

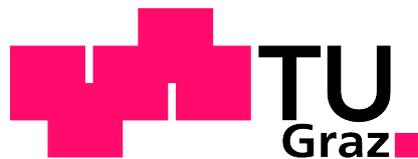
FRANZ-JOSEF PRÜSS, BSC

SYSTEMATISCHE ERFASSUNG DER ZUKÜNFTIG
RELEVANTEN ANTRIEBSKONZEPTE BEI
GROSSMOTOREN-APPLIKATIONEN

Version 1.2 final – 7. Mai 2014

SYSTEMATISCHE ERFASSUNG DER ZUKÜNFTIG RELEVANTEN
ANTRIEBSKONZEPTE BEI GROSSMOTOREN-APPLIKATIONEN
HYBRIDISIERUNG UND ELEKTRIFIZIERUNG BEI LOKOMOTIVEN, SCHIFFEN UND
MINING-TRUCKS
FRANZ-JOSEF PRÜSS, BSC

DIPLOMARBEIT



TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ
Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften
Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

Begutachter:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Ramsauer

Betreuer:

Dipl.-Ing. Alexander Pointner, BSc

Dipl.-Ing. Thomas Böhm, BA



AVL LIST GMBH

Betreuer:

Dipl.-Ing. Karl Wojik

Mai 2014

TITEL DER ARBEIT:

Systematische Erfassung der zukünftig relevanten Antriebskonzepte bei Großmotoren-Applikationen – Hybridisierung und Elektrifizierung bei Lokomotiven, Schiffen und Mining-Trucks

EINGEREICHT VON:

Franz-Josef Prüß, BSc

Matrikelnummer: 0730693

STUDIENGANG:

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen–Maschinenbau

Kennzahl: F 066 482

Technische Universität Graz

BEGUTACHTER:

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Ramsauer

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

BETREUER:

Dipl.-Ing. Alexander Pointner, BSc

Institute of Production Science and Management

Dipl.-Ing. Thomas Böhm, BA

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

Dipl.-Ing. Karl Wojik

AVL List GmbH

ABSTRACT

AVL List GmbH are a market leader in the large engine segment among independent engineering service providers with decades of experience in this field. In order to keep the high level of technology, it has been providing to its customers, *AVL* are considering market entry into hybrid systems for large engine applications, like ships, locomotives and mining trucks.

Capturing state-of-the-art concepts for reduction of emissions and fuel consumption used in large engine applications, this thesis discusses where hybrid systems can be used effectively for propulsion. *AVL's* anticipated market share has been estimated through a market study. Based on the gained information, a suitable strategy for market entry was developed while also pointing out entry risks and barriers.

ZUSAMMENFASSUNG

Die *AVL List GmbH* ist Marktführer im Großmotoren-Segment unter den unabhängigen Entwicklungsdienstleistern und hat jahrzehntelange Erfahrung in diesem Bereich. Um auch weiterhin Kunden den neusten Stand der Technik anbieten zu können, wird ein Markteintritt mit Hybridantriebssystemen für die klassischen Großmotoren-Applikationen Schiffe, Lokomotiven und Mining-Trucks erwogen.

Diese Arbeit erfasst den Stand der Technik bei Großmotoren-Applikationen und den derzeit angewandten Maßnahmen zur Senkung von Emissionen und Kraftstoffverbrauch und zeigt auf, in welchen Anwendungen zukünftig eine Hybridisierung erfolgreich eingesetzt werden kann. Durch eine Marktstudie wurde der zu erwartende Marktanteil der *AVL* abgeschätzt. Basierend auf den akkumulierten Informationen wurden eine Markteintrittsstrategie entwickelt und Eintrittsbarrieren und -risiken aufgezeigt.

DEUTSCHE FASSUNG:

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 7. Mai 2014

Datum

Unterschrift

ENGLISCHE FASSUNG:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

May 7, 2014

date

signature

DANKSAGUNGEN

Diese Diplomarbeit wurde für das *Business Field* Großmotoren der AVL LIST GMBH erstellt. Herrn Dipl.-Ing. Karl Wojik, der die vorliegende Arbeit von Seiten der AVL betreut und ermöglicht hat, gilt mein herzlicher Dank für seine vielseitige Unterstützung, seinen wertvollen fachlichen Rat, das entgegengebrachte Vertrauen sowie die interessanten Einblicke in die Arbeit des Managements, die ich im Zuge der Arbeit erlangen konnte. Auch möchte ich meinen Kollegen aus dem Fachbereich Konstruktion für die fachliche Beratung sowie Frau Mag. (FH) Sabine Glaser für die zuverlässige und aufmerksame organisatorische Unterstützung meinen Dank aussprechen.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Betreuern von Seiten der Technischen Universität Graz, Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Christian Ramsauer, Herrn Dipl.-Ing. Alexander Pointner, BSc und Herrn Dipl.-Ing. Thomas Böhm, BA für ihre Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit und die hilfreichen Hinweise bedanken.

Für die Ermöglichung meines Werftbesuches bei der FLENSBURGER SCHIFFBAU-GESELLSCHAFT, der mir einen einzigartigen Einblick in die konstruktiven Herausforderungen von Großmotoren-Applikationen gewährte, bedanke ich mich besonders bei Herrn Dr.-Ing. Hinrich Mohr und Herrn Dipl.-Ing. Dr. Marko Dekena von Seiten der AVL sowie bei Herrn Dr.-Ing. Christoph Schladör von der FSG.

Mein größter Dank gilt schließlich meiner Familie, besonders meiner Verlobten Simone, für die großzügige und liebevolle Unterstützung während meines gesamten Studiums, die mir Vieles erleichtert hat.

Graz, im Mai 2014

Franz-Josef Prüß, BSc

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	AVL List GmbH	2
1.2.1	Unternehmensprofil	2
1.2.2	Positionierung am Markt	4
1.3	Ziele dieser Arbeit	6
1.3.1	Aufgabenstellung	6
1.3.2	Forschungsfragen	7
1.4	Ansatz	8
I	THEORIE	9
2	GRUNDLAGEN DES INDUSTRIELLEN MANAGEMENTS	11
2.1	Management-Modelle	12
2.1.1	Das Grazer Modell für industrielles Management	12
2.1.2	Das neue St. Galler Management-Modell	12
2.2	Innovationsmanagement	16
2.3	Marketingmanagement	17
3	TECHNISCHE GRUNDLAGEN	19
3.1	Übersicht verschiedener Antriebskonzepte und ihrer Applikationen	19
3.1.1	Windkraft	19
3.1.2	Dampfmaschinen	20
3.1.3	Dampfturbinen	21
3.1.4	Verbrennungsmotoren	22
3.1.5	Gasturbinen	23
3.1.6	Rein elektrischer Antrieb	24
3.1.7	Kombinierte Antriebe	25
3.2	Hybridantriebe	26
3.2.1	Überblick und Struktur	26
3.2.2	Großmotor-Hybridsysteme	26
3.2.3	Vorteile der Hybridisierung	26

3.3	Verbrennung und Brennstoffe	30
3.3.1	Äußere Verbrennung	31
3.3.2	Innere Verbrennung	32
3.3.3	Marine-Brennstoffe	32
3.3.4	Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe	33
3.4	Hubkolbenmotoren	34
3.4.1	Dieselmotoren	34
3.4.2	Ottomotoren	36
3.4.3	Großgasmotoren	38
3.4.4	Großdieselmotoren	40
3.4.5	Applikationen von Großmotoren	44
3.5	Emissionen und Effizienz	45
3.5.1	Einflüsse auf Schadstoffemissionen	45
3.5.2	Weltweite Emissionsstandards	48
3.5.3	Environmental Efficiency Design Index	49
4	METHODIK	51
4.1	Systematik des Technologievergleichs	51
4.2	Phasen und Methoden der Marktforschung	51
4.2.1	Analyse	52
4.2.2	Marketing bei Dienstleistungsunternehmen	53
4.2.3	Marktforschung und Absatzprognosen	55
4.3	Methoden der Strategiefindung	55
II	PRAXISBETRACHTUNG	59
5	UNTERSUCHUNG DES MARKTPOTENTIALS	61
5.1	Mögliche zukünftige Antriebskonzepte	61
5.1.1	Motoren und Treibstoffe	61
5.1.2	Technische Maßnahmen	69
5.2	Marktanalyse	77
5.2.1	Branche	77
5.2.2	Marktsegmentierung	81
5.2.3	Marktteilnehmer	82
5.3	Wettbewerbsanalyse	83
5.3.1	SWOT-Analyse	84
5.3.2	Wettbewerbskräfte	85
5.3.3	Ableitung von Strategien	89

5.4	Existierende Hybrid-Großmotor-Applikationen	89
5.4.1	Marine	89
5.4.2	Lokomotiven	93
5.4.3	Mining Trucks	95
5.5	Potential der Hybridisierung bei Großmotoren-Applikationen	98
5.5.1	Marine	98
5.5.2	Lokomotiven	100
5.5.3	Mining-Trucks	101
III AUSWERTUNG UND ZUSAMMENFASSUNG		103
6	ERGEBNISSE	105
6.1	Bewertung der Antriebskonzepte	105
6.2	Marktprognose	105
6.2.1	Marine	108
6.2.2	Rail	110
6.2.3	Mining	111
6.3	Markteintrittsstrategie	112
6.3.1	Globale Strategie des Markteintritts	112
6.3.2	Stufen des Markteintritts	114
6.4	Markteintrittsrisiko	115
6.4.1	Markteintrittsbarrieren	116
6.4.2	externe Risiken	116
7	HANDLUNGSEMPFEHLUNG	119
8	AUSBLICK	123
9	CONCLUSIO	125
IV ANHANG UND VERZEICHNISSE		127
A	WELTWEITE ABGASNORMEN	129
A.1	Europäische Union	129
A.2	Vereinigte Staaten von Amerika	133
A.3	IMO Marine Engine Regulations	136
B	MARKTAKTEURE	139
B.1	Übersicht und Vorstellung	139
B.1.1	Motorenhersteller	139
B.1.2	Werften	145

B.1.3	Entwicklungsdienstleister	146
B.1.4	Lieferanten	146
B.2	Finanzdaten	148
B.2.1	Motorenhersteller	148
B.2.2	Entwicklungsdienstleister	154
B.2.3	Batterielieferanten	154
C	ABSCHÄTZUNG DES MARKTES IM EISENBAHN-SEGMENT	157
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	161
	LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	167
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	185
	TABELLENVERZEICHNIS	187

EINLEITUNG

1.1 AUSGANGSSITUATION

Die Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List GmbH (AVL) ist im Großmotoren-Segment Marktführer unter der Engineering-Unternehmen. Durchschnittlich wird im Jahr ein Großgas- oder Großdieselmotor entwickelt, welche vor allem in Schiffen und Lokomotiven als Antrieb und für die stationäre und mobile Stromversorgung ihre Hauptapplikationen finden. Die AVL hat jahrzehntelange Erfahrung bei der Entwicklung von Großmotoren (GRM) und bietet Konzepte auf dem neusten Stand der Technik an. Vor dem Hintergrund steigender Treibstoffpreise und strenger werdender Emissionsvorschriften sowie mit der Gewissheit, dass eine weitere Optimierung des Verbrennungsmotors nur noch sehr geringe Effizienzsteigerungen erzielen kann, weitet sich der Blick auch auf Gesamtsysteme.

*Geschäftsfeld
Großmotoren*

Hybridantriebe werden seit einigen Jahren immer häufiger im PKW-Bereich eingesetzt, wo sie sich einer gewissen Beliebtheit erfreuen. Der logische Schritt, Hybridtechnik auch bei mobilen GRM-Applikationen mit schwankenden Lastprofilen einzusetzen, muss sich jedoch erst bewähren, zumal die eher konservativen Schiffsbranche beispielsweise erst vom Potential der Hybridtechnik in Bezug auf Kosteneinsparungspotential, Zuverlässigkeit und Risikominimierung für Personal und Fracht überzeugen muss.

Hybridisierung

Die vorliegende Arbeit zeigt die verschiedenen Antriebskonzepte für die klassischen mobilen Großmotorenapplikationen auf und versucht die Frage zu klären, welche davon auch in den kommenden Jahrzehnten eingesetzt werden. Besonderes Augenmerk wird auf das Potential von GRM-Hybridisierung gelegt.

Mögliche Kooperationspartner, Konkurrenten und Kunden sollen identifiziert werden. Überdies soll das Markteintrittsrisiko für Entwicklungsdienstleistungen von Hybrid-GRM beleuchtet werden.

1.2 AVL LIST GMBH

Die Grazer *AVL List GmbH* ist das weltweit größte Unternehmen, das Motoren aller Größen entwickelt und konstruiert, Prüfstände und Messtechnik für Motoren und Fahrzeuge herstellt und verschiedene Arten von Simulationssoftware entwickelt und verkauft.¹



Abbildung 1: AVL Group Headquarters am Hans-List-Platz 1 im IV. Grazer Stadtbezirk Lend.

1.2.1 Unternehmensprofil

Das Unternehmen wurde 1948 von Professor Dr. Hans List in Graz als Ingenieurbüro List (IBL) gegründet und widmete sich zunächst der Entwicklung von Dieselmotoren, was bereits früh sehr erfolgreich war. 1951 erfolgte schließlich die Umbenennung in AVL.²

¹ Vgl. [94] AVL List GmbH. *Company, Values, AVL facts*. 2013, Company.

² Vgl. ebd., Facts – History.

Seit 1979 führt Hans Lists Sohn, Prof. Dr. Helmut List, das Unternehmen, dem mittlerweile weltweit über 6200 Mitarbeiter in 45 Niederlassungen und Gesellschaften angehören (siehe Abbildung 2). Der Exportanteil von 96% und ein Umsatz von über €1 Mrd. unterstreichen den internationalen Charakter der AVL.³

AVL weltweit



Abbildung 2: Weltweite Niederlassungen und Gesellschaften der AVL.

[93] AVL List GmbH. *AVL Worldwide*. 2012

Die AVL hat sich einen weltweiten Ruf erarbeitet und spielt bei Neu- und Weiterentwicklungen von Motoren und Antriebssystemen für einen – oder in Zusammenarbeit mit einem – *Original-Equipment-Manufacturer* (OEM) eine große Rolle. Know-How eignet sich die AVL durch eigene Forschungsleistung an: Der Anteil des Forschungs- und Entwicklungsbudgets am Umsatz liegt bei vergleichsweise hohen 10%. Doch auch durch strategische Zukäufe und Forschungsk Kooperationen konnte ein Wissensfluss in das Unternehmen erzielt werden.⁴

Dass sich diese Maßnahmen auszahlen, kann man an der Zahl der Patentanmeldungen sehen, die 2012 zum wiederholten Male mit 75

³ Vgl. ebd., Facts.

⁴ Vgl. [30] Haller und Schedl. *Spitzenleistungen made in Austria: österreichische Europa- und Weltmarktführer und ihre Strategien*. 2009, S. 37f.

Anmeldungen österreichweit in der AVL, vor der Julius Blum GmbH (57) und der Siemens AG Österreich (45), am höchsten war.⁵

Die Hauptgeschäftsfelder werden in Abbildung 3 aufgezeigt.

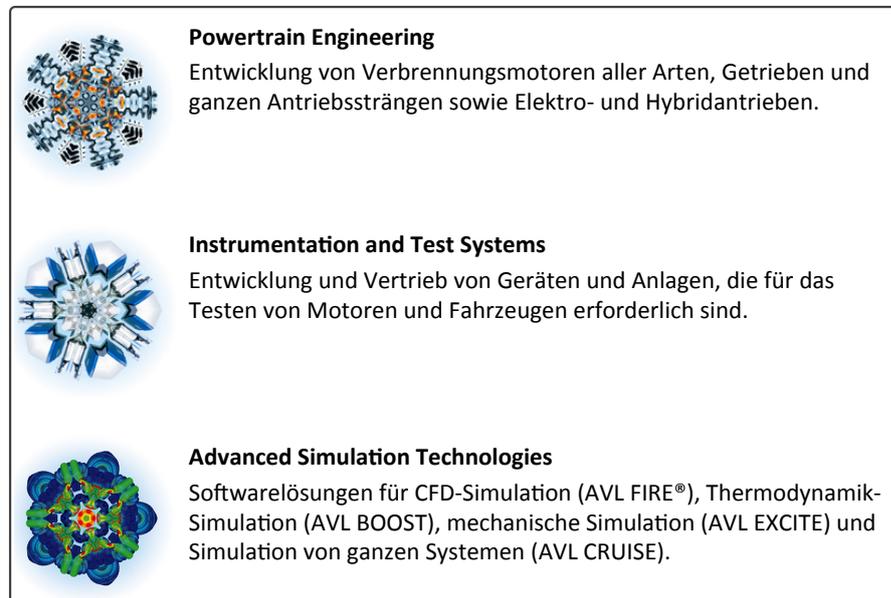


Abbildung 3: Angebotsportfolio der AVL.

Vgl. [94] AVL List GmbH. *Company, Values, AVL facts*. 2013

Mit Einrichtung von Abteilungen, die sich der Elektromobilität und der Hybridisierung widmen, begegnet man den Herausforderungen und Diskussionen der Gegenwart, wie zukünftiger Rohstoffknappheit und strengeren Gesetzen durch verstärktes Umweltbewusstsein.⁶

1.2.2 Positionierung am Markt

Die AVL ist einer von wenigen von OEMs unabhängigen Entwicklungsdienstleistern für Industrieunternehmen weltweit, so dass sie als In-

⁵ Vgl. [145] Österreichisches Patentamt. *Erfindungsranking 2012: AVL List innovativstes Unternehmen*. 2013.

⁶ Vgl. [30] Haller und Schedl. *Spitzenleistungen made in Austria: österreichische Europa- und Weltmarktführer und ihre Strategien*. 2009, S. 38.

industriedienstleister klassifiziert werden kann. In dieser Branche findet man üblicherweise zwei verschiedenen Arten von Anbietern – wenige große „Full-Service-Provider“ und viele kleinere, auf bestimmte Bereiche spezialisierte Dienstleister. Der Nachfragemarkt kann seinerseits in Prozessindustrien, Serienindustrien, Einzelfertiger und Dienstleister unterteilt werden.⁷

Die AVL beliefert mit ihren Leistungen weitestgehend die Serienindustrie. Sie lässt sich in das in Abbildung 4 dargestellte Schema folgendermaßen einteilen:

- *Großunternehmen*
- *wiederholbare wertschöpfende aber komplexe Arbeiten*
- *Erfahrung in gesamten Projekten bis Experte über die Themen hinaus*

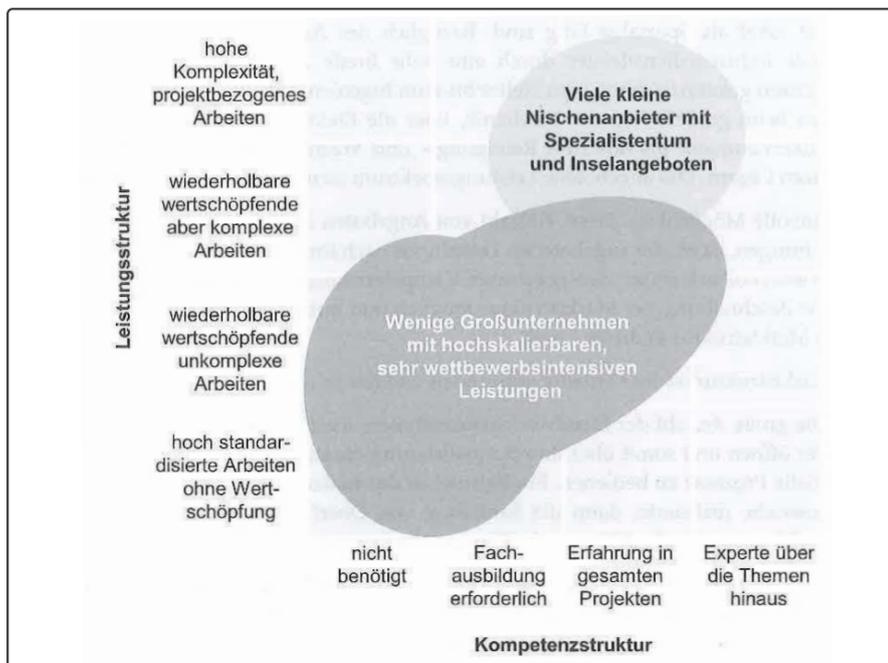


Abbildung 4: Marktstruktur von Industriedienstleistern.

[70] Seeger. *Management von Industriedienstleistern: Herausforderungen, Konzepte, Beispiele*. 2010, S. 4

⁷ [70] Seeger. *Management von Industriedienstleistern: Herausforderungen, Konzepte, Beispiele*. 2010, S. 4ff.

1.3 ZIELE DIESER ARBEIT

Nach Betrachtung der Ausgangssituation und der Positionierung der AVL am Markt sollen nun die konkreten Ziele dieser Arbeit anhand der gegebenen Aufgabenstellung und den sich daraus ergebenden Forschungsfragen beleuchtet werden.

1.3.1 *Aufgabenstellung*

Die Beschreibung dieser Diplomarbeit beinhaltet folgende Aufgabenstellung:

- Systematische Erfassung der zukünftig relevanten Antriebskonzepte
- Ausforschung des relevanten Marktes für Entwicklungsdienstleistungen
- Ermittlung des aktuellen Bedarfs an Entwicklungsdienstleistungen
- Untersuchung der geeigneten Branchen bzw. der potenziellen Kunden
- Recherche eventueller Partneroptionen der AVL
- Risikoeinschätzung des Markteintritts

Um vorab eine Hauptstruktur der Diplomarbeit zu erstellen, wurde die Aufgabenstellung, wie in Abbildung 5 gezeigt, in drei Sinnabschnitte eingeteilt, die sich nach Themengebieten richten:

I. TECHNOLOGISCHE TRENDS

II. MARKTFORSCHUNG

III. RISIKOEINSCHÄTZUNG

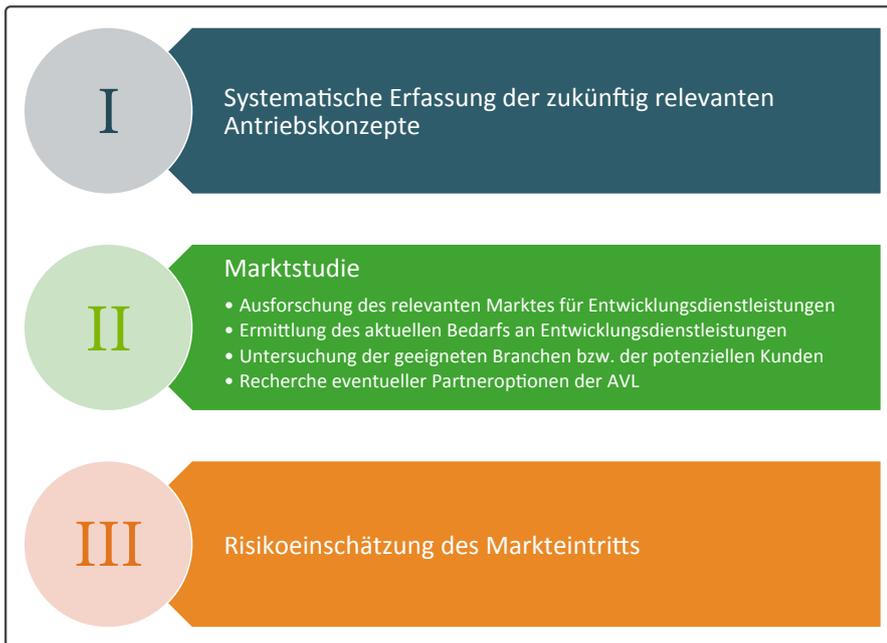


Abbildung 5: Aufgabenstellung dieser Arbeit.

Nach dieser Einteilung richtet sich die schwerpunktmäßige Vorgehensweise dieser Arbeit.

1.3.2 Forschungsfragen

Infolge der Aufgabenstellung und der gewählten Einteilung in Themengebiete wurden drei Forschungsfragen formuliert, die es im Zuge dieser Diplomarbeit zu beantworten gilt:

- I. Welche Antriebskonzepte werden in Zukunft bei Schiffen, Lokomotiven und Mining Trucks relevant sein?
- II. Gibt es einen Bedarf bei OEMs an Entwicklungsdienstleistungen von der AVL? Wem kann die AVL diese anbieten und mit wem könnte die AVL kooperieren?

- III. Welches Risiko besteht für die AVL, im Bereich der Großmotorenapplikationen (Hybridisierung und Elektrifizierung) Entwicklungsdienstleistungen anzubieten?

1.4 ANSATZ

Als ersten Schritt zur Bearbeitung der Aufgabenstellung sollen Grundlagen im Bereich Innovations- und Marketingmanagement erarbeitet werden. Darauf aufbauend folgt die Erarbeitung einer Methodik für die Marktforschung, welche auf vorhandenen, frei verfügbaren Daten basieren soll.

Eine weitere Recherche über Hybridantriebe und Großmotoren mit besonderem Augenmerk auf aktuelle Entwicklungen dient schließlich als Grundlage für die Prognose der zukünftig relevanten Antriebskonzepte. Die wichtigsten relevanten, während der Recherche gefundenen Berichte und Veröffentlichungen werden zur Beurteilung des Potentials der Hybridisierung bei Großmotoren berücksichtigt.

Anschließend werden die erhobenen Marktdaten aus Jahresberichten und weiteren freien Quellen analysiert und als Basis für die Abschätzung des Marktpotentials verwendet.

Durch die Analysemethoden *Five Forces* und *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threads* (SWOT) werden die Stärken und Schwächen der AVL sowie ihre Chancen im Bezug zum Markt aufgezeigt. Da ein etwaiger Markteintritt mit einem gewissen Investitionsrisiko verbunden ist, müssen ebenso Markteintrittsbarrieren beleuchtet werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen können schließlich Markteintrittsstrategien abgeleitet werden, die darauf abzielen, das Investitionsrisiko zu minimieren, trotzdem aber erfolgreich eine Kundennachfrage zu generieren.

Teil I

THEORIE

GRUNDLAGEN DES INDUSTRIELLEN MANAGEMENTS

Der Begriff *Management* bezeichnet in Unternehmen sowohl eine Funktion als auch eine Institution. Die Institution *Management* meint eine Personengruppe, welche mit gestaltenden, entwickelnden und lenkenden Aufgaben¹ im Unternehmen betraut ist. Die Sammelbezeichnung für die Aufgaben, für die dieser Personenkreis verantwortlich ist, lautet ebenfalls *Management* und stellt damit die zweite Definition des Begriffes dar. Je nach weiterer Definition dieser Aufgaben können diese Personen den drei Management-Ebenen

Definition
Management

- Normatives Management
- Strategisches Management
- Operatives Management

zugeordnet werden.²

Zur Bewertung der Aufgabenerfüllung der mit dem Management beauftragten Personen sind drei Kenngrößen geläufig: Die *Legitimität* als Maß für das normative Management zeigt auf, inwiefern das langfristige wirtschaftliche Überleben des Unternehmens durch richtige Festlegung der Unternehmenspolitik als Rahmenbedingungen sichergestellt ist. Die *Effektivität* ist die Kennziffer für das strategische Management, welches ein strategisches Konzept aus Geschäftsbereichen und Umsetzungsprogrammen zu erarbeiten hat, um erfolgreich im Wettbewerb zu bestehen. *Effizienz* ist schließlich die Kennzahl des

Aufgaben und
Kenngrößen des
Managements

¹ Siehe [7] Bleicher. *Das Konzept Integriertes Management. Visionen - Missionen - Programme*. 1999.

² Vgl. [85] Wohinz. *Industriebetriebslehre 2011*. 2011, S. 19ff.

operativen Managements, das auf Prozessebene größtmöglichen Output bei minimalem Ressourceneinsatz erreichen soll.

2.1 MANAGEMENT-MODELLE

Auf den folgenden Seiten sollen nun mit dem *Grazer Modell für Industrielles Management* und dem *neuen St. Galler Management-Modell* zwei verschiedene gedankliche Rahmen für die Auseinandersetzung mit Management-Fragen vorgestellt werden.

2.1.1 *Das Grazer Modell für industrielles Management*

Das *Grazer Modell für Industrielles Management* ist ein gesamthaftes, modular aufgebautes und netzwerkartig strukturiertes Modell, das sich für verschiedene Gegebenheiten weiterentwickeln sowie an zukünftige Entwicklungen anpassen lässt.³

Das Grazer Modell

Die einzelnen Module sind zu drei Zonen gruppiert, von denen die innerste die in Abbildung 6 dargestellte Kernzone ist. Die weiteren Zonen werden in Abbildung 7 gezeigt.

Abbildung 7 zeigt die drei konzentrischen Zonen der Module des Grazer Modells mit besonderem Augenmerk auf den Funktionsmodulen. Für diese Arbeit sind das Innovations- und Marketingmanagement von besonderer Bedeutung. Beide werden später noch näher behandelt.

2.1.2 *Das neue St. Galler Management-Modell*

Im neuen St. Galler Management-Modell werden Unternehmen als wirtschaftliche, zweckorientierte, multifunktionale und soziotechnische Systeme bezeichnet, die im ökonomischen Wettbewerb mit an-

³ Vgl. [85] Wohinz. *Industriebetriebslehre 2011*. 2011, S. 30f.

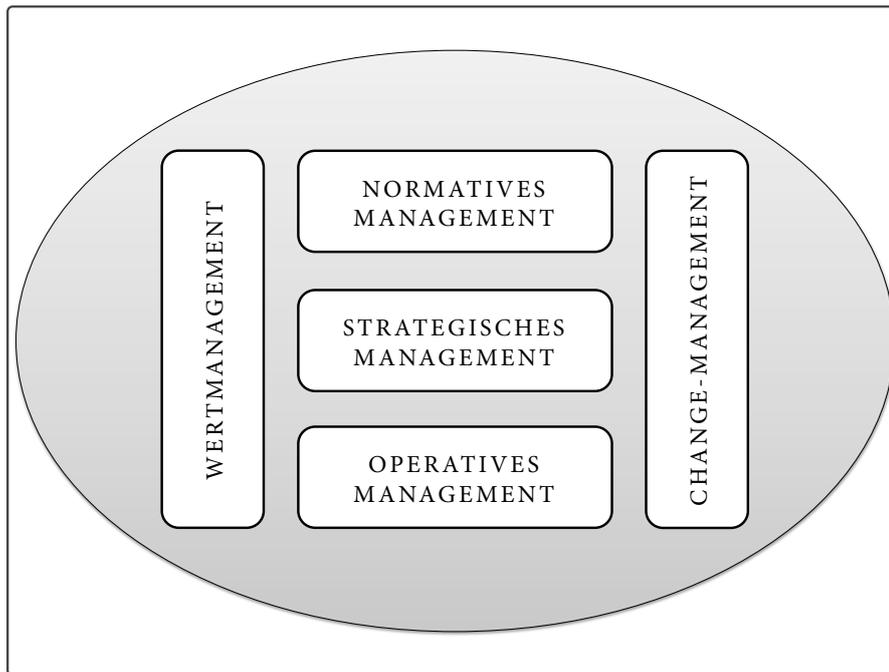


Abbildung 6: Das Grazer Modell für industrielles Management. Die innerste Zone bildet die Kernzone mit den Basismodulen.

In Anlehnung an: [85] Wohinz. *Industriebetriebslehre 2011*. 2011, S. 33

deren Unternehmen stehen. Die durch Kundenwünsche geschaffenen „Knappheiten“ ermöglichen Unternehmen die Schaffung „nachhaltige[r] Wettbewerbsvorteile“, wenn Unternehmen die Knappheiten erkennen und sowohl effektiver als auch effizienter als ihre Konkurrenz ausfüllen.⁴

*Das neue St. Galler
Management-Modell*

Das in Abbildung 8 visualisierte neue St. Galler Management-Modell setzt die (dort hervorgehobenen) Elemente miteinander in Verbindung. Eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Modell erfolgt hier nicht, jedoch wird auf die für diese Arbeit bedeutendsten Aspekte eingegangen.

⁴ Vgl. [65] Rüegg-Stürm. „Das neue St. Galler Management-Modell“. 2009, S. 68-69.

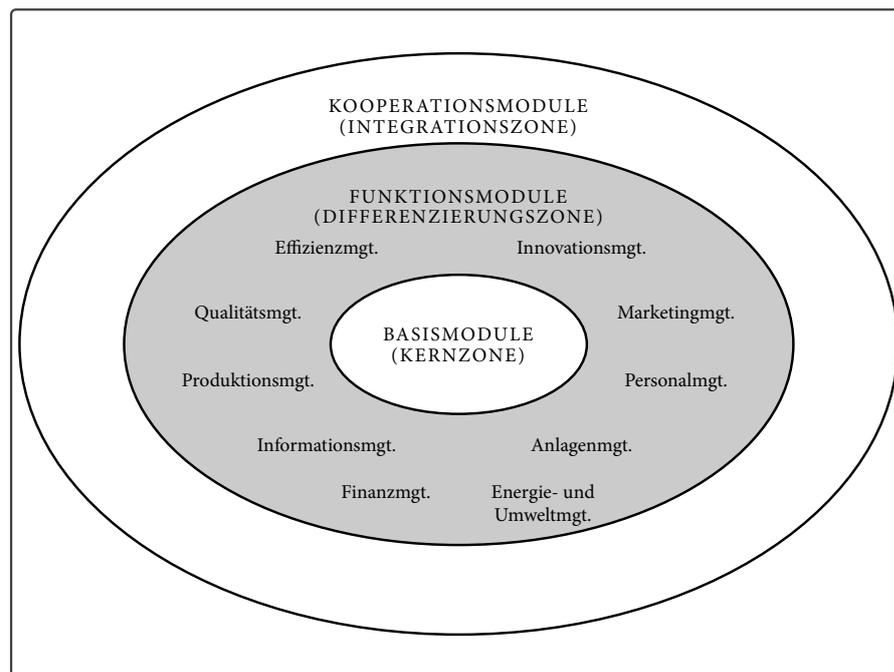


Abbildung 7: Das Grazer Modell für industrielles Management. Dargestellt sind die Funktionsmodule, welche der Differenzierungszone zugeordnet sind.

In Anlehnung an: [86] Wohinz. *Industrielles Management*. 2003, S. 43

Strategie

Strategie als Aufgabenbereich des strategischen Managements muss folgende inhaltliche Fragen behandeln:⁵

ANSPRUCHSGRUPPEN: Wer sind diese und was sind ihre Anliegen und Bedürfnisse, derer sich das eigene Unternehmen annimmt? Augenmerk auf Zielgruppen, Zielmärkte und geeignete Kommunikationsformen.

LEISTUNGSANGEBOT: Welcher Kundennutzen soll mit den eigenen Angeboten erzielt werden?

⁵ Vgl. [65] Rüegg-Stürm. „Das neue St. Galler Management-Modell“. 2009, S. 84.

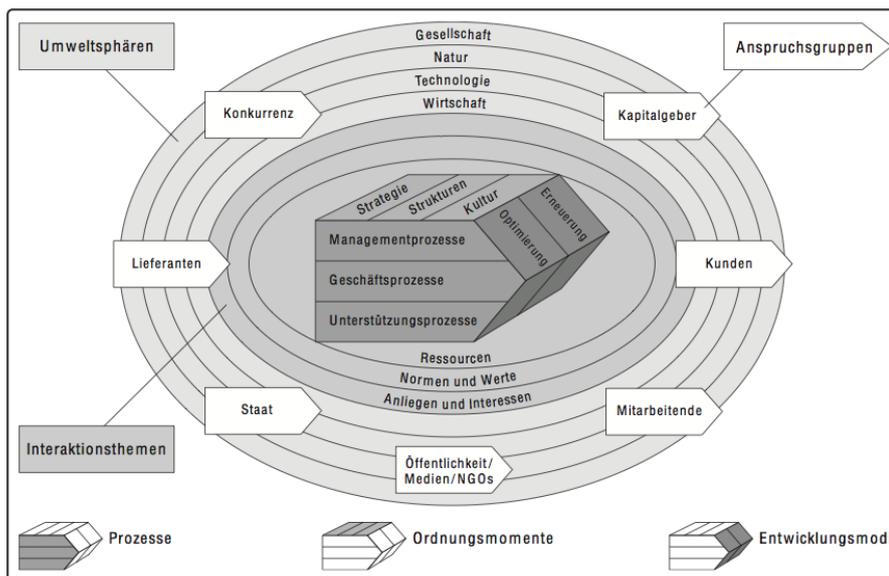


Abbildung 8: Ordnungsrahmen des Innovationsmanagements im neuen St. Galler Management-Modell. Es werden interne wie externe Einflussgrößen gezeigt und der Industriebetrieb mit seinen Prozessen im Kontext seines Umfeldes betrachtet.

[65] Rüegg-Stürm. „Das neue St. Galler Management-Modell“. 2009, S. 70

FOKUS DER WERTSCHÖPFUNG: Wenn man die gesamte Wertschöpfungskette betrachtet: Welche Teilleistungen bietet die eigene Unternehmung an?

KOOPERATION: Mit welchen Partnerunternehmen kann in welchen Bereichen kooperiert werden?

KERNKOMPETENZEN: Welches Kompetenzprofil hat das Unternehmen? Wo müssen Fähigkeiten aufgebaut oder zugekauft werden, um langfristig einzigartigen Kundennutzen zu generieren?

Leistungsinnovation

Innovationen im engeren Sinne werden im St. Galler Modell in den Geschäftsprozessen (Leistungsinnovationsprozesse) abgebildet (siehe

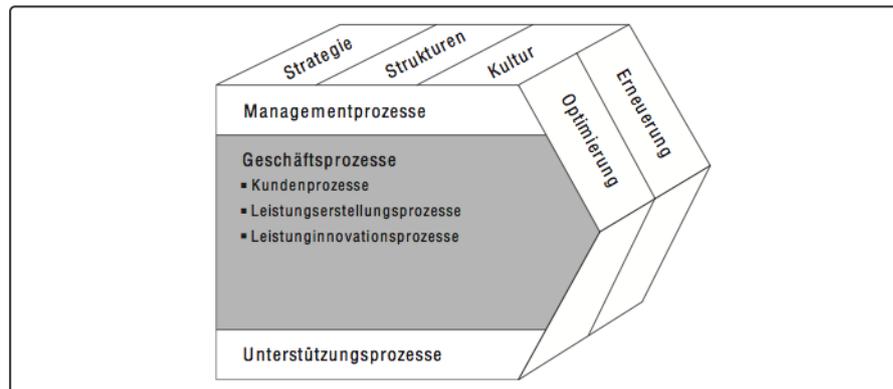


Abbildung 9: Geschäftsprozesse im neuen St. Galler Management-Modell
 [65] Rüegg-Stürm. „Das neue St. Galler Management-Modell“. 2009, S. 116

Abbildung 9). Dabei stehen Produktinnovationen im Vordergrund.⁶

2.2 INNOVATIONSMANAGEMENT

Innovationen zielen darauf ab, Kundenwünsche besser oder effizienter bedienen zu können als die Konkurrenz um wettbewerbsfähig zu sein. Daher ist es unerlässlich, die Erhöhung des Kundennutzens als zentralen Faktor zu sehen und den Erfolg der Innovationstätigkeit aus Kundensicht zu bewerten. Dafür müssen die Kundenbedürfnisse natürlich bestens bekannt sein. Die Ausgestaltung der Innovationsprozesse wird unternehmensspezifisch stark variieren, da jedes Unternehmen abhängig von der Wettbewerbsstrategie individuelle Innovationsziele erreichen möchte. Festlegung einer geeigneten Innovationsstrategie ist die Hauptaufgabe des Innovationsmanagements. Abbildung 10 zeigt die wesentlichen Möglichkeiten, wie eine Innovationsstrategie gewählt werden kann.⁷

⁶ [65] Rüegg-Stürm. „Das neue St. Galler Management-Modell“. 2009, S. 116.

⁷ [69] Schuh. *Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Management* 3. 2012, S. 4–20.

Zeitpunkt- wahl	Technologie- beschaffung	Technologie- verwertung	Innovations- impuls
Führerschafts- Strategie	Strategie der Eigenerstellung	Strategie der Eigennutzung	Market-Pull- Strategie
Folgerschafts- strategie • Fast Follower • Late Follower • Non Follower	Kooperative F&E • Know-how Transfer • Koordinierte Einzelforschung • Gemeinschaftsforschung • Unternehmensbeteiligung	Kooperative Verwertung <i>Gemeinsame Verwertung ohne Kapitalbindung</i> • Virtuelles Unternehmen • Strategische Allianz <i>Gemeinsame Verwertung mit Kapitalbindung</i> • Joint Venture • Ausgründung (Spin Off) • Unternehmensbeteiligung	Technology- Push-Strategie
	Akquisitionsstrategie • Vertragsforschung und -entwicklung • Lizenznahme • Kauf von Schutzrechten • Technologiekauf	Vermarktungsstrategie • Vertragsforschung und -entwicklung • Lizenzvergabe • Verkauf von Schutzrechten • Technologieverkauf	

Abbildung 10: Einteilung generischer Innovationsstrategien in Kategorien
[69] Schuh. *Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Mana-
gement* 3. 2012, S. 20

Die Wahl der bestmöglichen Strategie muss natürlich auch die mögliche Entwicklung der Branche berücksichtigen. Eine bekannte und verbreitete Hypothese ist in Abbildung 11 angegeben; sie ist aber nicht als Gesetzmäßigkeit zu sehen, sondern kann in Bezug auf Verlauf der Kurve und Dauer der Phasen von Produkt zu Produkt (bzw. von Branche zu Branche) deutlich differieren. Zu den unterschiedlichen Phasen der Branchenentwicklung gibt M. E. Porter Folgerungen für die Strategie an, für welche weiterführend auf die vermerkte Literatur (und im Speziellen auf Abschnitt 6.3) verwiesen wird.⁸

2.3 MARKETINGMANAGEMENT

Marketing ist ein Bereich des betrieblichen Managements, der sich in seiner Definition und Methodik fortlaufend gewandelt hat. In H. Mef-

⁸ Vgl. [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 214–220.

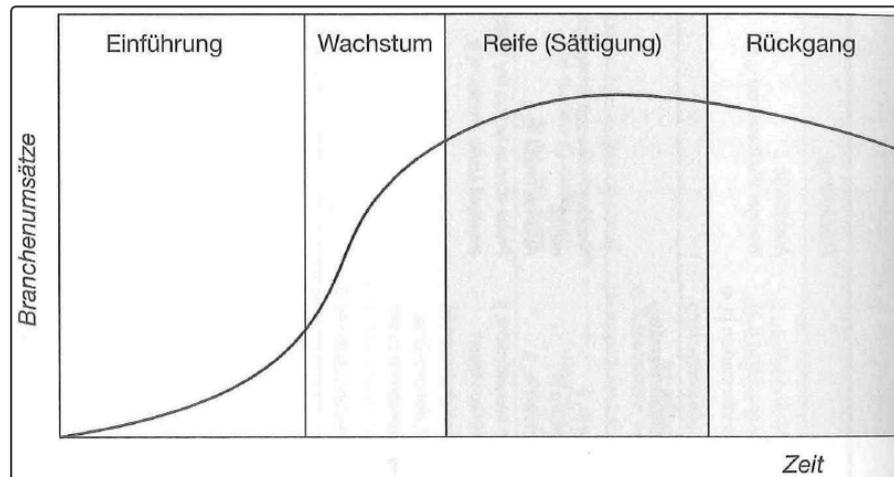


Abbildung 11: Produktlebenszyklus
 [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 220

ferts *Marketing*⁹ werden drei Prinzipien zum Verständnis des Marketing-Begriffes genannt:

- I. Vollständige Ausrichtung aller Anstrengungen des Unternehmens auf die Kundenbedürfnisse.
- II. Erzielen von Wettbewerbsvorteilen durch Marktbeeinflussung.
- III. Anwenden von Marketingmethoden als Entscheidungsgrundlage.

Für weitere Ausführungen wird auf Kapitel 4 sowie die angegebene Fachliteratur verwiesen.

⁹ Vgl. [46] Meffert. *Marketing*. 2000, S. 4.

TECHNISCHE GRUNDLAGEN

3.1 ÜBERSICHT VERSCHIEDENER ANTRIEBSKONZEPTE UND IHRER APPLIKATIONEN

Zum Antrieb von Schiffen, Lokomotiven und anderen großen selbstfahrenden Maschinen gibt es eine Vielzahl von Antriebskonzepten. Hier wird ein Überblick über die bedeutendsten dieser Konzepte angegeben. Viele dieser Lösungen sind aus heutiger Sicht veraltet, überholt oder unwirtschaftlich, doch könnten einige davon durch veränderte Rahmenbedingungen zukünftig an Bedeutung gewinnen.

