



Mario Kleindienst

Konzeption und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines innovativen Instandhaltungssystems für Schienenfahrzeugfahrwerke

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

Wirtschaftsingenieur / Maschinenbau

Energie- und Umwelttechnik

F749

Technische Universität Graz

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung

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

Graz im Dezember 2011

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 entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

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.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinen Eltern Gerhard und Johanna danken, welche mich in den Jahren meines Studiums sehr unterstützt haben. Ihnen gebührt ein wesentlicher Anteil an dieser Arbeit. Des Weiteren danke ich auch sehr herzlich meinen Schwestern Sandra und Daniela, meiner übrigen Familie und meiner Freundin Simone für den Rückhalt und die Zusprache, auf Grund derer ich die Diplomarbeit sicherlich um einiges leichter abschließen konnte.

Besonderer Dank geht auch an die Herren Dipl.-Ing. Dr. Kurt Wöls und Dipl.-Ing Jörg Christian Seit, welche mir diese Arbeit bei Siemens ermöglicht haben und mich dabei auch tatkräftig unterstützten.

Nicht zuletzt möchte ich auch Herrn Dipl.-Ing. Georg Premm für die Betreuung seitens der Technischen Universität Graz ein herzliches Dankeschön aussprechen.

Kurzfassung

Die Siemens AG Österreich entwickelt und produziert am Standort Graz – Eggenberg Fahrwerke für Schienenfahrzeuge am internationalen Schienenfahrzeugmarkt. Dabei handelt es sich um stark beanspruchte Baugruppen, welche großen Verschleiß aufweisen. Die Aufrechterhaltung der Sicherheit und Funktionalität des Schienenfahrzeugs verursacht großen Aufwand in der Instandhaltung.

Die Forderung von Kunden nach verringerten Life Cycle Costs (LCC) wird in den letzten Jahren immer stärker. Um dieser Forderung nachzukommen, ist Siemens bestrebt eine zustandsorientierte Instandhaltung der Fahrwerke zu ermöglichen und dadurch den Aufwand für die Instandhaltung zu verringern.

Dieser Schritt wird mittels unterschiedlicher Sensorik am Drehgestell und einer dementsprechenden Auswertung der Sensor-Signale in einem Diagnosesystem angestrebt. Dabei befindet sich das Projekt „Diagnosesystem“ noch in der Planungs- und Konzeptionsphase.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird die „zustandsorientierte Instandhaltung“ bei Schienenfahrzeugfahrwerken vom wirtschaftlichen Aspekt aus betrachtet und der Nutzen für den Betreiber als auch für die Fa. Siemens selbst in Zahlen ausgedrückt. Dabei wurde auf entsprechende Methoden aus der Theorie zurückgegriffen und unter Miteinbeziehung von Kundenanforderungen, den derzeitigen technischen Möglichkeiten und unter Berücksichtigung der Mitbewerber, ein Gesamtsystem entworfen, welches dem Kunden und Siemens selbst einen wirtschaftlichen Vorteil verspricht.

Das Ergebnis ist eine Empfehlung über die nötigen Funktionen und möglichen Ausführungsformen des Diagnosesystems. Ebenfalls werden Empfehlungen für die weitere Zukunft unter Berücksichtigung der entsprechenden Literatur zum Thema Innovation gegeben, welche es erleichtern sollen, das System möglichst erfolgreich am Markt einzuführen.

Abstract

Siemens AG Austria, at its facility in Graz - Eggenberg, develops and manufactures bogies for rail vehicles for the international rail market. These bogies are considered to be highly stressed components that are subject to high wear. Maintaining the security and functionality of the rail vehicle is causing great maintenance costs.

The demand from customers for reduced life cycle costs (LCC) has been increasing in recent years. In order to comply with this demand, Siemens strives to provide condition based maintenance for bogies and thus to reduce the costs of maintenance.

This should be achieved by installing various sensors on the bogies and by making a corresponding evaluation of the sensor signals using a diagnostic system. However, the project "diagnostic system" is still in the planning and design stage.

As part of this thesis the "condition-based maintenance" in rail vehicle bogies is examined from an economic point of view and the benefits for the operator and for Siemens itself are expressed and evaluated in numbers. This is done by applying different methods from theory. In consideration of customer requirements, current technical capabilities and the competitors, a complete system is designed which promises a benefit to the customer and Siemens itself.

The result is a recommendation concerning the necessary functions and possible embodiments of the diagnostic system. Recommendations for the future are given as well, considering relevant literature on the topic of „innovation“. They should facilitate a successful launch of the system in the market.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Vorstellung Siemens AG	1
1.2	Siemens Standort Graz Eggenberg.....	4
1.3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	6
1.4	Vorgehensweise.....	7
2	Grundlagen zur Innovation	9
2.1	Der Begriff Innovation.....	9
2.2	Merkmale von Innovationen	11
2.3	Innovationsprozesse	13
2.3.1	Innovationsprozess nach Thom	14
2.3.2	Innovationsprozess nach Cooper.....	15
2.4	Erfolgsfaktoren von Innovationen (nach Cooper)	19
2.5	Barrieren von Innovationen	25
3	Grundlagen zu Schienenfahrzeug-Fahrwerken	26
3.1	Beschreibung eines Fahrwerks	26
3.2	Klassifizierung von Fahrwerken.....	30
3.2.1	Metro Fahrwerke	30
3.2.2	Regionaltriebzug-Fahrwerke	31
3.2.3	High Speed Fahrwerke.....	32
3.2.4	Lokomotiven Fahrwerke	33
4	Grundlagen zur Instandhaltung	35
4.1	Instandhaltung Allgemein	35
4.2	Instandhaltungsstrategien	36
4.3	Derzeitige Instandhaltung von Drehgestellen.....	40
4.4	Vision für die Instandhaltung von Drehgestellen	41
4.5	FDÜ – Fahrwerks Diagnose und Überwachung.....	41
4.5.1	Diagnose	42

4.5.2	Überwachung.....	42
5	IST Analyse.....	44
5.1	Siemens interne Diagnoseanwendungen.....	44
5.1.1	Condition Monitoring bei Winergy	44
5.1.2	Diagnose im Healthcare Sektor.....	46
5.1.3	Diagnose bei Zementmühlen	47
5.1.4	Condition Monitoring System CMS	48
5.1.5	RailBAM	49
5.2	Diagnoseanwendungen bei Mitbewerbern	50
5.2.1	Bombardier „ORBITA“	50
5.2.2	ALSTOM „Traintracer“.....	51
5.2.3	SKF System (in Zusammenarbeit mit Knorr - Bremse)	52
5.3	Bekannte Kundenanforderungen aus bestehenden Projekten	55
5.4	Vorteile für den Kunden durch das Diagnosesystem.....	56
6	Konzeptfindung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	61
6.1	Grundsätzlicher System Aufbau	61
6.2	Service Angebote.....	66
6.2.1	Abgrenzung der Begriffe Daten – Informationen – Wissen	67
6.2.2	Serviceausprägung BASIC.....	68
6.2.3	Serviceausprägung ADVANCED	68
6.2.4	Serviceausprägung PROFESSIONAL	69
6.3	Hardware Ausstattungsvarianten	69
6.3.1	Hardware - Ausstattungsvariante „Low“	70
6.3.2	Hardware – Ausstattungsvariante „Mid“	70
6.3.3	Hardware - Ausstattungsvariante „High“	70
6.4	Entwurf von Gesamtsystemvarianten.....	71
6.4.1	Kostendarstellung anhand des Projekts Metro München.....	73
6.4.2	Kosten - Wirksamkeitsanalyse	76

6.5	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung des gewählten Konzepts	78
6.6	Szenarien für die Geschäftsentwicklung der Diagnose	81
6.6.1	Szenario – „Rent Diagnosis“	81
6.6.2	Szenario – „Buy Diagnosis“	84
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	87
8	Literaturverzeichnis	89
9	Internetquellenverzeichnis.....	90
10	Abbildungsverzeichnis.....	93
11	Tabellenverzeichnis.....	95
12	Abkürzungsverzeichnis.....	97

1 Einleitung

Die Diplomarbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Siemens AG Österreich am Standort Graz Eggenberg durchgeführt. Im folgenden Kapitel soll eine kurze Vorstellung der Unternehmung erfolgen.

1.1 Vorstellung Siemens AG

Die Fa. Siemens wurde im Jahr 1847 durch Werner von Siemens und Johann Georg Halske als „Telegraphen-Bauanstalt von Siemens und Halske“ gegründet. In der Folge wurde das Werk immer weiter vergrößert, ein weltweit tätiger Konzern aufgebaut und die Geschäftsfelder auf die Branchen Elektro-, Antriebs-, Medizin- und Kraftwerkstechnik ausgeweitet. Abbildung 1 zeigt in groben Zügen die geschichtliche Entwicklung des Konzerns.



Abbildung 1: Entwicklung des Siemens Konzerns¹

¹ Siemens (2011a), Zugriffsdatum 17.10.2011

Die Unternehmensstruktur gliedert sich seit dem 1.10.2011 in die 4 Sektoren Industry, Infrastructure & Cities, Energy und Healthcare. Der Siemens Standort in Graz Eggenberg ist im neu gegründeten Sektor Infrastructure & Cities, der Division Rail Systems, der Business Unit Locomotives & Components und dem Business Segment Bogies eingegliedert.

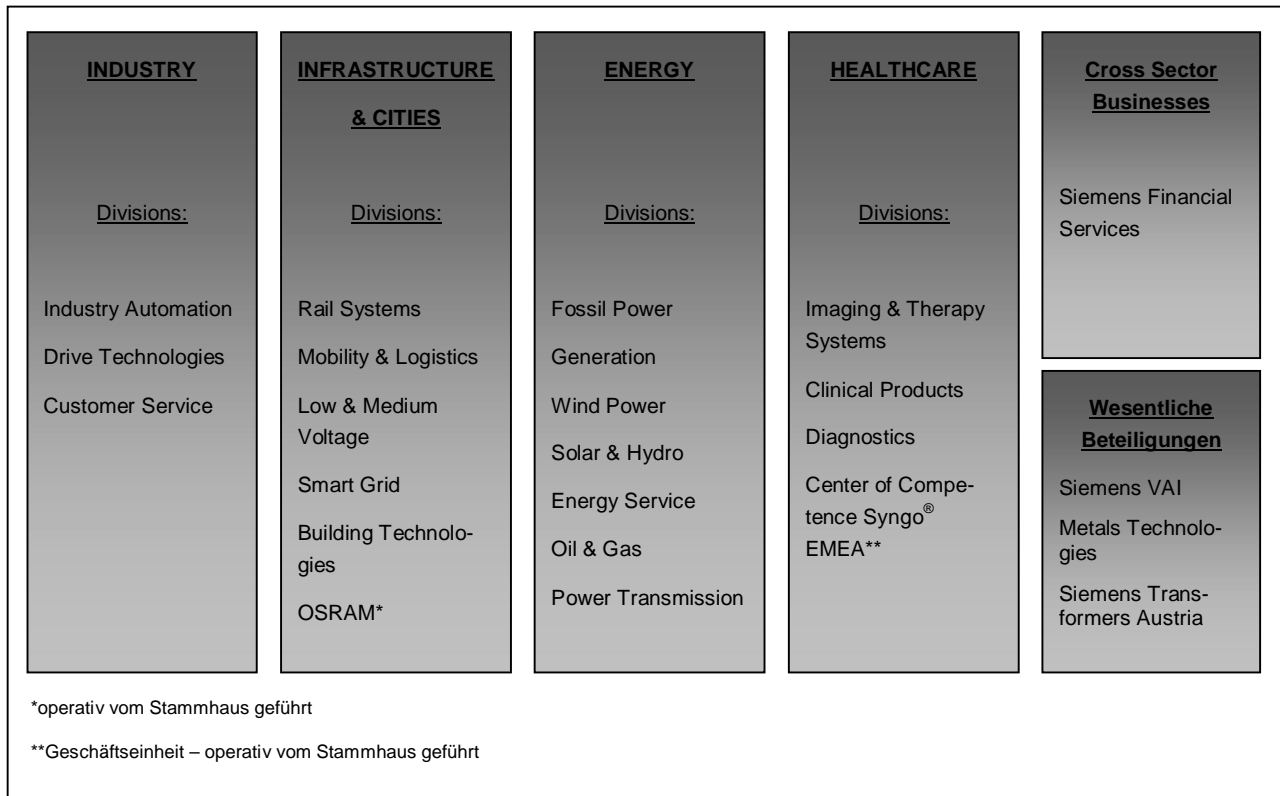


Abbildung 2: Gliederung der Siemens AG²

Das Portfolio der Division Rail Systems umfasst alle Arten von Schienenfahrzeugen.

- High Speed → Velaro
- Commuter und Regional Trains → Desiro
- Lokomotiven → Vectron
- Metro → Inspiro
- Lightrail → Avenio

Dieser Wirtschaftsbereich wird als stark wachsend und zukunftsreich angesehen. Die Schienenfahrzeuge von Siemens sind weltweit in mehr als 40 Ländern im Einsatz und

² In Anlehnung an Siemens (2011b), Zugriffsdatum 17.10.2011

im Geschäftsjahr 2010/11 erwirtschaftete diese Division alleine 28 Milliarden € Umsatz³.

Weltweit gehören zum Siemens Konzern derzeit 1640 Standorte in 190 Regionen und man erzielt einen Jahresumsatz von etwa 76 Mrd. Euro. Mehr als 405.000 Mitarbeiter werden derzeit beschäftigt⁴. Abbildung 3 zeigt die Verteilung des Umsatzes und der Mitarbeiterbeschäftigung auf die einzelnen Kontinente.

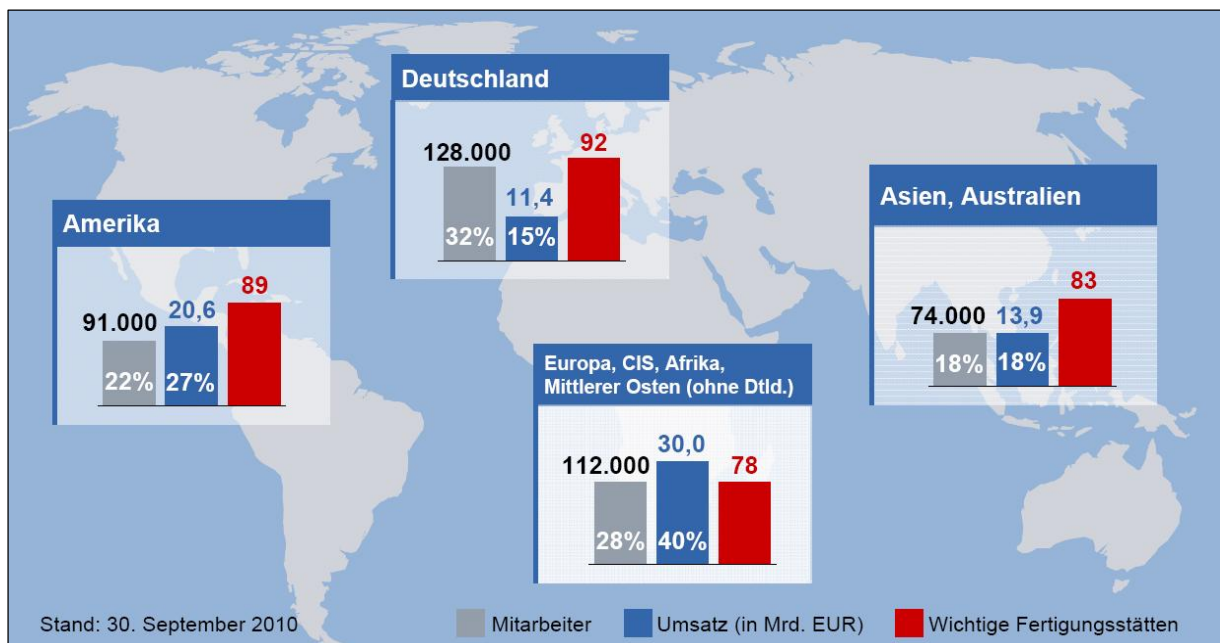


Abbildung 3: Weltweite Präsenz von Siemens⁵

Siemens betreibt sehr großen Aufwand für Forschung und Entwicklung, welcher in den letzten Jahren kontinuierlich gesteigert wurde. Dadurch kam man auf 8.800 Erfindungen weltweit allein im Geschäftsjahr 2010 und verfügt über 57.900 aktive Patente. Dadurch verdeutlicht sich die Strategie des Konzerns, sich auf innovationsgetriebene Wachstumsmärkte zu konzentrieren.

Mitarbeiter Weltweit	405.000
Jahresumsatz 2010	76 Mrd. Euro
Standorte Weltweit	1640
Branchen	Elektro-, Medizin-, Antriebs-, Kraftwerkstechnik

Tabelle 1: Zusammenfassung der Eckdaten der Siemens AG Weltweit⁶

³ Vgl. Siemens (2011c), Zugriffsdatum 17.10.2011

⁴ Siemens (2011d), Zugriffsdatum 27.11.2011

⁵ Siemens (2011d), Zugriffsdatum 27.11.2011

⁶ Vgl. Siemens (2011d), Zugriffsdatum 27.11.2011

1.2 Siemens Standort Graz Eggenberg

Wesentlicher Bestandteil der Division Rail Systems ist das Werk in Graz Eggenberg. Gegründet wurde das Werk 1854 von Johann Weitzer als Schmiedewerkstätte. Zunächst wurden Wagen für verschiedenste Anwendungen gefertigt. Umfangreiche Aufträge aus der ganzen Welt führten zu einem raschen Wachstum des Standortes. Im Laufe der Zeit begann man ebenfalls mit der Fertigung von Dampfmaschinen, Dampfkesseln und landwirtschaftlichen Maschinen. Im Jahr 1870 hatte man einen Beschäftigungsstand von 1500 Mitarbeitern erreicht.

1941 erfolgte der Zusammenschluss mit dem Wiener Pauker Werk und es entstand die Simmering - Graz - Pauker AG für Maschinen-, Kessel- und Waggonbau. Unter diesem Namen wurde bis in die 90er Jahre gearbeitet. 1994 übernahm Siemens mit 74% der Aktien das Werk um in Folge als Gesamtanbieter von Schienenfahrzeugen den Schienenfahrzeugmarkt zu erobern.

Seit 2001 ist die Siemens – SGP eine 100%ige Tochter der Siemens AG. Heute werden in Graz Fahrwerke für Schienenfahrzeuge hergestellt. Es findet sowohl die Planung und Entwicklung als auch die Produktion und Montage in dem rund 70.000m² großen Werk statt. Mit den 950 Mitarbeitern werden jährlich mehr als 4.000 dieser Drehgestelle für Kunden auf der ganzen Welt produziert. Das Werk gilt als Weltkompetenzzentrum im Bereich der Eisenbahn-Fahrwerke, weshalb man auch einen jährlichen Auftragszuwachs verzeichnet⁷.



Abbildung 4: Siemens Standort Graz Eggenberg⁸

⁷ Vgl. Siemens (2011e), Zugriffsdatum 17.08.2011

⁸ Siemens (2011e), Zugriffsdatum 17.08.2011

Repräsentativ für die Produkte, welches am Standort in Graz Eggenberg entwickelt und produziert werden, ist in Abbildung 5 das SF 3000 dargestellt. Es wird in schweren Metros bis zu einer Geschwindigkeit von max. 80 km/h und einer Achslast von max. 17 Tonnen eingesetzt.



Abbildung 5: Drehgestell SF 3000⁹

Als Drehgestell oder Fahrwerk wird der gesamte Unterbau eines Schienenfahrzeuges bezeichnet. Dabei muss man streng genommen zwischen Drehgestell und Fahrwerk unterscheiden. Als Drehgestell bezeichnet man jene Fahrwerke, welche sich relativ zum Wagenkasten z.B. über einen Drehzapfen verdrehen können. Fahrwerke werden oft bei Güterzügen eingesetzt und sind starr, also nicht um die Hochachse drehbar, mit dem Wagenkasten verbunden. Im Rahmen dieser Arbeit soll eine solche Unterscheidung jedoch nicht getroffen und beide Begriffe redundant verwendet werden

Drehgestelle bilden die Verbindung zwischen Fahrgastraum, also dem Wagenkasten und der Schiene. Sie sind in ihrem Einsatz großen Belastungen ausgesetzt und dadurch sehr instandhaltungsintensive Komponenten. Der Komfort des Fahrgastes und dessen Sicherheit ist wesentlich an die Funktionalität des Fahrwerks geknüpft. Nachstehend ein kurzer Überblick über die am Standort Graz gefertigten Drehgestelle:

⁹ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 15.11.2011

Segment	Locomotives	Passenger Coaches	Light Rail	Heavy Rail	Trains
Drehgestell Bezeichnung	SF1, SF2, SF3, SF4, SF6	SF200, SF300, SF400	SF30C, SF40, SF70, SF90	SF1000, SF2000, SF2100, SF2500, SF3000, SFVAL208	SF400, SF500, SF4000, SF5000, SF6000, SF6500
Beispiel Kunde	ÖBB, DB	ÖBB, Trenitalia, DB, SBB	GVB Amsterdam, BKV Budapest	VAG Nürnberg, Wiener Linien	ÖBB, RER Brüssel, DB, SBB

Tabelle 2: Fahrwerksübersicht¹⁰

Mitarbeiter	Ca. 950
Umsatz	Ca. 220 Mio. Euro
Branche	Eisenbahnfahrwerke
Jährliches Produktionsvolumen	Ca. 4000 Fahrwerke

Tabelle 3: Zusammenfassung der Eckdaten des Siemensstandortes Graz Eggenberg¹¹

1.3 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt die ökonomische Betrachtung eines Diagnosesystems zur zustandsorientierten Instandhaltung wie in Abbildung 6 dargestellt.

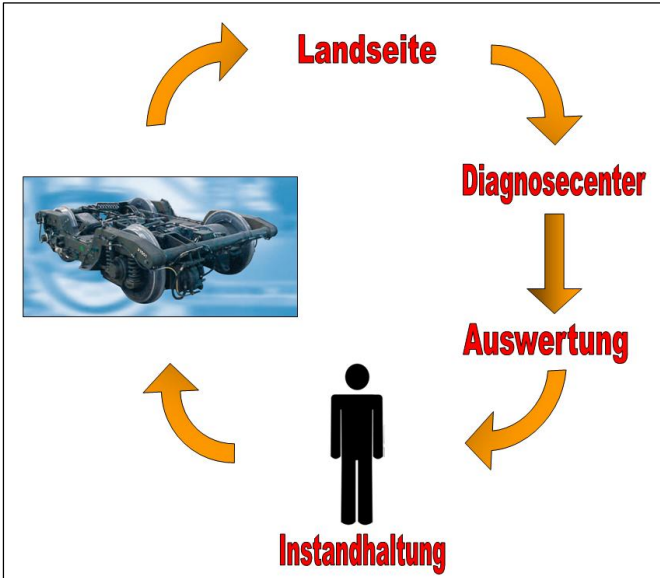


Abbildung 6: Schema Fahrwerks-Diagnose

¹⁰ Vgl. Siemens (2011f), Zugriffsdatum 15.11.2011

¹¹ Vgl. Siemens (2011g), Zugriffsdatum 30.11.2001

Die Diagnose wird durch Erfassen von Sensordaten an den Fahrwerken des Schienenfahrzeugs und anschließende, landseitige Auswertung dieser Daten durchgeführt. Dadurch wird es möglich, Rückschlüsse auf den Zustand des Fahrwerks zu ziehen und somit zustandsorientierte Instandhaltung zu praktizieren.

Aufgabenstellung ist die Konzeption unterschiedlicher Ausführungsvarianten des Gesamtsystems "Diagnose am Fahrwerk" unter Berücksichtigung von Kundenanforderungen, derzeitiger bereits erhältlicher Diagnosesysteme bei Siemens und Mitbewerbern und den technischen Möglichkeiten. Die Konzepte, welche sich aus diesen Betrachtungen ergeben, sind anschließend durch geeignete Techniken zu bewerten. Für das am stärksten bewertete Konzept ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen.

Ziel ist, anhand dieser Arbeit Aussagen über die ökonomischen Vor- und Nachteile der Diagnose am Fahrwerk treffen und das wahrscheinlichste, künftige Aussehen eines Diagnosesystems beschreiben zu können.

1.4 Vorgehensweise

Schematisch ist die Vorgehensweise, durch welche die Ziele der Diplomarbeit erreicht werden sollen, in Abbildung 7 dargestellt.

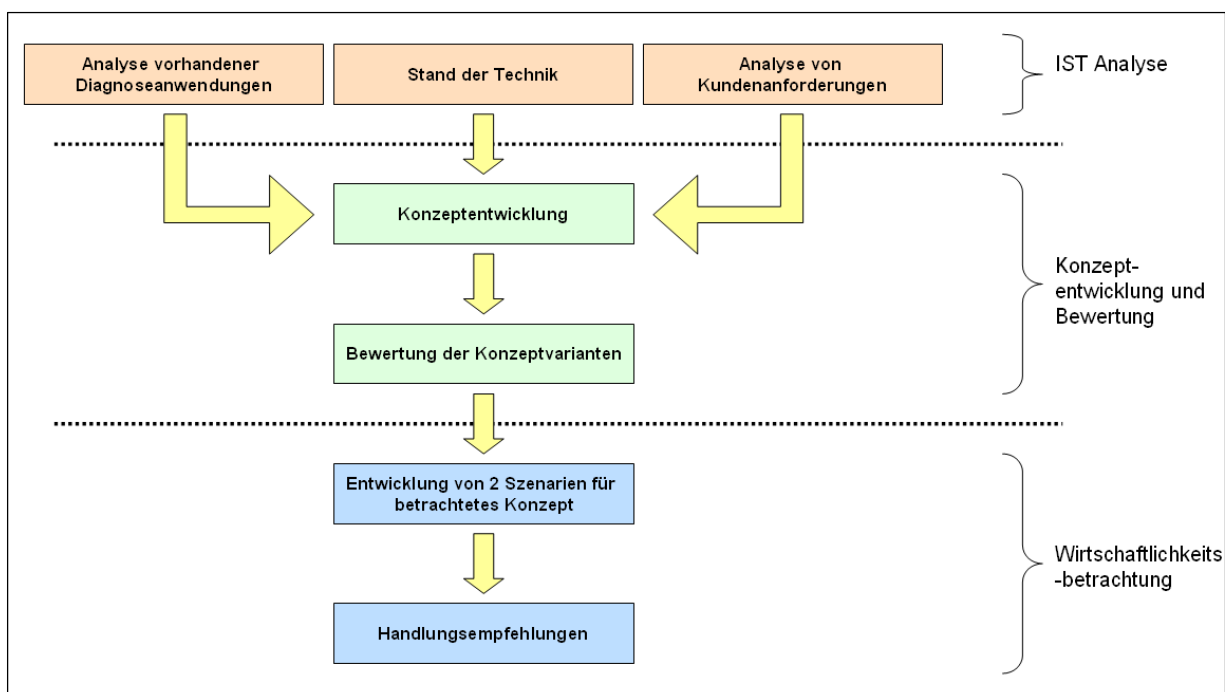


Abbildung 7: Schematische Darstellung der Vorgehensweise¹²

¹² In Anlehnung an Wohinz (2003), S. 74

Zunächst werden im Rahmen einer IST Analyse Kundenanforderungen und bereits vorhandene, am Markt etablierte Diagnosesysteme beschrieben. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser IST Analyse und unter Beachtung der technischen Möglichkeiten werden anschließend in der Konzeptentwicklung mehrere marktfähige Gesamtkonzepte erarbeitet.

Diese Konzeptvarianten werden mittels geeigneter Techniken bewertet und das erfolgversprechendste Konzept einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unterzogen. Dazu werden 2 Szenarien zum Verkauf des Diagnosesystems beschrieben und am Ende Handlungsempfehlungen abgegeben, welche zu einem erfolgreichen Markteinstieg der Innovation „Diagnose“ führen sollen.

2 Grundlagen zur Innovation

Im folgenden Kapitel werden der Begriff, die Eigenschaften und Schwierigkeiten von Innovationen näher betrachtet. Dadurch soll es möglich sein, die Innovation als solche zu charakterisieren und zukünftige Schritte und Maßnahmen zu benennen.

2.1 Der Begriff Innovation

Der Begriff Innovation leitet sich in der Etymologie vom lateinischen Wort „innovatio“, zu Deutsch „Erneuerung“ ab¹³.

Es gibt eine Vielzahl an Definitionen für diesen häufig verwendeten Begriff „Innovation“. Der Autor dieser Arbeit identifiziert sich am ehesten mit den Aussagen des österreichischen Nationalökonom Schumpeter, welcher sich eingehend mit dem Terminus auseinandergesetzt hat.

Schumpeter bezeichnet die Innovation als „Neue Kombination von Produktionsmitteln“ und „Durchsetzung neuer Kombinationen“. Weiters umfasst der Begriff für Schumpeter die folgenden Fälle:¹⁴

- „1. Herstellung eines neuen, d.h. dem Konsumentenkreise noch nicht vertrauten Gutes oder einer neuen Qualität eines Gutes.*
- 2. Einführung einer neuen, d.h. dem betreffenden Industriezweig noch nicht praktisch bekannten Produktionsmethode, die keineswegs auf einer wissenschaftlich neuen Entdeckung zu beruhen braucht und auch in einer neuartigen Weise bestehen kann mit einer Ware kommerziell zu verfahren.*
- 3. Erschließung eines neuen Absatzmarktes, d.h. eines Marktes, auf dem der betreffende Industriezweig des betreffenden Landes bisher noch nicht eingeführt war, mag dieser Markt schon vorher existiert haben oder nicht.*
- 4. Eroberung einer neuen Bezugsquelle von Rohstoffen oder Halbfabrikaten*
- 5. Durchführung einer Neuorganisation, wie Schaffung einer Monopolstellung (z.B. durch Vertrustung) oder Durchbrechen eines Monopols.“*

¹³ Vgl. Etymology (2011a), Zugriffsdatum 30.11.2011

¹⁴ Vgl. Schumpeter (1993), S 100f

Im Duden ist der Begriff Innovation folgendermaßen definiert: „*Realisierung einer neuartigen, fortschrittlichen Lösung für ein bestimmtes Problem, besonders die Einführung eines neuen Produkts oder die Anwendung eines neuen Verfahrens*“¹⁵.

