

Thomas Ottschoffski

Produktionsplanung und –steuerung bei der Instandhaltung von Schienenfahrzeugen

Diplomarbeit

aus

Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau
Studienzweig Produktionstechnik

eingereicht am

Institut für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung
O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef W. Wohinz
Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften
Technische Universität Graz

Graz, im März 2011

Danksagung

Diese Diplomarbeit entstand im Auftrag des Unternehmens Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH unter Betreuung des Institutes für Industriebetriebslehre und Innovationsforschung an der TU Graz.

Besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle an Herrn O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Wohinz für die Ermöglichung dieser Diplomarbeit richten. Weiters bedanke ich mich bei meiner Diplomarbeitbetreuerin Frau Dipl.-Ing. Dr.techn. Sonja Embst für die unzähligen Besprechungen, Diskussionen und Ratschläge zur perfekten wissenschaftlichen Arbeit – auch für Ihre Geduld.

Meinem Firmenbetreuer, dem Prokuristen Herrn Peter Kronberger, danke ich für viele kreative Ideen, die detaillierte Auseinandersetzung mit der Thematik und für wertvolle Tipps bei den Zwischenchecks.

Meiner Frau Sandra danke ich für die tägliche und unermüdliche Motivation genauso wie meiner Familie für die mentale Unterstützung und das entgegengebrachte Verständnis während der Arbeit.

Thomas Ottschoffski

Kurzfassung

Die Instandhaltungskosten eines Schienenfahrzeuges über seine gesamte Nutzungsdauer erreichen bei modernen Triebfahrzeugen (Diesellokomotiven, Dieseltriebwagen, Elektrolokomotiven, E-Triebwagen, die nach dem Jahr 2000 gebaut wurden) in etwa die Höhe des Kaufpreises, bei älteren Schienenfahrzeugen (Baujahr vor 1980) fallen Kosten bis zur Höhe des vierfachen Kaufpreises an. Dies veranschaulicht, welches wirtschaftliche Potential maßgeschneiderte Produktionsplanungs- und -steuerungsstrategien in der Schienenfahrzeuginstandhaltung besitzen können. Herstellerseitige Instandhaltungsstrategien basieren zwar auf monetarisierten Qualitätskriterien, berücksichtigen aber in den seltensten Fällen produktionstechnische Rahmenbedingungen des Instandhalters, wie z.B. infrastrukturelle Engpässe, Arbeitszeitmodelle, bahnbetriebliche Fahrzeugumlaufpläne, etc. Diese Firmendiplomarbeit zeigt, wie mit Methoden und Strategien der Produktionsplanung und -steuerung sowie mit der im Zuge der Diplomarbeit programmierten Excel-VBA Software die Instandhaltung einer modernen Dieseltriebwagenbaureihe in einer mittelständischen Schienenfahrzeugwerkstätte kostengünstiger und effizienter gestaltet werden kann.

Abstract

Maintenance costs of modern locomotives and railcars almost match with the costs of their acquisition. Older railway traction vehicles (built before the eighties) cause maintenance-expenses up to the four-fold purchase price. This emphasizes the economic significance of tailor-made production planning and control systems within railway rolling stock maintenance.

Producer based maintenance strategies mostly comply with LCC-methods and standard quality assurance requirements. But rarely they take into consideration the maintenance-workshop's processes of production: infrastructural bottle-necks - as a lack of appropriate maintenance tracks (with roof working platforms or with working tunnels) - or the workshop's working hours and shift schedules or the dependencies of maintenance from the service time of the passenger vehicles.