3.1.1 *Windkraft*

Segel zur Nutzung der Windkraft als Schiffsantrieb wurden nachweislich erstmals um 5000 v. Chr. eingesetzt. Bis sich die Dampfmaschine als Schiffsantrieb im 19. Jh. durchsetzte, dominierten die Segelschiffe (abgesehen von Ruderschiffen in der Antike und im Mittelalter).¹

Ein modernerer Versuch, die Kraft des Windes zu nutzen, führte bis 1920 zum Bau der *BUCKAU* (siehe Abbildung 12), einem Rotorschiff, das durch den sog. *Magnus*-Effekt beschleunigt wurde. Ein 33 kW-Dieselmotor versorgte die Gleichstrommotoren für die Bewegung der Rotoren. Mit reinem Rotor-Antrieb erreichte die *BUCKAU* 7,8 kn. Obwohl diese Antriebsart einige Vorteile (z. B. „Rückwärtssegeln“, hohe Manövrierfähigkeit und ausgezeichnete Seefähigkeit auch bei

*Segel und
Flettner-Rotor*

¹ Vgl. [17] Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 1, S. 9–13.



Abbildung 12: „Kiel. Das neue Windkraftschiff.“ Das von dem bekannten Ingenieur Anton Flettner erfundene Windkraftschiff, welches eine ungeheure Brennstoff-Ersparnis ermöglicht, bei einer Probefahrt in der Ostsee.

[100] Bundesarchiv. *Bild 102-00814*. 1924

Schlechtwetter) hatte, gab es bisher nur wenige Schiffe mit diesem Konzept.²

In einer neueren Veröffentlichung der University of Southampton wird gezeigt, dass man auch heutzutage Windkraft sinnvoll als Ergänzung in der kommerziellen Schifffahrt einsetzen kann: Mit einem Multi-Wing-System und verschiedenen Optimierungen an Konstruktion und Betrieb könnten signifikante Kosteneinsparungen (bis zu 33%) und CO₂-Emissionsreduktion (bis zu 42%) erzielt werden.³

3.1.2 Dampfmotoren

Die Kolbendampfmotoren waren von etwa 1800 bis 1950 – anfangs noch kombiniert mit Segeln zur Redundanz – die am weitesten verbreitete und lange Zeit konkurrenzlose Antriebsmethode für Schiffe. Erst ab der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden mehr Schiffe

² Vgl. [17] Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 2, S. 63 f., 246.

³ Vgl. [9] Burden u. a. *Concept design of a fast sail assisted feeder container ship*. 2010.

mit Dieselmotoren ausgestattet. Die Dampfmaschine wurde von Arbeit bei atmosphärischem Druck hin zu Hochdruck entwickelt und nachdem anfangs Kohle verbrannt wurde, betrieb man spätere Schiffe mit Ölfeuerung. Durch den Einsatz von mehreren Zylindern zur Expansion des Dampfes konnte weiterhin der Wirkungsgrad deutlich verbessert werden.⁴

3.1.3 Dampfturbinen

Dampfturbinen wurden erstmals auf dem Versuchsschiff *TURBINIA* 1894 eingesetzt, das sogleich seine Überlegenheit durch eine Geschwindigkeit von über 34 kn unter Beweis stellte – bis dahin waren nicht mehr als 30 kn für dampfgetriebene Schiffe üblich.⁵

Zum Antrieb von Lokomotiven wurden Dampfturbinen nur versuchsweise eingesetzt. Die optimale Betriebsweise von Dampfturbinen korreliert kaum mit den Einsatzprofilen von Lokomotiven und elektrische Kraftübertragung als Ausgleich hätte mehr Raum- und Wartungsbedarf bedeutet. Aufgrund der raschen Verbreitung der Diesellokomotiven wurde dieses Konzept nicht weiterverfolgt.⁶

NUKLEARE DAMPFERZEUGUNGSANLAGEN kommen in der Schifffahrt bei U-Booten, großen Überwasserkriegsschiffen und Eisbrechern zum Einsatz. Kernenergie-Frachtschiffe wurden bisher nur versuchsweise gebaut, da Aspekten wie der Reaktor- und Umweltsicherheit, der Entsorgung der Brennstoffe und den Bauraumanforderungen eine noch größere Bedeutung zukommen. Zum Einsatz kommen meist Druckwasserreaktoren, deren sekundärer Wasserkreislauf Dampfturbinen antreibt. Es gibt nur wenige zivile Schiffe mit Kernreaktoren.

*Kernenergie als
Schiffsantrieb*

4 Vgl. [17] Dudsus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 2, S. 82 f.

5 Vgl. ebd., Teil 2, S. 284.

6 Vgl. [5] Bauer. *Gescheiterte Innovationen. Fehlschläge und technologischer Wandel*. 2006, S. 146.

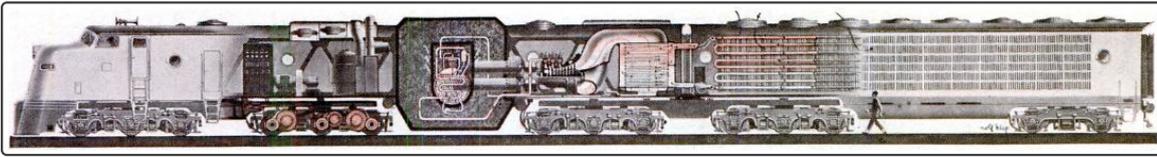


Abbildung 13: Zeichnung der Lokomotive X-12. Zwischen zweitem und drittem Drehgestell ist die Reaktorkammer zu sehen; dahinter befindet sich der Kondensator. Der nachlaufende Radiatorentender sorgt für ausreichende Kühlung.

[76] Time Inc. „The atomic locomotive“. 21. Juni 1954, S. 79

Dazu zählt die sowjetische bzw. russische Atom-Eisbrecherflotte, sowie vier Frachtschiffe.⁷

In den USA wurde in den 1950er Jahren am Konzept einer nuklear angetriebenen Lokomotive gearbeitet. Die X-12 (siehe Abbildung 13) hätte monatelang mit einer „Tankfüllung“ ^{235}U fahren können und schwere Güterzüge mit ihren 7.000 PS gezogen. Aufgrund der hohen Kosten und der schwierigen Wartung der radioaktiv belasteten Turbinen war das Projekt allerdings zum Scheitern verurteilt.⁸

3.1.4 Verbrennungsmotoren

Durch die Entwicklung des Dieselmotors gegen Ende des 19. Jahrhunderts wurde ein wichtiger Meilenstein für die Schifffahrt gelegt. 1903 wurden in St. Petersburg die ersten größeren Schiffe mit Dieselmotor gebaut, die zugleich auch die ersten mit dieselektrischem Antrieb waren. Ab etwa 1912 war klar, dass der Dieselmotor den Dampfmaschinen und -turbinen bald überlegen sein würde. Höherer Wirkungsgrad, geringerer Raum- und Personalbedarf, saubere und einfache Tankvorgänge sowie die kurzfristige Betriebsbereitschaft sorgten für seinen Siegeszug.⁹

*Siegeszug der
Hubkolbenmotoren*

⁷ Vgl. [17] Dudzus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, S. 172 f.

⁸ Vgl. [76] Time Inc. „The atomic locomotive“. 21. Juni 1954.

⁹ Vgl. [17] Dudzus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 2, S. 87 f.

Gasmotoren wurden anfangs nach dem OTTO-Prinzip betrieben, erreichten aber nur geringe Leistungen.¹⁰ In letzter Zeit werden für den Gasbetrieb modifizierte Dieselmotoren immer gebräuchlicher, meist mit *Dual-Fuel*-Kapazität, z. B. bei LNG-Tankern, denen man ein großes Potential zuspricht.¹¹

Gasbetrieb

3.1.5 Gasturbinen

Eine Gasturbine wurde erstmals 1943 auf einem Schiff installiert. Die ersten Turbinen stammten alle von Flugzeugen und wurden für den Betrieb mit MGO oder MDO statt Kerosin umgerüstet. Für die Marine sind das geringe Leistungsgewicht und die schnelle Bereitschaft des Antriebs vorteilhaft, so dass trotz des hohen spezifischen Brennstoffverbrauchs leichte, von Flugtriebwerken abgeleitete Gasturbinen vielfach auf Kriegsschiffen zum Einsatz kommen. Die schweren, aus Kraftwerksturbinen entwickelten Gasturbinen für die kommerzielle Schifffahrt sind nur vereinzelt anzutreffen.¹²

Gasturbinen-Experimente

Die FINNJET war eines von wenigen Gasturbinen-Fahrgastschiffen. Die zwei Gasturbinen mit je 37.500 PS beschleunigten das Schiff auf 30,5 Knoten (kn). Da steigende Treibstoffpreise den Betrieb unwirtschaftlich machten, wurden jedoch Dieselmotoren nachgerüstet.¹³

Gasturbinenschiffe

In der Eisenbahnwelt waren Gasturbinen bisher ebenfalls nur wenig erfolgreich. So ließ z. B. die Deutsche Bundesbahn (DB) ab 1969 acht Diesellokomotiven mit Gasturbine (Baureihe 210) bauen, um eine Leistungssteigerung in ihrer V160-Lokomotivfamilie zu ermöglichen. Man erwartete sich durch die zugeschaltete Turbine Vorteile beim Beschleunigen und bei Bergfahrten und konnte Teillasten allein mit dem Dieselmotor bewältigen. Im Vergleich zur baugleichen Baureihe 218 ohne Gasturbine, der bis heute am weitesten verbreiteten

Gasturbinenlokomotiven

¹⁰ Vgl. ebd., Teil 2, S. 139.

¹¹ Vgl. z. B. [68] Schiff & Hafen. „Premiere für Zweitakt-Gasmotor“. 2011.

¹² Vgl. [17] Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 2, S. 140f.

¹³ Vgl. ebd., Teil 2, S. 125.

Streckendiesellokomotive der DB, konnte man folgende Werte ermitteln:¹⁴

*Vorteile der
Gasturbinen
gegenüber
Dieselmotoren*

- 50% höhere Leistung
- 32% höherer Beschaffungspreis
- 50% höherer Treibstoffverbrauch
- 50% höherer Wartungsaufwand
- 2% höheres Dienstgewicht

Obwohl bei höherem Leistungsbedarf deutlich die Vorteile der Baureihe 210 gegenüber einer Doppeltraktion der Baureihe 218 zu erkennen sind, waren die Lokomotiven aufgrund von häufigen Turbinenschäden insgesamt unwirtschaftlich.¹⁵

3.1.6 *Rein elektrischer Antrieb*

„Green Shipping“

Wasserfahrzeuge mit elektrischem Antrieb gibt es schon seit über hundert Jahren. Aufgrund mangelnder Energiespeichermöglichkeiten in einem Umfang, wie er für die kommerzielle Schifffahrt notwendig wäre, hat es jedoch nur einzelne Umsetzungen gegeben.¹⁶ 2015 soll in Norwegen eine von Siemens entwickelte vollelektrische Fähre (Abbildung 14) in Dienst gestellt werden, die 34 mal täglich zwischen Lavik und Oppedal pendeln soll. Zwei 450 kW-Elektromotoren, die aus insgesamt 1.000 kWh großen Lithium-Ionen-Akkus gespeist werden, sollen 360 Passagiere und 120 PKW bewegen. Nach Bewältigung der sechs Kilometer langen Strecke wird die Fähre am jeweiligen Hafen etwa zehn Minuten lang aufgeladen, bis das Be- und Entladen der Autos abgeschlossen ist.¹⁷

¹⁴ Vgl. [43] Maier. *Die Diesellokomotiven bei der DB*. 1988, S. 96 f., 152.

¹⁵ Vgl. ebd., S. 152.

¹⁶ Vgl. z. B. [48] Meyer. „Der elektrische Schiffszug“. 1908.

¹⁷ Vgl. [152] Siemens. *Schwimmende Stromer*. 2013.



Abbildung 14: Elektrofähre mit von Siemens entwickeltem Antrieb
[152] Siemens. *Schwimmende Stromer*. 2013

Siemens hatte auch schon früher (1886) ein Wassertaxi für die Spree in Berlin als Elektroschiff gebaut und versuchte sich an Akkumulatorschiffen (1911) und Brennstoffzellenbooten (1965).¹⁸

3.1.7 Kombinierte Antriebe

Antriebskonzepte, die mehrere, teils verschiedene Antriebsaggregate kombinieren, kommen vorrangig bei Kriegsschiffen, jedoch auch bei anderen Hochleistungsschiffen, wie z. B. Eisbrechern oder schnellen Fähren, zum Einsatz.¹⁹

Abgesehen von der Redundanz bei unabhängig zuschaltbaren Aggregaten bieten sich weitere Vorteile: So können z. B. Gasturbinen hohe Leistungen für Spitzengeschwindigkeiten bereitstellen, während zum Anfahren oder bei Langsamfahrten sparsamere Dieselmotoren den Antrieb übernehmen (*Combined diesel or gas propulsion (CODOG)*).²⁰

CODOG und andere

¹⁸ Vgl. ebd.

¹⁹ Vgl. [17] Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 3, S. 14–43.

²⁰ Vgl. [66] Saarlás. *Steam and Gas Turbines for Marine Propulsion*. 2003, S. 222–234; und [17] Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 2, S. 140.

3.2 HYBRIDANTRIEBE

Hybridantriebe sind heute meist aus der Welt der PKW bekannt. Der Aufbau und die Funktionsweise eines Großmotor-Hybridsystems, auf die in diesem Abschnitt eingegangen wird, sind aber sehr ähnlich.

3.2.1 Überblick und Struktur

Hybrid-PKW

Ein Hybridantrieb besteht aus zumindest zwei Energieumwandlern und Energiespeichern, die elektrisch, chemisch oder mechanisch sein können. Hybridantriebe nach heutigem Verständnis bestehen in der Regel aus Verbrennungskraftmaschine, Elektromotor und Generator, Batterie und Getriebe. Sie lassen sich anhand der Konfiguration dieser Komponenten in verschiedene Kategorien einteilen, die in Abbildung 15 für PKW dargestellt sind. Ihre Merkmale und Funktionsmöglichkeiten sind in Abbildung 16 zu sehen. Hybridantriebe sind keinesfalls neu. Ferdinand Porsche entwickelte bereits 1899 in der k. u. k. Hofwagenfabrik Lohner u. Co. ein transmissionsloses serielles Hybridfahrzeug mit etwa 50 km elektrischer Reichweite.²¹

3.2.2 Großmotor-Hybridsysteme

Den prinzipiellen Aufbau eines GRM-Hybridsystems zeigt Abbildung 17 am Beispiel einer Yacht mit der zusätzlichen Möglichkeit einer externen Batterieladung durch *Shorepower* und Photovoltaikzellen.

3.2.3 Vorteile der Hybridisierung

ELEKTRISCHES FAHREN Ein Hybridsystem bietet die Möglichkeit, rein elektrisch im Batteriebetrieb bei entkoppeltem Verbrennungsmo-

²¹ Vgl. [33] Hofmann. *Hybridfahrzeuge*. 2010, S. 2–17.

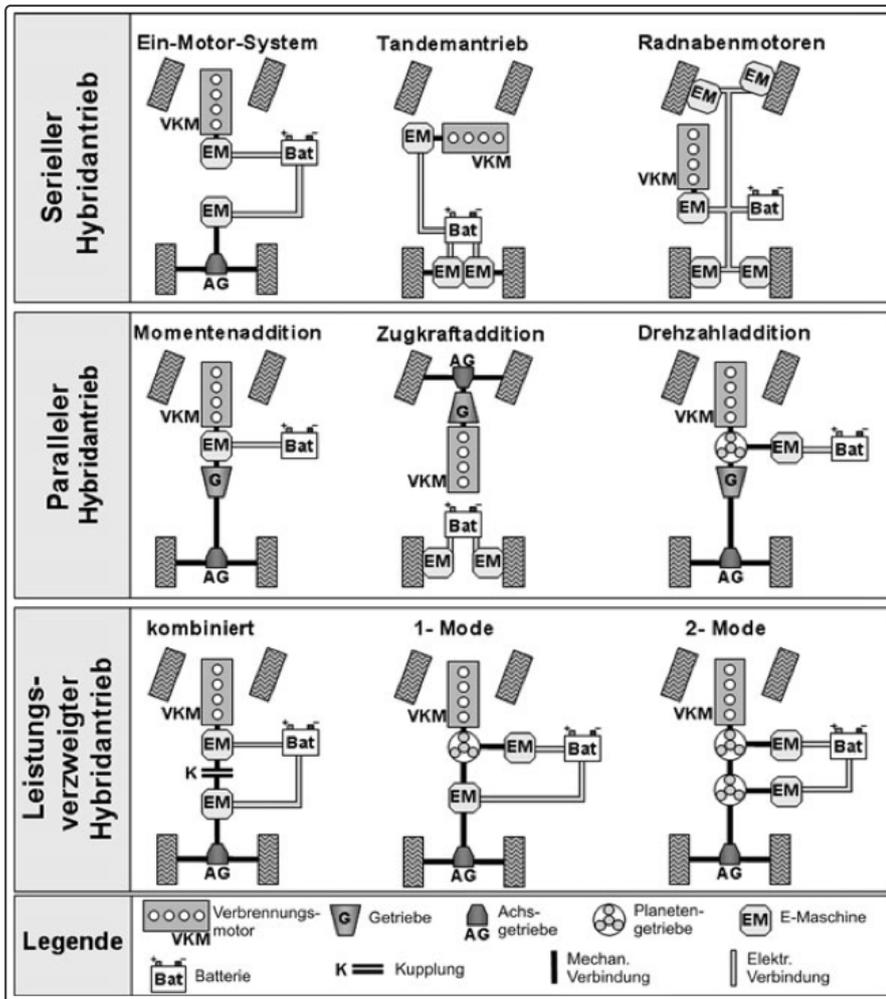


Abbildung 15: Hybridvarianten bei PKW

[33] Hofmann. *Hybridfahrzeuge*. 2010, S. 17

Funktionen und Nutzen	Micro-Hybrid	Mild-Hybrid	Full-Hybrid	Plug-In-Hybrid
Konstruktive Merkmale	Leistungsfähiger Anlasser und regelbarer Generator oder Riemenstarter-Generator	Kurbelwellen-Starter-Generator (KSG)	Trennkupplung zum Verbrennungsmotor oder mehrere E-Maschinen	Elektroantrieb mit Verbrennungsmotor als Range Extender
Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> • Start/Stop • Eingeschränkt Rekuperation 	<ul style="list-style-type: none"> • Start/Stop • Rekuperation • Boosten • Generatorbetrieb • Eingeschränkt E-Fahren bei niedrigen Geschw. 	<ul style="list-style-type: none"> • Start/Stop • Rekuperation • Boosten • Generatorbetrieb • E-Fahren für kurze Reichweiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Start/Stop • Rekuperation • Boosten • Generatorbetrieb • E-Fahren für mittlere Reichweiten • Ext. Nachladung

Abbildung 16: Merkmale von Hybridvarianten
 [33] Hofmann. *Hybridfahrzeuge*. 2010, S. 19

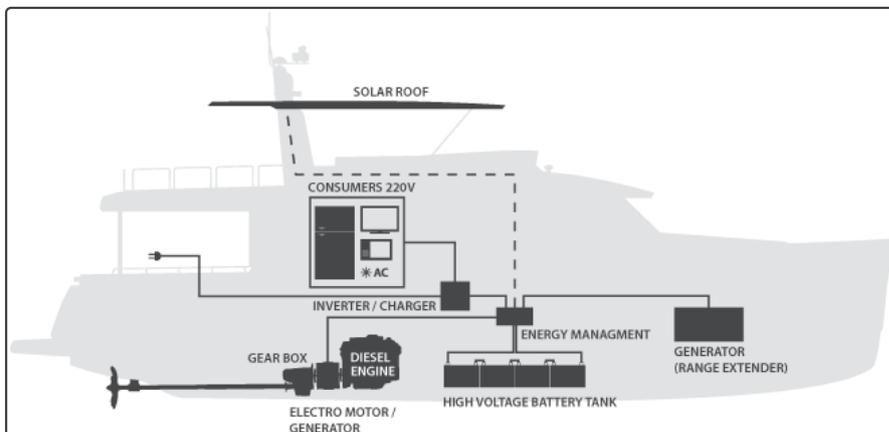


Abbildung 17: Hybridsystem der OCEANCLASS-Yachten
 [149] Seaway Yachts d.o.o. *OceanClass 70 Hybrid Technology*. 2014

tor zu fahren, wodurch weder Geräusch- noch Schadstoffemissionen anfallen. Aufgrund der begrenzten Kapazität der Batterie ist dies zwar nur auf kurzen Strecken möglich, ist aber besonders beim Anfahren oder im unteren Geschwindigkeitsbereich ein großer Vorteil.²² Außerdem kann so z. B. emissionslos im Hafen manövriert werden oder eine Rangierlokomotive einen Gleiswechsel elektrisch vornehmen.

BOOSTEN Bei Parallelhybriden kann der Elektromotor zusätzliche Antriebsleistung, z. B. für schnelleres Beschleunigen oder Bewältigung von Steigungen, liefern („Boosten“).²³

OPTIMIERUNG DES VERBRENNUNGSMOTOREINSATZES Durch die elektrische Fortbewegung kann der Verbrennungsmotor im ineffizienten unteren Lastbereich abgeschaltet werden. Im mittleren Teillastbereich kann nebenbei die Batterie aufgeladen werden, was den Lastpunkt in Richtung Optimum verschiebt.²⁴

*Betriebsmodi von
Hybridantrieben*

START-STOPP-FUNKTION Zur Bordenergieversorgung muss bei den typischen GRM-Applikationen ein Hilfsmotor laufen. Bei Lokomotiven ist wie bei PKW meist nur eine Hauptmaschine vorhanden, so dass die benötigte Leistung immer von dieser geliefert wird und diese auch im Stillstand laufen muss.²⁵ Eine ausreichend große Batterie im Hybridsystem könnte diesen unwirtschaftlichen Betrieb obsolet machen, indem sie die Bordversorgung während kürzerer Stillstände sicherstellt.

REKUPERATION Hybridfahrzeuge bieten durch das Vorhandensein eines Elektromotors die Möglichkeit, diesen auch generatorisch als

²² Vgl. [56] Reif, Noreikat und Borgeest. *Kraftfahrzeug-Hybridantriebe*. 2012, S. 17–21.

²³ Vgl. ebd., S. 23.

²⁴ Vgl. ebd., S. 21 ff.

²⁵ Vgl. ebd., S. 24.

Bremse zu nutzen, um somit kinetische Energie wieder der Batterie zuzuführen. Da der Generator eine Lastbergrenze hat und für den Fall, dass die Batterie bereits voll aufgeladen ist, muss allerdings trotzdem eine konventionelle mechanische Bremsanlage vorhanden sein. Abbildung 18 zeigt vergleichsweise zwei PKW-Fahrzyklen. Auffallend ist, dass im Stadtzyklus die Generatorbremse meist ausreicht, während im Überlandzyklus, wo höhere Geschwindigkeiten reduziert werden müssen, die mechanische Bremsanlage deutlich größere Leistung erbringen muss. Im Stadtzyklus kann fast die gesamte Bremsleistung rekuperiert werden (siehe Tabelle 1).²⁶

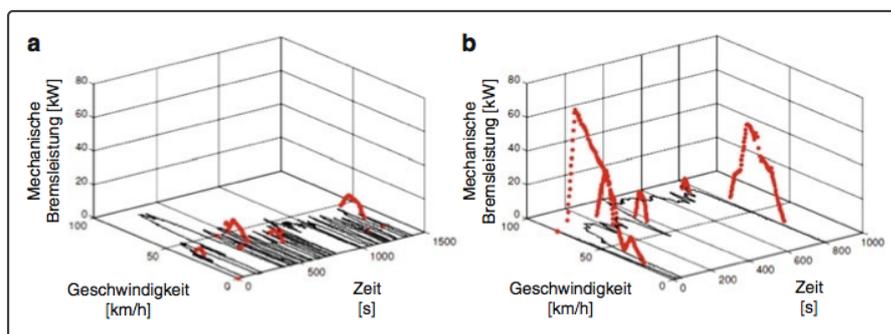


Abbildung 18: Geschwindigkeitsprofil und mechanische Bremsleistung eines Vollhybriden. Fahrzeuggewicht: 2.000 kg. *a* Stadtzyklus US-City, *b* Überlandzyklus US-Highway
[56] Reif, Noreikat und Borgeest. *Kraftfahrzeug-Hybridantriebe*. 2012, S. 21

3.3 VERBRENNUNG UND BRENNSTOFFE

Verbrennungs- bzw. Wärmekraftmaschinen können mit einer Vielzahl von verschiedenen Kraftstoffen betrieben werden. Es überwiegen dabei jedoch deutlich auf Erdöl basierenden Flüssig-Kraftstoffe, wie Benzin oder Diesel. Das geförderte Rohöl enthält hauptsächlich

²⁶ Vgl. [56] Reif, Noreikat und Borgeest. *Kraftfahrzeug-Hybridantriebe*. 2012, S. 17.

Tabelle 1: Energieumsatz und Bremsenergieerückgewinnung in den Fahrzyklen aus Abbildung 18

In Anlehnung an [56] Reif, Noreikat und Borgeest. *Kraftfahrzeug-Hybridantriebe*. 2012, S. 21

	CITY (kJ)	HIGHWAY (kJ)
Energieumsatz Vortrieb	9.819	11.622
Energieumsatz Bremsen	2.560	1.450
Energieumsatz Radbremse	60	700
Energieumsatz Generator	2.500	750
Anteil rekuperierte Bremsenergie	97,7%	51,7%

unterschiedliche Kohlenwasserstoffmoleküle, jedoch auch weitere Verbindungen mit Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel u. a.²⁷

Grundsätzlich erfolgt in Wärmekraftmaschinen eine Umwandlung chemischer Energie des Brennstoffs durch Verbrennung in Wärme, die ihrerseits im Rahmen eines *Kreisprozesses* zum Teil in mechanische Arbeit umgesetzt werden kann.

*Kreisprozess der
Verbrennung*

Die Verbrennung erfolgt je nach Art der Verbrennungskraftmaschine unterschiedlich.

3.3.1 Äußere Verbrennung

Kraftmaschinen mit äußerer Verbrennung (Wärmekraftmaschinen im engeren Sinn) sind z. B. der *Stirlingmotor*, die *Dampfmaschine* oder die *Dampfturbine*. Sie haben unter verschiedenen Gesichtspunkten Vor- und Nachteile gegenüber Motoren mit interner Verbrennung. Vorteilhaft sind die potentiell schadstoffarme, vom Arbeitsprozess „entkoppelte und kontinuierliche“ Verbrennung und der mögliche Einsatz von Brennstoffen, die bei einem internen Verbrennungsmotor nicht

²⁷ Vgl. [75] Taylor. *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice Volume 2 : Combustion, Fuels, Materials, and Design*. 1985, S. 119–122.

Arten von Verbrennungskraftmaschinen

zur Anwendung kommen könnten. Negativ sind der geringe Wirkungsgrad aufgrund der kontinuierlichen Wärmebelastung der gesamten Maschine sowie das instationäre, träge Verhalten. Am verbreitetsten sind Kohle- und Ölfeuerung zur Wärmeerzeugung; es können aber auch Prozesswärme oder beispielsweise die Abwärme eines Kernreaktors genutzt werden.²⁸

3.3.2 Innere Verbrennung

Innere Verbrennung findet man bei Hubkolbenmotoren oder Gasturbinen. Motoren mit interner Verbrennung arbeiten entweder nach dem OTTO- oder dem DIESEL-Prinzip. Näheres dazu in den Abschnitten 3.4.1 und 3.4.2.

3.3.3 Marine-Brennstoffe

Für Marine-Applikationen gibt es eigene Brennstoffe, die sich vom geläufigen Diesel unterscheiden:

HFO/MFO

Schweröl

Heavy Fuel Oil (HFO) oder *Marine Fuel Oil* (MFO), auch *Bunker C* genannt, ist Schweröl, das als Rückstand der Destillation anfällt. Es ist sehr viskos und muss vor der Verbrennung auf über 100°C aufgeheizt werden. Mit einem Schwefelgehalt von bis zu 4,5% Massenanteil und Metallanteilen ist HFO ein sehr schmutziger Kraftstoff.²⁹

²⁸ Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 743; [17] Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, Teil 2, S. 82 f., 172 f.

²⁹ Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 18 f.

MGO/MDO

Marine Gasoil (MGO) und *Marine Diesel Oil* (MDO) unterscheiden sich in der Viskosität und sind vergleichbar mit Diesel. Sie haben normalerweise einen geringeren Schwefelgehalt als HFO.³⁰

Schiffsdiesel

3.3.4 Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe

Um die Frage der zukünftigen Antriebstechnologien zu klären, ist es essentiell, die Verfügbarkeit der Brennstoffe zu betrachten. Aufgrund der immer stärker werdenden Energienachfrage wird es zunehmend schwieriger den Bedarf zu bedienen. Eine Schlüsselrolle nimmt dabei Erdgas ein, dessen Nachfrage um ca. 2% jährlich wachsen wird und 2035 etwa 5,1 Billionen Kubikmeter erreichen wird. Die Schätzungen der vorhandenen Erdgasressourcen wurden bereits mehrmals nach oben korrigiert und liegen derzeit bei etwa 790 Billionen Kubikmeter, die bei derzeitigem Verbrauch für 230 Jahre (inklusive der Schiefergasvorkommen) genügen würden.³¹

Erdgasreserven

Die Ausweitung der Energieerzeugung durch Erdgas zulasten von Kohle und Erdöl hat auch gewisse ökologische Vorteile, zumal der Anteil von Wasserstoff zu Kohlenstoff bei Erdgas 2–4 mal höher ist, wodurch weniger Kohlenstoffdioxid (CO₂) je Energieeinheit generiert werden. Abbildung 19 verdeutlicht dies und zeigt auch, dass reiner Wasserstoff der ideale – da kohlenstofffreie – Brennstoff ist. Die Wasserstoffproduktion sowie die Synthese von Biokraftstoffen benötigen jedoch Energie, die ihrerseits meist aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammt.³²

³⁰ Vgl. ebd., S. 18.

³¹ Vgl. [36] International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. 2012, S. 125, 134; zit. in [83] Warnecke. „Influence of Future Fuels on the Development of the IC Engine“. 2013, S. 19.

³² Vgl. ebd., S. 18.

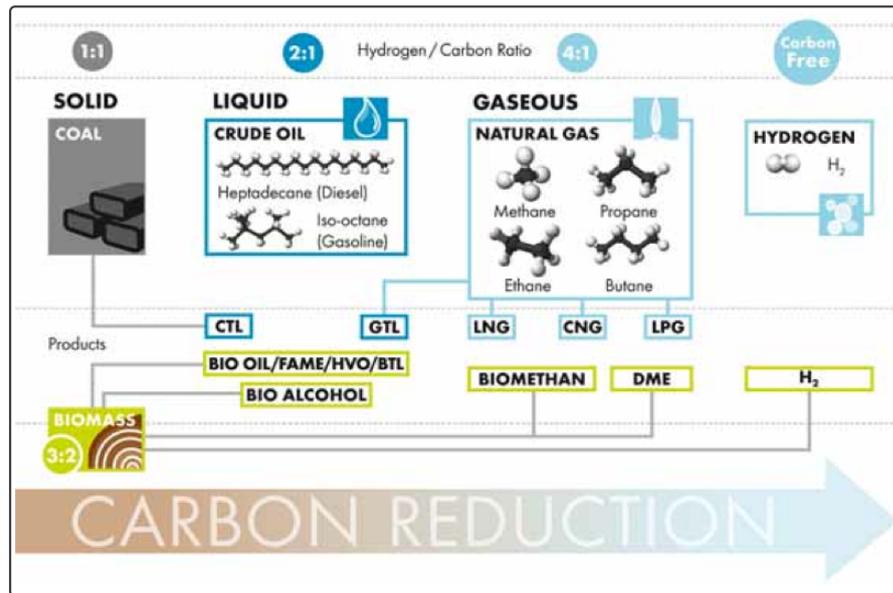


Abbildung 19: Übersicht verschiedener Treibstoffe

[83] Warnecke. „Influence of Future Fuels on the Development of the IC Engine“. 2013, S. 18

3.4 HUBKOLBENMOTOREN

Verbrennungsmotoren sind eine mittlerweile hoch entwickelte Technologie, die nach wie vor immer weiter optimiert und verbessert wird. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick über die wichtigsten Aspekte gegeben – für weitere Ausführungen sei auf die angeführte Fachliteratur verwiesen. Einführend vergleicht Tabelle 2 die wichtigen Parameter *Kraftstoffverbrauch* und *Wirkungsgrad* verschiedener Motorentypen und -baugrößen.

*Otto- und
Dieselmotoren*

3.4.1 Dieselmotoren

Dieselmotoren sind selbstzündende Motoren. Der Brennstoff wird in stark verdichtete, heiße Luft in der Regel kurz vor OT (Oberer Totpunkt) eingespritzt, wodurch sich das Gemisch von allein entzündet. Durch Variation der Einspritzmenge lässt sich die Motorlast regeln.

Tabelle 2: Spezifischer Kraftstoffverbrauch und Wirkungsgrad verschiedener Motorentypen. Erfahrungswerte im Bestpunkt
In Anlehnung an [4] Basshuysen und Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor*. 2002, S. 20

MOTORTYP	SPEZ. VERBRAUCH bis g/kWh	WIRKUNGSGRAD bis %
PKW-Ottomotor	250	35
PKW-Dieselmotor	240	35
PKW-Dieselmotor (TDI*)	200	42
LKW-Dieselmotor, aufgel.	190	45
Zweitakt-Großdiesel	156	54

*Turbo-Direkteinspritzer.

Abhängig vom Luftverhältnis bei der Verbrennung (λ), das bei Dieselmotoren in der Regel mager ist (Luftüberschuss, $\lambda > 1$), aber auch durch andere Faktoren beeinflusst entstehen bei der Verbrennung vorrangig Rußpartikel (*Particulate Matter* (PM)) und Stickstoffoxide (NO_x) als Schadstoffe.³³

Die Einspritzung erfolgt herkömmlicherweise mechanisch durch nockenbetätigte Ventile oder moderner durch elektrisch betätigte Injektoren mit sog *Sitzloch-* oder *Sacklochdüsen*. Elektrisch betätigte Injektoren kommen beim *Common-Rail*-Konzept zum Einsatz, bei denen ein Hochdruckspeicher vorliegt und die Einspritzung vollkommen frei gestaltet werden kann.³⁴

Einspritzung beim Dieselmotor

Die Brennstoffeinspritzung erfolgt heute meist direkt in den Brennraum (Kolbenmulde) meist bei Drücken bis zu 2.000 bar. Versuche der Raildruck-Erhöhung auf 2.400 bar zeigten, dass abhängig vom NO_x -Niveau ein Verbrauchsvorteil erzielt werden kann, eine weitere

³³ Vgl. [4] Basshuysen und Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor*. 2002, S. 508; [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 22.

³⁴ Vgl. ebd., S. 22–28.

Erhöhung auf 3.000 bar brachte jedoch nur noch geringe Verbesserungen.³⁵

Der Einspritzvorgang kann beeinflusst werden durch³⁶

- den ZEITPUNKT des Einspritzbeginns (ggf. mehrmals pro Arbeitsspiel) und die EINSPRITZDAUER,
- den zeitliche Verlauf der Kraftstoffzufuhr (EINSPRITZVERLAUF) und
- die Geometrie, die Anzahl und die Ausrichtung der DÜSEN.

Das durch die Einspritzung erzeugte Kraftstoff-Luft-Gemisch soll eine optimale Mikro- (örtliche Mischung) und Makrogemischbildung (Verteilung im Brennraum) aufweisen, wodurch Ziele wie Kraftstoffverbrauchs- und Abgasemissions-Minimierung erreicht werden sollen.³⁷ Die tatsächliche Gemischbildung wird v. a. von der Strömung im Zylinder beeinflusst. Die zwei Hauptströmungsmechanismen, die für die Gemischbildung förderlich sind, sind die Drallströmung (Rotation um Zylinderachse) und die Quetschströmung (Verdrängung durch sich hinauf bewegenden Kolben).³⁸

3.4.2 Ottomotoren

Beim Ottomotor muss das Brennstoff-Luft-Gemisch durch einen Zündfunken fremdgezündet werden. Kraftstoff und Luft können auf unterschiedliche Arten zusammengeführt werden:³⁹

35 Vgl. [21] Gerhardt u. a. „Beitrag des Einspritzsystems zur Absenkung der CO₂-Emission beim Nutzfahrzeug“. 2013, S. 56.

36 Nach [4] Basshuysen und Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor*. 2002, S. 504.

37 Vgl. ebd., S. 504.

38 Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 29.

39 Vgl. [4] Basshuysen und Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor*. 2002, S. 518.

- Bei der *Port Fuel Injection* (PFI) wird der Kraftstoff ins Saugrohr eingespritzt. Es wird annähernd ein homogenes Gemisch mit $\lambda = 1$ erreicht.
- Ein homogenes Gemisch wird auch bei der *Direct-Injection-Spark-Ignition* (DISI) erreicht, indem der Kraftstoff während der Ansaugphase direkt eingespritzt wird (DISI-homogen).
- Dagegen ergibt sich ein geschichtetes Gemisch durch Einspritzung am Ende der Verdichtung (DISI-geschichtet).

Einspritzung beim Otto-Motor

Bei der Verbrennung eines homogenen Gemisches wird zugunsten der Abgasnachbehandlung im Dreiwege-Katalysator (Oxidation von Kohlenstoffmonoxid (CO) und Kohlenwasserstoffen (HC) sowie Reduktion von NO_x zu Stickstoff (N_2), CO_2 und Wasser)⁴⁰ mit $\lambda = 1$ gearbeitet. Beim Schichtbrennverfahren, bei dem auch sehr magere Gemische verbrannt werden können, muss daher zusätzlich eine Nachbehandlung mittels Rauchgasentstickung (DeNO_x) erfolgen.⁴¹

Otto-Brennverfahren

Auch beim Ottomotor gibt es mit der *Controlled Auto Ignition* (CAI) oder der *Homogeneous Charge Compression Ignition* (HCCI) Selbstzündungs-Brennverfahren. Sorgt man durch geeignete Ventilsteuerzeiten dafür, dass ausreichend heißes Restgas im Zylinder verbleibt, so erreicht man beim homogenen Gemisch mit $\lambda \leq 1$ Selbstzündungsverhalten. Die Restgasspeicherung kann mit *Combustion Chamber Recirculation* (CCR) oder *Exhaust Port Recirculation* (EPR) realisiert werden. Dabei treten geringere Spitzen- und Abgastemperaturen auf, es wird ein hoher Wirkungsgrad erreicht und die vergleichsweise niedrigen NO_x -Emissionen erfordern keine DeNO_x -Nachbehandlung. Diese Brennverfahren können jedoch nur im Teillastbereich eingesetzt werden.⁴²

Selbstzündungs-Brennverfahren beim Ottomotor

⁴⁰ Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 486.

⁴¹ Vgl. ebd., S. 60 f.

⁴² Vgl. ebd., S. 61, 70.

3.4.3 Großgasmotoren

Tabelle 3 zeigt verschiedenen Gasmotor-Konzepte. Während *Micro-Pilot*-Motoren nur geringe Mengen von Dieselzündöl in das Gas-Luft-Gemisch einspritzen, kann dieser Anteil bei *Dual-Fuel*-Motoren auf 100% erhöht werden.⁴³

Tabelle 3: Übersicht verschiedener Großgasmotor-Konzepte

In Anlehnung an [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 102

EINTEILUNG	BESCHREIBUNG	GEMISCH- BILDUNG	ZÜNDUNG
Gas-Ottomotor	Gasmotor mit Fremdzündung		SI
Diesel-Gasmotor	Dual-Fuel-Motoren*	außen	CI
	Micro-Pilot-Motoren*		CI
Gas-Dieselmotor	Gasmotor mit Selbstzündung	innen	CI, HCCI
	Gasmotor mit Selbstzündung*		CI

*Diesel-Zündstrahl

Bei Großgas-Ottomotoren kommen in der Regel zwei Konzepte zum Einhalten der Emissionsgrenzen (besonders NO_x) zum Einsatz:⁴⁴

STÖCHIOMETRISCHER BETRIEB ($\lambda = 1$) mit Dreiwege-Katalysator.

Nachteilig sind „die hohe thermische Bauteilbeanspruchung und die Klopfneigung, die die Erreichung hoher Mitteldrücke und Wirkungsgrade verhindern“⁴⁵. Abgasrückführung (AGR) kann diese Probleme mindern und zusätzlich die NO_x -Emissionen reduzieren.

Betriebsarten von
Großgasmotoren

MAGERBETRIEB. Durch ausreichenden Luftüberschuss werden die NO_x -Emissionen auf ein annehmbares Maß reduziert. Besonders

43 Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 102.

44 Vgl. ebd., S. 108-111.

45 Ebd., S. 109.

bei größeren Motoren wird der Brennraum durch die Einrichtung einer Vorkammer geteilt, wo ein geringeres Luftverhältnis und damit ein leichter entzündbares Gemisch vorliegt. Je magerer der Motor betrieben wird, desto enger ist der stabile Betriebsbereich zwischen Klopfen und Aussetzen des Motors. Mitunter kommt *Selective Catalytic Reduction* (SCR) (siehe Abschnitt 5.1.2) zum Einsatz.

In den letzten Jahren ist es gelungen, Großgas-Ottomotoren zu guten Wirkungsgraden bei niedrigen NO_x -Emissionen hin zu entwickeln. Dazu hat maßgeblich das Miller-Verfahren beigetragen, bei dem durch sehr frühes oder sehr spätes Schließen der Einlassventile die Ladungstemperatur abgesenkt wird (siehe Abbildung 20). Dies hat jedoch den Bedarf eines größeren Ladedrucks zur Folge, was den Einsatz einer höheren Aufladung erfordert. Eine zweistufige Aufladung verbessert aufgrund des hohen Ladedrucks den Wirkungsgrad noch weiter (siehe Abbildung 21).⁴⁶

Miller-Verfahren

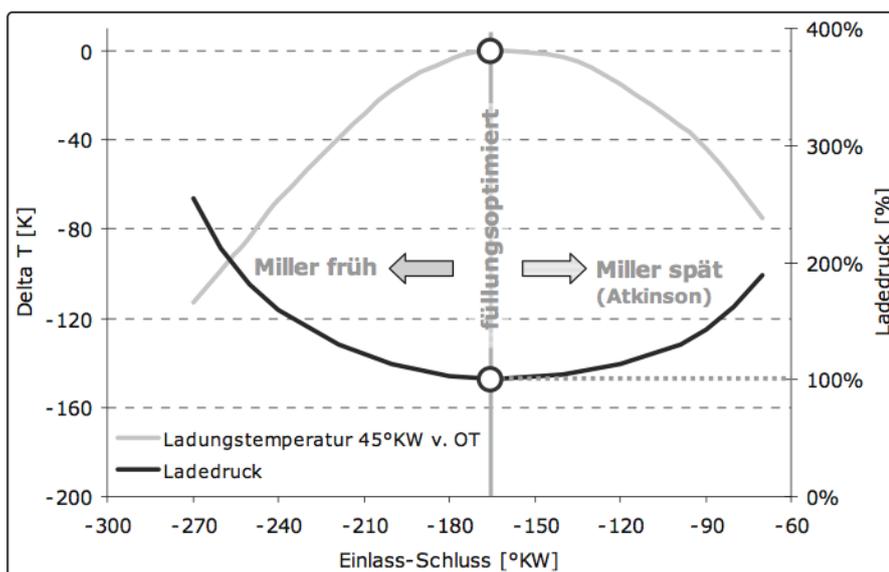


Abbildung 20: Millerverfahren bei Großgasmotoren. Einfluss der Einlasssteuerzeit auf Ladungstemperatur und Ladedruckbedarf
[47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 117

⁴⁶ Vgl. ebd., S. 117 f.

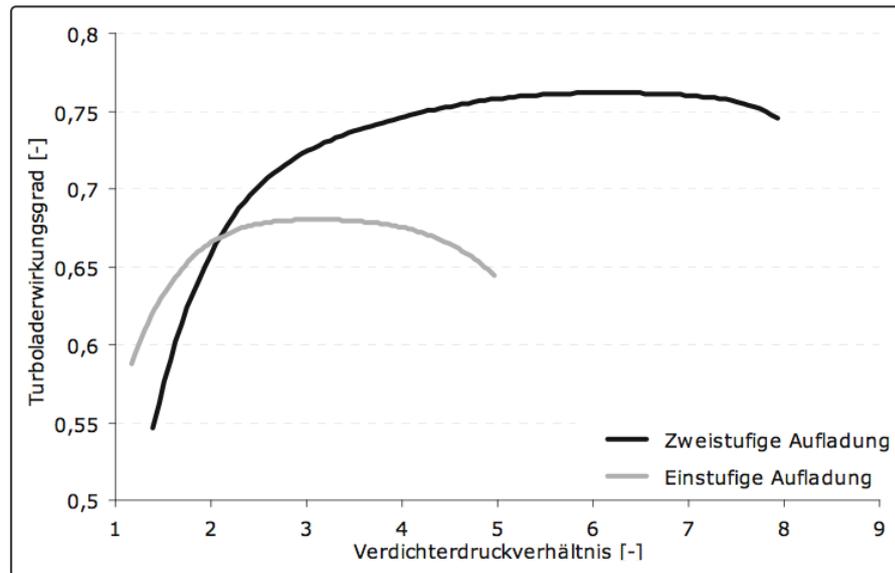


Abbildung 21: Wirkungsgrade bei ein- und zweistufiger Aufladung

[47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 117

Wirkungsgrade

Abbildung 22 zeigt einen Wirkungsgradvergleich zwischen Großgas- und Großdieselmotoren gleicher Bauart. Aufgrund des höheren Verdichtungsverhältnisses kann der *vollkommene* Dieselmotor einen um etwa 6 Prozentpunkte höheren Wirkungsgrad vorweisen, verliert aber im realen Betrieb aufgrund höherer mechanischer und Verbrennungsverluste gegenüber dem Gasbetrieb.⁴⁷

3.4.4 Großdieselmotoren

Kreuzkopf- und Tauchkolben-Bauweise

Großdieselmotoren werden üblicherweise, wie in Abbildung 23 nach ihrem Drehzahlbereich in Kategorien eingeteilt. Von Großdieselmotoren spricht man in der Regel ab einem Zylinderhubvolumen von über 2,5 l. Bei langsamlaufenden 2-Takt-Großdieseln verwendet man heute ausschließlich die Kreuzkopfbauweise, die große Spielräume beim Hub-Bohrungsverhältnis zulässt, den Kolben weitgehend frei

⁴⁷ Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 118 f.