An dieser Stelle erfolgt eine klare Abgrenzung der Begrifflichkeiten „Innovation“ und „Invention“. Während „Invention“, zu Deutsch „Erfindung“, nur die gedankliche Konzipierung einer Neuheit ist¹⁶, wird unter „Innovation“ deren Verwirklichung und die Durchsetzung einer neuen Kombination verstanden¹⁷.

Thom formuliert des Weiteren 3 unterschiedliche Arten von Innovationen:¹⁸

- Produktinnovationen

Darunter versteht Thom „*Erneuerungen im Sachziel von sozio-technischen Systemen*“. Unter „Produkt“ darf jedoch keinesfalls nur ein Gegenstand verstanden werden. Hierzu zählen auch reine Dienstleistungen. Das Problem der Eingrenzung und Grenzziehung von Produktinnovationen ist laut Thom ein schwieriges Unterfangen, da dies von der Komplexität des veränderten Produkts abhängt.

- Verfahrensinnovationen

Hierbei handelt es sich um „*geplante Veränderungen im Prozess der Faktorkombination, in der allgemeinen Verfahrenstechnik, die sich in Betrieben vollzieht*“. Weiters sind Verfahrensinnovationen „*geplante erstmalige Anwendungen neuen technischen Wissens bei der Leistungserstellung*“. Beispiele hierfür sind die „*Einführung eines neuen Verfahrens in der Ablauforganisation*“ oder „*eines neuen Messverfahrens in der Qualitätskontrolle*“.

- Sozialinnovationen

Sozialinnovationen beziehen sich laut Thom auf „*geplante Änderungen im Humanbereich von sozio-technischen Systemen*“. Darunter fallen z.B. Austauschprozesse, bei welchen es zu Entlassungen und Neueinstellungen kommt.

¹⁵ Duden (2011a), Zugriffsdatum 30.11.2011

¹⁶ Vgl. Witte: (1973), S. 2

¹⁷ Vgl. Schumpeter (1997), S. 101

¹⁸ Vgl. Thom (1980), S. 32 ff

2.2 Merkmale von Innovationen

Nach Thom gibt es 4 dominante Merkmale von Innovationen: Neuigkeitsgrad, Unsicherheit / Risiko, Komplexität und Konfliktgehalt.¹⁹

Neuigkeitsgrad

Darunter wird allgemein der Fortschrittsaspekt, also eine Verbesserung bezüglich des bisherigen Zustandes verstanden. Innovationen basieren auf einem kreativen Akt, der in einem sozio-technischen System die Durchführung eines Änderungsprozesses ausgelöst hat. Dabei erstreckt sich der Neuigkeitsgrad auf den Handlungsprozess und/oder auf das Handlungsergebnis. Der Neuheitsgrad einer Innovation hat auch wesentliche Auswirkungen auf die entstehenden Investitionen in das Sach- und Humankapital. Bei steigendem Neuigkeitsgrad muss davon ausgegangen werden, dass auch die Gestaltungsschwierigkeiten und die Anforderungen an das Innovationsmanagement wachsen. Des Weiteren werden Innovationen nach dem Neuigkeitsgrad in 3 Stufen unterteilt: Bei Basisinnovationen kommt es zur grundlegenden Entwicklung neuer Produkte oder Dienstleistungen welche auf neuen Märkten von der Unternehmung angeboten werden sollen und dadurch zur Entstehung neuer Industriezweige führen. Dagegen kommt es bei Verbesserungsinnovationen, wie der Name bereits induziert, zu einer Verbesserung bereits bestehender Produkte oder Dienstleistungen durch die Veränderung einer oder mehrerer Produktparameter. Als dritte Stufe werden noch Scheininnovationen angeführt, welche eigentlich nicht zu Innovationen im engeren Sinn gezählt werden. Hier wird lediglich das äußere Erscheinungsbild geändert, ohne direkten Einfluss auf die Produktfunktionalität.

Unsicherheit / Risiko

Stellt ein Produkt oder eine Dienstleistung ein völlig neues „Problem“ für eine Unternehmung dar, so ist die Unsicherheit, dass die Innovation zu einem Markterfolg wird, ungleich höher als z.B. die reine Verbesserung des bereits bestehenden Produktportfolios. Thom bezeichnet den Begriff Risiko als „*die Höhe des Schadens, den der innovierende Betrieb bei einem Fehlschlag seiner Neuerungstätigkeit erleiden kann*“.

„*Unter Unsicherheit ist eine Situation zu verstehen, in der für den Eintritt der relevanten Ereignisse weder subjektive (aus der Erfahrung heraus) noch objektive (statistisch ermittelbare) Wahrscheinlichkeiten angegeben werden können*“²⁰. Thom beschreibt auch das Absatzrisiko, welches sich dadurch ausdrückt, dass sich für künftige Absatzmen-

¹⁹ Vgl. Thom (1980), S. 23 ff

²⁰ Vahs / Schäfer-Kunz (2005), Thom (1983), in: Vahs / Burmester (2005), S. 52

gen (bei Produktinnovationen) wie auch für erzielbare Preise niemals sichere Erfahrungswerte ansetzen lassen²¹.

Komplexität

Durch die Tatsache, dass Innovationen keine isolierten Handlungen sind, sondern einen umfangreichen vielgestaltigen Komplex unterschiedlicher Veränderungen in den einzelnen Bereichen des Unternehmens umfassen, ergibt sich auch die Wichtigkeit der Betrachtung der Komplexität²². In der Kybernetik wird die Komplexität auch als „*Eigenschaft von Systemen, die durch Art und Zahl der zwischen den Elementen bestehenden Relationen festgelegt ist*“²³ beschrieben. Die Komplexität ist somit ein Maß für die Anzahl bzw. den Umfang der Wechselwirkungen und Beziehungen zwischen den einzelnen Elementen der Innovation.

Konfliktgehalt

Aus den 3 bisherigen Merkmalen resultiert ein hohes Maß an Konfliktpotential. Thom unterscheidet hierbei die sachlich-intellektuelle, die sozio-emotionale und die wertmäßig-kulturelle Dimension. „*Sachlich-intellektuelle Konflikte entstehen in Bezug auf die Wahl und Verbindlichkeit von Zielen, über die Zweckmäßigkeit von Mitteln zur Zielerreichung (Verfahren, Methoden, Techniken etc.) sowie über die Bedeutung von Fakten etc.* Die Bildung sozio-emotionaler Konflikte rührt daher, dass Innovationen von Menschen durchgeführt werden und sich dadurch ein Prozess bildet, welcher von Sympathien, Antipathien, Vertrauen und Abneigung geprägt ist. Wertmäßig-kulturelle Konflikte entstehen durch unterschiedliche Überzeugungen, Werte und Grundhaltungen, aus welchen die Ziele und Zielerreichungsmaßnahmen bestimmt werden. Konflikte treten zwangsläufig bei Innovationen auf, der Umgang mit ihnen entscheidet unter anderem über den Erfolg oder Misserfolg der jeweiligen Innovation.“²⁴

²¹ Vgl. Thom (1980), S. 27 f

²² Vgl. Sabisch (1991), S. 10f.

²³ Klaus (1968), S. 309

²⁴ Vgl. Thom (1980), S. 29 f

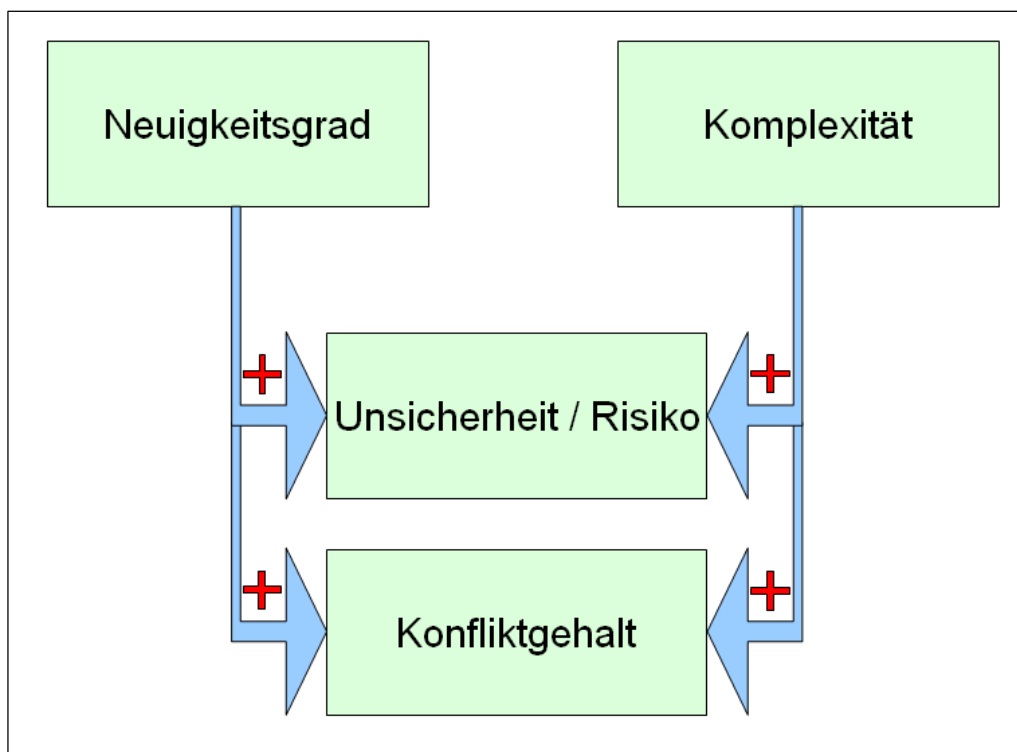


Abbildung 8: Die Beziehungsstruktur zwischen den 4 Merkmalen von Innovationsaufgaben²⁵

Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang zwischen allen 4 Merkmalen von Innovationen. Hier erhöhen der Neuigkeitsgrad und die Komplexität jeweils die Unsicherheit / Risiko bzw. auch den Konfliktgehalt der zugrundeliegenden Innovation.

2.3 Innovationsprozesse

In der Literatur stößt man auf viele unterschiedliche Darstellungen von Innovationsprozessen. Viele davon haben ihre Berechtigung, im Rahmen dieser Arbeit werden jedoch vorrangig die Ansätze von Thom und Cooper betrachtet, da viele der übrigen Theorien auf diesen aufbauen.

Die Darstellung von Innovationsprozessen soll den einzelnen Unternehmungen dabei zu einer Art Werkzeug verhelfen, mit welchem sich Innovationsvorhaben strukturiert durchführen lassen. Jede Unternehmung soll oder muss diese Innovationsprozesse, welche nur als Anhaltspunkt gelten sollten, auf ihre eigenen Bedürfnisse abstimmen. Nur dadurch kann es auch zu einem Erfolg der angestrebten Innovation kommen.

²⁵ In Anlehnung an Thom (1980), S. 31

2.3.1 Innovationsprozess nach Thom

Die Vorstellung eines Innovationsprozesses nach Thom ist in Tabelle 4 dargestellt. Er gliedert die Innovation in 3 Hauptphasen. Die Ideengenerierung, die Ideenakzeptierung und abschließend die Ideenrealisierung. Diese 3 Hauptphasen werden wiederum spezifiziert. In dieser Reihenfolge sollten erfolgreiche Innovationen laut Thom ablaufen.

Phasen von Innovationsprozessen		
Hauptphasen		
1. Ideengenerierung	2. Ideenakzeptierung	3. Ideenrealisierung
Spezifizierung der Hauptphasen		
1.1. Suchfeldbestimmung	2.1. Prüfung der Ideen	3.1. Konkrete Verwirklichung der neuen Idee
1.2. Ideenfindung	2.2. Erstellung von Realisationsplänen	3.2. Absatz der neuen Idee an Adressat
1.3. Ideenvorschlag	2.3. Entscheidung für einen zu realisierenden Plan	3.3. Akzeptanzkontrolle

Tabelle 4: Phasenmodell für betriebliche Innovationsprozesse²⁶

Ideengenerierung

In dieser Phase spielen die Kreativitätstechniken eine entscheidende Rolle. Thom nennt als Beispiele von Kennziffern, welche die Ideengenerierungsproduktivität in dieser Phase angeben, die Kosten der Kreativitätsförderungsmaßnahmen, die Informationskosten pro neuer Idee bzw. pro verwertbarer Idee oder die Ideenproduktionskosten im Verhältnis zum Verwertungsnutzen der zu verwirklichenden Idee²⁷. Diese Phase bildet den Ausgangspunkt einer jeden Innovation.

²⁶ In Anlehnung an Thom (1980), S. 53

²⁷ Vgl. Thom (1980), S. 78

Ideenakzeptierung

Im Anschluss an die Ideengenerierung muss die Ideenakzeptierung erfolgen. Als besonders wichtiges Effizienzkriterium führt Thom die Zielbedachtsamkeit in dieser Phase an. Ein hohes Maß an Konkretheit der Zielinhalte ist für ihn unumgänglich. Hier werden die „*effizienzmäßigen Voraussetzungen zur Verwirklichung der neuen Idee*“ geschaffen.²⁸

Ideenrealisierung

Als letzte Phase im Innovationsprozess sieht Thom die Ideenrealisierung. In dieser Phase kommt es zur Bestimmung von Meilensteinen und der Festlegung des (groben) Zeitplanes nach welchem in weiterer Folge verfahren wird. Auch gilt es hier, mögliche Widerstände im Absatzmarkt auszuräumen und zu überwinden. Aus ökonomischer Sicht wird eine Minimierung der innerbetrieblichen Umstellungs- und der außerbetrieblichen Markteinführungskosten angestrebt.²⁹

Als Zufriedenheitskriterium für die Durchführung der Innovation unternehmensintern könnte die Quantität von Beschwerden gesehen werden. Wobei es dabei natürlich gilt, Beschwerden gezielt zu hinterfragen, da diese oftmals subjektiver Natur sein können.

2.3.2 Innovationsprozess nach Cooper

Eine etwas andere Strukturierung des Innovationsprozesses trifft Cooper mit seinem Stage Gate Prozess. Er gliedert den Innovationsprozess in mehrere Abschnitte, in welchen unterschiedliche Aktionen auszuführen sind und welche mit einem Gate, also einem Entscheidungstor, enden. An diesen Toren kommt es zur Abstimmung darüber, ob das Innovationsprojekt bis zum nächsten Abschnitt weiterverfolgt wird oder ob es zum Abbruch des Projekts kommt.

²⁸ Vgl. Thom (1980), S. 82

²⁹ Vgl. Thom (1980), S. 83 f

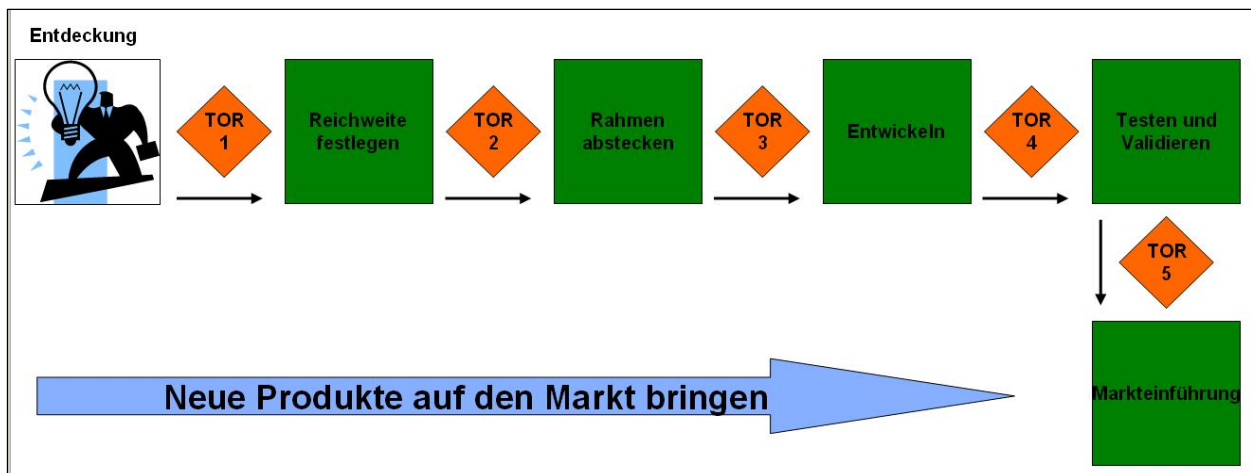
Abbildung 9: Stage Gate Prozess nach Cooper³⁰

Abbildung 9 zeigt eine Möglichkeit, wie ein solcher Stage Gate Prozess ausgeführt werden kann. Eine Stärke dieser Variante der Darstellung von Innovationsprozessen, ist die Adaptierfähigkeit und Erweiterbarkeit des Prozesses. Man kann beliebig viele Gates und Stages einführen und teilweise Stages auch parallel ablaufen lassen. Dadurch findet dieser Prozess auch in allen möglichen wirtschaftlichen Sparten Anwendung.

Entdeckung

Wie beim Phasenmodell von Thom beginnt auch bei Cooper alles mit einer Idee. Sie ist Auslöser des Innovationsprozesses und somit Voraussetzung dafür, dass es überhaupt zu Innovationen kommen kann. Cooper beschreibt die Entdeckungsphase als „von lebenswichtiger Bedeutung“. Möglichkeiten zur Entdeckung sind neben der technischen Grundlagenforschung auch die Arbeit mit führenden Kunden oder die Aufstellung strategischer Planungen um Risse und Lücken im Markt aufzuspüren.³¹

1. Tor – Screening der Ideen

Hier werden erste KO Kriterien auf deren Einhaltung hin kontrolliert. Dies kann sehr gut durch Checklisten erfolgen. Fragen bezüglich der „strategischen Ausrichtung, die Machbarkeit des Projekts, das Ausmaß der sich bietenden Chance, die Markattraktivität, den Vorteil für das Produkt die Möglichkeiten für das Zusammenspiel eigener Ressourcen sowie die Passung zur grundsätzlichen Ausrichtung der Firma“ werden hier an

³⁰ In Anlehnung an Cooper (2010), S. 146

³¹ Vgl. Cooper (2010), S. 149 f

das Projekt gestellt. Bei einer negativen Beantwortung von nur einer dieser KO Fragen, kann dies bereits das Ende des Projekts bedeuten.³²

1. Abschnitt – Bestimmung der Reichweite

Im ersten Abschnitt geht es darum, sich einen ersten Überblick über das geplante Projekt zu verschaffen. Das beinhaltet auch erste Markteinschätzungen und die Ausarbeitung der technischen Vorteile des Projekts. Der Aufwand für diesen Abschnitt sollte nicht zu hoch gehalten werden. Es soll lediglich eine flüchtige Analyse der finanziellen und unternehmerischen Aspekte ermöglicht werden.³³

2. Tor – Zweites Screening

An diesem Tor steht das Projekt erneut denselben Kriterien wie am ersten Tor gegenüber. Bekommt das Projekt auch hier grünes Licht tritt es in den Abschnitt mit höherem Einsatz ein. Die Entscheidung an diesem Tor kann wiederum mittels Punktvergabe oder Checkliste erfolgen.³⁴

2. Abschnitt – Den Rahmen abstecken

Nun erfolgt der Bereich der „*kritischen Hausaufgaben*“. Noch bevor erheblicher Aufwand für Forschung oder Entwicklung betrieben wird, muss hier die Definition des Produkts durchgeführt werden. Dabei beinhaltet diese Definition folgende Punkte:³⁵

- Definition des Zielmarktes
- Darlegung des Produktkonzepts
- Spezifizierung der Positionierungsstrategie
- Angebotene Vorteile des Produkts
- Wertangebot

Ebenso kommt es zur Festlegung der Merkmale, Anforderungen, Eigenschaften und Spezifikationen des Produkts. Ein weiterer, wichtiger Punkt im 2. Abschnitt ist die Marktuntersuchung oder Marktforschung. Hier wird gezielt auf den angedachten Absatzmarkt geachtet und versucht, dessen Anforderungen an innovative Produkte in das weitere Vorgehen einfließen zu lassen.

³² Vgl. Cooper (2010), S. 150 f

³³ Vgl. Cooper (2010), S. 151 ff

³⁴ Vgl. Cooper (2010), S. 153

³⁵ Vgl. Cooper (2010), S. 154 ff

3. Tor – Auf dem Weg zur Entwicklung

Ab diesem Tor beginnt der Entwicklungsschritt des Innovationsprojekts. Hier ist es noch möglich, das Projekt abubrechen, bevor erhebliche Kosten anfallen. Sollte die Entscheidung hier zugunsten des Projekts fallen, ist es obligatorisch, dass man sich durch die Hausaufgaben in den zuvor angeführten Abschnitten einen sehr guten Überblick über das Projekt verschafft hat. Es kommt zur Sichtung der weiteren Vorgehenspläne für Marketing, Entwicklung und Ausführung und zur Zusammenstellung des Projektteams.³⁶

3. Abschnitt – Entwicklung

Das Augenmerk im 3. Abschnitt liegt eindeutig auf der technischen Arbeit. Es kommt zur technischen Realisierung des Produkts und die Umsetzung dieses Abschnittes ist ein getesteter Prototyp. Parallel dazu erfolgt auch die weitere Analyse des Marktes und der Kundenbedürfnisse, um zu verhindern, dass das Produkt am Kunden vorbei entwickelt wird. Ebenso werden Pläne für die Markteinführung und Testpläne erstellt.³⁷

4. Tor – Zur Testphase

Das 4. Tor umfasst die Überprüfung der bisherigen Ergebnisse. Es wird sichergestellt, dass das Produkt noch immer attraktiv für den Kunden ist und die Entwicklung Qualitätsorientiert durchgeführt wurde. Außerdem wird das Projekt mit den aktuellen und genaueren Daten erneut einer verbesserten Finanzanalyse unterzogen um dadurch gewisse Aussagen zu ökonomischen Fragen formulieren zu können.³⁸

4. Abschnitt – Testen und Validieren

Cooper formuliert mehrere Aktivitäten, welche im 4. Abschnitt erfolgen:³⁹

- *„Produkttests im eigenen Haus [...]*
- *Nutzertests und Feldversuche [...]*
- *Versuchsweise, beschränkte oder Startproduktion [...]*
- *Vortest-Markt, Testmarkt, und versuchsweiser Verkauf [...]*
- *Überarbeitete Geschäfts- und Finanzanalyse [...]*“

Das Ergebnis dieses Abschnitts kann natürlich auch negativ sein. So können sich die Kundenanforderungen geändert haben oder andere Voraussetzungen bei Rohstoffprei-

³⁶ Vgl. Cooper (2010), S. 156 f

³⁷ Vgl. Cooper (2010), S. 157

³⁸ Vgl. Cooper (2010), S. 158

³⁹ Vgl. Cooper (2010), S. 159

sen ergeben wodurch man einen Rückschritt in Abschnitt 3 vornehmen muss, um das Produkt den jeweiligen neuen Bedingungen anzupassen.

5. Tor – Zum Markteintritt

Dieses Tor öffnet den Weg zur „vollen Vermarktung, zur Markteinführung und zum Beginn der vollen Produktion“. Es besteht das letzte Mal die Möglichkeit, das Projekt zu beenden. Ob dieses Tor durchschritten wird oder nicht, hängt in erster Linie vom erwarteten Gewinn und der Qualität der Pläne für Markteintritt und Produktionsbeginn ab.⁴⁰

5. Abschnitt – Markteinführung

Der letzte Abschnitt beinhaltet den Schritt zum Markt. Nun wird das Produkt nach den erstellten Aktionsplänen am Markt eingeführt. Hier zeigt sich, ob die Vorarbeiten ordentlich gemacht wurden und man dafür den Erfolg ernten kann oder ob wesentliche Dinge übersehen wurden und damit wirtschaftliche Verluste einhergehen⁴¹.

Wichtig ist natürlich auch der Rückblick nach der Markteinführung. Nach Auflösung des Projekts werden Nachbesprechungen durchgeführt und es kommt zur kritischen Betrachtung des Projekts. Was wurde gut gemacht? Was könnte man in Zukunft besser machen? Dieser Punkt ist einerseits zur Leistungsbeurteilung des Projektteams unumgänglich und zeitgleich auch essentiell für kommende Projekte. Speziell Schienenfahrzeuge sind hochkomplexe Systeme, welche auch noch nach der Gewährleistungsfrist betreut werden müssen. Daraus ist es in diesem Abschnitt auch möglich, Nachbesserungen vorzunehmen.

2.4 Erfolgsfaktoren von Innovationen (nach Cooper)

In der Literatur findet sich eine große Anzahl an Definitionen von Erfolgsfaktoren für Innovationen. Besonders umfangreich werden solche Faktoren von Cooper beschrieben. Er definiert 15 kritische Erfolgsfaktoren, welche ausschlaggebend für den Markterfolg einer Innovation sind.

1. Produktüberlegenheit⁴²

Je höher der Nutzen für den Kunden durch ein Produkt ist, desto höher wird auch der Markterfolg dieses Produkts sein. Die Differenzierung der Innovation von anderen am Markt erhältlichen Produkten, erweist sich in beinahe allen Fällen als gewinnbringender Erfolgsfaktor. Um zu überprüfen, ob ein Produkt diese Überlegenheit besitzt, sollte man sich folgende Fragen stellen:

⁴⁰ Vgl. Cooper (2010), S. 160

⁴¹ Vgl. Cooper (2010), S. 161

⁴² Vgl. Cooper (2010), S. 87

- Weist das Produkt für den Kunden einzigartige Aspekte auf?
- Entspricht das Produkt dem Kundenbedarf besser als Mitbewerberprodukte?
- Ist seine Qualität hoch?
- Löst es Probleme, die Kunden mit Mitbewerberprodukten haben?
- Senkt es die Kosten der Kunden?
- Ist es innovativ und neuartig?

Ziel sollte es sein, möglichst viele dieser Fragen für das eigene Innovationsprojekt mit "Ja" zu beantworten, dann ergibt sich in beinahe allen untersuchten Fällen auch ein Markterfolg. In diesem Zusammenhang soll auch auf den Begriff der Unique Selling Proposition (USP) hingewiesen werden. Darunter versteht man ein einzigartiges Verkaufsversprechen, einen strategischen Wettbewerbsvorteil welchen das eigene Produkt gegenüber anderen aufweist. Heutzutage ist es immer schwieriger, als Unternehmung eine solche Position mit seinen Produkten einzunehmen, da praktisch alle Märkte dicht besetzt sind⁴³. Wird dennoch eine USP erreicht, hat man einen entscheidenden Vorteil.

2. Marktorientierung

Ein grundsätzliches Verständnis der Kundenwünsche und –bedürfnisse ist unumgänglich, will man mit dem Produkt am Markt erfolgreich sein. Es muss sichergestellt werden, dass der Kunde und dessen Bedürfnisse richtig verstanden werden, bevor man sich an die Lösung dieser macht. Dazu ist es notwendig, sich folgender Themen anzunehmen.⁴⁴

- *„Erkennen von Bedürfnissen*
- *Verstehen der Nutzerbedürfnisse*
- *Beständiger Kundenkontakt*
- *Ausgeprägtes Wissen über den Markt und Marktforschung*
- *Qualität, mit der das Marketing durchgeführt wird*
- *Höherer Aufwand für das Marketing im Vorfeld der Entwicklung“*

Keinesfalls sollte diese Marktorientierung mit Ende der Vorfeldaufgaben beendet werden. Es ist intensiver Kontakt zum Markt und zu den Kunden zu halten, auch während

⁴³ Vgl. Pepels (2004), S. 103

⁴⁴ Vgl. Cooper (2010), S. 90

der Entwicklungsphase von Prototypen und der Realisierungsphase. Nur dadurch kann sichergestellt werden, dass das Produkt nicht am Markt vorbeientwickelt wird.

3. Internationale Ausrichtung des Produkts

Die internationale Ausrichtung bei Entwicklung und Zielmarketing bedeutet ebenfalls einen entscheidenden Vorteil am Weg zu einer erfolgreichen Innovation. Dazu gilt es einen „*transnationalen Neuheiten - Prozess*“ zu installieren, welcher folgende Aktivitäten beinhaltet:⁴⁵

- Internationale Suche nach Ideen für neue Produkte
- Globale Entscheidungsträger über Projektfortführung oder –abbruch
- Globale Kriterien für Projektfortführung oder –abbruch
- Internationale Projektteams
- Internationaler Kundenkontakt

4. Gewissenhaftigkeit bei Hausaufgaben

Je genauer und sorgfältiger die Aufgaben im Vorfeld der Innovation durchgeführt werden, desto einfacher wird auch die Beurteilung des Erfolgs des Innovationsprojekts im Vorfeld und somit die Entscheidung über die Fortführung oder den Abbruch des Projekts. Aktivitäten wie anfängliche Auswahl, Analyse und Definition des Produkts sollten gewissenhaft durchgeführt werden, um in weiterer Folge Aktionen gezielt setzen zu können.⁴⁶

5. Frühzeitige Produktdefinition

„*Gut definierte Produkte haben mehr als drei Mal so viel Erfolg wie schwächer bestimmte Produkte!*“⁴⁷ Aus dieser Aussage von Cooper ergibt sich die Wichtigkeit dieses Erfolgsfaktors. Im Rahmen der Hausaufgaben ist ganz besonders darauf zu achten, dass es zu einer klaren Definition des Produktes kommt. Diese Definition sollte laut Cooper folgende Punkte enthalten:⁴⁸

- Reichweite des Projekts (Entwicklung eines einzelnen Produkts, einer Produktfamilie, einer Kette von Produkten oder einer Plattform)
- Bestimmung des Zielmarktes
- Produktkonzept (in der Sprache des Kunden beschrieben)

⁴⁵ Vgl. Cooper (2010), S. 92 f

⁴⁶ Vgl. Cooper (2010), S. 94 ff

⁴⁷ Cooper (2010), S. 97

⁴⁸ Vgl. Cooper (2010), S. 97 f

- Gebotene Vorteile für den Kunden
- Positionierungsstrategie
- Produktmerkmale und –eigenschaften

6. Solider Marketingplan

„Selbst das beste Produkt der Welt verkauft sich nicht von selbst!“⁴⁹ Deshalb beschreibt Cooper 3 wichtige Punkte für die Markteinführung und den Marketingplan innovativer Produkte:⁵⁰

1. Entwicklung eines Plans für das Marketing
2. Frühzeitige Entwicklung des Marketingplans
3. Umfangreiche Marktbetrachtungen

7. Struktur, Design und Klima der Organisation

Je besser ein Innovationsvorhaben strukturiert ist und je klarer die einzelnen Zuständigkeiten verteilt sind, umso größer wird auch der Erfolg des neuen Produkts sein. Hinsichtlich Teamzusammensetzung sieht Cooper folgende Ausrichtungen am erfolgversprechendsten:⁵¹

- Balanceausrichtung: Projektmanager teilt Verantwortung und Befugnisse mit funktionalen Managern
- Projektausrichtung: Projektmanager leitet Projekt und besitzt Verantwortung und Befugnisse
- Projektteam: Manager leitet Projektteam bestehend aus Personal der funktionalen Bereiche

Wesentlicher Erfolgsbestandteil ist für Cooper auch das Klima innerhalb einer Unternehmung. In einem innovationsfördernden Umfeld entstehen Ideen und damit verbundene Innovationen um ein vielfaches öfter, als in einem Umfeld, in welchem Mitarbeiter nicht dazu ermutigt werden, ihre Ideen vorzubringen.

