. Der Bug des MSB kann in der Gleitphase mehr angehoben werden, was einen optimalen Bootstrimmwinkel ermöglicht.

Zu 3) Die

Abbildung 7-4 zeigt ein MSB, welches mit einem um 5 cm verlängertem Antrieb gegen die Strömung fährt im Vergleich, einmal:

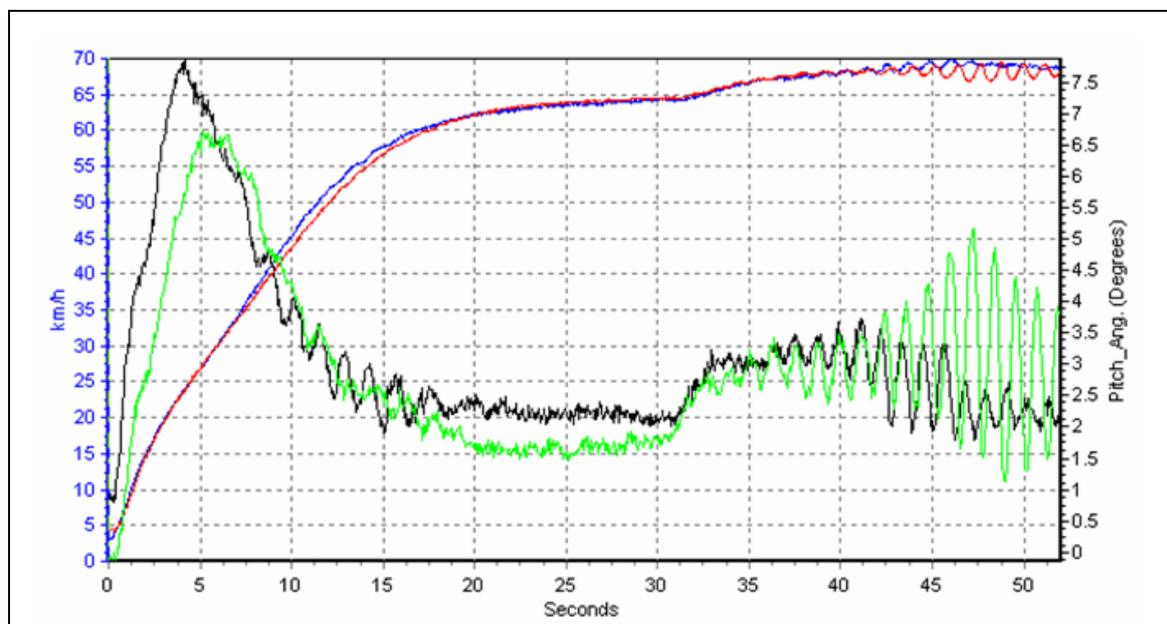


Abbildung 7-4: Unbeladenes MSB gegenüber einer 350 Kg Beladung im Bug

- unbeladen (Bootsnickwinkel = schwarze / Geschwindigkeit = blaue Kurve) und

- mit einer Beladung von 350 kg im Bug (Bootsneigungswinkel = grüne / Geschwindigkeit = rote Kurve).

Das Ergebnis lautet:

1. Geringerer maximaler Bugwinkel in der Beschleunigungsphase.
2. Höhere Anfälligkeit zum Bugwippen beim Austrimmen des Antriebs (grüne Kurve: „Gewicht im Bug“).

Das Gewicht im Bug bewirkt eine Reduzierung des Bootsnickwinkels in der Beschleunigungsphase. Die erreichte Höchstgeschwindigkeit ist nahezu identisch, aber das größere Gewicht im Bug verlangt ein weiteres Austrimmen des Antriebs. Der Winkel des Propellerschubvektors wird dadurch größer, was zu einem verstärkten Bugwippen führt.

Zu 4) Die **Abbildung 7-5** zeigt den Effekt aus dem Vergleich eines MSB mit einem um 5 cm verlängertem Antrieb, welches mit der Strömung fährt:

- einer 350 kg Beladung im Bug (Bootsnickwinkel = schwarze / Geschwindigkeit = blaue Kurve) gegenüber
- einer 350 kg Beladung an Deck in der Nähe des Fahrerstandes (Bootsnickwinkel = grüne / Geschwindigkeit = rote Kurve).

Der Vergleich zeigt eine Gewichtsverlagerung zum Heck des MSB oberhalb des Bootsschwerpunktes. Dies bewirkt einen höheren Bugnickwinkel in der Beschleunigungsphase. Die erreichte Höchstgeschwindigkeit und der Bootsnickwinkel bleiben allerdings nahezu gleich.

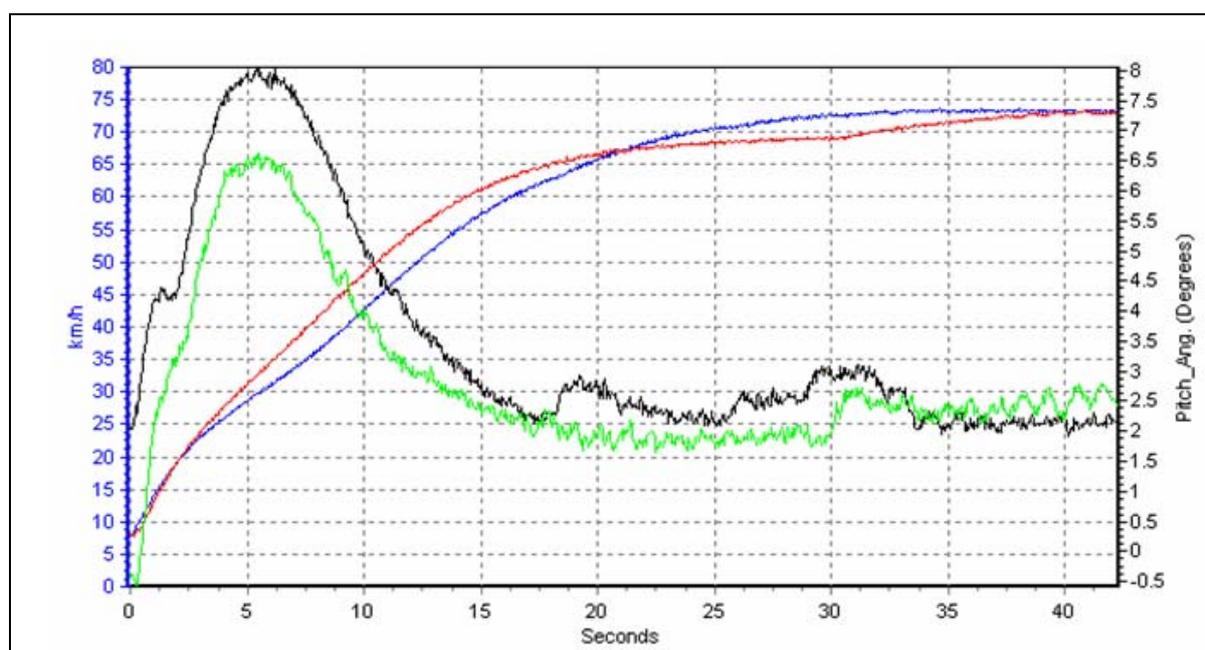


Abbildung 7-5: Gewicht im Bug im Vergleich zum Gewicht an Deck

7.3 Durchführung der Versuchsreihe2

Mit diesem Versuch sollen ein optimales Antriebsübersetzungsverhältnis und eine optimale Propellersteigung ermittelt werden. Parallel dazu erfolgt eine Untersuchung über mögliche Unterschiede zwischen zwei Propellertypen, indem in Abhängigkeit des Antriebsübersetzungsverhältnisses und der Propellersteigungszahl das Beschleunigungsverhalten und der Bugnickwinkel verglichen werden [14].

7.3.1 Versuchsaufbau 2. Versuch

Als Testboot wird ein 8,15m Boot vom Typ Daycruiser eingesetzt, welches mit einem MerCruiser 350 MAG MPI Motor betrieben wird (vgl. **Abbildung 7-6**). Für den durchzuführenden Versuch liegen die folgenden Bedingungen vor:

1. Aufgefüllter Kraftstofftank (261 Liter), aber kein Wasser im Wassertank (75 Liter),
2. nur 2 Personen an Bord und kein zusätzliches Equipment,
3. 100% sauberer Rumpf, Antrieb und Propeller sind neu,
4. die Wassertemperatur beträgt 20°C, bei einer Außentemperatur von 24°C,
5. die See ist ruhig, keine Wellen und kein Wind.



Abbildung 7-6: Testboot für den 2. Versuch

Für die speziellen Propelleruntersuchungen wird für den **Versuch 2.1** eine Antriebsübersetzungen von **2,0: 1** vorgesehen. Dabei werden 2 verschiedene Propellerarten miteinander verglichen, einmal ein Propeller mit 4 Blatt an der Front und 3 Blatt am Heck und **22,5 Zoll** Steigung (vgl. **Abbildung 2-19, Typ A**) und zum zweiten ein Propeller mit jeweils 3 Blatt an der Front und am Heck und **22,5 Zoll** Steigung (vgl. **Abbildung 2-19, Typ B**).

Das für diesen Versuch erforderliche Messequipment ist sehr viel umfangreicher als für die Versuchsreihe1 (vgl. **Abbildung 11-11**). Mit Hilfe des **Racelogic VBOX SL20** Test Equipment, können die folgenden Parameter gemessen und aufgezeichnet werden:

1. Geschwindigkeit (GPS Antenne)
2. Motor - Drehzahl (FIM03 Frequenz- / Spannungs- - Umwandler)
3. Antriebstrimmwinkel (ADC03 Analog Spannungs- - Signal)
4. Bootsnickwinkel (mit 2 GPS Antennen)
5. Vertikale Beschleunigung am Fahrersitz
6. Horizontale Beschleunigung am Fahrersitz

7.3.2 Testergebnis zum Vergleich des Beschleunigungsverhaltens

Die **Abbildung 7-7** zeigt die beiden Propellertypen **A** (blaue Kurve) und **B** (rote Kurve) im direkten Vergleich bezüglich der erreichten Beschleunigung bei Vollgas.

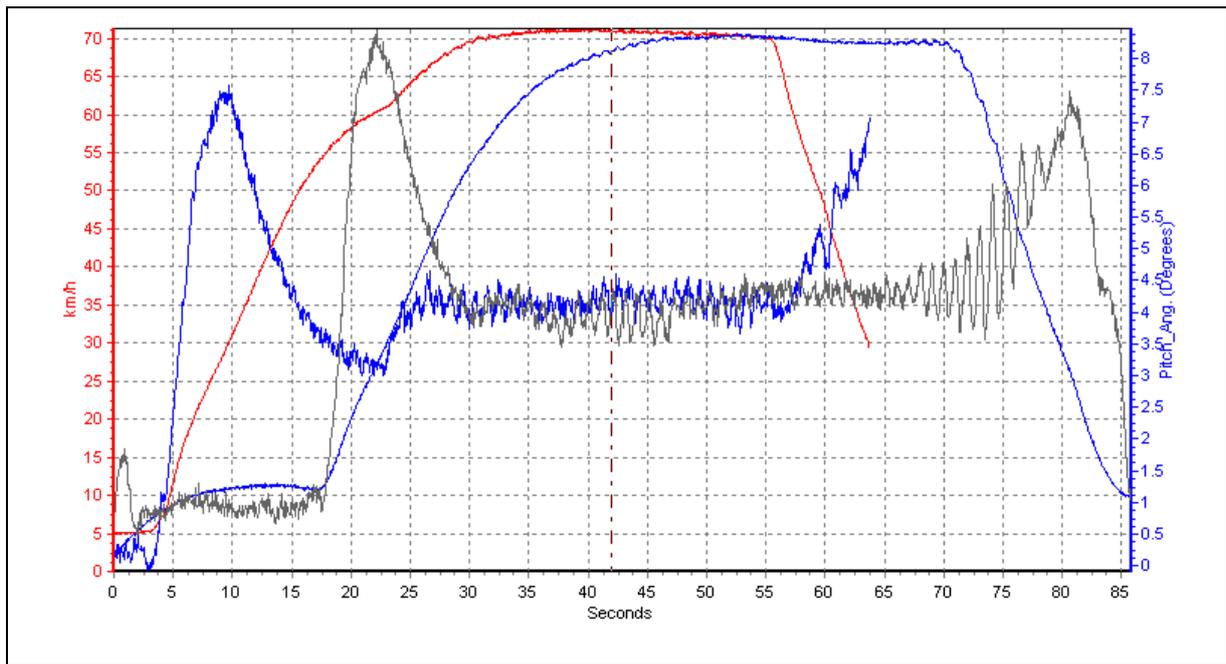


Abbildung 7-7: Vergleich Geschwindigkeit und Bootsnickwinkel

Die Steigung der Geschwindigkeitskurven ist nahezu identisch. Der Propeller **Typ B** erreicht eine etwas höhere Endgeschwindigkeit. (1,25 km / h) als der **Typ A**.

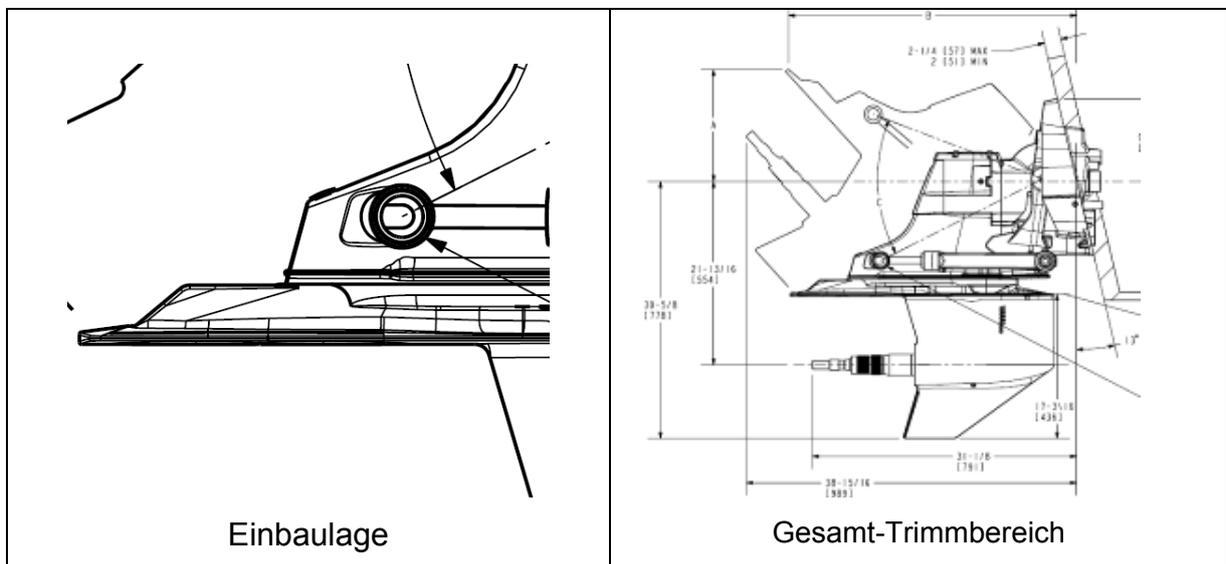


Abbildung 7-8: Trimmbegrenzer

Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass beim Beschleunigungsversuch mit dem Propeller **Typ A** der Trimmbegrenzer an den Antrieb noch „nach hinten“ eingebaut wurde. Um das Beschleunigungsverhalten zu verbessern, wurden alle folgenden Beschleunigungs-

tests mit einem „nach vorne“ gerichteten Trimmbegrenzer durchgeführt. Das „nach vorne“ - Setzen des Trimmbegrenzers bewirkt ein stärkeres Einschwenken des Antriebes zum Bootsspiegel hin. Dadurch wird der Propellerschubvektor näher zum Bootsschwerpunkt gerückt und das resultierende Moment verringert. Der Bootsnickwinkel wird dadurch reduziert (vgl. **Abbildung 7-8**).