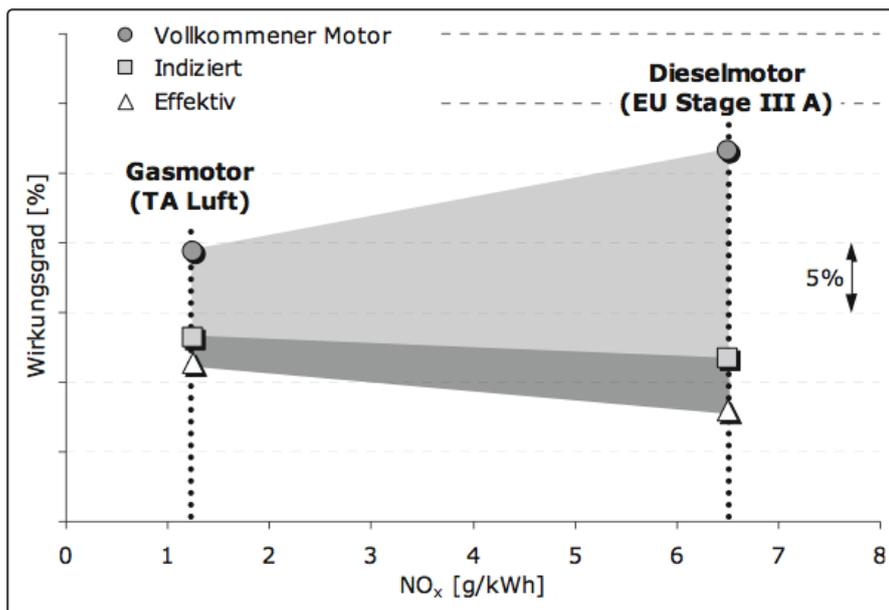


Abbildung 22: Wirkungsgradvergleich von Großgas- und Großdieselmotoren

[47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 118

von Seitenkräften hält und hohe Wirkungsgrade ermöglicht, jedoch große Bauhöhen erfordert. Bei mittelschnell- und schnelllaufenden Motoren findet man die von kleineren Motoren bekannten Tauchkolben, die auch für höhere Drehzahlen geeignet sind.⁴⁸

ZWEITAKT-LANGSAMLÄUFER Abbildung 24 zeigt einen aktuellen Vertreter dieser Bauart, die in großen Schiffen zum Einsatz kommt. Der Kolben ist durch die Kreuzkopfbauweise nicht gelenkig mit der Kolbenstange verbunden. Die Rotationsbewegung wird am Kreuzkopf (Bildmitte) in eine Translation gewandelt. Mittig links sind der Ladeluftkühler und der Spülkanal zu sehen, durch die die Verbrennungsluft zugeführt wird. Das Auslassventil und die Injektoren sind heute meist elektro-hydraulisch betätigt. Die Abgase werden in der Regel zunächst gesammelt und dann zu den bis zu vier Abgasturbo-ladern geleitet, um eine gleichmäßige Belastung sicherzustellen und

*Langsamläufer: ca.
100–300 min⁻¹*

⁴⁸ Vgl. ebd., S. 132 f.

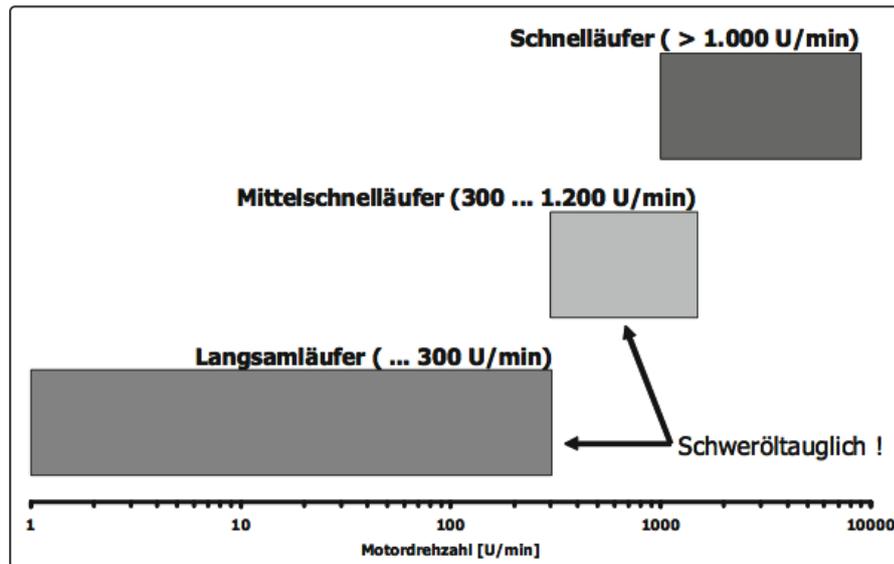


Abbildung 23: Einteilung der Großdieselmotoren in Drehzahlbereiche

[47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 133

die Abschaltung einzelner Turbolader im Teillastbereich zu ermöglichen. Zur Einhaltung der Abgasvorschriften müssen künftig Maßnahmen, wie AGR und SCR, vorgesehen werden. Der Wirkungsgrad dieser Motoren liegt dank der optimalen Hub-Bohrungsverhältnisse höher als bei allen anderen Wärmekraftmaschinen bei über 50%.⁴⁹

VIER-TAKT MITTELSCHNELLLÄUFER Motoren dieser Kategorie erreichen bis über 2.000 kW pro Zylinder in Reihen- oder V-Anordnung bei Bohrungsdurchmessern von bis zu 640 mm. Ein Beispiel mit *Dual-Fuel*-Funktion zeigt Abbildung 25. Das Hub-Bohrungsverhältnis liegt bei maximal 1,5. Es sind meist vier Ventile vorhanden. Für den Schwerölbetrieb muss ein entsprechendes Heizsystem vorhanden sein. Im Miller-Zyklus hat man mit Anlaufschwierigkeiten und teilweise hoher Rußbildung zu kämpfen, was durch variable Nockentriebe verbessert werden kann. *Common-Rail-Systeme* haben sich zum Standard

Mittelschnellläufer:
ca. $300\text{--}1200\text{ min}^{-1}$

⁴⁹ Vgl. [139] MAN Diesel & Turbo SE. *Unveiling of Gigantic Engines Confirms Market Trend*. 2013; und [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 137-141.

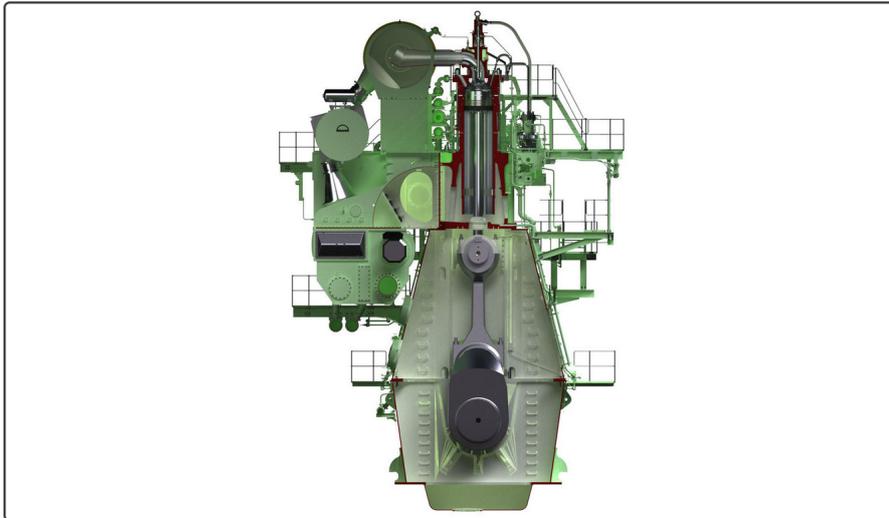


Abbildung 24: MAN-Großdieselmotor S90ME-C10.2. Zweitakt-Kreuzkopfmotor mit 900 mm-Bohrung und 6.100 kW pro Zylinder.

[139] MAN Diesel & Turbo SE. *Unveiling of Gigantic Engines Confirms Market Trend*. 2013

durchgesetzt. Bisher ist eine einstufige Aufladung mit Verdichtungsverhältnissen bis etwa fünf die Regel. Die Kolben, die derzeit aus Gewichtsgründen meist zweiteilig sind, dürften mit der Steigerung der Spitzendrücke infolge strengerer Emissionsvorschriften in Zukunft einteilig aus Stahl ausgeführt werden. Der Trend geht in Richtung „Downsizing“ bei Beibehaltung von Leistung und Wirkungsgrad.⁵⁰

VIER-TAKT SCHNELLÄUFER Schellläufer werden meist in eine größere Unterkategorie bis 10.000 kW, 280 mm Bohrungen und 1.200 min^{-1} sowie in eine kleinere bis 5.000 kW, 200 mm Bohrungen und 2.200 min^{-1} eingeteilt. Das Verhältnis Hub zu Bohrung liegt gewöhnlich bei 1,2. Konstruktionsziel dieser Motoren ist meist hohe Leistung bei maximaler Kompaktheit. *Common-Rail-Mehrfacheinspritzsysteme* sind auf dem Vormarsch, Aufladung – teilweise mehrstufig – ist Standard. Für gutes Teillastverhalten in Hinblick auf Kraftstoffverbrauch

*Schnellläufer: ab ca.
 1200 min^{-1}*

⁵⁰ Vgl. ebd., S. 141-146.

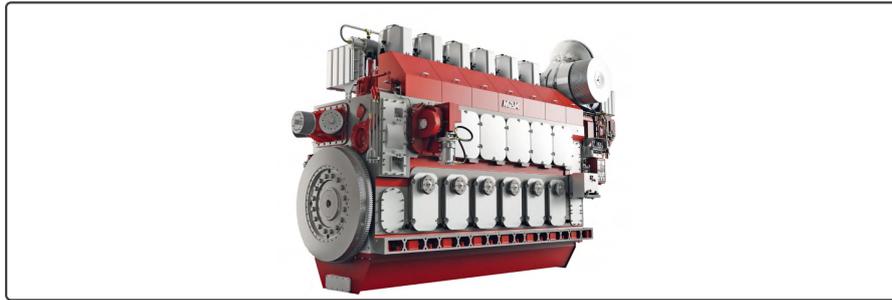


Abbildung 25: Mittelschnellläufer MaK M 46 DF von Caterpillar Marine.
Bohrung: 460 mm, 900 kW pro Zylinder.

[101] Caterpillar Inc. *Caterpillar Marine Propulsion Engines*. 2014

und Rußemissionen kann bei der „Registerraufladung“ ein Turbolader vom System abgetrennt werden. AGR, SCR und Partikelfilter werden teilweise zur Erreichung der Emissionsziele eingesetzt.⁵¹

3.4.5 Applikationen von Großmotoren

Großdiesel- und Großgasmotoren findet man in folgenden Anwendungsbereichen:⁵²

SCHIFFSANTRIEB mit Diesel- bzw. HFO-Betrieb je nach Größe; vermehrt auch *Liquefied Natural Gas* (LNG)-Gasmotoren

SCHIFFSHILFSANTRIEB zur Energieerzeugung an Bord von Schiffen; meist Diesel-Schnellläufer

STATIONÄRANWENDUNGEN, z. B. zur Produktion von Strom und Wärme an Land bzw. zum Antrieb von Pumpen und Verdichtern

LOKOMOTIVANTRIEB v. a. durch schnelllaufende Dieselmotoren oder Gensets

ANTRIEBE VON GROSSLANDFAHRZEUGEN, z. B. Mining Trucks

⁵¹ Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 146-149.

⁵² Vgl. ebd., S. 102 f., 135.

SONDERANWENDUNGEN, z. B. Car-Shredder-Anlagen

Die Abbildung 26 und 27 zeigen typische Applikationen von Marine-Dieselmotoren, um zu veranschaulichen, dass diese oft sehr unterschiedlichen Ansprüchen genügen müssen.

3.5 EMISSIONEN UND EFFIZIENZ

3.5.1 Einflüsse auf Schadstoffemissionen

Die Entstehung von Schadstoffemissionen hat zahlreiche Ursachen, die sich teilweise gegenseitig beeinflussen. Die wichtigsten Faktoren sind im Folgenden zusammengestellt:⁵³

VERBRENNUNG: Ruß- und NO_x-Emissionen bei schlechter Gemischbildung

EINSPRITZUNG: Zeitpunkt und Verlauf der Einspritzung(en); kurzer Zündverzug und geringe Einspritzmengen verhindern übermäßige NO_x- und Rußemissionen

LUFTSYSTEM: Hohe Ladedrücke, gleichmäßige AGR-Raten und niedrige Einlasstemperaturen helfen bei der NO_x-Senkung

LUFTVERHÄLTNIS UND VERBRENNUNGSTEMPERATUR: NO_x-Bildung tritt verstärkt bei hohen Brennraumtemperaturen und Luftüberschuss auf

MOTORDREHZAHL: Aufgrund von Reibungsverlusten nimmt der Motorwirkungsgrad mit zunehmender Drehzahl ab, so dass für die gleiche Leistung mehr Kraftstoff benötigt wird; Kohlenwasserstoff- (HC) und CO-Emissionen steigen mit der Drehzahl, die Rußbildung ist hingegen rückläufig. Bei der NO_x-Bildung treten jedoch zwei gegenläufige Prozesse (Zeit für NO_x-Bildung aber auch NO_x-begünstigender Restgasgehalt abnehmend)

⁵³ Vgl. [55] Reif. *Dieselmotor-Management im Überblick*. 2010, S. 139–142.



Abbildung 26: Übersicht ziviler Schiffstypen.

[54] Raoust. *Shipping and shipbuilding markets 2013*. 2013



(a) CHAMBON ALIZÉ. 45m, *Anchor Handling Tug*. Im August 2012 von der türkischen Werft Bogazici Shipping geliefert.



(b) DISNEY FANTASY. Kreuzfahrtschiff, 128.000 gt, 1.250 Kabinen, von der deutschen Meyer-Werft im Februar 2012 geliefert.



(c) RAINBOW. Moderner Nachbau der J-Klasse-Yacht.



(d) CMA CGM VERDI. Containerschiff, 5.782 teu. Von Samsung im Oktober 2004 geliefert.



(e) SEATRUCK PERFORMANCE. RoRo-Schiff, 2.166 Spurmeter auf 4 Decks. Im April 2012 von der FSG geliefert.



(f) VIKING SEA. Auto-Transporter mit 35.000 m² auf 11 Decks. Geliefert im November 2012 von der chinesischen Werft Nantong Mingde Heavy Industry.

Abbildung 27: Übersicht ziviler Schiffstypen (Fortsetzung).

[54] Raoust. *Shipping and shipbuilding markets 2013*. 2013

DREHMOMENT: Drehmomentenanstieg führt zu vollständigerer Verbrennung, CO- und HC-Emissionen werden zuerst geringer, NO_x-Bildung wird größer; Rußbildung und CO-Emissionen steigen wieder in Richtung Vollast

3.5.2 Weltweite Emissionsstandards

Die relevanten weltweiten Regulierungen für Emissionen von Motoren in Schiffen, Lokomotiven und anderen mobilen *Non-Road*-Applikationen sind detailliert in Anhang A angeführt. Hier wird kurz auf die Emissionsgrenzen für seegängige Schiffe eingegangen.

Da Schiffe oft weltweit eingesetzt werden, hat das MARPOL-Übereinkommen der *International Maritime Organization* (IMO) weltweite Gültigkeit. Bestimmte Gebiete wurden von der IMO als *Emission Control Area* (ECA, früher SECA für *Sulphur Emission Control Area*) festgelegt, in denen strengere Grenzen für den Ausstoß von Schwefeloxiden (SO_x), NO_x und PM durch die Schifffahrt gelten.⁵⁴

Allerdings gibt es immer wieder Versuche einzelner Staaten, die Standards zu lockern bzw. die Einführung strengerer Grenzen zu verzögern. Derzeit (Februar 2014) ist z. B. die Verschiebung der Einführung der NO_x-Emissionsgrenzen entsprechend IMO Tier III von 2016 auf 2021 in Diskussion – eine finale Entscheidung ist noch nicht gefallen. Der Wunsch, die Einführung zu verzögern, kommt von Russland und wird durch die europäischen Staaten Polen, Griechenland, Zypern, Malta, Lettland und Estland unterstützt, die in besonderer Weise (teilweise aber erst zukünftig, siehe Abbildung 28) von den strengen ECA-Beschränkungen betroffen sind.⁵⁵

⁵⁴ Vgl. [130] International Maritime Organization. *Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation* 13. 2014.

⁵⁵ Vgl. [112] Diesel & Gas Turbine Publications. *IMO To Delay Tier III NOx Emissions Limits For Ships*. 2013.

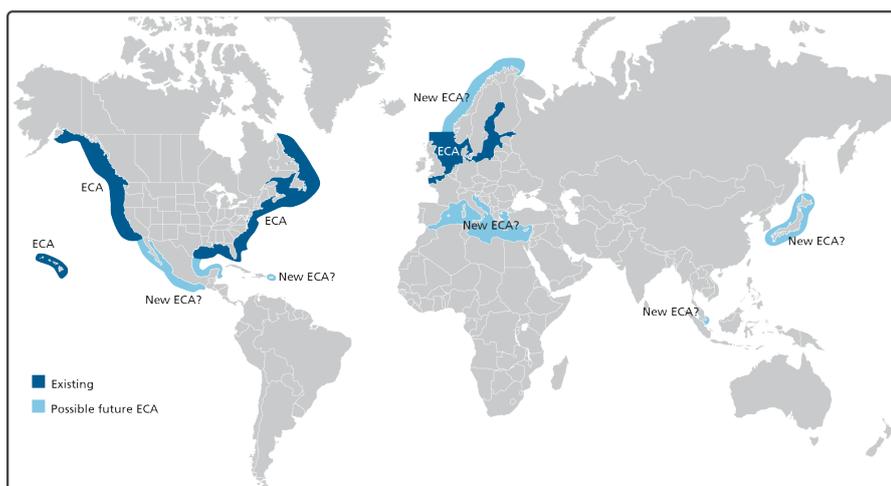


Abbildung 28: Weltweite ECAs. Die karibische Zone um Puerto Rico und die amerikanischen Jungferninseln ist seit 2014 in Kraft.

Vgl. [131] International Maritime Organization. *Special Areas under MARPOL*. 2014; Bild: [97] Blikom. *LNG for Greener Shipping in North America*. 2011

3.5.3 Environmental Efficiency Design Index

Der *Energy Efficiency Design Index* (EEDI) ist eine Kennzahl zur Beschreibung der *Emissionseffizienz* von Frachtschiffen. Laut MARPOL-Übereinkommen muss der EEDI für alle neuen oder umfangreich umgerüsteten Schiffe der gängigen Frachtschiffstypen aus CO₂-Emissionen und Transportarbeit berechnet werden. Der typenspezifische Wert muss bei Neubauten eingehalten werden.⁵⁶

⁵⁶ [37] International Maritime Organization. *Resolution MEPC.203(62) Annex – Amendments to MARPOL Annex VI on regulations for the prevention of air pollution from ships by inclusion of new regulations on energy efficiency for ships*. 2011.

METHODIK

4.1 SYSTEMATIK DES TECHNOLOGIEVERGLEICHS

Zur Einhaltung der aktuellen und zukünftigen Emissionsgrenzwerte sowie zur Steigerung der Effizienz bei den in dieser Arbeit betrachteten Großmotoren-Applikationen stehen zahlreiche Optionen zur Verfügung. Um diese bewerten zu können, wurde in der Fachliteratur recherchiert, eine Tagung besucht und es wurden weitere Tagungsunterlagen angefordert, um möglichst aktuelle technische Entwicklungen erfassen zu können.

Bei der Konzeptionierung einer Großmotoren-Applikation, wie einem Schiff, spielen zahlreiche Faktoren eine Rolle, die meist bestimmte Grundsatzentscheidungen (z. B. benötigte Antriebsleistung) vorgeben. Daher erscheint es sinnvoll, nur die grundsätzliche Eignung technischer Maßnahmen zur Senkung von Emissionen und Treibstoffverbrauch für verschiedene Szenarien anzugeben.

*Technologievergleich
auf Basis des Stands
der Technik*

Nach der Auflistung der wichtigsten Konzepte zur Erreichung der oben genannten Ziele konnte mit Hilfe eines Großmotoren-Experten¹ eine tabellarische Übersicht erstellt werden, welche die Vor- und Nachteile der technischen Lösungen vergleicht.

4.2 PHASEN UND METHODEN DER MARKTFORSCHUNG

Grundsätzlich kann man Marketing als Unternehmensprozess definieren, der sowohl eine interne als auch eine externe Sichtweise bein-

¹ [166] Prüß. *Gespräch mit Ing. Gerhard Maier*. 10. Feb. 2014.

haltet. So muss das Unternehmen seine Philosophie und in weiterer Folge seine internen Abläufe auf die Erkenntnis und Befriedigung der Kundenwünsche einstellen. Nach außen hin soll der Blick auf die Erschließung neuer und die Gestaltung bestehender Märkte sowie auf die Einflüsse der Unternehmensumwelt gerichtet sein. Der Marketingprozess besteht dabei im Wesentlichen aus den folgenden Schritten:²

ANALYSE der eigenen Situation im Hinblick auf Kundenbeziehungen, Strategie, Stärken und Schwächen.

PROGNOSE des Kundenverhaltens und der Marktentwicklung.

STRATEGIE- UND ZIELFORMULIERUNG um die Fragen zu beantworten, in welchen Marktsegmenten und Märkten agiert werden soll, welche Marketingmethoden zum Einsatz kommen und wie man den Marktteilnehmern und Stakeholdern begegnet.

OPERATIVE MARKETINGPLANUNG als kurzfristige Umsetzungsplanung (Marketing-Mix) des vorher Festgelegten.

REALISATION und Kontrolle der Durchführung. Analog zu einem Regelkreis werden *Soll* und *Ist* verglichen und den Abweichungen ggf. durch Anpassung des Konzeptes Rechnung getragen.

Für diese Arbeit sind die ersten drei Phasen von Bedeutung, insofern sie als Grundlage für Entscheidungen des Managements dient.

4.2.1 *Analyse*

Der Austausch zwischen Unternehmen einerseits, Kunden und Lieferanten andererseits findet weitestgehend in Märkten statt. Darüber hinaus müssen noch Konkurrenten als Marktakteure betrachtet werden. Andere Stakeholder (z. B. Mitarbeiter, Medien oder die Politik) beeinflussen die Interaktionen am Markt meist nur indirekt. In der

² Vgl. [46] Meffert. *Marketing*. 2000, S. 9–15.

vorher beschriebenen Analysephase hat eine Abgrenzung des relevanten Marktes vom irrelevanten Markt zu erfolgen. Auf den relevanten Markt beziehen sich schließlich die darauffolgenden Schritte. Der Markt kann nach verschiedenen Kriterien, räumlich, zeitlich oder sachlich, abgegrenzt werden, ebenso nach Anbietern, Produkten und Leistungen, Kundenbedürfnissen oder Nachfragern.³

Marktabgrenzung

Zur Durchführung der Situationsanalyse kann man sich der SWOT-Analyse bedienen. SWOT steht für *Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threads*. Die für die Analyse möglicherweise relevanten Faktoren sind in Abbildung 29 zusammengestellt. M. Bruhn schlägt folgende Vorgehensweise vor:⁴

Schritte der SWOT-Analyse

- I. Erfassung der relevanten unternehmensexternen Einflussgrößen
- II. Erstellung einer Chancen-Risiken-Analyse
- III. Erfassung der relevanten unternehmensinternen Einflussgrößen
- IV. Erstellung einer Stärken-Schwächen-Analyse
- v. Verknüpfung der Chancen und Risiken mit den Stärken und Schwächen
- VI. Formulierung einer Marketingproblemstellung

4.2.2 *Marketing bei Dienstleistungsunternehmen*

Für Dienstleistungsunternehmen gelten im Vergleich zu produzierenden Unternehmen einige Besonderheiten im Hinblick auf das Marketingmanagement. Innerhalb der Gruppe der Dienstleistungsunternehmen gibt es selbstverständlich ebenfalls große Unterschiede, je nach

³ Vgl. ebd., S. 28-37; und [8] Bruhn. *Marketing: Grundlagen für Studium und Praxis*. 2012, S. 18-20.

⁴ Vgl. ebd., S. 41-45.

Chancen-Risiken-Analyse						Stärken-Schwächen Analyse
Markt-situation	Konkurrenz-situation	Lieferanten-situation	Handels-situation	Kunden-situation	Umfeld-situation	Unternehmens-situation
<ul style="list-style-type: none"> ■ Marktaufteilung und Marktstrukturen ■ Polarisierungstendenzen der Märkte ■ Technologische Standards ■ Markteintrittsbarrieren ■ Marktvolumen ■ Sättigungsgrad des Marktes ■ Markttrends ■ Marktentwicklung usw. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anzahl und Größe der Konkurrenten ■ Wettbewerbsintensität ■ Marktstellung ■ Kooperationsmöglichkeiten ■ Produktqualität ■ Technische Ausstattung ■ Innovationsbereitschaft ■ Machtverhältnisse usw. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Anzahl Lieferanten ■ Abhängigkeit von Lieferanten ■ Lieferzuverlässigkeit ■ Kooperationsbereitschaft ■ Technische Ausstattung ■ Lieferanten-treue ■ Substitutionsmöglichkeiten ■ Preisentwicklung usw. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Einkaufsentscheidungsverhalten ■ Informationslage ■ Handelsbedürfnisse ■ Abnahmemenge ■ Technologische Ausstattung ■ Machtausübung ■ Handelskonzentration ■ Kooperationsbereitschaft ■ Marketingaktivitäten usw. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Kundendemografie/ Kundenstruktur ■ Einstellungen ■ Qualitäts-/Serviceanforderungen ■ Wiederkaufverhalten ■ Cross-Selling-Verhalten ■ Kaufkraft ■ Informationsbeschaffungsverhalten ■ Loyalität usw. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Politische Rahmenbedingungen ■ Wettbewerbsrecht ■ Umweltschutzgesetzgebung ■ Gesellschaftliche Normen ■ Kulturelle Entwicklungen ■ Gesamtwirtschaftliches Wachstum ■ Technolog. Dynamik usw. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Marktstellung ■ Leistungsprogramm ■ Kapitalausstattung ■ Vertriebsorganisation ■ Innovationsstärke ■ Personalstruktur ■ Mitarbeiterfluktuation ■ Kostenstruktur ■ Unternehmensimage ■ Zusammenarbeit mit externen Partnern usw.

Abbildung 29: Relevante Faktoren zur Analyse der Marketingsituation.

[8] Bruhn. *Marketing: Grundlagen für Studium und Praxis*. 2012, S. 25

Art der Leistung. Für die AVL als Industriedienstleister in den Bereichen *Powertrain Engineering* und *Software* sind zusammenfassend folgende Merkmale von Bedeutung:⁵

- Dokumentation der Leistungsfähigkeit (Know-How, Mitarbeiter, Erfahrung, Prozesse)
- Integration des externen Faktors (Einbindung des Kunden in die Entwicklungsarbeit)
- Qualitätssicherung der Dienstleistungen
- Richtige Personalpolitik für ausreichende Qualifikation und Motivation der Mitarbeiter
- Internes Marketing für Verbesserung und Mitarbeiteraufbau
- Persönliche Kommunikation mit Kunden
- Image der Unternehmung in der Branche

⁵ Vgl. [8] Bruhn. *Marketing: Grundlagen für Studium und Praxis*. 2012, S. 35.

4.2.3 Marktforschung und Absatzprognosen

Am Beginn der Marktforschung steht die Problemformulierung, der die Auswahl der Erhebungsinstrumente folgt. Anschließend beginnt die Phase der Informationsgewinnung, an deren Abschluss die Interpretation und Dokumentation der Daten liegt. Die Synthese dieses Vorgangs ist die Formulierung einer Marketingentscheidung.⁶

Bei der Informationserhebung muss zwischen *primärer* und *sekundärer* Marktforschung unterschieden werden; erstere beinhaltet die Generierung neuer Daten, z. B. durch Befragung, letztere bedient sich bereits vorhandener Daten.⁷

*Arten der
Marktforschung*

Die Marktprognose kann entweder quantitativ auf Basis einer statistischen Auswertung der Daten erfolgen oder qualitativ durch Expertenbefragungen oder die Szenariotechnik, bei der sowohl die optimistischste als auch die pessimistischste prognostizierte Marktentwicklung aufgezeigt wird.⁸

4.3 METHODEN DER STRATEGIEFINDUNG

Wie schon vorher erwähnt, ist es Aufgabe des strategischen Managements, sicherzustellen, dass das Unternehmen mit seinem strategischen Konzept im Wettbewerb auf dem Markt bestehen kann. Welche Faktoren für die Wahl der Strategie entscheidend sind und wie sie erkannt werden können, soll im Folgenden gezeigt werden.

Die Strategie eines Unternehmens muss sich wesentlich an den Gegebenheiten der Branchen, in denen es konkurriert, orientieren. Die Wettbewerbsintensität einer Branche ergibt sich aus vielschichtigen Faktoren, die durch die fünf Wettbewerbskräfte (*five forces*, vgl. Abbildung 30) beschrieben werden können. Die Stärke der Kräfte korreliert mit dem langfristigen Kapitalertragspotential in dieser Branche

Five Forces

6 Vgl. ebd., S. 92 ff.

7 Vgl. ebd., S. 97 f.

8 Vgl. ebd., S. 110–122.

– je stärker die Wettbewerbskräfte, desto schwieriger ist das Erzielen hoher Erträge. Für eine Beschreibung der *five forces* wird auf die Literatur verwiesen.⁹

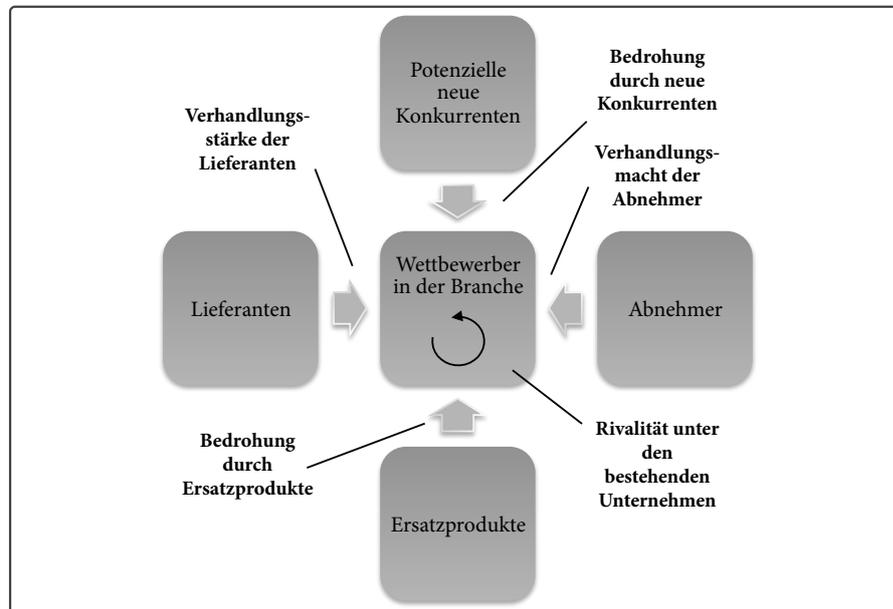


Abbildung 30: Wettbewerbskräfte einer Branche nach Porter

In Anlehnung an [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 20

MARKTEINTRITTSBARRIEREN unter der Branchenkraft „Bedrohung durch neue Konkurrenten“ sollen jedoch aufgrund der zusätzlichen Bedeutung für Forschungsfrage III hier etwas genauer betrachtet werden.¹⁰

ECONOMIES OF SCALE: Sinkende Stückkosten bei steigender produzierter Menge je Zeiteinheit als Vorteil der etablierten Mitbewerber.

DIFFERENZIERUNG: Hoher Differenzierungsgrad erforderlich, um Käuferloyalität zu bestehenden Produkten zu brechen.

⁹ Vgl. [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 37.

¹⁰ Vgl. ebd., S. 37–49.

KAPITALBEDARF: Z. B. hoher Investitionsbedarf in Forschung und Entwicklung (F&E), Werbung oder teure Produktionsanlagen.

UMSTELLUNGSKOSTEN: Z. B. Umschulung der Mitarbeiter, Kosten durch Lieferantenwechsel, Produktdesignkosten.

ZUGANG ZU VERTRIEBSKANÄLEN: Vertriebskanäle bestehender Konkurrenz müssen durch absatzfördernde (und dabei meist gewinnschmälernde) Maßnahmen erschlossen werden.

GRÖSSENUNABHÄNGIGE KOSTENNACHTEILE: Technologievorteile der Mitbewerber (z. B. Patente), einmalige Standort- oder Rohstoffvorteile, Subventionen, langjährige Erfahrung

STAATLICHE POLITIK: Abschottung oder Reglementierung des Marktes, Lizenzzwang, Umweltschutzvorschriften.

DREI STRATEGIETYPEN können nach *Porter* als Antwort auf die fünf Wettbewerbskräfte gewählt werden (vgl. Abbildung 31), mit denen ein Unternehmen sich gegen seine Mitbewerber behaupten kann. Bedient es sich allerdings nicht einer dieser Strategien, befindet es sich „zwischen den Stühlen“, d. h. in einer unklar definierten, meist schlechten strategischen Situation.¹¹

Generische Wettbewerbsstrategien nach Porter

DIE KONKURRENTENANALYSE ist einer der wichtigsten Schritte bei der Strategiefindung, bei dem das erwartete eigene strategische Verhalten des betrachteten Mitbewerbers analysiert werden. Daraus ergibt sich ein Profil, aufgrund dessen ein Konkurrent nun *bekämpft*, *umfahren* oder *ignoriert* wird, eine Kooperation oder Übernahme in Frage kommt.¹²

¹¹ Vgl. ebd., S. 73–84.

¹² Vgl. ebd., S. 88–119.

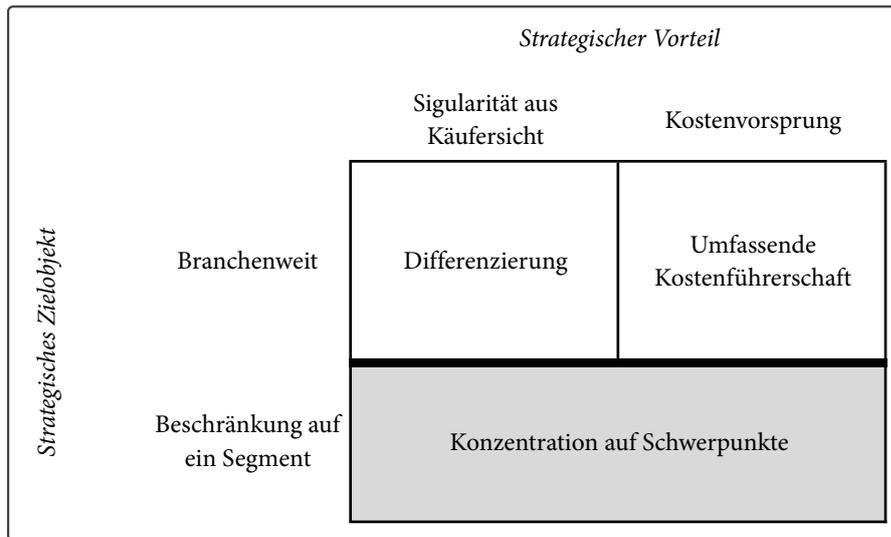


Abbildung 31: Drei Wettbewerbsstrategien nach Porter
 In Anlehnung an [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 79

Strategische Gruppen

DIE BRANCHENINTERNE STRUKTURANALYSE ist ein Blick, der tiefer als nur auf Branchenebene geht. Porter führt verschiedene Dimensionen der Wettbewerbsstrategien an, nach denen man die Konkurrenten in *strategische Gruppen* einteilen kann, um ähnliche Strategien zusammenfassen zu können. Daraus ergeben sich die „grundlegenden Determinanten der Rentabilität eines Unternehmens“: Die fünf Wettbewerbskräfte sowohl branchenweit als auch zwischen den strategischen Gruppen sowie unternehmensbezogen der gruppeninterne Wettbewerb, die Unternehmensgröße, die Gruppeneintrittskosten und die Strategieumsetzungsfähigkeit.¹³

¹³ Vgl. [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 180–198.

Teil II

PRAXISBETRACHTUNG

UNTERSUCHUNG DES MARKTPOTENTIALS

5.1 MÖGLICHE ZUKÜNFTIGE ANTRIEBSKONZEPTE

In diesem Abschnitt werden die wahrscheinlichsten zukünftigen Antriebskonzepte aufgezeigt. Weiterhin werden Strategien zur Wirkungsgradsteigerung und Emissionsreduktion besprochen, da diese Faktoren entscheidend für die Zukunftssicherheit eines Antriebskonzeptes sind.

5.1.1 Motoren und Treibstoffe

Auf kommerziell genutzten Schiffen findet man heute vorwiegend Dieselmotoren mit HFO und MDO als Treibstoffen. Die Schiffsklassifikationsgesellschaft DNV hat ein Thesenpapier veröffentlicht, in welchem dargelegt wird, dass sich CO₂-Emissionen durch die Schifffahrt durch geeignete Maßnahmen kostenwirksam um 15% bei der bestehenden Flotte, um 30% bei der prognostizierten Flotte 2030 und um 50% bei jener im Jahr 2050 – ausgehend von heutigen Emissionsmengen – reduzieren lassen. Diese Aussagen erstrecken sich über alle registrierten kommerziellen Schiffe und berücksichtigen Veränderungen des Energiemarktes und andere ungewisse Faktoren durch ein statistisches Modell. Besonders der breiten Einführung von LNG und Biofuels wird ein großes Potential zugeschrieben, doch auch der Einsatz von Kernenergie auf größeren Schiffen wird als realistische Alternative angeführt.¹

*Reduktion von CO₂-
Emissionen*

¹ Vgl. [1] Alvik u. a. „Pathways to low carbon shipping – Abatement potential towards 2050“. 2012, S. 4–10.

Gasförmige Kraftstoffe bieten den Vorteil des höheren Energie-zu-Masse- und den Nachteil des geringeren Energie-zu-Volumen-Verhältnisses gegenüber Flüssigkraftstoffen.² Bei gleicher Tankgröße haben gasbetriebene Fahrzeugen also einen Reichweitennachteil.

Mode of Transport		Liquid Fuels	Gaseous Fuels				Electricity
			LPG	CNG	LNG	H ₂	
Car	Short distance	++	+	+	-	+	+
	Long distance	++	+	+	-	+	-
Truck	Light	++	+	+	-	+	○
	Heavy	++	-	○	+	-	-
Rail		++	-	○	+	-	++
Ship		++	-	○	+	-	-
Aircraft		++	-	-	-	-	-

++ (Fully) compatible + With minor restrictions ○ With major restrictions - Not compatible

Abbildung 32: Eignung verschiedener Treibstoffe und Antriebskonzepte für die Güter- und Personenbeförderung aus Sicht von SHELL [83] Warnecke. „Influence of Future Fuels on the Development of the IC Engine“. 2013, S. 23

Dieselmotoren

Die Emissionsproblematik bei Dieselmotoren wurde schon vorher angesprochen. Im Abschnitt 5.1.2 werden u. a. Konzepte zur Emissionsminderung angesprochen.

LANGSAMLÄUFER sind die effizientesten Dieselmotoren für hohe Leistungen bis fast 100 MW. Schiffspropeller können mit gutem Wir-

² Vgl. [83] Warnecke. „Influence of Future Fuels on the Development of the IC Engine“. 2013, S. 19.

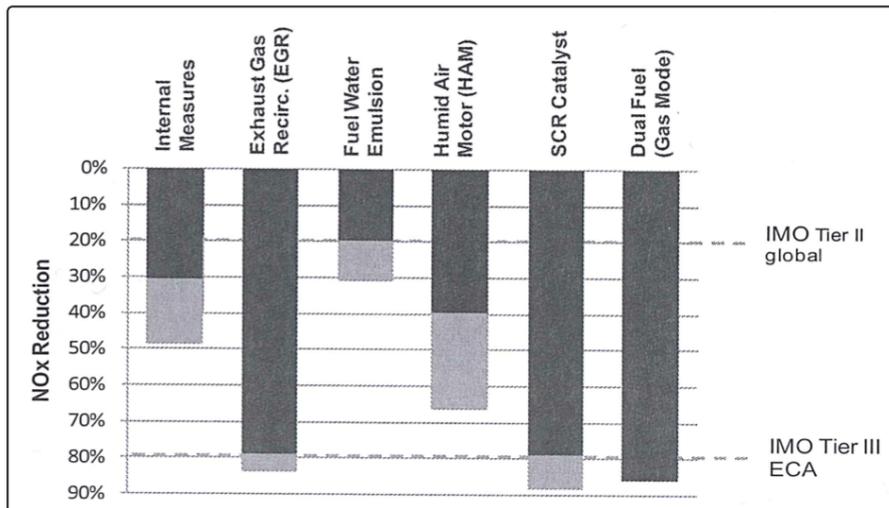


Abbildung 33: Potential verschiedener NO_x-Reduktionsstrategien

[72] Stiesch und Schlüter. „Future Emission and Efficiency Concepts for MAN Medium Speed Engines“. 2012, S. 16

kungsgrad direkt angetrieben werden. Im unteren Leistungsbereich sind jedoch Mittelschnellläufer eine sehr viel kompaktere und leichtere Lösung.³ Derzeit spricht aufgrund des Betriebskostenvorteils durch HFO-Einsatz auf Langstreckenfahrten nichts gegen dieses Antriebskonzept.

MITTELSCHNELLLÄUFER können auf Schiffen für höhere Flexibilität und Effizienz sowie Redundanz sorgen, da oft mehrere Einheiten verbaut werden und diese bei elektrischer Kraftübertragung freier positioniert werden können. Sie benötigen allerdings etwa 10% mehr Treibstoff bei gleicher Leistung als Langsamläufer. Bei sich änderndem Leistungsbedarf kann so z. B. ein Motor zu- bzw. abgeschaltet werden, damit alle Maschinen in einem möglichst optimalen Betriebspunkt laufen.⁴ Beim Einsatz auf mittelgroßen Schiffen sind Antriebssysteme mit Mittelschnellläufern das derzeit zuverlässigste und flexibelste Konzept, da z. B. elektrische Kraftübertragung mit optionaler

³ Vgl. [9] Burden u.a. *Concept design of a fast sail assisted feeder container ship*. 2010, S. 21 f.

⁴ Vgl. ebd., S. 22.

Hybridisierung, *Power Take-Off / Power Take-In* (PTO / PTI), HFO- oder auch Dual-Fuel-Betrieb möglich sind.

SCHNELLLÄUFER sind nur bei kleineren Schiffen anzutreffen. Sie können i. A. nicht mit HFO sondern nur mit hochwertigem Dieseldiesellokomotiven und Minig Trucks werden ebenfalls von schnelllaufenden Dieselmotoren angetrieben. Ihr Leistungsbereich geht bis maximal 10 MW.⁵

Dampfturbinen

Dampfturbinen haben Gewichts- und Größenvorteile und sind kostengünstig mit verschiedensten Brennstoffen zu betreiben. Aufgrund von hohem Treibstoffverbrauch und hohen Emissionen sind sie aber für die betrachteten Applikationen zukünftig irrelevant.⁶

Gasturbinen

Gasturbinen ermöglichen hohe Geschwindigkeiten in der Schifffahrt und benötigen wenig Platz im Vergleich zu Großdieselmotoren. Dem stehen hohe Anschaffungskosten, die Notwendigkeit hochwertigen, teuren Treibstoffs (z. B. MGO) sowie schlechte Effizienz im Teillastbereich gegenüber.⁷ Da sich Gasturbinen nur im Hochleistungsbereich und bei kombinierten Antrieben, z. B. *Combined diesel-electric and gas propulsion* (CODLAG), in der Schifffahrt behaupten konnten, wo für den Teillastbereich meist mehrere kleinere Dieselmotoren vorhanden sind, werden sie als Hauptantrieb auch weiterhin sicherlich keine Rolle spielen.