This diploma-thesis demonstrates by means of production management, by means of production planning and control and an individually programmed SW-Tool how costs can be saved in maintaining a modern Swiss-produced railcar series. Solutions shown are adopted for use in a middle-sized railway maintenance workshop in Austria.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
1.1	AUSGANGSSITUATION.....	2
1.2	PROBLEMSTELLUNG.....	3
1.3	ZIELSETZUNG.....	6
1.4	VORGEHENSWEISE.....	6
2	GRUNDLAGEN DES PRODUKTIONSMANAGEMENTS.....	9
2.1	ZIELE UND ZIELKONFLIKTE DES PRODUKTIONSMANAGEMENTS.....	9
2.2	DIE PRODUKTIONSPLANUNG.....	15
2.3	DIE PRODUKTIONSSTEUERUNG.....	17
2.4	DIE ABLAUFPLANUNG UND DURCHLAUFZEITERMITTLUNG.....	18
2.5	DIE KAPAZITÄTSPLANUNG UND –STEUERUNG.....	19
2.6	DIE PERSONALPLANUNG.....	20
2.7	DIE TERMINPLANUNG UND TERMINIERUNG.....	22
3	GRUNDLAGEN DER SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG.....	25
3.1	GLIEDERUNG VON SCHIENENFAHRZEUGEN.....	25
3.2	ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DER SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG.....	28
3.3	RECHT DER EUROPÄISCHEN UNION.....	29
3.4	NATIONALES EISENBAHNRECHT.....	33
3.5	NORMEN UND STAND DER TECHNIK.....	38
3.5.1	<i>Normen</i>	38
3.5.2	<i>Stand der Technik</i>	40
3.6	REGELWERK DER STAATSBAHNEN.....	41
3.7	QUALITÄTS- UND LCC - MANAGEMENT.....	42
3.7.1	<i>Grundlagen des Qualitätsmanagements in der Schienenfahrzeuginstandhaltung</i>	42
3.7.2	<i>LCC - Grundlagen</i>	44
3.8	HERSTELLERANGABEN, –HANDBÜCHER UND –DOKUMENTATION.....	48
4	SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG IN DER BETRIEBLICHEN PRAXIS.....	50
4.1	DAS OPTIMIERUNGSPROBLEM DER INSTANDHALTUNG.....	50
4.2	STRATEGIEN DER SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG.....	54
4.2.1	<i>Überblick über die Instandhaltungsstrategien</i>	54
4.2.2	<i>Bisherige Strategien der Bahnverwaltungen</i>	58
4.2.3	<i>Zustandsorientierte Strategien</i>	60
4.2.4	<i>Time-Slot Strategie</i>	62
4.2.5	<i>Letztstand der Technik, Best Practices</i>	63
4.3	ORGANISATIONSFORMEN IN DER SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG, AUFBAUORGANISATION.....	66
4.4	INSTANDHALTUNGSPROZESSE.....	71

4.4.1	<i>Präventive Instandhaltung</i>	72
4.4.2	<i>Korrektive Instandhaltung</i>	76
4.4.3	<i>Revisionen, Unfallreparaturen, Remotorisierungen, Refurbishment</i>	78
4.4.4	<i>Einflüsse auf die Durchlaufzeit von Instandhaltungsprozessen</i>	80
4.4.5	<i>Schnittstellen der Instandhaltungsprozesse zur Materialwirtschaft</i>	81
4.5	KOSTEN DER SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG	82
4.6	INFORMATIONSMANAGEMENT UND IT-TECHNOLOGIEN IN DER SCHIENENFAHRZEUGINSTANDHALTUNG	85
5	KALKULATIONS-TOOL ZUR KOSTENBEWERTUNG EINZELNER INSTANDHALTUNGSSTUFEN EINES DIESELTRIEBWAGENS – DER „GTW MAINTENANCE CALCULATOR“	87
5.1	SOFTWARE-BASIS DES MAINTENANCE CALCULATORS	88
5.2	EXCEL-OBERFLÄCHE	88
5.3	TABELLENBLÄTTER DER EXCEL-OBERFLÄCHE	90
5.4	PARAMETER.....	93
5.4.1	<i>Input</i>	93
5.4.1.1	Basisdaten.....	93
5.4.1.2	Variable Daten.....	93
5.4.2	<i>Output</i>	95
5.4.2.1	Ausgabebereich 4.1	95
5.4.2.2	Ausgabebereich 4.2	95
5.4.2.3	Feststehende Kopfzeile.....	95
5.5	VISUAL BASIC MODULE UND SUB-PROCEDURES	96
5.6	OPTIMIERUNGSRECHNUNG.....	97
5.7	BEDIENUNGSANLEITUNG, BENUTZERLEITFADEN	98
5.7.1	<i>Starten des Programms</i>	98
5.7.2	<i>Eingabe der Basisdaten</i>	99
5.7.3	<i>Die Funktion der Prozess-Buttons (Schaltflächen)</i>	100
6	ERGEBNISSE DER INSTANDHALTUNGSOPTIMIERUNG EINES DIESELTRIEBWAGENS MITTELS ANGEWANDTER METHODEN DES PRODUKTIONSMANAGEMENTS.....	105
6.1	ERGEBNIS DER RECHTSQUELLENSAMMLUNG UND NORMEN-RECHERCHE.....	106
6.2	ERGEBNIS DER ANALYSE VON INSTANDHALTUNGSSTRATEGIEN.....	108
6.3	ERGEBNIS DER ANALYSE DES INSTANDHALTUNGSPLANS SAMT WIRTSCHAFTLICHER BETRACHTUNG ...	110
6.4	ERGEBNIS DER ANALYSE VON PPS-TEILAUFGABEN	114
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	119
8	VERZEICHNISSE.....	121
8.1	ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS	121
8.2	LITERATURVERZEICHNIS.....	124
8.3	RECHTSQUELLEN	127
8.4	NORMEN	135