8. Unterstützung durch Top Management

Die Unterstützung des Top Managements sollte im Hintergrund stattfinden. Ein aktiver Eingriff der Manager in die internen Angelegenheiten des Projekts führt selten zu einem

⁴⁹ Cooper (2010), S. 100

⁵⁰ Vgl. Cooper (2010), S. 101

⁵¹ Vgl. Cooper (2010), S. 103

Erfolg. Hier geht es darum, im Hintergrund unterstützend Hebel in Bewegung zu setzen.⁵²

9. Zusammenspiel der Kernkompetenzen

Ein weiterer Erfolgsfaktor ist das kraftverstärkende Zusammenspiel von Ressourcen, Wissen und Erfahrung, welche bereits innerhalb der Unternehmung vorhanden sind. Aus den Untersuchungen Coopers geht hervor, dass die Erfolgsrate neuer Produkte im Bereich guter, technologischer Passung und mäßigem bis starkem Marketingzusammenspiel am größten ist. Dadurch kann eine Bewertung von Projekten durchgeführt werden. Anhand von Checklisten wird überprüft, ob eine gute, technologische Passung vorliegt und wie gut das Marketingzusammenspiel ist. Die Erfolgsaussichten sind umso größer, je besser das Zusammenspiel in den einzelnen Funktionen ist.⁵³

10. Attraktivität der Zielmärkte

Marktpotenzial und Wettbewerbssituation sind die Schlagworte dieses Erfolgsfaktors. Die Beschaffenheit des Zielmarktes ist maßgeblich verantwortlich für das Abschneiden eines innovativen Produkts.⁵⁴

11. Harte Kontrolltribunale

Zur erfolgreichen Abwicklung von Innovationsprojekten gehört es auch im richtigen Moment, schwere Entscheidungen zu treffen. Es gilt aussichtslose Projekte abzubrechen und die Ressourcen, welche dadurch frei werden, auf zukunftsreichere Projekte aufzuteilen. Dadurch ist sichergestellt, dass es zu keiner Verschwendung von Mitteln kommt und aussichtsreiche Projekte die nötigen Mittel zugesichert bekommen. Hier ist der Grundsatz Qualität vor Quantität zu befolgen und eine Überprüfung der Projekte in Form von Toren empfehlenswert.⁵⁵

12. Vollständigkeit, Zusammenhang und Ausführungsqualität von Kernaufgaben

Aufgaben müssen sorgfältig und vollständig ausgeführt werden, um auch den entsprechenden Ertrag zu liefern. Sehr häufig kommt es jedoch zu ungenauen Arbeiten bzw. Ergebnissen. Cooper gibt dafür 6 Gründe an:⁵⁶

1. Schlichte Unwissenheit
2. Mangelnde Fähigkeiten

⁵² Vgl. Cooper (2010), S. 105 f

⁵³ Vgl. Cooper (2010), S. 106 ff

⁵⁴ Vgl. Cooper (2010), S. 109 f

⁵⁵ Vgl. Cooper (2010), S. 110 f

⁵⁶ Vgl. Cooper (2010), S. 114 ff

3. Ein fehlerhafter Prozess für neue Produkte
4. Zu großes Selbstvertrauen
5. Kurvenschneiden aufgrund von Zeitmangel
6. Verstopfte Leitungen, also Versickern bzw. Abblocken von Informationen

Führt man sich diese Gründe für schlampiges Arbeiten vor Augen und versucht man in den eigenen Projekten diese Fehler nicht zu begehen, kann man davon ausgehen, dass die Qualität der Arbeiten und Projekte sich deutlich verbessern wird.

13. Zuteilung verfügbarer Mittel an die richtigen Stellen

Erfolgreiche Innovationen haben natürlich auch ihren Preis. Es gilt, die vorhandenen Mittel stets im Auge zu behalten und sie auf die richtigen, das heißt erfolgversprechenden, Innovationsprojekte aufzuteilen. Einsparungen z.B. im Bereich der Hausaufgaben im Vorfeld des Projekts sind Sparmaßnahmen an der falschen Stelle. Ebenso ist es wichtig, nicht zu viele Projekte zu starten, um nicht im Nachhinein das Budget für die einzelnen Innovationsvorhaben kürzen zu müssen bzw. bereits im Vorhinein nur wenig Mittel zur Verfügung stellen zu können.⁵⁷

14. Geschwindigkeit des Innovationsprojekts

Geschwindigkeit bei Innovationen hat sehr viele Vorteile für die Unternehmung. Einerseits wird die Gewinnspanne des Produkts erhöht, da es sich länger am Markt befindet und andererseits sinkt auch die Gefahr, dass sich der Markt und seine Anforderungen bis zum Markteintritt wieder verändert haben. Dennoch sollte dabei nicht auf Qualität der einzelnen Projektschritte zu Gunsten von Schnelligkeit verzichtet werden. Abkürzungen treiben ein Projekt oft in eine Sackgasse. Cooper formuliert 5 Methoden, um auf vernünftige Art und Weise die Zykluszeiten zu verringern:⁵⁸

1. Qualität bei der Ausführung des Projekts – alles bereits beim ersten Mal richtig machen
2. Klare Zielsetzungen – Hausaufgabenbereich und Produktdefinition ernst nehmen
3. Multifunktionsteams für die Projektabwicklung – Mitarbeiter aus verschiedenen Bereichen arbeiten zusammen am Projekt
4. Gleichzeitige, parallele Durchführung von Arbeitsschritten
5. Konzentration der Mittel auf erfolgversprechende Projekte – Besser weniger Projekte, die dafür aber ordentlich

⁵⁷ Vgl. Cooper (2010), S. 117 ff

⁵⁸ Vgl. Cooper (2010), S. 120 ff

15. Gegliederte Prozesse für Innovationsprojekte

Dieser Erfolgsfaktor kann gewissermaßen als Zusammenfassung aller übrigen gesehen werden. Durch die Gliederung des Innovationsprojekts in einen definierten Prozess, werden wichtige Schritte seltener übersehen bzw. Entscheidungen auf Basis richtiger Informationen getroffen. Wenn man z.B. einen Stage Gate Prozess als Grundlage hat, läuft die Unternehmung nicht Gefahr, überhastet zu handeln und die Qualität der Projekte steigt wesentlich.⁵⁹

2.5 Barrieren von Innovationen

Wohinz unterteilt Barrieren von Innovationen in die folgenden Arten.⁶⁰

- Technische Barrieren

Hierzu zählen z.B. ungenügendes Know How, unzureichende technische Einrichtungen oder Schwierigkeiten bei der Realisierbarkeit in bestimmten Anwendungsbereichen von Innovationsvorhaben.

- Ökonomische Barrieren

Ungenügende Kapitalmittel oder sich ändernde Absatzbedingungen zählen ebenso zu den Barrieren.

- Rechtliche Barrieren

Bestehende Normen und Gesetze oder Rechtsvorschriften können ebenfalls erhebliche Barrieren und Probleme verursachen, wenn sie nicht bedacht werden.

- Organisatorische Barrieren

Fehlende Organisation, wie z.B. Projektmanagement, wirkt sich in den meisten Fällen negativ auf den Fortschritt von Innovationsprojekten aus.

- Soziopsychologische Barrieren

Hiermit sind mangelnde Motivation oder die Angst vor Veränderungen gemeint, welche einen erheblichen Anteil am Scheitern vieler Innovationen haben. Soziopsychologische Barrieren werden oft nur ungenau erfasst, spielen jedoch eine sehr große Rolle in vielen Unternehmungen.

⁵⁹ Vgl. Cooper (2010), S. 123 f

⁶⁰ Vgl. Wohinz (2011), Kap. 5, S. 2

3 Grundlagen zu Schienenfahrzeug-Fahrwerken

Um in weiterer Folge zu verstehen, welche Anforderungen ein Diagnosesystem zur Zustandsüberwachung von Schienenfahrzeug-Fahrwerken zu erfüllen hat, gibt dieses Kapitel einen kurzen Überblick über diese Baugruppe.

3.1 Beschreibung eines Fahrwerks

Schienenfahrzeuge sind spurgeführte Fahrzeuge, welche über die Räder am Drehgestell sicher auf Schienen geführt werden. Dabei stellt das Fahrwerk den Kontakt zwischen Schiene und dem Wagenkasten, also der Fahrgastkabine, her und ist somit vor allem bei hohen Geschwindigkeiten eine sicherheitskritische Baugruppe im Gesamtsystem Schienenfahrzeug. Der Fahrkomfort, welchen ein Fahrgast von einem Schienenfahrzeug erwartet, wird sehr stark vom Fahrwerk beeinflusst. Wesentliche Aufgaben des Fahrwerks sind das sichere Führen des Schienenfahrzeugs in den Schienen, die Übertragung von Brems- und Beschleunigungskräften vom Motor auf die Schiene, die Dämpfung und Federung von Stößen und das Ausgleichen von Neigungen des Schienenfahrzeugs in Kurven. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Trieb- und Laufdrehgestell. Das Triebdrehgestell wird durch Antriebsmotoren angetrieben, während das Laufdrehgestell ohne Motor nur zur Übertragung von Bremskräften und zur Stützung des Wagenkastens dient.

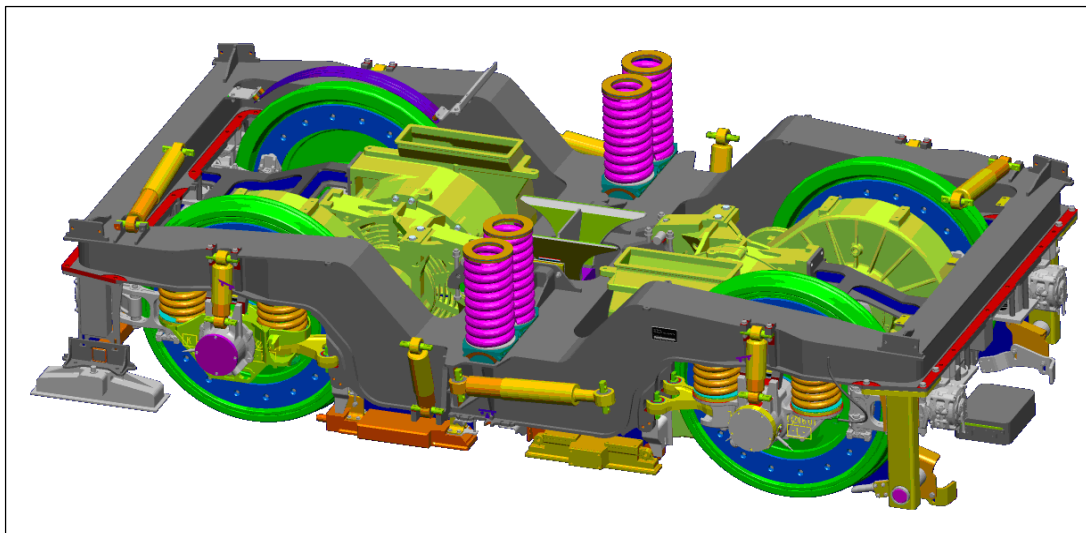


Abbildung 10: 3D Darstellung eines SF4 Fahrwerks⁶¹

⁶¹ Siemens interne Konstruktionsunterlagen; Oktober 2011

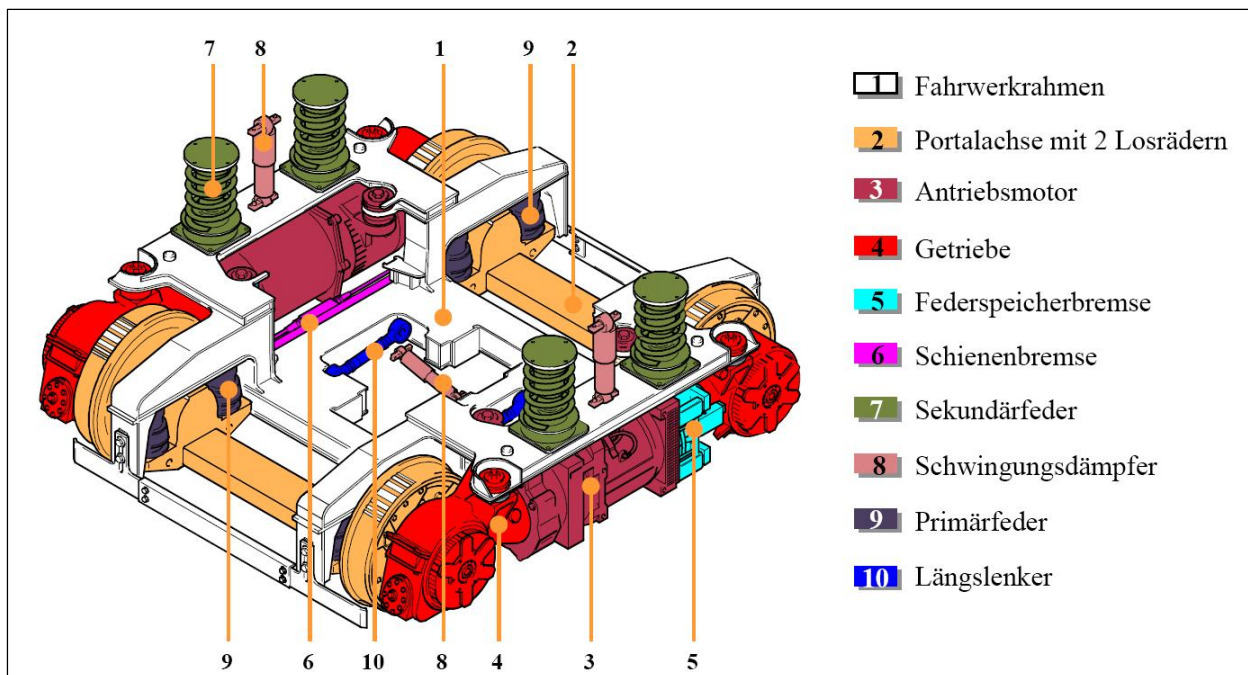


Abbildung 11: Skizze des Aufbaus eines Fahrwerkes (COMBINO)⁶²

Abbildung 11 zeigt den allgemeinen Aufbau eines Straßenbahn Niederflur Fahrwerks mit den Hauptkomponenten:

- Radsätze einschließlich Radsatzlagerung
- Radsatzführung
- Federung (primär und sekundär)
- Fahrwerkrahmen
- Abstützung und Anlenkung des Fahrzeugkastens
- Antriebseinrichtung
- Bremseinrichtung

Radsätze und Radsatzlagerung

Als Radsatz wird die Radsatzwelle mit den beiden kraftschlüssig darauf angebrachten Rädern (Pressverbund) verstanden. Die Radsatzwelle verfügt weiter über einige Absätze und Sitze, auf denen diverse Anbauten wie die Radsatzlagerung oder der Antriebsmitnehmer angebaut werden. Das Radsatzlager zählt zu den am stärksten beanspruchten Bauteilen am Schienenfahrzeug. Es müssen hohe statische Kräfte, welche durch

⁶² Haigermoser (2002), S. 242

das Fahrzeuggewicht verursacht werden, wie auch hohe dynamische Kräfte über einen langen Zeitraum aufgenommen werden. Durch den Umstand, dass Beschleunigungs- und Bremskräfte im Wesentlichen nur über die Räder auf die Schienen übertragen werden und dabei sehr große Massen beschleunigt und abgebremst werden müssen, zählen die Räder zu den verschleißintensivsten Bauteilen am Fahrwerk.⁶³

Radsatzführung

Der Radsatzführung kommt die Aufgabe der sicheren Führung der Radsätze im Drehgestell zu. Dazu existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Ausführungen, auf welche hier nicht näher eingegangen wird⁶⁴.

Federung (primär und sekundär)

Die Primärfeder verbindet den Radsatz mit dem Drehgestellrahmen, während die Sekundärfeder die Verbindung zwischen Rahmen und Wagenkasten herstellt. Aufgaben der Federung des Schienenfahrzeugs sind:⁶⁵

„Übertragung von statischen und quasistatischen Kräften (Gewichtskraft, Fliehkraft)

- *Gewährleistung der Entgleisungssicherheit in Gleisverwindungen*
- *Schutz des Drehgestellrahmens und Fahrzeugkastens vor Fahrbahnstößen und Beschleunigungsspitzen*
- *Schwingungstechnische und akustische Entkopplung des Fahrzeugkastens vom Radsatz*
- *Gewährleistung eines guten Schwingungskomforts“*

Auf die vielen unterschiedlichen Ausführungsvarianten wird im Rahmen dieser Arbeit nicht detailliert eingegangen.

Fahrwerkrahmen

Der Rahmen dient der Verbindung und Montage aller anderen Komponenten und stellt somit ein zentrales Element im Gesamtsystem Fahrwerk dar. Er wird aus Blechen, Abkantprofilen, Guss- und Schmiedeteilen geschweißt. Seine Verwindungssteifigkeit hat signifikanten Einfluss auf die Entgleisungssicherheit des Schienenfahrzeugs. Der Rahmen wird im Laufe des Zulassungsprozesses umfangreichen Simulationen und Tests unterzogen. Dadurch, dass beinahe alle anderen Komponenten des Fahrwerks am Rahmen angebracht sind, werden auch deren Schwingungen auf ihn übertragen. Da-

⁶³ Vgl. Haigermoser (2002), S. 183ff

⁶⁴ Vgl. Haigermoser (2002), S. 188ff

⁶⁵ Haigermoser (2002), S. 195ff

durch eignet er sich besonders gut zur Anbringung von Sensoren, um diese Schwingungsspektren aufzuzeichnen und zur Diagnose zu verwenden⁶⁶.

Abstützung und Anlenkung des Fahrzeugkastens

Darunter wird die Aufnahme der vertikalen und horizontalen Kräfte des Fahrzeugkastens verstanden. Ebenfalls muss die Abstützung die Ausdrehung des Drehgestells und eventuelle Längs- und Querverschiebungen ermöglichen. Dies wird z.B. über Drehzapfen oder Drehpfannen bewerkstelligt⁶⁷.

Antriebseinrichtung

Der Antrieb von Schienenfahrzeugen erfolgt heutzutage entweder über Elektromotoren oder in bestimmten Anwendungsfällen durch Dieselmotoren. Elektromotoren haben dabei den Vorteil, auch als Bremse im generatorischen Betrieb eingesetzt werden zu können und dadurch die übrigen Bremseinrichtungen zu schonen.

Bremseinrichtung

Die Grundsätzliche Aufgabe der Bremseinrichtung ist die Umwandlung der kinetischen oder potentiellen Energie. Im Detail umfasst dies die Aufgaben:⁶⁸

- „Geschwindigkeit in gewollten Grenzen halten - Betriebsbremsung
- Gefahren abwenden - Schnellbremsung, Notbremsung, Zwangsbremsung
- Gegen Abrollen sichern – Feststellbremse“

Um diese Aufgaben zu erfüllen, gibt es grundsätzlich zwei Ausführungsmöglichkeiten. Erstens, eine Übertragung der Bremskräfte zwischen Rad und Schiene, z.B. durch Klotzbremsen, Scheibenbremsen oder die generatorische Bremse. Zweitens die Übertragung der Bremskräfte unabhängig vom Rad-Schiene-Kontakt mittels Magnetschienenbremse oder Wirbelstrombremse. Oft werden bei Schienenfahrzeugen beide Systeme verbaut. Vom Gesetzgeber gibt es eine Reihe von Auflagen, welche das Bremsystem eines Zuges erfüllen muss. Darum werden viele Systeme redundant ausgeführt⁶⁹.

Auf eine genauere Beschreibung der Bauteile und Funktionen des Fahrwerks wird an dieser Stelle verzichtet.

⁶⁶ Vgl. Haigermoser (2002), S. 204ff

⁶⁷ Vgl. Haigermoser (2002), S. 206ff

⁶⁸ Haigermoser (2002), S. 58

⁶⁹ Vgl. Haigermoser (2002), S. 58ff

3.2 Klassifizierung von Fahrwerken

Im Folgenden wird eine Unterteilung der Fahrwerke in Anlehnung an die „Technical Specification for Interoperability⁷⁰“, kurz TSI, getroffen. Diese sieht eine Einteilung in 2 Klassen, je nach eingesetztem Geschwindigkeitsbereich der Fahrwerke vor. Klasse 1 Fahrwerke haben eine erlaubte Höchstgeschwindigkeit von mehr als 250 km/h, Klasse 2 Fahrwerke von mindestens 190 km/h, höchstens jedoch 250 km/h. Für diese Fahrwerke ist laut TSI Überwachung notwendig. Eine Abgrenzung der Begriffe Überwachung und Diagnose folgt weiter unten. Zusätzlich werden in dieser Arbeit die Gruppen Lok-Fahrwerke und Metro-Fahrwerke unterschieden.

3.2.1 Metro Fahrwerke

Metro Fahrwerke sind für niedrigere Geschwindigkeiten konzipiert. Dadurch entfallen im Vergleich zu High Speed Fahrwerken einige Bauteile wie z.B. der Schlingerdämpfer. Das SF 1000 HS ist für Betriebsgeschwindigkeiten von 80 km/h und Radsatzlasten von 11,5 t ausgelegt worden. Es hat eine Eigenmasse von 6,4 t in der Ausführung als Triebdrehgestell, also als angetriebenes Fahrwerk mit Motor und Getriebe und eine Dauerleistung pro Radsatz von 160 kW. Als Referenz ist die U-Bahn Wien zu nennen, bei welcher dieses Fahrwerk schon seit mehreren Jahren eingesetzt wird.



Abbildung 12: Siemens Metro Fahrwerk SF 1000 HS⁷¹

⁷⁰ Siehe dazu: Amtsblatt der Europäischen Union, 21.02.2008

⁷¹ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 15.11.2011

Technische Daten	
Fahrwerk	SF 1000 HS
Ausführungen	Triebdrehgestell, Laufdrehgestell
Betriebsgeschwindigkeit	80 km/h
Radsatzlast	11,5 t
Dauerleistung pro Radsatz	160 kW
Radsatzstand	2000 mm
Spurweite	1435 mm
Raddurchmesser neu / abgenutzt	840 / 760 mm
Minimaler Bogenradius Betrieb / Werkstatt	100 / 50 m
Masse	6,4 / 4,4 t
Höhe Anschluss zum Wagenkasten	787 mm
Sekundäre Längskräfteübertragung	Drehzapfen
Antrieb	vollgefedert
Mechanische Bremse Triebdrehgestell	1 Wellenscheibenbremse pro Radsatz
Mechanische Bremse Laufdrehgestell	2 Wellenscheibenbremsen pro Radsatz

Abbildung 13: Technische Daten SF 1000 HS⁷²

3.2.2 Regionaltriebzug-Fahrwerke

Regionaltriebzug - Fahrwerke werden in unterschiedlichen Ausführungen für Geschwindigkeiten bis zu 200 km/h angeboten. Für diese Arbeit wird die Grenze der max. Geschwindigkeit dieser Fahrwerke jedoch mit 190 km/h festgelegt, um damit eine Übereinstimmung mit der TSI zu erlangen. Das SF 5000 Fahrwerk ist für Radsatzlasten von 18,5 t ausgelegt und hat eine Eigenmasse von 8,2 t als Triebdrehgestell. Bei diesem Fahrwerk werden bereits Wankstabilisatoren und Schlingerdämpfer eingesetzt, um den Fahrkomfort auch bei höheren Geschwindigkeiten zu gewährleisten.



Abbildung 14: Siemens Regionaltriebzug - Fahrwerk SF 5000⁷³

⁷² Siemens (2011f), Zugriffsdatum 15.11.2011

⁷³ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 25.10.2011

Technische Daten	
Fahrwerksbezeichnungen	SF 5000 E TDG und SF 5000 LDG
Ausführungen	Triebdrehgestell, Laufdrehgestell
Betriebsgeschwindigkeit	bis 200 km/h
Radsatzlast	max. 18,5 t
Dauerleistung pro Radsatz (TDG)	250 kW
Maximale Anfahrzugkraft pro Radsatz (TDG)	30 kN
Radsatzstand	2600 mm
Spurweite	1435 / 1600 mm
Raddurchmesser neu / abgenutzt	850 / 770 mm
Minimaler Bogenradius Betrieb / Werkstatt	150 / 100 m
Höhe Anschluss zum Wagenkasten (mit Traverse)	ca. 915 mm
Masse Triebdrehgestell (ohne Optionen)	
TDG / LDG	ca. 8,2 / 5,8 t
Masse Traverse (Option)	ca. 980 kg

Abbildung 15: Technische Daten SF 5000⁷⁴

3.2.3 High Speed Fahrwerke

Besonderen Belastungen sind Fahrwerke in Hochgeschwindigkeitszügen ausgesetzt. Durch die hohen Geschwindigkeiten von bis zu 350 km/h und mehr entstehen starke Schwingungen am Drehgestell. Dadurch kommt der Auslegung von Rahmen, Dämpfern und Federn eine sehr große Bedeutung zu. Als Hochgeschwindigkeitsfahrwerk im Rahmen dieser Arbeit wird jedes Drehgestell mit Betriebsgeschwindigkeiten > 190 km/h verstanden. Die SF 500 Fahrwerke schaffen Radsatzlasten von bis zu 17 t bei einer Eigenmasse von 9,2 t.



Abbildung 16: Siemens High Speed Fahrwerk SF 500⁷⁵

⁷⁴ Siemens (2011f) Zugriffsdatum 25.10.2011

⁷⁵ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 25.10.2011

Technische Daten	
Fahrwerk	SF 500 TDG und SF 500 LDG
Ausführungen	Trieb- und Laufdrehgestell
Betriebsgeschwindigkeit	bis 350 km/h
Radsatzlast	max. 17 t
Dauerleistung pro Radsatz	bis 500 kW
Maximale Anfahrzugkraft pro Radsatz	19 kN
Radsatzstand	2500 mm
Spurweite	1435 mm
Raddurchmesser neu / abgenutzt	920 / 830 mm
Minimaler Bogenradius Betrieb / Werkstatt	150 / 120 m
Höhe Anschluss zum Wagenkasten	1045 mm
Masse mit Drehzapfen und Traverse TDG / LDG	9,2 / 7,5 t

Abbildung 17: Technische Daten SF 500⁷⁶

3.2.4 Lokomotiven Fahrwerke

Lokomotiven Fahrwerke sind sehr stark beanspruchte Baugruppen. Sie müssen sehr große Massen beschleunigen, wodurch es zu enormen Kräfteeinwirkungen kommt. Das SF1 Fahrwerk ist ein Hochleistungsfahrwerk mit einer Dauerleistung von 1,6 MW pro Radsatz. Mit diesem Drehgestell wurde auch der Geschwindigkeitsweltrekord von Lokomotiven am 2. September 2006 zwischen Ingolstadt und Nürnberg mit 357,7 km/h aufgestellt.

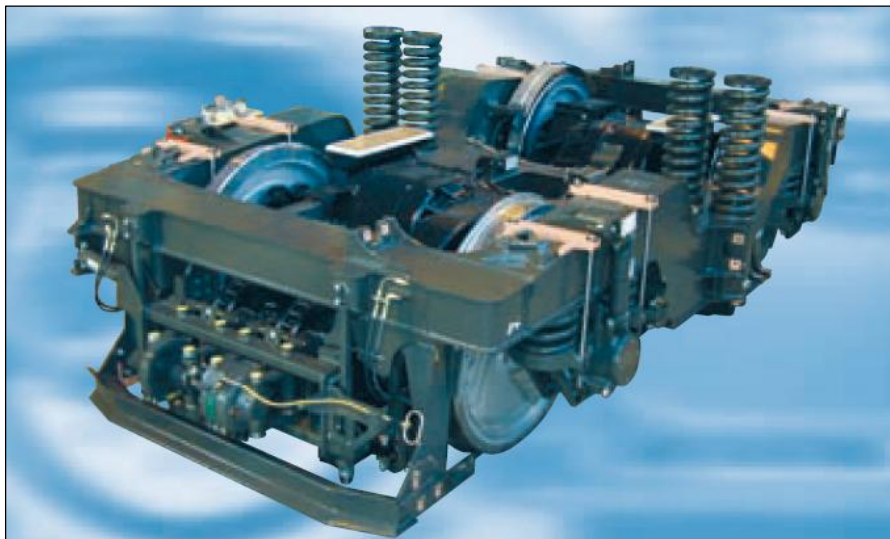


Abbildung 18: Siemens Lokomotiven Fahrwerk SF1⁷⁷

⁷⁶ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 25.10.2011

⁷⁷ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 25.10.2011

Technische Daten	
Fahrwerk	SF 1
Betriebsgeschwindigkeit	230 km/h
Radsatzlast	21,5 t
Dauerleistung pro Radsatz	1600 kW
Maximale Anfahrzugkraft pro Radsatz	75 kN
Radsatzstand	3000 mm
Spurweite	1435 mm
Raddurchmesser neu / abgenutzt	1150 / 1070 mm
Minimaler Bogenradius	120 m
Masse	ca. 18 t
Sekundäre Längskraftübertragung	Drehzapfen
Antrieb	HAB (Hochleistungsantrieb mit Bremswelle)
Mechanische Bremse	Wellenbremsscheiben auf separater Bremswelle

Abbildung 19: Technische Daten SF1⁷⁸

⁷⁸ Siemens (2011f), Zugriffsdatum 25.10.2011

4 Grundlagen zur Instandhaltung

Im Schienenfahrzeugbereich, bei welchem es um die sichere Beförderung von Menschen geht, ist zu gewährleisten, dass diese Sicherheit auch vorhanden ist. Dadurch kommt der Instandhaltung eine besondere Bedeutung zu und der Aufwand welcher für Instandhaltungsmaßnahmen aufgebracht wird, ist enorm.

Bevor jedoch auf die Instandhaltung speziell bei Schienenfahrzeugen eingegangen wird, erfolgt ein kurzer theoretischer Abriss zur Definition von Instandhaltung und der Darstellung der unterschiedlichen Formen.