5 Vgl. [47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 132–136.

6 Vgl. [9] Burden u. a. *Concept design of a fast sail assisted feeder container ship*. 2010, S. 22.

7 Vgl. ebd., S. 22.

Wasserstoff

Bei der Recherche konnten keine relevanten Antriebskonzepte mit Wasserstoffverbrennung für die betrachteten Applikationen ausgemacht werden. Nicht vorhandene Infrastruktur, aufwendige Verflüssigung, hohe Isolationsverluste und großer Platzbedarf für Tanks sind starke Gegenargumente.

Erdgas

Der steigende Ölpreis und strengere Emissionsgrenzen begünstigen den Einsatz von LNG als Treibstoff. Nachteilig ist der große Platzbedarf für die Tanks, die nach heutigem Stand zwei- bis dreimal größer als Dieseltanks sind. Auch sind die Anschaffungskosten tendenziell höher (bei Schiffen insgesamt etwa 10–15%) und eine entsprechende LNG-Infrastruktur wird benötigt, die hohe Investitionen verlangt, sich aber voraussichtlich stark verbreiten wird.⁸

Großgasmotoren konnten ihre Nachteile gegenüber Dieselmotoren weitestgehend kompensieren und zeichnen sich durch weit niedrigere Emissionen aus. Technologische Fortschritte bei der Aufladung, dem Brennverfahren und eine intelligente Motorsteuerung, die bei beiden Motortypen angewendet werden können, wirken sich stärker positiv auf die Effizienz von Gasmotoren aus, die dadurch in Diesel-Marktsegmente vordringen werden.⁹

Eine Studie der Meyer Werft GmbH, der Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG (FSG) und der Fr. Lürssen Werft GmbH & Co. KG hat die Machbarkeit und Sinnhaftigkeit eines Antriebes mit LNG, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), Methanol und Ethanol für Kreuzfahrtschiffe untersucht. Die Entscheidung für LNG hat der Studie zu Folge gegenüber dem Dieselmotor zahlreiche Vorteile:¹⁰

8 Vgl. [1] Alvik u. a. „Pathways to low carbon shipping – Abatement potential towards 2050“. 2012, S. 10.

9 Vgl. [79] Trapp. „Zukünftige Gasmotoren – Technologien für zukünftige Marktbedürfnisse und Gesetzgebungen im Vergleich zum Diesel“. 2013, S. 604 f., 614.

10 Vgl. [80] Untiedt. „Gasbetriebenes Kreuzfahrtschiff: Konzeptstudie“. 2010, S. 12 f.

1. NO_x-Emissionen lassen sich um bis zu 90% reduzieren
2. (fast) keine SO_x- und PM-Emissionen
3. CO₂-Emissionen können um 20% vermindert werden
4. LNG kann sowohl in Verbrennungskraftmaschinen als auch in Brennstoffzellen eingesetzt werden
5. höchster mechanischer/elektrischer und thermischer Wirkungsgrad
6. alle heute absehbaren Emissionsgrenzwerte können eingehalten werden

Besonders Kreuzfahrtschiffe, die sich „in Zentren von Metropolen“ und „ökologisch sensiblen Gebieten“ bewegen, sollen möglichst sauber gefahren werden. Platzbedarf und Reichweite sind in ähnlicher Größenordnung wie beim Dieselantrieb.¹¹

Auch bei schnellen Lastwechseln sind Gasmotoren mittlerweile konkurrenzfähig. So sind z. B. einige Gasmotoren vom Typ Bergen C in Schleppern verbaut, die höchsteffizient in ECAs agieren können, da sie EPA Tier 3 erfüllen und mit geringen Modifikationen auch Standards nach Tier 4 einhalten können.¹²

Biofuels

Biokraftstoffen, insbesondere Biodiesel als Ersatz für MDO, MGO und konventionellen Diesel sowie Pflanzenöl als Substitut für HFO, wird ein großes CO₂-Reduktionspotential zugeschrieben (50% Reduktion *well-to-propeller* bei Schiffen). Technische Nachteile, wie Korrosionsgefahr und Mikrobewachstum, können gelöst werden und vorhandene Motoren weitestgehend weiterverwendet werden. Fraglich ist eher, ob genügend Agrarflächen vorhanden sein werden, ohne die

¹¹ Vgl. [80] Untiedt. „Gasbetriebenes Kreuzfahrtschiff: Konzeptstudie“. 2010, S. 13.

¹² Vgl. [60] Rolls-Royce. „Bergen C gas engines now EPA Tier 3 compliant“. 2013.

Lebensmittelversorgung zu gefährden. Außerdem gibt es derzeit keinen wirtschaftlichen Nutzen der Umstellung.¹³

Nuklearantrieb

Kernreaktoren lassen sich heute auf etwa 140 Schiffen finden, von denen ein Großteil U-Boote sind.¹⁴

Nuklearantrieb von Handelsschiffen wird in jüngster Zeit als eine Option gehandelt, die als einzige sogar zu einer Reduktion der absoluten Emissionen durch die Weltschifffahrt führen könnte. Die Problematik der Endlagerung, der hohen Investitionskosten und der gesellschaftlichen Akzeptanz stellt aus heutiger Sicht allerdings eine nahezu unüberwindbare Hürde dar. Es existieren zwar viele Kriegsschiffe und U-Boote mit Nuklearantrieb, jedoch nur wenige zivile Schiffe.¹⁵ Die russische АТОМФЛОТ (АТОМФЛОТ) betreibt derzeit die einzigen zivilen Kernenergieschiffe (Eisbrecher).¹⁶

Aufgrund des Gefahrenpotentials ist in den nächsten Jahrzehnten nicht mit einer Zunahme der Akzeptanz zu rechnen.

Dual-Fuel-Konzepte

Mit Dual-Fuel-Motoren versucht man die Vorteile des Gasbetriebes (Einhaltung der IMO Tier III) mit denen des Schweröl-Betriebes (geringere Kosten) zu verbinden. Im HFO-Betrieb werden die weltweit gültigen Grenzwerte nach Tier II eingehalten – im Gasbetrieb können auch ECAs befahren werden. Durch eine aufwendige Motorsteuerung und -regelung, z. B. Cylinderbalancing durch die zyklusaufgelöste

13 Vgl. [1] Alvik u. a. „Pathways to low carbon shipping – Abatement potential towards 2050“. 2012, S. 5, 10.

14 Vgl. [161] World Nuclear Association. *Nuclear-Powered Ship*. 2014.

15 Vgl. [1] Alvik u. a. „Pathways to low carbon shipping – Abatement potential towards 2050“. 2012, S. 10.

16 Vgl. [17] Dudzus. *Das große Buch der Schiffstypen*. 2004, S. 172 f.

Erfassung der Brennraumdrücke, kann ein zuverlässiger und emissionsarmer Motor realisiert werden. Erhöhte Anschaffungskosten, größerer Raumbedarf für die Tanks und ein geringerer Wirkungsgrad im Dieselbetrieb sind jedoch nachteilig.¹⁷ NIIGATA hat ebenfalls ein Dual-Fuel-Konzept (siehe Abbildung 34) entwickelt, bei dem Diesel- und Gasbetrieb mit Micro-Pilot-Einspritzung (vgl. Tabelle 3) über ein *Common-Rail-System* vorgesehen sind. Aufgrund der teilweise sehr unterschiedlichen Konstruktionsanforderungen für reinen Gas- bzw. Dieselbetrieb, wie z. B. Verdichtungsverhältnis, Einspritz- sowie Ein- und Auslasstiming, mussten Kompromisse gefunden werden. Durch dynamische Steuerungsmöglichkeiten, etwa bei der Ladeluft (VTG), kann im Gasbetrieb ein plötzlicher Propeller-Lastwechsel von 15 auf 100% in gerade einmal 15 Sekunden realisiert werden.¹⁸

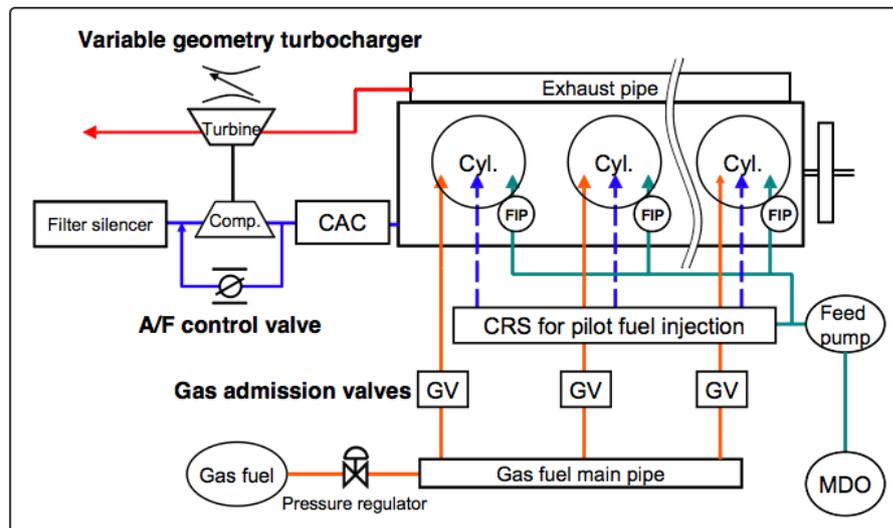


Abbildung 34: Dual-Fuel-Konzept von NIIGATA

[74] Tagai und Goto. „Latest Niigata Exhaust Emission Control Technologies for IMO NOx Tier III“. 2013, S. 440

¹⁷ Vgl. [59] Rickert u. a. „Motorkonzepte zur Erfüllung der IMO Tier III Emissionsgrenzen“. 2013, S. 446.

¹⁸ Vgl. [74] Tagai und Goto. „Latest Niigata Exhaust Emission Control Technologies for IMO NOx Tier III“. 2013, S. 440-443.

Brennstoffzellen

Brennstoffzellen, die z. B. mit LNG betrieben werden, könnten eine CO₂-Reduktion um 50% gegenüber einem vergleichbaren Dieselmotor erzielen. Derzeit sind Brennstoffzellen bis 0,3 MW für zivile Marineanwendungen denkbar, die jedoch technisch und wirtschaftlich noch nicht ganz ausgereift sind. Dies dürfte sich jedoch in den kommenden Jahren ändern.¹⁹

Auch Wasserstoff-Brennstoffzellen dürften mit fortschreitender Technologie immer interessanter werden. Derzeit sind jedoch Gewicht und Raumbedarf unverhältnismäßig groß.

5.1.2 *Technische Maßnahmen*

Hier werden verschiedene Konzepte besprochen und verglichen, die teilweise schon erfolgreich eingesetzt werden. Bei der Auswahl der Quellen wurde darauf geachtet, möglichst neue Beiträge zu berücksichtigen. Die hier vorgestellten technischen Maßnahmen sind immer in Kombination mit den obigen Motor-/Treibstoff-Konzepten zu sehen.

Abgasnachbehandlung durch SCR

Ein effektiver Ansatz, um die NO_x-Emissionen auf ein Tier-3-Niveau zu senken, ist die Anwendung von SCR, wobei Ammoniak (NH₃), gelagert als Harnstoff-Wasser-Lösung (auch *AdBlue* genannt), als Reduktionsmittel sorgt. Die *AdBlue*-Zufuhr muss überwacht und geregelt werden, da zu hohe Dosierung eine NH₃-Freisetzung in die Luft zur Folge hätte. Im Gegensatz zu NO_x-Speicherkatalysatoren kommt es zu keiner Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs.²⁰ Ein großer Vorteil des SCR-Konzepts ist die Möglichkeit, den Motor wirtschaftlich mit HFO

NO_x-Katalyse

¹⁹ Vgl. [14] Det Norske Veritas AS. „The Electric Ship – The Prius Of The Seas“. 2011, S. 34.

²⁰ Vgl. [55] Reif. *Dieselmotor-Management im Überblick*. 2010, S. 139–142.

zu betreiben und trotzdem die Emissionsgrenzen nach Tier 3 einhalten zu können. Allerdings wird dann auch ein *Scrubber* zur Entschwefelung benötigt.²¹

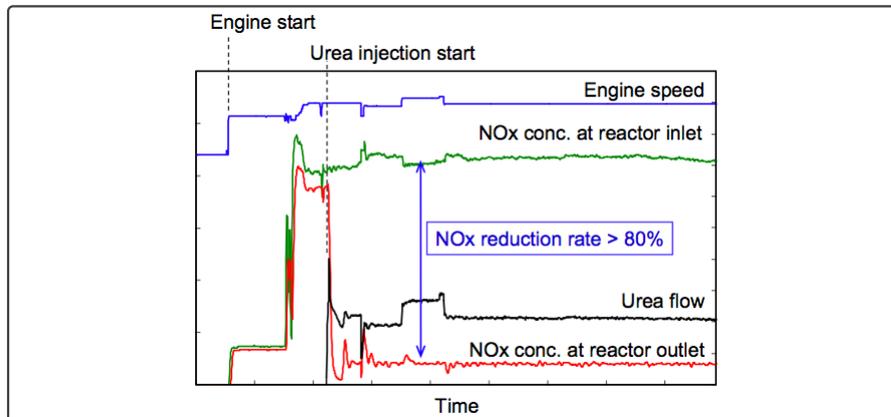


Abbildung 35: Auswirkungen eines SCR-Systems auf die NO_x-Emissionen
[74] Tagai und Goto. „Latest Niigata Exhaust Emission Control Technologies for IMO NO_x Tier III“. 2013, S. 435

Scrubber

Die Verschärfung der Schwefel-Grenzwerte für Schiffstreibstoffe in ECAs im Jahr 2015 stellt Reeder vor die Entscheidung, von Schweröl auf teuren Destillatkraftstoff (MGO) mit unter 0,1% Schwefelgehalt umzustellen oder eine Abgasentschwefelung mittels *Scrubber* vorzunehmen. Die Installation eines *Scrubbers* kann sich bei höherem ECA-Anteil schnell amortisieren und könnte auch die Standardlösung bei globalem Schwefellimit von 0,5% nach 2020 bzw. 2025 werden. Prinzipiell existieren für Marineapplikationen zwei Konzepte mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen: die trockene und die nasse Entschwefelung.²²

Abgasentschwefelung

²¹ Vgl. [59] Rickert u. a. „Motorkonzepte zur Erfüllung der IMO Tier III Emissionsgrenzen“. 2013, S. 456.

²² Vgl. [72] Stiesch und Schlüter. „Future Emission and Efficiency Concepts for MAN Medium Speed Engines“. 2012, S. 20 f.

Abgasrückführung

Durch Rückführung der Abgase in den Brennraum können die NO_x -Emissionen eines Motors signifikant verringert werden, so dass z. B. IMO Tier III eingehalten werden kann.²³ Gründe dafür sind die Reduktion des Abgasmassenstroms, des lokalen Luftverhältnisses sowie der Brenngeschwindigkeit und die mit letzterem verbundene Absenkung der lokalen Spitzentemperaturen sowie Erhöhung des Inertgasanteils. Neben der externen Rückführung über zusätzliche Leitungen gibt es auch die durch die Ventilsteuerzeiten erreichte Restgasmenge realisierte interne AGR.²⁴ Im Vergleich zum SCR-System gibt es folgende Vor- und Nachteile: kompakte Bauweise (auch Umrüsten prinzipiell möglich) und kein Bedarf eines zusätzlichen Betriebsstoffs (*AdBlue*) gegenüber leicht erhöhten Kraftstoffverbrauch und der Notwendigkeit eines höherwertigen (und damit teureren) Kraftstoffs, wie MDO.²⁵

Brennverfahren

Brennverfahren haben zahlreiche Stellgrößen (siehe Abbildung 38), deren Optimierung einen wesentlichen Beitrag zur Verbrauchs- und Emissionssenkung leistet.

Brennverfahren mit niedrigen NO_x -Emissionen arbeiten nach den Prinzipien der Spitzentemperaturbegrenzung und Brenngeschwindigkeitsminderung bzw. dem Miller-Verfahren. Auch die Steigerung von Lade- und Einspritzdruck (letzterer auf bis zu 3000 bar) können vorteilhaft sein und verbrauchsreduzierend wirken.²⁶

23 Vgl. z. B. [59] Rickert u. a. „Motorkonzepte zur Erfüllung der IMO Tier III Emissionsgrenzen“. 2013, S. 450.

24 Vgl. [55] Reif. *Dieselmotor-Management im Überblick*. 2010, S. 156.

25 Vgl. [59] Rickert u. a. „Motorkonzepte zur Erfüllung der IMO Tier III Emissionsgrenzen“. 2013, S. 456.

26 Vgl. [42] Körfer u. a. „Zukünftige Emissionserfüllung bei Großdieselmotoren: Einheitsansätze oder maßgeschneiderte Lösungen“. 2010, S. 85 ff.

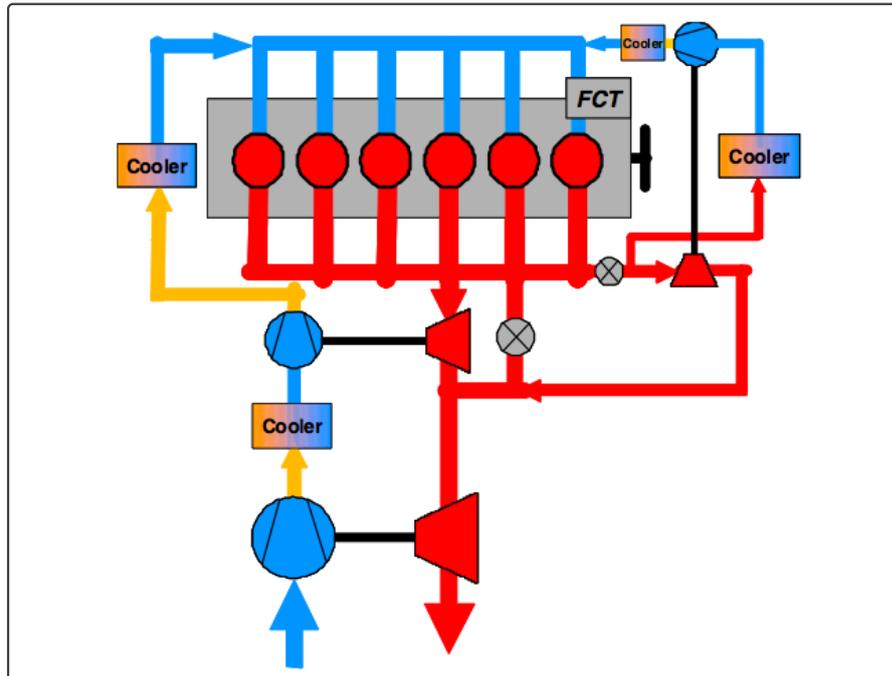


Abbildung 36: Motorkonzept mit AGR und zweistufiger Aufladung
 [59] Rickert u. a. „Motorkonzepte zur Erfüllung der IMO Tier III Emissionsgrenzen“. 2013, S. 451

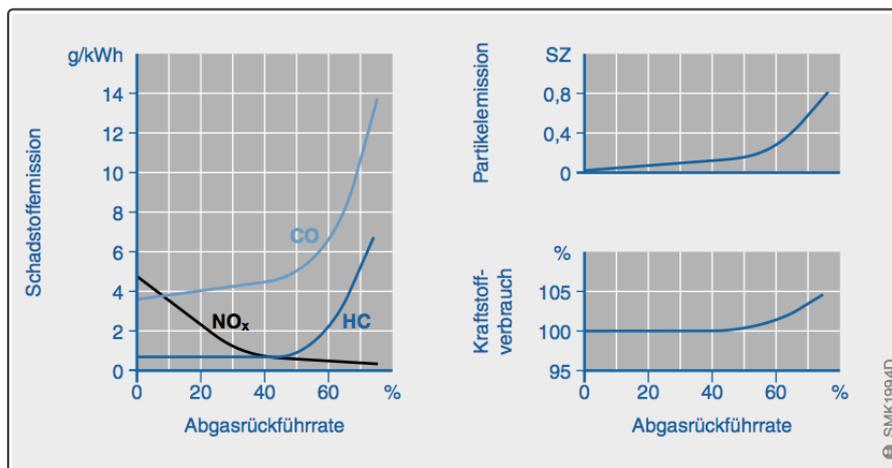


Abbildung 37: Auswirkungen von AGR auf Emissionen und Kraftstoffverbrauch
 [55] Reif. *Dieselmotor-Management im Überblick*. 2010, S. 156

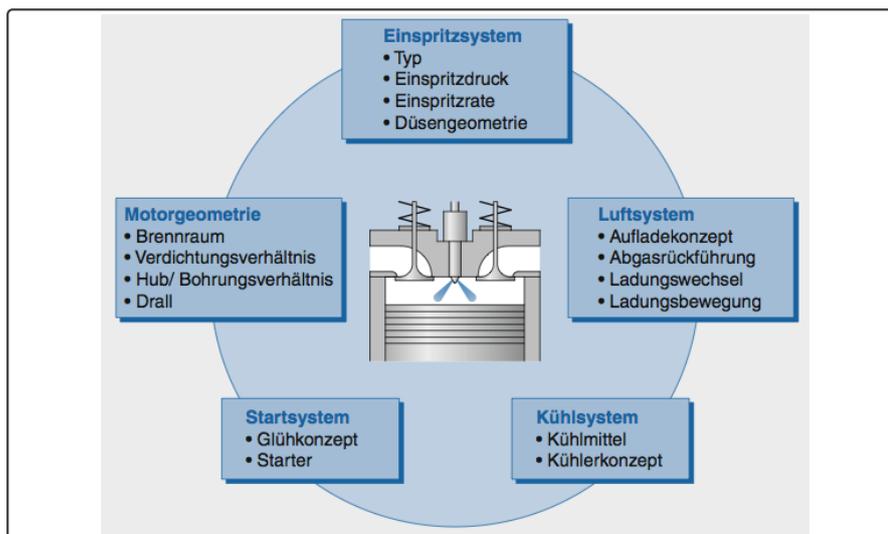


Abbildung 38: Einflussfaktoren des Brennverfahrens

[55] Reif. *Dieselmotor-Management im Überblick*. 2010, S. 140

Bei Gasmotoren kann man allein durch Magerbrennverfahren die kommenden Emissionsgrenzwerte nach IMO Tier III einhalten.²⁷

Bei Dieselmotoren können die Emissionsgrenzen der *US Environmental Protection Agency (EPA)* Tier III und IV ohne Abgasnachbehandlung v. a. im Bezug auf Partikelemissionen nicht erreicht werden. Eine Untersuchung der AVL in Zusammenarbeit mit dem Large Engines Competence Center Graz (LEC) an je einem schnell- und mittelschnelllaufenden Dieselmotor mit fünf bzw. 20 Liter Hubraum je Zylinder hat allerdings gezeigt, dass sogar Tier-IV-Grenzwerte ohne zusätzlichen Partikelfilter (jedoch mit AGR oder SCR) eingehalten werden können. Dazu ist jedoch ein hohes technisches Niveau und eine optimale Auslegung aller Komponenten – also eine ganzheitliche Systembetrachtung – unumgänglich. Vorteilhaft ist, dass bei einer für Tier IV entwickelten Motorenbaureihe, die kommerziell möglicherweise aufgrund hoher Technologie- und Herstellungskosten wenig erfolgreich wäre, mit hoher Bauteilgleichheit auch Varianten für den „Volu-

Weiterentwicklung
des
Verbrennungsmotors

²⁷ Vgl. [2] Auer u. a. „Vorgehensweise in der Brennverfahrensentwicklung für mittelschnelllaufende Gasmotoren bei MAN Diesel & Turbo“. 2013, S. 411.

menmarkt“ mit Erfüllung niedrigerer Emissionsstandards abgeleitet werden können.²⁸

Direkte Wassereinspritzung

Die Zugabe von Wasser in den Brennraum erfordert die Aufbringung von Verdampfungsenthalpie, was zu einer sinkenden Verbrennungstemperatur sowie geringeren NO_x-Emissionen führt. Die Wasserzufuhr kann z. B. durch Direkteinspritzung in den Brennraum erfolgen. Es gibt jedoch gravierende Nachteile: „Die NO_x-Absenkung beträgt etwa 1% pro % Wasseranteil im Brennraum“. Ein SCR-System würde nur einen Bruchteil der Menge an Harnstoff für den gleichen Effekt benötigen und eine NO_x-Reduktion von insgesamt etwa 80% gegenüber maximal 25% erreichen.²⁹

Downsizing

Downsizing kann z. B. durch Verwendung eines CODLAD-Systems ermöglicht werden, ohne eine geringere Antriebsleistung in Kauf nehmen zu müssen.

Der Hauptvorteil von *Combined diesel-electric and diesel propulsion* (CODLAD) kann durch Abbildung 39b gut veranschaulicht werden: Bei niedrigen Geschwindigkeiten (Punkt 1) wäre ein Antrieb durch den Hauptdiesel im Teillastpunkt ineffizient. Ein Elektromotor, der von kleineren Hilfsmotoren versorgt wird, wäre ausreichend (*Power Take-In* (PTI)). Die Hauptmaschine kann auf die typische Fahrtgeschwindigkeit (Punkt 2) ausgelegt werden, so dass sie im verbrauchsoptimalen Bereich betrieben wird und ggf. Bordverbraucher mitversorgt (*Power*

²⁸ Vgl. [39] Kammerdiener und Pemp. „Brennverfahren für schnell- und mittelschnelllaufende Diesel-Großmotoren für zukünftige Emissionsanforderungen“. 2013.

²⁹ Vgl. [42] Körfer u. a. „Zukünftige Emissionserfüllung bei Großdieselmotoren: Einheitsansätze oder maßgeschneiderte Lösungen“. 2010, S. 88.

Take-Off (PTO)). Für Höchstgeschwindigkeit (Punkt 3) wirken Elektromotor und Hauptmaschine auf den Antrieb.³⁰

Zu einem Hybridantrieb fehlt diesem Konzept lediglich eine Batterie.

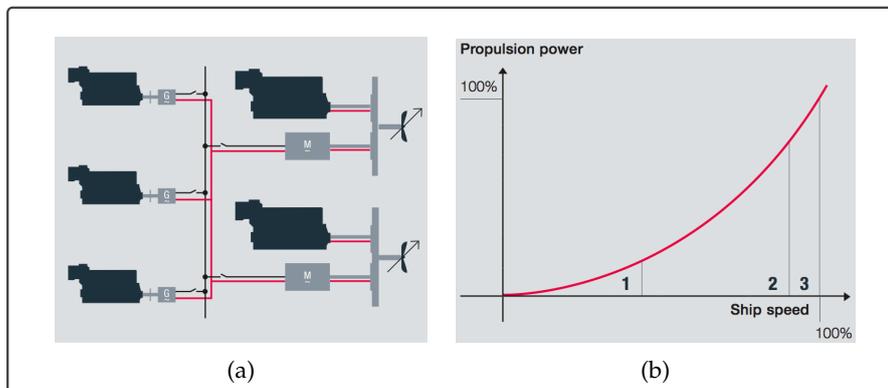


Abbildung 39: Struktur und Betriebspunkte eines kombinierten Schiffsantriebs

[137] MAN Diesel & Turbo SE. *Hybrid Propulsion – Flexibility and maximum efficiency optimally combined*. 2012, S. 4, 8

Elektrifizierung von Nebenaggregaten

Etwa 5% des jährlichen MFO-Verbrauchs spielt sich in Häfen ab, da die Bordversorgung durch Onboard-Generatoren gewährleistet wird. Energieversorgung vom Festland und Abzweigen der Leistung der Bordverbraucher von einer eventuell vorhandenen Batterie könnte Diesel-Nebenaggregate überflüssig machen.³¹

Ladeluftinertisierung durch Membrantechnik

Ladeluftinertisierung, also die Erhöhung des Anteils von N_2 , CO_2 und Wasserdampf in der Ladeluft, ist eines der Prinzipien, durch die der

³⁰ Vgl. [137] MAN Diesel & Turbo SE. *Hybrid Propulsion – Flexibility and maximum efficiency optimally combined*. 2012, S. 8.

³¹ Vgl. [14] Det Norske Veritas AS. „The Electric Ship – The Prius Of The Seas“. 2011, S. 35.

NO_x-Anteil im Abgas gesenkt werden kann.³² Das Wissenschaftlich-Technische Zentrum für Motoren- und Maschinenforschung Roßlau (WTZ) hat gezeigt, dass es mit Hilfe einer Membrantechnik in Verbindung mit einem *Common-Rail*-Einspritzsystem auch ohne AGR oder SCR möglich ist, IMO Tier III einzuhalten und dabei zu den genannten Alternativen konkurrenzfähig zu sein.³³

Hybridisierung

Batterien zwischen Generatoren und Motoren können überflüssige Energie speichern und diese dann abgeben, wenn sie benötigt wird. Damit kann man Schwankungen in der Lastkurve begegnen und je nach Größe der Speicherkapazität vollelektrisch fahren. Auch ein stationäres Aufladen mit Strom aus dem Netz ist möglich. Mit der fortschreitenden Weiterentwicklung der Batterietechnologie könnten Batteriesysteme eine größere Verbreitung erlangen.³⁴ DNV sagt in ihrem *Technology Outlook 2020* einen zunehmenden Elektrifizierungsgrad von Service-, Passagier- und kleineren Frachtschiffen voraus. Durch Kombination mehrerer Energiequellen, darunter z. B. auch Brennstoffzellen oder Windturbinen, erreicht man höhere Flexibilität und Effizienz auf Kosten größeren Wartungs- und Raumbedarfs.³⁵

Schlüsseltechnologie
Batterie

Durch Rekuperation kann ein Teil der benötigten Antriebsleistung (im obigen Beispiel 6 bzw. 25 Prozent) eingespart werden, was sich in einem geringeren Treibstoffverbrauch bemerkbar macht. Besonders vorteilhaft ist generatorisches Bremsen bei kleineren benötigten Bremsmomenten, z. B. bei Langsamfahrt und Stop-and-Go-Betrieb. Möglich ist Rekuperation z. B. bei Diesellokomotiven mit fluktuierendem Betriebsprofil bei geringeren beförderten Lasten oder bei Mining-Trucks.

Rekuperation

³² Vgl. [55] Reif. *Dieselmotor-Management im Überblick*. 2010, S. 156.

³³ [22] Gern und Pittermann. „Ladeluftinertisierung durch Membrantechnik – Eine alternative Technologie für IMO III-Schiffsdieselmotoren?“ 2013.

³⁴ Vgl. [14] Det Norske Veritas AS. „The Electric Ship – The Prius Of The Seas“. 2011, S. 35.

³⁵ Vgl. ebd., S. 34.

5.2 MARKTANALYSE

In diesem Abschnitt wird zunächst über die aktuelle Branchenentwicklung berichtet. Es folgen die Segmentierung der Branche sowie ein Überblick über ausgewählte Marktakteure.

5.2.1 Branche

MARKTTRENDS Der weltweite Schiffbau und damit auch der Marinemotorensektor befindet sich in einer schwierigen Situation. 2012 sah man einen neuerlichen Rückgang an Bestellungen. Zwar erwartet man in der für den heutigen Schiffbau bedeutendsten Region Fernost starke Nachfrage in einzelnen Segmenten (v. a. LNG-Tanker und *Offshore*-Schiffe), jedoch wird eine Markterholung auf sich warten lassen. Bestellzahlen wie in den Jahren bis 2008 (vgl. Abbildung 40) wird es in absehbarer Zeit wohl nicht mehr geben.³⁶ Eine gewisse Unsicher-

Weltschiffbau

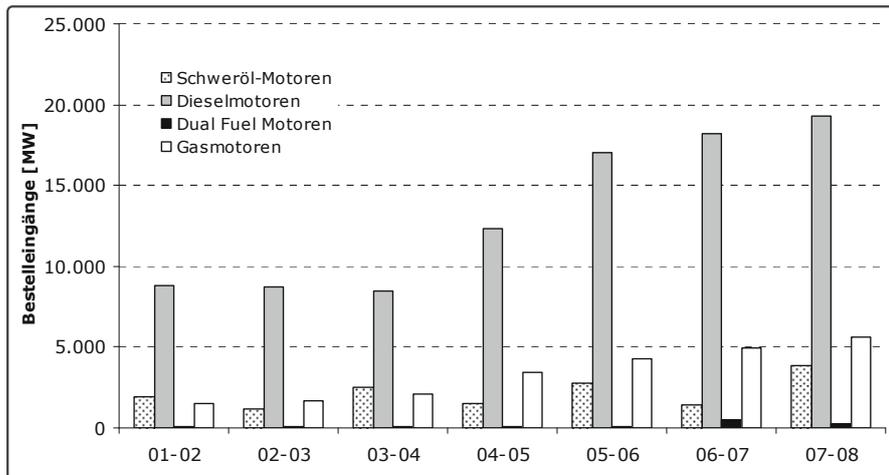


Abbildung 40: Entwicklung der weltweiten Großmotoren-Bestellungen in Motorleistungen. 2001–2008

[47] Merker, Schwarz und Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren*. 2011, S. 101

36 [28] Haight. „2013 Marine Propulsion Order Survey“. 2013.

heit gibt es im Bereich der Emissionsgesetzgebung, da die Einführung der Stufe III möglicherweise hinausgezögert wird.³⁷ Mit Einführung der Tier-III-Grenzen ist eine starke Zunahme an *Dual-Fuel*- bzw. Gasmotorbestellungen zu rechnen.

Investitionen im Eisenbahnsektor

Der *Rail*-Sektor zeigte ein konstantes Wachstum seit 2009 und man kann davon ausgehen, dass dies anhalten wird. *Market Drivers* sind hier weltweit vorhandene Infrastrukturprojekte im Bereich Eisenbahn, steigende Treibstoffkosten, höhere Streckenauslastung sowie zunehmendes Umweltbewusstsein in der Politik.³⁸

DIE AUFTRAGSLAGE im Schiffbau und bei Marinemotoren ist seit dem bisherigen Maximum im Jahr 2008 stark abgefallen. Das Geschäftsjahr 2012 verzeichnete einen Rückgang um 29% der Bestelleingänge an Marinemotoren gegenüber 2011. Die Aufträge im Schiffbau waren in den ersten drei Quartalen 2012 um 48% geringer als im Vergleichszeitraum 2011 aufgrund des nach wie vor großen Überangebots an vorhandenen Schiffen.³⁹

China hatte 2012 einen Marktanteil im Schiffbau von 45%, dicht gefolgt von Korea (siehe auch Abbildung 57), das sich 2013 ein Auftragsplus aufgrund der hohen Nachfrage an *Offshore*-Schiffen erwartet. Auch in den Vereinigten Staaten wurde eine Nachfrage an Tiefsee-Bohrschiffen verzeichnet. Der LNG-Trend dürfte zusätzlich für weltweite Neubestellungen sorgen.⁴⁰

37 [112] Diesel & Gas Turbine Publications. *IMO To Delay Tier III NOx Emissions Limits For Ships*. 2013.

38 Vgl. [27] Haight. „2012 Mechanical Drive Order Survey“. 2012; und [29] Haight. „2013 Mechanical Drive Order Survey“. 2013.

39 Vgl. [28] Haight. „2013 Marine Propulsion Order Survey“. 2013.

40 Vgl. ebd.

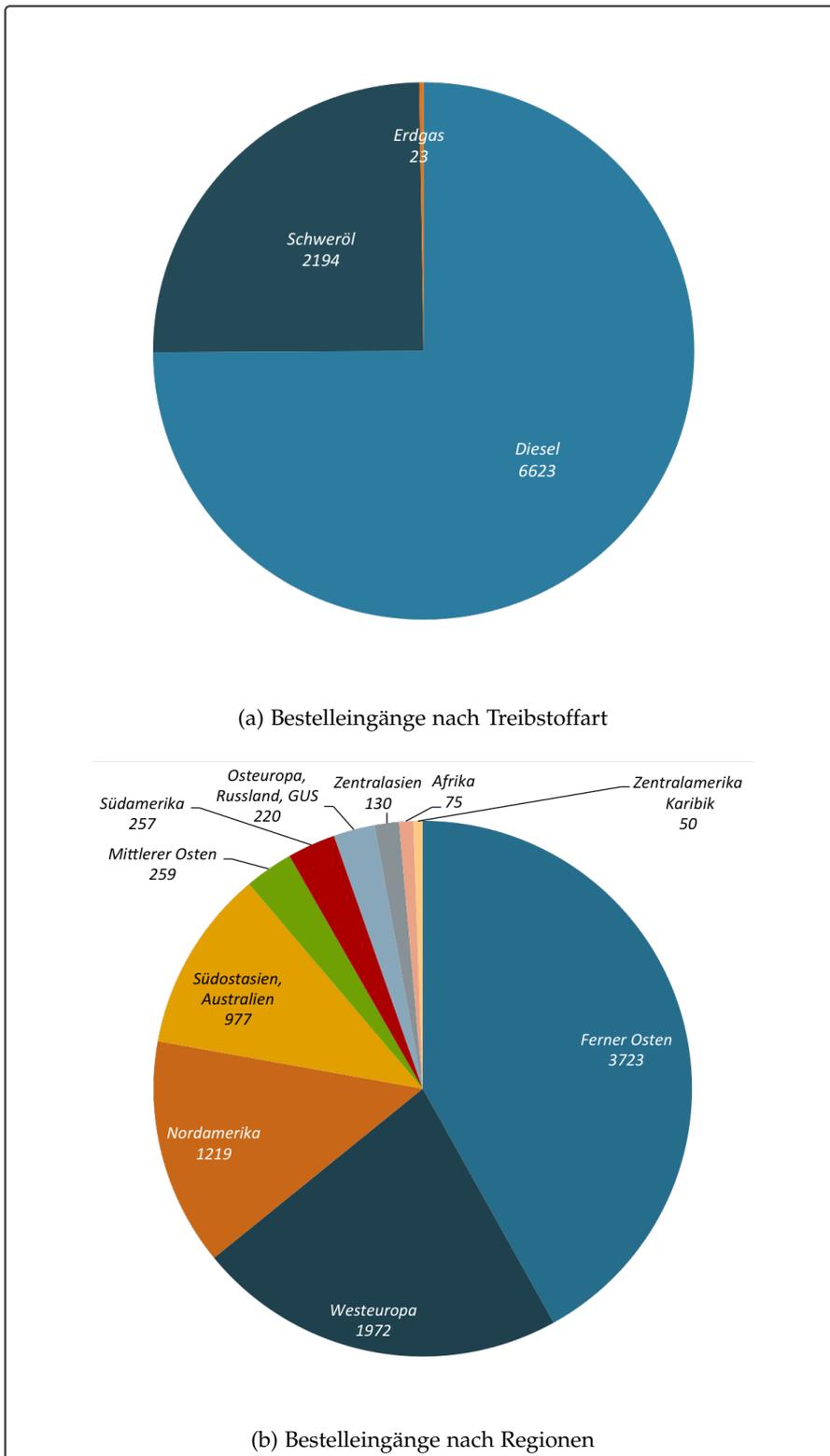


Abbildung 41: Weltweite bestellungen Marinemotoren im Jahr 2012 laut *Marine Propulsion Order Survey*

[28] Haight. „2013 Marine Propulsion Order Survey“. 2013

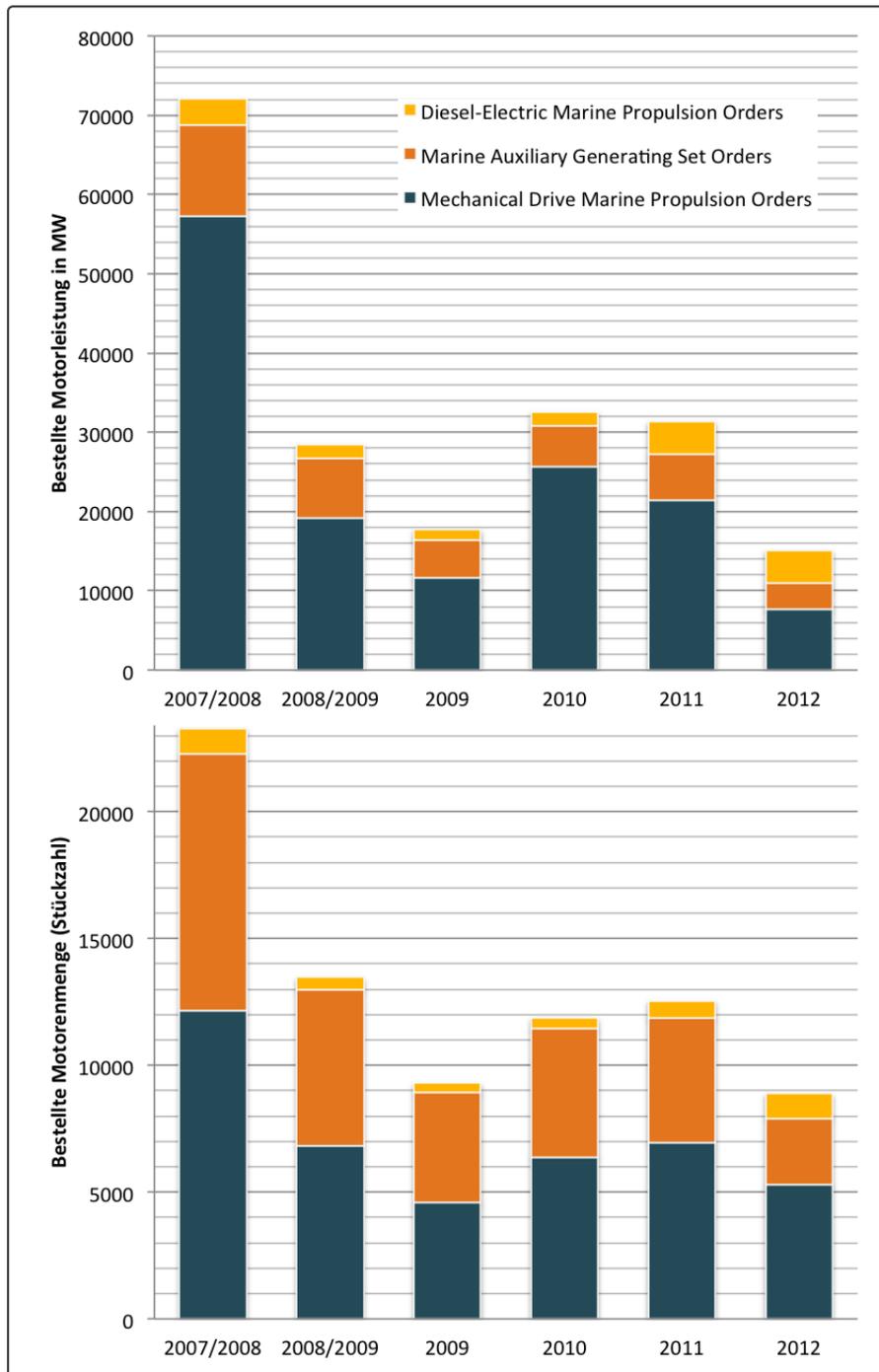


Abbildung 42: Bestelleingänge Marinemotoren

Daten aus [23] Haight. „2009 Marine Propulsion Order Survey“. 2009; [24] Haight. „2010 Marine Propulsion Order Survey“. 2010; [25] Haight. „2011 Marine Propulsion Order Survey“. 2011; [26] Haight. „2012 Marine Propulsion Order Survey“. 2012; [28] Haight. „2013 Marine Propulsion Order Survey“. 2013

5.2.2 Marktsegmentierung

Im Wesentlichen kann der Großmotoren-Markt sinnvoll nach zwei Gesichtspunkten segmentiert werden.

Nach Motorbauform

Eine geläufige Einteilung ist jene nach dem Drehzahlbereich bzw. der Bauart (vgl. Abbildung 23), die schon vorher mehrfach verwendet wurde:

- A. LANGSAMLÄUFER
- B. MITTELSCHNELLLÄUFER
- C. SCHNELLLÄUFER

*Bauart-
Segmentierung*

Nach Applikationen

Auch die Anwendungsbereiche bieten eine sinnvolle Einteilung:

- A. MARINE PROPULSION, meist weiter unterteilt in *Mechanical Drive* und *Diesel-electric*
- B. MARINE AUXILIARY
- C. LOCOMOTIVE
- D. OFF-HIGHWAY, z. B. Mining-Trucks
- E. POWER GENERATION, hier nicht weiter beachtet
- F. MULTIPURPOSE, also Motoren für mehrere Applikationen

*Applikations-
Segmentierung*

Da Langsamläufer außer zur Stromerzeugung fast ausschließlich als Schiffshauptantrieb verwendet werden, Mittelschnell- und Schnellläufer jedoch sogar innerhalb derselben Motorenbaureihe oft für mehrere Applikationen vorgesehen sind, ist eine Segmentierung nach der Bauform bzw. dem Drehzahlbereich in dieser Arbeit am geeignetsten. Siehe dafür Abbildung 44.