9 EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG..... 136

10 ANHANG (NUR IM FIRMENEXEMPLAR) 137

1 Einleitung

Eisenbahnverkehrsunternehmen befinden sich mehr denn je im Spannungsfeld zwischen der Forderung nach der maximalen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit ihres Rollmaterials einerseits und der Vergabe der Instandhaltungsleistungen an den kostengünstigsten Anbieter andererseits.

Die EU-weite Liberalisierung des Schienenverkehrs begann in den 1990er Jahren und wurde ab dem Jahr 2001 durch vier sogenannte „Eisenbahnpakete“¹ geprägt, deren primäres Ziel die Marktöffnung zuerst im Schienengüterverkehr, anschließend im Schienenpersonenverkehr, war. Neben der Marktöffnung war die Kostentransparenz der nunmehr EU-weit tätigen Verkehrsunternehmen² und der Infrastrukturbetreiber ein weiteres Anliegen der EU. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht führt die Kostentransparenz zum Kostenvergleich bzw. ganz allgemein zur Kostenvergleichbarkeit - auch am Instandhaltungssektor. Betreiber sind damit nicht nur in der Lage, sondern gegenüber den Shareholdern verpflichtet, die Instandhaltungskosten ihrer Schienenfahrzeuge zu senken. Die Universal E-Lok eines Güterverkehr-Ganzzuges, die z.B. von Hamburg nach Wien verkehrt, kann theoretisch in jeder Werkstätte entlang der Strecke (vgl. Abb. 1.1) und praktisch in beiden Endbahnhöfen instand gehalten werden (die Qualifikation und Zertifizierung der Werkstätten voraus gesetzt). Personenverkehrstriebwagen, die z.B. grenzüberschreitend von München nach Wien verkehren, könnten ebenso in jedem der beiden Endbahnhöfe instand gehalten werden. Dies führt zu einem Benchmarking unter den Anbietern von Schienenfahrzeuginstandhaltungsleistungen.

Die Schienenfahrzeuginstandhaltung durchläuft deshalb gegenwärtig einen Marktanpassungsprozess. Der Zunahme der Regelungsdichte und der Dokumentationstiefe der Instandhaltungsprozesse einerseits - resultierend aus gesetzlichen Vorschriften und anzuwendender Normen - steht andererseits der Druck nach erhöhter Effizienz und Flexibilität der Arbeitsprozesse gegenüber. In diesem marktwirtschaftlich dynamischen Umfeld können im Wesentlichen neben den Staats- und Privatbahnwerkstätten nur mehr wenige „kleine“ bzw. private Werkstätten bestehen; meist sind dies Tochtergesellschaften von EU-weit tätigen Verkehrsunternehmen oder Kooperationen von Schienenfahrzeugherstellern mit regional tätigen Betreibergesellschaften. Größenunabhängig sind alle Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätten gleichermaßen gefordert,

¹ 1. Eisenbahnpaket: RL 2001/12/EG, 2001/13/EG und 2001/14/EG. 2. Eisenbahnpaket: RL 2004/49/EG, 2004/50/EG und 2004/51/EG sowie VO 881/2004. 3. Eisenbahnpaket: VO (EG) 1370/2007 und 1371/2007 sowie RL 2007/58/EG und 2007/59/EG. 4. Eisenbahnpaket ("Cross Acceptance" Package)

² mittels Sicherheitsbescheinigung gemäß Richtlinie 2004/49/EG

maßgeschneiderte, optimale und innovative Kundenlösungen zu konkurrenzfähigen Preisen anzubieten und zu liefern, um langfristig am Markt bestehen zu können.