4.1 Instandhaltung Allgemein

Nach DIN 31051 umfasst die Instandhaltung alle „Maßnahmen zur *Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes* sowie zur *Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes von technischen Mitteln eines Systems*“. Ferner werden diese Maßnahmen in die folgenden vier Arten gegliedert:⁷⁹

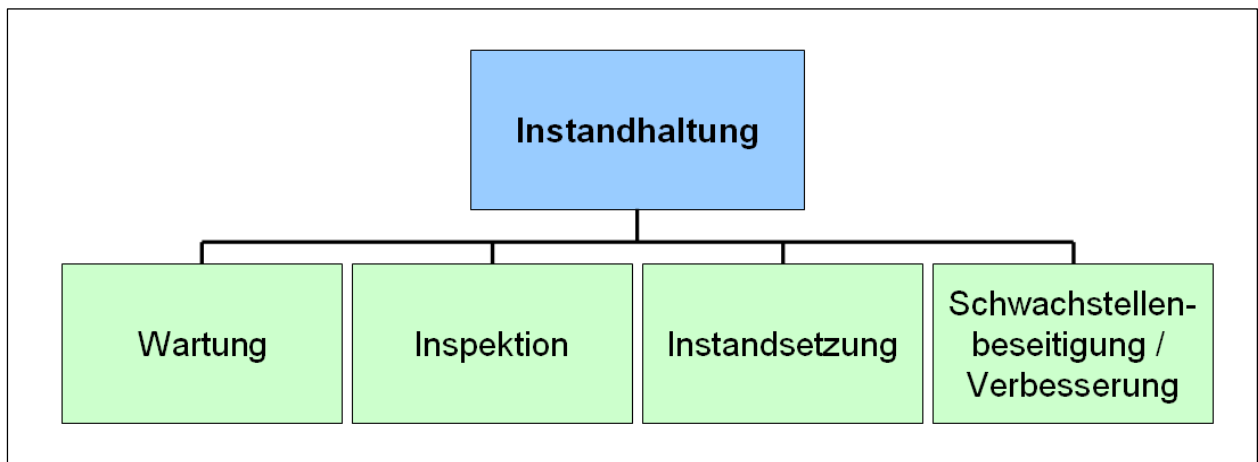


Abbildung 20: Gliederung der Instandhaltung⁸⁰

1.) **Wartung**⁸¹

„Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats“

⁷⁹ DIN 31051: 10.2001

⁸⁰ DIN 31051: 10.2001

⁸¹ DIN 31051: 10.2001

2.) Inspektion⁸²

„Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursache der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung“

3.) Instandsetzung⁸³

„Maßnahmen zur Erstellung der geforderten Abnutzungsvorräte einer Betrachtungseinheit ohne technische Verbesserung“

4.) Schwachstellenbeseitigung / Verbesserung⁸⁴

„Maßnahmen zur technischen Verbesserung einer Betrachtungseinheit in der Weise, dass das Erreichen einer festgelegten Abnutzungsgrenze nur noch mit einer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist, die im Rahmen der geforderten Verfügbarkeit liegt“

4.2 Instandhaltungsstrategien

Weiters gibt es unterschiedliche Instandhaltungsstrategien, um die Funktionalität von technischen Geräten zu gewährleisten.

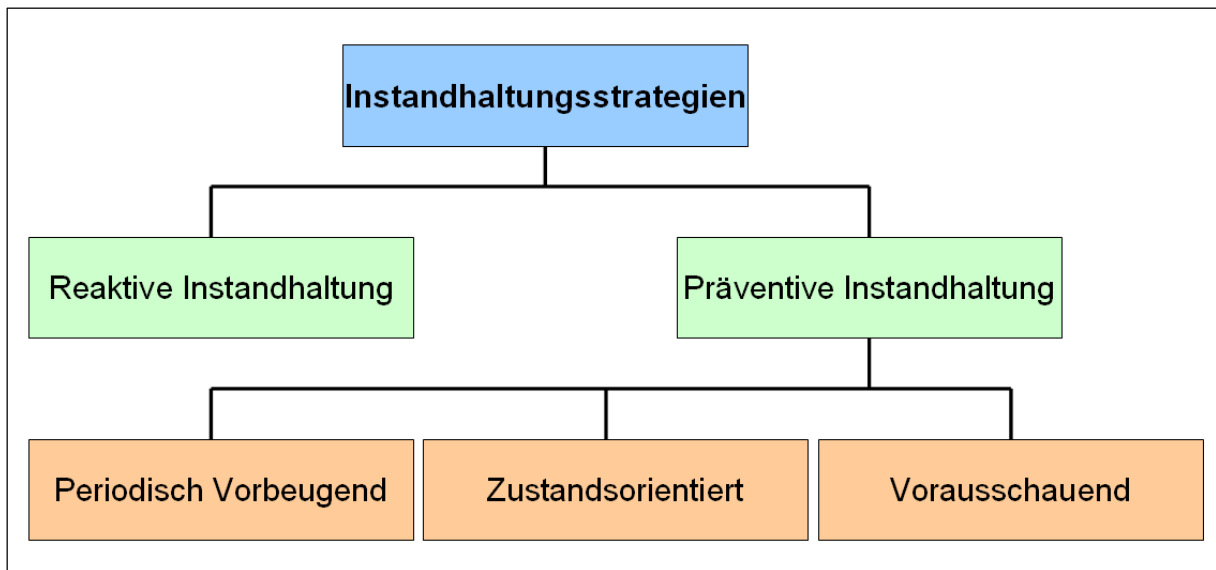


Abbildung 21: Unterschiedliche Instandhaltungsstrategien⁸⁵

⁸² DIN 31051: 10.2001

⁸³ DIN 31051: 10.2001

⁸⁴ DIN 31051: 10.2001

⁸⁵ Schenk (2010), S. 27

Reaktive Instandhaltung

Bei der reaktiven Instandhaltungsstrategie wird auf vorbeugende Maßnahmen bewusst verzichtet. Hierbei wird die Maschine oder die Anlage so lange betrieben, bis sie ausfällt und in der Folge wieder repariert und instandgesetzt werden muss. Dieses Vorgehen ist problematisch, da es bei vielen Maschinen bei übermäßigem Verschleiß zu einem gefährdenden Betriebsverhalten kommen kann. Aus wirtschaftlicher Sicht spart man sich zwar die laufenden Aufwendungen für die Instandhaltung, dafür ist nach einem Ausfall bei der Anwendung der reaktiven Instandhaltungsstrategie die Ausfallzeit bedeutend höher, was umso höhere Kosten nach sich zieht. Somit sollte diese Instandhaltungsstrategie nur auf Anlagen angewendet werden, welche in der Unternehmung eine untergeordnete Rolle spielen und deren Ausfall nicht zu Beeinträchtigung der Sicherheit und zu Produktionsausfällen führt⁸⁶.

Präventiv periodisch vorbeugende Instandhaltung

Hierbei erfolgen die Instandhaltungsmaßnahmen, unabhängig vom Zustand der jeweiligen Anlage, nach bestimmten Nutzungsintervallen. Dabei ist das Ausfallrisiko erheblich geringer als bei der reaktiven Instandhaltung.

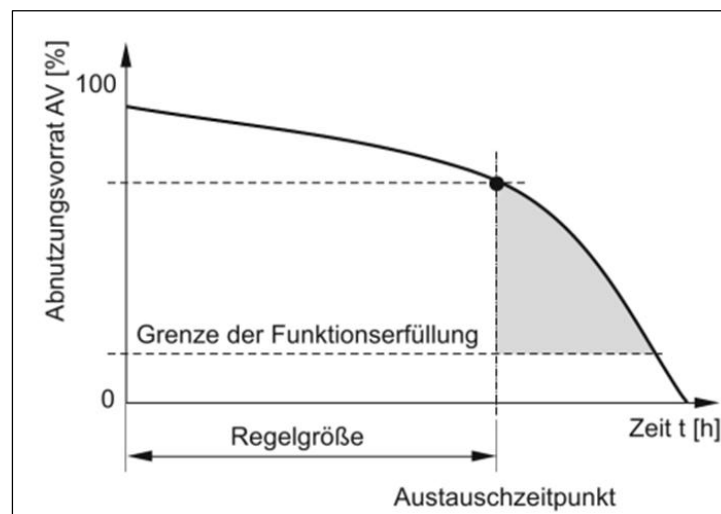


Abbildung 22: Präventiv periodisch vorbeugende Instandhaltung⁸⁷

Durch diese Instandhaltungsstrategie ist es bereits möglich, Verfügbarkeitsgarantien abzugeben. Die Herausforderung liegt jedoch in der Festlegung der Intervalle. Legt man das Intervall zu kurz fest, dann werden zu viele noch funktionstüchtige Bauteile

⁸⁶ Vgl. Schenk (2010), S. 27f

⁸⁷ Schenk (2010), S. 29

getauscht. Wird es zu spät festgesetzt steigt die Gefahr, dass es zu einem Ausfall der Maschine kommt⁸⁸.

Präventiv zustandsabhängige Instandhaltung

Durch die aktive „Beobachtung“ des Zustandes einer Anlage oder Maschine gelingt es, die Lebensdauer des jeweiligen Bauteils maximal auszunutzen. Keine funktionstüchtigen Bauteile werden getauscht, es kommt nur zu Instandhaltungsmaßnahmen wenn es der Zustand der Anlage erfordert. Dabei muss jedoch der Zustand laufend entweder durch den Menschen, in Form von Inspektionen manuell, oder durch eine entsprechende Diagnoseeinrichtung erhoben werden.

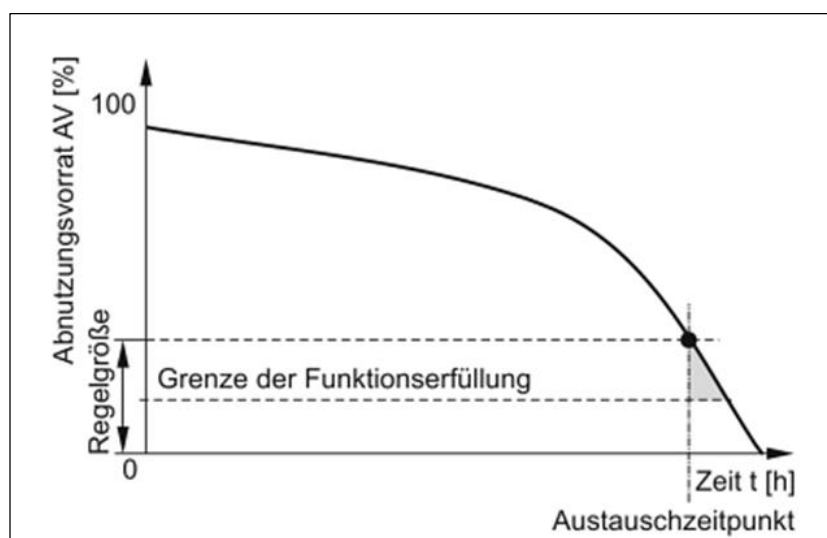


Abbildung 23: Präventiv zustandsabhängige Instandhaltung⁸⁹

Ziel bei der zustandsabhängigen Instandhaltung ist es, mit so wenig Aufwand in Mannstunden und Komplexität einer Einrichtung (Diagnosesystem) wie möglich auszukommen. Einerseits um die Kosten für ein solches Instandhaltungssystem niedrig zu halten und andererseits um nicht zusätzliche Fehlerquellen in das System einzubringen. Angewendet werden kann die zustandsorientierte Instandhaltung überall dort, wo sich der Verschleiß- bzw. Alterungs- und Ermüdungsfortschritt gut durch Erfassen messtechnischer Größen (Schwingung, Temperatur) bestimmen lässt⁹⁰.

⁸⁸ Vgl. Schenk (2010), S.28ff

⁸⁹ Schenk (2010), S. 30

⁹⁰ Vgl. Schenk (2010), S. 30f

Präventiv vorausschauende Instandhaltung

Hierbei handelt es sich um die Weiterentwicklung der zustandsabhängigen Instandhaltung. Das Ziel ist, bereits entstehende, potentielle Störungen zu erfassen und deren Vergrößerung gezielt zu verhindern⁹¹.

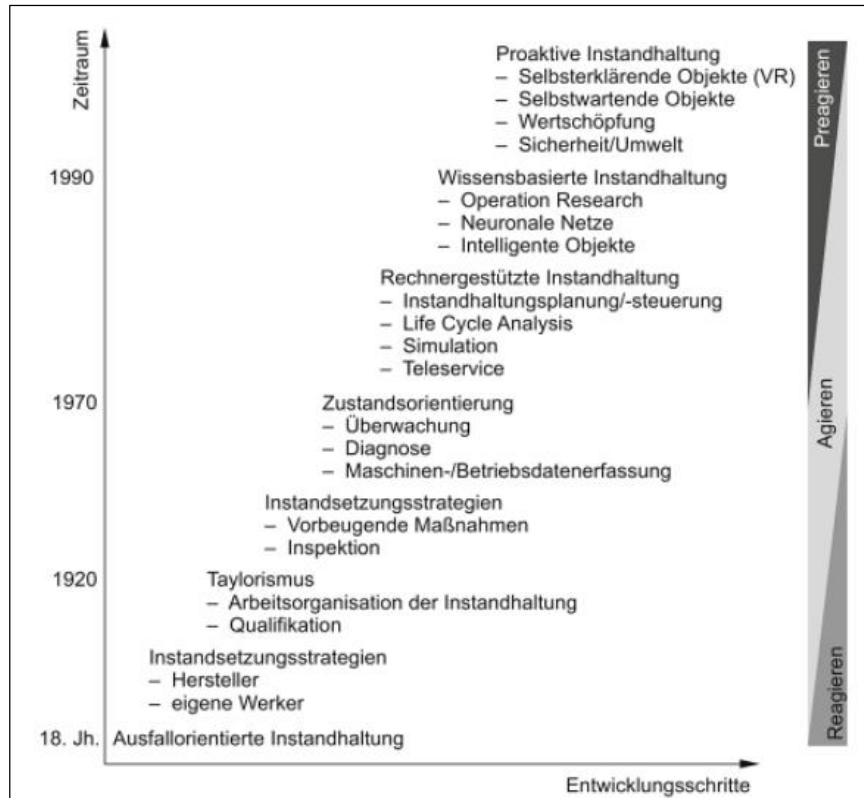


Abbildung 24: Geschichtliche Entwicklung der Instandhaltung⁹²

Abbildung 24 zeigt die zeitliche Entwicklung der Instandhaltungsformen. Beginnend im 18. Jhd. mit der ausfallorientierten Instandhaltung über die zustandsorientierte Instandhaltung in den 70er Jahren bis zur proaktiven Instandhaltung, welche heute bereits in einigen Bereichen der Industrie eingesetzt wird. Dabei gehen die Strategien für die Instandhaltung vom Reagieren und dem Agieren in Richtung Preagieren über.

Die Auswahl der richtigen Instandhaltungsstrategie sollte wohl überlegt sein. Matyas definiert dazu 5 Grundfragen, welche die Entscheidung für eine Strategie erleichtern sollen.⁹³

⁹¹ Vgl. Schenk (2010), S. 31ff

⁹² Schenk (2010), S. 2

⁹³ Matyas (2008), S. 133

1. *"Welche Funktionen und damit verbundenen Leistungsnormen erfüllt die Maschine unter Berücksichtigung der momentanen Betriebsbedingungen?"*
2. *Welche Fehlerarten mit welchen Fehlerursachen können auftreten?"*
3. *Welche Folgen und Auswirkungen haben die Fehler?"*
4. *Wie kann man den Fehlern vorbeugen?"*
5. *Was ist zu unternehmen, wenn keine annehmbare vorbeugende Lösung gefunden werden kann?"*

Durch die Beantwortung dieser 5 Grundfragen sollte es für den Einzelfall möglich sein, die optimale Instandhaltungsstrategie zu wählen, um dadurch Gesamtkostenminimierung, und Zuverlässigkeits- und Sicherheitsmaximierung zu erreichen.

4.3 Derzeitige Instandhaltung von Drehgestellen

Die Instandhaltungsstrategie, welche zurzeit von den meisten Schienenfahrzeugbetreibern angewendet wird, ist die fristenorientierte. Dabei werden alle Verschleißteile nach einer festgelegten Zeit, Laufleistung oder Anzahl an Betriebsstunden erneuert. Bei dieser Art von präventiver Instandhaltung spielt der tatsächliche Verschleißzustand der Komponente keine Rolle, sodass Komponenten erneuert werden, welche vielleicht noch hätten weiter verwendet werden können. Derzeit ist im Bereich der Metro Fahrwerke ein Hauptuntersuchungsintervall von max. 900.000 km oder spätestens 6 Jahren vorgeschrieben, wobei es Bestrebungen gibt, dieses Intervall durch Diagnose auf max. 1.500.000 km oder spätestens 10 Jahre auszuweiten und sich dadurch 2 Hauptuntersuchungen im Lebenszyklus des Fahrzeugs zu ersparen.

Nach einer solchen Hauptuntersuchung ist das Fahrzeug wieder als „neuwertig“ zu betrachten. Das heißt es ist auch mit Verfügbarkeitseinbußen zu rechnen, da sich das gesamte System erst wieder aufeinander einstellen muss. Es sind einzelne Fälle im Metro Bereich bekannt, bei denen die Betreiber keine Hauptuntersuchung durchführen. Das Drehgestell wird so lange im Betrieb gehalten, bis ein Teil ausfällt. Dieser wird dann korrektiv getauscht. Durch die Unsicherheit über den Zustand der Komponenten kann es zu ungeplanten Stillständen und Ausfällen kommen, welche durch Diagnose verhindert werden können.

Grundsätzlich belaufen sich die Instandhaltungskosten des Fahrwerks über den gesamten Lebenszyklus derzeit auf das rund 1,5 bis 2 fache gegenüber den Anschaffungskosten. Durch dieses Verhältnis und das ständige Bestreben die Lebenszyklus-Kosten zu senken, vermutet man durch Optimierung der Instandhaltungsstrategie einen großen Hebel.

4.4 Vision für die Instandhaltung von Drehgestellen

Die Vision, welche zum Thema Instandhaltungsstrategie am Standort in Graz Eggenberg verfolgt wird, ist jene der zustandsorientierten Instandhaltung mit Hilfe eines Diagnosesystems. Der Zustand der Fahrwerke soll laufend beobachtet werden. Bei einem sich anbahnenden Schaden werden Handlungsempfehlungen aus den Diagnose - Daten des Fahrwerks abgeleitet. Unter „Zustand“ wird im Falle des Fahrwerks die Funktionsfähigkeit oder Betriebsfähigkeit verstanden.

Ein wesentlicher Nutzen dieser Instandhaltungsform ergibt sich im Fall von Schienenfahrzeugfahrwerken aus einer Streckung der regelmäßigen Laufwerkskontrollen bzw. Hauptuntersuchungsintervalle. Derzeit wird davon ausgegangen, dass bis zu 2 Hauptuntersuchungen auf den gesamten Lebenszyklus eingespart werden können. Ebenfalls wird durch Diagnose die Verfügbarkeit des Schienenfahrzeugs erhöht, indem die Anzahl von plötzlichen Fahrwerksausfällen vermindert bzw. auftretende Schäden schon im Vorfall lokalisiert und anschließend rasch behoben werden können.

Die Vision ist es, ein Diagnosecenter aufzubauen, in welchem alle relevanten Daten zusammenlaufen und die Auswertung dieser erfolgt. Anschließend sollen von Graz aus Instandhaltungsempfehlungen über das weitere Vorgehen bei einer Verschlechterung des Fahrwerkszustandes getroffen und dem Schienenfahrzeugbetreiber mitgeteilt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein Wechsel von präventiver Instandhaltung zur zustandsorientierten Instandhaltung mit vielen Vorteilen verbunden ist. Um den Forderungen von Kunden, die Lebenszykluskosten zu senken nachzukommen, ist die zustandsorientierte Instandhaltungsform sehr gut geeignet und wird seitens Siemens mit großem Aufwand angestrebt. Dazu ist in den letzten Jahren der Begriff FDÜ, Fahrwerks **D**iagnose und **Ü**berwachung, entstanden.

4.5 FDÜ – Fahrwerks Diagnose und Überwachung

An dieser Stelle erfolgt die Abgrenzung der Begrifflichkeiten „Diagnose“ und „Überwachung“, da beide Begriffe unterschiedlich aufzufassen sind und häufig vertauscht werden.

4.5.1 Diagnose

Darunter wird die Feststellung des Gesamtzustandes des Fahrwerks verstanden. Ziel der Diagnose ist es, Aussagen in Form von Kennwerten zur Verfügung zu stellen, welche den Zustand oder das Verhalten von Komponenten beschreiben. Diese Informationen sollen in einem geeigneten Instandhaltungskonzept die zustandsorientierte Instandhaltung ermöglichen und somit die Instandhaltungskosten senken. Es werden keine sicherheitsrelevanten Funktionen diagnostiziert und die Ausgabe der Diagnosemeldungen werden in der Regel nicht an den Fahrer abgegeben. Es erfolgt ebenfalls kein Eingriff in den Fahrbetrieb aufgrund des Diagnosesystems und es besteht kein Echtzeitkriterium an die erfassten Daten. Es dient rein Instandhaltungsrelevanten Zwecken.

"Nebeneffekte" der Diagnose, wie z.B. das Trackmonitoring, bei welchem der Zustand der Strecke und des gesamten Schienennetzes überwacht werden kann, oder das Fahrermonitoring, welches für gezielte Schulungsmaßnahmen verwendet werden könnte, sind nur schwer monetär zu bewerten. Für die Entscheidung des Kunden für oder gegen die Anschaffung eines Diagnosesystems spielen diese Funktionen jedoch sicherlich eine Rolle. Dabei ist jedes Angebot auf den jeweiligen Kunden abzustimmen und das Diagnosesystem mit entsprechenden Funktionalitäten auszustatten.

4.5.2 Überwachung

Die Überwachung ist teilweise gesetzlich vorgeschrieben und betrifft sicherheitsrelevante Bauteile und Funktionen des Schienenfahrzeugs. Ziel ist der Schutz von Mensch und Maschine. Die Bedingung dafür kommt aus der Technical Specification for Interoperability (TSI). Diese schreibt eine Überwachung für den Hochgeschwindigkeitsbereich hinsichtlich Heißläufer, Laufstabilität und eine Rollüberwachung vor. Hierbei kommt es zum aktiven Eingreifen der Sicherheitseinrichtungen in den Fahrbetrieb. Durch die Detektion einer Entgleisung kommt es z.B. zum sofortigen Bremsen aller Fahrzeuge, wodurch ein vollständiges Entgleisen des kompletten Schienenfahrzeugs verhindert wird. Wesentlicher Unterschied zur Diagnose ist die Echtzeitanforderung an die Datenverarbeitung.

	Diagnose	Überwachung
Sicherheitsrelevante Funktionen	Nein	Ja
Aktiver Eingriff in Fahrbetrieb	Nein	Ja
Gesetzlich vorgeschrieben	Nein	Ja
Einsatzbereich	Niedrige Geschwindigkeiten (Metro Bereich)	Hohe Geschwindigkeiten (High Speed Trains)
Warnungsausgabe an Fahrer	Nein	Ja
Echtzeitanforderung	Nein	Ja

Tabelle 5: Abgrenzung Diagnose und Überwachung

Durch die Tatsache, dass es nur bei Metro Fahrwerken gesetzlich möglich ist, ein reines Diagnosesystem ohne Überwachung einzubauen, erfolgen die weiteren Betrachtungen in dieser Arbeit ausschließlich für den Metro Bereich. Dadurch soll verhindert werden, ein verzerrtes Bild zu erhalten. Bei High Speed Fahrwerken hat man als Hersteller eine ganz andere Verhandlungsposition, da bei solchen Fahrwerken die Überwachung gesetzlich gefordert ist und auf jeden Fall installiert werden muss. Dieses System kann dann auch zur Diagnose verwendet werden, wodurch sich der Aufwand sozusagen auf Diagnose und Überwachung aufteilt. Gegenstand dieser Arbeit ist das Diagnosesystem, dadurch die Beschränkung auf den Metro Bereich.

Um die Vision für die Instandhaltung von Eisenbahnfahrwerken verwirklichen zu können, ist es vorteilhaft, sich mit bereits am Markt etablierten Systemen auseinanderzusetzen und auch den Wettbewerb näher zu betrachten.

5 IST Analyse

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit bereits am Markt erhältlichen Diagnosesystemen, sowohl von Mitbewerbern als auch von Siemens selbst in anderen Bereichen bereits eingesetzten Diagnoseanwendungen. Ebenfalls werden Kundenanforderungen aus bestehenden Projekten angeführt und die generellen Vorteile für den Kunden durch das Diagnosesystem erläutert.

5.1 Siemens interne Diagnoseanwendungen

Durch die breite Streuung der unterschiedlichen Branchen in welchen der Siemens Konzern tätig ist, gibt es bereits eine Reihe vielversprechender Anwendungen im Diagnosebereich auf welche vereinzelt zurückgegriffen werden könnte. Im Folgenden sind jene Anwendungen aufgeführt, welche die größte Ähnlichkeit mit der Anwendung bei Schienenfahrzeugen haben.

5.1.1 Condition Monitoring bei Winergy

Der Siemens Tochter-Betrieb Winergy bietet Getriebe und Kupplungen für Windkraftanlagen an. Bei dieser Anwendung sind Diagnose - Systeme sehr wichtig, da die Anlagen vor allem im Offshore Bereich sehr oft schwer zu erreichen sind und bei ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen erhebliche Kosten entstehen. Aus diesem Grund hat Winergy in den letzten Jahren ein Condition Monitoring System entwickelt und am Markt etabliert, welches zum Teil die Vorstellungen eines Diagnosesystems für Drehgestelle sehr genau trifft. Hier wird über Schwingungsdetektion der Betriebszustand von Getriebe, Motor und Lagern von Windkraftanlagen diagnostiziert. Durch das System wird dem Kunden ermöglicht, auf Schäden frühzeitig zu reagieren und somit Folgeschäden zu vermeiden. Ebenfalls wird dadurch die Planbarkeit von Reparaturmaßnahmen maximiert. Des Weiteren sind die Systeme, welche Winergy mit einem Diagnosesystem ausstattet, vergleichbar mit Drehgestellen hinsichtlich Mechanik, Belastungen und Preis. Auch werden bei Winergy ähnliche Stückzahlen an Getrieben jährlich produziert wie Fahrwerke am Standort in Graz Eggenberg.

Wesentlicher Bestandteil des Winergy Konzepts ist der Lastwechselsensor. Damit wird der kumulierte Belastungseintrag in die Wind Turbine ermittelt und man kann zu jeder Zeit eine Aussage über die bereits „erlebten“ Belastungen und die verbleibende Restlebensdauer bzw. Zeit bis zur nächsten Revision treffen.

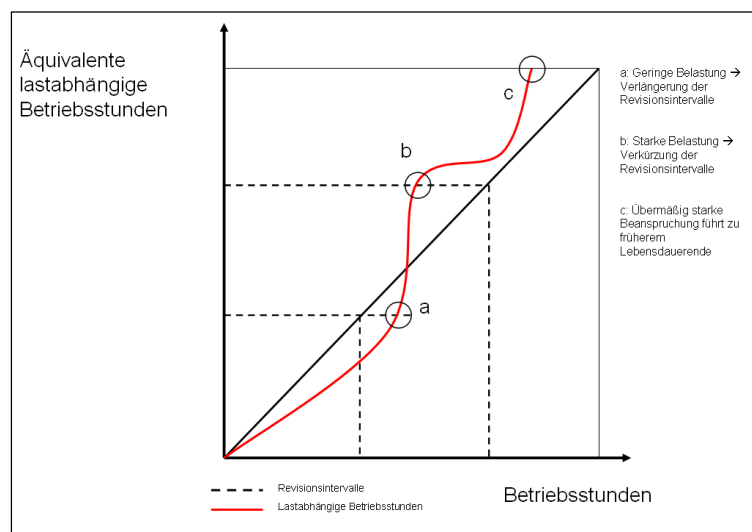


Abbildung 25: Schema des lastabhängigen Betriebsstundenzählung⁹⁴

Die Pilotlösung bei Winergy funktionierte ohne Lastwechsellensensor. Die Windturbine war mit umfangreicher Sensorik ausgestattet und man erstellte mehrmals Trendanalysen auf Basis von Rohdaten in Echtzeit. Dadurch kam es zu erheblichen Datenmengen und durch die lange Bearbeitungszeit und den großen Aufwand wurde diese Variante schnell unwirtschaftlich. Durch den neuen Lastwechsellähler will man eine Art Flugschreiber realisieren. Bei einer detektierten Schwellwertüberschreitung der übrigen Sensoren kommt es zur Absetzung einer Ereignismeldung. Dann kann sich ein Servicetechniker in das System über Internet einwählen und über Auslesen der Daten des Lastwechsellählers entscheiden, welche Handlung durchzuführen ist. Dadurch werden die Datenmengen und der Diagnoseaufwand erheblich verringert und es können einige hundert Windkraftwerke von einem Servicetechniker überwacht werden.

Der Kunde wird mit dem Vorgang der Diagnose überhaupt nicht belastet. Er bekommt nur noch die Handlungsempfehlungen von den Siemens Service Technikern rechtzeitig mitgeteilt und hat dadurch genügend Zeit, um die Instandhaltungsmaßnahmen zu planen.

Übertragbare Technologien auf die Anwendung am Drehgestell wären der Lastwechsellähler, die Datenübertragung und das Datenmanagement, das Diagnosecenter und die zu Grunde liegende IT und das Serviceangebot. Eine Entwicklung eines ähnlichen Lastwechsellählers ist auch seitens Siemens für Schienenfahrzeugfahrwerke angedacht. Dabei könnten sich Vorteile durch die Kooperation mit Winergy ergeben. Durch den Umstand, dass man bei Winergy bereits die zweite Generation des Diagnosesys-

⁹⁴ In Anlehnung an Winergy Service Konzept; Siemens interne Unterlagen; Oktober 2011

tems anbietet und diese sich im Vergleich zur ersten deutlich hinsichtlich Datenhandling (man überträgt nicht mehr alle Daten auf die Landseite) und Serviceangebot (man wählt sich nur bei Bedarf in die Anlage ein) geändert hat, sollte man für die Überlegungen bei Siemens in Graz auch die Gründe für diese Änderungen beachten, nämlich die Unwirtschaftlichkeit einer „zu genauen“ Diagnose auf Grund zu großer Datenmengen.