7.3.3 Testergebnis für das Übersetzungsverhältnis 2,0 : 1

Die **Abbildung 7-9** zeigt den Bootsnickwinkel bei einem Einsatz des Propeller **Typ A** (graue Kurve) mit dem Trimmbegrenzer „hinten“ im Vergleich zum **Typ B** mit dem Trimmbegrenzer „vorne“ (rote Kurve). Durch die Umsetzung des Trimmbegrenzers konnte der maximale Bugnickwinkel von ca. 8,5° auf 7,3° reduziert werden. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass keiner der beiden Propellertypen es erlaubt, den Motor im oberen Bereich des vom Hersteller angegebenen maximalen Drehzahlbereiches zu fahren.

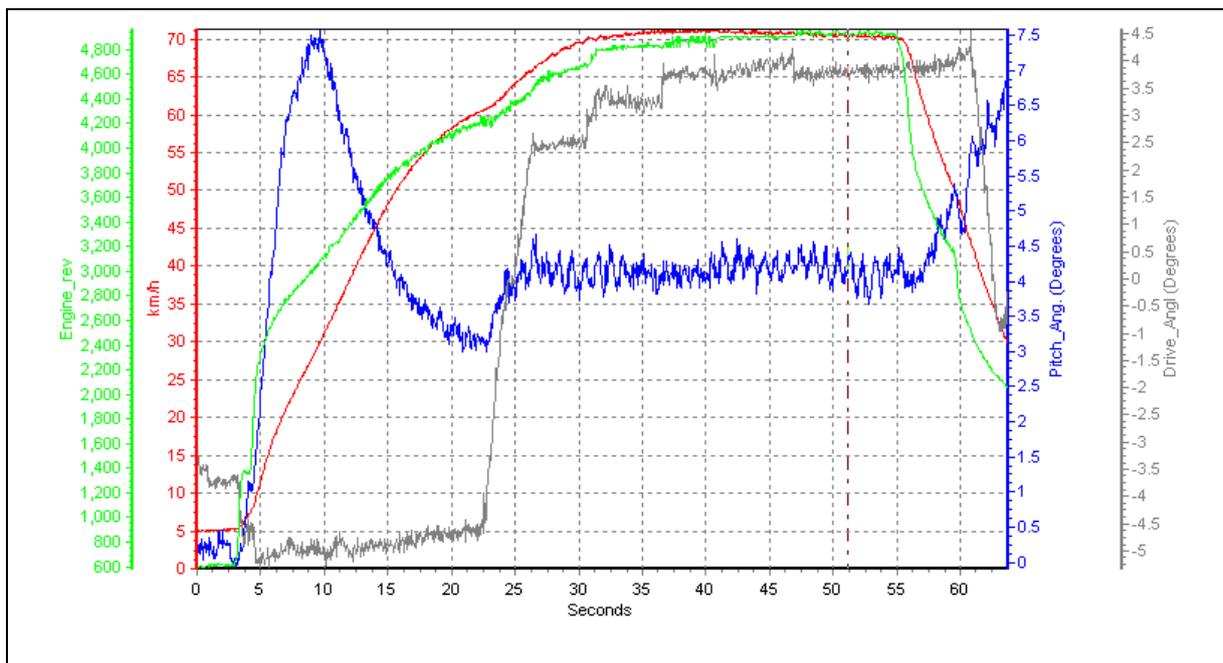


Abbildung 7-9: Messergebnis für den Propeller Typ A (Versuch 2.1)

Die maximale Geschwindigkeit (rote Kurve) liegt knapp oberhalb von 70 km / h bei einer Motordrehzahl (grüne Kurve) von ca. 4.800 1 / min und einem Antriebstrimmwinkel (graue Kurve) von 4°. Der maximale Antriebstrimmwinkel (graue Kurve) wird entweder erreicht bevor der Propeller Luft saugt und das Boot an Geschwindigkeit verliert oder kurz bevor das

Boot in den unstabilen Zustand des Bugwippens gerät. Dies bedeutet, hier beginnt das Bugwippen ab einem Antriebstrimmwinkel von $+4^\circ$. Die max. Motordrehzahl wurde bei 4.800 1 / min gemessen. Grundsätzlich können immer auch alle Messergebnisse (**Abbildung 7-9**) als Zahlenwerte (vgl. **Abbildung 7-10**) wiedergegeben werden, damit diese gegebenenfalls in eine Datenbank eingetragen werden können.

Max. Motordrehzahl mit Trimm	4850 - 4900 rpm	Zeit bis Gleitfahrt 36 km / h	7,5 sec
Geschwindigkeit (Vmax)	71 km / h	Zeit 0 - 30 km / h	7,0 sec
Bootsnickwinkel bei Vmax	4.2°	Zeit 0 - 50 km / h	12,0 sec
Max. Antriebstrimmwinkel (Vmax)	$+ 3.8^\circ$	Zeit 0 - 60 km / h	16,0 sec
		Zeit bis Vmax	26,0 sec

Abbildung 7-10: Messwerte für den Propeller Typ A (Versuch 2.1)

Die im Versuch mit dem Propeller **Typ B** (Kurvenfarben wie vor) erreichte Geschwindigkeit liegt leicht oberhalb des Propellers **Typ A** bei einer Motordrehzahl von 4.950 1 / min und einem Antriebstrimmwinkel von $+4^\circ$ (vgl. **Abbildung 7-11**).

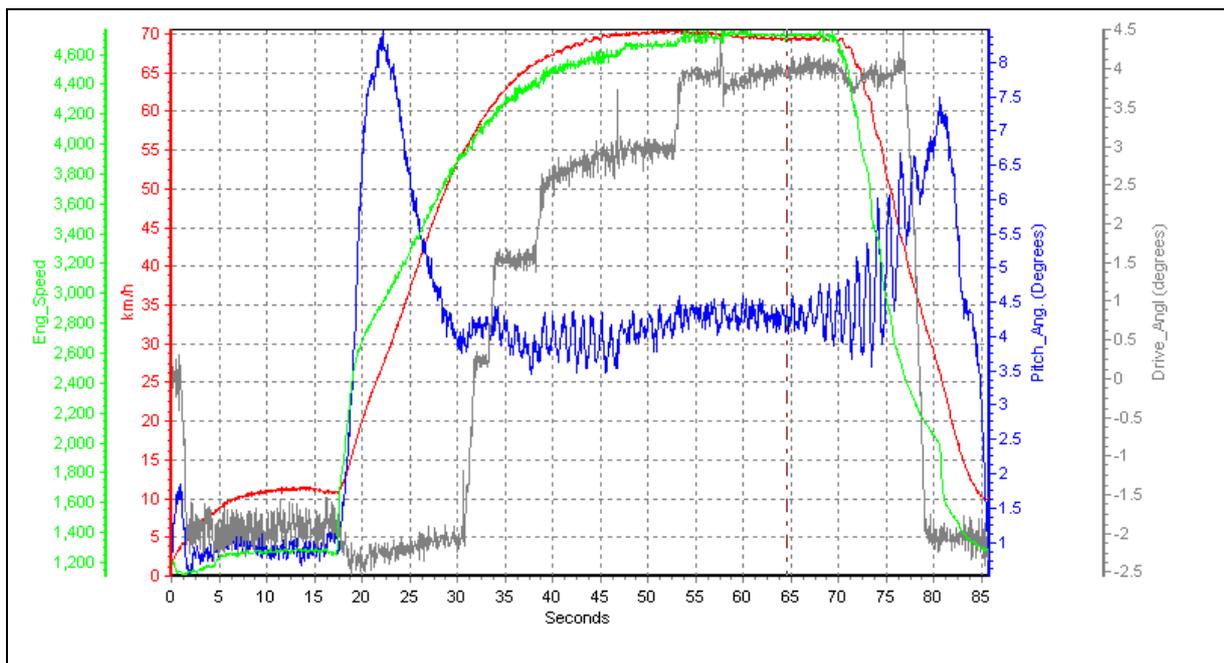


Abbildung 7-11: Messergebnisse für den Propeller Typ B (Versuch 2.1)

Zu beachten ist, dass der optimale Antriebstrimmwinkel in diesem Diagramm nicht angegeben wird, da der Antrieb bereits zu weit herausgefahren war und der Propeller bereits Luft angesaugt hat. Dies ist deutlich daran zu erkennen, dass die Motordrehzahl zunimmt, aber die Geschwindigkeit bereits wieder abnimmt. Durch den hohen Antriebstrimmwinkel ist

die Position des Propellerschubvektors nicht ideal und der Bootsnickwinkel steigt auf $4,25^\circ$ im Mittel an und das so genannte Bugwippen setzt ein.

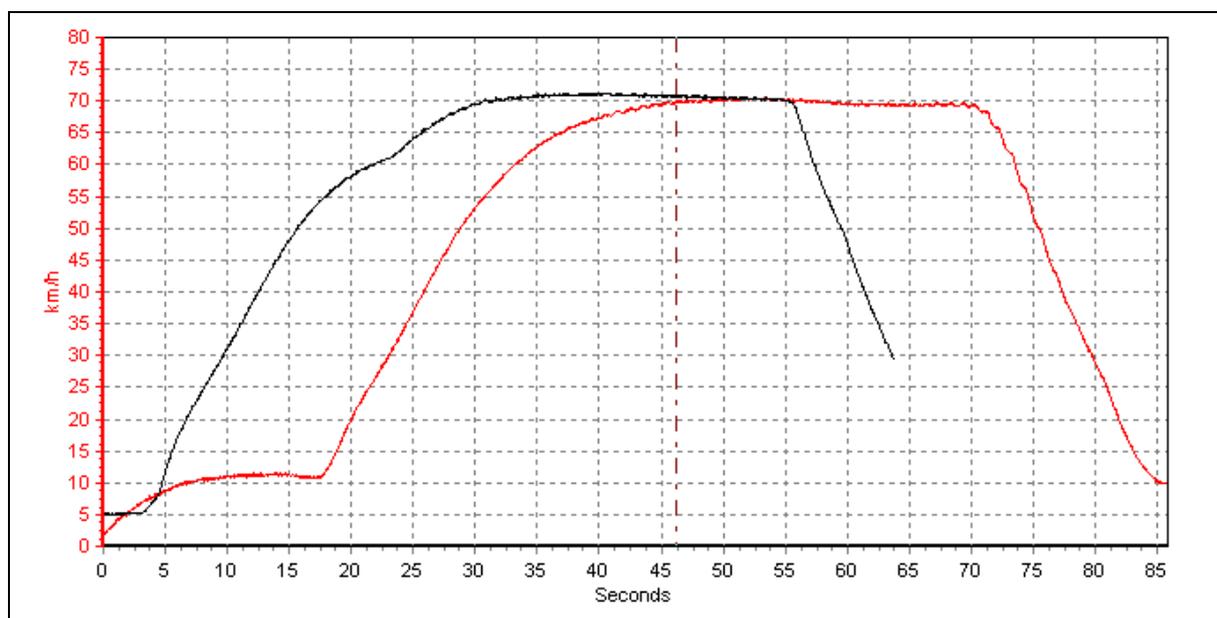


Abbildung 7-12: Vergleich der Propeller Typ A und Typ B (Versuch 2.1)

Die **Abbildung 7-12** zeigt den direkten Vergleich der Propeller **Typ A** (schwarze Kurve) und **Typ B** (rote Kurve). Weder in der Beschleunigung noch in der Endgeschwindigkeit kann ein Unterschied festgestellt werden.

Da die empfohlene maximale Motordrehzahl zwischen 5.000 und 5.200 1/min liegen soll, wurden die Versuche mit Propellern mit 21 Zoll und 20 Zoll Steigung wiederholt. Hierbei stellte sich heraus, dass zwar das Beschleunigungsverhalten (vor allem im beladenen Zustand des Bootes) verbessert werden konnte, aber die Endgeschwindigkeit abnahm.

7.3.4 Testergebnis für das Übersetzungsverhältnis 2,2 : 1

Unter den gleichen Bedingungen wie Versuch 2.1, aber mit einer geänderten Antriebsübersetzung von **2,2: 1** und einer Steigung von **22,5 Zoll** werden in einem weiteren **Versuch 2.2** die Tests wiederholt. In der **Abbildung 7-13** sind die Motordrehzahl (grüne Kurve), die Geschwindigkeit (rote Kurve), der Antriebstrimmwinkel (graue Kurve) und der Bootsnickwinkel (blaue Kurve) dargestellt.