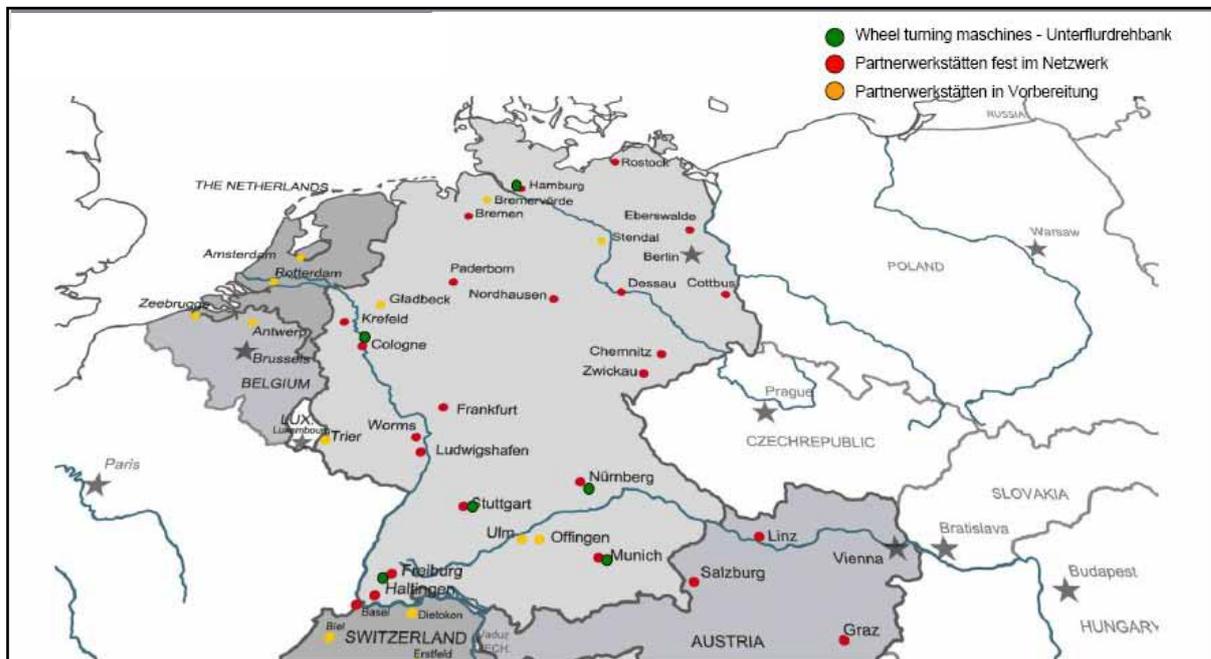


Abb. 1.1: DB Partnerwerkstätten in Mitteleuropa³

Abbildung 1.1 zeigt beispielsweise die Schienenfahrzeugwerkstätte der Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH als Partnerwerkstätte in Graz, im Instandhaltungsnetzwerk der DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH.

1.1 Ausgangssituation

Allgemein orientiert sich die Schienenfahrzeuginstandhaltung am Gültigkeitsbereich aktueller europäischer und nationaler Gesetze und Normen. Sachziele und Formalziele der Schienenfahrzeuginstandhaltung stehen dadurch fest und sind für alle Werkstätten prinzipiell gleichermaßen gültig.

Produktionstechnisch und organisatorisch sind die Instandhaltungswerkstätten der Bahnen nur eingeschränkt vergleichbar. Zum einen existieren noch Werkstätten, deren Geschichte und Grundmauern bis in die Anfangszeit der Eisenbahn zurückreichen. Am anderen Ende der Zeitskala agieren Werkstätten, die vor wenigen Jahren (handelsrechtlich, organisatorisch) gegründet wurden und auch infrastrukturell am Letztstand der Technik eingerichtet sind (Hallen, Arbeitsstände, Werkzeuge). Werkstätten mit weit zurückreichender geschichtlicher Entwicklung – „gewachsene Werkstätten“ – haben sich im Laufe der Geschichte angepasst an:

³ BASTIUS, A., DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH, Frankfurt, in: Herausforderung Verfügbarkeit, Kassel, 2009, S. 16