5.1.2 Diagnose im Healthcare Sektor

Im Healthcare Sektor von Siemens wird ebenfalls seit mehreren Jahren ein Condition Monitoring Service, also Zustandsdiagnose, für die verkauften Magnetresonanz-Automaten und Computer Tomographen angeboten. Dabei kommen Temperatur- und elektrische Spannungsmessungen zum Einsatz. Es werden, je nach Servicevertrag, umfangreiche Trendanalysen durchgeführt und bei Bedarf kann sich der zuständige Siemens Experte Online in das System einwählen und sich einen Überblick über den Zustand verschaffen. Die Sensorik und die zu überwachenden Komponenten sind im Wesentlichen sehr unterschiedlich zum Anwendungsgebiet bei Drehgestellen. Das Service Angebot ist jedoch durchaus interessant. Das Diagnoseservice wird in unterschiedlichen Stufen angeboten. Die erste Stufe umfasst Ereignismeldungen, welche bei Schwellwertüberschreitung an das Siemens Diagnosecenter und die Instandhalter des Kunden abgegeben werden. Das weitere Vorgehen bestimmt die eigene Instandhaltung. Die nächste Stufe umfasst bereits die Ausgabe von Handlungsempfehlungen durch Siemens Experten. Mit der dritten Stufe übernimmt Siemens auch das Ersatzteilmanagement und bei der höchsten Stufe wird dem Kunden eine garantierte Reparaturzeit nach einem Ausfall zugesichert.

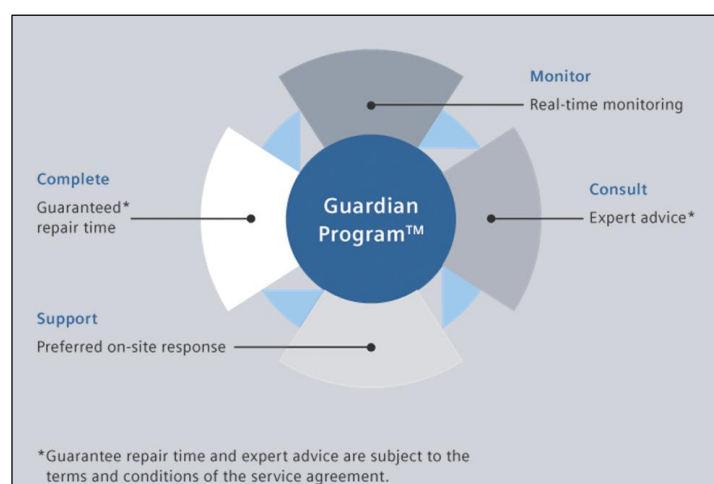


Abbildung 26: Beschreibung der Services zur Diagnose beim Health Care Sektor von Siemens⁹⁵

⁹⁵ Siemens (2011h), Zugriffsdatum 24.10.2011

Die Kundengruppe, welche vom Healthcare Sektor mit ihrem Guardian Programm bedient wird, umfasst Ärzte und Krankenhäuser, welche selbst nicht die Ambitionen haben, sich um die Instandhaltung der Automaten zu kümmern. Eines der Hauptverkaufsargumente für das Guardian System ist die Reduktion von Automatenausfällen, also die Erhöhung der Verfügbarkeit. Dazu hat man in den Broschüren auch Rechenbeispiele angeführt um zu verdeutlichen, welche Kosten entstehen, wenn z.B. ein MR - Automat einen Tag ausfällt. Dabei wird auch auf den Umstand hingewiesen, dass man die Patienten mittels Guardian zufrieden stimmen kann, da ein ungeplanter Ausfall der Automaten nicht mehr so einfach passiert und somit keine unnötigen Wartezeiten entstehen. Dies ließe sich auch auf den Schienenverkehr anwenden, da hier ebenfalls Verspätungen als sehr ärgerlich von den Bahnkunden angesehen werden.

Umgelegt auf die Anwendung bei Schienenfahrzeugen könnte man die Datenübertragung über Siemens Remote Services (SRS), das Diagnosecenter und die Serviceangebote ähnlich ausführen.

5.1.3 Diagnose bei Zementmühlen

Auch bei Zementmühlen, welche großen Belastungen ausgesetzt sind, wird Condition Monitoring durchgeführt. Ein wesentlicher Unterschied zu den Eisenbahndrehgestellen ergibt sich daraus, dass Zementmühlen stationär sind. Dadurch gestaltet sich die Datenübertragung wesentlich einfacher. Zum Einsatz kommen ebenfalls Schwingungssensoren und es werden Getriebe und Lager auf Schädigungen hin beobachtet. Bei Schwellwertüberschreitungen wird hier, ähnlich zur Anwendung bei Windkraftanlagen, eine Ereignismeldung abgegeben um dadurch frühzeitig reagieren zu können und einen Ausfall der Zementmühle während des Betriebes zu verhindern.

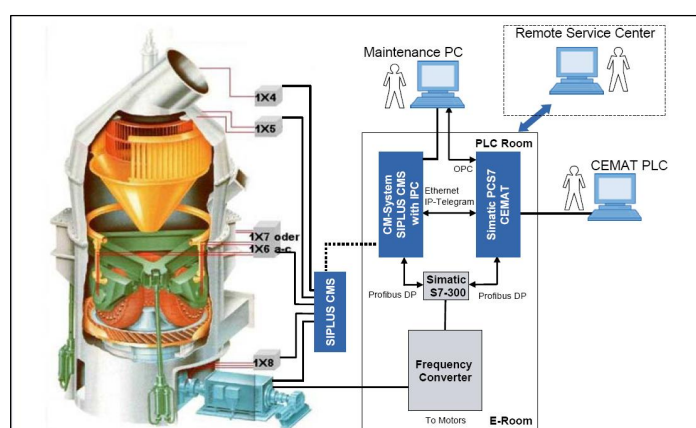


Abbildung 27: Schema des Condition Monitoring bei Zementmühlen⁹⁶

⁹⁶Siemens (2011i); Zugriffsdatum 24.10.2011

Abbildung 27 zeigt den schematischen Aufbau des Condition Monitoring Systems bei Zementmühlen. Interessant für die Grazer Anwendung sind vor Allem die verwendete Sensorik und die Auswertung der Sensor-Signale.

Das Diagnosesystem bei Zementmühlen basiert ebenfalls auf der Detektion von Schwingungen und Veränderungen im Muster von Schwingungsverläufen. Über die Ausprägung der Service Angebote ist derzeit noch nichts Genaueres bekannt.

5.1.4 Condition Monitoring System CMS

Siemens bietet ein Condition Monitoring System an, welches vor allem im Anlagentechnischen Bereich eingesetzt wird. Es übernimmt die Messsignalaufnahme und die Visualisierung der Messwerte. Es existieren unterschiedliche Ausführungen, welche sich im Wesentlichen durch den Umfang der angebotenen Auswerte- und Anschlussmöglichkeiten unterscheiden.





	Wälzlagerüberwachung	Schwingungsdiagnose Wälzlager- und Temperaturüberwachung Trendanalyse	freikonfigurierbare Diagnosefunktionen Detailanalyse Datenrecorder
Skalierbar, projektierbar bis zu komplexen Messaufgaben			SIPLUS CMS4000 
Modulare Überwachungslösung		SIPLUS CMS2000  In Entwicklung	 Zunahme von Expertenwissen
Kompakte Einstiegslösung	SIPLUS CMS1000 		

Abbildung 28: Ausführungsvarianten CMS⁹⁷

Ebenfalls gibt es bei Siemens Instandhaltungssysteme, welche mit dem CMS gekoppelt werden können. Nach detektierter Schwellwertüberschreitung durch das CMS System wird vom Instandhaltungssystem (Maintenance Station) entweder eine Ereignismeldung abgesetzt oder auch ein benötigtes Ersatzteil automatisch bestellt. Diese Systeme sind bereits sehr ausgereift und werden überwiegend im Bereich der Anlagentechnik eingesetzt. Ein wesentlicher Nachteil dieses Systems ist, dass es nicht bahntauglich ist. Ob sich dieser Umstand in Zukunft ändern wird und sich das CMS einfach im Fahrwerk und

⁹⁷ Siemens (2011j); Oktober 2011

mit der übrigen Hardware zur Diagnose integrieren lässt, ist zu prüfen. Bei Winergy und den Zementmühlen werden solche Systeme bereits eingesetzt.

5.1.5 RailBAM

RailBAM ist ein anderes Siemens Produkt zur Zustandserhebung von Radsätzen und Rädern von Schienenfahrzeugen. Es ist ein ortsfestes System, welches am Streckenrand installiert wird und über aufwändige Mikrofone und anschließende Auswertung den Zustand der vorbeifahrenden Fahrwerke bestimmt.



Abbildung 29: RailBAM System⁹⁸

Bei RailBAM ist man bereits in der Pilotphase und hat erste Aufträge zu verzeichnen. Man bietet das Service als reine Dienstleistung an. Die Hardware wird am Streckenrand installiert und diejenigen Betreiber, welche den Dienst von RailBAM nutzen möchten, können Daten und Datenauswertungen von Siemens kaufen. Dadurch, dass das System ortsfest ist, hat man die Möglichkeit sehr viele Lager und Räder auf Schädigungen hin zu überwachen. Dadurch rechnen sich die relativ hohen Investitionskosten für das System von etwa EUR 700.000 und die jährlichen System-Instandhaltungskosten von ca. EUR 70.000 wieder. Der Ansatz, die Hardware gratis anzubieten und den Mehrwert über das Service zu generieren, könnte auch für die Anwendung des Diagnosesystems welches Gegenstand dieser Arbeit ist, interessant sein. Von technischer Seite gibt es keine Parallelen zwischen den beiden Systemen, da man bei RailBAM auf akustische Größen achtet und nicht auf Schwingungssignale von Sensoren.

⁹⁸ Southwesttrains (2011a), 6.10.2011

5.2 Diagnoseanwendungen bei Mitbewerbern

Um den Wettbewerb im Bereich Condition Monitoring nicht außer Acht zu lassen, wird in dieser Arbeit auch nach Diagnoseanwendungen bei Konkurrenten recherchiert. Dabei wird sowohl auf direkte Mitbewerber am Schienenfahrzeugmarkt als auch auf Anbieter von Diagnosesystemen geachtet, welche als Zulieferer von Diagnosesystemen an den Schienenfahrzeugmarkt agieren.

5.2.1 Bombardier „ORBITA“

ORBITA ist das System des direkten Mitbewerbers Bombardier Transportation. Hier bietet man seit einigen Jahren ein umfassendes Condition Monitoring System an, welches auch bereits in mehreren Fahrzeugflotten zum Einsatz kommt. Das System verspricht zustandsorientierte Instandhaltung von Schienenfahrzeugen mit allen Einsparungen die sich daraus ergeben. Es werden umfassende Daten an verschiedensten Punkten am Schienenfahrzeug gesammelt und in Diagnosecentern verarbeitet.

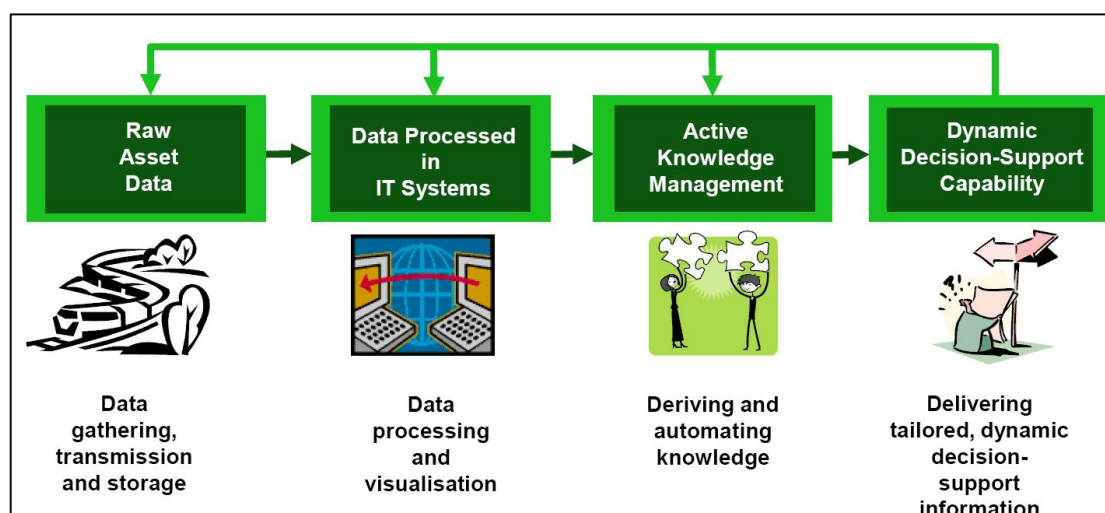


Abbildung 30: Struktur des „ORBITA“ Systems von Bombardier⁹⁹

Es gibt zu diesem System bereits umfassende Werbeunterlagen, was vermuten lässt, dass man bei Bombardier schon länger an diesem Service arbeitet und es bis zur Marktreife entwickelt hat.

⁹⁹Bombardier (2011a), Zugriffsdatum 2.11.2011

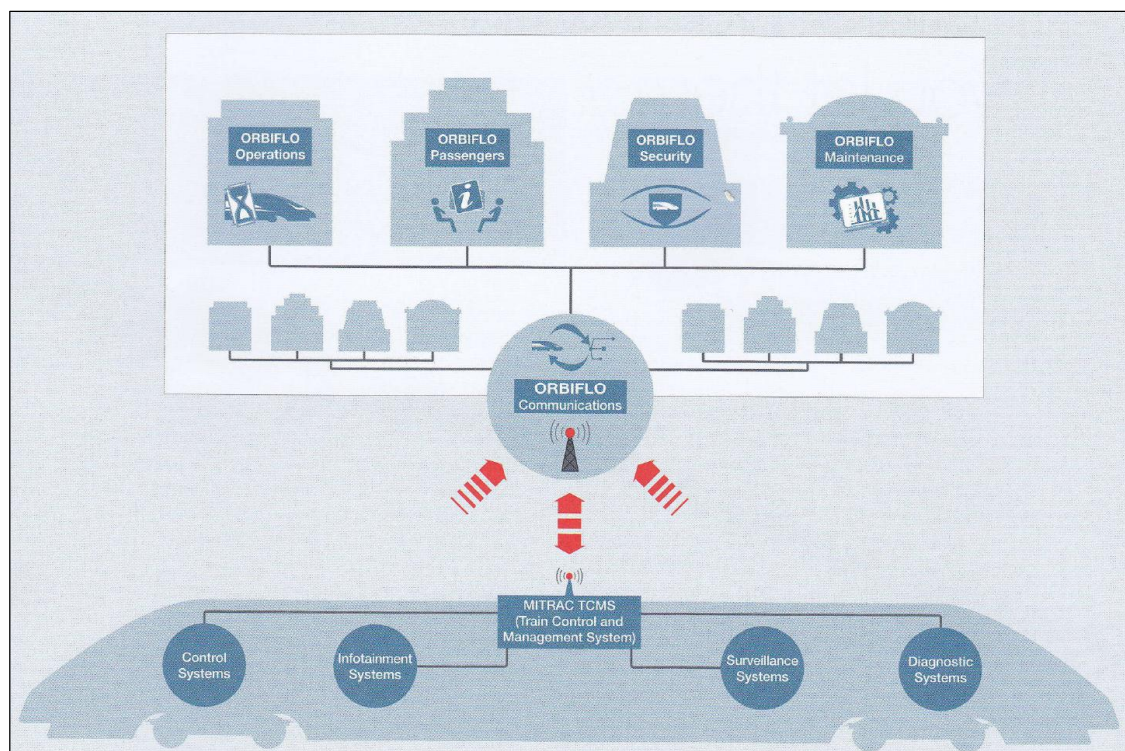


Abbildung 31: Bombardier System „ORBIFLO“¹⁰⁰

Mit der Weiterentwicklung des ORBITA Systems soll ein umfassendes Service für den Betreiber angeboten werden. Es werden nicht nur Instandhaltungsrelevante Daten generiert, gespeichert und verarbeitet, das System umfasst auch den Infotainment Bereich und die Überwachung in Bezug auf die TSI. Der Datenaustausch passiert in Echtzeit über das ORBIFLO Communications System. Es wird somit ein einziges System für die Datenübertragung von Instandhaltungsrelevanten Daten und Infotainment Daten verwendet.

Durch das Auftreten von Bombardier mit den Systemen ORBIFLO und ORBITA zeigt sich, dass sich auch andere Schienenfahrzeughersteller mit dem Thema zustandsorientierte Instandhaltung intensiv auseinandersetzen. Daraus ergibt sich auch Handlungsbedarf für Siemens selbst.

5.2.2 ALSTOM „Traintracer“

Auch der Mitbewerber ALSTOM verfügt über ein „Real-Time-Online-Maintenance“ – System. Dieses wirkt zusammen mit einem weltweit installierten Netzwerk an Depots und Ersatzteillagern und verspricht ein Rundum Service für die Schienenfahrzeugflotten

¹⁰⁰ Broschüre ORBIFLO – Intelligent Wayside Solution, 2009

der jeweiligen Betreiber. Dabei werden ebenfalls umfassende Daten am Schienenfahrzeug gesammelt und anschließend landseitig in Diagnosecentern verarbeitet. Man beschränkt sich nicht nur auf die Analyse, man geht noch einen Schritt weiter und bietet sogar die Bereitstellung der erforderlichen Ersatzteile genau zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort an. Dieses System heißt „Pit-Stop“ und verspricht höchste Verfügbarkeiten von Zügen durch effektive Instandhaltung.

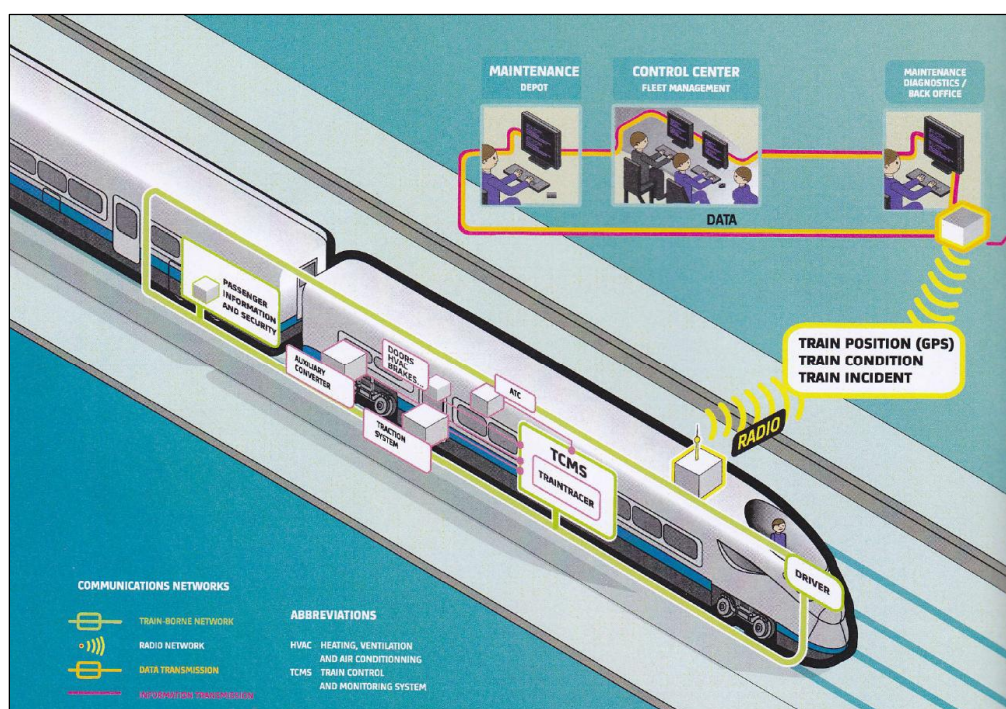


Abbildung 32: ALSTOM "Traintracer"¹⁰¹

Erwähnenswert ist auch die Funktion, das Schienennetz auf Fehler hin zu überwachen und bei detektierten Schäden diese sofort dem zuständigen Netzbetreiber zu melden. Bei ALSTOM wird auch damit geworben, dass die gesammelten Daten nicht nur zur Verbesserung der Instandhaltung benutzt werden, sondern auch zur Verbesserung zukünftiger Schienenfahrzeuge durch die Möglichkeit aus den Daten zu lernen und dieses Wissen in die Planung und Konstruktion neuer Modelle einfließen zu lassen.

5.2.3 SKF System (in Zusammenarbeit mit Knorr - Bremse)

Auch die Firma SKF als Hersteller und Lieferant von Lagern, verfügt über ein Diagnosesystem von Eisenbahndrehgestellen in ihrem Portfolio. Das System umfasst die Diagnose von Motor, Getriebe, Radsatzlagern und Rädern und erfüllt weiters die Überwachungsanforderungen laut TSI.

¹⁰¹ Broschüre ALSTOM Trainlife Services, Flexibility and Partnership, 2011

SKF bietet auch ein drahtloses Datenübertragungssystem an. Hier werden über ein GSM Modem alle relevanten Daten auf die Landseite übertragen, wo dann die Analyse dieser Daten und die Ausgabe von Ereignismeldungen bei Schwellwertüberschreitungen erfolgt. Außerdem bietet SKF die Möglichkeit, den Streckenzustand zu überwachen. Dazu wird ein GPS Sensor am Schienenfahrzeug angebracht und dessen Lokalisationsdaten mit den Schwingungsdaten an den Radsätzen verknüpft. Bei wiederholtem Frequenzbandausschlag an einer bestimmten Stelle am Streckennetz lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen, dass an dieser Stelle eine Beschädigung des Gleiskörpers vorliegt.

Aus der Tatsache, dass SKF als Zulieferer von Lagern ebenfalls ein Diagnosesystem für das Gesamtsystem Drehgestell anbietet, ergibt sich für Siemens wiederum Handlungsbedarf um den Anschluss an den Wettbewerb beim Thema Diagnose nicht zu verlieren. Es gilt den Vorteil, welchen Siemens gegenüber SKF hat, nämlich die Kompetenz als Entwickler und Produzent des zugrunde liegenden Drehgestelles, zu nutzen.

Zusammenfassung der Diagnoseanwendungen bei Mitbewerbern

	Anwender	Geschäftsfeld	Realisierung der Diagnose	Übertragbar
Siemens interne Diagnosesysteme	Winergy	Windkraftwerke	Lastwechselzähler und Ereignismeldungen	Lastwechselsensor
	Healthcare Sektor - Guardian	MR – Automaten, Tomographen	Ereignismeldungen und Online Service	Serviceangebot
	Zementmühlen	Zementmühlen	Ereignismeldungen, Trendanalysen	-
	Condition Monitoring System CMS	Diagnose im Anlagenbereich	Trendanalysen	-
	RailBAM	Schienenfahrzeuge	Ortsfestes System, Ereignismeldungen	Verkaufsstrategie und Business Case
Systeme bei Mitbewerber	Bombardier	Schienenfahrzeuge	-	-
	ALSTOM	Schienenfahrzeuge	-	-
	SKF und Knorr-Bremse	Lager- bzw. Bremshersteller	Ereignismeldungen	-

Tabelle 6: Zusammenfassung einiger vorhandener Diagnoseanwendungen

5.3 Bekannte Kundenanforderungen aus bestehenden Projekten

Im Zuge dieser Arbeit wurden Kundenanforderungen bezüglich Diagnose erhoben. Dieses Vorhaben gestaltete sich als schwierig, da der Siemens Standort Graz Eggenberg als Komponentenlieferant von Drehgestellen über den Kontakt zum Endkunden nicht verfügt. Die Fahrwerke werden Siemens intern im Verbundgeschäft weiterverkauft. Dadurch beschränken sich die Angaben der Kundenwünsche in dieser Arbeit auf Lastenheftauszüge und einen Workshop, bei dem die Gelegenheit bestand, mit dem Kunden Stadtwerke München direkt in Kontakt zu treten. Außerdem wurde Siemens-intern ein Workshop durchgeführt, bei dem Siemens Experten eine Gewichtung der einzelnen Funktionen des Diagnosesystems vornahmen.

Für eine detaillierte Beschreibung der Kundenwünsche ist es erforderlich, weiterhin den direkten Kontakt zum Endkunden zu suchen. Das Definieren von Kundenanforderungen ist aus Sicht des Autors mitunter einer der wichtigsten Punkte im Rahmen eines Innovationsprojekts. Denn wenn man das Diagnosesystem kundenbedarfsgerecht gestaltet und den Kunden womöglich aktiv in den Gestaltungsprozess mit einbezieht, ist die Wahrscheinlichkeit eines Markterfolges um ein vielfaches größer.

Nachfolgend werden die Kundenanforderungen aus den Lastenheften zweier Projekte angegeben.

- **VELARO D** (Kunde: Deutsche Bahn, Projektart: High Speed Trains)
 - TSI Anforderungen werden als erfüllt vorausgesetzt
 - Diagnosesystem zur Zustandserkennung ist als Anforderung in der Ausschreibung bereits enthalten
 - Diagnosesystem soll zur Unterstützung der eigenen Instandhaltung dienen
 - Diagnose erfolgt über Schwingungs- und Temperaturmessung, bei Schwellwertüberschreitung soll eine entsprechende Ereignismeldung ausgegeben werden

- **INSPIRO** (Kunde: Stadtwerke München, Projektart: Metros)
 - Kunde erwartet sich bessere Planbarkeit in der eigenen Instandhaltung, Vermeidung von Folgeschäden durch nicht detektierte Ausfälle, erhöhte Verfügbarkeit der Fahrzeuge, Verringerung der korrektiven Instandhaltungsaufwendungen

- Aus den Gesprächen ergab sich, dass die Streckung von Hauptuntersuchungsintervallen nicht relevant ist, da diese nicht in der üblichen Form durchgeführt werden
- Wunsch des Kunden betrifft die Diagnose der Achswellen auf Risse, um sich die aufwändige Ultraschalluntersuchung zu sparen
- In der Ausschreibung des Kundenprojekts war ebenfalls bereits ein Diagnosesystem gefordert, welches durch die Ausgabe von Ereignismeldungen auf einen fortgeschrittenen Verschleißzustand hinweist

Aus den Lastenheften lässt sich ableiten, dass beinahe alle Kunden bereits um die Vorteile der zustandsorientierten Instandhaltung Bescheid wissen. Jedoch weiß man nicht genau, wie der Weg zu dieser Instandhaltungsform aussehen könnte und welche exakten Vorteile durch das von Siemens offerierte Diagnosesystem geboten werden. Die bisher installierten Systeme beschränken sich auf die Ausgabe von Ereignismeldungen nach Schwellwertüberschreitungen und schöpfen das Potential, welches ein Diagnosesystem hätte, nicht aus. Man konzentriert sich bei der Formulierung und Gestaltung des Diagnosesystems sehr stark auf die technischen Möglichkeiten und nicht auf sogenannte „Soft-Facts“, wie z.B. das „gute Gefühl“, welches der Betreiber durch das Diagnosesystem hat, weil er über den Zustand seiner Drehgestelle zu jeder Zeit Bescheid weiß oder das Image des Betreibers, welches durch das Diagnosesystem als innovativ angesehen wird usw. Um die Wichtigkeit solcher Faktoren im Vergleich zu den „Hard-Facts“, also den technischen Eigenschaften und damit verbundenen direkten Vorteilen des Diagnosesystems aufzuzeigen, wurde eine Befragung mittels paarweisem Vergleich durchgeführt.

Die befragten Personen waren allesamt Siemens Experten aus den unterschiedlichsten Abteilungen. Durch die Tatsache, dass aus Graz nur sehr begrenzter Kontakt zum Endkunden besteht, wurde zunächst im Siemens internen Rahmen gearbeitet. Dabei ist klar, dass das Ergebnis dadurch sehr stark durch die Hersteller - Sicht geprägt ist. Ein direkter Kontakt mit dem jeweiligen Kunden wäre hier sehr zu empfehlen und ist auch für die nahe Zukunft angedacht.

5.4 Vorteile für den Kunden durch das Diagnosesystem

Ziel dieser Befragung und Bewertung war es, eine Übersicht über die Wichtigkeit der einzelnen Möglichkeiten und Eigenschaften der Diagnose und der sich daraus ergebenden Vorteile für den Kunden zu bekommen, um daraus erfolgversprechende Ausführungsvarianten ableiten zu können. Die Eigenschaften des Diagnosesystems werden nun kurz beschrieben.

Wissen über den Zustand des Fahrwerks

Damit ist die Basisfunktion des Diagnosesystems gemeint. Mithilfe des Diagnosesystems soll die zustandsorientierte Instandhaltung ermöglicht und der Zustand der Drehgestelle zu jedem Zeitpunkt festgestellt werden können. Diese Eigenschaft lässt sich auch als einzige relativ genau von Siemens ohne den Kunden monetär bewerten. Durch diese Eigenschaft ist es möglich, die Hauptuntersuchungen zu strecken, die Ausfälle von Drehgestellen zu reduzieren und somit die Verfügbarkeit zu erhöhen. Die Vorteile durch diese Eigenschaft lassen sich direkt durch Kostenersparnisse ausdrücken. Je genauer dieses Wissen sein soll, umso mehr Aufwand muss auch in die Sensorik am Drehgestell gesteckt werden und umso höher werden auch die Kosten für das Diagnosesystem. Darum gilt es bei der Auswahl der Ausstattung der Drehgestelle einen wirtschaftlichen Mittelweg zu gehen.

Trackmonitoring

Dabei wird das Augenmerk auf die Schienen unter dem Schienenfahrzeug gelegt. Dadurch können Schäden am Gleiskörper der zuständigen Instanz gemeldet werden. Diese hat dann die Möglichkeit, diese Schäden gezielt auszubessern und somit einen weiteren Schadenseintrag in die vorbeifahrenden Schienenfahrzeuge zu verhindern. Der Zustand des Schienennetzes hat wesentliche Auswirkungen auf den Verschleiß von Drehgestellen, deshalb könnte man durch das Trackmonitoring auch eventuell Forderungen an den Betreiber des Schienennetzes stellen, wenn dieser die aufgezeigten Fehler nicht beseitigt. Für Siemens ist diese Eigenschaft schwer monetär zu bewerten, hier kommt es auf den jeweiligen Anwendungsfall an. Trackmonitoring bedarf keiner zusätzlichen Sensorik, sondern kann durch die üblichen Diagnoseeinrichtungen unter Koppelung mit dem GPS Signal des Schienenfahrzeuges betrieben werden. Dadurch lässt sich diese Funktion sehr kostengünstig ausführen, wenn die übrige Diagnosehardware bereits installiert ist.