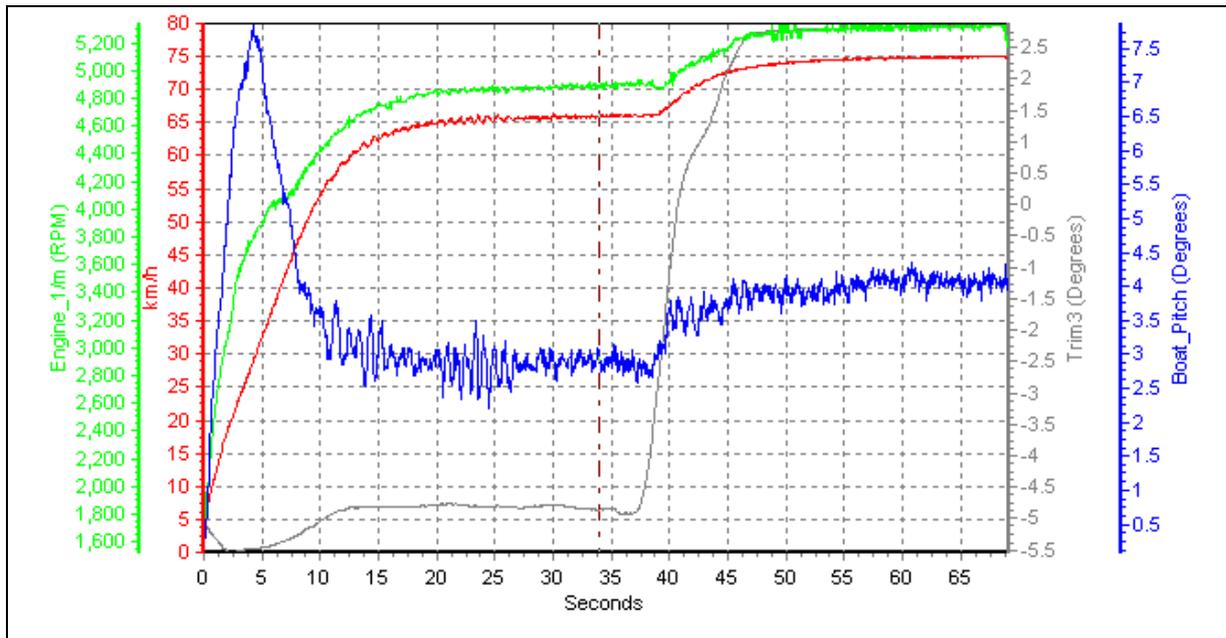


Abbildung 7-13: Messergebnis Propeller Typ B (Versuch 2.2)

Die maximale Motordrehzahl liegt nun deutlich höher (5290 1/min), was die Verwendung eines Propellers mit 24 Zoll Steigung erlauben würde. Die Endgeschwindigkeit kann somit noch weiter gesteigert werden, ohne merkbare Einbussen in der Beschleunigung. Die Beschleunigungsphase ist kürzer und der Einfluss des Antriebstrimmwinkels ist wesentlich besser zu erkennen. Die hier erreichte Höchstgeschwindigkeit liegt deutlich über allen Werten der Propeller mit der Antriebsübersetzung 2,0: 1.

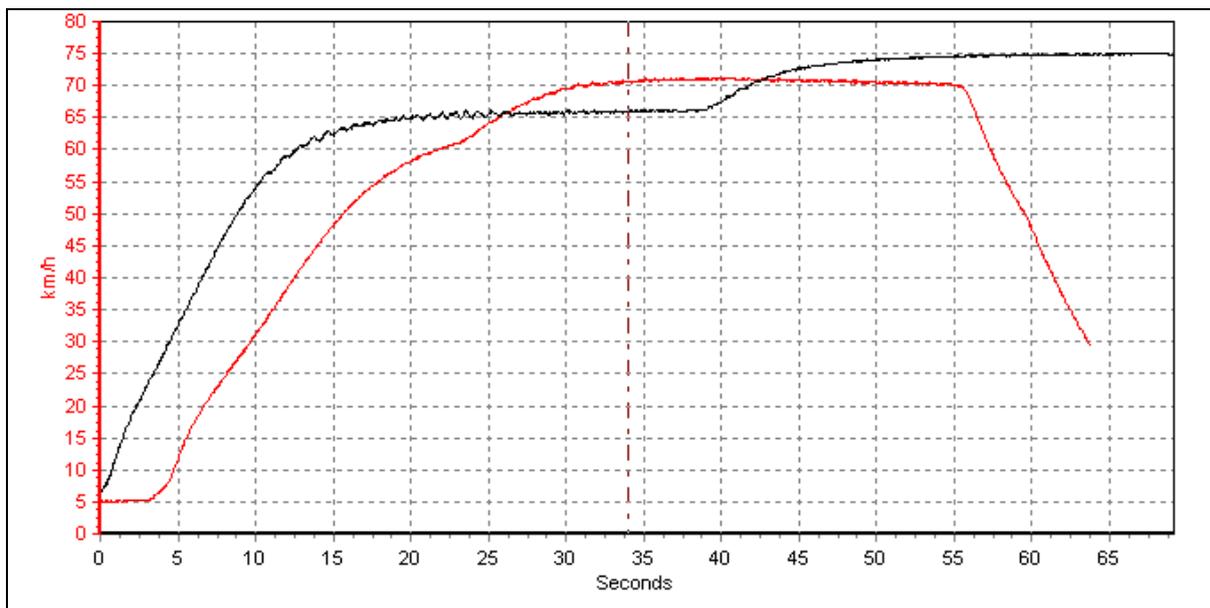


Abbildung 7-14: Vergleich der Propeller Typ B (Versuch 2.1 mit Versuch 2.2)

Die **Abbildung 7-14** zeigt den Vergleich der jeweils erreichten Höchstgeschwindigkeit bei der Verwendung des Propellers Typ B mit 22,5 Zoll Steigung bei einer Antriebsübersetzung von 2,2: 1 (schwarze Kurve) zu 2,0: 1 (rote Kurve).

7.4 Durchführung der Versuchsreihe3

Neben den optimalen Antriebsübersetzungen und den Propellersteigungen ist es für die Händler und Kunden ebenfalls von höchster Bedeutung, eine objektive Beurteilungsmethode zur Beurteilung der Fahrdynamik eines MSB in Kurven und ähnlichen Extremsituationen zu erhalten. Besonders wichtig ist die Kenntnis über die auftretenden Quer- und Vertikalbeschleunigungen, da in eng gezogenen Kurven die MSB bei hohen Geschwindigkeiten konstruktiv bedingt sehr unterschiedlich reagieren. Hierzu einige Beispiele:

- Flacher Bootsrumf, niedriger Schwerpunkt: Das Boot neigt sich nur wenig zur Seite in eng gezogenen Kurven (geringer Rollwinkel). Allerdings driftet das Boot eher durch die Kurve, da der flache Rumpf über das Wasser hinweg rutscht. Ein großer Kurvenradius, unpräzises Lenkverhalten, Wasserskifahrer können das Lenkverhalten beeinflussen.
- Flacher Bootsrumf, hoher Schwerpunkt: Der hohe Schwerpunkt kann ein plötzliches Überschlagen eines Bootes bewirken.
- Großer V-Winkel am Bootsrumf; niedriger Schwerpunkt: Dies ist ein typischer Rennbootrumf. Der Rumpf keilt sich regelrecht ins Wasser ein und erlaubt präzise und enge Kurvenfahrten bei relativ starken Rollwinkeln. Hohe Rollwinkel sind allerdings unangenehm für den Fahrer und die Passagiere. Hinzu kommt, dass bei hohen Geschwindigkeiten das Heck des Bootes immer wieder aus dem Wasser katapultiert. Beim Wiedereinschlagen in das Wasser kommt es zu extremen Quer- und Vertikalbeschleunigungen, welche an den Passagieren und den Sitzen angreifen. Es kommt leicht zu Beschädigungen und Verletzungen.

7.4.1 Versuchsaufbau 3. Versuch

Zur Messung der Beschleunigungen wird ein 2-Achsen Beschleunigungssensor (15 g Disynet) in der Nähe des Fahrersitzes (vgl. **Abbildung 7-15**) des Testbootes (vgl. **Abbildung 7-16, b**) montiert.



Abbildung 7-15: Lage des Beschleunigungssensors am Fahrerplatz

Um das Komfortniveau eines MSB überhaupt messtechnisch erfassen zu können, muss zunächst untersucht werden, inwieweit die lateralen und vertikalen Beschleunigungen überhaupt genutzt werden können. Dazu werden die lateralen und vertikalen Beschleunigungen in einer sanft gefahrenen Rechtskurve mit einem Radius von 100 m bei einer Geschwindigkeit von $v_{\max} = 65 \text{ km/h}$ gemessen (vgl. **Abbildung 7-16, a**).

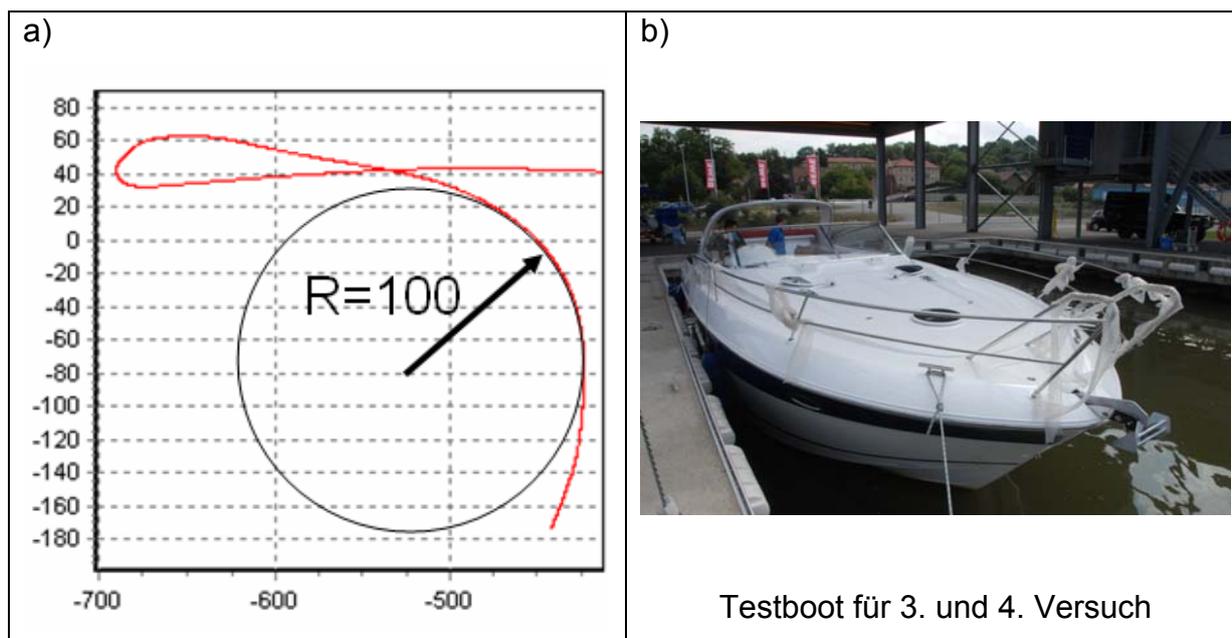


Abbildung 7-16: Kurvenradius und Testboot

7.4.2 Testergebnis mit dem Beschleunigungssensor

Durch leichte Wellen können die gemessenen Werte Schwankungen unterliegen. Ermittelt wurden:

- Maximale Querbeschleunigung (Lateral Acc): 0,15 g – 0,185 g
- Maximale Beschleunigung senkrecht zum Boot (Z - Acc): 0,75 g – 0,12 g

Zu Beginn der Rechtskurve liegen die Beschleunigungen in der Quer- und Hochachse bei Null. Die Kurve wird eingeleitet, indem der Fahrer den Antrieb nach rechts einschwenkt. Die am Bootsruumpf angreifenden Strömungskräfte sowie die Propellerschubkraft bewirken ein Umschwenken des Bootes nach Steuerbord. Im ersten Moment des Umschwenkens beginnt lediglich der Rollwinkel anzusteigen, aber das Boot wechselt noch nicht die Fahrtrichtung nach Steuerbord. Daher fällt zunächst die vertikale Beschleunigung leicht ab. Die zu messende Komponente ist in diesem Moment um ein paar Grad aus der Normalen herausgeschwenkt.

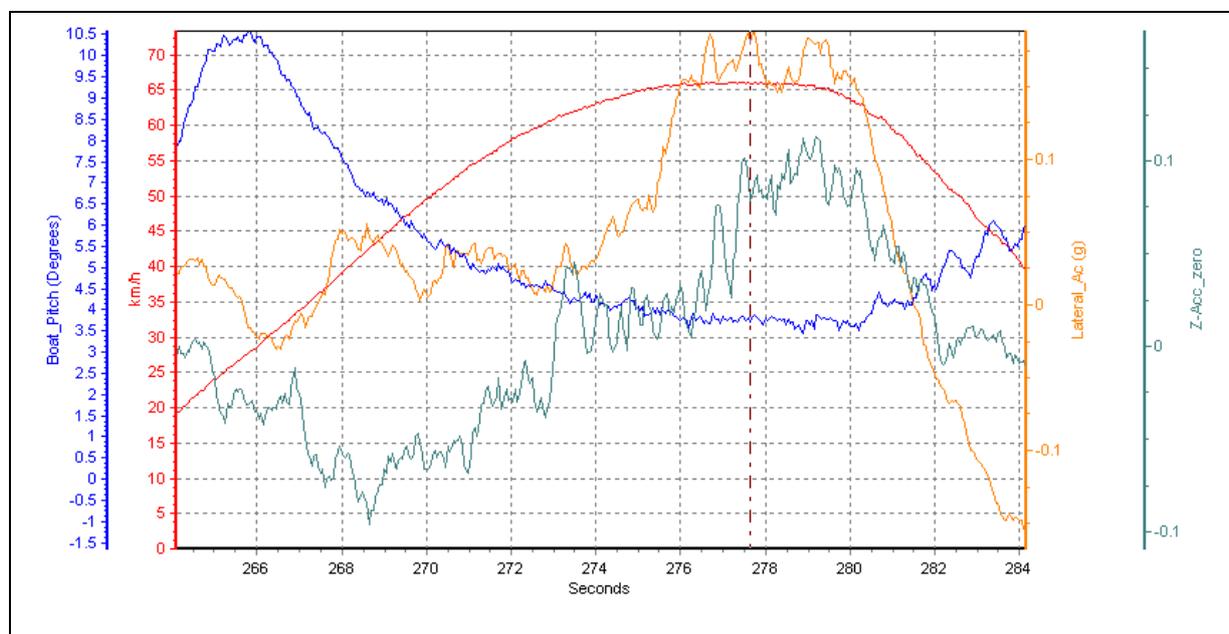


Abbildung 7-17: V_{\max} in der Kurve bei $R = 100$ m

7.5 Durchführung der Versuchsreihe4

In der Versuchsreihe4 sollen die Longitudinal-, die Vertikal- und die Querschleunigung bei MSB untersucht werden, da während der Fahrt mit einem MSB unterschiedliche Kräfte an greifen, die sich negativ auf den Fahrer und seine Passagiere auswirken können. Dies können sein:

- Die Bootsinsassen spüren die Beschleunigungskraft in Fahrtrichtung (Longitudinalbeschleunigung) auf Grund der hochfahrenden Motoren bzw. Propeller.
- Bei Slalomfahrten oder in eng gezogenen Kurven spüren die Insassen die Querschleunigungen und teilweise auch schon die Vertikalbeschleunigungen, da sich das Boot in die Kurve hineinlegt.
- Bei auftretendem Wellenstampfen bzw. Wellenspringen wirkt auf die Insassen zusätzlich noch eine Vertikalbeschleunigung, welche kurzzeitig sehr hohe Werte erreichen kann (Impuls).