- § **die Infrastruktur der beauftragenden Bahnverwaltung(en)**, wie z.B. Elektro- oder Dieseltraktion, Normal-/Schmalspur, Zahnstangenbetrieb, Anschlussbahnbetrieb, Kohle und/oder Erzverladung mit großem Wagenumschlag, evtl. mit Sonderfahrzeugen
- § **das Rollmaterial der beauftragenden Bahnen**: Elektro-/ Dieseltriebfahrzeuge, Lokomotiven (3, 4 oder 6ax) oder Triebwagen unterschiedlichster Bauart und Längen (Elektro- oder Dieselfahrzeuge, Regional- oder Hochgeschwindigkeitsverkehr), Güterwagen unterschiedlicher Gattungen (offen, gedeckt, Sonderbauarten wie Schwerlastwagen zum Transport von Roheisen, etc.), Gleisbaufahrzeuge, Zweiwegefahrzeuge, etc.
- § **erforderliche Spezialisierungen**, wie z.B. Endfertigung von Lokomotiven in Zusammenarbeit mit Herstellern, Nachrüstung, Modernisierung bzw. Refurbishment von Schienenfahrzeugen, Revisionen von großen Stückzahlen einer Baureihe in kurzer Durchlaufzeit, Druckluftkomponentenaufarbeitung in eigens eingerichteten (zertifizierten) Feinmechanik-Werkstätten, etc.
- § **erforderliche Organisation, Größe und Dienstzeiten aufgrund bahnbetrieblicher Umlaufpläne bzw. Randbedingungen**

Oben angeführte Werkstätten reagieren meist träge auf erforderliche Änderungen ihres Geschäftsfeldes. Bei einigen ehemaligen Werkstätten der DB AG zum Beispiel (Ausbesserungswerke, sogenannte „Aw“) wäre eine erforderliche Umstellung des Geschäftsfeldes durch geänderte (bahn) betriebliche Bedingungen zu zeit- bzw. kostenintensiv gewesen und selbige wurden von der DB AG veräußert. Zum Teil wurden die Hallen bzw. die Infrastruktur und die Mitarbeiter von privaten Betreibern (auch Herstellern) übernommen und fortgeführt, zum Teil wurden die Werkstätten endgültig geschlossen.

„Junge“ Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätten sind an ihr Geschäftsfeld angepasst, hoch effizient und spezialisiert, sowie betriebswirtschaftlich erfolgreich aus Sicht ihrer Stakeholder.

1.2 Problemstellung

Die Problemstellung für einen Wirtschaftsingenieur und die Aufgabenstellung dieser Diplomarbeit besteht nun darin, die Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätte der Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH (im Folgenden kurz als „GKB“ bezeichnet), die in ihrer Lebensdauer zwischen den beiden o.a. Extremfällen liegt, mittels organisatorischer Methoden des Industriellen Managements gemäß „Grazer

Modell für Industrielles Management⁴ für die Instandhaltung fabrikneuer Schienenfahrzeuge (Abbildung 1.2) produktionstechnisch und betriebswirtschaftlich zu optimieren.



Abb. 1.2: Der neue dieselelektrische Triebwagen der Type Stadler GTW2/8⁵



Abb. 1.3: Luftaufnahme des Graz Köflacherbahnhofes aus dem Jahre 2006⁶



Abb. 1.4: Ansicht der neuen Servicehalle im Jänner 2011

Ausgangspunkt für die industriebetriebliche Optimierungsaufgabe ist die jetzige Organisationsstruktur und der jetzige Stand der Abwicklung der drei Hauptprozesse

⁴ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003

⁵ WOLF, M.: <http://www.s-bahn-steiermark.info/gkbfzge.htm>, Zugriff im September 2010

⁶ GKB-interne Quelle

der Schienenfahrzeuginstandhaltung, d.h. das „Tagesgeschäft“ in der Schienenfahrzeugwerkstätte (Abbildungen 1.3 und 1.4), das ist:

- § **der Prozess der präventiven Instandhaltung** (bis hin zur Revision von Schienenfahrzeugen)
- § **der Prozess der korrektiven Instandhaltung** sowie
- § **der Prozess des Refurbishments von Schienenfahrzeugen.**

Bereits jetzt (ohne Berücksichtigung der Instandhaltung der Neufahrzeuge) besteht Optimierungspotential, insbesondere betreffend

- § die Kosten präventiver Instandhaltungsmaßnahmen
- § die Terminierung korrektiver Instandhaltungsaufgaben
- § die Verkürzung der Durchlaufzeit von Refurbishment-Projekten und Revisionen.