Zugführermonitoring

Diese Funktion ermöglicht die Eruiierung des Fahrverhaltens der einzelnen Fahrer. Dadurch könnten Schulungen angeboten werden, welche individuell auf die Fahrer abgestimmt sind. Das Fahrverhalten des Schienenfahrzeugführers hat wesentliche Auswirkungen auf den Verschleißfortschritt des Drehgestells. Eventuelle Probleme mit der Gewerkschaft könnte man dadurch umgehen, dass man eine Art Belohnung für diejenigen Fahrer einführt, welche besonders schonend unterwegs sind. Auch dieser Punkt ist nur schwer von Siemens zu bewerten, da man keine Datenrückflüsse über das Verhalten der Zugführer hat und somit auch keine konkreten Zahlen zu den Kosteneinsparungen durch diese Eigenschaft nennen kann. Für das Zugführermonitoring sind ebenfalls

keine zusätzlichen Hardwarekomponenten nötig. Es reichen die Daten, die man aus dem Zugbus und der Diagnosesensorik erhält. Somit könnte diese Funktion, unter der Voraussetzung, dass bereits Sensorik für die Diagnose installiert ist, gleich wie das Trackmonitoring kostengünstig als „Nebenprodukt“ mit ausgeführt werden.

Planbarkeit und Prognostizierbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen

Darunter wird die Erleichterung der Planung von Instandhaltungsmaßnahmen verstanden. Man weiß durch das Diagnosesystem im Vorhinein, wann es zum Ausfall eines Drehgestells oder einer bestimmten Komponente am Drehgestell kommen wird und kann dadurch vorzeitig agieren und muss nicht überraschend reagieren. Die Vorteile hierdurch ergeben sich durch Einsparungen in der Lagerhaltung von Ersatzteilen und auch in der Verfügbarkeit von Eisenbahndrehgestellen. Die Vorteile sind jedoch für Siemens schwer monetär zu bewerten. Je höher Planbarkeit und Prognostizierbarkeit sein sollen, umso mehr Aufwand muss auch seitens des Diagnosecenters betrieben werden. Während man für die Variante mit der Ausgabe von Ereignismeldungen nicht zwingend ein Diagnosecenter benötigt, wird dieses für die Erstellung von Trendanalysen und fundierten Aussagen über den Zustand des Fahrwerks sehr wohl nötig.

Image durch Einsatz neuer Technologien

Der Bahnbetrieb und der gesamte Schienenverkehrsbereich kämpfen bereits seit vielen Jahren mit einem etwas „verstaubten“ Image. Dadurch, dass es Schienenfahrzeuge bereits seit sehr langer Zeit gibt und sich am grundlegenden Prinzip seit damals nichts geändert hat, sehen viele Personen diesen Bereich als veraltet an. Ein Schritt in Richtung innovatives Image wäre das Diagnosesystem, bei welchem ähnlich wie bei Flugzeugen oder Autos, welche in der Regel nicht als veraltet angesehen werden, Sensoren installiert sind und der Zustand des Fahrzeuges ständig dargestellt werden kann. Mitunter lässt sich diese positive Eigenschaft am schwersten von Siemens bewerten. Jedem potentiellen Kunden wird dieser Punkt unterschiedlich wichtig sein. Als Vorteil und positive Eigenschaft des Diagnosesystems sollte das innovative Image jedoch jedenfalls genannt werden.

Vorteile bei Zulassungsbehörden für den Betreiber (Betreiberzulassung)

Eventuell ergeben sich durch die Installation eines Diagnosesystems auch bestimmte Vorteile bei Behörden, welche darin die Bereitschaft des Betreibers, die Sicherheit und Zuverlässigkeit seiner Schienenfahrzeuge zu erhöhen, erkennen und diese gut heißen. Zum Beispiel im Bereich der Zulassung könnten sich dadurch Vorteile ergeben, welche jedoch seitens Siemens ebenfalls schwer zu bewerten sind.

Fehlereingrenzung

Durch die Installation des Diagnosesystems besteht die Möglichkeit, die Fehlersuche stark zu verkürzen. Die Eingrenzung des Fehlers spart Zeit und somit Kosten für den Kunden, da bei korrektiven Eingriffen zielgerichteter gearbeitet werden kann. Hiermit hängt wiederum der Aufwand, welcher für das Diagnosesystem betrieben werden muss, zusammen. Je genauer man den Fehler eingrenzen will, desto mehr Sensorik muss installiert und desto umfangreichere Analysen müssen durchgeführt werden. Dadurch steigen wieder die Kosten. Es ist sinnvoll abzuwägen, bis zu welchem Grad man den Fehler eingrenzen sollte.

Vermeidung von Folgefehlern

Darunter wird der Vorteil verstanden, dass wenn ein Fehler vorzeitig erkannt und beseitigt wird, es nicht zu einem weiteren Schadenseintrag in andere Komponenten kommen kann. Z.B. Flachstellen am Rad, welche in weiterer Folge auch Auswirkungen auf den Zustand der Lager haben und wodurch im Endeffekt ein viel größerer Schaden entsteht, als derjenige von dem der Folgefehler ausgegangen ist.

	Wissen über den Zustand (HU Streckung, A-Fehler vermeiden)	Trackmonitoring	Zugführermonitoring	Planbarkeit und Prognostizierbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen	Image durch Einsatz neuer Technologien	Vorteile bei Betreiberzulassung	Fehlereingrenzung am Fahrwerk	Folgefehler (durch Schäden) vermeiden	Absolutes Gewicht	Relatives Gewicht [%]
Wissen über den Zustand (HU Streckung, A-Fehler vermeiden)	x	2	2	1	2	2	2	2	13	23,2
Trackmonitoring	0	x	2	0	2	2	0	1	7	12,5
Zugführermonitoring	0	0	x	0	0	0	0	1	1	1,8
Plan- und Prognostizierbarkeit - Instandhaltungsmaßnahmen	1	2	2	x	2	2	1	1	11	19,6
Image durch Einsatz neuer Technologien	0	0	2	0	x	1	0	0	3	5,4
Vorteile bei Betreiberzulassung	0	0	2	0	1	x	0	0	3	5,4
Fehlereingrenzung am Fahrwerk	0	2	2	1	2	2	x	1	10	17,9
Folgefehler (durch Schäden) vermeiden	0	1	1	1	2	2	1	x	8	14,2

Tabelle 7: Paarweiser Vergleich zur Gewichtung der Diagnose – Eigenschaften

Tabelle 7 zeigt das Ergebnis eines Workshops, welcher zusammen mit 6 Siemens Experten durchgeführt wurde. Dabei wurden jeweils die Zeilen mit den dazugehörigen Spalten verglichen. Wurde die Zeile als wichtiger als die Spalte angesehen, wurde eine 2 eingetragen, bei gleicher Wichtigkeit eine 1 und war die Spalte wichtiger als die Zeile wurde 0 eingetragen. Als am wichtigsten und somit für den Kunden am wertvollsten wurden die Eigenschaften „Wissen über den Zustand“, „Planbarkeit und Prognostizierbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen“, „Fehlereingrenzung am Fahrwerk“ und „Folgefehler (durch Schäden) vermeiden“ erachtet. Daraus lässt sich im Rahmen dieser Diplomarbeit für eine erste Iteration ein Gesamtsystem-Aussehen des künftigen Diagnosesystems ableiten. Bevor dies jedoch im nächsten Kapitel geschieht, wird auf den grundsätzlichen Aufbau eines Diagnosesystems eingegangen und beschrieben, welche Komponenten generell nötig sind, um Diagnose am Fahrwerk durchzuführen.

6 Konzeptfindung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Auf den folgenden Seiten wird das grundsätzliche Aussehen des Diagnosesystems beschrieben. Dabei werden zunächst die einzelnen Hardware Komponenten vorgestellt und deren Aufgabe beschrieben. Danach werden etwaige Service Ausprägungen diskutiert und versucht, ein Gesamtkonzept zur Drehgestell diagnose, unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem vorigen Kapitel, zu formen und dafür eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchzuführen.

6.1 Grundsätzlicher System Aufbau

Diagnose am Drehgestell findet grundsätzlich über Schwingungs- und Temperaturmessungen statt. Es gibt eine Reihe von Projekten, welche bereits mit Sensoren und der übrigen Hardware zur Diagnose ausgestattet wurden. Da davon auszugehen ist, dass auch in nächster Zukunft dieselben Komponenten verwendet werden, wird in dieser Arbeit der grundsätzlich bestehende Aufbau der Hardware übernommen.

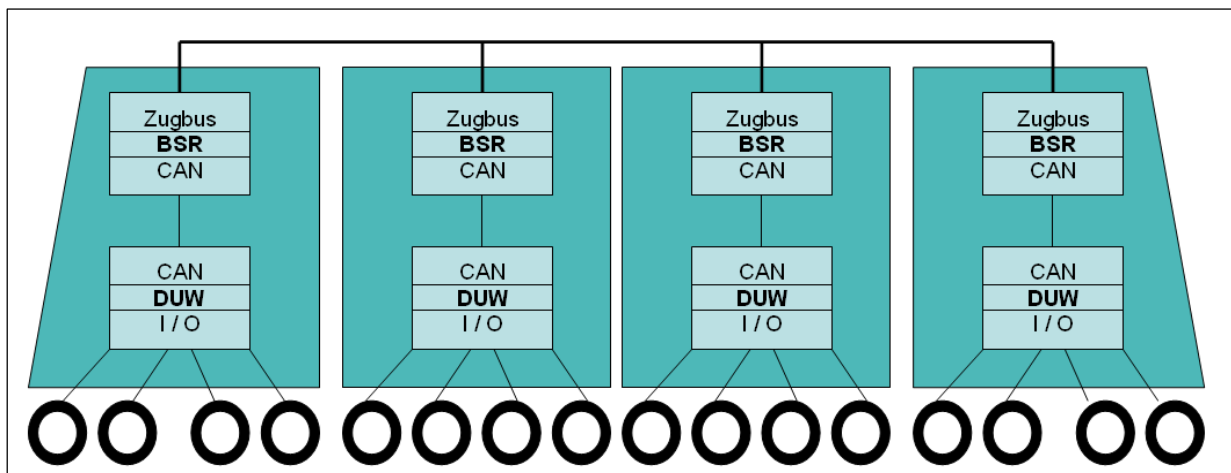


Abbildung 35: Aufbau des derzeitigen Diagnosesystems bei INSPIRO¹⁰⁴

In Abbildung 35 ist der Aufbau des eingebauten Diagnosesystems bei der INSPIRO Plattform abgebildet. Hier ist ersichtlich, welche Komponenten fahrzeugseitig notwendig sind, um Diagnose am Drehgestell durchzuführen. Eine Beschreibung der einzelnen Komponenten wird nun durchgeführt. Dieser Aufbau ist im Wesentlichen auch bei den anderen Fahrwerksklassen (High Speed, Regionaltriebzug, Lokomotiven) derselbe.

¹⁰⁴ Siemens interne Unterlagen, FDÜ Lastenheft INSPIRO Plattform, S. 9

Das Diagnosesystem besteht in jedem Fall aus:

Derzeit:

- Sensorik
- Drehgestellüberwachungs - Platine (A/D Wandlung, Rechner für Algorithmen, Schnittstellen etc.)
- Algorithmen
- Anbindung an Fahrzeugbus via Gateway
- Verkabelungen und Verrohrungen
- Möglichkeit zur Datenzwischenspeicherung (CF – Speicherkarte)

Zukünftig zusätzlich:

- Möglichkeit zur permanenten Datenspeicherung
- Möglichkeit zur Datenfernübertragung
- Diagnosecenter landseitig

Sensorik

Wie umseitig erwähnt kommen Temperatur- und Schwingungssensoren zur Anwendung. Über die Anbringung dieser an bestimmten Stellen am Drehgestell können unterschiedliche Schadensfälle frühzeitig detektiert werden. In weiterer Folge soll es auch möglich sein, die Sensorsignale über einen längeren Zeitraum auszuwerten und dadurch Trendanalysen durchzuführen.

Derzeit sind am Beispiel von Metro München 8 Beschleunigungssensoren installiert. 4 an den Radsatzlagern (einer pro Radsatzlager), 2 am Getriebe und 2 am Motor. Auf Temperatursensoren wird hier verzichtet. Dazu ist zu sagen, dass die Anwendung von Temperatursensoren in vielen Fällen nicht zielführend ist, da oftmals ein Temperaturanstieg trotz eines sich anbahnenden Schadens ausbleibt bzw. erst dann eintritt, wenn das Bauteil bereits kurz vor dem Ausfall steht, wodurch die Frühindikation eines Schadens durch Temperaturüberwachung erschwert wird.

Zur Zeit wird die Einsatzmöglichkeit eines 6-achsigen Gyro Sensors anhand von Simulationen erprobt, welcher zentral am Drehgestell angebracht werden und dadurch ein Gesamtschwingungsmuster des Drehgestells erfassen und dokumentieren soll. Ziel ist es, mit diesem einen Sensor den Gesamtzustand des Fahrwerks zu bestimmen. Dies bedingt aufwändige Algorithmen, welche aus dem Schwingungsspektrum einen Rückschluss auf den Zustand einzelner Komponenten zulassen. Das wird erst nach längerer Zeit der Erprobung und über Lerneffekte möglich sein. Trotzdem ist diese Variante, mit

nur einem zentralen Sensor, sehr vielversprechend. Dadurch würde der Verkabelungsaufwand erheblich minimiert werden, Hardware Kosten wären deutlich geringer und dadurch wäre die Ausrüstung eines Drehgestells mit einem Diagnosesystem um ein vielfaches günstiger.

Ein erster Einsatz dieses Gyro Sensors ist für die Metro in München geplant. Hier erhofft man sich, die Ergebnisse aus den theoretischen Simulationstests in der Realität zu verifizieren, um in weiterer Folge versichern zu können, mit nur einem Sensor die Drehgestell Diagnose durchzuführen.

Drehgestellüberwachungs – Platine (DUW)

Die DUW Platine dient der Erfassung und Verarbeitung der Sensorsignale. Ebenfalls laufen die Algorithmen auf dieser Platine ab und die Ergebnisse werden auf einer CF - Karte zur weiteren Verarbeitung gespeichert.

Es gibt Bestrebungen, die teure und große DUW Platine gegen ein modulares System zur Messwerterfassung zu ersetzen, um die Kosten für die Hardware zu senken und den nötigen Bauraum zu verringern. Im Zuge dieser Arbeit wird jedoch die Variante mit DUW Platine betrachtet, da diese derzeit und in naher Zukunft eingesetzt wird.

Ebenfalls wird in Betracht gezogen nur eine Platine pro Wagen, also für zwei Fahrwerke gemeinsam zu verwenden. Dazu ist jedoch die begrenzte Anzahl an Eingängen an der DUW Platine zu beachten.

Algorithmen

Die nachstehende Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über alle derzeit vorhandenen Algorithmen und gibt auch die Kennwerte und erkennbaren Fehlerbilder an.

Algorithmenfunktion	Erkannte Fehler	Kennwert	Meldung des Systems
Achslagerschäden (Beschleunigung)	Diskrete Schäden im Achslager am Außenring, Innenring und an Wälzkörpern	Mittlere Amplitude der Überrollharmonischen als Maß des Schädigungsgrades	Achslager ok Achslager auffällig Achslager defekt
Achslagerschäden (Temperatur)	Erhöhte Reibung im Achslager (z.B. Schmiermittelversagen)	Achslagertemperatur	Achslager ok Achslager warm Achslager heiß
Getriebelagerschäden (Beschleunigung)	Diskrete Schäden in den Getriebelagern am Außenring, Innenring und Wälzkörper	Mittlere Amplitude der Überrollharmonischen als Maß des Schädigungsgrades	Getriebelager ok Getriebelager auffällig Getriebelager defekt
Getriebelagerschäden (Temperatur)	Erhöhte Reibung in den Getriebelagern (z.B. Schmiermittelversagen)	Getriebelagertemperatur	Getriebelagertemperatur ok Getriebelagertemperatur warm Getriebelagertemperatur heiß
Fahrmotorlagerschäden (Beschleunigung)	Diskrete Schäden in den Fahrmotorlagern am Außenring, Innenring und Wälzkörper	Mittlere Amplitude der Überrollharmonischen als Maß des Schädigungsgrades	Motorlager ok Motorlager auffällig Motorlager defekt

Fahrmotorlagerschäden (Temperatur)	Erhöhte Reibung in den Fahrmotorlagern (z.B. Schmiermittelversagen)	Motorlagertemperatur	Motorlager ok Motorlager warm Motorlager heiß
Schäden am Getriebe Zahnrad	Diskrete Schäden an den Zahnflanken	Spektrale Bewertung des Zahneingriffs und der Drehharmonischen	Getriebe Zahnrad ok Getriebe Zahnrad auffällig Getriebe Zahnrad defekt
Radunrundheit (Polygonität)	Radunrundheiten	Radunrundheitsharmonische	Radunrundheit ok Radunrundheit auffällig Radunrundheit nicht ok
Flachstelle / Ausbröckelung	Flachstellen	Kurtosis	Rad ok Rad hat kleine Flachstelle Rad hat große Flachstelle
Raddurchmesser	Unterschreiten der Betriebsgrenzmaße	Raddurchmesser am Laufkreis	Raddurchmesser in mm
Schwingpegel	Abnormales Schwingverhalten	Schwingpegel an der jeweiligen Stelle	Schwingpegel ok Schwingpegel auffällig Schwingpegel stark erhöht
Wellenrisserkennung	Riss in der Radsatzwelle	Noch zu definieren	Radsatzwelle ok Radsatzwelle auffällig
Entgleisungsdetektion	Rad fällt von der Schiene	Fallhöhe, Fallgeschwindigkeit	Fahrwerk ok Fahrwerk entgleist
Eigendetektion Sensorik	Fehler in der Messkette (Kurzschluss, Unterbruch)	-	Sensor 1...n ok Sensor 1...n defekt

Tabelle 8: Algorithmenfunktionen zur Zustands - Diagnose am Drehgestell¹⁰⁵

Der Einsatz des umseitig erwähnten 6-achs Gyro Sensors erfordert einen eigenen Algorithmus, welcher derzeit entwickelt wird und in Tabelle 8 deshalb noch nicht angeführt ist. Der Algorithmus für die Wellenrisserkennung wird derzeit in Form eines Forschungsprojektes zusammen mit der TU Berlin entwickelt.

Anbindung an Fahrzeugbus

Die Diagnosequalität steigt mit dem Umfang an Informationen über den allgemeinen Betriebszustand des Fahrzeugs. Solche Informationen sind unter anderem die Fahrgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs, Ortsangaben, Beladungszustand, Brems- und Beschleunigungsverhalten oder Betriebszeit des Schienenfahrzeugs. Diese Daten werden aus dem Zugbus des Fahrzeugs geholt.

Um die Rückwirkungsfreiheit des den rauen Bedingungen im Fahrwerk ausgesetzten und exponierten Systems zur Drehgestell diagnose an das mit Sicherheitsschleifen versehene Zugbussystem zu gewährleisten, wird ein Gateway verwendet. Die Funktion als Gateway kann direkt vom Bremsrechner, der ebenfalls Sensorwerte verarbeitet, oder einem anderen kompatiblen Rechnersystem übernommen werden.

¹⁰⁵ FDÜ Lastenheft für Plattform INSPIRO, Siemens interne Unterlagen, Mai 2011

Verkabelungen und Verrohrungen

Dieser Punkt wird hier eigens angeführt, da er einen erheblichen Anteil an den entstehenden Kosten des Diagnosesystems hat. Jedes Kabel muss auf Grund der extremen Bedingungen am Drehgestell (Schotterflug, Schnee und Eis, Fremdkörper am Gleis) in Rohren geführt werden, um ein Durchtrennen oder eine Beschädigung mit anschließender Korrosion zu vermeiden. Diese Verrohrungen sollten bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden, da nachträgliche Einplanung und Einbau empfindlich teurer sind.

Speziell im Hinblick auf die Nachrüstung von Diagnosesystemen an bereits im Einsatz befindlichen Schienenfahrzeugen ist die Entwicklung von drahtlosen Schwingungssensoren für Siemens sehr von Bedeutung. Damit würde man auch den Zulassungsaufwand, welcher für Verrohrungen und Verkabelungen am Drehgestell anfällt, minimieren. Derzeit gibt es jedoch noch nicht die passenden Sensoren, welche energieautark Schwingungs- Detektion mit hohen Frequenzen durchführen und die Messwerte an eine zentrale Speicherstelle senden können.

Möglichkeit zur permanenten Datenspeicherung

Das Datenmanagement ist einer der wichtigsten, noch zu klärenden Punkte. Hier gilt es, einen intelligenten Weg zu finden, um nicht alle Rohdaten, welche am Drehgestell gesammelt werden, abspeichern zu müssen. Die derzeitige Variante, mit einer CF - Speicherkarte pro DUW (Drehgestellüberwachung) Platine, ist insofern nicht zielführend, da ein Mitarbeiter die Daten in sehr kurzen Abständen auslesen muss. Hier wird in Zukunft der Weg in Richtung Datenserver und landseitiger Datenspeicherung führen, sofern dies von den jeweiligen Kunden erlaubt wird.

Möglichkeit zur Datenfernübertragung

Derzeit werden die Daten von Hand, bei Stillstand des Drehgestells und in zyklischen Abständen, ausgelesen. Der Aufwand dadurch ist nicht zu vernachlässigen. In Zukunft wird hier angestrebt, über eine kabellose Verbindung die Daten auf die Landseite zu übertragen und dort zur Verarbeitung abzuspeichern. Gerade die Diagnose hat nicht die Anforderung an Echtzeit – Charakter der Daten. Hier würde es reichen, in kürzeren, zyklischen Abständen die Sensordaten zu übermitteln und zunächst am Fahrwerk zwischen zu speichern. Nichts desto trotz ist der Einsatz einer kabellosen Datenfernübertragung mit vielen Vorteilen verbunden und wird seitens der Siemens – Experten präferiert.

Diagnosecenter landseitig

Die gesammelten Sensor Daten laufen in einem Diagnosecenter zusammen. Hier erfolgt die Auswertung der Sensordaten und die Erstellung von Trendanalysen bzw. Handlungsempfehlungen je nach Ausprägung des Services, welches der Kunde erworben hat. Die unterschiedlichen Service Angebote werden nun erörtert.

6.2 Service Angebote

Um unterschiedliche Service Angebote formulieren zu können, muss man sich zunächst Gedanken über den Gesamtsystemaufbau machen. Anschließend werden Überlegungen bezüglich zu variierender Elemente angestellt, um eine Differenzierung zwischen Service Ausprägungen zu erhalten.

Der Aufbau des Gesamtsystems ist in Abbildung 36 noch einmal schematisch dargestellt und erstreckt sich von der Hardware am Drehgestell über die Datenübertragung und Speicherung bis hin zum Diagnosecenter und dem Informationsrückfluss an den Kunden bzw. das Engineering.

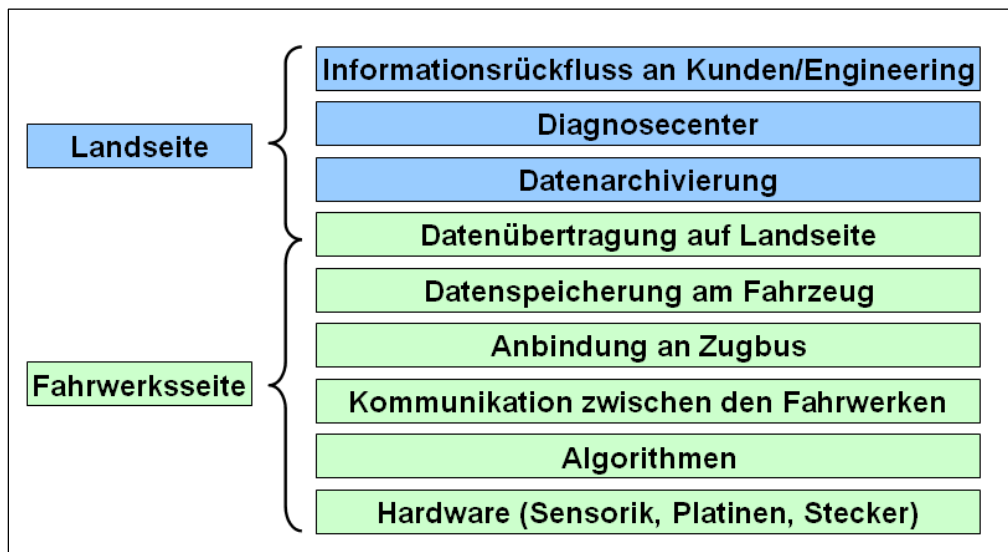


Abbildung 36: Skizze des Gesamtsystem- Aufbaus

Die größten Hebel für eine Varianz unter den Diagnosesystemvarianten sind der Informationsrückfluss an den Kunden bzw. das Engineering und die Hardware. Wie die Elemente dazwischen auszuführen sind, obliegt Siemens und betrifft den Kunden nicht. Ihn interessiert nur welche Aussagen er aus dem Diagnosesystem bekommt und welche Hardware dazu zusätzlich notwendig ist.

6.2.1 Abgrenzung der Begriffe Daten – Informationen – Wissen

Bevor Überlegungen über Ausführungsvarianten der Service Konzepte angestellt werden, soll hier ein kurzer Exkurs stattfinden, welcher die Begrifflichkeiten Daten, Informationen und Wissen gegeneinander abgrenzt. Das Verständnis dieser Begriffe ist die wesentliche Voraussetzung für die Konzeption von Ausführungsvarianten.

Daten

Sie können aus einer Folge von Zeichen, wie Buchstaben, Ziffern oder Sonderzeichen bestehen, welche in einem sinnvollen Zusammenhang stehen. Daten sind noch nicht interpretiert. Bei der Diagnose am Fahrwerk versteht man unter Daten die von den Sensoren ausgegebenen Rohdaten vor der Verarbeitung in Algorithmen.¹⁰⁶

Informationen

Informationen entstehen dadurch, dass Daten in einen Bezug gestellt und in einen Kontext eingeordnet werden. Sie dienen zur Vorbereitung von Handlungen und Entscheidungen aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Im Fall des Diagnosesystems sind Informationen die von den Algorithmen verarbeiteten Daten, also Beschleunigungswerte oder Temperaturen.¹⁰⁷

Wissen

Man kann Wissen definieren, als die „*Summe der Kenntnisse und Fähigkeiten, die man zur Lösung gewisser Probleme benötigt*“¹⁰⁸. Daten und Informationen sind der notwendige Eintrag für die Verarbeitung von Wissen. Beim Diagnosesystem für Fahrwerke wird das Wissen also aus den Sensordaten und deren Verarbeitung in Algorithmen zu Informationen dadurch generiert, dass man aus diesen Informationen den Verschleißzustand und Handlungsempfehlungen ableitet. Aus Informationen Wissen zu generieren setzt die umfassende Kenntnis des zugrunde liegenden Systems (Fahrwerk) voraus. Diese Kompetenz besitzt Siemens als Entwickler und Produzent von Fahrwerken.

Durch Gespräche mit Siemens Experten, unter Beachtung der bekannten Kundenwünsche und durch Berücksichtigung der derzeitigen technischen Möglichkeiten hat sich für den Informationsrückfluss an den Kunden bzw. das Engineering eine Struktur von Service Angeboten in 3 Stufen ergeben, welche sich hinsichtlich Aussagekräftigkeit aus den Daten der Sensoren unterscheiden.

¹⁰⁶ Vgl. North (2011), S. 36

¹⁰⁷ Vgl. North (2011), S. 37

¹⁰⁸ Karagiannis; Telesko (2001), S. 307



Abbildung 37: Service Konzept für das Diagnosesystem

6.2.2 Serviceausprägung BASIC

BASIC bildet das Basis- oder Einstiegsmodul in die zustandsorientierte Instandhaltung. Der Mehrwert, welcher sich aus dieser Service Stufe für den Kunden ergibt, ist der Erhalt von Ereignismeldungen und der damit verbundenen Möglichkeit, frühzeitig auf künftige Schadensfälle zu reagieren. Bei einer Schwellwertüberschreitung an einem der verbauten Sensoren kommt es zum Absetzen einer Meldung an den Betreiber mit der Aussage: „**Der Zustand von Fahrwerk X ist außerhalb des Normzustandes!**“ Um diese Art von Service anbieten zu können, ist geringer Diagnoseaufwand seitens des Diagnosecenters nötig. Bei den derzeitigen Projekten, wie Metro München oder Metro Warschau, ist diese Art des Services angedacht.

6.2.3 Serviceausprägung ADVANCED

ADVANCED ist die nächste Stufe im Serviceportfolio. Sie unterscheidet sich von BASIC dadurch, dass der Kunde bereits Trendanalysen mit der Systemaussage: „**Der Zustand von Fahrwerk X wird im Zeitraum Y außerhalb des Normzustandes geraten!**“ Dafür ist bereits größerer Diagnoseaufwand zu betreiben, da aus der Forderung der Trendanalysen für dieses Service umfangreicher Arbeitsaufwand resultiert. Hier wäre bereits ein Diagnosecenter mit Experten notwendig, welche in der Lage sind, Trends aus den Sensordaten abzuleiten.

6.2.4 Serviceausprägung PROFESSIONAL

Mit PROFESSIONAL ergibt sich für den Kunden der maximale Nutzen. Während bei BASIC und ADVANCED keine Aussage über das ausfallende Bauteil getroffen werden kann, ist nun auf dieser Stufe eine Systemaussage diesbezüglich möglich: „**Der Zustand von Fahrwerk X wird im Zeitraum Y auf Grund des Verschleißes von Komponente Z außerhalb des Normzustandes geraten!**“ Dies bedingt ebenfalls die Installation eines Diagnosecenters, in welchem umfangreiche Trendanalysen erstellt und Handlungsempfehlungen von den jeweiligen Experten abgeleitet werden.

6.3 Hardware Ausstattungsvarianten

Für das konzipieren von Hardware Ausstattungsvarianten ist es zunächst zweckmäßig zu wissen, mit welchem Sensor und an welcher Stelle welcher Verschleißzustand erfasst werden kann. Die Nachstehende Tabelle gibt darüber einen Überblick.