Die Beurteilung der Querschleunigung und auch der Vertikalbeschleunigung ist für die Konstrukteure von großer Bedeutung, da mit dieser Kenntnis auch Rückschlüsse auf die allgemeine Sicherheit und Seetüchtigkeit eines MSB gezogen werden können. Deshalb sind objektive Messmethoden unbedingt notwendig, damit die so ermittelten Beurteilungen für alle Betroffenen gerecht und nachvollziehbar dargestellt werden können. Ob eine objektive Beurteilung möglich ist, soll ein Versuch zeigen.

7.5.1 Versuchsaufbau 4. Versuch

Auf einem MSB mit einer Doppelmotorisierung wird eine **VBOX 20SL** mit den zwei GPS-Antennen und einem 3-Achsen Beschleunigungssensor montiert (vgl. **Abbildung 11-12**). Die zwei GPS-Antennen können Daten von 5 - 8 Satelliten empfangen und somit die Werte für die Geschwindigkeit, den Rollwinkel (oder auch für den Antriebstrimmwinkel) sowie für den Gierwinkel des MSB erfassen. Da es bei diesem Versuch in erster Linie um die Querschleunigungen bei Kurvenfahrten geht, werden die GPS-Antennen auf dem vorderen Deck quer zur Fahrtrichtung befestigt, um den Rollwinkel des MSB bei der Kurvenfahrt erfassen zu können.

Da die **Racelogic** VBOX 30SL bei der Verwendung von 3 GPS Antennen das gleichzeitige Messen des Antriebsstrimmwinkels und des Rollwinkels erlaubt, wird ein 3-Achsen Beschleunigungssensor vor das Instrumentenbrett in der Nähe des Skippers montiert. Die **VBOX 20SL** Datenerfassungsbox sowie ein Bluetooth fähiger, transportabler LCD - Farbbildschirm werden in der Kombüse unter Deck untergebracht. Der LCD - Farbbildschirm erlaubt eine sofortige Kontrolle der gerade gemessenen Daten, welche auf einer SIM - Card gespeichert werden.

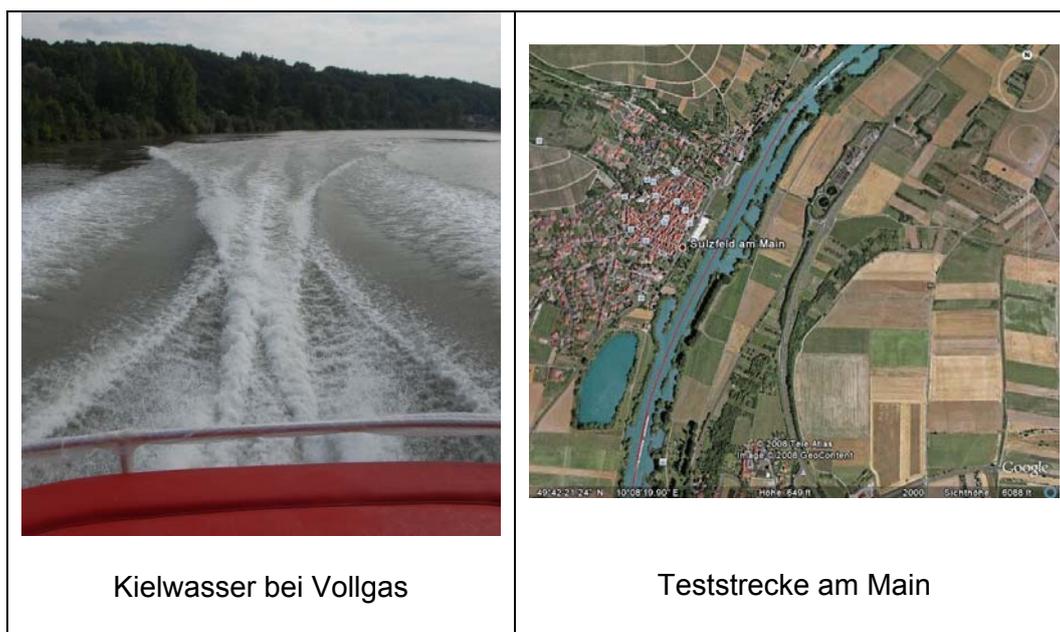


Abbildung 7-18: Versuchsstrecke für Versuch 4.1

Als Teststrecke für eine Slalomfahrt dient der Mainabschnitt zwischen Marktbreit und Sulzfeld (vgl. **Abbildung 7-18**). Es liegt eine sehr ruhige See und kein Wellengang bei einer Außentemperatur von 27° C und einer Wassertemperatur von 20° C vor.

7.5.2 Testergebnis Querschleunigungen und Rollwinkel

Auf der Teststrecke wird bei Vollgas (vgl. **Abbildung 7-18**) bei einer Motordrehzahl von 3.800 1/min und einer Geschwindigkeit von 54 km/h ein Slalomkurs (vgl. **Abbildung 7-20**) gefahren, bei dem die Messergebnisse gemäß der **Abbildung 7-19** erzielt wurden.

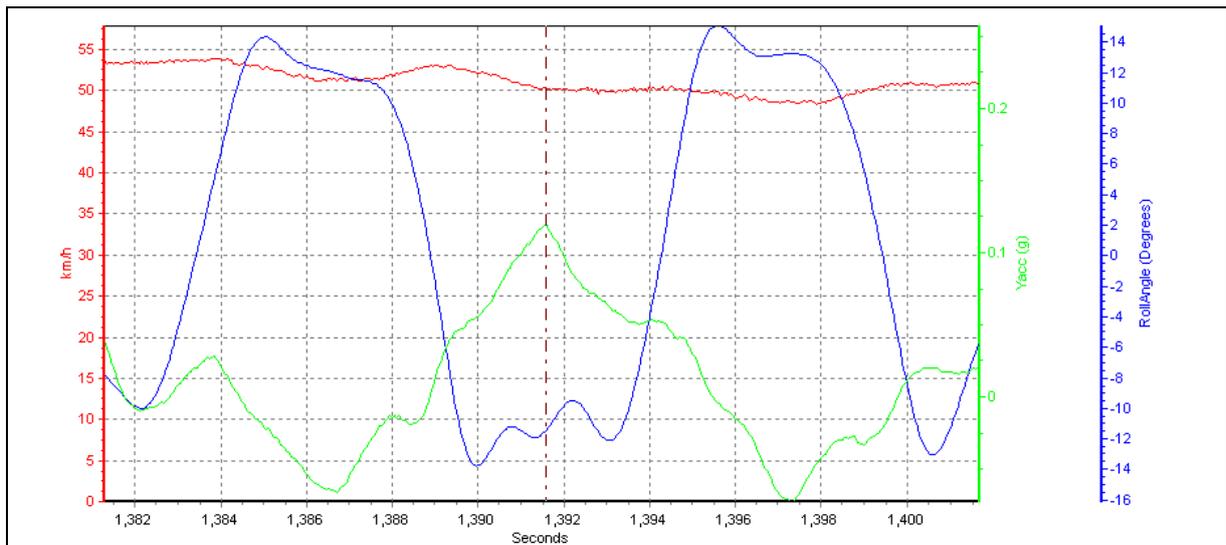


Abbildung 7-19: Messergebnis 1 für Versuch 4.1

Die Abbildung 7-19 zeigt, dass bei einer Geschwindigkeit von 54 km/h (rote Kurve) die maximal gemessene **Querbearbeitung** (Yacc) auf der Slalomstrecke **0.117 g** (grüne Kurve) beträgt, die ca. 1.5 sec nach dem Erreichen des **maximalen Rollwinkels** (RollAngle) von **14.2°** (blaue Kurve) ermittelt werden konnte. Die **Abbildung 7-20** gibt jeweils die Position (Kreuz) des MSB im Moment der maximalen Querbearbeitung (Bild a) und des maximalen Rollwinkels (Bild b) an.

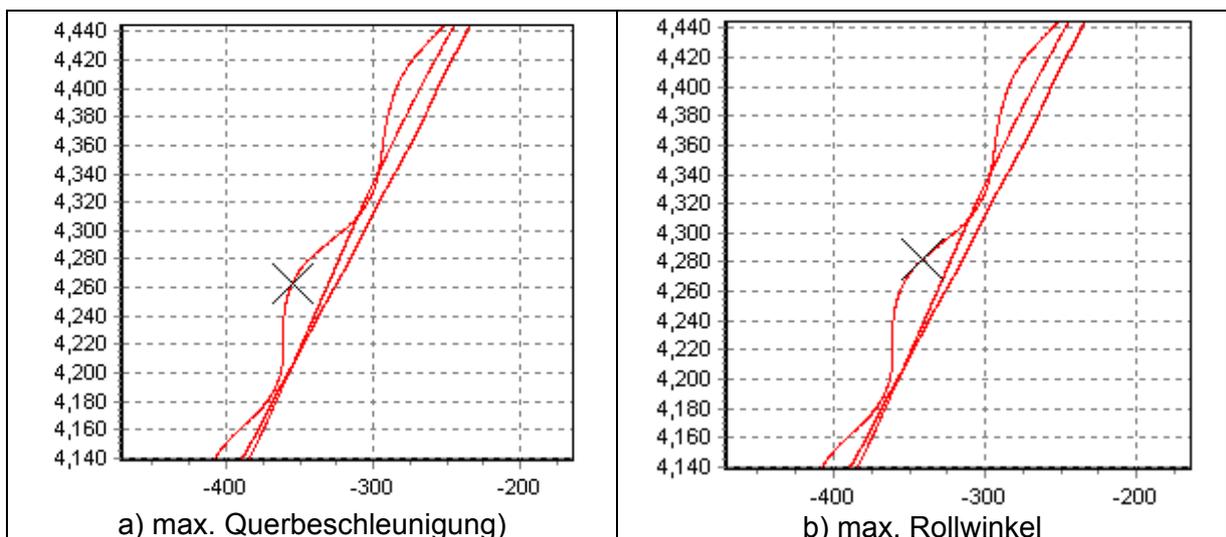


Abbildung 7-20: Messergebnis 2 für Versuch 4.1

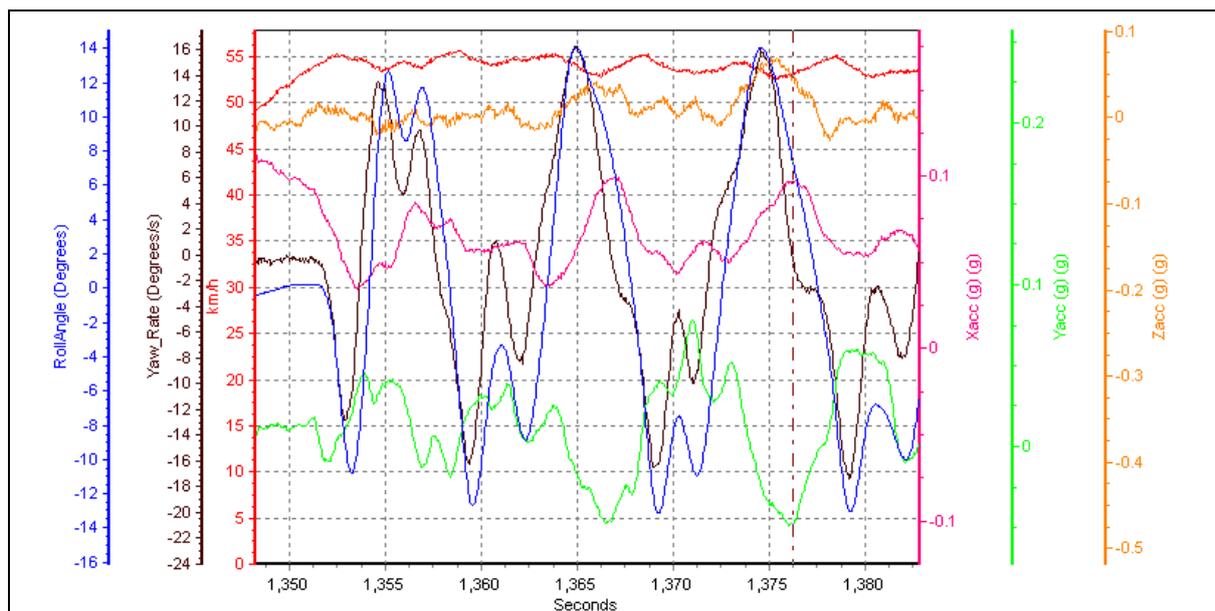


Abbildung 7-21: Messergebnis 3 für Versuch 4.1

Auch bei „sauber“ durchfahrenen Kurven wurden exakt die gleichen Werte für den Rollwinkel (blaue Kurve), die Querbeschleunigung (grüne Kurve), die Vertikalbeschleunigung (orange Kurve), die Geschwindigkeit (rote Kurve) und die Giergeschwindigkeit (schwarze Kurve) ermittelt, wie die **Abbildung 7-21** im Vergleich zu **Abbildung 7-19** zeigt.

Die Graphik in der **Abbildung 7-21** zeigt, dass sich zur Einleitung einer Kurve das MSB stark auf eine Seite legt und im weiteren Kurvenverlauf sich wieder leicht aufrichtet, bevor es im Scheitelpunkt der Kurve die maximale Querbeschleunigung erfährt. Dem **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Verlauf der vertikalen Beschleunigung (Z-Achse) ist zu entnehmen, dass die maximalen Werte bei 0.039 g bzw. 0.068 g (sehr geringer Wellengang) liegen. Die resultierende Beschleunigung (**Racc**), welche auf den Fahrer und die Passagiere wirkt, ergibt sich aus der Summe der Quer- (**Yacc**) und der Vertikalbeschleunigung (**Zacc**):

$$\mathbf{Racc} = (\mathbf{Yacc}^2 + \mathbf{Zacc}^2)^{1/2} = (0.117^2 + 0.068^2)^{1/2} = \mathbf{0.135\ g} = \mathbf{1.32\ m/s^2}$$

7.5.3 Testergebnis Querbearleunigung und Rollwinkel bei Vollgas

Um die maximalen Beschleunigungen zu messen, welche während einer stationären Kreisfahrt bei Vollgas auf den Fahrer und die Passagiere wirken, wird der Versuch mit anderen Randbedingungen wiederholt. Das MSB wird zunächst auf die maximale Geschwindigkeit ($V_{\max} = 56 \text{ km/h}$) beschleunigt und unmittelbar danach wird das Steuer so schnell wie möglich bis zum Anschlag hart backbord gedreht. Das Steuer wird am Anschlag fest gehalten, damit das Testboot bei konstanter Geschwindigkeit zwei komplette Kreise durchfahren kann (vgl. **Abbildung 7-22**, Bild a). Dieser Versuch wird allgemein als „Lenkwinkelsprungversuch“ bezeichnet und dient dazu, das instationäre Lenkverhalten (Ansprechempfindlichkeit) sowie die Stabilitätseigenschaften (Abklingen der Gierbewegung) zu bewerten.