5.2.3 *Marktteilnehmer*

Die hauptsächlichen strategischen Gruppen von Marktteilnehmern aus Sicht der AVL sind in Abbildung 43 abgebildet und in Leistungs- sowie Kompetenzkategorien eingeteilt.

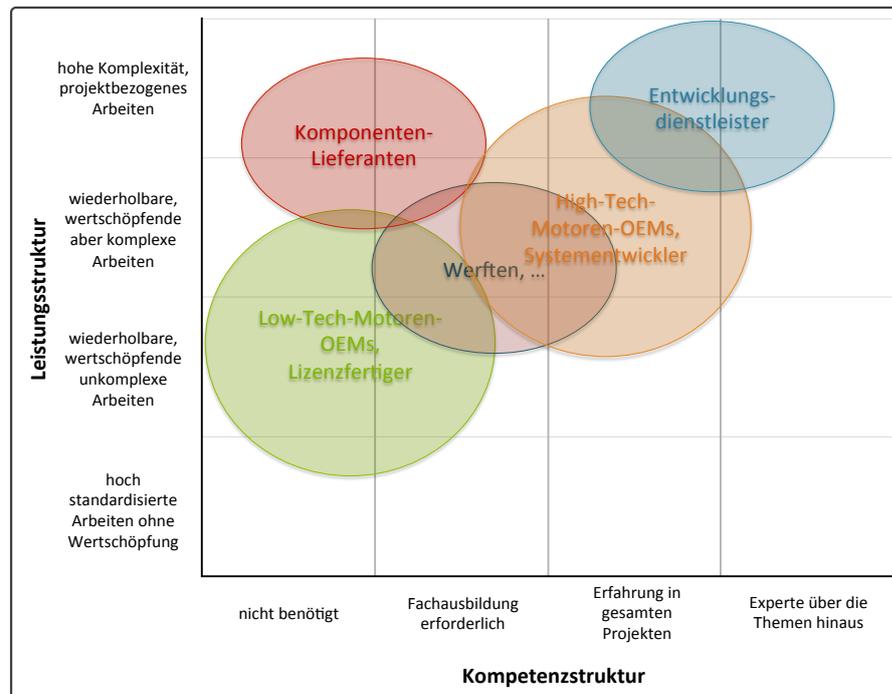


Abbildung 43: Marktstruktur der Großmotoren-Branche. Die linksliegenden Gruppen eignen sich besonders für Kooperationen, die unten liegenden als Kunden.

Selbsterstellt und mit Experten besprochen [163] Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. 4. Apr. 2014; in Anlehnung an [70] Seeger. *Management von Industriedienstleistern: Herausforderungen, Konzepte, Beispiele*. 2010, S. 4

Die wichtigsten betrachteten Marktteilnehmer werden in Anhang B ab Seite 139 kurz vorgestellt und erwähnenswerte Erkenntnisse präsentiert. Außerdem werden finanzielle Kennzahlen aus den verfügbaren Jahresberichten der dort genannten Unternehmen aufgelistet.

Abbildung 44 zeigt zur Übersicht die in dieser Arbeit näher betrachteten Motorenhersteller, die Motoren für den Marine-, Lokomotiv- oder Mining-Bereich entwickeln und herstellen.

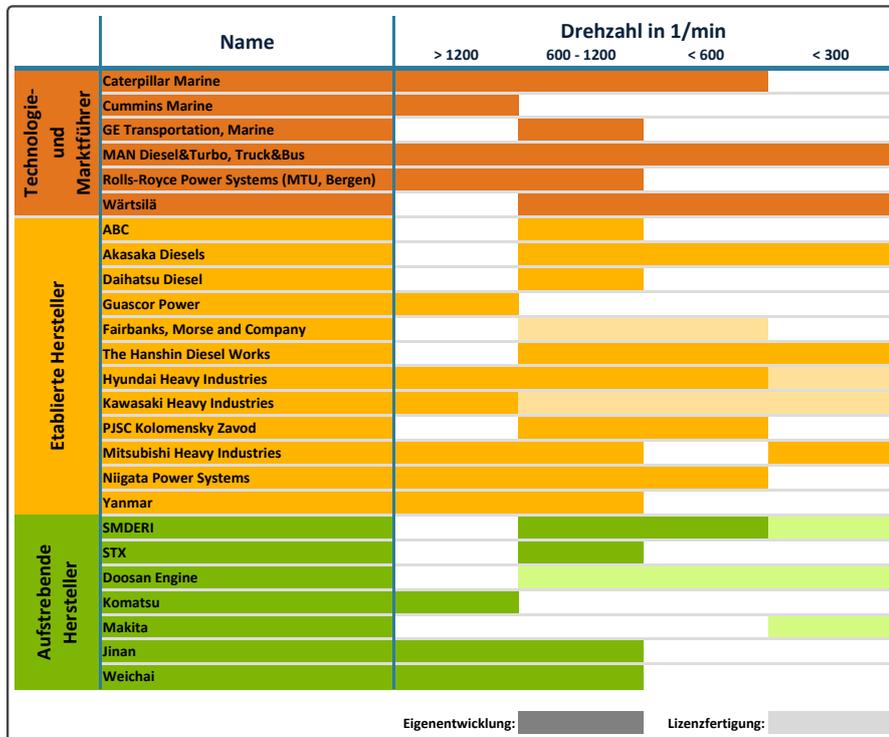


Abbildung 44: Übersicht der bedeutendsten Motoren-OEMs.

Selbsterstellt nach Sichtung der OEM-Websites mit Informationen aus [164] Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. 15. Jan. 2014

5.3 WETTBEWERBSANALYSE

Mit Hilfe der in Abschnitt 4.3 vorgestellten Methoden wird in diesem Abschnitt eine Analyse der Branche sowie ihrem Wettbewerb durchgeführt.

5.3.1 *SWOT-Analyse*

Die weit verbreitete Methode der SWOT-Analyse erlaubt es, die Situation des eigenen Unternehmens im Kontext des Wettbewerbs zu erfassen. Die Auswertung der vier Teilanalysen ist im Folgenden zu finden.

STÄRKEN

- Strengths*
1. langjährige Erfahrung im Bereich Großmotoren
 2. Erfahrung mit PKW- und Nutzfahrzeug (Nfz)-Hybridsystemen
 3. Zukunftsorientierung und Weitsicht der Geschäftsführung
 4. Inventionsstärke und Patententwicklungen
 5. Stärke bei Simulation; eigenentwickelte Simulationstools
 6. Fokus auf mehrere Geschäftsbereiche
 7. guter Kundenkontakt zu Motoren-OEMs

SCHWÄCHEN

- Weaknesses*
1. Team und Struktur für Hybrid-GRM-Entwicklung noch nicht vorhanden
 2. teilweise ineffiziente interdisziplinäre Zusammenarbeit bei bestehenden Projekten
 3. Bekanntheitsgrad bei potentiellen Kunden noch gering
 4. Werkzeuge (IT) kaum geeignet für größere System-Entwicklungen
 5. Qualität eigener Entwicklungen immer von Lieferanten abhängig
 6. Lieferantennetz für Hybridsysteme fehlt noch

CHANCEN

1. Aufkommen neuer Batterietechnologien (Schlüsseltechnologie für Hybridsysteme)
2. AVL kann Pionierleistung bringen und ihre Reputation erhöhen
3. steigende Treibstoffkosten begünstigen Akzeptanz von Hybridantrieben
4. noch kaum Konkurrenz vorhanden
5. steigenden Akzeptanz von Hybrid-GRM durch positive Erfahrungen bei PKW und Nfz
6. Rolle des Systemintegrators noch ungeklärt

*Opportunities***RISIKEN**

1. keine bzw. zu wenige Abnehmer
2. Konkurrenz erlangt schneller die Marktreife
3. günstigere Konkurrenz-Angebote
4. sinkende F&E-Fremdvergabe bei potentiellen Kunden
5. Substitution durch Preisverfall bei LNG durch Einsatz von Fracking
6. Substitution durch Superkondensatoren als Kurzzeitspeicher

*Threats***5.3.2 Wettbewerbskräfte**

Als Methode der Branchenstrukturanalyse werden hier die Wettbewerbskräfte nach Porter für die Branche *Hybridsysteme für GRM-Applikationen* aufgezeigt. Dabei wird sowohl die Sichtweise der AVL als Unternehmen als auch die der Entwicklungsdienstleister als *strategische Gruppe* betrachtet.



Abbildung 45: Ergebnisse der SWOT-Analyse.
Selbsterstellt.

DIE RIVALITÄT UNTER DEN BESTEHENDEN UNTERNEHMEN

1. Die Branche der Großmotoren-Hybridsysteme hat noch keine nennenswerte Größe. Es gibt nur wenige Systemanbieter und nur wenige Versuchsträger, jedoch noch keine Serienprodukte.
2. Schiffswerften lassen sich vermutlich zum Teil nur schwer überzeugen, die Rolle des Systemintegrators abzutreten.
3. Es ist, abhängig von der Produktakzeptanz und den technologischen Entwicklungen, ein kontinuierliches Marktwachstum zu erwarten, das für einen steigenden Wettbewerb sorgen wird.
4. Andere Entwicklungsdienstleister setzten die AVL vermutlich einem Preisdruck aus.

Wettbewerb in der
Branche

<p>Rivalität unter den bestehenden Unternehmen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Die Branche der Großmotoren-Hybridsysteme hat noch keine nennenswerte Größe. Es gibt nur wenige Systemanbieter und nur wenige Versuchsträger, jedoch noch keine Serienprodukte. 2. Schiffswerften lassen sich vermutlich zum Teil nur schwer überzeugen, die Rolle des Systemintegrators abzutreten. 3. Es ist, abhängig von der Produktakzeptanz und den technologischen Entwicklungen, ein kontinuierliches Marktwachstum zu erwarten, das für einen steigenden Wettbewerb sorgen wird. 4. Andere Entwicklungsdienstleister setzen die AVL vermutlich einem Preisdruck aus. <p>Bedrohung durch Ersatzprodukte</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generell besteht eine gewisse Substitutionsgefahr durch effizientere Verbrennungsmotoren, deren Zuverlässigkeit bewiesen ist und die kein teures Batteriesystem benötigen. 2. Im <i>Rail</i>-Sektor besteht die Gefahr der Substitution durch elektrische Traktion nach Streckenelektrifizierung. 3. In bestimmten Anwendungsbereichen, wo nur sehr kurze Lastspitzen auftreten, kann eine Energiespeicherung durch Superkondensatoren oder auch Hydraulik ausreichen. <p>Bedrohung durch neue Konkurrenten</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Je mehr Teilsysteme (z. B. Elektronik, Elektromotoren, Batterien, Verbrennungsmotoren, Antriebstechnik) bereits vom einem Unternehmen angeboten werden, desto leichter ist ein Markteintritt bei Hybridsystemen 2. Andere Entwicklungsdienstleister oder OEMs (insbesondere Schiffsentwickler) könnten ebenfalls die Rolle des Systemintegrators anstreben und Hybridsystementwicklungen anbieten. <p>Verhandlungsmacht der Lieferanten</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Wenige Batterielieferanten mit teils sehr unterschiedlichen Technologien bedingen erhöhte Risiken und Kosten, falls ein Lieferantenwechsel notwendig sein sollte. 2. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von geeigneter Batterietechnologie ist derzeit mit hohen Preisen zu rechnen. 3. große Abhängigkeit des Systemerfolges von der Qualität der Lieferanten-Komponenten <p>Verhandlungsmacht der Abnehmer</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kunden müssen erst von den Vorteilen im Dauerbetrieb sowie der Zuverlässigkeit überzeugt werden, daher ist mit vorsichtigem Verhalten zu rechnen. 2. Überschaubare Kundenanzahl und damit wenige Absatzalternativen für das eigene Produkt kann zu einem Preisdruck durch die Kunden führen. 3. Kunden könnten ggf. ein vergleichbares Hybridsystem selbst entwickeln.

Abbildung 46: Ergebnisse der *Five-Forces*-Analyse.
Selbsterstellt.

DIE BEDROHUNG DURCH ERSATZPRODUKTE

Substitution

1. Generell besteht eine gewisse Substitutionsgefahr durch effizientere Verbrennungsmotoren, deren Zuverlässigkeit bewiesen ist und die kein teures Batteriesystem benötigen.
2. Im *Rail*-Sektor besteht die Gefahr der Substitution durch elektrische Traktion nach Streckenelektrifizierung.
3. In bestimmten Anwendungsbereichen, wo nur sehr kurze Lastspitzen auftreten, kann eine Energiespeicherung durch Superkondensatoren oder auch Hydraulik ausreichen.

DIE BEDROHUNG DURCH POTENTIELLE NEUE KONKURRENTEN

Neue Konkurrenten

1. Je mehr Teilsysteme (z. B. Elektronik, Elektromotoren, Batterien, Verbrennungsmotoren, Antriebstechnik) bereits vom einem Unternehmen angeboten werden, desto leichter ist ein Markteintritt bei Hybridsystemen
2. Andere Entwicklungsdienstleister oder OEMs (insbes. Schiffsentwickler) könnten ebenfalls die Rolle des Systemintegrators anstreben und Hybridsystementwicklungen anbieten.

DIE VERHANDLUNGSSTÄRKE DER LIEFERANTEN mit Fokus auf Lieferanten von Batterien als Schlüsseltechnologie für Hybridantriebe

Lieferanten

1. Wenige Batterielieferanten mit teils sehr unterschiedlichen Technologien bedingen erhöhte Risiken und Kosten, falls ein Lieferantenwechsel notwendig sein sollte.
2. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von geeigneter Batterietechnologie ist derzeit mit hohen Preisen zu rechnen.
3. große Abhängigkeit des Systemerfolges von der Qualität der Lieferanten-Komponenten

DIE VERHANDLUNGSSTÄRKE DER ABNEHMER

1. Kunden müssen erst von den Vorteilen im Dauerbetrieb sowie der Zuverlässigkeit überzeugt werden, daher ist mit vorsichtigem Verhalten zu rechnen.
2. Überschaubare Kundenanzahl und damit wenige Absatzalternativen für das eigene Produkt kann zu einem Preisdruck durch die Kunden führen.
3. Kunden könnten ggf. ein vergleichbares Hybridsystem selbst entwickeln.

Kunden

5.3.3 *Ableitung von Strategien*

Aus der Analyse der Wettbewerbskräfte und der SWOT-Analyse können nun Strategien für den Markteintritt im Bereich hybride Großmotoren-Applikationen formuliert werden. Sie werden in Abschnitt 6.3 aufgezeigt.

5.4 EXISTIERENDE HYBRID-GROSSMOTOR-APPLIKATIONEN

Während der Literaturrecherche konnten einzelne Umsetzungen von Hybridantrieben bei Großmotoren-Applikationen gefunden werden. Um die Frage zu beantworten, ob grundsätzlich eine Hybridisierung in diesen Anwendungsgebieten auch in der Praxis sinnvoll ist, werden die interessantesten bestehenden Realisationen im Folgenden kurz vorgestellt.

5.4.1 *Marine*

Im Marinesektor finden sich Beispiele aus verschiedenen strategischen Gruppen: ein OEM, eine Werft und zwei Schiffsbetreiber. Dies zeigt, dass es vielseitiges Interesse an diesem Thema gibt.

ROLLS-ROYCE Der britische Konzern hat langjährige Erfahrungen mit dieselelektrischen Antrieben, die sich naturgemäß leicht zu vollwertigen Hybridantrieben weiterentwickeln lassen. ROLLS-ROYCE verspricht zahlreiche Vorteile:⁴¹

- hohe Flexibilität
- Reduktion von Treibstoffverbrauch und Emissionen
- geringerer Platzbedarf und geringeres Gewicht als herkömmliche Schiffsantriebe
- NVH-Reduktion
- reduzierte Wartungskosten

DAMEN SHIPYARDS Hafenschlepper laufen während eines Großteils ihrer Arbeitszeit in einem ineffizienten Lastpunkt. Durch das Hybrid-Antriebssystem, das DAMEN versuchsweise auf einem Schlepper mit 60 Tonnen Zugkraft im Hafen von Rotterdam einsetzte, konnten Treibstoffeinsparungen von 10–30% erzielt werden und die Emissionen sogar bis zu 60% reduziert werden.

SCANDLINES Das bisher größte existierende Hybridschiff, die RoPax-Fähre PRINSESSE BENEDIKTE der dänischen SCANDLINES, verkehrt mit drei baugleichen Schwesterschiffen, die noch auf Hybridantrieb umgerüstet werden sollen, zwischen Rødbyhavn und Puttgarden. Als Batteriesystem wurden Lithium-Polymer-Akkus von CORVUS ENERGY gewählt, die folgende Vorteile bieten sollen:⁴²

- geringe Größe und niedriges Gewicht
- kann sehr hohe Spitzenleistung abgeben

41 Vgl. [61] Rolls-Royce. „Electric and hybrid propulsion system options for real flexibility“. 2013.

42 Vgl. [104] Cook. *The Prius of the Sea – world's largest hybrid ferry recharges green travel*. 2013.

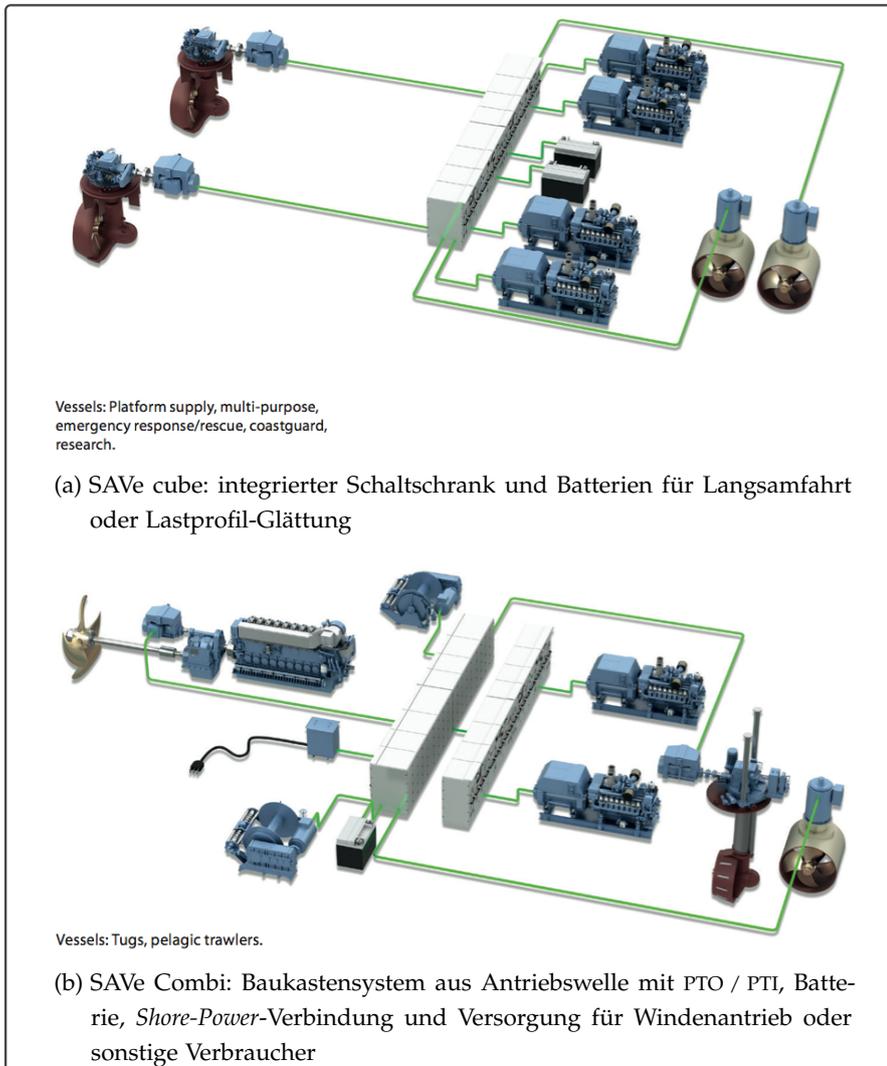


Abbildung 47: Integrierte elektrische Antriebssysteme von ROLLS-ROYCE.
 [61] Rolls-Royce. „Electric and hybrid propulsion system options for real flexibility“. 2013



Abbildung 48: Hybrid-Marine-Applikationen

(a) [109] Damen Shipyards Group. *Damen develops extra efficient environmental friendly hybrid tug.* 2013; (b) [96] Baak. *Unter Strom – Die weltweit größte Hybridfähre.* 2014; (c) [140] Marine Insight. *Winning Name for World’s Next Hybrid Ferry Announced.* 2013

- effizienteres Aufladen als Konkurrenzprodukte in 30 Minuten mit *Shore-Power* aus erneuerbaren Quellen oder vom Generator
- kein Kühlsystem benötigt
- hohe Widerstandsfähigkeit gegen Vibrationen oder Aufprälle
- 30 Minuten rein elektrisches Fahren möglich
- die für zehn Jahre garantierte Lebensdauer ermöglicht eine Amortisationszeit in unter fünf Jahren

CALEDONIAN MACBRAYNE Der schottische Fährbetreiber orderte im Rahmen des „Low Emission Hybrid Ferries Project“ eine Hybrid-RoRo-Schiff mit Passagierkapazität (RoPax)-Fähre, deren zwei Lithium-Ionen-Batterien mit je 350 kW von IMTECH geliefert wurden. Das Schiff verfügt außerdem über zwei Hauptmaschinen mit je 450 kW Leistung sowie über drei kleinere Gensets. CALEDONIAN erwartet sich eine CO₂-Reduktion um 20%.⁴³

5.4.2 Lokomotiven

Im Eisenbahnsektor werden vielerorts Investitionen durch die öffentliche Hand mitfinanziert. In westlichen Ländern spielt dabei oftmals die Umweltverträglichkeit eine sehr viel größere Rolle als in der Schifffahrt, wo der Kostenfaktor dominiert. Das spiegelt sich in der folgenden Auswahl wieder:

BOMBARDIER TRAXX 3 Die Deutsche Bahn AG (DB AG) hat 2013 einen Rahmenvertrag über bis zu 450 modular aufgebaute Elektrolokomotiven abgeschlossen, die – mit einem optionalen „Last-Mile“-Dieselgenerator ausgestattet – auch kürzere nichtelektrifizierte Strecken befahren können.⁴⁴ Auch sonstige *Bombardier-*

⁴³ Vgl. [150] ship-technology.com. *MV Hallaig Hybrid Ferry, Scotland*. 2014.

⁴⁴ Vgl. [111] Deutsche Bahn AG. *DB und Bombardier einigen sich auf Rahmenvertrag über E-Loks*. 2013.

Entwicklungen (z. B. die Dual-Power-Lokomotive Bombardier ALP-45DP) gehen nicht über Zweikraftantriebe hinaus, so dass nicht von Hybrid-Triebfahrzeugen im engeren Sinn gesprochen werden kann.⁴⁵

JR EAST KIHA E200 Ein Versuch, den Energieverbrauch und die Emissionen im Schienenverkehr zu senken, führte zur Entwicklung der KiHa-E200-Triebwagen. Die seit 2007 im Personennahverkehr eingesetzten Fahrzeuge ermöglichen eine Speicherung der Bremsenergie in einer der zwei redundanten Batterien. Der Antrieb erfolgt rein elektrisch – der Dieselmotor wird ausschließlich als Generator verwendet. Technologien, wie das „Gradient-prediction“-System, ermöglichen weitere Effizienzsteigerung.⁴⁶

SINARA TEM9H Das vergleichsweise junge russische Unternehmen SINARA TRANSPORT MACHINES hat eine mit Lithium-Ionen-Akkus ausgerüstete Rangierlokomotive (siehe Abbildung 49) mit ca. 1200 PS entwickelt, die folgende Möglichkeiten bietet:⁴⁷

- rekuperatives Bremsen
- Abrufen der gespeicherten Leistung für hohe Zugkraftanforderungen und für die Versorgung der Nebenaggregate
- Fahrbetrieb bei ausgeschaltetem Dieselmotor für mind. 60 Minuten
- Reduktion des Dieserverbrauchs um 30% und Verringerung der Emissionen
- Start-Stopp-Funktion des Dieselmotors
- Optimierung des Dieselgenerator- und Batteriebetriebs über vorausschauendes Fahren durch Positionssatelliten
- Superkondensatoren zum Anlassen des Dieselmotors

45 Vgl. [99] Bombardier Inc. *Transportation - Products & Services*. 2014; [98] Bombardier. *ALP-45DP Dual-power Locomotive*. 2014.

46 Vgl. [78] Tokuyama u. a. *Practical Application of a Hybrid Drive System for Reducing Environmental Load*. 2008.

47 Vgl. [135] Liotech, Ltd. *Shunting locomotive TEM9H*. 2014.

ALSTOM H3 Unter der Bezeichnung „H3“ entwickelt Alstom Lokomotiven für den Rangierdienst mit Hybridantrieb. Diese sollen ab 2015 in Bayern im Dienst sein und die Tauglichkeit des Hybridantriebes unter Beweis stellen. Alstom verspricht Einhaltung der Grenzwertenach EU IIb (siehe Tabelle 9), 50% Kraftstoffverbrauchsreduktion und 70% verringerte Schadstoffemissionen, da die Lokomotiven etwa zu 80% im Batteriebetrieb fahren.⁴⁸

SIEMENS DESIRO CLASSIC Gemeinsam mit der MTU FRIEDRICHSHAFEN GMBH erprobt die DB REGIONETZ VERKEHRS GMBH WESTFRANKENBAHN auf der Bahnstrecke Aschaffenburg – Miltenberg Nahverkehrszüge mit „Hybrid-Powerpacks“ als Unterflurantrieb. Man erwartet sich eine CO₂- und Verbrauchsreduktion um 25%, eine generelle Senkung der Betriebskosten und kann EU IIb sowie kommende Emissionsgrenzen einhalten.⁴⁹

RAILPOWER Das kanadische Unternehmen Railpower, bekannt durch seine *Green Goat*-Genset- und -Hybrid-Lokomotiven, stellte bis zu seiner Insolvenz 2009 Lokomotiven bis etwa 2.000 PS her. Sie verfügten über mehrere Dieselgeneratoren, die je nach Leistungsbedarf zu- oder abgeschaltet werden konnten. Seit 2006 wurden keine Hybridlokomotiven mit Batterien mehr gebaut.⁵⁰

5.4.3 Mining Trucks

Im Mining-Segment gibt es noch kaum öffentliche Informationen über den Einsatz von Hybridantrieben. Zwei Beispiele sind aber nachfolgend angeführt:

ADVANCED TRANSPORTATION TECHNOLOGIES R&D CO. Das koreanische Forschungsinstitut gibt an, seit 2005 an der Hybridisierung von Mining-Trucks zu arbeiten. Es gibt allerdings außer

48 Vgl. [90] Alstom. *Projektstart für Rangierloklotte mit Hybridtechnologie*. 2013.

49 Vgl. [50] MTU Friedrichshafen GmbH. *MTU und Deutsche Bahn erproben Hybridzug*. 2013.

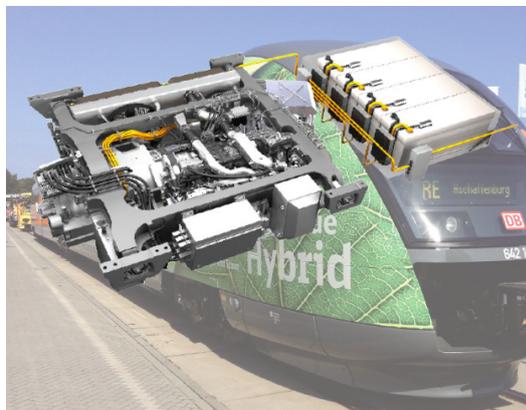
50 Vgl. [125] greenrailnews.com. *RJ Corman Railpower Genset & Hybrid Switchers*. 2012.



(a) Hybrid-Rangierlokomotive Sinara TEM9H



(b) Hybrid-Rangierlokomotive Alstom H3



(c) Siemens Desiro Classic mit MTU-Hybridsystem

Abbildung 49: Hybrid-Applikationen im Rail-Segment

- (a) [135] Liotech, Ltd. *Shunting locomotive TEM9H*. 2014; (b) [90] Alstom. *Projektstart für Rangierlokflotte mit Hybridtechnologie*. 2013; (c) [50] MTU Friedrichshafen GmbH. *MTU und Deutsche Bahn erproben Hybridzug*. 2013

zwei Bildern (siehe Abbildung 50) keine Informationen über den Erfolg und Fortschritt der Bemühungen.⁵¹



Abbildung 50: Hybrid-Mining-Trucks

(a) [89] Advanced Transportation Technology R&D Co. *Hybrid Mining Truck*. 2013; (b) [124] GE Transportation. *GE Transportation | Moving, Powering and Building a Connected World*. 2014

GENERAL ELECTRIC Der amerikanische Mischkonzern setzt auf Natrium-Nickelbatterien für den Einsatz in großen Anwendungen wie Mining Trucks. Das Konzept sieht vor, sich vor allem das Prinzip der Rekuperation zu Nutze zu machen, um etwa die Bremsenergie bei Talfahrten zur Bewältigung von Steigungen einzu-

⁵¹ Vgl. [88] Advanced Transportation Technology R&D Co. *ATT R&D – Converted EVs & HEVs*. 2013.

setzen. Bisher zeigt GE allerdings noch keine markttauglichen Produkte.⁵²

5.5 POTENTIAL DER HYBRIDISIERUNG BEI GROSSMOTOREN-APPLIKATIONEN

Verbrennungsmotoren befinden sich in einem sehr fortgeschrittenen Entwicklungsstadium. Ein großer Weiterentwicklungs- und Optimierungsaufwand führt heute nur noch zu sehr geringen Effizienzsteigerungen. Daher müssen die Systemgrenzen erweitert werden, um andernorts ein paar Prozent Kraftstoffeinsparung und Effizienz zu gewinnen. Dafür bietet die Hybridisierung eine gute Möglichkeit.

5.5.1 *Marine*

Wie schon vorher erwähnt (Abschnitt 5.2.1) gibt es in der Schifffahrtsbranche zur Zeit ein Überangebot an Transportkapazität, was Schiffsreeder einem hohen Preisdruck aussetzt. Abbildung 51 zeigt die Entwicklung der Treibstoffkosten pro Tag am Beispiel eines Aframax-Tankers (mittelgroßes Schiff mit 80.000–120.000 dwt, das die meisten Häfen der Welt anlaufen kann) und setzt diese in Verhältnis zu den erzielbaren Einnahmen durch Time Charter (TC) pro Tag. Kunden, die ein Schiff chartern, müssen selber für den Treibstoff aufkommen, welcher 2012 zwei Drittel der Gesamtkosten pro Tag ausmachte (2005: ein Viertel).⁵³

Es liegt also nahe, den Betriebskosten die größte Bedeutung bei der Investitionsentscheidung für Schiffsneubauten (und auch Umrüstungen) beizumessen. Da bei Schiffen keine Rekuperation möglich ist, müssen

⁵² Vgl. [124] GE Transportation. *GE Transportation | Moving, Powering and Building a Connected World*. 2014; und [123] GE Global Research. *Sodium Battery Technology Improves Performance and Safety*. 2013.

⁵³ Vgl. [64] Rowe. „Shipbuilding Market Overview – Presentation to Marine Money“. 2013.

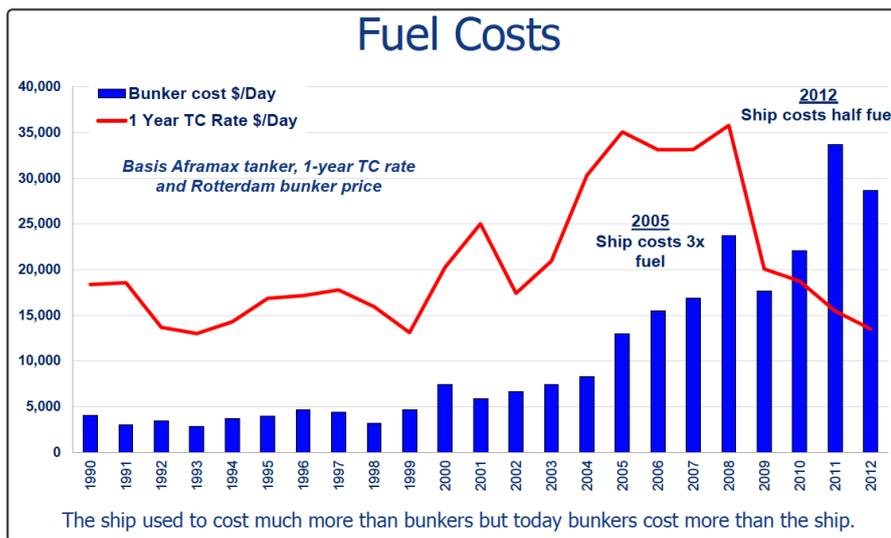


Abbildung 51: Treibstoffkosten und TC-Einnahmen pro Tag

[64] Rowe. „Shipbuilding Market Overview – Presentation to Marine Money“. 2013

die anderen Vorteile des Hybridantriebs den höheren Investitionsaufwand rechtfertigen. Großes Potential zum Senken der Betriebskosten bieten die Start-Stop-Funktion, die Möglichkeit des elektrischen Fahrens und die Vermeidung des ineffizienten Teillastbereichs (vgl. Abschnitt 3.2.3). Somit ist die Sinnhaftigkeit der Hybridisierung stark vom Lastkollektiv des in Frage kommenden Schiffes abhängig.

Wie in Abbildung 52 ersichtlich ist, laufen Hafenschlepper beispielsweise über einen Großteil ihrer Betriebszeit im Leerlauf und im Teillastbereich. Durch Hybridisierung kann die Motorleistung so verringert werden, dass die Motoren besser auf Lastkollektiv-Bereiche mit höherem Zeitanteil abgestimmt sind. Spitzenlasten können durch Zuschaltung der Batterieleistung abgefangen werden.

Neben Hafenschleppern eignen sich auch andere Schiffstypen mit schwankenden Lastprofilen und hohen Teillastanteilen für eine Hybridisierung. Die wichtigsten relevanten Schiffsklassen werden nachfolgend aufgelistet:

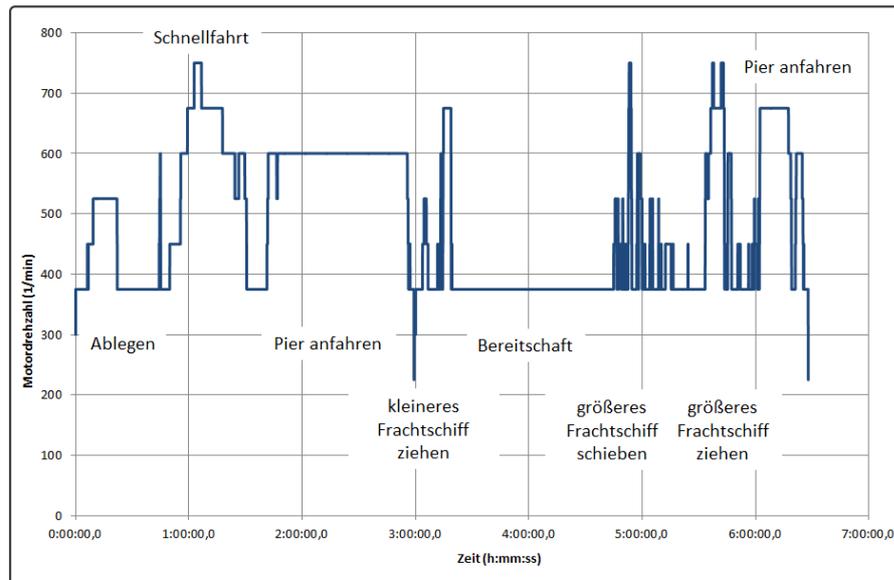


Abbildung 52: Exemplarisches Lastprofil eines Hafenschleppers
Selbsterstellt mit Informationen aus [165] Prüß. Gespräch mit
Dipl.-Ing. Martin Rustler. 27. Nov. 2013

- Offshore-Schiffe (z. B. Platform Supply Vessels (PSV), Anchor Handling Tugs (AHT), Anchor Handling Tug Supply Ships (AHTS))
- Schlepper und Arbeitsschiffe
- schnelle Fähren und RoPax-Schiffe
- Yachten
- Binnenschiffe
- Feeder-Containerschiffe auf kürzeren Strecken

5.5.2 Lokomotiven

Der Einsatz von hybriden Diesellokomotiven mit Batterie ist natürlich dort sinnvoll, wo keine elektrifizierten Strecken mit entsprechenden Elektrotriebfahrzeugen vorhanden sind. Lokomotiven haben im Allgemeinen sowohl im Güter- als auch Personenverkehr ein sehr

ungleichmäßiges Lastprofil durch Steigungen, Gefälle, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Zwischenhalte und Leerlaufzeiten. Daher erscheint eine Energiezwischen-speicherung in Batterien in jedem Falle sinnvoll. Diese können während der Fahrt durch Bremsenergie oder durch die Motoren geladen werden. Durch die große Verbreitung von dieselektrischen Antrieben sind zentrale Komponenten des Hybridantriebs ohnehin schon vielfach vorhanden. Betrachtet man die Strecken verschiedener Eisenbahngesellschaften (siehe Tabelle 35), so sieht man, dass es weltweit große nichtelektrifizierte Betriebslängen gibt, auf denen fast ausschließlich Diesellokomotiven verkehren.

In einem Vortrag von Mitarbeitern der TU DRESDEN verdeutlicht anhand des Beispiels eines Nahverkehrszugs, dass die optimale Batteriegröße stark vom Einsatzprofil des Fahrzeuges abhängt. Die Variablen der Energiespeichermasse, die mitbefördert werden muss, sowie der Zeitanteile des Lastkollektivs (im Beispiel abhängig vom Haltestellenabstand, vgl. Abbildung 53) beeinflussen das Kraftstoffeinsparungspotential erheblich, so dass vor einer Investitionsentscheidung eine Systemsimulation anzuraten ist.⁵⁴

5.5.3 *Mining-Trucks*

Prinzipiell eignen sich alle Mining-Trucks für den Einsatz von Hybridantrieben, da ohnehin meist eine elektrische Kraftübertragung vorhanden ist, Rekuperation möglich ist und weitere Kraftstoffeinsparungen durch Vermeidung von Leerlaufzeiten der Dieselmotoren zu erwarten sind.

Serielle Hybridsysteme, die auch für Mining-Trucks in Frage kommen, ermöglichen beim Einsatz in Stadtbussen eine Kraftstoffeinsparung von 20–30%.⁵⁵ Von Mining-Trucks konnten keine Werte zum Einsparungspotential gefunden werden.

⁵⁴ Vgl. [6] Beitelschmidt und Schimke. „Speicherpotentiale für dieselektrische Lokomotiven“. 2011.

⁵⁵ Vgl. [56] Reif, Noreikat und Borgeest. *Kraftfahrzeug-Hybridantriebe*. 2012, S. 30 f.

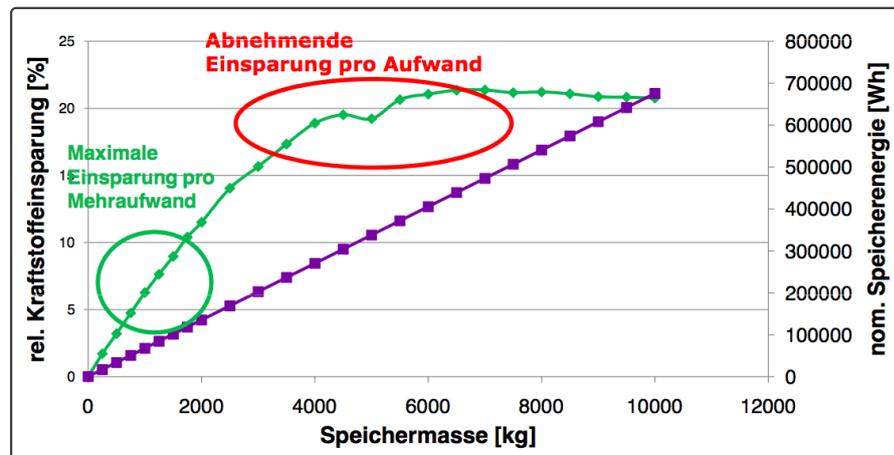


Abbildung 53: Kraftstoffeinsparungen in Abhängigkeit von der Speichermasse am Beispiel eines Regionalzugs auf der Strecke Hamburg-Cuxhaven (12 Halte, 17 Verzögerungen, Haltestellenabstand ca. 10 km)

[6] Beitelschmidt und Schimke. „Speicherpotentiale für dieselektrische Lokomotiven“. 2011

Teil III

AUSWERTUNG UND ZUSAMMENFASSUNG

ERGEBNISSE

6.1 BEWERTUNG DER ANTRIEBSKONZEPTE

Die in Abschnitt 5.1 besprochenen Antriebskonzepte und technischen Lösungen können nur schwer außerhalb des konstruktiven und operativen Kontextes verglichen werden. Hier soll aber anhand der grundsätzlichen Vor- und Nachteile eine qualitative Bewertung ermöglicht werden, die allerdings keinen Anspruch auf Berücksichtigung aller Aspekte und Eventualitäten erhebt. Sie basiert auf größtenteils auf Literaturrecherchen¹ und wurde mit einem Experten aus der Großmotorenkonstruktion besprochen.²

*zukünftige
Antriebskonzepte*

Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Abbildungen 54 und 55 illustriert.

6.2 MARKTPROGNOSE

Die Abschätzung des Marktes, den die AVL durch ihre Dienstleistungen bedienen kann, erfolgt mit Hilfe von Anhaltspunkten aus frei verfügbaren Daten sowie vorhandenen Erfahrungswerten der AVL, die in Gesprächen ermittelt wurden.³

¹ Vgl. z. B. [72] Stiesch und Schlüter. „Future Emission and Efficiency Concepts for MAN Medium Speed Engines“. 2012; und [19] Fölzer u. a. „Interdisziplinäre Zusammenarbeit als Herausforderung bei der Entwicklung neuer Großmotorengenerationen“. 2012.

² [166] Prüß. *Gespräch mit Ing. Gerhard Maier*. 10. Feb. 2014.

³ [164] Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. 15. Jan. 2014; [163] Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. 4. Apr. 2014.

Vergleich zu HFO-Betrieb:	MDO/MGO			SCR			Motor. Maßn.	
	LNG	MGO	DF	SCR	Scrubber	AGR	Maßn.	Hybrid
IMO TII	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IMO TIII (NOx)	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✗	✗
IMO ECAs (SOx)	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗
US EPA T4 Marine/Loco	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗
Nachrüstbarkeit	—	—	—	✓	✓	✗	✗	✓
Raumbedarf	---	○	---	---	---	---	○	---
Verhalten/Verbrauch bei Teillast	-	○	○/-	+	○	---	○	+++
Verhalten/Verbrauch bei Volllast	○	○	○	+	○	○	++	○
Erstkosten	---	○	---	-	---	---	---	---
Betriebskosten global	---	---	○	○	○	○	+	+
Betriebskosten in ECAs	---	---	---	-	-	○	+	+

Abbildung 54: Qualitative Bewertung der Antriebskonzepte und Technologien zur Emissionsreduktion und Effizienzsteigerung. Durch die Anzahl der „+“ und „-“ wird die Intensität der Vor- und Nachteile verdeutlicht, um diese miteinander zu vergleichen. Selbsterstellt und mit Experten besprochen: [166] Prüß. *Gespräch mit Ing. Gerhard Maier*. 10. Feb. 2014

Abschätzung der Marktvolumina

Abbildung 56 gibt eine Übersicht der zu erwartenden Marktvolumina für die AVL nach entsprechender Marktreife an. Die Branche der Großmotoren-Hybridsysteme befindet sich gemäß der Produktlebenszyklus-Hypothese nach Abbildung 11 in der Einführungsphase. Dies hat gewisse Konsequenzen für die Wahl der Markteintrittsstrategie, was später in Abschnitt 6.3 besprochen wird. Für das Marktvolumen bedeutet dies, dass sich dieses erst auf die in Abbildung 56 angegebene Summe entwickeln muss und derzeit deutlich darunter liegt. Die Ausprägung der Produktlebenszyklus-Kurve kann zwar nur schwer vorhergesagt werden, jedoch aktiv durch die Handlungen der Marktakteure – darunter AVL – beeinflusst werden.

Für die F&E-Quote wurde ein gemittelter Wert von 5% anhand der veröffentlichten Jahresberichte gewählt. Der Fremdvergabe-Anteil der F&E-Budgets sowie der AVL-Marktanteil basieren ausschließlich auf Erfahrungswerten und Vermutungen, wie oben beschrieben.