Bei der Optimierung der Prozesse im Zuge der Instandhaltungsplanung für die neuen Dieseltriebwagen müssen folgende Rahmenbedingungen berücksichtigt werden:

- § Neben den 13 Stk. fabrikneuen Dieseltriebwagen (Baujahr 2010 & 2011) des Herstellers Stadler Rail AG müssen auch 15 Stk. Doppelstockwagen (Baujahr 1993, SGP), 13 Stk. Dieselloks (Baujahr zwischen 1972 und 2003, Hersteller: Jenbacher Werke, Krupp Henschel, MaK, Vossloh Locomotives, etc.), Güterwagen (Baujahre ab 1940, div. Produzenten), Nebenfahrzeuge (von Plasser & Theurer) sowie Schienenfahrzeuge externer Kunden (z.B. E-Loks von Bombardier, etc.) effizient, wirtschaftlich und betriebssicher instand gehalten werden.
- § Für die Instandhaltung o.a. Schienenfahrzeuge werden zwei modernst ausgestattete Arbeitsstände zur Verfügung stehen (ab März 2011), für das restliche Rollmaterial aber z.T. auch bestehende Infrastruktur und Hallen (produktionstechnische Engpassberücksichtigung).
- § Ziel der Optimierungsrechnung ist es definitiv, das Kostenminimum für das Gesamtunternehmen - nicht für den Instandhaltungsbereich alleine - zu berechnen.

Die Problemstellung muss auf organisatorischer und betriebswirtschaftlicher Ebene behandelt werden.

1.3 Zielsetzung

Die festgehaltenen Ziele dieser Diplomarbeit sind gemäß Start- und 1. Zwischenpräsentation vom 15.01.2010 bzw. vom 28.04.2010

- § Darstellung der Grundlagen der Instandhaltung
- § Darstellung der Prozesse der Instandhaltung
- § Schienenfahrzeugtechnische, organisatorische und betriebswirtschaftliche Analyse und Bewertung möglicher Instandhaltungsstrategien
- § Detaillierung der Prozessmodelle
- § Vergleich der Prozesse bisheriger Instandhaltungsstrategien mit den Prozessen zukünftiger Instandhaltungsstrategien
- § Ermittlung eines kostenoptimalen Instandhaltungssystems für das Unternehmen Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH
- § Vernetzung des Prozesses der Instandhaltung mit
 - Materialwirtschaft, Supply Chain Management
 - Asset Management, (Fahr) Betriebsmittelplanung
 - Personal- & Kapazitätsplanung
 - Informationsmanagement
- § Erstellung eines einfachen aber praktikablen Excel-Tools, das für alle Instandhaltungsstufen anwendbar ist (gem. Besprechungsprotokoll der 1. Zwischenpräsentation vom 28.04.2010)

1.4 Vorgehensweise

Die Basis dieser Diplomarbeit bildet die Verwendung produktionstechnischer Methoden und Konzepte zur Lösung der industriebetrieblichen Aufgabe. Dabei wird schwerpunktmäßig das „Grazer Modell für Industrielles Management“⁷, insbesondere das Produktionsmanagement, verwendet.

Die Zulässigkeit dieser Vorgehensweise im Bereich der Schienenfahrzeuginstandhaltung sei durch folgende Ausführungen erläutert:

Der Begriff der „industriellen Dienstleistungsproduktion“ oder kurz „Produktion“ für die Erbringung von Personen- bzw. Güterverkehrsleistungen, aber auch Werkstätten -

⁷ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003

serviceleistungen, ist bei den Staatsbahnen Europas (z.B. DB, SBB, ÖBB) bereits weit verbreitet.

Die ÖBB beispielsweise gliedern ihre „Produktion GmbH“ in die Geschäftsfelder Fahrbetrieb, Wagendienst und Service⁸. Dabei umfasst das „Geschäftsfeld Service“ der ÖBB Produktion GmbH die „Bereitstellung betriebsfähiger Fahrzeuge“⁸, d.h. den Aufgabenbereich aller Schienenfahrzeugwerkstätten der ÖBB.

GKB und ÖBB besitzen denselben Eigentümer, die Republik Österreich.

Die DB, aber auch die SBB gehen - bis auf einige unternehmensspezifische Modifikationen bei der organisatorischen Gliederung - analog vor.⁹

GUTENBERG¹⁰ definiert die Produktion ganz allgemein als „Kombination von Produktionsfaktoren, wie der menschlichen Arbeitsleistung, den Betriebsmitteln, Werkstoffen und dispositiven Faktoren.“

Sowohl die Lehre als auch die unternehmerische Praxis der Staatsbahnen erlauben somit, die Dienstleistungen einer Schienenfahrzeugwerkstätte als „industrielle Dienstleistungsproduktion“ zu definieren und mit Teilaufgaben des Produktionsmanagements, wie der Produktionsplanung und –steuerung, zu optimieren.