Der maximale Rollwinkel (-16°) wird unmittelbar nach dem Lenkradanschlag erreicht (vgl. **Abbildung 7-22**, Bild b). Das Testboot neigt sich zur Seite und es erfolgt ein Kurswechsel. Der Fahrer nimmt diesen Kurswechsel mit einer deutlichen Verzögerung von ca. 1.5 sec zum Eintritt des Lenkradeinschlages wahr. Zum Vergleich, bei einem PKW ist die Lenkung wesentlich präziser und direkter.

Die **Abbildung 7-24** zeigt im Ergebnis den Rollwinkel (blaue Kurve), die Querbearleunigung (grüne Kurve), die Vertikalbeschleunigung (orange Kurve), die Geschwindigkeit (rote Kurve) und die Giergeschwindigkeit (schwarze Kurve) bei einer stationären Kreisfahrt.

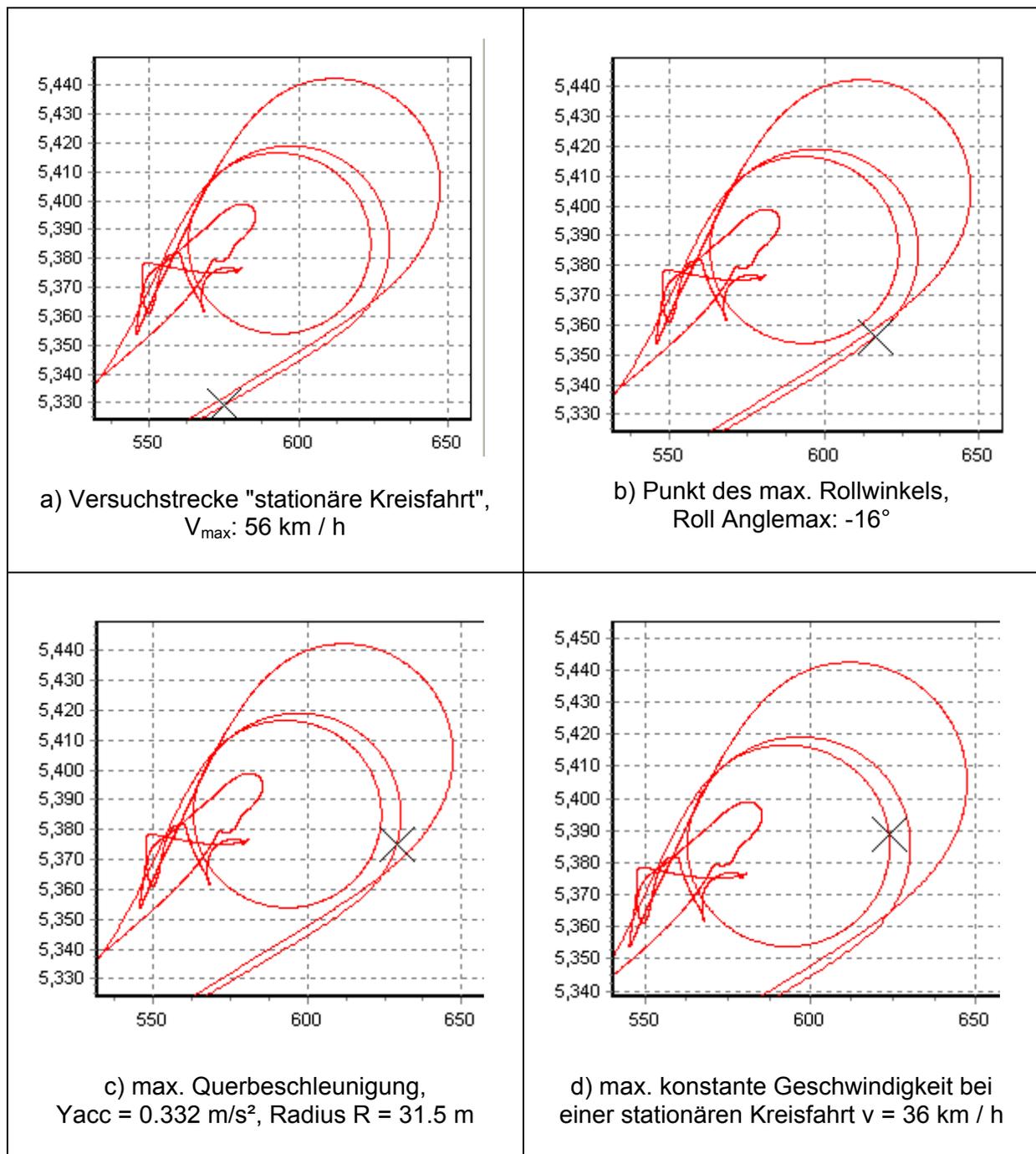


Abbildung 7-22: Messergebnis 1 für Versuch 4.2

Nach dem Lenkwinkelsprung neigt sich das Testboot bis auf ca. -14.2° zur Seite. Es erfolgt daraufhin während einer Sekunde ein leichtes Zurückwanken des Testbootes auf -12.5° , bevor es sich in dem anschließenden Zeitraum von 15 sec wieder bis auf ca. -16° neigt. Die maximal gemessene Querbewegung (vgl. **Abbildung 7-22**, Bild c) liegt kurzzeitig bei 0.334 g ($= 3.3 \text{ m/s}^2$) und wird ca. 1.5 sec nach dem Eintritt des ersten Rollwinkelmaximums

(-14.2°) bzw. ca. 2 sec nach dem Lenkradeinschlag erreicht. Die Vertikalbeschleunigung liegt in diesem Moment bei 0.067g.

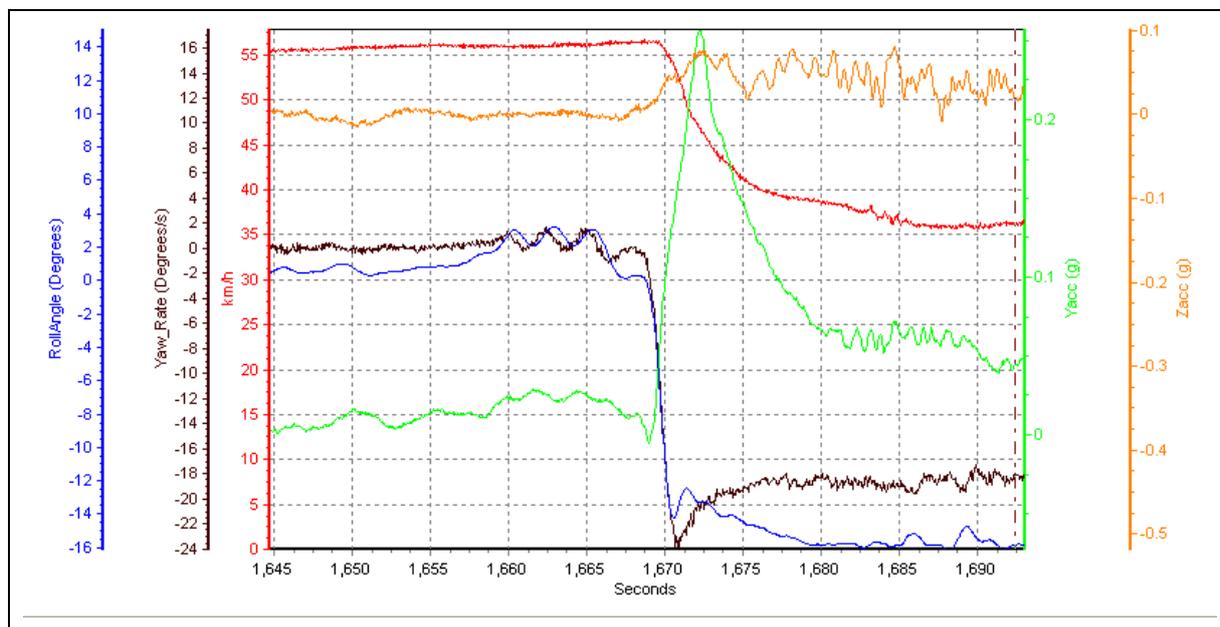


Abbildung 7-23: Messergebnis 2 bei einer Kreisfahrt für Versuch 4.2

Die aus der Quer- (**Yacc**) und der Vertikalbeschleunigung (**Zacc**) resultierende Beschleunigung **R** errechnet sich zu:

$$\underline{\mathbf{R}} = (\mathbf{Yacc}^2 + \mathbf{Zacc}^2)^{1/2} = (0.134^2 + 0.067^2)^{1/2} = \underline{\mathbf{0.34\ g}} = \underline{\mathbf{3.334\ m/s^2}}$$

Das Ergebnis für die resultierende Beschleunigung, die auf den Fahrer und die Passagiere wirkt, ist relativ hoch, allerdings wirkt diese Belastung nur kurzzeitig (ca. 3 Sekunden). Dies bedeutet, dass die Kurvenfahrt für den Fahrer und die Passagiere mit einem leichten Ruck eingeleitet, aber im weiteren Verlauf dann doch noch als angenehm empfunden wird. Die konstante Belastung **R** auf Grund der Quer- und Vertikalbeschleunigung im weiteren Verlauf der Kurve liegt bei:

$$\underline{\mathbf{R}} = (\mathbf{Yacc}^2 + \mathbf{Zacc}^2)^{1/2} = (0.1^2 + 0.04^2)^{1/2} = \underline{\mathbf{0.1\ g}} = \underline{\mathbf{1.1\ m/s^2}}$$

Wiederum soll zum Vergleich erwähnt werden, dass mit einem PKW in einer Kreisbahn mit einem Radius von 40 m bei einer Geschwindigkeit von 45 km / h eine Querbeschleunigung von 4 m/s² erreicht wird. Dies wird von den Insassen eines PKW unangenehmer empfunden, da sich ein PKW nicht mit 12° - 14° in die Kurve neigt.

Das Ansprechverhalten sowie das Stabilitätsverhalten des Testbootes lassen sich anhand der Gierratengeschwindigkeit beurteilen. Die Giergeschwindigkeit nimmt nach dem sprunghaften Lenkwinkelschlag stetig zu, erreicht sein Maximum und fällt daraufhin wieder leicht ab, um dann entsprechend dem Vollanschlag des Lenkrades auf einem konstanten Wert von 18° zu bleiben. Die Kurve zeigt einen deutlichen Einschwingvorgang auf. Ein Aufschwingen oder mehrmaliges Schwingen des Systems „Schiff“ bleibt allerdings aus. Der einmalige Schwingvorgang, das hohe Trägheitsmomente um die Längsachse sowie die schwimmende Konstruktion muss anders als bei einem federnd gelagerten PKW ein Einschwingverhalten mit sich bringen.

7.5.4 Testergebnis Longitudinalbeschleunigungen

Der Testversuch wird mit einer Vollgasbeschleunigung aus dem Stand durchgeführt, wobei die auf den Fahrer und die Passagiere wirkende Beschleunigung in Fahrtrichtung (X-Achse) aufgezeichnet wird. Die **Abbildung 7-24** gibt den gemessenen Geschwindigkeits- (rote Kurve) und den Beschleunigungsverlauf (blaue Kurve) des getesteten MSB wieder. In dem Testzeitraum im Bereich von 486.5 sec bis 489.3 sec ist ein deutlicher Beschleunigungseinbruch zu erkennen. Das liegt an dem so genannten „Turboloch“, der im Boot eingesetzten Turbo aufgeladenen Dieselmotoren. Dieses „Turboloch“ wird vom Fahrer sicherlich nur sehr leicht wahrgenommen, da es in der Geschwindigkeitskurve fast gar nicht festgestellt werden kann.

Bei Sekunde 494.3 erreicht das MSB seine maximale Beschleunigung und liegt im Bereich des Überganges von der Verdränger- in die Gleitfahrt. Der Bug des Schiffes sinkt wieder ab, es erfolgt ein sauberer Abriss des Heckwassers von der Spiegelplatte.

In dem gesamten Beschleunigungsverlauf nimmt die Geschwindigkeit stetig zu, um dann stark degressiv ihr Maximum zu erreichen. Die maximal gemessene positive Beschleunigung liegt bei $(+)0.72\text{ g}$, während beim abrupten Zurückschieben der Gashebel eine maximale negative Beschleunigung von $(-)0.052\text{ g}$ ermittelt wurde. Das sind schon deutlich spürbare Beschleunigungen und der Fahrer sollte unbedingt dafür Sorge tragen, dass seine Passagiere jederzeit einen sicheren Halt finden oder am besten auf ihren Sitzen Platz nehmen.

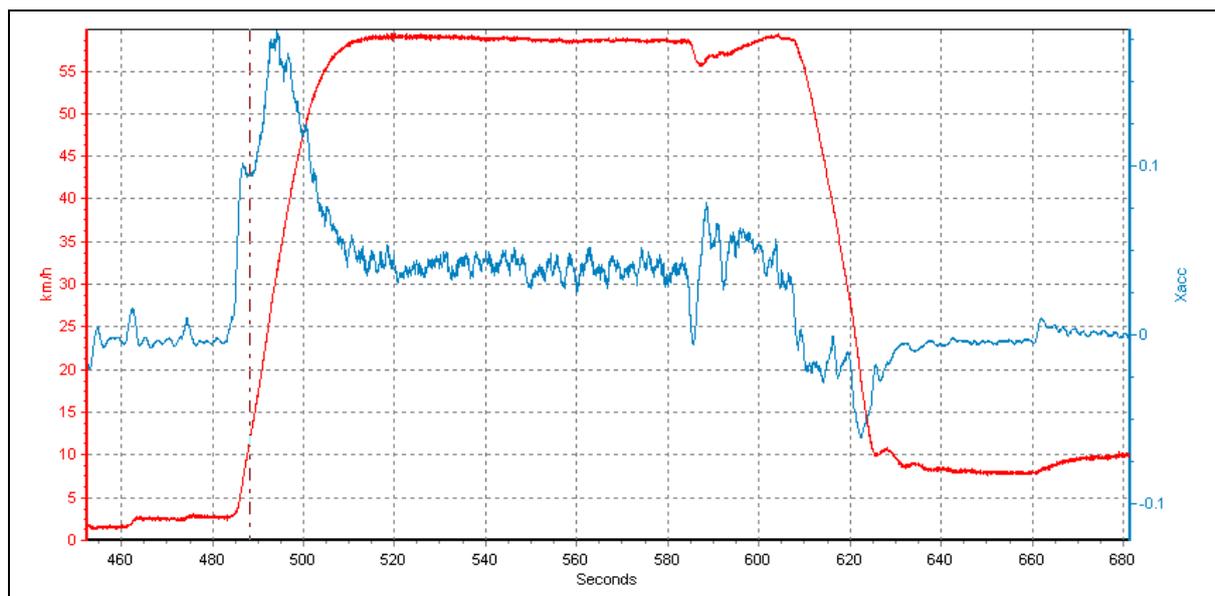


Abbildung 7-24: Messergebnis 3 für Versuch 4.2

7.6 Bewertung der Ergebnisse und deren Nutzung

Versuchsreihe1: Eine korrekte Propellereintauchtiefe hat einen großen Einfluss auf die Fahrdynamik eines MSB. Bei einer zu kurzen Eintauchtiefe kann das Boot nicht optimal ausgetrimmt werden (Bootsnickwinkel), da die Propeller zu früh ventilieren. Durch das Ansaugen von Luft fällt der Propellerschub ab. Eine optimale Antriebslänge erlaubt ein Austrimmen des Bootes gerade unterhalb des Bugnickens.