	Vor-/Nachteile	Einsatzgebiete
Großdieselmotor 2/4-Takt mit HFO	günstiger aber "schmutziger" Treibstoff ggf. NOx- und SOx-Maßnahmen erf.	Frachtschiffe auf Langstrecken größere Schiffe mit konst. Last außerh. ECAs
Großgasmotor mit LNG	sauberer Treibstoff, Preis lokal verschieden Einhaltung der Emissionsgrenzen	abhängig von Infrastruktur/Gasverfügbarkeit! sinnvoll, wenn hoher ECA-Anteil
Großdieselmotor mit MGO	schwefelarme Sorten teurer Treibstoff, NOx-Emissionen	(Mittel-)Schnellläufer, v.a. Hilfsmotoren, in Häfen, Binnenschifffahrt, Passagierverkehr
Dual-Fuel-Motor	wirtschaftlicher HFO-Betrieb Gasbetrieb in ECAs	Frachtschiffe mit begrenztem ECA-Anteil
SCR	günstige Erstkosten, Einhaltung v. EPA T4 AdBlue-Kosten, Platzbedarf	bei HFO-/Marinedieselmotor, Nachrüstungen
Scrubber	wirtschaftlicher HFO-Betrieb, Einhaltung der SOx-Grenzen, Platzbedarf, zus. NOx-Maßnahmen erf.	große Schiffe mit HFO-Betrieb mit ECA-Anteil in Kombination mit AGR/SCR, Nachrüstungen
AGR	geringer Raumbedarf, techn. aufwendiger Verschmutzungen bei Teillast	bei HFO-/Marinedieselmotor
Motorische Maßnahmen	hohe Qualitätsanforderungen, geringe Effizienzsteigerung, keine Partikelfilter nötig	generell im High-Tech-Bereich, Low-Tech- Varianten für Massenmarkt
Hybridantrieb	Verbrauchssenkung bei Teillast, Flexibilität, Ansprechverhalten, Platzbedarf, Batteriehaltbarkeit	bei fluktuierendem Betrieb, hoher Teillastanteil, CODLAD-Systeme, Umrüstungen

Abbildung 55: Vor- und Nachteile sowie sinnvolle Einsatzbereiche der Antriebskonzepte und Technologien zur Emissionsreduktion und Effizienzsteigerung
Selbsterstellt und mit Experten besprochen: [166] Prüß. *Gespräch mit Ing. Gerhard Maier*. 10. Feb. 2014

Der Anteil des Antriebssystems an den Gesamtkosten variiert je nach Anwendung und Wahl der Komponenten stark. Um trotzdem eine realistische Schätzung abgeben zu können, wurde eine weitere Literaturrecherche durchgeführt.⁴

In den folgenden Abschnitten wird beschrieben, worauf die Abschätzungen des Marktes in den einzelnen Segmenten basieren.

⁴ Vgl. [13] Deschamps und Greenwell. *Integrating Cost Estimating with the Ship Design Process*. 2009; [16] Douglas-Westwood Limited. *Marine industries global market analysis*. 2005; [63] Ross. *A Practical Approach for Ship Construction Cost Estimating*. 2004; [67] Schallmeyer. *Schiffbau in Europa in globaler Konkurrenz — Struktur, Beschäftigung und Perspektiven*. 2007.

Marktabschätzung	Anteil	Marktgröße in Mio.	Anteil Propulsion	Anteil F&E	fremd- vergeben	Anteil AVL	Summe AVL in Mio.
Schiffbau 2012 gesamt	100%	\$85.700		5%	20%	25%	\$5,84
relevante Segmente:	21,4%	\$18.340					
Offshore	10,0%	\$8.570	15%	5%	20%	25%	\$3,21
Schlepper	2,0%	\$1.714	30%	5%	20%	25%	\$1,29
Fähren	1,0%	\$857	10%	5%	20%	25%	\$0,21
Yachten	3,0%	\$2.571	15%	5%	20%	25%	\$0,96
Arbeitschiffe	0,5%	\$429	15%	5%	20%	25%	\$0,16
Locomotive 2012				5%	20%	25%	\$2,36
Shunter		\$2.100	30%	5%	20%	25%	\$1,58
Triebwagen		\$2.100	15%	5%	20%	25%	\$0,79
Mining 2012				5%	20%	25%	\$3,75
Mining Trucks		\$10.000	15%	5%	20%	25%	\$3,75
Gesamt					Summe in Mio.		\$11,95

Abbildung 56: Abschätzung der Marktvolumina

Selbsterstellt und mit Experten besprochen: [163] Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. 4. Apr. 2014

6.2.1 Marine

Der VERBAND FÜR SCHIFFBAU UND MEERESTECHNIK gibt einen Überblick der Auftragswerte im Weltschiffbau. Demzufolge erhielt Korea 2012 35% aller Aufträge in Höhe von 30 Mrd. \$.⁵ Das entspricht einem Weltmarkt im Jahr 2012 von 85,7 Mrd. \$; zuvor wurde eine Zahl von 83,6 Mrd. \$ veröffentlicht.⁶

Der große britische Schiffsmakler CLARKSON zeigt, wie in Abbildungen 57 und 58 zu sehen ist, eine detaillierte Aufteilung der Bestellungen und Auftragsbestände nach Schiffstypen. Da die meisten Schiffe aus den in Abbildung 57 einzeln angeführten Kategorien Langstrecken-Frachtschiffe sind, werden zusätzlich die Auftragsbestände zu Rate gezogen.

⁵ Vgl. [81] Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. *Jahresbericht 2012*. 2013.

⁶ Vgl. [82] Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. „Weltschiffbaumarkt 2012“. 2013.

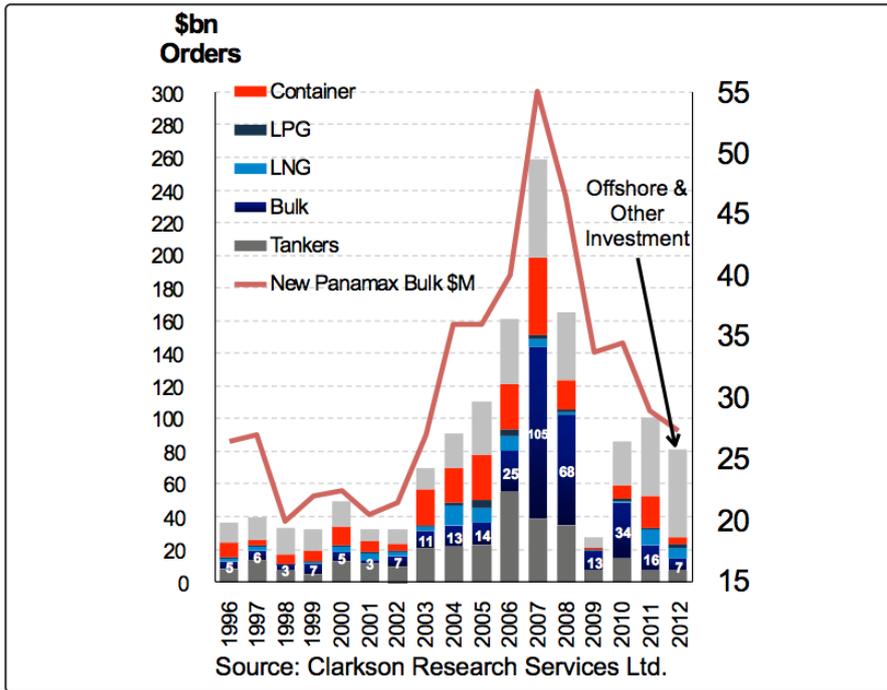


Abbildung 57: Weltweite Investitionen in Schiffsneubauten
 [64] Rowe. „Shipbuilding Market Overview – Presentation to Marine Money“. 2013

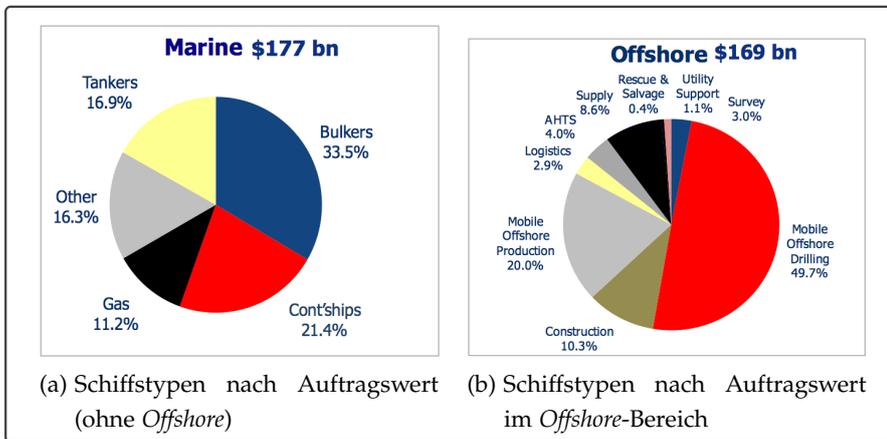


Abbildung 58: Auftragsbuch Weltschiffbau 2012
 [64] Rowe. „Shipbuilding Market Overview – Presentation to Marine Money“. 2013

6.2.2 Rail

Aufgrund der großen Höhe der Investitionen im Eisenbahnbereich, werden Entscheidungen oft stark von der vorhandenen Infrastruktur beeinflusst. Da ein steigender Bedarf an Personentransportleistung aufgrund zunehmender Urbanisierung erwartet wird, kann man der Hybrid-Technologie große Bedeutung zumessen. Während bei Lokomotiven im Langstreckendienst zunächst vermutlich *Genset*-Lösungen (ohne Batterie) dominieren werden, wird ein Marktwachstum bei Hybridlokomotiven um 25% zwischen 2015 und 2020 mit bis zu 170 jährlich verkauften Hybridloks prognostiziert.⁷

Die Abschätzung durch Multiplikation des Elektrifizierungsanteils mit dem Triebfahrzeug-Bestand und anschließende Summation ergibt einen theoretischen Bestand von etwa 84.000 Dieseltriebfahrzeugen bei den in Tabelle 35 (in Anhang C auf Seite 158) aufgelisteten, weltweit bedeutendsten Bahngesellschaften. Bei etwa 40 Betriebsjahren eines Dieseltriebfahrzeugs kann man von einem Bedarf dieser Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) in Höhe von 2.100 Neufahrzeugen jährlich ausgehen, davon etwa 40% Verschublokomotiven und 20% Triebwagen für den Personenverkehr. Dabei sind natürlich keine zukünftigen Streckenelektrifizierungen und nur solche EVU, die am wahrscheinlichsten Interesse an Hybrid-Fahrzeugen haben, berücksichtigt.

Für die Abschätzung des Gesamtmarktes wurden Stückpreise in Höhe von 2,5 Mio \$ bzw. 5 Mio \$ für Verschublokomotiven bzw. Triebwagen in Anlehnung an die gefundenen Veröffentlichungen angenommen.⁸

⁷ Vgl. [119] Evans. *Electric, diesel or hybrid? The great railcar debate*. 2011.

⁸ Vgl. z. B. [128] Hörath und Stoffels. *Loks auf Schleichfahrt*. 2012; und [51] ÖBB-Holding AG. *Wir setzen alles in Bewegung – Geschäftsbericht 2008*. 2009.

6.2.3 Mining

Das amerikanische Marktforschungsinstitut THE PARKER BAY COMPANY zeigt eine aktive Population in Höhe von 40.500 Stück an Mining Trucks mit einer Nutzlast über 90 t bis 363 t.⁹ SNL METALS & MINING gibt hingegen in einem Bericht die Auslieferungszahlen an: fast 5.000 Stück im Jahr 2012 mit 640 Einheiten der *Ultraklasse* (über 300 t Nutzlast, siehe auch Abbildung 59).¹⁰ Die Stückpreise sind natürlich von der Größe und Ausstattung der Fahrzeuge abhängig, können aber bis zu 5 Mio. \$ erreichen. Für die Abschätzung wurde konservativ eine Stückzahl von etwa 3.300 bei durchschnittlich 3 Mio \$ gewählt.¹¹

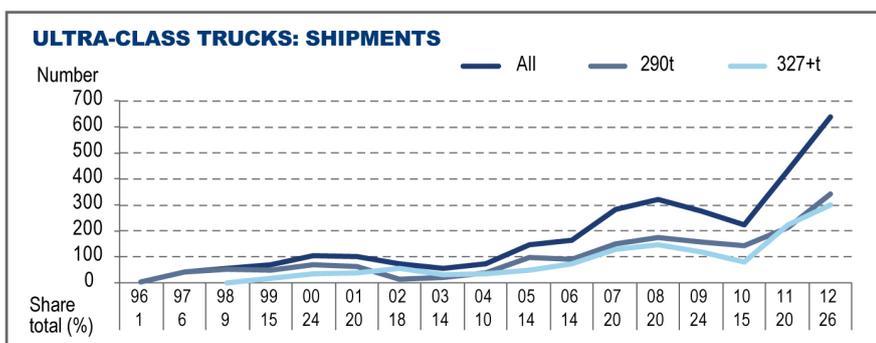


Abbildung 59: Anzahl der ausgelieferten Mining-Trucks der *Ultra-Klasse* und Anteil am Gesamtmarkt 1996 – 2012

[153] SNL Metals & Mining. *Ultra-class Haulers at 16% of Global Truck Payload*. 2013

⁹ Vgl. [157] The Parker Bay Company. *PBCo | Mining Truck Population | Mining Equipment Database & Mining Market Research*. 2014.

¹⁰ Vgl. [153] SNL Metals & Mining. *Ultra-class Haulers at 16% of Global Truck Payload*. 2013.

¹¹ Vgl. [126] Hall-Geisler. *What is the biggest truck in the world?* 2010.

6.3 MARKTEINTRITTSSTRATEGIE

6.3.1 Globale Strategie des Markteintritts

Abbildung 60 zeigt einen Vorschlag in Form eines Prozessmodells, das die empfohlenen Schritte für einen erfolgreichen Markteintritt aufzeigt. Die Segmentierung verdeutlicht, dass einerseits die AVL-internen Voraussetzungen für die verschiedenen Marktsegmente unterschiedlich sind, andererseits unterschiedliche Kundengruppen mit spezifischen Interessen und Bedürfnissen jeweils unterschiedliche Herangehensweisen erfordern und der Markteintritt unabhängig von den anderen Segmenten erfolgen kann.

Nach der Produktlebenszyklus-Hypothese befindet sich die Branche der Hybrid-Großmotoren-Applikationen in der Einführungsphase. Das bedeutet nach M. E. Porter, dass

- potentielle Kunden erst zum Kauf des Produktes „überredet“ werden müssen und damit hoher Marketingaufwand erforderlich ist,
- die richtige Produktentwicklung und -qualität entscheidend für den Erfolg sind und daher in dieser Phase am meisten F&E betrieben werden muss,
- ein hohes Risiko besteht, aber dies die „beste Phase [ist], um [den] Marktanteil auszudehnen.“¹²

*Produkt-
Einführungsphase*

Zielgruppe Betreiber

Grundsätzlich wurde im Lauf der Arbeit die Erkenntnis gewonnen, dass die bisherige Kundengruppe der Motorenhersteller wahrscheinlich am schwierigsten direkt für Auftragsentwicklungen von Großmotor-Hybridssystemen zu gewinnen sein wird (aber trotzdem nicht übersehen werden darf). Daher wird das Augenmerk auf jene Interessengruppe gelegt, die am meisten von einer Hybridisierung profitieren würde: die Betreiber der jeweiligen Applikationen. Sie müssen davon überzeugt werden, dass die Installation eines von der AVL

¹² Vgl. [53] Porter. *Wettbewerbsstrategie*. 2013, S. 217 ff.



Abbildung 60: Vorgeschlagene Schritte des Markteintritts. Selbsterstellt.

entwickelten Hybridsystems ihnen Kosten spart und Betriebsvorteile bietet. Da die Betreiber sehr zahlreich sind und zu ihnen noch kaum Kontakt besteht, muss die vorgeschlagene Markteintrittsstrategie dort ansetzen.

Das heißt also, dass die AVL Bekanntheit in einer großen Zielgruppe in einem relativ kurzen Zeitraum erlangen und die Überlegenheit ihrer Produkte demonstrieren muss.

Nachfolgend werden die einzelnen Schritte der vorgeschlagenen Markteintrittsstrategie skizziert und im Rahmen der Handlungsempfehlung in Kapitel 7 genauer ausgeführt.

Anhand der generischen Innovationsstrategien nach Abbildung 10 auf Seite 17 kann man folgende Einteilung vornehmen:

ZEITPUNKT: Die Branche der Hybrid-Großmotoren befindet sich insgesamt in einem sehr jungen Stadium, so dass eine *Führerschafts-* bzw. *Fast-Follower-Strategie* verfolgt werden sollte.

TECHNOLOGIEBESCHAFFUNG: Die AVL entwickelt neben Verbrennungsmotoren auch Batterien in *Eigenerstellung*. Wenn nötig, muss Technologie für geeignete Hochleistungsbatterien extern durch *Kooperation* beschafft werden.

TECHNOLOGIEVERWERTUNG: Die Vermarktungsstrategie der AVL besteht in der Vertragentwicklung. Dieser Weg sollte beibehalten werden.

Einordnung in die generischen Innovationsstrategien

INNOVATIONSIMPULS: Potentielle Kunden sollen von den Vorteilen der Hybridtechnologie im Rahmen einer *Technology-Push*-Strategie durch Bewerbung der eigenen Entwicklungen überzeugt werden.

6.3.2 *Stufen des Markteintritts*

I. MARKTSTUDIE

In der Marktstudie ist zu klären, ob die zu erwartenden Erträge den Aufwand und die Risiken des Markteintritts rechtfertigen. Eigene Stärken und Schwächen, die Marktakteure und die relevanten technologischen Entwicklungen müssen näher betrachtet werden. Stufe I wird durch die vorliegende Arbeit ausreichend abgedeckt, so dass keine weiteren Aktionen notwendig sind.

II. MACHBARKEITSSTUDIE

- interne Strukturen und Voraussetzungen für Hybrid-Großmotor-Projekte schaffen
- Systemensimulation von Hybridantrieben
- Benchmarking vorhandener Konkurrenz-Hybridsysteme
- Kontakt zu mehreren Batterielieferanten herstellen

III. PUBLIKATION

- durch gemeinsame Veröffentlichungen mit unabhängigen Institutionen (z. B. Universitäten) Legitimation und Bekanntheit erhöhen
- Artikel und Inserate in branchenweit bedeutsamen Fachzeitschriften und Plattformen veröffentlichen
- Vorträge auf Tagungen und Kongressen der Branchen
- Vorteil der globalen Präsenz bei Kooperationen und Publikationen ausnutzen

IV. KUNDENGEWINNUNG

- Aufzeigen der Einsparungspotentiale bei Betreibern
- Kontakt zu größeren Kundengruppen über Interessenvertreter und Vereinigungen herstellen
- bestehenden Kunden (Motoren-OEMs) Hybridisierung als Zusatzleistung anbieten
- Zusammenarbeit mit physischen Systemintegratoren (z. B. Werften)
- Ansprechpartner in der AVL festlegen

V. PROJEKTBEGINN

Nach erfolgreicher Gewinnung eines Kunden und Vertragsabschluss muss weiterhin ein erfolgreicher Projektabschluss ermöglicht werden, indem Qualität und Zuverlässigkeit aller Teilkomponenten sichergestellt wird. Erfolg führt zu Reputationsgewinn, der wiederum neue Kunden erschließen kann.

6.4 MARKTEINTRITTSRISIKO

Für eine vollständige Risikobewertung muss der erforderliche Aufwand bis zu einem möglichen Abbruch betrachtet werden, der im schlechtesten Fall unwiederbringlich verloren ist. Wie in Kapitel 7 ausgeführt wird, ist für die vorgeschlagene Vorgehensweise eine gewisse Investition (v. a. in die Adaptierung bzw. Entwicklung der Simulationssoftware) erforderlich. Dieser Weg bedeutet aber auch, dass man sich die Kosten für ein Entwicklungsprojekt aus dem F&E-Budget oder gar Hardware-Versuche sparen kann, was immerhin zu einer Minimierung des finanziellen Risikos beiträgt. Ein nicht messbares immaterielles Risiko besteht in einem möglichen Reputationsverlust, sollte es zu einem Abbruch vor dem Markteintritt kommen oder sollten nach Markteintritt Mängel an der AVL-Entwicklung erkennbar werden.

6.4.1 Markteintrittsbarrieren

Markteintrittsbarrieren bestehen aus folgenden Gründen:

PRODUKTDIFFERENZIERUNG: Da die vorgeschlagene Markteintrittsstrategie vorsieht, die Endkunden dazu zu bewegen, ein von der AVL entwickeltes Hybridsystem in ihren Applikationen zu verwenden, muss das eigene Produkt einen einzigartigen bzw. höheren Kundennutzen als Konkurrenzprodukte aufweisen, um die bestehende Loyalität zu den bisherigen Lieferanten des Antriebssystems zu brechen.

KAPITALBEDARF: Oben genannte Investitionen müssen für den Markteintritt getätigt werden. Budgets für wissenschaftliche Kooperationen und Veröffentlichungen sind erforderlich.

GRÖSSENUNABHÄNGIGE KOSTENNACHTEILE: Know-How und Erfahrungen mit Batterietechnologien müssen ausgebaut werden. Bestehende Konkurrenten im Hybrid-Großmotoren-Markt (v. a. ROLLS-ROYCE) haben u. U. einen Erfahrungs- und Kostenvorteil, da sie großteils auch Hardware-Anbieter sind. Mit steigender Erfahrung verkürzt sich die Entwicklungszeit, was einen kostensenkenden Effekt hat.

6.4.2 externe Risiken

In 5.3 wurden bereits durch die Anwendung der zwei Analysemethoden weitere externe Risiken aufgezeigt. Diese sollen hier zusammengefasst und ausgeführt werden.

ABNEHMER: Die potentiellen Endkunden könnten eher dazu tendieren, auf bewährte nicht-hybride Antriebssysteme zurückzugreifen oder dem physischen Systemintegrator (Werft, Lokomotivfabrik etc.) die Wahl zu lassen, wenn dieser vergleichbare Systeme anbieten kann. Potentielle Abnehmer mit eigener Entwicklung werden sich möglicherweise selbst an der Entwicklung

von Hybridsystemen versuchen. Aufgrund der derzeit schwierigen Marktsituation in der Schifffahrtsbranche ist überdies eine sinkende F&E-Fremdvergabe zu erwarten.

KONKURRENTEN: Direkte Konkurrenz besteht durch andere Entwicklungsdienstleister, die vergleichbare Tätigkeiten zu geringeren Preisen anbieten könnten. Hardware-Hersteller mit eigener Entwicklung werden vermutlich Entwicklungen *im eigenen Haus* bevorzugen. Generell muss ein früherer Zeitpunkt der Serien- bzw. Marktreife weiterer Konkurrenten befürchtet werden, wodurch es schwieriger wird, Marktanteile zu gewinnen.

TECHNOLOGIEN: Ein Teil der Hoffnungen auf den Erfolg der Hybridtechnik basiert auf leistungsfähigen Batterien als Schlüsseltechnologie, deren Weiterentwicklung und Verfügbarkeit unsicher sind. Für ein vollhybrides Antriebssystem gibt es kein 100%-iges Substitutionsprodukt. Allerdings können Technologien, wie Brennstoffzellen oder Superkondensatoren einzelne Vorteile eines Hybridantriebssystems ebenfalls abdecken. Daher müssen der höhere Kundennutzen und die größere Flexibilität des Hybridsystems unterstrichen werden.

LIEFERANTEN: Da die AVL selbst kein Hardware-Lieferant für Hybridsysteme ist, müssen Qualität und Zuverlässigkeit aller Komponenten des angebotenen Systems (insbesondere der Batterien) sichergestellt werden, da sonst ein großer Reputationsverlust drohen kann. Aufgrund der derzeitigen Knappheit von geeigneten, leistungsfähigen Batterien für Großmotoren-Applikationen besteht ein Risiko bei der Verfügbarkeit und Preisstabilität der Batterien. Daher sollte dringend eine geeignete Lieferkette errichtet werden.

HANDLUNGSEMPFEHLUNG

Grundsätzlich kann ich anhand meiner Recherchen der AVL einen Markteintritt bei hybriden Großmotoren-Applikationen empfehlen. Da das zu erwartende Marktvolumen allerdings auch in der Produktreife-Phase als nicht übermäßig groß eingeschätzt wurde, versucht die von mir vorgeschlagene Markteintrittsstrategie die für den Markteintritt erforderlichen Investitionen möglichst gering zu halten.

Risikominimierung

Um die Machbarkeit und Effektivität der Hybridisierung von GRM-Applikationen für konkrete Anwendungsfälle unter Beweis zu stellen und damit auch Kunden überzeugen zu können, schlage ich zunächst vor, die vorhandenen Stärken der AVL, insbesondere im Bereich der Simulation, zu nutzen und weiter auszubauen.

Als ersten Schritt soll eine Systemensimulation von Hybridantrieben mit AVL CRUISE erfolgen:

MINING: Simulation von Mining-Trucks sollte mit vorhandener Software möglich sein, da nur geringe Unterschiede zu Nfz bestehen.

Stärken ausbauen

MARINE: Die Software muss hierfür grundlegend erweitert, neu entwickelt oder zugekauft werden. Ich schlage vor, Hochschulen und Universitäten im norddeutschen Raum zu kontaktieren, die Erfahrung mit der Simulation von Schiffen haben.

RAIL: Auch für dieses Segment muss die Software angepasst werden, auch wenn dies einfacher möglich sein sollte. Know-How dafür kann z. B. beim *Kompetenzzentrum – Das virtuelle Fahrzeug* in Graz erworben werden, wo es eine Arbeitsgruppe für Schienenfahrzeugsimulation gibt.

<p>Kundennutzen aufzeigen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Systemsimulation von Hybridantrieben, beginnend mit Mining-Trucks, um Einsparungspotential (Market-Driver <i>Betriebskosten</i>) und Vorteile durch AVL-Hybridssysteme unter Beweis zu stellen 2. Benchmarking vorhandener Konkurrenz-Hybridssysteme 3. Kontakt zu Forschungs- und Bildungseinrichtungen, um Simulationstools auf Rail- und Marinesegmente zu erweitern <p>Eigene Stärken nutzen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Vorteil der globalen Präsenz bei Kooperationen und Publikationen ausnutzen, um durch gemeinsame Veröffentlichungen mit unabhängigen Institutionen (z. B. Universitäten) Legitimation und Bekanntheit erhöhen 2. Stärke bei Systemsimulationen weiter ausbauen 3. Kontakt zu bestehenden Kunden (insbes. aufstrebende Motoren-OEMs) nutzen, indem Hybridisierung als Zusatzleistung angeboten wird 4. Langjährige Erfahrung bei Motorenentwicklungen nutzen und um Systemkenntnisse erweitern, um Erfolgreich als Systemintegrator auftreten zu können <p>Eigene Schwächen reduzieren</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Artikel und Inserate in branchenweit bedeutsamen Fachzeitschriften und Plattformen veröffentlichen, um schnell eine große Bandbreite an potentiellen Kunden (v. a. Betreiber) zu erreichen, die die AVL bisher nicht kennen 2. Kontakt zu größeren Kundengruppen über Interessenvertreter und Vereinigungen herstellen 3. Ansprechpartner für Hybrid-Großmotoren festlegen, Verantwortlichkeiten klären und interne Voraussetzungen für Hybrid-Großmotor-Projekte schaffen 4. Kontakt zu mehreren Batterielieferanten herstellen und Supply-Chain errichten 5. Zusammenarbeit mit physischen Systemintegratoren (z. B. Werften), um besseres Verständnis für alle Teilsysteme sowie die Gesamtmontage zu erlangen.

Abbildung 61: Übersicht der Handlungsempfehlungen
Selbsterstellt.

*Kundennutzen
aufzeigen*

Market-Driver für den Einsatz von Hybridtechnik ist offensichtlich der Betriebskostenfaktor. Daher können potentielle Kunden wohl am leichtesten dazu bewegt werden, von der AVL ein Hybridssystem entwickeln zu lassen, wenn man ihnen ihre Kosteneinsparungen im Betrieb durch die Simulation glaubwürdig belegen kann.

Intern sollte die bestehende personelle Struktur auf die Abwicklung eines Hybrid-Großmotorenprojektes vorbereitet werden, damit Ansprechpartner und Verantwortlichkeiten klar definiert sind und Mitarbeiter mit den erforderlichen Kenntnissen und Fähigkeiten von der Simulation über die Komponentenentwicklung bis hin zum Systemaufbau vorhanden sind.

Als wichtigen Punkt beim Markteintritt möchte ich das Errichten einer *supply chain* für Batterien hervorheben. Für die kommerzielle Schifffahrt wurden bisher z. B. nur Batterien von CORVUS ENERGY lizenziert und die allgemeine Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit ist nicht sichergestellt. Dazu muss sich die AVL jedoch weder auf einen einzelnen Lieferanten noch auf eine bestimmte Batterietechnologie beschränken.

*Zugang zu
Batterietechnologien
sichern*

Ich rate weiterhin dazu, eine weitere Stärke der AVL – ihre weltweiten Standorte – zunächst dazu zu nutzen, um Kooperationen mit Forschungsinstituten und Hochschulen bei Hybrid-Themen einzugehen. Dies hat mehrere positive Effekte: mögliche Subventionen, Steigerung der Bekanntheit der AVL außerhalb der bisherigen Kundengruppe, Legitimation und unabhängige Bestätigung der Leistungsfähigkeit eines von der AVL entwickelten Hybridsystems, leichter Zugang zu Kunden der jeweiligen Region.

*globales Netzwerk
nutzen*

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften sowie Präsenz und Vorträge auf Kongressen und Tagungen der Branche sollten so schnell wie möglich als Wege zur Erschließung der Kundengruppe der Betreiber genutzt werden. Interessenvertretungen, wie z. B. die EUROPEAN TUGOWNERS ASSOCIATION für Betreiber von Hafenschleppern, stellen ebenso eine gute Plattform dar, mit deren Hilfe schnell ein größerer Kundenkreis angesprochen werden kann.

Bekanntheitssteigerung

Die Gruppe der Motorenhersteller, zu der sehr gute Kontakte bestehen, kann meiner Meinung nach durch folgende Maßnahmen als Kunde für Großmotor-Hybridsysteme gewonnen werden:

- Zu bestehenden Motorentwicklungsprojekten kann als optionale Leistung die Weiterentwicklung zu einem Hybridsystem angeboten werden.
- Aufstrebende Motorenhersteller, wie beispielsweise WEICHAO oder STX, die auch Schiffe, Lokomotiven oder Mining-Trucks bauen, selber jedoch noch kein Hybridantriebssystem dafür entwickelt haben, kann vor Augen geführt werden, dass sie mit

Hilfe der AVL schneller und erfolgsversprechender als durch Eigenleistung den Anschluss zu den Technologieführern finden könnten.

- Wenn Kunden aus der Betreibergruppe ein Entwicklungsprojekt in Auftrag geben, muss ohnehin ein Motorenhersteller beteiligt sein. Man sollte anschließend versuchen, auch diesen für Folgeprojekte zu gewinnen.

Die Rolle des Systemintegrators kann dann erfolgreich von der AVL eingenommen werden, wenn ein gutes Verständnis für alle Teilkomponenten sowie die physische Integration in das jeweilige Fahrzeug vorhanden ist und die Kunden davon überzeugt werden können, dass nur bei Komponentenauswahl durch die AVL optimale Effizienz erzielt werden kann. Daher sollte die AVL auch aktiv auf jene Unternehmen, die die Endmontage vornehmen, zugehen.

AUSBLICK

Global betrachtet spielen in allen drei hier behandelten Segmenten die Betriebskosten die größte Rolle bei der Entscheidung für ein Antriebskonzept. Mit der Perspektive der noch vorhandenen fossilen Brennstoffe mit ihrer kontinuierlichen aber vorhersehbaren Preissteigerung werden Verbrennungsmotoren wohl noch für mehrere Jahrzehnte in Schiffen, Lokomotiven und Mining-Trucks zu finden sein. Erst nach größeren Entwicklungssprüngen bei Alternativtechnologien mit ähnlicher Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit wird es zu einer Ablösung dieser Maschinen kommen.

Der derzeitige Trend zum Einsatz von LNG als Schiffstreibstoff wird aufgrund der vergleichsweise großen Reserven und der steigenden Verfügbarkeit sich in den nächsten Jahren vermutlich manifestieren, so lange die Preise unter bzw. nicht zu weit über denen von Schweröl liegen. Langfristig wird man allerdings praktikable Alternativen zu den bisherigen Antriebskonzepten finden müssen. Ein SCANDLINES-Konzept, dargestellt in Abbildung 62, zeigt eine Kombination von in dieser Arbeit behandelten Technologien inklusive Hybridantrieb, um ein „emissionsfreies“ Passagierschiff darzustellen. Aus heutiger Sicht erscheint ein solches Konzept als durchaus greifbar, wenn auch noch einige technische und ökonomische Details zu klären sind.

Da im Eisenbahnsegment meist große Investitionen aus öffentlicher Hand nötig sind, um die Infrastruktur zu verändern, schreiten Streckenelektrifizierungen meist nur langsam voran (siehe z. B. USA, China). Deshalb glaube ich, dass sich in diesem Bereich die Hybridtechnik als kosteneffiziente Alternative in allen Dieseltriebfahrzeugen durchsetzen kann, wo das Verkehrsaufkommen überschaubar ist.

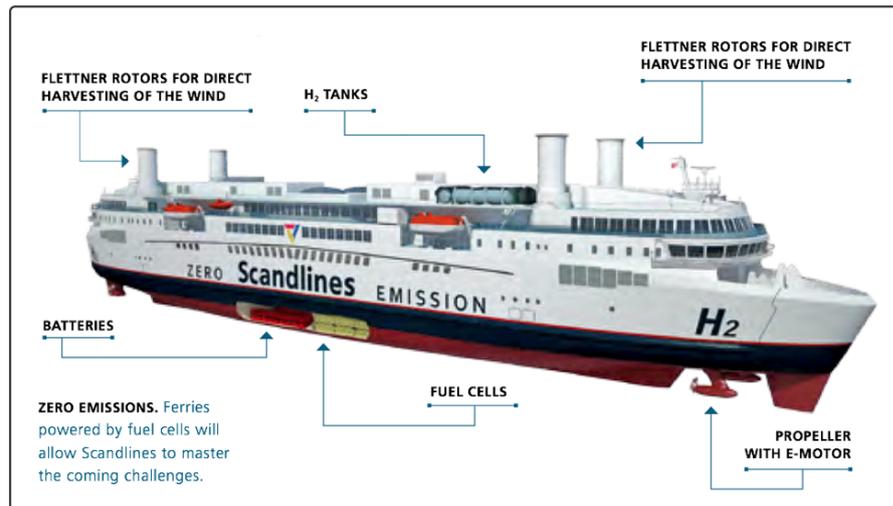


Abbildung 62: Konzept einer emissionslosen Fähre mit Brennstoffzellen, Batterien und *Flettner*-Rotoren.

[91] ALTmob, Ltd. *Ist enorm! 11.000 PS, 0 Emission.* 2012

Auch bei Mining-Trucks sehe ich eine hohe Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich Hybridantriebe zum Standard durchsetzen können, da die Fahrzeuge ohnehin tendenziell größer werden und der Schritt zur Hybridisierung nur noch ein kleiner ist.

Letztlich ist aus heutiger Sicht der Verbrennungsmotor aus den drei genannten Applikationen kaum wegzudenken. Da bei ihm jedoch keine technologischen Sprünge in Richtung Effizienzsteigerung mehr erwartet werden können, bietet die Elektrifizierung des Antriebsstrangs die einzigartige Möglichkeit, die meisten seiner Nachteile zu minimieren und zusätzliche Flexibilität bereitzustellen.

CONCLUSIO

Die vorliegende Arbeit entstand aus der Motivation heraus, ein potentiell neues Branchensegment für die Leistungen der AVL zu erschließen. Dazu musste geklärt werden, ob die zu erwartenden Einnahmen die erforderlichen Investitionen für einen Markteintritt rechtfertigen.

Zu Beginn dieser Arbeit wurden die AVL und ihre Dienstleistungen vorgestellt sowie über die Motivation zur Durchführung dieser Arbeit berichtet. Aus der Aufgabenstellung wurden Forschungsfragen abgeleitet, die es im Laufe der Arbeit zu beantworten galt. In den Kapiteln 2 und 3 wurden technische und wirtschaftswissenschaftliche Grundlagen überblicksmäßig betrachtet. Sie dienten als Basis der Arbeit im Praxisteil. Mit der Methodik in Kapitel 4 fand der Literaturteil seinen Abschluss.

Der Praxisteil dieser Diplomarbeit erstreckte sich über mehrere Monate. Der Besuch der Tagung „Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors“ und die anschließende Sammlung weiterer aktueller technischer Entwicklungen aus Veröffentlichungen aller Art diente zur Beleuchtung der zukünftigen Antriebskonzepte. Um die Herausforderungen bei der Integration von Großmotoren in ein Antriebssystem besser zu verstehen, konnten durch den Besuch der FSG in Norddeutschland mit einer Werftführung wertvolle Einblicke und Erkenntnisse gewonnen werden. Zur Abschätzung des Marktpotentials wurden Daten aus Internetquellen und Zeitschriften gesammelt und zusammengestellt. Dabei wurde auch immer wieder nach den neusten Entwicklungen in Bezug auf hybride Großmotorenapplikationen recherchiert. Die Datenakkumulierung gestaltete sich allerdings als sehr langwierig und meist wenig ergiebig.

Für die Entwicklung einer Markteintrittsstrategie wurden mit Hilfe der SWOT-Technik und der *Five-Forces*-Methode eine Situations- und eine Branchenanalyse erstellt.

Schließlich konnte in Kapitel 6 – auch mit Hilfe von Expertenmeinungen – eine plausible potentielle Marktgröße und des für die AVL erzielbaren Marktvolumens abgeschätzt werden, für das bei vollständiger Marktentfaltung ein Wert von etwa \$ 10 Mio. jährlich ermittelt wurde. Anschließend wurde eine globale Markteintrittsstrategie erarbeitet. In einem zweiten Schritt wurde diese Strategie basierend auf den Stärken der AVL, der Branchensituation und der erwarteten Marktgröße weiter detailliert. Im Wesentlichen baut die vorgeschlagene Markteintrittsstrategie auf die Stärke der AVL im Bereich Simulation, auf Kooperation mit wissenschaftlichen Einrichtungen unter Ausnutzung der weltweiten Unternehmensstandorte sowie auf die Nutzung branchenweiter Medien als Werbekanäle, um den Bekanntheitsgrad der AVL auch außerhalb der Motorenbranche effektiv und effizient zu erhöhen.

Weiterhin wurden die Barrieren und Risiken des Markteintritts aufgezeigt, die mit der vorgeschlagenen Markteintrittsstrategie jedoch minimiert werden können. Die gewonnenen Erkenntnisse wurden im Rahmen der Handlungsempfehlung zusammengefasst und formuliert. Mit einem Blick in die Zukunft der Großmotoren in den Applikationen Schifffahrt, Eisenbahn und Mining-Trucks wird die vorliegende Diplomarbeit abgeschlossen.

Teil IV

ANHANG UND VERZEICHNISSE



WELTWEITE ABGASNORMEN

Die folgenden Tabellen zeigen die von den Motordaten abhängigen Einteilungen der Motoren in verschiedene Kategorien mit den jeweiligen Grenzwerten für Emissionen von

- Kohlenstoffmonoxid (CO),
- Stickstoffoxiden (NO_x),
- Kohlenwasserstoffenn (HC) und
- Rußpartikeln (PM) sowie teilweise
- Schwefeloxiden (SO_x).

A.1 EUROPÄISCHE UNION

Die Emissionsstandards für Motoren in mobilen Arbeitsmaschinen (*geläufiger engl.: non-road engines*) sowie für Lokomotiven und Binnenschiffe in der Europäischen Union sind in den Tabellen 4 bis 9 aufgeführt.

Tabelle 4: EU Stufe I und Stufe II

Vgl. [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. 2013

KAT.	NUTZLEISTUNG kW	DATUM*	CO	HC	NO _x	PM
			g/kWh			
Stufe I						
A	130 ≤ P ≤ 560	01-1999	5,0	1,3	9,2	0,54
B	75 ≤ P < 130	01-1999	5,0	1,3	9,2	0,70
C	37 ≤ P < 75	04-1999	6,5	1,3	9,2	0,85
Stufe II						
E	130 ≤ P ≤ 560	01-2002	3,5	1,0	6,0	0,2
F	75 ≤ P < 130	01-2003	5,0	1,0	6,0	0,3
G	37 ≤ P < 75	01-2004	5,0	1,3	7,0	0,4
D	18 ≤ P < 37	01-2001	5,5	1,5	8,0	0,8

*Stufe II wird seit 01-2007 auch auf Motoren, die bei konstanter Drehzahl betrieben werden, angewendet.

Tabelle 5: EU Stufe IIIA

Vgl. [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. 2013

KAT.	NUTZLEISTUNG kW	DATUM [†]	CO	HC+NO _x	PM
			g/kWh		
H	130 ≤ P ≤ 560	01-2006	3,5	4,0	0,2
I	75 ≤ P < 130	01-2007	5,0	4,0	0,3
J	37 ≤ P < 75	01-2008	5,0	4,7	0,4
K	19 ≤ P < 37	01-2007	5,5	7,5	0,6

[†]Einführungsdatum für Motoren mit Betrieb bei konstanter Drehzahl: 01-2011 (H,I,K), 01-2012 (J).

Tabelle 6: EU Stufe III B

Vgl. [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. 2013

KAT.	NUTZLEISTUNG kW	DATUM	CO	HC	NO _x	PM
			g/kWh			
L	$130 \leq P \leq 560$	01-2011	3,5	0,19	2,0	0,025
M	$75 \leq P < 130$	01-2012	5,0	0,19	3,3	0,025
N	$56 \leq P < 75$	01-2012	5,0	0,19	3,3	0,025
P	$37 \leq P < 56$	01-2013	5,0	4,7 [‡]		0,025

[‡]NO_x + HC.

Tabelle 7: EU Stufe IV

Vgl. [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. 2013

KAT.	NUTZLEISTUNG kW	DATUM	CO	HC	NO _x	PM
			g/kWh			
Q	$130 \leq P \leq 560$	01-2014	3,5	0,19	0,4	0,025
R	$56 \leq P < 130$	10-2014	5,0	0,19	0,4	0,025

Tabelle 8: EU Stufe IIIA für Binnenschiffe

Vgl. [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. 2013

KAT.	HUBRAUM D	DATUM	CO	HC+NO _x	PM
	<i>dm³ pro Zylinder</i>			<i>g/kWh</i>	
V1:1	D ≤ 0,9 [§]	01-2007	5,0	7,5	0,40
V1:2	0,9 < D ≤ 1,2	01-2007	5,0	7,2	0,30
V1:3	1,2 < D ≤ 2,5	01-2007	5,0	7,2	0,20
V1:4	2,5 < D ≤ 5	01-2009	5,0	7,2	0,20
V2:1	5 < D ≤ 15	01-2009	5,0	7,8	0,27
V2:2	15 < D ≤ 20 [¶]	01-2009	5,0	8,7	0,50
V2:3	15 < D ≤ 20 ^{**}	01-2009	5,0	9,8	0,50
V2:4	20 < D ≤ 25	01-2009	5,0	9,8	0,50
V2:4	25 < D ≤ 30	01-2009	5,0	11,0	0,50

gültig für [§] P > 37 kW; [¶] P ≤ 3300 kW; ^{**} P > 3300 kW.

Tabelle 9: EU Stufen IIIA und IIIB für Lokomotiven

Vgl. [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. 2013

KAT.	NUTZLEISTUNG	DATUM	CO	HC+NO _x	PM
	<i>kW</i>			<i>g/kWh</i>	
Stufe IIIA Lokomotiven					
RC A	130 < P	01-2006	3,5	4,0	0,2
RL A	130 ≤ P ≤ 560	01-2007	3,5	4,0	0,2
RH A	P > 560	01-2009	3,5	0,5 6,0	0,2
Stufe IIIB Lokomotiven					
RC B	P < 130	01-2012	3,5	0,19 2,0 ^{,††}	0,025
R B	P < 130	01-2012	3,5	4,0	0,025

^{||} HC = 0,4 g/kWh und NO_x = 7,4 g/kWh für Motoren mit P > 2000 kW und D > 5 Liter/Zylinder.

^{||,††} Werte getrennt nach HC und NO_x.