Diagnose von:	Durch Sensor:
Achslagerschäden	4 x Beschleunigungssensor am Achslager in z-Richtung* oder
	4 x Temperatursensoren am Achslager
Radunrundheiten (Flachstellen + Polygonisierung)	4 x Beschleunigungssensor am Achslager in z-Richtung*
Gesamtschwingungszustand des Fahrzeuges	4 x Beschleunigungssensor am Achslager in z-Richtung* oder
	1 x Gyro Sensor am Rahmen
Motor- und Getriebelagerschäden	4 x Beschleunigungssensoren (2 x am Motor, 2 x am Getriebe) oder
	4 x Temperatursensor (2 x am Motor, 2 x am Getriebe)
Diverse Gummi-Metallteil- und Dämpferschäden	Derzeit in Erprobung; erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass man einen solchen Ausfall/Schaden frühzeitig aus dem Gesamtschwingungsspektrum des Fahrzeugs ableiten kann

Tabelle 9: Erkennbare Schadensbilder und dazu benötigte Sensorik

* z-Richtung bezeichnet die Normale auf das Gleis

In weiterer Folge werden nun 3 Varianten gebildet, welche für unterschiedliche Anforderungen an die Diagnose am Fahrwerk ausgelegt sind.

6.3.1 Hardware - Ausstattungsvariante „Low“

Die erste Variante bildet die günstigste Ausstattung zur Diagnose. Ein Gyro Sensor wird zentral am Rahmen montiert und erfasst das Gesamtschwingungsspektrum des Drehgestells. Durch die stark begrenzte Anzahl an Sensoren reicht pro Wagenkasten (2 Fahrwerke) eine DUW Platine aus. Die Anbindung an den Fahrzeugbus muss vorhanden sein. Hierzu ist anzumerken, dass diese Ausstattungsvariante zurzeit noch nicht realisierbar ist, da sich die Algorithmen zur Auswertung des komplexen Schwingungsspektrums noch in der Entwicklung befinden. Mit dieser Ausstattungsvariante ist es möglich, den generellen Gesamtzustand des Fahrwerks zu erfassen. Sie lässt jedoch keine Aussage auf Komponentenbasis zu, sondern meldet lediglich, dass „etwas nicht stimmt“ und beim nächsten planmäßigen Stillstand das Fahrwerk etwas genauer untersucht werden sollte.

6.3.2 Hardware – Ausstattungsvariante „Mid“

Hierbei handelt es sich um die mittlere Ausstattung. Es wird ebenfalls ein Gyro Sensor am Drehgestellrahmen montiert. Zusätzlich kommen aber noch 4 Schwingungssensoren, jeweils einer pro Radsatzlager in Richtung der Senkrechten auf den Gleiskörper, zum Einsatz. Die zusätzliche Anbringung des Gyro Sensors dient dem Lernen im laufenden Betrieb um in Zukunft möglicherweise auf die anderen 4 Schwingungssensoren verzichten und die günstige Ausstattungsvariante „Low“ anbieten zu können. Bei Variante „Mid“ reicht ebenfalls eine DUW Platine für zwei Fahrwerke und die Anbindung an den Fahrzeugbus muss vorhanden sein. Dadurch kann man zusätzlich zum Gesamtzustand des Fahrzeugs, Diagnose der Achslager und der Räder durchführen, wodurch die Aussagekraft dieser Variante gegenüber Variante „Low“ um einiges größer ist.

6.3.3 Hardware - Ausstattungsvariante „High“

Diese bildet die am umfangreichsten ausgestattete Variante. Montiert werden ebenfalls der Gyro Sensor und die 4 Beschleunigungssensoren an den Radsatzlagern. Zusätzlich kommen noch 2 Schwingungssensoren am Motor und 2 Schwingungssensoren am Getriebe zum Einsatz. Hierbei wird bereits eine DUW Platine pro Fahrwerk, also 2 pro Wagenkasten benötigt. Zusätzlich zu Variante „Mid“ hat man auch die Möglichkeit, auch Motor- und Getriebebeschäden zu diagnostizieren. Dafür muss man 4 Sensoren pro Fahrwerk mehr in Kauf nehmen, was wiederum zu zusätzlichen, möglichen Fehlerquellen führt und die Kosten wesentlich erhöht.

6.4 Entwurf von Gesamtsystemvarianten

Um marktfähige Gesamtkonzepte erstellen zu können, werden nun die Hardware - Ausstattungsvarianten mit den Serviceausprägungen unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Tabelle 7: Paarweiser Vergleich zur Gewichtung der Diagnose – Eigenschaften miteinander verknüpft und in einer Kosten-Wirksamkeitsanalyse gegenübergestellt.

Systemvariante „Low Cost“

Diese soll die Einstiegsvariante bilden und so günstig wie möglich ausgeführt sein. Damit kommt die Serviceausprägung BASIC in Verbindung mit der Hardware-Variante „Low“ in Frage. Mit dieser Konstellation werden die grundlegenden Funktionen der Diagnose erfüllt. Es kann der Gesamtzustand des Fahrwerks werden. Dadurch können Fahrwerksausfälle reduziert werden. Aussagen über Komponentenausfälle oder den Zeitpunkt des Ausfalls sind nicht möglich, wodurch die Planbarkeit der Instandhaltungsmaßnahmen sich nur geringfügig erhöht. Jedoch kann man die Fehlersuche zumindest auf ein Fahrwerk eingrenzen. Dadurch ergibt sich ein Zeitersparnis bei der Wartung. Durch die reduzierte Aussagekraft dieser Variante ist eine Echtzeitübertragung der Sensordaten nicht nötig. Es reicht, wenn die Daten in zyklischen Abständen übertragen werden und nachträglich in den Algorithmen verarbeitet werden.

Systemvariante „Economy“

Die Problematik der ersten Variante ist die Ungenauigkeit der Aussagen. Um diese zu erhöhen, wird die Serviceausprägung ADVANCED mit der Hardwareausstattung „Mid“ verknüpft. Dadurch lassen sich Trendanalysen erstellen, was die Planbarkeit und Prognostizierbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen wesentlich erhöht. Außerdem kann man durch die zusätzlichen Sensoren an den Radsatzlagern bereits Aussagen auf Komponentenebene zum Verschleißzustand der Räder und Radsatzlager treffen. Damit werden die in der Gewichtung als wichtig erachteten Eigenschaften wie Fehlereingrenzung und Vermeidung von Folgefehlern besser erfüllt. Zwar ist der Aufwand für Variante „Economy“ im Vergleich zu Variante „Low Cost“ durch die zusätzlichen Sensoren und das nötige Diagnosecenter zur Erstellung der Trendanalysen deutlich höher, jedoch ergibt sich daraus auch ein wesentlich größerer Nutzen für den Kunden durch die erhöhte Aussagekraft des Systems. Zusätzlich wird das Service Trackmonitoring angeboten, wodurch der Kunde auf Schäden im Schienennetz hingewiesen wird. Die Datenübertragung bei dieser Variante erfolgt bereits drahtlos über die RDA Box.

Systemvariante „High End“

Bei den bisherigen Systemvarianten werden dem Kunden nur die Informationen aus den Sensordaten präsentiert. Das Wissen darüber, was aus diesen Informationen herauszulesen ist und welche Handlungen gesetzt werden müssen, bekommt er nicht. In der dritten Systemvariante wird deshalb das Servicekonzept PROFESSIONAL verwendet. Der Kunde erhält Ergebnisse aus der Diagnose und Handlungsempfehlungen von Siemens Experten. Außerdem lassen die bisherigen Systeme keine genauen Aussagen über den Zustand von Motor und Getriebe zu. Um diesen Umstand zu ändern wird Hardware Ausstattungsvariante „High“ eingesetzt. Dadurch lassen sich auch die Planbarkeit und Prognostizierbarkeit der Instandhaltungsmaßnahmen für Motor und Getriebe maximieren. Auch die Fehlereingrenzung und die Vermeidung von Folgefehlern im Bereich von Motor und Getriebe sind somit möglich. Bei dieser Variante wird ebenfalls das Trackmonitoring mit angeboten und die Datenübertragung erfolgt drahtlos.

Nachstehende Tabelle 10 zeigt einen Überblick über die Gesamtsystemvarianten.

	„Low Cost“	„Economy“	„High End“
Serviceausprägung	BASIC	ADVANCED	PROFESSIONAL
Hardware – Variante	Variante „Low“	Variante „Mid“	Variante „High“
Diagnosecenter	Nein	Ja	Ja
Datenfernübertragung	Manuell, Speicherkarte	Automatisch	Automatische

Tabelle 10: Darstellung der Gesamtkonzepte

	Gewichtung	Systemvarianten					
		“Low Cost”		“Economy”		“High End”	
Wirksamkeitskriterien		n	g*n	n	g*n	n	g*n
Wissen über Zustand (HU Streckung, A-Fehler vermeiden)	23,2	3	70	7	163	8	186
Trackmonitoring	12,5	2	25	9	113	9	113
Zugführermonitoring	1,8	8	14	8	14	8	14
Plan- und Prognostizierbarkeit - Instandhaltungsmaßnahmen	19,6	6	118	8	157	8	157
Image durch Einsatz neuer Technologien	5,4	5	27	5	27	5	27
Vorteile bei Betreiberzulassung	5,4	5	27	6	32	7	38
Fehlereingrenzung am Fahrwerk	17,9	2	36	8	143	9	161
Folgefehler vermeiden	14,3	7	100	8	114	9	129
Wirksamkeitskennzahl	100,0	416		763		823	

Tabelle 11: Wirksamkeitsanalyse¹⁰⁹

¹⁰⁹ Vgl. Habermellner (2002), S. 3-40f

Die Gewichtung in Tabelle 11 stammt aus Tabelle 7. Die Wirksamkeitsfaktoren (in den Spalten n) beschreiben, wie gut die jeweilige Variante die Kriterien erfüllt. Dabei geht die Skala von 1 bis 10, wobei die Zahl 1 für „keine Erfüllung“ des jeweiligen Wirksamkeitskriteriums und 10 für „perfekte Erfüllung“ steht. Diese Werte wurden aus Gesprächen mit Siemens Experten ermittelt. Die größte Wirksamkeitskennzahl hat Variante „High End“. Diese Kennzahlen wurden einer Kostenabschätzung gegenübergestellt, um somit die ökonomischste Ausführungsvariante zu erhalten. Dabei wurde auf die Kostendarstellung des bisherigen Systems bei der Metro München zurückgegriffen. Nachstehend kurz die Zusammenfassung des Projekts.

Anzahl Fahrzeuge	35 Stück
Motorisierung	Vollmotorisierung (Jedes Drehgestell angetrieben)
Ausführung	6 Teiler (12 Drehgestelle pro Fahrzeug)
Fahrzeuglebensdauer	35 Jahre

Tabelle 12: Zusammenfassung des Projekts INSPIRO München

6.4.1 Kostendarstellung anhand des Projekts Metro München

Zunächst werden die derzeitigen Hardwarekosten der Diagnose am Fahrwerk am Beispiel Metro München ausgewiesen um in weiterer Folge auf die möglichen, entstehenden Kosten bei den drei oben erwähnten Ausführungsvarianten rückzuschließen.

Nachstehend die verbauten Komponenten beim Projekt Metro München.

Einmalkosten der Hardware am Drehgestell

- 4 Stk. Schwingungssensoren an den Radsatzlagern
- 2 Stk. Schwingungssensoren am Motor
- 2 Stk. Schwingungssensoren am Getriebe
- 1 Stk. DUW Platine pro Drehgestell mit Gehäuse
- 1 Stk. RDA (Remote Data Access) Box pro Zug (12 Fahrwerke)
- Verrohrungen und Verkabelungen

Anzahl Fahrzeuge	35		
Anzahl Fahrwerke pro Fahrzeug	12		
		Kosten für Gesamtprojekt	Kosten pro Fahrwerk
Preis pro Schwingungssensor (inkl. Kabel und Stecker)	EUR 400,00		
Anzahl Schwingungssensoren	3360	EUR 1.344.000,00	EUR 3.200,00
Preis pro DUW Platine (inkl. Gehäuse und Kabel)	EUR 3.000,00		
Anzahl DUW Platinen	420	EUR 1.260.000,00	EUR 3.000,00
Preis pro RDA Box	EUR 2.000,00		
Anzahl RDA Boxen	35	EUR 70.000,00	EUR 166,67
	Summe	EUR 2.674.000,00	EUR 6.366,67

Tabelle 13: Hardware Einmalkosten für Diagnose am Fahrwerk bei Metro München

Einmalkosten für Entwicklung und Konstruktion

Hier werden, ebenfalls in Anlehnung an das Projekt Metro München, die Entwicklungs- und Konstruktionskosten angeführt.

		Gesamtkosten / Projekt	Gesamtkosten / Drehgestell
Stundenaufwand Systemengineering Basis INSPIRO	2600 h	EUR 228.800,00	EUR 544,76
Stundensatz Systemengineering	EUR 88,00		
Stundenaufwand Baugruppen Basis INSPIRO	1400 h	EUR 119.000,00	EUR 283,33
Stundensatz Baugruppenkonstruktion	EUR 85,00		
Stundenaufwand Systemengineering Projekt München	890 h	EUR 79.210,00	EUR 188,60
Stundensatz Systemengineering	EUR 89,00		
	Summe	EUR 427.010,00	EUR 1.016,69

Tabelle 14: Einmalkosten für Entwicklung und Konstruktion des Diagnosesystems bei Metro München

Laufende Kosten für das Diagnosesystem

Dazu zählen Wartungskosten und die Aufwendungen für das Diagnosecenter. Der Posten „Diagnosecenter Hardware“ umfasst die IT Ausrüstung des Diagnosecenters, Infrastruktur, Datenspeicher, Datenübertragung und die Bereitstellung des Arbeitsplatzes. Hierzu ist zu anmerken, dass dieses Diagnosecenter noch nicht existiert, weshalb es sich bei den Kosten um Schätzungen handelt.

		Gesamtkosten / Jahr	Gesamtkosten / Fahrwerk
Diagnosecenter Hardware		EUR 200.000,00	EUR 476,19
Diagnosecenter Mitarbeiter		EUR 100.000,00	EUR 238,10
Wartungsaufwand*	420 h		
Stundensatz Wartung	EUR 60,00	EUR 25.200,00	EUR 60,00
	Summe	EUR 325.200,00	EUR 774,29

Tabelle 15: Laufende Kosten des Diagnosesystems pro Jahr

* Setzt sich zusammen aus 1 h Wartungsaufwand pro Fahrwerk und Jahr für das Diagnosesystem am Drehgestell mit einem Stundensatz von 60 €

Zusammenfassend sind nun in Tabelle 16 noch einmal die Gesamtkosten für das Projekt in München mit der Erweiterung um das Diagnosecenter angeführt. Dadurch entsprechen diese Kosten den entstehenden Kosten für die Systemvariante „High End“.

	Gesamtkosten / Projekt	Kosten / Fahrwerk
Hardware Einmalkosten	EUR 2.674.000,00	EUR 6.366,67
Engineering Einmalkosten	EUR 427.010,00	EUR 1.016,69
Laufende Kosten	EUR 325.200,00	EUR 774,29
Summe	EUR 3.426.210,00	EUR 8.157,64

Tabelle 16: Zusammenfassung der entstehenden Kosten für Diagnose im 1.Jahr

Unter der Annahme, dass die Engineeringkosten von Variante „High End“ auf „Economy“ um 20% und von „Economy“ auf „Low Cost“ nochmals um etwa 40% geringer ausfallen, ergeben sich die in Tabelle 17 angeführten Kosten für das Engineering. Die laufenden Kosten nehmen von Variante „High End“ auf „Economy“ deshalb ab, weil man keine Handlungsempfehlungen erstellen muss und dadurch weniger Aufwand hat. Bei Variante „Low Cost“ entfällt das Diagnosecenter komplett und es fallen nur die laufenden Wartungskosten an.

Kostenkriterium	Varianten		
	“Low Cost”	“Economy”	“High End”
Hardwarekosten	EUR 1.900	EUR 3.667	EUR 6.367
Engineeringkosten	EUR 500	EUR 800	EUR 1.016
laufende Kosten	EUR 60	EUR 500	EUR 774
Gesamtkosten	EUR 2.460	EUR 4.967	EUR 8.157

Tabelle 17: Kostenaufstellung der einzelnen Konzeptvarianten¹¹⁰

6.4.2 Kosten - Wirksamkeitsanalyse

Nun werden die jeweiligen Kosten den erreichten Wirksamkeitspunkten gegenübergestellt, um auf Grund dessen die Entscheidung für eine Ausführungsvariante treffen zu können.

Varianten	“Low Cost”	“Economy”	“High End”
Gesamtkosten	EUR 2.460	EUR 4.967	EUR 8.157
Wirksamkeitskennzahl	346	763	823
Kosten pro Wirksamkeitspunkt	7,1	6,5	9,9

Tabelle 18: Kosten-Wirksamkeitsanalyse¹¹¹

Der niedrigste Wert im Feld „Kosten pro Wirksamkeitspunkt“ bedeutet, dass diese Variante im Vergleich zu den anderen die erreichten Wirksamkeitspunkte am kostengünstigsten erfüllt. Daraus ergibt sich die Entscheidung für Variante „Economy“. Bei „Low Cost“ gibt es zusätzlich das Problem, dass diese Variante zurzeit noch nicht eingesetzt werden zu kann. Falls man es eines Tages schafft, das Schwingungsspektrum mit nur einem Sensor zu erfassen und daraus Schäden auf Komponentenebene bestimmen zu können, wird diese Variante auch in der Bewertung besser abschneiden und möglicherweise „Economy“ als optimales Konzept ablösen. An dieser Stelle wird auch auf den Umstand hingewiesen, dass mit dem Wunsch nach großer Diagnosegenauigkeit die Anzahl der Sensoren und somit auch die Kosten zwangsläufig steigen. Durch die erhöhte Anzahl an Sensoren bringt man wieder zusätzliche Fehlerquellen in das System ein. Dadurch muss man einen guten Mittelweg finden, mit so wenigen Sensoren wie möglich den Zustand des Fahrwerks so gut als möglich abzubilden.

¹¹⁰ Vgl. Haberfellner (2002), S. 3-40f

¹¹¹ Vgl. Haberfellner (2002), S. 3-40f

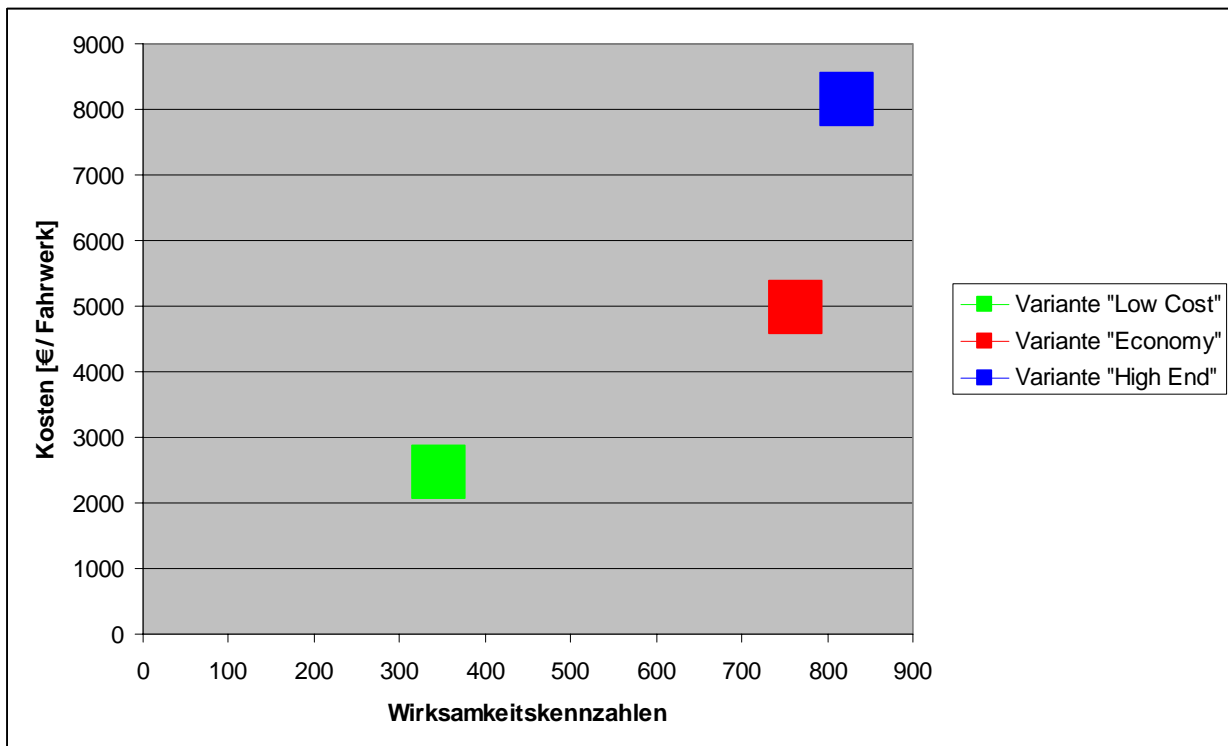


Abbildung 38: Gegenüberstellung der 3 möglichen Diagnosesystemvarianten

Abbildung 38 zeigt den Vergleich der Systemvarianten grafisch. Der optimale Bereich in dieser Darstellung wäre das rechte, untere Eck. Das System ist „Gratis“ und erfüllt die Wirksamkeitskriterien zu 100%. Ein solches System ist jedoch unmöglich zu realisieren. Deshalb fällt die Entscheidung für dasjenige System, welches der idealen Lösung am nächsten kommt. In diesem Fall ist dies die Variante „Economy“.

Serviceausprägung	ADVANCED Erstellung von Trendanalysen mit der Aussage „Der Zustand von Fahrwerk X wird im Zeitraum Y außerhalb des Normzustandes geraten“;
Hardware - Ausstattungsvariante	Variante „Economy“ 1 x Gyro Sensor pro Drehgestell; 4 x Beschleunigungssensor an den Radsatzlagern; 1 x DUW Platine pro zwei Drehgestelle;
Diagnosecenter	1 Mitarbeiter, Erstellung von Trendanalysen;
Datenfernübertragung	Automatisch Mittels RDA Box werden die erforderlichen Daten auf die Landseite übertragen;

Tabelle 19: Gewählte Systemausführung

6.5 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung des gewählten Konzepts

Um für dieses System eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchführen zu können, werden nun detailliert die Kosten und der monetär bewertbare Nutzen für den Kunden aufgestellt. Zugrunde liegt das Projekt Metro München mit den umseitig bereits angeführten Zahlen.

Einmalkosten Systemengineering Plattform	EUR 544,76
Stundenaufwand 2600h Stundensatz 88€	
Einmalkosten Baugruppen	EUR 283,33
Stundenaufwand 1400h Stundensatz 85€	
Einmalkosten Systemengineering Projekt	EUR 188,60
Stundenaufwand 890h Stundensatz 89€	
Einmalkosten Hardware	EUR 3.667,00
5 Stk. Beschleunigungssensoren (inkl. Kabel und Stecker) á 400€ 1 Stk. DUW Platine (inkl. Gehäuse und Kabel) pro 2 Drehgestelle á 3000€1 Stk. RDA Box pro Wagen (12 Drehgestelle)	
Laufende Kosten Diagnosecenter/a	EUR 714,29
1 Mitarbeiter im Diagnosecenter 100.000€/a Hardware/IT/Arbeitsplatz – Diagnosecenter 200.000€/a	
Laufende Kosten Systemwartung/a	EUR 60,00
Arbeitsaufwand 1h/Drehgestell/a Stundensatz 60€	
SUMME	EUR 5.457,98
Preis (unter Berücksichtigung von 10% EBIT)	ca. EUR 6.000,00

Tabelle 20: Kosten und Preis der gewählten Ausführungsvariante

Der Preis gilt für die gesamte Diagnosehardware und das Service ADVANCED mit Trendanalysen für das erste Jahr. Die Einmalkosten für Systemengineering und die Baugruppen sowie die laufenden Kosten für das Diagnosecenter wurden auf die Beispielflotte der Metro München aufgeteilt, also auf 35 Fahrzeuge mit jeweils 12 Drehgestellen. Der Wert von EUR 6.000 würde dem Preis für den Kunden im ersten Jahr entsprechen. In den weiteren Jahren fallen jeweils EUR 851,00 (774,29 € + 10% EBIT), also die Summe der laufenden Diagnosecenter- und Wartungskosten an. Diese annualen Kosten werden sich in den kommenden Jahren stark verringern, da davon auszugehen ist, dass mehrere Projekte mit Diagnosesystem folgen und dadurch die Kosten für die einzelnen Projekte sinken.

Zur Darstellung des Nutzens für den Kunden wird angenommen, dass er sich durch die Anschaffung des Diagnosesystems eine Hauptuntersuchung spart, die korrektiven Aufwendungen in der Instandhaltung und die Ausfälle von Drehgestellen und damit verbundene Stillstände von Fahrzeugen um 20% vermindert werden und die Radstandzeit um 20% erhöht wird.

Kostenvorteil durch Einsparung einer Hauptuntersuchung	
Fahrwerk	EUR 6.838,30
Radsatz	EUR 6.296,00
Kostenvorteil durch Reduktion der korrektiven Aufwendungen	
Radtauschkosten	EUR 4.166,67
Motor	EUR 584,00
Getriebe	EUR 473,20
Fahrwerksausfälle (zwei Ausfälle in 35 Jahren á kostet 7.000€)	EUR 233,33
SUMME (Netto)	EUR 18.591,50
SUMME (Brutto, 144% Aufschlag)	EUR 45.363,26

Tabelle 21: Netto-Kostenvorteile für den Kunden durch das Diagnosesystem

Der in Tabelle 21 ausgewiesene Brutto Wert ist die Kosteneinsparung durch das Diagnosesystem pro Fahrwerk in 35 Jahren. In dieser Summe sind jedoch die Vorteile, welche der Kunde durch das Trackmonitoring oder das Fahrermonitoring hat, nicht miteinbezogen. Dieser zusätzliche Nutzen ist nur schwer zu bewerten, äußert sich jedoch in

einer weiteren Erhöhung der Lebensdauer des Drehgestells und damit verbundenen Einsparungen in der Instandhaltung. Ebenso sind die von Siemens nicht bewertbaren Eigenschaften wie das „innovative Image“ oder „Vorteile bei Zulassungsbehörden“ nicht enthalten. Dieser Wert ist von Kunde zu Kunde verschieden und somit hängt es auch vom Kunden ab, wie hoch der Preis für das Diagnosesystem sein darf, so dass er noch einen positiven Nutzen in der Anschaffung sieht.

Man muss diesen Nutzen auf 35 Jahre aufteilen und eine Barwertrechnung durchführen, um dadurch den Wert dieser Einsparungen zum jetzigen Zeitpunkt zu erhalten.

Brutto Nutzen über 35 Jahre	EUR 45.363,25
Nutzen pro Jahr	EUR 1.296,00
Zinssatz	6%
Rentenbarwertfaktor	14,498
Barwert des Nutzens	EUR 18.791,07

Tabelle 22: Barwertberechnung der Kostenersparnisse durch das Diagnosesystem

Nutzen pro Jahr	EUR 1.296,00
Laufende Kosten pro Jahr	EUR 851,00
Investitionskosten	EUR 5.149,00
Amortisationsdauer	11,5 Jahre

Tabelle 23: Berechnung der Amortisationsdauer

Zur Amortisationsdauer ist zu sagen, dass im Metro Bereich grundsätzlich ein Zeitraum von 5 Jahren für die Amortisierung einer Investition als wirtschaftlich angesehen wird. Der Wert von 11,5 Jahren liegt da deutlich drüber, wonach das System in der vorliegenden Form für den Kunden wohl als unwirtschaftlich angesehen werden würde.

Nutzen pro Jahr	EUR 1.296,00
Laufende Kosten pro Jahr	EUR 851,00
Investitionskosten	EUR 5.149,00
Rentenbarwertfaktor	14,498
Barwert des Nutzens (auf 35 Jahre)	EUR 18.791,07
Barwert der Kosten (auf 35 Jahre)	EUR 12.337,80
Kapitalwert	EUR 1.304,27

Tabelle 24: Berechnung des Kapitalwerts des Diagnosesystems

Der positive Kapitalwert kennzeichnet eine attraktive Investition. An dieser Stelle soll noch einmal erwähnt werden, dass bei der Berechnung des Nutzens nur auf von Siemens gut bewertbare Vorteile eingegangen wurde. Ob der Kunde das Diagnosesystem letztendlich als wirtschaftlich ansieht, hängt von vielen Faktoren ab, welche man am besten in Zusammenarbeit mit dem Kunden in Erfahrung bringen kann.

6.6 Szenarien für die Geschäftsentwicklung der Diagnose

Um nun mögliche Szenarien für Siemens zu betrachten und damit die Wirtschaftlichkeit nicht nur für den Kunden sondern auch für Siemens selbst darzustellen, werden nun zwei unterschiedliche Szenarien vorgestellt und die Entwicklung des Umsatzes mittels Diagnosesystem für Siemens im jeweiligen Fall beschrieben. Dabei wird zunächst auf die Möglichkeiten eingegangen, den relativ hohen Verkaufspreis von EUR 6.000 (welcher innerhalb Siemens als zu hoch eingestuft wird) für das Diagnosesystem und das dazugehörige Service für das erste Jahr abzuschwächen. Da ansonsten davon ausgegangen wird, dass sich kein Kunde für das Diagnosesystem entscheiden würde.

6.6.1 Szenario – „Rent Diagnosis“

Hierbei entscheidet sich der Kunde dafür, das Produkt „Zustandsorientierte Instandhaltung“ zu mieten. Dadurch hat er den Vorteil, dass er während eines vorgeschriebenen Zeitraumes von 10 Jahren zu relativ günstigen Konditionen das System benutzen und hinsichtlich Funktionalität und Zuverlässigkeit testen kann. Dafür leistet er zu Beginn eine Anzahlung von 30% der gesamten Einmalkosten (Hardware und Engineering).