Die Beladung des Bootes hat im Wesentlichen nur einen Einfluss auf den Bootsnickwinkel in der Beschleunigungsphase. Bei einer korrekten Propellereintauchtiefe kann jederzeit der Bootsnickwinkel entsprechend der Beladung korrigiert und somit die Höchstgeschwindigkeit erreicht werden.

Die hier gefundenen Ergebnisse gelten für Motoryachten und schwere Sportboote mit Kabine. Bei Rennbooten wird ein möglichst kurzer Antrieb angestrebt, um den Strömungswiderstand am Antrieb bei Höchstgeschwindigkeit so niedrig wie möglich zu halten. Allerdings neigen diese Boote in den Kurven und in der Beschleunigungsphase zum ventilieren (sie müssen deshalb vorsichtig auf eine höhere Drehzahl gebracht werden).

Versuchsreihe2, Versuch 2.1: Die Anfangsbeschleunigung ist gerade akzeptabel für den Propeller Typ A mit 20 und 21 Zoll Steigung, aber die erreichten Endgeschwindigkeiten sind zu niedrig. Die empfohlene obere Motornendrehzahl von 5.000 - 5.200 1 / min wurde lediglich von den Propellern Typ A mit 20 bzw. 21 Zoll Steigung erreicht, allerdings nur bei sauberen Rümpfen und Antrieben sowie im unbeladenen Zustand. Ein Dauerbetrieb des MSB im Vollgasbereich mit verschmutztem Rumpf und einer Beladung kann durchaus zu erheblichen Motorschäden führen. Bezüglich der Beschleunigung, des Bootsnickwinkels und der Geschwindigkeit ist kein messbarer Unterschied zwischen den Propellern Typ A und Typ B festgestellt worden.

Versuchsreihe2, Versuch 2.2: Der Test sollte unbedingt mit einem Propeller Typ A oder Typ B mit 24 Zoll Steigung bei Verwendung einer Antriebsübersetzung von 2,2: 1 wiederholt werden. Die Beschleunigung, das Antriebsstrimmansprechverhalten und die Höchstgeschwindigkeit sind mit einer Antriebsübersetzung von 2,2: 1 deutlich verbessert worden. Die gewünschte Motornendrehzahl wird erreicht oder sogar überschritten. Das bedeutet, dass Rumpfverunreinigungen und eine Zuladung ohne Folgen für den Motor berücksichtigt werden können. Mit der Antriebsübersetzung von 2,2: 1 wird die Endgeschwindigkeit wesentlich früher erreicht (6 – 10 sec). Auch in diesem Versuch konnte kein messbarer Unterschied zwischen den Propellern Typ A and Typ B festgestellt werden.

Versuchsreihe3: Zur Beurteilung der Komforteigenschaften eines MSB sind die Messungen der Quer- und Vertikalbeschleunigungen sehr gut geeignet. Mit Hilfe der Vertikalbeschleunigungen können Komfortgrenzen der Passagiere definiert werden, welche auf notwendige Veränderungen der Rumpfaufkimmung, der Sitze bzw. Sitzpolster hinweisen [40]. Der Versuch zeigt allerdings auch auf, dass die Vertikalbeschleunigungen nicht alleine betrachtet werden können, sondern nur in Verbindung mit den dazugehörigen Rollwinkeln. Das Komfortempfinden wird nämlich wesentlich vom Bootsrollwinkel bestimmt. Das heißt, hohe Querbeschleunigungen sind eher zu ertragen als hohe Rollwinkel, da hier die Passagiere ein Überschlagen des Bootes befürchten.

Versuchsreihe4: Das Kurvenverhalten des Testbootes, angetrieben mit zwei Dieselmotoren, welche jeweils 320 PS Leistung abgeben, kann als sicher und moderat bezeichnet werden. Der Rumpf zeigt keine Tendenz „*einzuhaben*“ oder über das Wasser „*abzudriften*“. Das „*Einhaken*“ des Rumpfes führt zu einer sehr guten Kursstabilität, kann aber auch extreme Querbeschleunigungen bewirken, welche zu Verletzungen oder zum Überbordgehen der Passagiere führen können. Ein Driften des Rumpfes kann zwar sehr viel

Spaß bereiten, aber der Fahrer kann bei hohen Geschwindigkeiten keine präzisen Kurven fahren. Ein plötzliches Ausweichmanöver ist kaum möglich und birgt Risiken in sich. Bei dem getesteten MSB kann der Fahrer bei hohen Geschwindigkeiten immer präzise und sicher den Kurs bestimmen.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse zeigt, wie aussagekräftig die ermittelten Messwerte sind. Zusammen mit einer fachlich fundierten Interpretation können sie direkt für die Bewertung des getesteten Bootes verwendet werden. Darüber hinaus wird durch das hier entwickelte Konzept die Möglichkeit eröffnet, die Versuchsergebnisse auch dauerhaft zu nutzen. Durch die Verwaltung der Ergebnisse innerhalb der Datenbasis des IMES steht dieses Wissen auch für zukünftige Entwicklungen zur Verfügung. Auf diese Art entsteht eine kontinuierlich wachsende Wissens- und Erfahrungsbasis. Konkret werden die Testergebnisse innerhalb der Datenbank des PDM-Systems gespeichert. Dabei verfügen sie immer über einen direkten Bezug zu dem betreffenden Objekt, welches das getestete Boot repräsentiert. Dadurch ist ein Zugriff auf die Informationen der Testfahrten auch über die Produkte möglich (vgl. Abbildung 6-12). Die schriftlich zusammengefassten Interpretationen der Testfahrten werden in Form von Textverarbeitungsdokumenten abgespeichert. Diese werden direkt als KBE-Artikel gekennzeichnet und stehen somit unmittelbar der internen Wissensbasis zur Verfügung.

Zu einer Versuchreihe können beliebig viele Dokumente im PDM-System angelegt werden. So können neben dem zentralen Testbericht weitere Dateien hinterlegt werden, wie beispielsweise Grafikdateien zur Visualisierung von Messergebnissen wie in Abbildung 7-9 dargestellt. Diese Messwerte können auch in Tabellen (vgl. Abbildung 7-10) abgelegt werden. Diese Tabellen werden in das Dateiformat der Tabellenkalkulation MS-Excel konvertiert und anschließend ebenfalls in dem PDM-System abgelegt. Dadurch besteht die Möglichkeit, diese Daten direkt mit den KBE-Parametern zu koppeln, die ebenfalls in Excel-Dateien (vgl. Abbildung 6-4) vorgehalten werden.

Eine Unterstützung für das KBE erfolgt sowohl auf der Ebene der expliziten Wissensspeicher als auch im Bereich der impliziten Anwendung von KBE in Form der KBE und CAD Integration.

8 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit zeigt die Entwicklung eines Konzepts zur Optimierung der Produktentwicklung für Unternehmen der Motorsportbootindustrie unter Verwendung neuer IT-Technologien und auf der Basis der Methoden des Product Lifecycle Management. Die Unternehmen der Motorsportboot-Branche stehen vor großen Herausforderungen, wenn sie auf den sich ändernden Märkten zukünftig bestehen möchten. Diese verschärften Marktbedingungen gehen teilweise auf die bekannten Globalisierungseffekte zurück, resultieren aber zu einem großen Teil auch aus gestiegenen Ansprüchen der Kunden, die durch die nahezu grenzenlose Informationsmöglichkeit durch das Internet verstärkt die Produkte verschiedener Hersteller miteinander vergleichen.

Der hohe Wettbewerbsdruck wird durch strukturelle Schwächen auf Seiten der Hersteller von Motorsportbooten (MSB) noch verstärkt. So ist die Produktentwicklung oftmals noch von einer handwerklich orientierten Arbeitsweise geprägt. IT-Werkzeuge, wie beispielsweise CAD-Systeme, oder effiziente Geschäftsprozesse werden bei der Mehrzahl der Unternehmen nicht eingesetzt. Dies führt regelmäßig dazu, dass gravierende Mängel eines neuen Bootstyps erst bei den Testfahrten erkannt werden oder nach dem Verkauf eines Bootes vom Kunden reklamiert werden.

Ausgehend von einer Einführung in die Grundlagen der Konstruktion von Booten und der typischen Bootskomponenten, wie Rumpf, Antrieb und Propeller werden zunächst die heute angewendeten Prozesse bei der Produktentwicklung von Sportbooten beschrieben. Daraus folgt die Feststellung, dass die verteilte Produktentwicklung, die sowohl im Hause des Unternehmens als auch bei externen Werften und Konstrukteuren durchgeführt wird, nicht ausreichend durch effiziente Arbeitsprozesse und moderne IT-Systeme unterstützt wird. So werden wichtige Informationen und Erfahrungsberichte, die in den Bereichen der Produktion, des Service oder der Nutzung von Sportbooten gewonnen werden, nicht erfasst und dementsprechend nicht bei der Entwicklung von neuen Bootstypen berücksichtigt. Neben den Kosten, die durch mangelnde Kommunikation und den daraus resultierenden Qualitätsdefiziten entstehen, erleiden die Unternehmen für ihre Marktpräsenz auch erhebliche Imageschäden.

Eine Analyse der vorhandenen Defizite führt zu der Formulierung von Anforderungen an ein neues Konzept, welches auf der Einführung von Product Lifecycle Management beruht und

sich auf ein neues zentrales Produktmodell stützt, welches sämtliche Informationen, die mit einem Motorsportboot in Beziehung stehen, verwaltet. Ein weiterer zentraler Bereich der Anforderungen betrifft die Integration der Kunden in die Sichtweise des Unternehmens. Die Erfassung von Kundenwünschen und die Fokussierung auf eine kundenorientierte Prozessstruktur haben eine hohe Kundenbindung zum Ziel.

Das neu entwickelte Konzept stellt einen umfassenden Ansatz dar, der sowohl organisatorische Veränderungen als auch eine Verbesserung der Geschäftsprozesse beinhaltet. Dabei wird die hier entwickelte Methode durch eine leistungsfähige IT-Architektur unterstützt. Dieses neuartige IT-System vereinigt moderne Standardsysteme mit individuell entwickelten Komponenten. So wird als zentrales Entwicklungswerkzeug ein Feature basiertes 3D-CAD-System gewählt und als zentrales Verwaltungs-System ein skalierbares PDM-System. Unter Verwendung der objektorientierten Programmierschnittstellen werden diese Systeme mit neu entwickelten Komponenten, wie einem eigenen Steuerungsmodul, welches die spezifischen Funktionen enthält, zu einem modularen Gesamtsystem kombiniert. Dadurch entsteht ein System, welches in der Lage ist, Knowledge Based Engineering in der Entwicklung von Motorsportbooten anzuwenden, wobei das implizite Produktwissen mit Hilfe von Konstruktionsparametern und Konstruktionsregeln, sowohl im CAD- als auch im PDM-System nutzbar gemacht wird. Eine skalierbare und leistungsfähige Datenbasis für das virtuelle Produktmodell erlaubt die Erfassung von Testergebnissen und die Erkennung von Zusammenhängen mit Produktmerkmalen, so dass eine Nutzung für die Neuentwicklung ermöglicht wird.

Eine teilweise Anwendung des Konzeptes bei einem Referenzunternehmen zeigt die Gültigkeit des hier entwickelten Konzepts, indem hier deutlich wird, wie die Erfahrungen aus den Testfahrten in die Weiterentwicklung der Sportbootkonstruktion einfließen, um zukünftig den Fahrgästen eine erhöhte Sicherheit zu garantieren.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Ridderstrale, J.; Nordstöm, K.: *Karaoke Capitalism*, Prentice Hall, 2004
- [2] Bergers, D.: *Produktentwicklung*, Skriptum, Universität Duisburg-Essen, 2008
- [3] International Council of Marine Industry Associations (www.lcomia.com)
- [4] Armstrong, B.: *Getting Started in Powerboating*, International Marine, 1995
- [5] Eck, B.: *Technische Strömungslehre*, Springer-Verlag, 1988
- [6] Ritter, R.; Tasca, D. J.: *Fluidmechanik in Theorie und Praxis*, Harri Deutsch Verlag, 1979
- [7] Gerr, D.: *Propeller Handbook*, International Marine, 2001
- [8] Harvald, S.A.: *Resistance and Propulsion of Ships*, Wiley-Interscience, 1983
- [9] Savitsky, D.: *Society of Naval Architects and Marine Engineers*, Athens 2003
- [10] [http://de.wikipedia.org/wiki/ Verdranger und Gleiter](http://de.wikipedia.org/wiki/Verdranger_und_Gleiter), 11/2008
- [11] Schröder, W.: *Fluidmechanik*, Wissenschaftsverlag Mainz in Aachen, 2004
- [12] Faltinsen, O.: *Hydrodynamics of High Speed Marine Vehicles*, Cambridge University Press, 2005
- [13] Krist, T.: *Hydraulik / Fluidtechnik*, Vogel Verlag, 1991
- [14] Snyder, D.: *Quicksilver Propeller Book*, Brunswick Marine, 1992
- [15] Petermann, H.: *Einführung in die Strömungsmaschinen*, Springer-Verlag, 1988
- [16] Bohl, W.: *Strömungsmaschinen 1*, Vogel Verlag, 1987
- [17] Isenberg, H.G.; Korp, D.: *Bootsmotoren*, Pietsch Verlag, 1999
- [18] Bohl, W.: *Strömungsmaschinen 2*, Vogel Verlag, 1987
- [19] Carlton, J.: *Marine Propellers and Propulsion*, Elsevier Science & Technology Books, 2007
- [20] Bohl, W.: *Technische Strömungslehre*, Vogel Verlag, 1987
- [21] Larsson, L.; Eliasson, R.: *Principles of Yacht Design*, International Marine, 2000
- [22] Hadler, J. B.: *The Prediction of Power Performance on Planing Craft, The Society of Naval Architects and Marine Engineers – Volume 74*, 1967
- [23] Schäfers, T.: *Marktorientierte Produktentwicklung und optimierte Time-to-Market durch den Einsatz eines Produkt Information Management Systems (PIM) im Gerätebau*, Diss., Universität Duisburg-Essen, 2006
- [24] Jarillo, J.-C.: *Strategische Logik*, Gabler Verlag, 2003
- [25] Du Plessis, H.: *Kunststoffyachten*, Delius Klasing, 1999