A.2 VEREINIGTE STAATEN VON AMERIKA

Das *Office of Transportation and Air Quality* der US-amerikanischen *Environmental Protection Agency* veröffentlicht ebenfalls Emissionsgrenzwerte für verschiedene Motorenkategorien. Die Grenzwerte für Motoren der Kategorie 3 (reine Marinemotoren mit Hubvolumen über 30 dm³ pro Zylinder) sind identisch mit den Standards nach IMO, die in den Tabellen 15 und 16 angeführt sind. Die Emissionsstandards für kleinere Motoren der Kategorien 1 und 2, etwa auf Basis von Lokomotivmotoren oder für andere *Non-Road*-Applikationen, sind für Tier 1 ebenfalls äquivalent zu den IMO-Bestimmungen. Grenzwerte für Tier 2 sind identisch zu den in Tabelle 8 dargestellten Werten für Binnenschiffe Stufe IIIA. Grenzwerte für Marine Tiers 3 und 4 sind in Tabellen 10, 11 und 12 abgebildet.¹

Tabelle 10: US-EPA Tier 3 Marine Standard Power Density ($P \leq 35$ kW/dm³)
Vgl. [115] DieselNet. *Emission Standards: United States – Marine Diesel Engines*. 2011

LEISTUNG P kW	HUBRAUM D dm ³ pro Zylinder	DATUM	NO _x + HC* g/kWh	PM g/kWh
P < 19	D < 0,9	2009	7,5	0,40
19 ≤ P < 75	D < 0,9 [†]	2009	7,5	0,30
		2014	4,7	0,30
75 ≤ P < 3700	D < 0,9	2012	5,4	0,14
	0,9 ≤ D < 1,2	2013	5,4	0,12
	1,2 ≤ D < 2,5	2014	5,6	0,11 [‡]
	2,5 ≤ D < 3,5	2013	5,6	0,11 [‡]
	3,5 ≤ D < 7,0	2012	5,8	0,11 [‡]

* wird nicht auf Motoren mit 2000–3700 kW Leistung angewendet

[†] Motoren mit P < 75 kW und D ≥ 0,9 dm³ siehe 75–3700 kW

[‡] ab 2018: 0,10 g/kWh für P < 600 kW

¹ Vgl. [115] DieselNet. *Emission Standards: United States – Marine Diesel Engines*. 2011.

Tabelle 11: US-EPA Tier 3 Marine High Power Density ($P > 35 \text{ kW/dm}^3$)
 Vgl. [115] DieselNet. *Emission Standards: United States – Marine Diesel Engines*. 2011

LEISTUNG P kW	HUBRAUM D dm^3 pro Zylinder	DATUM	$\text{NO}_x + \text{HC}^*$ g/kWh	PM g/kWh
$P < 19$	$D < 0,9$	2009	7,5	0,40
$19 \leq P < 75$	$D < 0,9^\dagger$	2009	7,5	0,30
		2014	4,7	0,30
$75 \leq P < 3700$	$D < 0,9$	2012	5,8	0,15
	$0,9 \leq D < 1,2$	2013	5,8	0,14
	$1,2 \leq D < 2,5$	2014	5,8	0,12
	$2,5 \leq D < 3,5$	2013	5,8	0,12
	$3,5 \leq D < 7,0$	2012	5,8	0,11

[†] Motoren mit $P < 75 \text{ kW}$ und $D \geq 0,9 \text{ dm}^3$ siehe 75–3700 kW

Tabelle 12: US-EPA Tier 4 Marine
 Vgl. [115] DieselNet. *Emission Standards: United States – Marine Diesel Engines*. 2011

LEISTUNG P kW	DATUM	NO_x g/kWh	HC g/kWh	PM g/kWh
$P \geq 3700$	2014	1,8	0,19	0,12 [§]
	2016	1,8	0,19	0,06
$2000 \leq P < 3700$	2014	1,8	0,19	0,04
$1400 \leq P < 2000$	2016	1,8	0,19	0,04
$600 \leq P < 1400$	2017	1,8	0,19	0,04

[§] 0,25 g/kWh für Motoren mit Zylinderhubraum 15–30 dm^3

Tabelle 13: US-EPA Streckenlokomotiven,

Grenzwerte in 1 g/bhp·hr = 1,341 g/kWh

Vgl. [114] DieselNet. *Emission Standards: United States – Locomotives*. 2008

TIER	BAUJAHR	HC	CO	NO _x	PM
0	1973–1992	1,00	5,0	8,0	0,22
1	1993–2004	0,55	2,2	7,4	0,22
2	2005–2011	0,30	1,5	5,5	0,10
3	2012–2014	0,30	1,5	5,5	0,10
4	ab 2015	0,14 [¶]	1,5	1,3 [¶]	0,03

[¶] alternativ 1,4 g/bhp·hr NO_x+HC kombiniert

Tabelle 14: US-EPA Verschublokomotiven,

Grenzwerte in 1 g/bhp·hr = 1,341 g/kWh

Vgl. [114] DieselNet. *Emission Standards: United States – Locomotives*. 2008

TIER	BAUJAHR	HC	CO	NO _x	PM
0	1973–2001	2,10	8,0	11,8	0,26
1	2002–2004	1,20	2,5	11,0	0,26
2	2005–2010	0,60	2,4	8,1	0,13
3	2011–2014	0,60	2,4	5,0	0,10
4	ab 2015	0,14 ^{¶¶}	2,4	1,3 ^{¶¶}	0,03

^{¶¶} alternativ 1,3 g/bhp·hr NO_x+HC kombiniert

A.3 IMO MARINE ENGINE REGULATIONS

Die Internationale Seeschiffahrts-Organisation (IMO) reguliert in der internationalen Konvention MARPOL 73/78, Anlage VI die NO_x - und SO_x -Emissionen von Schiffen. Die NO_x -Grenzen gelten nur für Neubauten, während sich die SO_x -Grenzwerte auf Treibstoffe beziehen und somit auch ältere Schiffe betreffen.²

Tabelle 15: IMO MARPOL 73/78, Anlage VI: NO_x -Limits

Vgl. [116] DieselNet. *IMO Marine Engine Regulations, Emission Standards.*
2011

STUFE	DATUM	NO_x -Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Stufe I	2000	17,0	$45 \cdot n^{-0,2}$	9,8
Stufe II	2011	14,4	$44 \cdot n^{-0,23}$	7,7
Stufe III	2016*	3,4	$9 \cdot n^{-0,2}$	1,96

*In NO_x -ECAs; außerhalb Stufe II gültig.

Tabelle 16: IMO MARPOL 73/78, Anlage VI: SO_x -Limits für Treibstoffe

Vgl. [116] DieselNet. *IMO Marine Engine Regulations, Emission Standards.*
2011

DATUM	SCHWEFEL-LIMIT DER TREIBSTOFFE, %m/m	
	SO_x ECA	global
01-2000	1,5%	4,5%
07-2010	1,0%	
01-2012		3,5%
01-2015	0,1%	
01-2020 [†]		0,5%

[†]Alternatives Einführungsdatum ist 2025; wird 2018 entschieden.

² [116] DieselNet. *IMO Marine Engine Regulations, Emission Standards.* 2011.

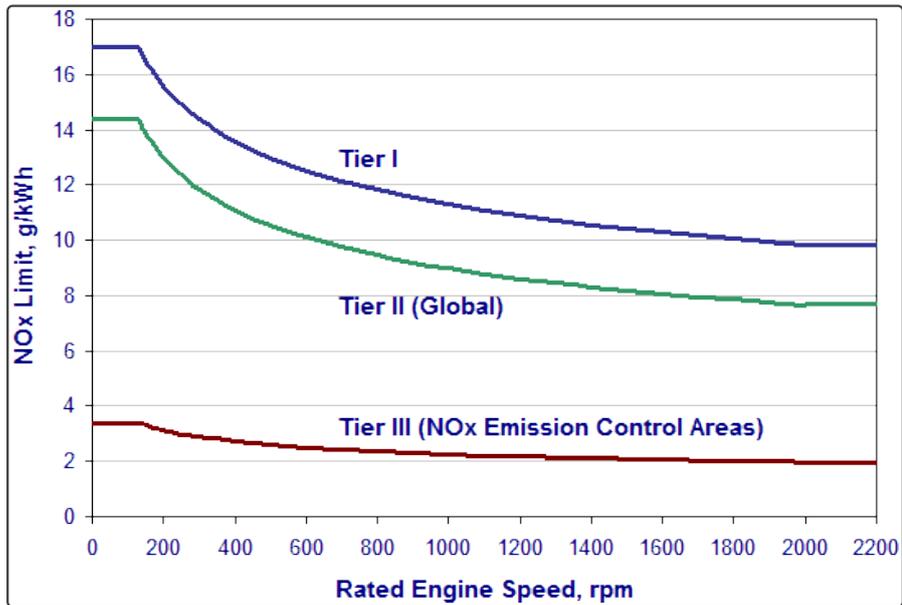


Abbildung 63: NO_x-Limits von Schiffen nach IMO. Alle drei Stufen sind jeweils von der maximalen Arbeitsdrehzahl abhängig.
 [116] DieselNet. *IMO Marine Engine Regulations, Emission Standards*.
 2011

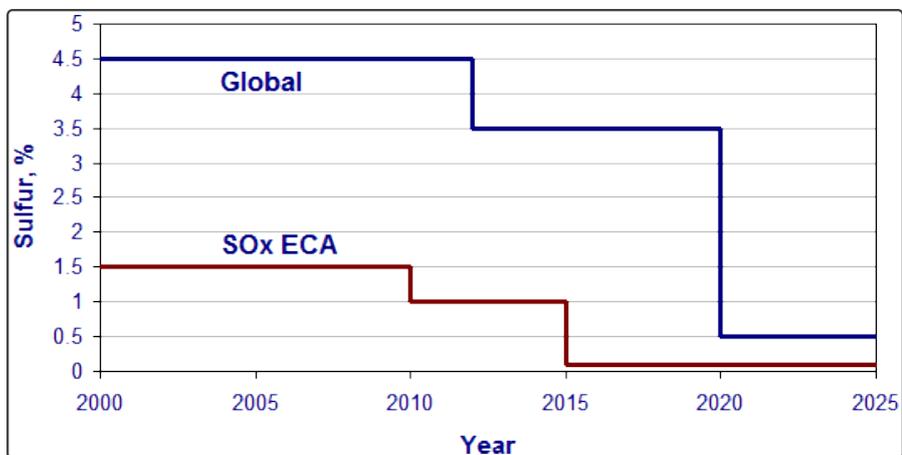


Abbildung 64: SO_x-Limits von Schiffstreibstoffen nach IMO. Das untere Limit gilt nur in SECAs.
 [116] DieselNet. *IMO Marine Engine Regulations, Emission Standards*.
 2011

MARKTAKTEURE

Diese Kapitel widmet sich den näher betrachteten Gruppen von Marktteilnehmern im Bereich der (Hybrid-)Großmotoren.

B.1 ÜBERSICHT UND VORSTELLUNG

B.1.1 Motorenhersteller

Im Folgenden werden die betrachteten Hersteller von Großmotoren kurz vorgestellt.

CATERPILLAR INC. ist Marktführer in den Bereichen *Baumaschinen* und *Mining*. Das amerikanische Unternehmen erzielte 2013 einen Umsatz über 55 Mrd. \$. In der Produktgruppe „Power Systems“ werden Motoren bis zu 16 MW angeboten, darunter Mittelschnellläufer, Gensets und Hilfsmaschinen für den Marineinsatz.¹

CUMMINS INC. ist ein US-amerikanisches Unternehmen mit ca. 17 Mrd. \$ Umsatz (2012) und hat eine breite Palette an Motoren für viele Applikationen, darunter *Marine* (schnelllaufend, bis 2 MW), *Rail* und *Mining*.²

¹ Vgl. [102] Caterpillar Inc. *Cat | Products and Services*. 2014.

² Vgl. [106] Cummins Inc. *Cummins.com*. 2014; und [107] Cummins Inc. *Cummins Marine*. 2014.

GE TRANSPORTATION ist eine Tochtergesellschaft des amerikanischen Konzerns GENERAL ELECTRIC. Sie gehört zu den weltweit größten Herstellern von Lokomotiven, die auch für EPA Tier 4 geeignet sind, und erreichte 2013 einen Umsatz von über 5,8 Mrd \$. GE TRANSPORTATION gehört auch zu den Technologieführern bei Marine-Dieselmotoren (Mittelschnellläufer bis 4,2 MW).³

HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES CO., LTD. ist mit 24,3 Bio. Won (ca. 23 Mrd. \$) eines der größten Unternehmen weltweit, die im Schiffbau tätig sind. Dabei erreicht das südkoreanische Unternehmen etwa 15% Marktanteil mit dem Fokus auf Tanker, Containerschiffen, RoRo-Schiffen, U-Booten und Kriegsschiffen. Darüber hinaus zählen u. a. auch die Bereiche *Offshore* und *Construction Equipment* und Marine-Dieselmotoren zu den Geschäftsbereichen. HHI baut etwa 35% aller Marinedieselmotoren weltweit, gehört aber nicht zu den Technologieführern. Langsamläufer werden mit MAN- oder WÄRTSILÄ-Lizenz gefertigt. Selbstentwickelte Viertakt-Großmotoren werden unter dem Namen „HiMSEN“ gebaut.⁴

MAN DIESEL & TURBO SE gehört zum Geschäftsfeld „Power Engineering“ der deutschen MAN SE und ist Weltmarktführer im Bereich Großdieselmotoren, wobei ein Großteil davon von Lizenznehmern gefertigt wird. Die Palette reicht von Gensets mit 450 kW bis hin zu Zweitaktmaschinen mit fast 100 MW, darunter auch *Dual-Fuel*-Motoren. 2012 erzielte man einen Umsatz in Höhe von 3,7 Mrd. €. Bei MAN DIESEL & TURBO versteht man unter Hybridantrieben vorrangig *Combined diesel-electric or diesel propulsion* (CODLOD)- bzw. CODLAD-Konzepte mit PTO / PTI-

³ Vgl. [124] GE Transportation. *GE Transportation | Moving, Powering and Building a Connected World*. 2014; und [20] General Electric Company. *Progress – GE Works 2013 Annual Report*. 2014.

⁴ Vgl. [129] Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. *Welcome to Hyundai Heavy Industries*. 2014.

Fähigkeiten. Antriebssysteme mit Batterien bietet MAN DIESEL & TURBO derzeit nicht an.⁵

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES ist ein japanischer Konzern, der u. a. Schiffe und Antriebssysteme entwickelt und herstellt. MHI erreichte zuletzt einen Umsatz von 2,8 Bio. ¥ (ca. 27 Mrd. \$). Die wichtigsten gebauten Schiffstypen sind Tanker, Massengutfrachter, Fahrzeugtransporter und Containerschiffe. MHI entwickelt eigene Zweitakt-Schiffdiesel, hat aber auch eine WÄRTSILÄ-Lizenz. Außerdem werden (mittel-)schnelllaufende Dieselmotoren bis 3,2 MW angeboten.⁶

NIIGATA POWER SYSTEMS CO., LTD. ist ein japanisches Unternehmen, das zur IHI GROUP gehört. Es bietet schnelllaufende und mittelschnelllaufende Motoren für den Marineeinsatz sowie Gensets bis etwa 7 MW an.⁷

ROLLS-ROYCE PLC ist ein britischer Konzern, der vor allem durch seine Flugzeugtriebwerke bekannt ist, jedoch auch zu den Technologieführern im Bereich Schiffsantriebe gehört und zuletzt einen Umsatz von 15,5 Mrd. £ erzielte. Im Geschäftsfeld „Ship design and systems“ werden technisch hochwertige Schiffe verschiedener Typen (z. B. Offshore- und Forschungsschiffe) entwickelt sowie Systemlösungen verkauft. ROLLS-ROYCE und die DAIMLER AG sind jeweils 50%-ige Eigentümer an der ROLLS-ROYCE POWER SYSTEMS AG, vorher TOGNUM AG. Im März 2014 verkündete die DAIMLER AG allerdings, ihre Anteile verkaufen zu wollen.⁸ Es werden Motoren und Antriebssysteme für Schiffe, Land- und Schienenfahrzeuge der Marken MTU und BERGEN ENGINES AS entwickelt und gebaut. ROLLS-ROYCE

5 Vgl. [138] MAN Diesel & Turbo SE. *MAN Diesel & Turbo SE - HOMEPAGE*. 2014; [137] MAN Diesel & Turbo SE. *Hybrid Propulsion – Flexibility and maximum efficiency optimally combined*. 2012; und [44] MAN Diesel & Turbo SE. *Jahresbericht 2012*. 2013.

6 Vgl. [142] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Website*. 2014; und [143] Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Co., Ltd. *Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Co., Ltd.* 2014.

7 Vgl. [144] Niigata Power Systems Co., Ltd. *Niigata Power Systems Co.,Ltd.* 2014.

8 Vgl. [127] Handelsblatt GmbH. *Daimler steigt bei Rolls-Royce Power Systems aus*. 2014.

bietet nach dem *Alles-aus-einer-Hand-Prinzip* „integrierte elektrische Antriebssysteme“ an, die auf die unterschiedlichen Arbeitsprofile verschiedener Schiffe angepasst werden können.⁹

WÄRTSILÄ CO. ist mit 52% Marktanteil Marktführer bei mittelschnelllaufenden Viertakt-Schiffsdieselmotoren, nach MAN DIESEL & TURBO auf Platz zwei bei Zweitaktdieselmotoren und bietet auch *Dual-Fuel*-Motoren an. WÄRTSILÄ konstruiert auch Schiffe, unterhält aber keine eigenen Werften mehr. Das finnische Unternehmen erzielte 2013 einen Umsatz von über 4,6 Mio € und berichtete, dass es mit der russischen Transmashholding einen Vertrag über die Lieferung von zwölf Motoren für Rangierlokomotiven abgeschlossen hat – ein erster Vorstoß in den *Rail*-Markt.¹⁰

ELECTRO-MOTIVE DIESEL, INC. ist einer der größten Lokomotivhersteller der Welt und hält einen signifikanten Marktanteil in Nordamerika. 2010 wurde EMD von CATERPILLAR gekauft. EMD bietet neben Lokomotiven auch selten zu findende mittelschnelllaufende Zweitaktmotoren bis etwa 3.700 kW für Stationär- und Marineanwendungen an.¹¹

YANMAR CO., LTD. stellt u. a. schnelllaufende und mittelschnelllaufende Dieselmotoren her, die als Hauptmaschinen, Hilfsmaschinen und Gensets auf kleineren Schiffen, Yachten und Booten zum Einsatz kommen. Das japanische Unternehmen hat einen hohen Marktanteil bei mittelschnelllaufenden Diesel-Generatoren.¹²

KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES ist der größte japanische Hersteller von Schienenfahrzeugen, betreibt zwei Schiffswerften, auf denen vor allem größere Handelsschiffe gebaut werden, und stellt

9 Vgl. [147] Rolls-Royce plc. *Rolls-Royce*. 2014; [61] Rolls-Royce. „Electric and hybrid propulsion system options for real flexibility“. 2013.

10 Vgl. [159] Wärtsilä Corporation. *Wärtilä - Home*. 2014; und [84] Wärtsilä Corporation. *Annual Report 2013*. 2014.

11 Vgl. [118] Electro-Motive Diesel, Inc. *Electro Motive Diesel*. 2014; und [158] Tita. *Caterpillar expected to make Electro-Motive more competitive*. 2010.

12 Vgl. [162] Yanmar Co., Ltd. *Yanmar*. 2014; und [151] ship-technology.com. *Yanmar – Commercial Marine High-Speed Diesel Engines*. 2014.

Zwei- und Viertakt-Großmotoren für Marine- und Stationäranwendungen unter MAN-Lizenz her. 2012/2013 erzielte das Unternehmen einen Umsatz von 13,7 Mrd. \$, davon 7% im Schiffbau- und Offshore-Bereich und 10% mit Schienenfahrzeugen. Unter dem Namen „GIGACELL“ entwickelt KHI Nickel-Metallhybrid-Akkumulatoren, die für Nahverkehrsschienenfahrzeuge (z. B. Tokio Monorail) als stationäre Notstromversorgung sowie für Rekuperation und Boosten eingesetzt werden können. Auch ein Test auf einem Fahrzeugtransportschiff mit Hybridmodulen in Containern und Photovoltaikzellen wurde gebaut.¹³

ANGLO-BELGIAN CORPORATION AG ist ein belgisches Unternehmen, das Mittelschnellläufer für Diesel-, Schweröl- und *Dual-Fuel*-Betrieb baut, die auf Küsten-, Arbeits- und Binnenschiffen, kleineren Fähren und Fischtrawlern, als Generatoren und in Lokomotiven zum Einsatz kommen.¹⁴

DAIHATSU DIESEL MFG. CO., LTD. ist ein japanischer Industriebetrieb, der mittelschnelllaufende Dieselmotoren für mechanischen und dieselektrischen Schiffsantrieb sowie als Hilfsmaschinen anbietet. Er setzte 0,5 Mrd. \$ im Geschäftsjahr 2012/2013 um.¹⁵

DOOSAN ENGINE stellt langsam- und mittelschnelllaufende Motoren, darunter auch *Dual-Fuel*-Motoren, unter Lizenz von MAN DIESEL & TURBO her. Das koreanische Unternehmen hat bei ca. 1,3 Mrd \$ Umsatz im Jahr 2012 nach eigenen Angaben den zweithöchsten Marktanteil der reinen Marinemotorenhersteller weltweit.¹⁶

13 Vgl. [133] Kawasaki Heavy Industries, Ltd. *Kawasaki Heavy Industries, Ltd.* 2014; und [40] Kawasaki Heavy Industries, Ltd. *Kawasaki Report 2013 – Year ended March 31, 2013.* 2013.

14 Vgl. [92] Anglo Belgian Corporation AG. *Homepage » ABC, we power your future.* 2014.

15 Vgl. [108] Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd. *Daihatsu Diesel.* 2014; und [12] Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd. *Consolidated Financial Results for the Year ended March 31, 2013.* 2013.

16 Vgl. [117] Doosan Engine Co., Ltd. *Home : Doosan Engine.* 2014; und [15] Doosan Engine Co., Ltd. *Separate Financial Statements as of and for the years ended December 31, 2012 and 2011.* 2013.

KOMATSU ist nach Caterpillar der größte Hersteller von Minen- und Baumaschinen und stellt auch entsprechende Motoren selbst her. Das japanische Unternehmen hat 2012/2013 einen Umsatz von über 20 Mrd. \$ erzielt. KOMATSU hat bereits einen Hybrid-Bagger, der über einen Superkondensator als Energiespeicher verfügt, entwickelt.¹⁷

MAKITA CORPORATION ist ein japanischer Lizenznehmer von MAN DIESEL & TURBO, der Zweitakt-Schiffsdiesel herstellt.¹⁸

JINAN DIESEL ENGINE CO., LTD. gehört zur staatlichen CHINA NATIONAL PETROLEUM CORPORATION und stellt schnelllaufende und mittelschnelllaufende Motoren bis 9 MW für Marine- und Lokomotiv-Applikationen sowie Gensets her.¹⁹

WEICHAI baut schnelllaufende und mittelschnelllaufende Dieselmotoren aus eigener Entwicklung – letztere teilweise mit Lizenz von MAN DIESEL & TURBO. Der chinesische Konzern übernahm 2012 75% der Anteile am italienischen Luxusyacht-Hersteller FERETTI sowie 2009 einen Teil der Anteile am französischen Marinemotor- und -ausrüstungshersteller MOTEURS BAUDOUIN.²⁰

SMDERI, für SHANGHAI MARINE DIESEL ENGINE RESEARCH INSTITUTE steht unter der Jurisdiktion der CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION und produziert u. a. Marin Dieselmotoren. Moderne Zweitakt Dieselmotoren werden unter WÄRTSILÄ-Lizenz hergestellt. Mittelschnellläufer gibt es aus eigener Entwicklung und sowohl unter WÄRTSILÄ- als auch MAN-Lizenz.²¹

17 Vgl. [134] Komatsu Ltd. *Komatsu Global*. 2014; und [41] Komatsu Ltd. *Komatsu Report 2013*. 2013.

18 Vgl. [136] Makita Corporation. *Makita Corporation*. 2014.

19 Vgl. [132] Jinan Diesel Engine Co., Ltd. *Diesel Engine, Diesel Generating Set, Generator, China Diesel Engine Manufacturer*. 2014.

20 Vgl. [160] Weichai Holding Group Co., Ltd. *Weichai Group*. 2014.

21 Vgl. [103] China Shipbuilding Industry Corporation. *China Shipbuilding Industry Corporation 711. Institut*. 2014.

STX CORPORATION ist eine koreanische Holding-Gesellschaft, die mehrere, teils sehr große, Tochtergesellschaften in den Geschäftsfeldern Schiffbau, Motorenbau und Baumaschinen unterhält.²²

B.1.2 Werften

Einige der im vorigen Abschnitt angeführten Motorenhersteller sind auch im Schiffbau aktiv. Aufgrund der Konzentration des Baus von Yachten und Spezialschiffen in Europa sowie der leichteren Zugänglichkeit des europäischen Marktes werden hier vor allem europäische Werften aufgeführt.

FINCANTIERI S.P.A. betreibt die derzeit größte europäische Werft. FINCANTIERI ist eine der größten Werften für Kreuzfahrtschiffe, Fähren, Yachten, Offshore- und Spezialschiffe. Durch Erfahrung mit PTO / PTI-Antriebssystemen und die Produktschwerpunkte ist FINCANTIERI durchaus ein potentieller Kunde.²³

STX EUROPE betreibt weltweit 15 Schiffswerften und baut u. a. Fähren, Offshore-Versorgungs- und Spezialschiffe. Aufgrund ihrer Größe stellt die koreanischen Aktiengesellschaft einen interessanten potentiellen Kunden dar, der laut öffentlich zugänglichen Informationen noch keine Erfahrung bei der Hybridisierung von Schiffen hat.²⁴

DIE MEYER WERFT GMBH ist die größte deutsche Werft, die vor allem durch den Bau von Kreuzfahrtschiffen bekannt ist. Auch sie ist aber in den Segmenten Fähren und Spezialschiffe vertreten, worin Marktanteile für die AVL liegen könnten.²⁵

DIE FLENSBURGER SCHIFFBAUGESELLSCHAFT MBH konzentriert sich vor allem auf den Bau von RoRo- und RoPax-Schiffen. Diese verfügen teilweise über PTO / PTI-Kapazität, so dass der Schritt zur

²² Vgl. [156] STX Heavy Industries. *STX Heavy Industries*. 2014.

²³ Vgl. [121] Fincantieri S.p.A. *The sea ahead*. 2014.

²⁴ Vgl. [155] STX Europe. *STX Europe*. 2014.

²⁵ Vgl. [141] Meyer Werft GmbH. *MEYER WERFT Website*. 2014.

Hybridisierung mit Batterien nur noch klein ist. *FLENSBURGER-Kunde CALEDONIAN MACBRAYNE*, für den im März eine Fähre vom Stapel gelassen wurde, hat z. B. schon Hybridfähren in Betrieb.²⁶

B.1.3 *Entwicklungsdienstleister*

Diese Entwicklungsdienstleister sind die direkten Konkurrenten der AVL bei der unabhängigen Vertragsentwicklung von Großmotoren:

FEV GMBH ist wie die AVL ein Entwicklungsdienstleister für Verbrennungsmotoren aller Art. Die Entwicklung von Großmotoren wurde für einige Jahre unterbrochen, so dass die AVL hier einen Technologievorsprung hat. Hybridisierung beschränkt sich den öffentlich verfügbaren Informationen zu Folge auf den PKW-Bereich.²⁷

RICARDO, ein britischer Entwicklungsdienstleister, hat ein ähnliches Leistungsportfolio wie die AVL und übertrifft dieses zum Teil (z. B. durch Bedienung des Verteidigungssektors oder strategische Beratung). Ricardo hat nach eigenen Angaben bereits zahlreiche Hybridantriebe mitentwickelt und hat spätestens 2010 mit F&E-Aktivitäten für die Hybridisierung von Schiffsantrieben begonnen.²⁸

B.1.4 *Lieferanten*

Als wichtigste Lieferantenkategorie für Hybridsysteme wird hier eine Auswahl von Batterieherstellern, die durch ihre Technologien und Referenzen hervorstechen, vorgestellt.

²⁶ Vgl. [122] Flensburger Schiffbaugesellschaft mbH & Co. KG. *FSG*. 2014; [150] *ship-technology.com*. *MV Hallaig Hybrid Ferry, Scotland*. 2014.

²⁷ Vgl. [120] FEV GmbH. *FEV-Home*. 2014; und [164] Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. 15. Jan. 2014.

²⁸ Vgl. [146] Ricardo plc. *Home – Ricardo*. 2014.

CORVUS ENERGY ist ein erst 2009 gegründetes kanadisches Unternehmen, das angibt, 50 Jahre an Marine- und Batterieerfahrung zu vereinen. Es kann durchaus als derzeit führender Lieferant von Batterien für Marineapplikationen betrachtet werden. So wurde beispielsweise die später in Abschnitt 5.4.1 vorgestellte SCANDLINES-Hybridfähre von CORVUS ENERGY ausgerüstet. AT6500-Batteriemodule sind die ersten, die von *Det Norske Veritas* (DNV) und anderen Klassifikationsgesellschaften für den kommerziellen Marineeinsatz zugelassen wurden.²⁹

AXION POWER INTERNATIONAL INC. setzt im Gegensatz zu den meisten Konkurrenten nicht auf Lithium-Akkus sondern auf Blei-Kohlenstoff-Batterien, die mit einem Kohlenstoff-Superkondensator als Anode konkurrenzfähige Leistungen erbringen können. Der Hauptvorteil liegt in den günstigen Herstellungs- und Recycling-Kosten. Das amerikanische Unternehmen hat bereits eine Serie von Nutzfahrzeugen sowie eine Rangierlokomotive ausgestattet. Sie könnten ebenfalls eine kostengünstige Alternative für Marineanwendung sein.³⁰

SOCIÉTÉ DES ACCUMULATEURS FIXES ET DE TRACTION, kurz SAFT, ist ein französischer Batteriehersteller. Mit über 600 Mio. € Umsatz und einer F&E-Quote von 9% ist die SAFT in vielen Bereichen, besonders bei Nickel-Cadmium-Akkumulatoren, Marktführer. Die SAFT gibt an, dass ihre Batterien für verschiedenste mobile Anwendungen geeignet sind – darunter *Rail-* und *Marine*-Applikationen.³¹

29 Vgl. [105] Corvus Energy. *Corvus Energy – High Power Industrial Lithium Ion Batteries*. 2014.

30 Vgl. [95] Axion Power International Inc. *Advanced Lead Carbon Batteries For Tomorrow's Demanding Energy Needs*. 2014.

31 Vgl. [154] Société des Accumulateurs Fixes et de Traction. *Saft | World leader in high technology batteries*. 2014.

B.2 FINANZDATEN

B.2.1 Motorenhersteller

Die Tabellen 17 bis 31 auf den Seiten 148–153 zeigen Auszüge aus den jeweils neusten verfügbaren Jahresberichten aller Motoren-OEMs, die ihre Geschäftszahlen veröffentlichen.

Tabelle 17: Geschäftszahlen 2013 CATERPILLAR INC.

Vgl. [10] Caterpillar Inc. *2013 Year in Review*. 2014, S. 8, 21, 51 f.

CATERPILLAR INC.	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	55.656	-16 %
Operatives Ergebnis	5.628	-34 %
F&E-Ausgaben	2.046	-17 %
Umsatzerlöse <i>Construction Industries</i>	18.445	-4,6 %
Umsatzerlöse <i>Energy & Power Systems</i>	20.155	-4,6 %

Tabelle 18: Geschäftszahlen 2012 CUMMINS MARINE

Vgl. [11] Cummins Inc. *Annual Report for the Fiscal Year Ended December 31, 2012*. 2013

CUMMINS MARINE	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	17.334	-4 %
EBIT	2.303	-15 %
F&E-Ausgaben	721	+14 %
Umsatzerlöse <i>Engine segment</i>	10.733	-5 %
EBIT <i>Engine segment</i>	1.248	-10 %

Tabelle 19: Geschäftszahlen 2013 GE TRANSPORTATION

Vgl. [20] General Electric Company. *Progress – GE Works 2013 Annual Report*. 2014

GENERAL ELECTRIC	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse <i>GE</i>	146.045	0 %
Gewinn <i>GE</i>	24.478	+6,7 %
F&E-Ausgaben	4.700	+4,4 %
Umsatzerlöse <i>GE Transportation</i>	5.885	+4,0 %
Gewinn <i>GE Transportation</i>	1.166	+13 %

Tabelle 20: Geschäftszahlen 2012 HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES

Vgl. [34] Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. *Expanding The Possible – Hyundai Heavy Industries Annual Report 2012*. 2013

HYUNDAI HEAVY INDUSTRIES	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	51.324	+2,2 %
Operatives Ergebnis	1.860	-5,6 %
F&E-Ausgaben	238	+9,4 %
Umsatzerlöse <i>Shipbuilding</i>	16.632	-2,7 %
Umsatzerlöse <i>Engine & Machinery</i>	1.880	-6,6 %

Tabelle 21: Geschäftszahlen 2012 MAN DIESEL & TURBO

Vgl. [44] MAN Diesel & Turbo SE. *Jahresbericht 2012*. 2013; [45] MAN SE. *2013 auf einen Blick – Zusammenfassender Lagebericht*. 2014

MAN DIESEL & TURBO	MIO. €	VERÄNDERUNG
Umsatz	3.780	+5 %
Operatives Ergebnis	437	-5 %
F&E-Ausgaben	399	+12 %
Umsatz <i>Engines & Marine Systems</i>	1.552	-7 %
Oper. Erg. <i>Engines & Marine Systems</i>	319	-11 %

Tabelle 22: Geschäftszahlen 2012/2013 MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES
 Vgl. [49] Mitsubishi Heavy Industries. *Annual Report 2013 – For the Year Ended March 31, 2013*. 2013

MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	29.960	-0 %
Operatives Ergebnis	1.738	+46 %
F&E-Ausgaben	1.275	-1 %
Umsatzerl. <i>Shipbuilding & Ocean Dev.</i>	2.206	-28 %
Umsatzerl. <i>General Machinery & Special Vehicles</i>	3.762	-0 %

Tabelle 23: Geschäftszahlen 2012 ROLLS-ROYCE PLC
 Vgl. [62] Rolls-Royce Holding plc. *annual report 2012*. 2013

ROLLS-ROYCE PLC	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	20.200	+8 %
Gewinn vor Finanzierung	2.465	+24 %
F&E-Ausgaben	949	+2 %
Umsatzerlöse <i>Marine</i>	2.131	-3 %
Gewinn vor Finanzierung <i>Marine</i>	486	+2 %

Tabelle 24: Geschäftszahlen 2012 TOGNUM AG
 Vgl. [77] Tognum AG. *People are our driving force – Annual Report 2012*. 2013

TOGNUM AG	MIO. €	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	3.015	+1,4 %
EBIT	296	-14 %
F&E-Ausgaben	241	+12 %
Umsatzerlöse <i>Marine</i>	543	-2 %
Umsatzerlöse <i>Industrial</i>	403	-14 %

Tabelle 25: Geschäftszahlen 2012 WÄRTSILÄ

Vgl. [84] Wärtsilä Corporation. *Annual Report 2013*. 2014

WÄRTSILÄ	MIO. €	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	4.654	-2 %
Operatives Ergebnis	520	+1 %
F&E-Ausgaben	185	-2 %
Umsatzerlöse <i>Ship Power</i>	1.325	+2 %

Tabelle 26: Geschäftszahlen 2011 YANMAR

Vgl. [87] Yanmar Co., Ltd. *Corporate Social Responsibility Report 2012*. 2012

YANMAR	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	5.398	+10 %
Operatives Ergebnis	217	+28 %
Umsatzerlöse <i>Int. Combustion Engines</i>	2.251	

Tabelle 27: Geschäftszahlen 2012/2013 KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES

Vgl. [40] Kawasaki Heavy Industries, Ltd. *Kawasaki Report 2013 – Year ended March 31, 2013*. 2013

KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	13.712	-1 %
Operatives Ergebnis	448	-26 %
F&E-Ausgaben	444	+4 %
Umsatzerlöse <i>Ship & Offshore Structure</i>	961	
Op. Erg. <i>Ship & Offshore Structure</i>	44	
Umsatzerlöse <i>Rolling Stock</i>	1.381	
Op. Erg. <i>Rolling Stock</i>	23	

Tabelle 28: Geschäftszahlen 2012 DOOSAN ENGINE

Vgl. [15] Doosan Engine Co., Ltd. *Separate Financial Statements as of and for the years ended December 31, 2012 and 2011.* 2013

DOOSAN ENGINE	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	1.285	-31 %
Operatives Ergebnis	65	-77 %
F&E-Ausgaben	1	

Tabelle 29: Geschäftszahlen 2012/2013 DAIHATSU DIESEL

Vgl. [12] Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd. *Consolidated Financial Results for the Year ended March 31, 2013.* 2013

	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatz	534	-5,5 %
Operatives Ergebnis	27	-40 %

Tabelle 30: Geschäftszahlen 2012/2013 KOMATSU

Vgl. [41] Komatsu Ltd. *Komatsu Report 2013.* 2013

KOMATSU	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	20.053	-4,9 %
Operatives Ergebnis	2.251	-18 %
F&E-Ausgaben	647	+11 %
Umsatzerlöse <i>Construction, Mining and Utility Equipment</i>	17.841	-3,6 %

Tabelle 31: Geschäftszahlen 2012 STX

Vgl. [73] STX Engine Co., Ltd. *2012 Annual Report – Beyond Limits.* 2013

STX	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	4.253	+3,2 %
Operatives Ergebnis	-384	-275 %

B.2.2 *Entwicklungsdienstleister*

Als direkten Konkurrenten der AVL sind nur FEV und RICARDO zu nennen, wobei nur RICARDO seine Finanzdaten veröffentlicht.

Tabelle 32: Geschäftszahlen 2012/2013 RICARDO

Vgl. [57] Ricardo plc. *Annual Report & Accounts 2013*. 2013

RICARDO	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	277	+16 %
Operatives Ergebnis	94,5	+31 %
F&E-Ausgaben	11	

B.2.3 *Batterielieferanten*

Da die meisten der potentiellen Batterielieferanten sehr kleine Unternehmen sind, lassen sich nur vereinzelt Daten finden.

Tabelle 33: Geschäftszahlen 2013 SAFT

Vgl. [71] Société des Accumulateurs Fixes et de Traction. *Advanced batteries. Designed for industry. Annual Report 2013*. 2014

SAFT	MIO. €	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	624	+4 %
EBIT	55	-22 %
F&E-Ausgaben	58	+4

Tabelle 34: Geschäftszahlen 2013 AXION POWER

Vgl. [3] Axion Power International Inc. *FORM 10-K (Annual Report)*. 2014

AXION POWER	MIO. \$	VERÄNDERUNG
Umsatzerlöse	10	+4 %
Operatives Ergebnis	-8	+4 %
F&E-Ausgaben	2,2	-15

ABSCHÄTZUNG DES MARKTES IM EISENBAHN-SEGMENT

Die in Abschnitt 6.2.2 angesprochene Abschätzung stützt sich auf die hier angeführten Daten. Im Folgenden ist eine Aufstellung der wichtigsten EVU bzw. Eisenbahninfrastrukturbetreiber (EIB) zu finden.

WELTWEITE BESTÄNDE Der internationale Eisenbahnverband (UIC) veröffentlicht eine Aufstellung der Triebfahrzeugbestände seiner Mitgliedsgesellschaften. Eine Zusammenfassung der wichtigsten EVU und EIB zeigt Tabelle 35. Als potentielle Hybridlokomotiven kommen selbstverständlich vor allem die zu ersetzenden Diesellokomotivbestände in Frage. Leider gibt die öffentlich zugängliche UIC-Statistik keine Unterscheidung zwischen den Traktionsarten aus. Um den Anteil an Elektrolokomotiven und -triebwagen abzuschätzen, wird daher als Näherung der Streckenelektrifizierungsanteil auf den Triebfahrzeugbestand umgelegt. Wie später (Seite 157) gezeigt wird, lässt sich grob ein Zusammenhang des Elektrifizierungsanteils mit dem Anteil der Traktionsarten erkennen.

BEISPIEL ÖBB Tabelle 36 zeigt eine Aufstellung der derzeit genutzten Triebfahrzeuge der Österreichische Bundesbahnen (ÖBB). Davon sind 410 dieselgetrieben (die Abschätzung ergibt 426). Am Beispiel ÖBB kann man gut den Trend erkennen, möglichst wenig verschiedene Fahrzeugbaureihen einzusetzen, um Wartungs- und Instandhaltungskosten zu minimieren. Dieseltriebwagen kommen im Personennahverkehr, Diesellokomotiven vor allem im Güterverkehr auf Nebenbahnen zum Einsatz, da alle Hauptstrecken elektrifiziert sind. Hinzu kommen zahlreiche Verschublokomotiven.

Tabelle 35: Streckenlängen (Betriebslänge) bedeutender Bahngesellschaften, Elektrifizierungsgrad und Anzahl der Triebfahrzeuge (TFZ).

Nach [38] International Union of Railways. *Synopsis 2012. 2013*, z. T. ergänzt; z. B. [148] Russian Railways (RZD). *Annual report 2012. 2013*; [52] ÖBB-Infrastruktur AG. *Zahlen-Daten-Fakten. 2013*

LAND	EVU/EIB	STRECKEN		TFZ Anzahl
		km	elektrif. %	
Österreich	ÖBB	4.894	71	1.468
Deutschland	DB AG	33.509	59	15.173
Schweiz	SBB	3.138	100	1.818
Frankreich	SNCF/RFF	30.031	53	5.902
Italien	FS	16.742	71	3.650
Polen	PKP	19.617	60	3.516
Spanien	RENFE/ADIF	13.939	63	1.572
GB	ATOC/Network Rail	15.753	33	11.038
Russland	RZD	84.249	50	20.618
Ukraine	UZ	21.643	47	6.316
Türkei	TCDD	9.642	29	773
Canada	CPR, CNR	52.002	0	2.768
Mexiko	verschiedene	26.704	0	1.160
USA	AAR	194.136	0	23.893
VR China	CR	66.298	54	28.191
Indien	IR	64.460	30	11.493
Japan	JR	20.140	62	2.975

Tabelle 36: Übersicht der aktuellen ÖBB-TFZ. Die in Ausmusterung befindlichen Baureihen sind nicht aufgeführt

Vgl. [35] Inderst. *Bildatlas der ÖBB-Lokomotiven*. 2010

BAUREIHE	ANZAHL	EINSATZ	LEISTUNG
1016 Taurus 1	50	Universal	6.400 kW
1116 Taurus 2	282	Universal	6.400 kW
1216 Taurus 3	50	Universal	6.000 kW
1142	78	Universal	4.000 kW
1144	209	Universal	5.400 kW
1063	48	Verschub	2.000 kW
1163	20	Verschub	1.600 kW
1064	10	Verschub	1.520 kW
Summe Elektrolokomotiven	747		
4011 ICE-T	3	Fernverkehr	4.000 kW
4020	120	Nahverkehr	1.200 kW
4023 Talent	11	Nahverkehr	1.440 kW
4024 Talent	140	Nahverkehr	1.440 kW
4124 Talent	37	Nahverkehr	1.440 kW
Summe Elektrotriebwagen	311		
2016 Hercules	100	Universal	2.000 kW
2068	60	Verschub	820 kW
2070 Hector	90	Verschub	738 kW
Summe Diesellokomotiven	250		
5022 Desiro	60	Nahverkehr	630 kW
5047	100	Nahverkehr	419 kW
Summe Dieseltriebwagen	160		

Auch bei der Deutschen Bahn AG (DB AG) sind die Fahrzeugbestände gut zugänglich. Man findet einen Bestand an 6.369 Dieseltriebfahrzeugen vor, der sich auf die Tochtergesellschaften DB FERNVERKEHR, DB REGIO und DB SCHENKER RAIL verteilt und aus Diesellokomotiven, -triebzügen, -triebwagen und Schienenomibussen besteht.¹ Gemäß der Abschätzung müssten etwa 6.221 Dieseltriebfahrzeuge im Einsatz sein – man sieht also eine recht gute Korrelation aus Elektrifizierungsgrad und Gesamtbestand.