Anschließend sind während einer Vertragsfrist von 10 Jahren nur die laufenden Kosten (Diagnosecenter und Wartung) zusätzlich eines EBIT von 10% der laufenden Kosten und eines Zuschlags von 5% der Einmalkosten fällig. Nach diesen 10 Jahren kann sich der Kunde entscheiden, ob er das Diagnosesystem und das Service von Siemens weiterhin nutzen möchte, oder ob Siemens das System wieder abbauen soll und er auf Diagnose verzichtet. Daraus ergibt sich auch das Risiko für Siemens. Mit den oben beschriebenen Konditionen ist das System nach den 10 Jahren noch nicht abbezahlt und falls sich der Kunde dazu entschließt, das Diagnosesystem nicht mehr weiter zu mieten, würde man auf ca. EUR 256 pro Fahrwerk (für die Beispielflotte Metro München EUR 107.520) verzichten und zusätzlich die Kosten für den Abbau tragen müssen. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn sich der Kunde gegen das Diagnosesystem entscheidet und keine weiteren Projekte, welche vom selben Diagnosecenter aus betreut werden können, dazu kommen. Geht man von 100 weiteren Fahrwerken jährlich aus (was den Abschätzungen von Siemens entspricht), würde sich der Ertrag für Siemens jährlich vergrößern und man hätte nach 7 Jahren bereits etwa EUR 560 pro Fahrwerk (für die Beispielflotte Metro München EUR 235.200) an Überschuss erzielt.

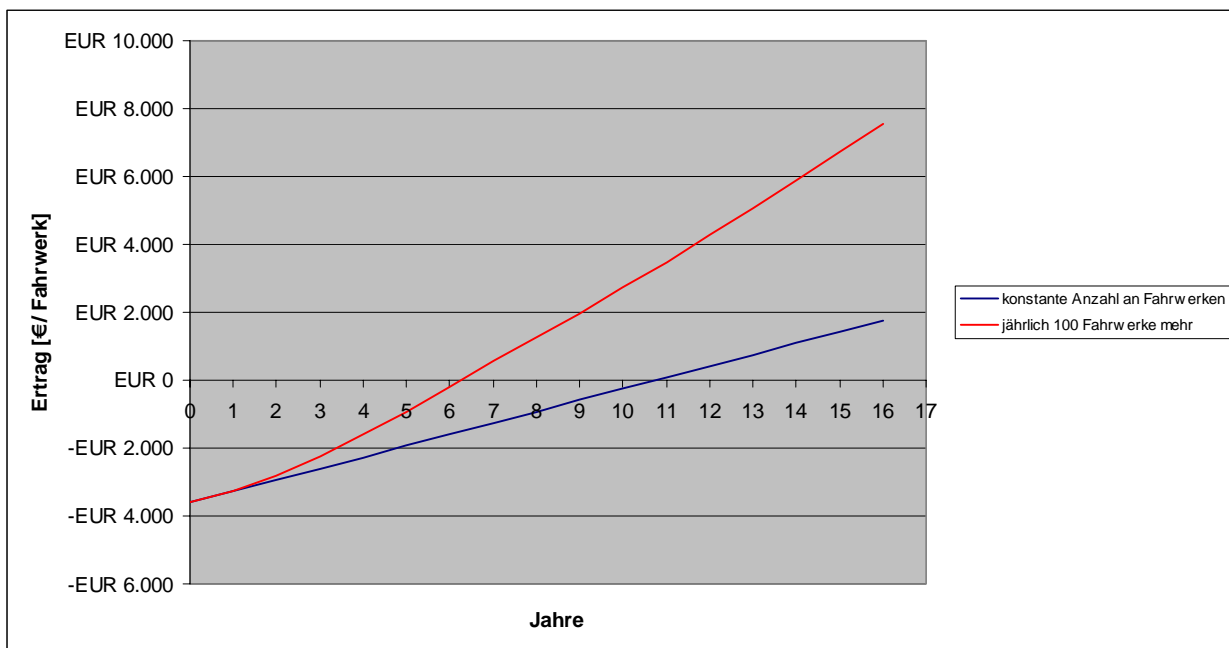


Abbildung 39: Vergleich beider Ertragsverteilungsentwicklungen bei Szenario „Rent Diagnosis“

Zu Beginn decken sich die Werte noch. Der Kunde zahlt 30% der Einmalkosten für die Hardware und das Engineering inkl. 10% EBIT (EUR 1.545) an. Auch nach dem ersten Jahr, in dem noch nicht angenommen wird, dass man neue Projekte zusätzlich betreuen kann, ist man bei beiden Szenarien mit EUR 3.469 pro Fahrwerk im Minus. Im ersten Jahr zahlt der Kunde 5% der Einmalkosten (Hardware und Engineering) und die

laufenden Kosten welche um ein EBIT von 10% erhöht wurden (EUR 1.124). Nachstehend sind die Verluste bzw. Gewinne für Siemens für beide Varianten dargestellt.

Jahr	Preis für Kunden	Kosten für Siemens	Variante mit konstanter Anzahl an Fahrwerken mit Diagnosesystem*	Variante mit 100 zusätzlich durch das Diagnosecenter bearbeiteten Fahrwerken pro Jahr*
0	EUR 1.545	EUR 5.151	-EUR 3.606	-EUR 3.606
1	EUR 1.124	EUR 774	-EUR 3.271	-EUR 3.271
2	EUR 1.124	EUR 637	-EUR 2.936	-EUR 2.799
3	EUR 1.124	EUR 544	-EUR 2.601	-EUR 2.234
4	EUR 1.124	EUR 477	-EUR 2.266	-EUR 1.602
5	EUR 1.124	EUR 426	-EUR 1.931	-EUR 918
6	EUR 1.124	EUR 386	-EUR 1.596	-EUR 196
7	EUR 1.124	EUR 354	-EUR 1.261	EUR 559
8	EUR 1.124	EUR 417	-EUR 926	EUR 1.251
9	EUR 1.124	EUR 388	-EUR 591	EUR 1.972
10	EUR 1.124	EUR 363	-EUR 256	EUR 2.718
11	EUR 1.124	EUR 342	EUR 79	EUR 3.485
12	EUR 1.124	EUR 323	EUR 414	EUR 4.271
13	EUR 1.124	EUR 307	EUR 749	EUR 5.073
14	EUR 1.124	EUR 293	EUR 1.084	EUR 5.890
15	EUR 1.124	EUR 280	EUR 1.419	EUR 6.719
16	EUR 1.124	EUR 268	EUR 1.754	EUR 7.560

Tabelle 25: Gewinn- bzw. Verlustverlauf bei beiden Entwicklungsmöglichkeiten in Zahlen

*Alle Werte pro Fahrwerk

Nach den 10 Jahren Vertragslaufzeit hat Siemens bei einer jährlichen Steigerung von 100 betreuten Fahrwerken (wobei in der Kalkulation angenommen wurde, dass ein Mitarbeiter 1000 Fahrwerke betreuen kann, d. H. nach 6 Jahren ist ein zweiter Mitarbeiter im Diagnosecenter notwendig, nach 15 Jahren ein dritter usw.) einen Ertrag von EUR 2.718 pro Fahrwerk (EUR 1.141.560 bei der Beispielflotte Metro München) erwirtschaftet.

tet. Für den unwahrscheinlichen Fall, dass sich kein weiterer Kunde dazu entschließt, das Diagnosesystem zu leasen, wäre Siemens nach den 10 Jahren mit EUR 256 pro Fahrwerk im Verlustbereich (EUR 107.520 für Metro München). Jedoch kann man diese 10 Jahre bereits dazu nutzen, das System im laufenden Betrieb zu erproben und zu verbessern und die gesammelten Daten ebenfalls für die Verbesserung zukünftiger Fahrwerke nutzen. Verglichen mit diesem zusätzlichen Nutzen für Siemens ist ein Verlust von EUR 107.520 in 10 Jahren gering.

6.6.2 Szenario – „Buy Diagnosis“

Hierbei entschließt sich der Kunde das komplette System gleich zu Beginn zu kaufen um anschließend während der gesamten Lebensdauer alle Vorteile aus der Diagnose nutzen zu können. Dabei wird am Anfang ein Betrag von EUR 6.000 pro Fahrwerk fällig. Damit erhält er die komplette Hardwareausstattung zur Diagnose der Fahrwerke und das Diagnose – Service für das erste Jahr. Siemens hat damit bereits bei der Auslieferung 10% Gewinn erzielt (durch den 10%igen EBIT Zuschlag auf die Kosten). In den folgenden Jahren werden nur noch die laufenden Kosten inkl. eines 10%igen EBIT Zuschlags verrechnet, also EUR 851. Der Kunde kann sich jederzeit dazu entschließen, das Diagnosesystem nicht mehr einsetzen zu wollen bzw. das laufende Diagnoseservice von Siemens nicht mehr zu beziehen. Damit würde der Servicevertrag enden und der Kunde könnte nach eigenem Ermessen über das Diagnosesystem am Fahrwerk verfügen. Siemens hat den Vorteil, dass bereits zu Beginn das komplette System kostendeckend verkauft wurde und 10% EBIT erwirtschaftet wurden. Nach 10 Jahren hätte man bereits einen Gewinn von EUR 4.593 pro Fahrwerk (EUR 1.929.060 für die Flotte Metro München) erzielt, wenn man ebenfalls davon ausgeht, dass jährlich 100 neue Fahrwerke durch dasselbe Diagnosecenter betreut werden können. Falls keine zusätzlichen, mit Diagnosesystem ausgestatteten Fahrwerke dazu kommen hat man nach 10 Jahren einen Ertrag von EUR 1.619 pro Fahrwerk (EUR 679.980 bei Metro München) erreicht.

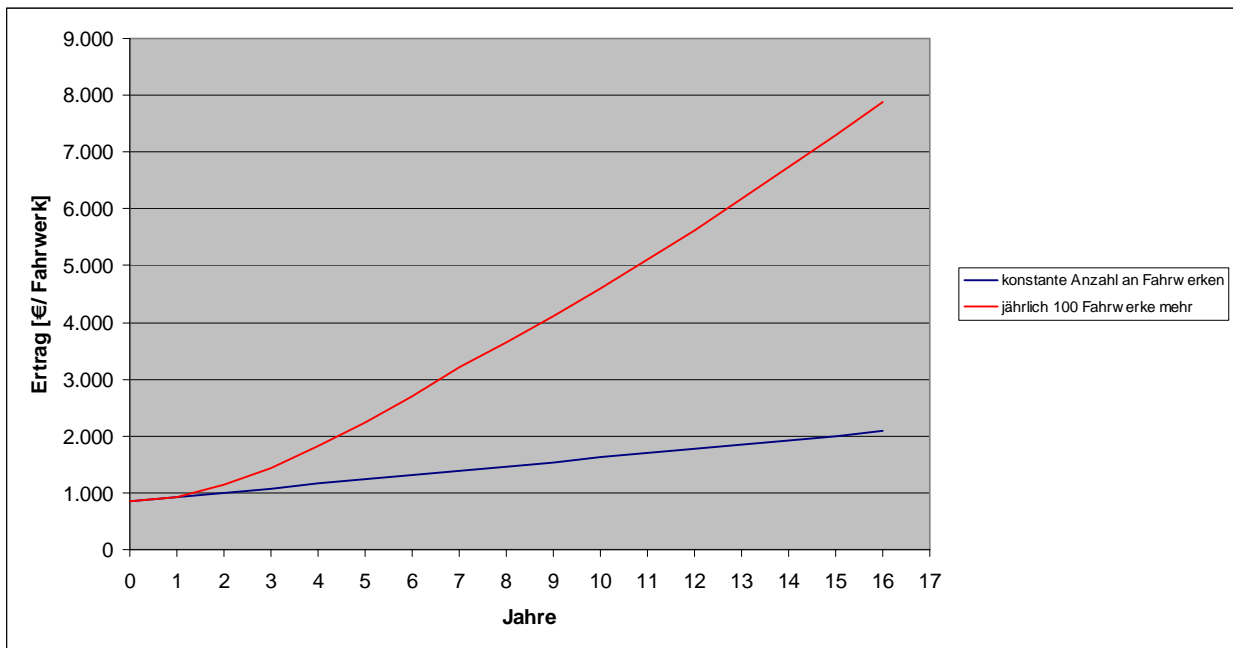


Abbildung 40: Vergleich beider Ertragsverteilungsentwicklungen bei Szenario "Buy Diagnosis"

Nachstehend werden nun die Vor- und Nachteile der einzelnen Szenarien aus Sicht von Siemens und aus der Kundensicht zusammengefasst.

Vorteile des Szenarios „Rent Diagnosis“	Nachteile des Szenarios „Rent Diagnosis“
Für Siemens	
Größere Wahrscheinlichkeit dass Kunden das System kaufen, da dieses Szenario attraktiver erscheint	Gefahr, dass Kunde nach 10 Jahren und Ablauf des Vertrags nicht mehr verlängert und Verluste eingefahren werden
Durch vertragliche Bindung ist es möglich, mindestens 10 Jahre lang das Diagnosesystem im laufenden Betrieb zu verbessern	Gefahr der Insolvenz des Kunden während der 10 jährigen Vertragslaufzeit
Mindestens 10 Jahre lang Datenrückflüsse aus dem laufenden Betrieb und dadurch Möglichkeit zur Verbesserung der Fahrwerke	Gefahr, dass keine zusätzlichen Fahrwerke mit einem Diagnosesystem ausgestattet werden und dadurch der Gewinn geringer ausfällt
Siemens ist zu jeder Zeit Eigentümer des Diagnosesystems und kann es bei Bedarf abbauen	
Für den Kunden	
Möglichkeit ein neues Diagnosesystem auf begrenzte Dauer zu testen und anschließend die	Kunde ist nicht Eigentümer sondern nur Mieter des

Entscheidung für oder gegen Diagnose treffen zu können	Diagnosesystems
Geringere jährliche Kosten durch die Aufteilung auf die Vertragslaufzeit	

Tabelle 26: Vor- und Nachteile des Szenarios "Rent Diagnosis"

Vorteile des Szenarios „Buy Diagnosis“	Nachteile des Szenarios „Buy Diagnosis“
Für Siemens	
Risiko der Insolvenz des Kunden wie bei obiger Variante nicht vorhanden, da bereits zu Beginn das gesamte System bezahlt wird	Kunde kann sich jederzeit dazu entschließen, die Diagnose von Siemens nicht mehr zu wollen, dann würde man keine Daten mehr bekommen und der Kunde würde über ein installiertes Diagnosesystem verfügen
Sofortiger Gewinn von 10% und keine Vertragslaufzeit	Der relativ hohe Preis schreckt womöglich potentielle Kunden ab und man kann das Diagnosesystem nicht flächendeckend auf den Markt bringen
Für den Kunden	
Möglichkeit, jederzeit die Diagnose abzubestellen, keine Vertragsbindung	Relativ hoher Preis gleich zu Beginn

Tabelle 27: Vor- und Nachteile des Szenarios "Buy Diagnosis"

Beide Szenarien haben ihre Vor- und Nachteile. Aus Sicht des Autors hat das Szenario „Rent Diagnosis“ jedoch die größeren Chancen am Markt angenommen zu werden. An dieser Stelle soll auch auf das System RailBAM hingewiesen werden, welches umseitig beschrieben wurde. Auch bei diesem System gibt es das Szenario, dass man die Hardware ganz günstig oder sogar gratis anbietet und den Gewinn nur über den Verkauf von Daten und Datenauswertungen generiert. Dieses System befindet sich ebenfalls erst im Pilotstadium jedoch hat man bereits aussichtsreiche Aufträge in Aussicht.

Eine Aussage über die tatsächlichen Chancen der einzelnen Szenarien wird man jedoch erst nach intensiven Gesprächen mit Kunden und Vertriebspartnern treffen können.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Marktbetrachtung in dieser Arbeit hat gezeigt, dass es eine Vielzahl von Anbietern und Anwendern von Diagnosesystemen zur zustandsorientierten Instandhaltung in den unterschiedlichsten Bereichen der Wirtschaft gibt. Auch die Forderungen der Kunden nach einem Diagnosesystem am Fahrwerk in den Lastenheften mehrerer Projekte lassen darauf schließen, dass der Weg in Richtung Zustandserfassung und verschleißabhängige Instandhaltung durch die Diagnose des Zustands von vielen als probates Mittel angesehen wird, die LCC zu senken, die Instandhaltung zu verbessern und die Verfügbarkeit von Maschinen zu erhöhen.

Wirtschaftlich gesehen muss man jedoch sagen, dass sich das System in der gewählten Ausführung erst nach 11,5 Jahren beim Kunden amortisiert. Dieser Wert wird als zu hoch und somit das Diagnosesystem als unwirtschaftlich angesehen. Tatsache ist, dass der Kostentreiber Hardware zurzeit viele Vorteile, welche der Kunde durch das Diagnosesystem erwarten könnte, zunichte macht. Hier ist der Weg, die Sensorik am Fahrwerk zu reduzieren der richtige, auch wenn man dadurch vorerst ungenauere Aussagen über den Zustand einzelner Komponenten in Kauf nehmen muss. Aus den Kundenanforderungen lässt sich ebenfalls darauf schließen, dass man die Diagnose weniger auf Komponentenebene mit umfangreicher Sensorik am Fahrwerk möchte, sondern eher den Gesamtzustand des Fahrwerks durch entsprechend reduzierte Sensorik darstellen will.

Als Verkaufsszenario zeigt sich die Leasing Variante „Rent a Service“ als vielversprechend für beide Seiten, den Kunden und Siemens selbst. Es ergeben sich Vor- und Nachteile wobei in Summe beide Parteien von dieser Variante profitieren.

Nachstehend werden nun Empfehlungen aus Sicht des Autors abgegeben, welche eingehalten werden sollten, um die Innovation „Diagnose am Fahrwerk“ zu einem Markterfolg zu bringen. Dies erfolgt durch die Darstellung möglicher Barrieren.

Produktüberlegenheit

Bereits jetzt, während der Produktkonzeption, sollte man sich ausführlich darüber Gedanken machen, wie man die zuvor bereits beschriebene Unique Selling Proposition erreichen kann. Man sollte Überlegungen anstellen, welche Eigenschaften des Diagnosesystems dem Kunden wirklich Vorteile bringen, sodass eine Entscheidung für das Siemens System nur logisch für ihn ist. Dies sollte verstärkt durch Zusammenarbeit mit Kunden und aktive Einbindung dieser in den Konzeptionsprozess geschehen. Bis jetzt war es aus Sicht des Autors eher der Fall, dass man Siemens intern nach Lösungen für das Diagnosesystem gesucht hat und nur sehr wenig zusammen mit dem Kunden gearbeitet hat.

Marktbetrachtung

Dabei sollte ein Weg gefunden werden, den direkten Kontakt zum Endkunden, welcher derzeit nur spärlich besteht, herzustellen und den tatsächlichen Leidensdruck in Erfahrung zu bringen um anschließend das Diagnosesystem auf die Bedürfnisse der Kunden abstimmen zu können.

Frühzeitige Produktdefinition

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden Gesamtkonzepte ausgearbeitet, welche als grundlegende Basis für die genauere Produktdefinition verwendet werden können. Eine genaue Produktdefinition sollte jedoch auf jeden Fall noch erfolgen, um mit ausgereiften Konzeptvarianten auf den Kunden zugehen zu können.

Solider Marketingplan

Auch die Erstellung eines Marketingplans ist aus Sicht des Autors noch zwingend erforderlich. Man macht sich derzeit sehr viele Gedanken um die bestmögliche, technische Realisierung, jedoch nur wenige um die bestmögliche, marktorientierte Lösung. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde eine erste Betrachtung des Marktes durch die Erörterung bestehender Systeme am Markt, Kundenanforderungen, die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und die Erarbeitung zweier Verkaufsszenarien durchgeführt. Um hier noch genauere Aussagen treffen zu können, sollte man aus Sicht des Autors das jetzige Team rund um das Diagnosesystem, welches zu einem großen Teil aus Technikern besteht, um einen Mitarbeiter aus dem Marketing erweitern. Dadurch würde man auch andere Sichtweisen in das Projekt einfließen lassen.

Die vorliegende Arbeit macht deutlich, dass das Thema „Diagnose zur zustandsorientierten Instandhaltung von Fahrwerken bei Schienenfahrzeugen“ seitens vieler Kunden mit großer Aufmerksamkeit verfolgt wird. Der Leidensdruck von hohen Life Cycle Kosten veranlasst sie, über Möglichkeiten diese zu senken nachzudenken und dabei sind Diagnosesysteme, wie sie zurzeit von Siemens geplant werden, ein wirksames Mittel.

Laut Meinung des Autors ist es nun an der Zeit, das Diagnosesystem durch intensiven Kundenkontakt zur Marktreife zu bringen und durch den laufenden Betrieb zu verbessern.

8 Literaturverzeichnis

Amtsblatt der Europäischen Union, 21.02.2008, Richtlinie 96/48/EG - Interoperabilität des Transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems

Cooper R.: Top oder Flop in der Produktentwicklung, 2. Auflage, Weinheim 2010

DIN 31051: 10.2001: Grundlagen der Instandhaltung, Überarbeitung von DIN 31051:1985-01, Deutsches Institut für Normung, 2001

Haberfellner R.: Projektmanagement – Auf der Basis des Systems Engineering, Skriptum zur Vorlesung, Graz 2002

Haigermoser A.: Schienenfahrzeuge, Skriptum zur Vorlesung, Graz 2002

Karagiannis D.; Telesko R.: Wissensmanagement – Konzepte der künstlichen Intelligenz und des Softcomputing, München 2001

Klaus G.: Wörterbuch der Kybernetik, 2. Auflage, Berlin 1968

Matyas K.: Taschenbuch Instandhaltungslogistik, 3. überarbeitete Auflage, München 2008

North K.: Wissensorientierte Unternehmensführung – Wertschöpfung durch Wissen, 5. Auflage, Wiesbaden 2011

Pepels W.: Marketing, 4. Auflage, München 2004

Sabisch H.: Produktinnovationen, Stuttgart 1991

Schenk M.: Instandhaltung technischer Systeme – Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebes, Magdeburg 2010

Schumpeter J.: .: Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung, 9. Auflage, Berlin 1997

Thom, N.: Grundlagen des betrieblichen Innovationsmanagements, 2. Auflage, Köln 1980

Vahs D. / Burmester R.: Innovationsmanagement - Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung, 3. Auflage, Stuttgart 2005

Witte E.: Organisation für Innovationsentscheidungen. Das Promotoren-Modell, Göttingen 1973

Wohinz J.: Betriebliches Innovationsmanagement, Auflage 2011, Graz 2011

Wohinz, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003

9 Internetquellenverzeichnis

Bombardier (2011a)

http://www.sics.se/~aho/tor/Michael_Provost_ToR-091202.pdf, Zugriffsdatum 2.11.2011

Duden (2011a)

<http://www.duden.de/rechtschreibung/Innovation>, Zugriffsdatum 30.11.2011

Etymology (2011a)

http://www.etymonline.com/index.php?allowed_in_frame=0&search=innovation&search_mode=none, Zugriffsdatum 30.11.2011

Siemens (2011a):

http://www.siemens.com/press/pool/de/homepage/das_unternehmen_2011.pdf, Zugriffsdatum 17.10.2011

Siemens (2011b)

https://intranet.cee.siemens.com/web/at/de/corporate/cc/home/portfolio/das-unternehmen/Documents/SAGOE_2011_2011-10-01_de.pdf, Zugriffsdatum 17.10.2011

Siemens (2011c)

http://www.siemens.com/about/de/unser_geschaeft/infrastructure_and_cities/rail_systems.htm, Zugriffsdatum 17.10.2011

Siemens (2011d)

http://www.siemens.com/press/pool/de/homepage/das_unternehmen_2011.pdf, Zugriffsdatum 17.10.2011

Siemens (2011e)

<http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/de/fernverkehr/schienenverkehr/lokomotiven/vectron-start/technik/fertigungs-und-testkompetenz/drehgestellwerk-graz/Seiten/drehgestellwerk-graz.aspx#Kurzer%20Abriss%20der%20Geschichte>, Zugriffsdatum 17.08.2011

Siemens (2011f)

<http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/Documents/de/rail-solutions/components-and-systems/bogies-catalog-de.pdf>, Zugriffsdatum 15.11.2011

Siemens (2011g)

http://lamp3.tugraz.at/~career/show_company_profile_portal.php?company_id=293, Zugriffsdatum 17.08.2011

Siemens (2011h)

http://www.medical.siemens.com/siemens/en_INT/gg_cs_FBAs/files/pdfs/Guardian_Program_Customer_Brochure_English.pdf

Siemens (2011i)

http://www.automation.siemens.com/mcmts/topics/en/siplus/condition-monitoring/siplus-cms4000/Documents/SIPLUS_CMS4000_de_v_6_00.pdf, Zugriffsdatum 24.10.2011

Siemens (2011j)

http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/de/brochure_maintenance_applications_de.pdf, Zugriffsdatum 5.10.2011

SKF (2011a)

<http://www.skf.com/files/894223.pdf>, Zugriffsdatum 8.11.2011

Southwesttrains (2011a)

<http://www.southwesttrains.co.uk/RailBAM.aspx>, Zugriffsdatum 5.10.2011

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Siemens Konzerns.....	1
Abbildung 2: Gliederung der Siemens AG.....	2
Abbildung 3: Weltweite Präsenz von Siemens	3
Abbildung 4: Siemens Standort Graz Eggenberg.....	4
Abbildung 5: Drehgestell SF 3000.....	5
Abbildung 6: Schema Fahrwerks-Diagnose	6
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Vorgehensweise	7
Abbildung 8: Die Beziehungsstruktur zwischen den 4 Merkmalen von Innovationsaufgaben.....	13
Abbildung 9: Stage Gate Prozess nach Cooper.....	16
Abbildung 10: 3D Darstellung eines SF4 Fahrwerks.....	26
Abbildung 11: Skizze des Aufbaus eines Fahrwerkes (COMBINO)	27
Abbildung 12: Siemens Metro Fahrwerk SF 1000 HS.....	30
Abbildung 13: Technische Daten SF 1000 HS.....	31
Abbildung 14: Siemens Regionaltriebzug - Fahrwerk SF 5000.....	31
Abbildung 15: Technische Daten SF 5000.....	32
Abbildung 16: Siemens High Speed Fahrwerk SF 500	32
Abbildung 17: Technische Daten SF 500.....	33
Abbildung 18: Siemens Lokomotiven Fahrwerk SF1.....	33
Abbildung 19: Technische Daten SF1	34
Abbildung 20: Gliederung der Instandhaltung	35
Abbildung 21: Unterschiedliche Instandhaltungsstrategien	36
Abbildung 22: Präventiv periodisch vorbeugende Instandhaltung.....	37
Abbildung 23: Präventiv zustandsabhängige Instandhaltung	38
Abbildung 24: Geschichtliche Entwicklung der Instandhaltung	39
Abbildung 25: Schema des lastabhängigen Betriebsstundenzählung.....	45

Abbildung 26: Beschreibung der Services zur Diagnose beim Health Care Sektor von Siemens	46
Abbildung 27: Schema des Condition Monitoring bei Zementmühlen	47
Abbildung 28: Ausführungsvarianten CMS.....	48
Abbildung 29: RailBAM System	49
Abbildung 30: Struktur des „ORBITA“ Systems von Bombardier	50
Abbildung 31: Bombardier System „ORBIFLO“	51
Abbildung 32: ALSTOM “Traintracer”	52
Abbildung 33: Bogie Monitoring System von SKF	53
Abbildung 34: IMx-R Datenübertragungssystem von SKF	53
Abbildung 35: Aufbau des derzeitigen Diagnosesystems bei INSPIRO	61
Abbildung 36: Skizze des Gesamtsystem- Aufbaus	66
Abbildung 37: Service Konzept für das Diagnosesystem.....	68
Abbildung 38: Gegenüberstellung der 3 möglichen Diagnosesystemvarianten.....	77
Abbildung 39: Vergleich beider Ertragsverteilungsentwicklungen bei Szenario „Rent Diagnosis“	82
Abbildung 40: Vergleich beider Ertragsverteilungsentwicklungen bei Szenario "Buy Diagnosis"	85

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Eckdaten der Siemens AG Weltweit	3
Tabelle 2: Fahrwerksübersicht	6
Tabelle 3: Zusammenfassung der Eckdaten des Siemensstandortes Graz Eggenberg..	6
Tabelle 4: Phasenmodell für betriebliche Innovationsprozesse.....	14
Tabelle 5: Abgrenzung Diagnose und Überwachung	43
Tabelle 6: Zusammenfassung einiger vorhandener Diagnoseanwendungen.....	54
Tabelle 7: Paarweiser Vergleich zur Gewichtung der Diagnose – Eigenschaften	60
Tabelle 8: Algorithmenfunktionen zur Zustands - Diagnose am Drehgestell	64
Tabelle 9: Erkennbare Schadensbilder und dazu benötigte Sensorik	69
Tabelle 10: Darstellung der Gesamtkonzepte	72
Tabelle 11: Wirksamkeitsanalyse	72
Tabelle 12: Zusammenfassung des Projekts INSPIRO München	73
Tabelle 13: Hardware Einmalkosten für Diagnose am Fahrwerk bei Metro München...	74
Tabelle 14: Einmalkosten für Entwicklung und Konstruktion des Diagnosesystems bei Metro München	74
Tabelle 15: Laufende Kosten des Diagnosesystems pro Jahr	75
Tabelle 16: Zusammenfassung der entstehenden Kosten für Diagnose im 1.Jahr	75
Tabelle 17: Kostenaufstellung der einzelnen Konzeptvarianten.....	76
Tabelle 18: Kosten-Wirksamkeitsanalyse.....	76
Tabelle 19: Gewählte Systemausführung.....	77
Tabelle 20: Kosten und Preis der gewählten Ausführungsvariante	78
Tabelle 21: Netto-Kostenvorteile für den Kunden durch das Diagnosesystem.....	79
Tabelle 22: Barwertberechnung der Kostenersparnisse durch das Diagnosesystem	80
Tabelle 23: Berechnung der Amortisationsdauer	80
Tabelle 24: Berechnung des Kapitalwerts des Diagnosesystems	81
Tabelle 25: Gewinn- bzw. Verlustverlauf bei beiden Entwicklungsmöglichkeiten in Zahlen	83

Tabelle 26: Vor- und Nachteile des Szenarios "Rent Diagnosis"	86
Tabelle 27: Vor- und Nachteile des Szenarios "Buy Diagnosis"	86

12 Abkürzungsverzeichnis

BHC...Bogie Health Check

BSR...Bremssteuerrechner

CF...Compact Flash

CMS...Condition Monitoring System

DUW...Drehgestellüberwachung

EBIT...Earnings before Interest and Taxes

FDÜ...Fahrwerksdiagnose und Überwachung

LCC...Life Cycle Costs

LDG...Laufdrehgestell

RDA...Radio Data Access

TDG...Triebdrehgestell

USP...Unique Selling Proposition

ZSG...Zentrales Steuergerät