- [26] Heimsoth, R.: *Konzeption und Realisierung einer standortübergreifenden Konsolidierung der Produktentwicklung durch eine konzernweite Integration verschiedener ERP-Systeme mittels PDM*, Diss., Universität Duisburg-Essen, 2007
- [27] Stange, S.: *Ablaufgeregelte Entwicklung des hoch belasteten Klapparmes eines neuartigen Klappmechanismus für trailerbare Katamarane*, Diss., Universität Duisburg-Essen, 2007
- [28] Stracke, H.J.: *Ingenieurinformatik II*, Skriptum, Universität Duisburg-Essen, 2005
- [29] Lobeck, F.: *Einführung in CAD*, Skriptum, Universität Duisburg-Essen, 2008
- [30] Lobeck, F.: *Produkt Engineering – PDM/PLM*, Skriptum, Universität Duisburg-Essen, 2008
- [31] Lobeck F.; Strassmann, T.: *KBE – Praktische Konzepte durch PDM-Integration*, CAD- / CAM-Report 06/2007
- [32] Köhler, P.: *Informationstechnologien zur Integration von Wissensmanagement in Produktentwicklungsprozesse*, Skriptum, Universität Duisburg-Essen, 2008
- [33] Hubschneider, M.: *Der Nutzen von CRM: CRM macht den Mittelstand erfolgreich*, in CRM – Erfolgsfaktor Kundenorientierung, Haufe Verlag, März 2007
- [34] Kirchler, M.: *Generisches Modell eines ganzheitlichen CRM-Systems*, Diss., Universität Dortmund, 2009
- [35] Matzer, M.: *Der Einstieg in CRM: Von der Adressverwaltung zum Kundenbeziehungsmanagement*, in CRM – Erfolgsfaktor Kundenorientierung, Haufe Verlag, März 2007
- [36] Lobeck, F.: *Konzept zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen einschließlich Simulation und Rapid Prototyping unter Verwendung eines neuen PLM-CAD-Integrationsmoduls*, Habilitation, Universität Duisburg-Essen, 2004
- [37] Gerr, D.: *The Nature of Boats*, International Marine, 2001
- [38] Meyer, D.; Speth, L.; Falk, G.: *Untersuchungen der Longitudinal-, Vertikal- und Querbeschleunigungen bei Motorsport Yachten*, Racelogic, 2009
- [39] Olofsson, N.: *Force and Flow Characteristics of a Partially Submerged Propeller*, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering Chalmers University of Technology, 1996
- [40] Ullmann Dynamics, *Talattagatan 16, SE-42676, Gothenburg, Sweden*
- [41] www.zucker-partner.de/.../zp/referenzen_02.html
- [42] www.silvestris.nl

10 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1-1: KOMMUNIKATION IM MOTORSPORTBOOT-BAU	9
ABBILDUNG 2-1: PRODUKTSTRUKTUR-BEISPIEL FÜR MSB (AUSZUG)	13
ABBILDUNG 2-2: VEREINFACHTE DARSTELLUNG EINES MSB	14
ABBILDUNG 2-3: RUMPFARTEN FÜR MSB.....	16
ABBILDUNG 2-4: ABHÄNGIGKEIT ZWISCHEN SLV UND LW / LWL	17
ABBILDUNG 2-5: VERHÄLTNIS DER WELLENLÄNGE ZUR LÄNGE DER WASSERLINIE [9]	20
ABBILDUNG 2-6: RUMPF - WIDERSTAND / GEWICHT ALS F (SLV) [10]	21
ABBILDUNG 2-7: AUFTRIEB ALS FUNKTION DER FROUDE-ZAHL [21]	25
ABBILDUNG 2-8: DRUCK- UND GESCHWINDIGKEITSVERTEILUNG [21]	26
ABBILDUNG 2-9: KRÄFTE AN EINER FLACHEN PLATTE IN DER GLEITPHASE [21].....	27
ABBILDUNG 2-10: VERTIKALE BESCHLEUNIGUNG BEI KLEINEN WELLEN.....	29
ABBILDUNG 2-11: KRAFTKOMPONENTEN AN EINEM V-RUMPF [21].....	30
ABBILDUNG 2-12: BENETZTE FLÄCHE UND SPRITZWASSERBEREICH AM RUMPFBODEN [21]	30
ABBILDUNG 2-13: $\Delta\lambda$ ALS FUNKTION DER AUFKIMMUNG UND DES NEIGUNGSWINKELS [21]	31
ABBILDUNG 2-14: QUERSCHNITT EINER RUMPFSPRITZWASSERKANTE [21].....	32
ABBILDUNG 2-15: SCHARFKANTIG AUSGEFÜHRTE SPRITZWASSERKANTE BZW. STRAKE	32
ABBILDUNG 2-16: ANTRIEBSSTRANG ALS AUSZUG AUS DER ABBILDUNG 2-1	33
ABBILDUNG 2-17: ANTRIEBS-SYSTEME FÜR DIE MSB	34
ABBILDUNG 2-18: PREISBEISPIELE FÜR MOTOREN	35
ABBILDUNG 2-19: PROPELLER-BEISPIELE FÜR MSB	37
ABBILDUNG 2-20: PARAMETER FÜR DIE ERMITTLUNG DES PROPELLER-SCHUBES	37
ABBILDUNG 2-21: PARAMETER FÜR DIE ERMITTLUNG DES PROPELLER-WIRKUNGSGRADES	38
ABBILDUNG 2-22: GLEICHGEWICHTSLAGE UND AUSGELENKTE LAGE BEI VERDRÄNGERN	40
ABBILDUNG 2-23: STABILITÄT IN LÄNGSRICHTUNG EINES BOOTES	41
ABBILDUNG 2-24: DYNAMISCHE STABILITÄT [21].....	42
ABBILDUNG 2-25: RUMPFKONSTANTE C FÜR EINIGE BOOTSTYPEN	43
ABBILDUNG 2-26: KRÄFTE UND MOMENTE AN EINEM BOOT MIT GLEITER-RUMPF	44
ABBILDUNG 3-1: WERTSCHÖPFUNGSKETTE IN ANLEHNUNG AN ([2], [23]).....	50
ABBILDUNG 3-2: ORGANISATIONSSTRUKTUR DES BEISPIEL-KONZERNS MSB-BAU	53
ABBILDUNG 3-3: PROZESSKETTE EINER MÖGLICHEN PRODUKTENTSTEHUNG	58
ABBILDUNG 3-4: QUALITÄTSPROBLEM.....	62
ABBILDUNG 3-5: WECHSELWIRKUNGEN BEI DER ENTWICKLUNG DES ANTRIEB-SYSTEMS	66
ABBILDUNG 3-6: HAUPTKOMPONENTEN EINES BOOTES	76
ABBILDUNG 3-7: GROBER PRODUKTIONSPROZESS	77
ABBILDUNG 4-1: VEREINFACHTE DARSTELLUNG EINES DATENMODELLS.....	95
ABBILDUNG 5-1: VERGLEICH DER 3D-MODELLIERTECHNIKEN ([28])	102
ABBILDUNG 5-2: PARAMETRISIERTES CAD-MODELL EINER DICHTUNG	104
ABBILDUNG 5-3: 3D-CAD- UND PDM-SYSTEME [30].....	108
ABBILDUNG 5-4: IT-SYSTEME IM PRODUKTLEBENSZYKLUS [31].....	110
ABBILDUNG 5-5: PDM ALS INTEGRATIONSMITTELPUNKT [30]	111
ABBILDUNG 5-6: INFORMATIONEN IN PDM-SYSTEMEN [30].....	112
ABBILDUNG 5-7: GRUNDSÄTZLICHE ZIELE VON CRM [34].....	117
ABBILDUNG 5-8: KOMPONENTEN FÜR DEN INTEGRATIONSANSATZ	119
ABBILDUNG 6-1: ZUGRIFFE AUF DAS DATENMODELL.....	124
ABBILDUNG 6-2: DESIGNBEISPIELE FÜR EINEN RUMPF	126
ABBILDUNG 6-3: LINIENDARSTELLUNG DES MSB_6M	127

ABBILDUNG 6-4: EXCEL-TABELLE FÜR DIE PARAMETER-VARIATION DES MSB_6M (AUSZUG).....	127
ABBILDUNG 6-5: SEITENANSICHT UND DRAUFSICHT DES MSB_6M.....	128
ABBILDUNG 6-6: DIMETRISCHE ANSICHT DES MSB_6M.....	129
ABBILDUNG 6-7: VARIATION DECKVERBREITERUNG DES MSB-1_6M.....	130
ABBILDUNG 6-8: VARIATION DER DECKBREITE.....	131
ABBILDUNG 6-9: VARIATION DES RUMPFWINKELS.....	132
ABBILDUNG 6-10: ARCHITEKTUR DES SOFTWARE-SYSTEMS.....	138
ABBILDUNG 6-11: DER WEG VOM ADRESSMANAGEMENT ZUM CRM [35].....	144
ABBILDUNG 6-12: AUSZUG DER KLASSENHIERARCHIE DES IMES.....	147
ABBILDUNG 6-13: BEISPIELHAFTES OBJEKTSTRUKTUR.....	150
ABBILDUNG 6-14: ATTRIBUT-MAPPING MIT HILFE VON CAD-TEMPLATES.....	153
ABBILDUNG 6-15: CAD-MODELL RUMPF IN KONFIGURATION WASSERLINIE WL-0.....	156
ABBILDUNG 6-16: CAD-MODELL RUMPF IN KONFIGURATION WASSERLINIE WL-1.....	157
ABBILDUNG 6-17: 3D-MODELL BOOTSMOTOR IM CAD-SYSTEM.....	162
ABBILDUNG 6-18: ABLAUF DER ERSTELLUNG EINER VORSCHAUDATEI.....	163
ABBILDUNG 6-19: 3D-VISUALISIERUNG BOOTSMOTOR IM WEB-BROWSER.....	165
ABBILDUNG 6-20: RANDBEDINGUNGEN ZUR EINFÜHRUNG.....	168
ABBILDUNG 7-1: PRODUKTNUTZUNG (ERWEITERUNG DER ABBILDUNG 3-1).....	170
ABBILDUNG 7-2: TESTBOOT 33 FUSS-MOTORYACHT.....	172
ABBILDUNG 7-3: MESSERGEBNIS BEI UNBELADENEM BOOT.....	173
ABBILDUNG 7-4: UNBELADENES MSB GEGENÜBER EINER 350 KG BELADUNG IM BUG.....	174
ABBILDUNG 7-5: GEWICHT IM BUG IM VERGLEICH ZUM GEWICHT AN DECK.....	176
ABBILDUNG 7-6: TESTBOOT FÜR DEN 2. VERSUCH.....	176
ABBILDUNG 7-7: VERGLEICH GESCHWINDIGKEIT UND BOOTSNICKWINKEL.....	178
ABBILDUNG 7-8: TRIMMBEGRENZER.....	178
ABBILDUNG 7-9: MESSERGEBNIS FÜR DEN PROPELLER TYP A (VERSUCH 2.1).....	179
ABBILDUNG 7-10: MESSWERTE FÜR DEN PROPELLER TYP A (VERSUCH 2.1).....	180
ABBILDUNG 7-11: MESSERGEBNISSE FÜR DEN PROPELLER TYP B (VERSUCH 2.1).....	180
ABBILDUNG 7-12: VERGLEICH DER PROPELLER TYP A UND TYP B (VERSUCH 2.1).....	181
ABBILDUNG 7-13: MESSERGEBNIS PROPELLER TYP B (VERSUCH 2.2).....	182
ABBILDUNG 7-14: VERGLEICH DER PROPELLER TYP B (VERSUCH 2.1 MIT VERSUCH 2.2).....	183
ABBILDUNG 7-15: LAGE DES BESCHLEUNIGUNGSSENSORS AM FAHRERPLATZ.....	184
ABBILDUNG 7-16: KURVENRADIUS UND TESTBOOT.....	184
ABBILDUNG 7-17: V_{MAX} IN DER KURVE BEI $R = 100$ M.....	185
ABBILDUNG 7-18: VERSUCHSSTRECKE FÜR VERSUCH 4.1.....	187
ABBILDUNG 7-19: MESSERGEBNIS 1 FÜR VERSUCH 4.1.....	188
ABBILDUNG 7-20: MESSERGEBNIS 2 FÜR VERSUCH 4.1.....	188
ABBILDUNG 7-21: MESSERGEBNIS 3 FÜR VERSUCH 4.1.....	189
ABBILDUNG 7-22: MESSERGEBNIS 1 FÜR VERSUCH 4.2.....	191
ABBILDUNG 7-23: MESSERGEBNIS 2 BEI EINER KREISFAHRT FÜR VERSUCH 4.2.....	192
ABBILDUNG 7-24: MESSERGEBNIS 3 FÜR VERSUCH 4.2.....	194
ABBILDUNG 11-1: BEISPIELHAFTES EINTEILUNG DER BOOTSKLASSEN.....	206
ABBILDUNG 11-2: TYPISCHER WELLENVERLAUF EINES VERDRÄNGER-RUMPFES.....	206
ABBILDUNG 11-3: WELLENVERLAUF VON HALBGLEITERN.....	207
ABBILDUNG 11-4: SEITLICH HOCH STEIGENDE GISCHT [41].....	207
ABBILDUNG 11-5: DEUTLICHER ABRISS DER QUERSTRÖMUNG.....	208
ABBILDUNG 11-6: ABRISS DER QUERSTRÖMUNG AN SCHARFER BILGENKANTE [42].....	208
ABBILDUNG 11-7: VERDRÄNGERFAHRT EINES GLEITRUMPFBOOTES [42].....	208
ABBILDUNG 11-8: SEITLICHE TRIMMKLAPPEN EINES TYPISCHEN RENN-GLEITRUMPFES.....	209