¹ Vgl. [110] Deutsche Bahn AG. *Daten & Fakten 2012*. 2013.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AGR	Abgasrückführung	A
AHT	<i>Anchor Handling Tug</i> , dt. Ankerziehschlepper	
AHTS	<i>Anchor Handling Tug Supply</i> , Ankerziehschlepper mit Transportkapazität	
AVL	Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List GmbH	
CAI	<i>Controlled Auto Ignition</i> , dt. kontrollierte Selbstzündung	C
cbm	<i>cubic metre</i> , in der Schifffahrt noch gebräuchliche Abkürzung für Kubikmeter	
CCR	<i>Combustion Chamber Recirculation</i> , dt. Brennraumrückführung	
CI	<i>Compression Ignition</i> , dt. Selbstzündung	
CO	Kohlenstoffmonoxid	
CO ₂	Kohlenstoffdioxid	
CODLAD	<i>Combined diesel-electric and diesel propulsion</i> , dt. kombinierter diesel-elektrischer und Dieselantrieb	
CODLAG	<i>Combined diesel-electric and gas propulsion</i> , dt. kombinierter diesel-elektrischer und Gasantrieb	
CODLOD	<i>Combined diesel-electric or diesel propulsion</i> , dt. kombinierter diesel-elektrischer oder Dieselantrieb	
CODOG	<i>Combined diesel or gas propulsion</i> , dt. kombinierter Diesel- oder Gasantrieb	
DB	Deutsche Bundesbahn	D
DB AG	Deutsche Bahn AG	

- DeNO_x Rauchgasentstickung
- DISI *Direct-Injection-Spark-Ignition*, dt. Benzin-Direkteinspritzung
- DNV *Det Norske Veritas*, Schiffsklassifikationsgesellschaft
- dwt *dead weight tonnage*, Maß für die Tragfähigkeit eines Handelsschiffs.
- E EBIT *Earnings before Interest and Taxes*, dt. Gewinn vor Zinsen und Steuern; auch als *operatives Ergebnis* bezeichnet
- ECA *Emission Control Area*, dt. Emissions-Kontrollzone
- EEDI *Energy Efficiency Design Index*, spezifischer CO₂-Emissionswert von Frachtschiffen
- EIB Eisenbahninfrastrukturbetreiber
- EPA *US Environmental Protection Agency*, dt. Umweltschutzbehörde
- EPR *Exhaust Port Recirculation*, dt. Auslasskanalrückführung
- EVU Eisenbahnverkehrsunternehmen
- F FSG Flensburger Schiffbau-Gesellschaft mbH & Co. KG
- F&E Forschung und Entwicklung
- G GRM Großmotor
- gt *Gross Tonnage*, auch Bruttoreaumzahl genannt. Dimensionslose Größe, die heute anstelle der Bruttoregistertonne verwendet wird.
- H HC *Hydrocarbons*, dt. Kohlenwasserstoffe
- HCCI *Homogeneous Charge Compression Ignition*, dt. homogene Kompressionszündung
- HFO *Heavy Fuel Oil*, Rückstandsöl als Schiffstreibstoff
- I IBL Ingenieurbüro List

IMO	<i>International Maritime Organization</i> , dt. Internationale Seeschiffahrts-Organisation	
IT	Informationstechnik, Sammelbezeichnung für Technologien der elektronischen Datenverarbeitung	
kn	Knoten, Geschwindigkeitsmaß in See- und Luftfahrt (1kn = 1,852km/h)	K
λ	Luftverhältnis bei der Verbrennung	L
LEC	Large Engines Competence Center Graz	
LKW	Lastkraftwagen	
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i> , dt. Flüssigerdgas	
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i> , dt. Flüssiggas	
MDO	<i>Marine Diesel Oil</i> , Destillate mit geringen Rückstandsbeimischungen	M
MFO	<i>Marine Fuel Oil</i> , marines Rückstandsöl	
MGO	<i>Marine Gasoil</i> , Destillate als Treibstoff für Schiffe	
N ₂	Stickstoff	N
Nfz	Nutzfahrzeug	
NH ₃	Ammoniak	
NO _x	Stickstoffoxide	
NVH	<i>Noise, Vibration, Harshness</i> , dt. Geräusch, Vibration, Rauheit	O
ÖBB	Österreichische Bundesbahnen	
OEM	<i>Original-Equipment-Manufacturer</i> , dt. Erstausrüster	
OT	Oberer Totpunkt, höchste Stellung des Kolbens im Zylinder	
PFI	<i>Port Fuel Injection</i> , dt. Einlasskanaleinspritzung	P
PKW	Personenkraftwagen	

- PM *Particulate Matter*, dt. Feinstaub
- PS Pferdestärke, veraltete Einheit der Leistung (1PS = 735,5W)
- PSV *Platform Supply Vessel*, Transportschiff zur Versorgung von Bohrinseln
- PTI *Power Take-In*; siehe PTO / PTI
- PTO *Power Take-Off*; siehe PTO / PTI
- PTO / PTI *Power Take-Off / Power Take-In*; Zu- und Abführen von Leistung von der Antriebswelle zu Verbrauchern bzw. von Hilfsmaschinen
- R RoPax RoRo-Schiff mit Passagierkapazität
- RoRo von engl. *Roll-on/roll-off*; Schiffe mit Bug-, Seiten- oder Heckluken, durch die die Ladung hinein oder hinaus gefahren wird.
- SCR *Selective Catalytic Reduction*, dt. selektive katalytische Reduktion
- S SECA *Sulphur Emission Control Area*, dt. Schwefel- und Schwefeloxid-Emissions-Kontrollzone
- SI *Spark Ignition*, dt. Fremdzündung
- SO_x Schwefeloxide
- SWOT *Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threads*, dt. Stärken, Schwächen, Chancen, Gefahren
- TC Time Charter; Mieten eines Schiffes für einen bestimmten Zeitraum
- T teu *Twenty-foot Equivalent Unit*, dt. Standardcontainer.
- TFZ Triebfahrzeug
- U ²³⁵U spaltbares Uran-235-Isotop

UIC *Union internationale des chemins de fer*, dt. Internationaler
Eisenbahnverband

VTG Variable Turbinengeometrie

V

LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

LITERATURQUELLEN

- [1] Sverre Alvik, Christos Chryssakis, Magnus S Eide und Oyvind Endresen. „Pathways to low carbon shipping – Abatement potential towards 2050“. In: *Research and Innovation Position Paper 14 - 2012* (2012), S. 16 (siehe S. 61, 65, 67).
- [2] Matthias Auer, Christian Friedrich, Ulf Waldenmaier, Alexander Knafl und Gunnar Stiesch. „Vorgehensweise in der Brennverfahrensentwicklung für mittelschnelllaufende Gasmotoren bei MAN Diesel & Turbo“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 73).
- [3] Axion Power International Inc. *FORM 10-K (Annual Report)*. März 2014 (siehe S. 155).
- [4] Richard Basshuysen und Fred Schäfer, Hrsg. *Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven*. 2., verbesserte Auflage. ATZ / MTZ Fachbuch. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2002 (siehe S. 35 f.).
- [5] Reinhold Bauer. *Gescheiterte Innovationen. Fehlschläge und technologischer Wandel*. 1. Aufl. Campus Verlag, 2006. 351 S. (siehe S. 21).

- [6] Michael Beitelschmidt und Robert Schimke. „Speicherpotentiale für dieselektrische Lokomotiven“. In: *DMG Fachsymposium "Lokomotiven und Grüne Technologien"*. Technische Universität Dresden, Institut für Bahnfahrzeuge und Bahntechnik. Chemnitz, Aug. 2011 (siehe S. 101 f.).
- [7] Knut Bleicher. *Das Konzept Integriertes Management. Visionen - Missionen - Programme*. Campus Fachbuch, 1999 (siehe S. 11).
- [8] Manfred Bruhn. *Marketing: Grundlagen für Studium und Praxis*. Gabler Verlag, 2012 (siehe S. 53 ff.).
- [9] Aaron Burden, Thomas Lloyd, Simon Mockler, Lorenzo Mortola, Ie Bum Shin und Ben Smith. *Concept design of a fast sail assisted feeder container ship*. Techn. Ber. University of Southampton, Apr. 2010 (siehe S. 20, 63 f.).
- [10] Caterpillar Inc. *2013 Year in Review*. 2014 (siehe S. 148).
- [11] Cummins Inc. *Annual Report for the Fiscal Year Ended December 31, 2012*. 2013 (siehe S. 148).
- [12] Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd. *Consolidated Financial Results for the Year ended March 31, 2013*. 2013 (siehe S. 143, 152).
- [13] Laurent Deschamps und Charles Greenwell. *Integrating Cost Estimating with the Ship Design Process*. Techn. Ber. SPAR Associates, Inc., 2009 (siehe S. 107).
- [14] Det Norske Veritas AS. „The Electric Ship – The Prius Of The Seas“. In: *Research & Innovation Technology Outlook 2020* (2011), S. 34 f. (siehe S. 69, 75 f.).
- [15] Doosan Engine Co., Ltd. *Separate Financial Statements as of and for the years ended December 31, 2012 and 2011*. 2013 (siehe S. 143, 152).
- [16] Douglas-Westwood Limited, Hrsg. *Marine industries global market analysis*. Marine Foresight Series 1 (März 2005) (siehe S. 107).

- [17] Alfred Dudszus. *Das große Buch der Schiffstypen*. Pietsch Verlag, Stuttgart, 2004 (siehe S. 19–23, 25, 32, 67).
- [18] Helmut Eichlseder, Hrsg. *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013.
- [19] Karl-Heinz Fölzer, Robert Pöschl, Rene Kögl und Thomas Carthus. „Interdisziplinäre Zusammenarbeit als Herausforderung bei der Entwicklung neuer Großmotorengenerationen“. In: *Die Zukunft der Großmotoren II*. Hrsg. von Horst Harndorf. Haus der Technik. Renningen: expert verlag, 2012 (siehe S. 105).
- [20] General Electric Company. *Progress – GE Works 2013 Annual Report*. 2014 (siehe S. 140, 149).
- [21] Jürgen Gerhardt, Sani Džeko, Dr. Rudolf Maier, Lothar Schmid, Dr. Christian Barba und Jens-Uwe Nagler. „Beitrag des Einspritzsystems zur Absenkung der CO₂-Emission beim Nutzfahrzeug“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 36).
- [22] Günther Gern und Roland Pittermann. „Ladeluftinertisierung durch Membrantechnik – Eine alternative Technologie für IMO III-Schiffsdieselmotoren?“ In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 76).
- [23] Brent Haight. „2009 Marine Propulsion Order Survey. A review of mechanical drive, auxiliary and diesel-electric marine propulsion orders in 2009“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 11 (2009), Reprint (siehe S. 80).
- [24] Brent Haight. „2010 Marine Propulsion Order Survey. A review of mechanical drive, auxiliary and diesel-electric marine

- propulsion orders in 2009“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 6 (2010), Reprint (siehe S. 80).
- [25] Brent Haight. „2011 Marine Propulsion Order Survey. A review of mechanical drive, auxiliary and diesel-electric marine propulsion orders in 2010“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 6 (2011), Reprint (siehe S. 80).
- [26] Brent Haight. „2012 Marine Propulsion Order Survey. Rough Seas Lie Ahead“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 7/8 (2012), S. 25–30 (siehe S. 80).
- [27] Brent Haight. „2012 Mechanical Drive Order Survey. All Hail The Shale“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 6 (2012), Reprint (siehe S. 78).
- [28] Brent Haight. „2013 Marine Propulsion Order Survey. Continued Market Decline“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 7/8 (2013), S. 24–27 (siehe S. 77–80).
- [29] Brent Haight. „2013 Mechanical Drive Order Survey. On The Shoulders Of Shale“. In: *Diesel & Gas Turbine Worldwide* 6 (2013), Reprint (siehe S. 78).
- [30] Thomas Haller und Harald L. Schedl. *Spitzenleistungen made in Austria: österreichische Europa- und Weltmarktführer und ihre Strategien*. Linde populär. Linde, 2009 (siehe S. 3 f.).
- [31] Horst Harndorf, Hrsg. *Die Zukunft der Großmotoren*. Haus der Technik. Renningen: expert verlag, 2010.
- [32] Horst Harndorf, Hrsg. *Die Zukunft der Großmotoren II*. Haus der Technik. Renningen: expert verlag, 2012.
- [33] Peter Hofmann. *Hybridfahrzeuge*. Wien: Springer-Verlag Vienna, 2010. Online-Ressource (siehe S. 26 ff.).

- [34] Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. *Expanding The Possible – Hyundai Heavy Industries Annual Report 2012*. 2013 (siehe S. 149).
- [35] Markus Inderst. *Bildatlas der ÖBB-Lokomotiven*. Geramond, 2010 (siehe S. 159).
- [36] International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. Paris, Nov. 2012 (siehe S. 33).
- [37] International Maritime Organization. *Resolution MEPC.203(62) Annex – Amendments to MARPOL Annex VI on regulations for the prevention of air pollution from ships by inclusion of new regulations on energy efficiency for ships*. Marine Environment Protection Committee. Juli 2011 (siehe S. 49).
- [38] International Union of Railways. *Synopsis 2012*. Online Statistics. Dez. 2013 (siehe S. 158).
- [39] Thomas Kammerdiener und Bernhard Pemp. „Brennverfahren für schnell- und mittelschnelllaufende Diesel-Großmotoren für zukünftige Emissionsanforderungen“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 74).
- [40] Kawasaki Heavy Industries, Ltd. *Kawasaki Report 2013 – Year ended March 31, 2013*. 2013 (siehe S. 143, 151).
- [41] Komatsu Ltd. *Komatsu Report 2013*. 2013 (siehe S. 144, 152).
- [42] Thomas Körfer, Ludger Ruhkamp, Andreas Wiartalla, Hermann-Josef Laumen, Jan Kruithof und Helmut Pleiming. „Zukünftige Emissionserfüllung bei Großdieselmotoren: Einheitsansätze oder maßgeschneiderte Lösungen“. In: *Die Zukunft der Großmotoren*. Hrsg. von Horst Harndorf. Haus der Technik. Renningen: expert verlag, 2010 (siehe S. 71, 74).

- [43] Konrad Matthias Maier. *Die Diesellokomotiven bei der DB. Geschichte, Entwicklung, Einsatz*. Stuttgart: Franckh'sche Verlags-handlung, 1988. 191 S. (siehe S. 24).
- [44] MAN Diesel & Turbo SE. *Jahresbericht 2012*. 2013 (siehe S. 141, 149).
- [45] MAN SE. *2013 auf einen Blick – Zusammengefasster Lagebericht*. 2014 (siehe S. 149).
- [46] Heribert Meffert. *Marketing*. Dr. Th. Gabler Verlag, 2000 (siehe S. 18, 52 f.).
- [47] Günter P. Merker, Christian Schwarz und Rüdiger Teichmann. *Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise, Simulation, Messtechnik*. 5. Aufl. Vieweg+Teubner (GWV), 2011. 823 S. (siehe S. 32 f., 35–44, 64, 77).
- [48] Georg Meyer. „Der elektrische Schiffszug“. In: *Elektrische Kraftbetriebe und Bahnen*. Hrsg. von Walter Reichel. Heft 32. Berlin, 1908, S. 21 (siehe S. 24).
- [49] Ltd. Mitsubishi Heavy Industries. *Annual Report 2013 – For the Year Ended March 31, 2013*. 2013 (siehe S. 150).
- [50] MTU Friedrichshafen GmbH. *MTU und Deutsche Bahn erproben Hybridzug*. Techn. Ber. Rolls-Royce Power Systems, Apr. 2013 (siehe S. 95 f.).
- [51] ÖBB-Holding AG. *Wir setzen alles in Bewegung – Geschäftsbericht 2008*. März 2009 (siehe S. 110).
- [52] ÖBB-Infrastruktur AG. *Zahlen-Daten-Fakten*. Apr. 2013 (siehe S. 158).
- [53] Michael E. Porter. *Wettbewerbsstrategie*. Campus Verlag GmbH, 2013 (siehe S. 17 f., 56 ff., 112).

- [54] Jean-Bernard Raoust, Hrsg. *Shipping and shipbuilding markets 2013*. Annual Review. Barry Rogliano Salles - Shipbrokers. Neuilly sur Seine: BRS, 2013. 104 S. (siehe S. 46 f.).
- [55] Konrad Reif, Hrsg. *Dieselmotor-Management im Überblick. einschließlich Abgastechnik*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2010. Online-Ressource (siehe S. 45, 69, 71 ff., 76).
- [56] Konrad Reif, Karl-Ernst Noreikat und Kai Borgeest, Hrsg. *Kraftfahrzeug-Hybridantriebe. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Anwendungen*. ATZ / MTZ-Fachbuch. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2012. Online-Ressource (XIV, 354 S. 266 Abb. in Farbe) (siehe S. 29 ff., 101).
- [57] Ricardo plc. *Annual Report & Accounts 2013*. 2013 (siehe S. 154).
- [58] Andrew Rice, Hrsg. *in-depth 18* (Juni 2013).
- [59] Carsten Rickert, Andreas Banck, Eike Sixel, Kai Ruschmeyer und Jan Dreves. „Motorkonzepte zur Erfüllung der IMO Tier III Emissionsgrenzen“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 68, 70 ff.).
- [60] Rolls-Royce. „Bergen C gas engines now EPA Tier 3 compliant“. In: *in-depth 18* (Juni 2013). Hrsg. von Andrew Rice, S. 4 f. (siehe S. 66).
- [61] Rolls-Royce. „Electric and hybrid propulsion system options for real flexibility“. In: *in-depth 18* (Juni 2013). Hrsg. von Andrew Rice, S. 12 f. (siehe S. 90 f., 142).
- [62] Rolls-Royce Holding plc. *annual report 2012*. 2013 (siehe S. 150).
- [63] Jonathan M. Ross. *A Practical Approach for Ship Construction Cost Estimating*. Techn. Ber. U.S.A.: Proteus Engineering, Anteon Corporation, 2004 (siehe S. 107).

- [64] Martin Rowe. „Shipbuilding Market Overview – Presentation to Marine Money“. In: *Hong Kong Ship Finance Forum*. Clarkson Asia Pte Ltd. 2013 (siehe S. 98 f., 109).
- [65] Johannes Rüegg-Stürm. „Das neue St. Galler Management-Modell“. In: Hrsg. von Rolf Dubs. Bd. 1. Einführung in die Managementlehre. Haupt Verlag AG, 2009. Kap. B2, S. 65–141 (siehe S. 13–16).
- [66] Maida Saarlás. *Steam and Gas Turbines for Marine Propulsion*. Naval Institute Press, 2003 (siehe S. 25).
- [67] Manfred Schallmeyer, Hrsg. *Schiffbau in Europa in globaler Konkurrenz — Struktur, Beschäftigung und Perspektiven*. OBS-Arbeitsheft 51 (2007) (siehe S. 107).
- [68] Schiff & Hafen. „Premiere für Zweitakt-Gasmotor“. In: *Schiff & Hafen* (Juli 2011), S. 28–29 (siehe S. 23).
- [69] Günther Schuh. *Innovationsmanagement: Handbuch Produktion und Management* 3. Springer, 2012 (siehe S. 16 f.).
- [70] Kerstin Seeger. *Management von Industriedienstleistern: Herausforderungen, Konzepte, Beispiele*. Gabler Verlag, 2010 (siehe S. 5, 82).
- [71] Société des Accumulateurs Fixes et de Traction. *Advanced batteries. Designed for industry. Annual Report 2013*. Feb. 2014 (siehe S. 154).
- [72] Gunnar Stiesch und Stephan Schlüter. „Future Emission and Efficiency Concepts for MAN Medium Speed Engines“. In: *Die Zukunft der Großmotoren II*. Hrsg. von Horst Harndorf. Haus der Technik. Renningen: expert verlag, 2012 (siehe S. 63, 70, 105).
- [73] STX Engine Co., Ltd. *2012 Annual Report – Beyond Limits*. 2013 (siehe S. 153).

- [74] Tetsuya Tagai und Satoru Goto. „Latest Niigata Exhaust Emission Control Technologies for IMO NO_x Tier III“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 68, 70).
- [75] Charles Fayette Taylor. *The Internal-Combustion Engine in Theory and Practice Volume 2 : Combustion, Fuels, Materials, and Design*. 2. Aufl. MIT Press (MA), 1985 (siehe S. 31).
- [76] Time Inc. „The atomic locomotive“. In: *LIFE* Vol. 36, Nr. 25 (21. Juni 1954), S. 78–79 (siehe S. 22).
- [77] Tognum AG. *People are our driving force – Annual Report 2012*. 2013 (siehe S. 150).
- [78] Kazuo Tokuyama, Motomi Shimada, Kiyoshi Terasawa und Takashi Kaneko. *Practical Application of a Hybrid Drive System for Reducing Environmental Load*. Techn. Ber. Hitachi, Ltd., 2008 (siehe S. 94).
- [79] Christian Trapp. „Zukünftige Gasmotoren – Technologien für zukünftige Markt- bedürfnisse und Gesetzgebungen im Vergleich zum Diesel“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 65).
- [80] Gerhard Untiedt. „Gasbetriebenes Kreuzfahrtschiff: Konzeptstudie“. In: *Die Zukunft der Großmotoren*. Hrsg. von Horst Harn-dorf. Haus der Technik. Renningen: expert verlag, 2010 (siehe S. 65 f.).
- [81] Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. *Jahresbericht 2012*. 2013 (siehe S. 108).
- [82] Verband für Schiffbau und Meerestechnik e. V. „Weltschiff-baumarkt 2012“. In: *Schiffbauindustrie* (Jan. 2013), S. 4–9 (siehe S. 108).

- [83] Wolfgang Warnecke. „Influence of Future Fuels on the Development of the IC Engine“. In: *Der Arbeitsprozess des Verbrennungsmotors*. Hrsg. von Helmut Eichlseder. VKM-THD Mitteilungen 96, CD-ROM. Graz: Verl. der Techn. Univ., 2013 (siehe S. 33 f., 62).
- [84] Wärtsilä Corporation. *Annual Report 2013*. 2014 (siehe S. 142, 151).
- [85] Josef W. Wohinz. *Industriebetriebslehre 2011*. Monographic series TU Graz. Graz: Verl. der Techn. Univ. Graz, 2011. 185 S. (siehe S. 11 ff.).
- [86] Josef W. Wohinz. *Industrielles Management. das Grazer Modell. Ökonomie*. Wien [u.a.]: Neuer Wiss. Verl., 2003. 383 S. (siehe S. 14).
- [87] Yanmar Co., Ltd. *Corporate Social Responsibility Report 2012*. 2012 (siehe S. 151).

INTERNETQUELLEN

- [88] Advanced Transportation Technology R&D Co. *ATT R&D – Converted EVs & HEVs*. URL: <http://eng.attrd.com/home/product02.html#>, abgerufen am 17. 11. 2013. (Siehe S. 97).
- [89] Advanced Transportation Technology R&D Co. *Hybrid Mining Truck*. URL: http://www.attrd.com/module/img_files/10072704472326.jpg, abgerufen am 15. 10. 2013. (Siehe S. 97).
- [90] Alstom. *Projektstart für Rangierlokflotte mit Hybridtechnologie*. URL: <http://www.alstom.com/press-centre/de/2013/7/projektstart-fur-rangierlokflotte-mit-hybridtechnologie/>, abgerufen am 18. 01. 2014. (Siehe S. 95 f.).
- [91] ALTMob, Ltd. *Ist enorm! 11.000 PS, 0 Emission*. URL: http://altmob.com/de_DE/ist_enorm_11_000_ps_0_emission, abgerufen am 04. 04. 2014. (Siehe S. 124).
- [92] Anglo Belgian Corporation AG. *Homepage » ABC, we power your future*. URL: <http://www.abcdiesel.be>, abgerufen am 26. 02. 2014. (Siehe S. 143).
- [93] AVL List GmbH. *AVL Worldwide*. URL: <https://www.avl.com/avl-worldwide>, abgerufen am 30. 10. 2013. (Siehe S. 3).
- [94] AVL List GmbH. *Company, Values, AVL facts*. URL: <https://www.avl.com/company>, abgerufen am 30. 10. 2013. (Siehe S. 2 ff.).
- [95] Axion Power International Inc. *Advanced Lead Carbon Batteries For Tomorrow's Demanding Energy Needs*. URL: <http://www.axionpower.com>, abgerufen am 20. 03. 2014. (Siehe S. 147).
- [96] Sebastian Baak. *Unter Strom – Die weltweit größte Hybridfähre*. URL: <http://www.ndr.de/regional/schleswig-holstein/hybrid103.html>, abgerufen am 26. 02. 2014. (Siehe S. 92).

- [97] Lars Petter Blikom. *LNG for Greener Shipping in North America*. URL: <http://blogs.dnvgl.com/lng/2011/02/lng-for-greener-shipping-in-north-america/>, abgerufen am 18.02.2014. (Siehe S. 49).
- [98] Bombardier. *ALP-45DP Dual-power Locomotive*. URL: <http://www.bombardier.com/en/transportation/projects/project.alp-45dp-canada-usa.html>, abgerufen am 04.02.2014. (Siehe S. 94).
- [99] Bombardier Inc. *Transportation - Products & Services*. URL: <http://www.bombardier.com/en/transportation.html>, abgerufen am 15.01.2014. (Siehe S. 94).
- [100] Bundesarchiv. *Bild 102-00814*. URL: http://www.bild.bundesarchiv.de/archives/barchpic/search/_1386516147/?search%5Bform%5D%5BSIGNATUR%5D=Bild+102-00814, abgerufen am 08.12.2013. (Siehe S. 20).
- [101] Caterpillar Inc. *Caterpillar Marine Propulsion Engines*. URL: <http://marine.cat.com/mak-m46df>, abgerufen am 10.04.2014. (Siehe S. 44).
- [102] Caterpillar Inc. *Cat | Products and Services*. URL: <http://www.cat.com/>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 139).
- [103] China Shipbuilding Industry Corporation. *China Shipbuilding Industry Corporation 711. Institut*. URL: <http://www.csic-711.com/>, abgerufen am 10.03.2014. (Siehe S. 144).
- [104] Frances Cook. *The Prius of the Sea – world's largest hybrid ferry recharges green travel*. URL: <http://www.ship-technology.com/features/feature-prius-of-the-sea-world-largest-hybrid-ferry-green-travel/>, abgerufen am 11.11.2013. (Siehe S. 90).

- [105] Corvus Energy. *Corvus Energy – High Power Industrial Lithium Ion Batteries*. URL: <http://www.corvus-energy.com>, abgerufen am 15.03.2014. (Siehe S. 147).
- [106] Cummins Inc. *Cummins.com*. URL: <http://www.cummins.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 139).
- [107] Cummins Inc. *Cummins Marine*. URL: <https://marine.cummins.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 139).
- [108] Daihatsu Diesel Mfg. Co., Ltd. *Daihatsu Diesel*. URL: <http://www.dhtd.co.jp>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 143).
- [109] Damen Shipyards Group. *Damen develops extra efficient environmental friendly hybrid tug*. URL: <http://www.damen.com/en/innovation/projects/e3-tug-p>, abgerufen am 15.10.2013. (Siehe S. 92).
- [110] Deutsche Bahn AG. *Daten & Fakten 2012*. URL: http://www1.deutschebahn.com/file/3280426/data/2012_duf.pdf, abgerufen am 03.02.2014. (Siehe S. 160).
- [111] Deutsche Bahn AG. *DB und Bombardier einigen sich auf Rahmenvertrag über E-Loks*. URL: https://www.deutschebahn.com/de/presse/presseinformationen/pi_k/3876626/h20130502.html, abgerufen am 15.01.2014. (Siehe S. 93).
- [112] Diesel & Gas Turbine Publications. *IMO To Delay Tier III NOx Emissions Limits For Ships*. URL: <http://www.diesलगasturbine.com/December-2013/IMO-To-Delay-Tier-III-NOx-Emission-Limits-For-Ships/>, abgerufen am 05.11.2013. (Siehe S. 48, 78).
- [113] DieselNet. *Emission Standards: European Union – Nonroad Diesel Engines*. URL: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/nonroad.php>, abgerufen am 13.02.2014. (Siehe S. 130 ff.).

- [114] DieselNet. *Emission Standards: United States – Locomotives*. URL: <http://www.dieselnet.com/standards/us/loco.php>, abgerufen am 13.02.2014. (Siehe S. 135).
- [115] DieselNet. *Emission Standards: United States – Marine Diesel Engines*. URL: <http://www.dieselnet.com/standards/us/marine.php>, abgerufen am 13.02.2014. (Siehe S. 133 f.).
- [116] DieselNet. *IMO Marine Engine Regulations, Emission Standards*. URL: <http://www.dieselnet.com/standards/inter/imo.php>, abgerufen am 09.11.2013. (Siehe S. 136 f.).
- [117] Doosan Engine Co., Ltd. *Home : Doosan Engine*. URL: <http://www.doosanengine.com>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 143).
- [118] Electro-Motive Diesel, Inc. *Electro Motive Diesel*. URL: <http://www.emdiesels.com/>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 142).
- [119] Gareth Evans. *Electric, diesel or hybrid? The great railcar debate*. URL: <http://www.railway-technology.com/features/featureelectric-diesel-or-hybrid-the-great-railcar-debate/>, abgerufen am 15.01.2014. (Siehe S. 110).
- [120] FEV GmbH. *FEV-Home*. URL: <http://www.fev.com/de/>, abgerufen am 28.03.2014. (Siehe S. 146).
- [121] Fincantieri S.p.A. *The sea ahead*. URL: <http://www.fincantieri.com/>, abgerufen am 26.03.2014. (Siehe S. 145).
- [122] Flensburger Schiffbaugesellschaft mbH & Co. KG. *FSG*. URL: <http://www.fsg-ship.de>, abgerufen am 10.01.2014. (Siehe S. 146).
- [123] GE Global Research. *Sodium Battery Technology Improves Performance and Safety*. URL: <http://www.geglobalresearch.com/innovation/sodium-battery-technology-improves-performance-safety>, abgerufen am 14.11.2013. (Siehe S. 98).

- [124] GE Transportation. *GE Transportation | Moving, Powering and Building a Connected World*. URL: <http://www.getransportation.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 97 f., 140).
- [125] greenrailnews.com. *RJ Corman Railpower Genset & Hybrid Switchers*. URL: <http://www.greenrailnews.com/railpower.html>, abgerufen am 06.02.2014. (Siehe S. 95).
- [126] Kristen Hall-Geisler. *What is the biggest truck in the world?*. URL: <http://www.webcitation.org/5nuih6pzE>, abgerufen am 20.03.2014. (Siehe S. 111).
- [127] Handelsblatt GmbH. *Daimler steigt bei Rolls-Royce Power Systems aus*. URL: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/ehemalige-tognum-ag-daimler-steigt-bei-rolls-royce-power-systems-aus/9588194.html>, abgerufen am 07.03.2014. (Siehe S. 141).
- [128] Ilona Hörath und Arno Stoffels. *Loks auf Schleichfahrt*. URL: <http://www.nordbayern.de/nuernberger-nachrichten/wirtschaft/loks-auf-schleichfahrt-1.2545835>, abgerufen am 02.04.2014. (Siehe S. 110).
- [129] Hyundai Heavy Industries Co., Ltd. *Welcome to Hyundai Heavy Industries*. URL: <http://english.hhi.co.kr/>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 140).
- [130] International Maritime Organization. *Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13*. URL: [http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-Regulation-13.aspx), abgerufen am 18.02.2014. (Siehe S. 48).
- [131] International Maritime Organization. *Special Areas under MARPOL*. URL: <http://www.imo.org/OurWork/Environment/PollutionPrevention/SpecialAreasUnderMARPOL/Pages/Default.aspx>, abgerufen am 18.02.2014. (Siehe S. 49).

- [132] Jinan Diesel Engine Co., Ltd. *Diesel Engine, Diesel Generating Set, Generator, China Diesel Engine Manufacturer*. URL: <http://www.jinanengine.com>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 144).
- [133] Kawasaki Heavy Industries, Ltd. *Kawasaki Heavy Industries, Ltd.*. URL: <http://www.khi.co.jp/>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 143).
- [134] Komatsu Ltd. *Komatsu Global*. URL: <http://www.komatsu.com>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 144).
- [135] Liotech, Ltd. *Shunting locomotive TEM9H*. URL: <http://www.liotech.ru/ensinara>, abgerufen am 04.02.2014. (Siehe S. 94, 96).
- [136] Makita Corporation. *Makita Corporation*. URL: <http://www.makita-corp.com>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 144).
- [137] MAN Diesel & Turbo SE. *Hybrid Propulsion – Flexibility and maximum efficiency optimally combined*. URL: http://www.mandieselturbo.com/files/news/files_of17642/Hybrid-Propulsion-Brochure.pdf, abgerufen am 21.02.2014. (Siehe S. 75, 141).
- [138] MAN Diesel & Turbo SE. *MAN Diesel & Turbo SE - HOMEPAGE*. URL: <http://www.mandieselturbo.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 141).
- [139] MAN Diesel & Turbo SE. *Unveiling of Gigantic Engines Confirms Market Trend*. URL: http://www.mandieselturbo.com/files/news/files_of18819/6510-0321%20G95%20and%20S90%20Mk10.pdf, abgerufen am 05.01.2014. (Siehe S. 42 f.).
- [140] Marine Insight. *Winning Name for World's Next Hybrid Ferry Announced*. URL: <http://www.marineinsight.com/shipping-news/winning-name-for-worlds-next-hybrid-ferry-announced/>, abgerufen am 16.12.2013. (Siehe S. 92).

- [141] Meyer Werft GmbH. *MEYER WERFT Website*. URL: <http://www.meyerwerft.de>, abgerufen am 30.03.2014. (Siehe S. 145).
- [142] Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Website*. URL: <http://www.mhi-global.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 141).
- [143] Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Co., Ltd. *Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Co., Ltd.*. URL: <http://www.mhi-global.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 141).
- [144] Niigata Power Systems Co., Ltd. *Niigata Power Systems Co.,Ltd.*. URL: <https://www.niigata-power.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 141).
- [145] Österreichisches Patentamt. *Erfindungsranking 2012: AVL List innovativstes Unternehmen*. URL: http://www.patentamt.at/Das_0sterreichische_Patentamt/News/Newsletter/Newsletter_2_2013/Erfindungsranking_2012/, abgerufen am 30.10.2013. (Siehe S. 4).
- [146] Ricardo plc. *Home – Ricardo*. URL: <http://www.ricardo.com>, abgerufen am 25.03.2014. (Siehe S. 146).
- [147] Rolls-Royce plc. *Rolls-Royce*. URL: <http://www.rolls-royce.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 142).
- [148] Russian Railways (RZD). *Annual report 2012*. URL: <http://ar2012.rzd.ru/en/>, abgerufen am 03.02.2014. (Siehe S. 158).
- [149] Seaway Yachts d.o.o. *OceanClass 70 Hybrid Technology*. URL: <http://oceanclass.eu/OceanClass-70-How-does-it-work>, abgerufen am 04.03.2014. (Siehe S. 28).
- [150] ship-technology.com. *MV Hallaig Hybrid Ferry, Scotland*. URL: <http://www.ship-technology.com/projects/mv-hallaig-hybrid-ferry/>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 93, 146).

- [151] ship-technology.com. *Yanmar – Commercial Marine High-Speed Diesel Engines*. URL: <http://www.ship-technology.com/contractors/propulsion/yanmar-europe/>, abgerufen am 26.02.2014. (Siehe S. 142).
- [152] Siemens. *Schwimmende Stromer*. URL: http://www.siemens.com/innovation/apps/pof_microsite/_pof-spring-2013/_pdf/de/Elektrofaehren_DE.pdf, abgerufen am 20.12.2013. (Siehe S. 24 f.).
- [153] SNL Metals & Mining. *Ultra-class Haulers at 16% of Global Truck Payload*. URL: http://www.intierrarmg.com/News/13-08-19/Ultra-class_Haulers_at_16_of_Global_Truck_Payload.aspx, abgerufen am 20.03.2014. (Siehe S. 111).
- [154] Société des Accumulateurs Fixes et de Traction. *Saft | World leader in high technology batteries*. URL: <http://www.saftbatteries.com>, abgerufen am 20.03.2014. (Siehe S. 147).
- [155] STX Europe. *STX Europe*. URL: <http://www.stxeurope.com/>, abgerufen am 27.03.2014. (Siehe S. 145).
- [156] STX Heavy Industries. *STX Heavy Industries*. URL: <http://www.stxhi.co.kr/Eng/Index>, abgerufen am 28.03.2014. (Siehe S. 145).
- [157] The Parker Bay Company. *PBCo | Mining Truck Population | Mining Equipment Database & Mining Market Research*. URL: <http://parkerbaymining.com/mining-equipment/mining-trucks.htm>, abgerufen am 20.03.2014. (Siehe S. 111).
- [158] Bob Tita. *Caterpillar expected to make Electro-Motive more competitive*. URL: <http://www.webcitation.org/5trEL4dsG>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 142).
- [159] Wärtsilä Corporation. *Wärtilä - Home*. URL: <http://www.wartsila.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 142).

- [160] Weichai Holding Group Co.,Ltd. *Weichai Group*. URL: <http://en.weichai.com>, abgerufen am 08.03.2014. (Siehe S. 144).
- [161] World Nuclear Association. *Nuclear-Powered Ship*. URL: <http://www.world-nuclear.org/info/non-power-nuclear-applications/transport/nuclear-powered-ships/>, abgerufen am 29.03.2014. (Siehe S. 67).
- [162] Yanmar Co., Ltd. *Yanmar*. URL: <http://yanmar.com>, abgerufen am 25.02.2014. (Siehe S. 142).

SONSTIGE QUELLEN

- [163] Franz-Josef Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. Executive Delegate of the Management Board, AVL List GmbH, 4. Apr. 2014 (siehe S. 82, 105, 108).
- [164] Franz-Josef Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Karl Wojik*. Executive Delegate of the Management Board, AVL List GmbH, 15. Jan. 2014 (siehe S. 83, 105, 146).
- [165] Franz-Josef Prüß. *Gespräch mit Dipl.-Ing. Martin Rustler*. Development Engineer, Mechanical Development & Validation, AVL List GmbH, 27. Nov. 2013 (siehe S. 100).
- [166] Franz-Josef Prüß. *Gespräch mit Ing. Gerhard Maier*. Project Manager Design, Design Commercial On-road & Large Engine, AVL List GmbH, 10. Feb. 2014 (siehe S. 51, 105 ff.).

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	AVL Group Headquarters Graz.	2
Abbildung 2	AVL Worldwide.	3
Abbildung 3	Angebotsportfolio der AVL.	4
Abbildung 4	Marktstruktur von Industriedienstleistern. . .	5
Abbildung 5	Aufgabenstellung dieser Arbeit.	7
Abbildung 6	Das Grazer Modell für industrielles Management – Kernzone mit Basismodulen.	13
Abbildung 7	Das Grazer Modell für industrielles Management – Funktionsmodule in der Differenzierungszone.	14
Abbildung 8	Ordnungsrahmen des Innovationsmanagements. . .	15
Abbildung 9	Geschäftsprozesse im neuen St. Galler Management-Modell	16
Abbildung 10	Generische Innovationsstrategien	17
Abbildung 11	Produktlebenszyklus	18
Abbildung 12	Kiel, Flettner-Rotorschiff BUCKAU	20
Abbildung 13	Nukleare Lokomotive x-12	22
Abbildung 14	Siemens-Elektrofähre	25
Abbildung 15	Hybridvarianten bei PKW	27
Abbildung 16	Merkmale von Hybridvarianten	28
Abbildung 17	Hybridsystem der OCEANCLASS-Yachten . . .	28
Abbildung 18	Geschwindigkeitsprofil und mechanische Bremsleistung eines Vollhybriden	30
Abbildung 19	Übersicht verschiedener Treibstoffe	34
Abbildung 20	Großgasmotoren: Miller-Verfahren	39
Abbildung 21	Großgasmotoren: Aufladung	40
Abbildung 22	Wirkungsgradvergleich von Großgas- und Großdieselmotoren	41
Abbildung 23	Großdieselmotoren: Einteilung in Drehzahlbereiche	42

Abbildung 24	MAN-Großdieselmotor S90ME-C10.2	43
Abbildung 25	Mittelschnellläufer MaK M 46 DF	44
Abbildung 26	Übersicht ziviler Schiffstypen.	46
Abbildung 27	Übersicht ziviler Schiffstypen (Fortsetzung).	47
Abbildung 28	Weltweite ECAs	49
Abbildung 29	Relevante Faktoren zur Analyse der Marketingsituation.	54
Abbildung 30	Wettbewerbskräfte nach <i>Porter</i>	56
Abbildung 31	Wettbewerbsstrategien nach <i>Porter</i>	58
Abbildung 32	Eignung verschiedener Treibstoffe und Antriebskonzepte für die Güter- und Personenbeförderung	62
Abbildung 33	Potential verschiedener NO _x -Reduktionsstrategien	63
Abbildung 34	Dual-Fuel-Konzept von NIIGATA	68
Abbildung 35	Auswirkungen eines SCR-Systems auf die NO _x -Emissionen	70
Abbildung 36	Motorkonzept mit AGR und zweistufiger Aufladung	72
Abbildung 37	Auswirkungen von AGR auf Emissionen und Kraftstoffverbrauch	72
Abbildung 38	Einflussfaktoren des Brennverfahrens	73
Abbildung 39	Struktur und Betriebspunkte eines kombinierten Schiffsantriebs	75
Abbildung 40	Weltweite Großmotoren-Bestellungen 2001–2008	77
Abbildung 41	Weltweite bestellungen Marinemotoren im Jahr 2012	79
Abbildung 42	Bestelleingänge Marinemotoren	80
Abbildung 43	Marktstruktur der Großmotoren-Branche	82
Abbildung 44	Übersicht der bedeutendsten Motoren-OEMs	83
Abbildung 45	Ergebnisse der SWOT-Analyse	86
Abbildung 46	Ergebnisse der <i>Five-Forces</i> -Analyse	87
Abbildung 47	Integrierte elektrische Antriebssysteme von ROLLS-ROYCE.	91
Abbildung 48	Hybrid-Marine-Applikationen	92
Abbildung 49	Hybrid-Applikationen im <i>Rail</i> -Segment	96
Abbildung 50	Hybrid-Mining-Trucks	97

Abbildung 51	Treibstoffkosten und TC-Einnahmen pro Tag	99
Abbildung 52	Lastprofil eines Hafenschleppers	100
Abbildung 53	Kraftstoffeinsparungen in Abhängigkeit von der Speichermasse	102
Abbildung 54	Bewertung der Antriebskonzepte und Technologien zur Emissionsreduktion und Effizienzsteigerung	106
Abbildung 55	Einsatzbereiche der Antriebskonzepte und Technologien zur Emissionsreduktion und Effizienzsteigerung	107
Abbildung 56	Abschätzung der Marktvolumina	108
Abbildung 57	Weltweite Investitionen in Schiffsneubauten	109
Abbildung 58	Auftragsbücher Weltschiffbau 2012	109
Abbildung 59	Anzahl der ausgelieferten Mining-Trucks der <i>Ultra-Klasse</i>	111
Abbildung 60	Vorgeschlagene Schritte des Markteintritts	113
Abbildung 61	Übersicht der Handlungsempfehlungen	120
Abbildung 62	Konzept einer emissionslosen Fähre	124
Abbildung 63	NO _x -Limits von Schiffen nach IMO	137
Abbildung 64	SO _x -Limits von Schiffstreibstoffen nach IMO	137

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Energieumsatz und Bremsenergie rückgewinnung	31
Tabelle 2	Spezifischer Kraftstoffverbrauch und Wirkungsgrad verschiedener Motorentypen	35
Tabelle 3	Übersicht verschiedener Großgasmotor-Konzepte	38
Tabelle 4	EU Stufe I und Stufe II	130
Tabelle 5	EU Stufe IIIA	130
Tabelle 6	EU Stufe IIIB	131
Tabelle 7	EU Stufe IV	131
Tabelle 8	EU Stufe IIIA für Binnenschiffe	132

Tabelle 9	EU Stufen IIIA und IIIB für Lokomotiven . . .	132
Tabelle 10	US-EPA Tier 3 Marine Standard Power Density	133
Tabelle 11	US-EPA Tier 3 Marine High Power Density . . .	134
Tabelle 12	US-EPA Tier 4 Marine	134
Tabelle 13	US-EPA Streckenlokomotiven	135
Tabelle 14	US-EPA Verschublokomotiven	135
Tabelle 15	IMO MARPOL 73/78, Anlage VI: NO _x -Limits .	136
Tabelle 16	IMO MARPOL 73/78, Anlage VI: SO _x -Limits für Treibstoffe	136
Tabelle 17	Geschäftszahlen 2013 CATERPILLAR INC. . .	148
Tabelle 18	Geschäftszahlen 2012 CUMMINS MARINE . . .	148
Tabelle 19	Geschäftszahlen 2013 GE TRANSPORTATION .	149
Tabelle 20	Geschäftszahlen 2012 HYUNDAI HEAVY INDUS- TRIES	149
Tabelle 21	Geschäftszahlen 2012 MAN DIESEL & TURBO	149
Tabelle 22	Geschäftszahlen 2012/2013 MITSUBISHI HEA- VY INDUSTRIES	150
Tabelle 23	Geschäftszahlen 2012 ROLLS-ROYCE PLC . . .	150
Tabelle 24	Geschäftszahlen 2012 TOGNUM AG	150
Tabelle 25	Geschäftszahlen 2012 WÄRTSILÄ	151
Tabelle 26	Geschäftszahlen 2011 YANMAR	151
Tabelle 27	Geschäftszahlen 2012/2013 KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES	151
Tabelle 28	Geschäftszahlen 2012 DOOSAN ENGINE	152
Tabelle 29	Geschäftszahlen 2012/2013 DAIHATSU DIESEL	152
Tabelle 30	Geschäftszahlen 2012/2013 KOMATSU	152
Tabelle 31	Geschäftszahlen 2012 STX	153
Tabelle 32	Geschäftszahlen 2012/2013 RICARDO	154
Tabelle 33	Geschäftszahlen 2013 SAFT	154
Tabelle 34	Geschäftszahlen 2013 AXION POWER	155
Tabelle 35	Streckenlängen, Elektrifizierungsgrade und Trieb- fahrzeuge bedeutender Bahngesellschaften . .	158
Tabelle 36	Übersicht der aktuellen ÖBB-TFZ	159

Finale Version vom 7. Mai 2014 (Diplomarbeit Version 1.2 final).

COLOPHON

This document was typeset with L^AT_EX using the typographical look-and-feel `classicthesis` developed by André Miede. The style was inspired by Robert Bringhurst's seminal book on typography "*The Elements of Typographic Style*".