ABBILDUNG 11-9: MOTOR UND ANTRIEB DES TESTBOOTES FÜR DIE VERSUCHSREIHE1	209
ABBILDUNG 11-10: MESSGERÄT VBOX3 FÜR DIE VERSUCHSREIHE1	209
ABBILDUNG 11-11: MESSGERÄTE FÜR VERSUCHSREIHE2	210
ABBILDUNG 11-12: MESSGERÄTE FÜR VERSUCHSREIHE4	211

11 Anhang

Kleine offene Motorboote	Offenes Motorboot / Runabout	Nur bei Tageslicht genutztes Freizeitboot, keine Kabinen oder Kojen im Bug unter Deck / Sitzplätze im Bug möglich, kleine Windschutzscheibe / Außenbordmotoren, Jet- und Z-Antriebe.
	Steuerkonsolen Boot	Boot mit offenem Deck. Mittig platzierter Steuerstand ist die Haupteigenschaft des Bootes. Keine Kabinen oder Kojen, offenes Deck für Sonnenliegen, Angelausrüstung oder Tisch / meistens Außenbordmotoren, selten Jet- und Z-Antriebe.
	Bay Boat / Jon Boat Buchten Boot	Boot für verschiedene Einsatzmöglichkeiten, normalerweise mit einem flachen Rumpf, meist zum Angeln und Jagen auf Binnengewässern genutzt, / kleine bis mittelstarke Außenbordmotoren (5 – 60 PS) für flache Gewässer / meistens Aluminiumkonstruktionen / oft zusätzlich ausgerüstet mit Elektromotor zum Angeln.
	Besonderes Angel-Boot Specialty Fishing Boat	(bass boats) flach gebaute, offene Boote, mit sehr geringer Seitenwandhöhe. Das vordere hoch liegende Deck sowie der im Heck platzierte Angelsitz erlauben einen leichten Zugang zum Fang. Zum Angeln bei Tage in geschützten Gewässern.
	Wasserski und Wellenbrett Boot Skiboat / Wakeboat	Die flache Rumpfkonstruktion sowie die Anordnung des Motors, Antriebs und der Propellerwelle erlauben diesen Booten eine sehr hohe Beschleunigung und einen extrem leichten Übergang in die Gleitfahrt. Diese Boote verursachen nur eine geringe Heckwelle, ideal für Wasserskifahrer / meistens Wellenantriebe.
	Deck / Ponton Boot	Boote mit einem offenen Deck, welche viel Platz bieten. Genutzt als Badeplattform, Sonnenliege, zum Angeln, Wasserskifahren und auch um Mahlzeiten mit mehreren Personen einzunehmen. Bietet jedoch kaum Möglichkeiten für sportliche Fahrweisen oder Rauwassernutzung, nur in ruhigen, geschützten Gewässern zu nutzen. In Europa meistens als Pontonboot für Touristen in Hafengebieten verwendet, da das Deck Raum für viele Sitzplätze bietet. Pontonboote gibt es z. Z. nur mit Außenbordmotoren.
	Utility Boat Arbeitsboot	Tender, Dinghy oder Arbeitsboot. Materialien GFK, AL oder Holz. / meistens unter 10 Fuß lang (3,3 m), leicht zu transportieren (Autodach, an Deck einer größeren Yacht als Tender). Ruder oder Außenbordmotoren bis 25 PS.
Kleine Kabinen Motorboote	Runabout Cuddy Sportboot mit Bugkabine	Sportboot mit kleiner Kabine im Bug, ausgerüstet für Wassersportaktivitäten bei Tage, / Kabine bietet etwas Schutz und vor allem Stauraum für das Equipment (Angeln, Kleidung, Lebensmittel, Taschen) / Die "Sonnen-Deck-Versionen" nutzen einen seitlich platzierten Steuerstand mit einer nur auf dem Bereich des Steuerstandes montierten Windschutzscheibe. Das erlaubt den freien Zugang zum Boot von nur einer Seite des Steuerstandes zu den Sonnenliegen. Die andere Seite des Steuerstandes bietet eine Kabinentür und den Zugang zu einer kleinen Kabine im Bug, unter der Sonnenliege auf Deck / meistens Z-Antriebe,

	Walkaround Boat vollständig begehbare Boot (vorderes Deck)	Kleine mittig angeordnete Kabine vor dem Steuerstand, mit seitlichen Trittläufen, welche einen einfachen Zugang um den Bug herum bis zur Bugspitze erlauben / in erster Linie zum Fischen in Binnen- und Küstengewässern genutzt Die angehobene Kabine bietet nahe zu volle Stehhöhe, sowie eine Kajüte / meistens Außenbordantrieb.
	Angel- und Reise- Motorboot Fish & Cruise Boat	Ein vielseitig einsetzbares Boot, welches ein halboffenes Ruderhaus bietet. Der überdachte Steuerstand mit Front- und Seitenwindschutzscheiben bietet einen guten Schutz vor Wind und Regen. Das Ruderhaus bietet Platz für Kabinen mit Kojen im Bug / großzügig ausgelegtes Deck mit viel Platz für die Angelausrüstung. Meistens Benzin-Außenbordmotor, selten Diesel-Wellenantrieb.
Sport Reise Motoryachten	Hochsee- Sportmotorboot Offshore Performance Boat	Für hohe Geschwindigkeiten, schlanker Rumpf mit geringer Freibordhöhe / generell mit hoher Aufkimmung (tiefer V-Rumpf) / Die Inneneinrichtung beinhaltet meistens eine geschlossene Kabine mit einer Koje, eine komplette Kombüse mit Essecke, eine geschlossene Kabine im Bug. Nur Doppel- oder Dreifachanlage, Z-Antrieb oder Wellenantrieb, 500 - 2000 PS, Benzin und Diesel.
	Offene Sportmotoryacht Open Cabin Cruiser / Open Sport Yacht	Sportmotoryacht ohne Dach / ab 30 Fuß (10 m) bis zu 60 Fuß (20 m) Länge. / ausgerüstet für kurze Reisen mit komplett ausgestatteten Kabinenbereich ab dem Steuerstand. Unterhalb des Steuerstandes befindet sich eine weitere, separate Kabine mit 2 - 3 Schlafplätzen. Meistens komplett eingerichtete Kombüse, separate Kabine im Bug (2 Schlafplätze) Schränke, Ablagen, Toilette / Dusche.
	Geschlossene Sportmotor- yachten Sport Cruiser Hardtop Yacht - without Door	Bietet zusätzlich noch ein teilüberdachtes Deck mit Kochmöglichkeiten, Kühlschrank, und großzügigem Stauraum, Sitzecke und Tisch. Doppel-Benzin und -Diesel Z-Antrieb, 500 – 1000 PS.
	Sport Cruiser Hardtop Yacht - with Door	Wie zuvor, aber nun mit komplett geschlossenem Deckaufbau. Ausstattungskomfort und Luxus ist wichtiger als Fahrleistungen. Intelligent verwendete Materialien (Glas, Holz, GFK) werden eingesetzt, um den Aufbau optisch und praktisch bestmöglich zu gestalten.
Sportfishing Boats / Yachts	Hochsee Sportfischen Sportfishing Boat (Convertible)	Ausgerüstet für das Hochseefischen mit einem großzügig ausgelegten offenen Heckbereich, niedrige Freibordhöhe, Standard oder optional ausgerüstet zum Fischen / Steuerstand ist auf der Flybridge angeordnet, Kabinen und Hauptsteuerstand befinden sich im vorderen Deck unterhalb der Flybridge. In erster Linie nur Doppelwellenanlage, Diesel.
	Sportfishing Boat (Open Express)	Sport-Motoryacht, welche in erster Linie für das Hochseefischen verwendet wird, Stabiles Harddach zum Schutz vor der Sonne am Steuerstand, großer hinterer Deckbereich mit Angelausrüstung, niedrige Freibordhöhe im Heckbereich, hoher Freibord im Bugbereich / Doppelwellenanlage, Diesel.

Flybridge / Motoryachts	Flybridge Cruiser (Flybridge Sedan in the US)	Sportreisemotoryacht für längere Strecken, zusätzlicher Steuerstand über dem Kabinenbereich mit Hauptsteuerstand (Flybridge) / Flybridge überragt Sitzbereich auf dem Deck (Sonnenschutz) / das Deck ist großzügig mit Sitzen, Tisch, Kochgelegenheit und Kühlschrank ausgestattet, hoch ausgebauter Salon, zweiter geschlossener Steuerstand. Doppelwellenantrieb oder Doppel-, 3- oder 4-fach POD-Antriebe, 500 bis 1500 PS, 75% Diesel; 25% Benziner.
	Motoryacht	Weite Reisedistanzen, mehrere Decks, 2 Steuerstände, sehr hoher Komfort und hohes Ausrüstungsniveau. Doppelwellenantriebe, Doppel-POD-Antriebe, Diesel.
New Classic / Traditional Motorboats	Klassisch moderne Sportmotorbootkreuzer New Classic Open / Day Cruiser	Offenes Deck, mit kleiner Bugkabine, Sitzplätze im hinteren Deckbereich, / klassisches bzw. Retro-Design, welches sehr stark an frühere Luxusmotorboote aus hochwertigem Holz erinnert. Damals wurden diese Boote zum Fischen und Angeln genutzt und als schnell laufende Ausflugssportboote in der höheren Gesellschaft genutzt.
	New Classic Cabin / Express Cruiser	Moderne Ausflugssportboote, welche an klassische Boote aus den 30er und 40er Jahren erinnern. Groß gestaltete Kabinen, viel Holzverarbeitung und der Form und den Farben der Lobsterboote stark nachempfunden.
	Trawler / Traditional Motoryacht	Klassisch gestaltete traditionelle Motoryachten, mit viel Holzverarbeitung / für lange Reisen, hochseetauglich. / haben oft auch eine separate hintere Kajüte, voll ausgerüstet mit Dusche / WC, Kombüse, mehrere Schlafräume, viel Stauraum / Grand Banks, Dutch cruiser.

Abbildung 11-1: Beispielhafte Einteilung der Bootsklassen



Abbildung 11-2: Typischer Wellenverlauf eines Verdränger-Rumpfes



Abbildung 11-3: Wellenverlauf von Halbgleitern



Abbildung 11-4: Seitlich hoch steigende Gischt [41]



Abbildung 11-5: Deutlicher Abriss der Querströmung



Abbildung 11-6: Abriss der Querströmung an scharfer Bilgenkante [42]



Abbildung 11-7: Verdrängerfahrt eines Gleitrumpfbootes [42]



Abbildung 11-8: Seitliche Trimmklappen eines typischen Renn-Gleittrumpfes

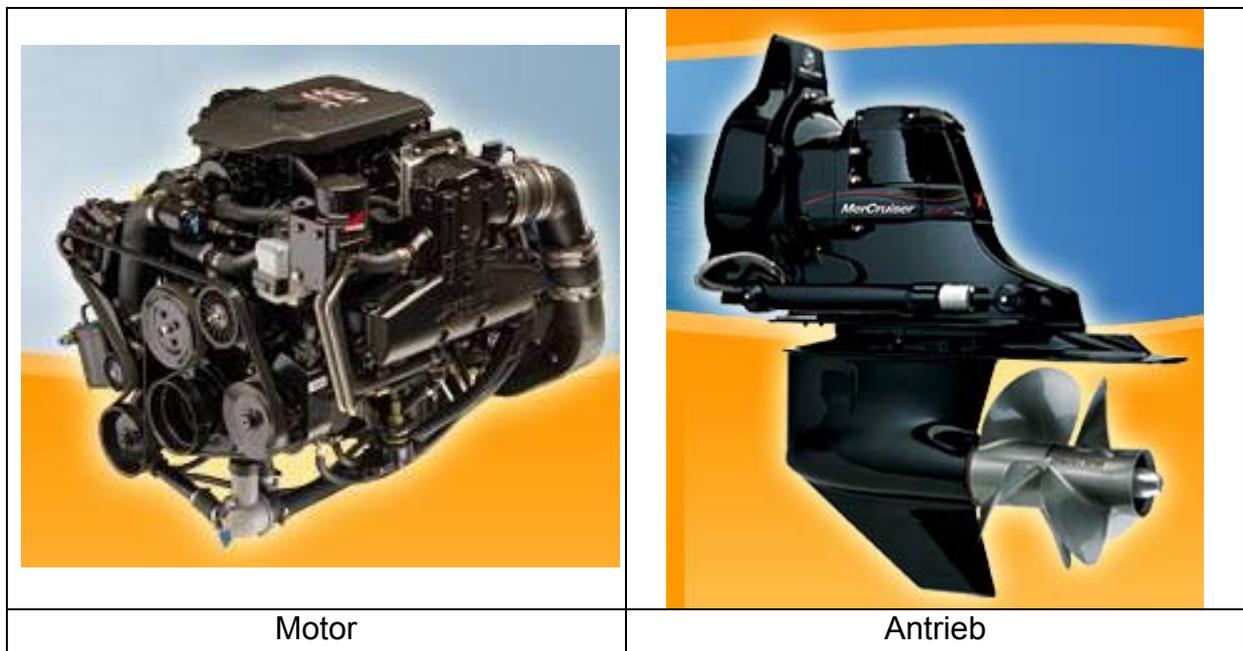


Abbildung 11-9: Motor und Antrieb des Testbootes für die Versuchsreihe1



Abbildung 11-10: Messgerät VBOX3 für die Versuchsreihe1

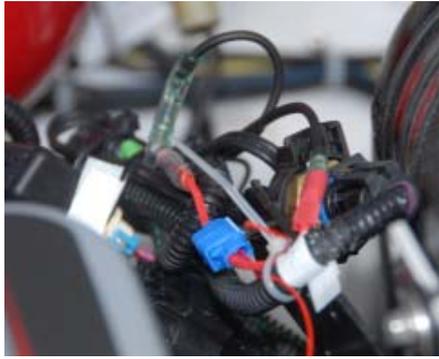
 <p>VBOX Anlage installiert</p>	 <p>Racelogic VBOX 20SL</p>
 <p>2 GPS Antennen am Bug montiert</p>	 <p>2-Achsen Beschleunigungssensor</p>
 <p>Racelogic ADC03 Analog Signal Box</p>	 <p>Racelogic Ferquenz /Spannung Box</p>
 <p>Einfache Drehzahlerfassung am „Tach Anschluss“ des MerCruiser Motors</p>	 <p>Einfache Erfassung der Antriebs Trimm - Position am Analog Signalanschluss</p>

Abbildung 11-11: Messgeräte für Versuchsreihe2



2 GPS Antennen auf dem vorderem Deck



Racelogic 3-Achsen (X-Y-Z)
Beschleunigungssensor



Beschleunigungssensor am Fahrerstand
montiert



Kalibrierung VBOX 20SL



On-line Bildschirm zur Datenerfassung



Einfacher Aufbau der Messtechnik

Abbildung 11-12: Messgeräte für Versuchsreihe4