Folgend auf die Einleitung in Kapitel 1 beginnt die Diplomarbeit inhaltlich in Kapitel 2 mit den Grundlagen der Produktionsplanung und –steuerung. In Kapitel 3 werden die rechtlichen und normativen Grundlagen der Schienenfahrzeuginstandhaltung erläutert. Kapitel 4 schildert den aktuellen Stand der Schienenfahrzeuginstandhaltung in der betrieblichen Praxis samt Strategien und Prozessanalyse. In Kapitel 5 wird ein Excel/VBA-Tool zur Berechnung der kostenminimalen Durchlaufzeit für alle Instandhaltungsstufen vorgestellt. Kapitel 6 zeigt optimierte Instandhaltungsprozesse für die neuen Dieseltriebwagen sowie produktionstechnische Lösungsansätze zur Durchlaufzeitverkürzung in der Instandhaltung und Kapitel 7 fasst die Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick.

⁸ http://www.oebb-produktion.at/de/Produkte_und_Services/index.jspÖBB, Zugriffsdatum 25.07.2010

⁹ <http://www.rail.dbschenker.de/site/railion/de/leistungsspektrum/instandhaltung/instandhaltung.html> Zugriffsdatum 25.07.2010

¹⁰ GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1. Die Produktion, 1976

Abbildung 1.4 stellt den Aufbau der Diplomarbeit graphisch dar:

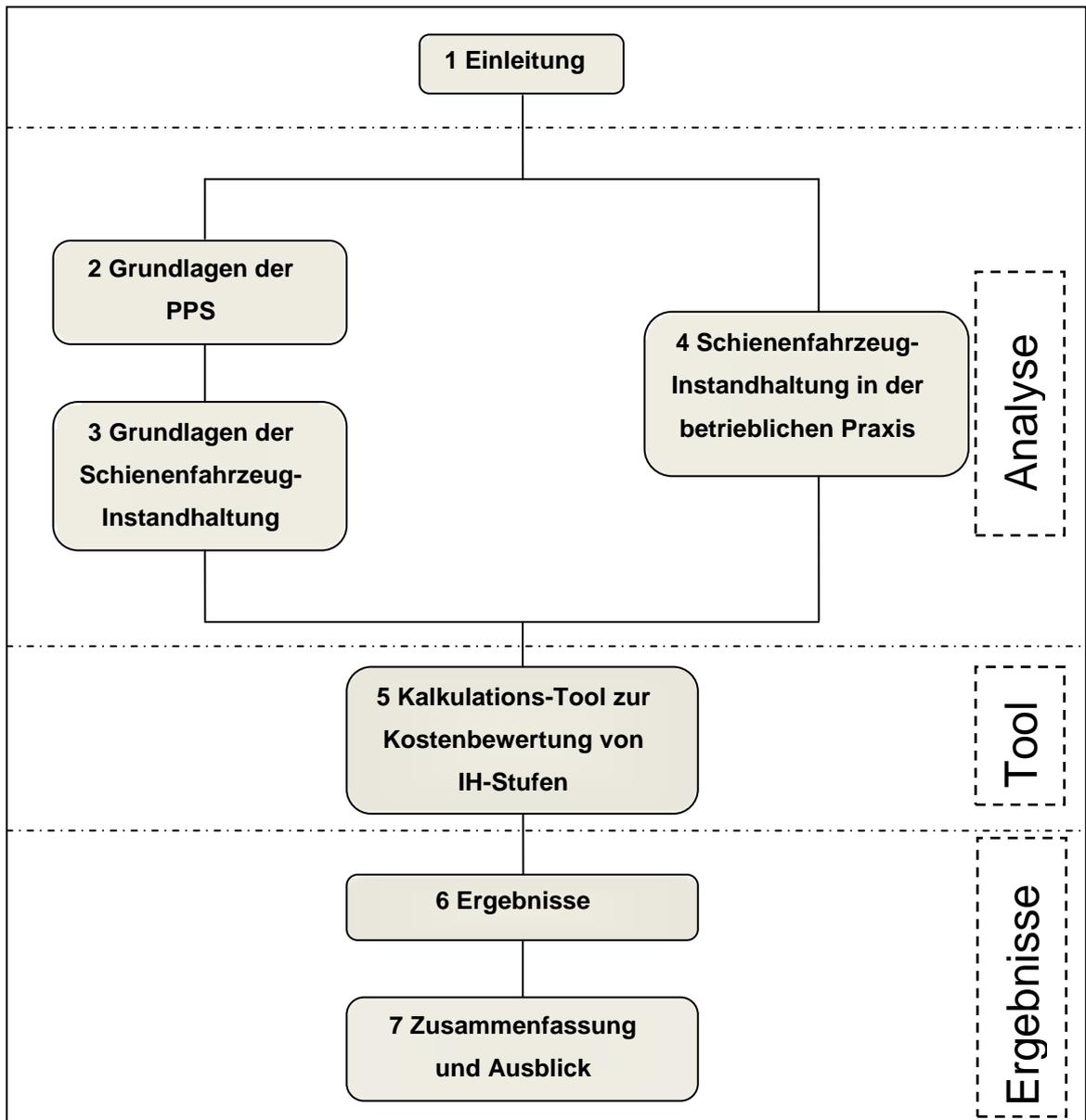


Abb. 1.5: Struktureller Aufbau der Diplomarbeit

2 Grundlagen des Produktionsmanagements

Neben GUTENBERG (siehe Kap. 1.4) definiert WOHINZ den Produktionsbegriff wie folgt: „Die Produktion umfasst jenen Bereich in der Unternehmung, der unmittelbar auf die Hervorbringung der Produkte bzw. Leistungen ausgerichtet ist. Es handelt sich dabei um einen Prozess der Kombination von Produktionsfaktoren im Sinne der unternehmerischen Zielsetzung. Die Kombination dieser Produktionsfaktoren erfolgt in Produktionssystemen.

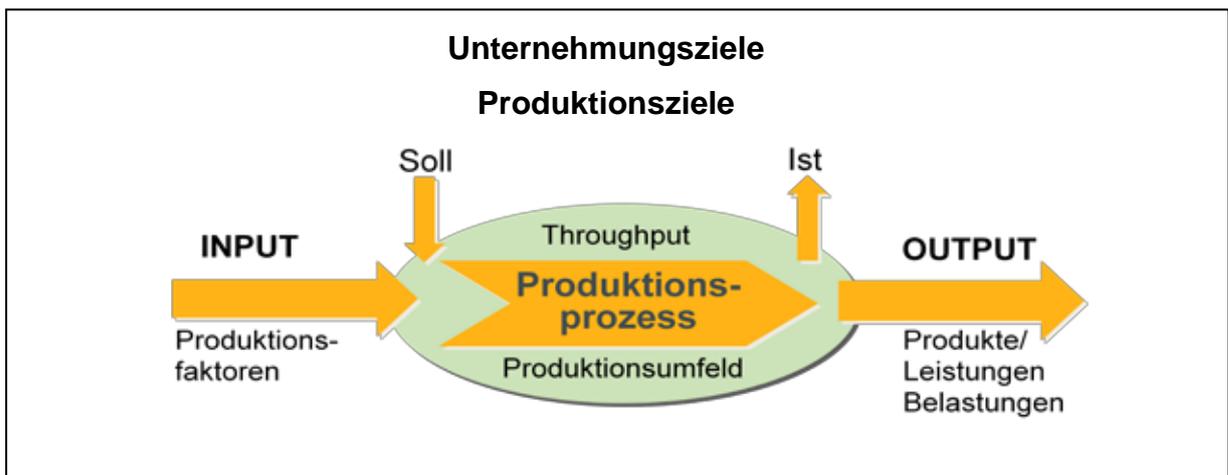


Abb. 2.1: Produktion als Kombinationsprozess von Produktionsfaktoren¹¹

Produktionssysteme sind soziotechnische Systeme, in denen Mitarbeiter und Betriebs- bzw. Arbeitsmittel zusammenwirken und aus den Produktionsfaktoren Produkte/Leistungen erzeugen.“¹¹

2.1 Ziele und Zielkonflikte des Produktionsmanagements

„Das Produktionsmanagement kann [...] als die Gestaltung, Lenkung und Entwicklung dieser Produktionssysteme gesehen werden.“¹¹

Das vom Management (z.B. einer Schienenfahrzeugwerkstätte) zu realisierende Produktionsprogramm stellt sich - statisch betrachtet - wie in Abbildung 2.2 gezeigt, dar.

Dynamisch betrachtet bzw. aus der handlungsorientierten Sicht der operativen Teilplanungen muss das Produktionsprogramm einer Schienenfahrzeugwerkstätte – bedingt durch den zufallsbedingten Anfall von Unfall- oder Großreparaturen - wöchentlich von der Mittelfristplanung auf die kurzfristige Terminplanung neu übergeleitet werden (gemäß Abbildung 2.3).

¹¹ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 225

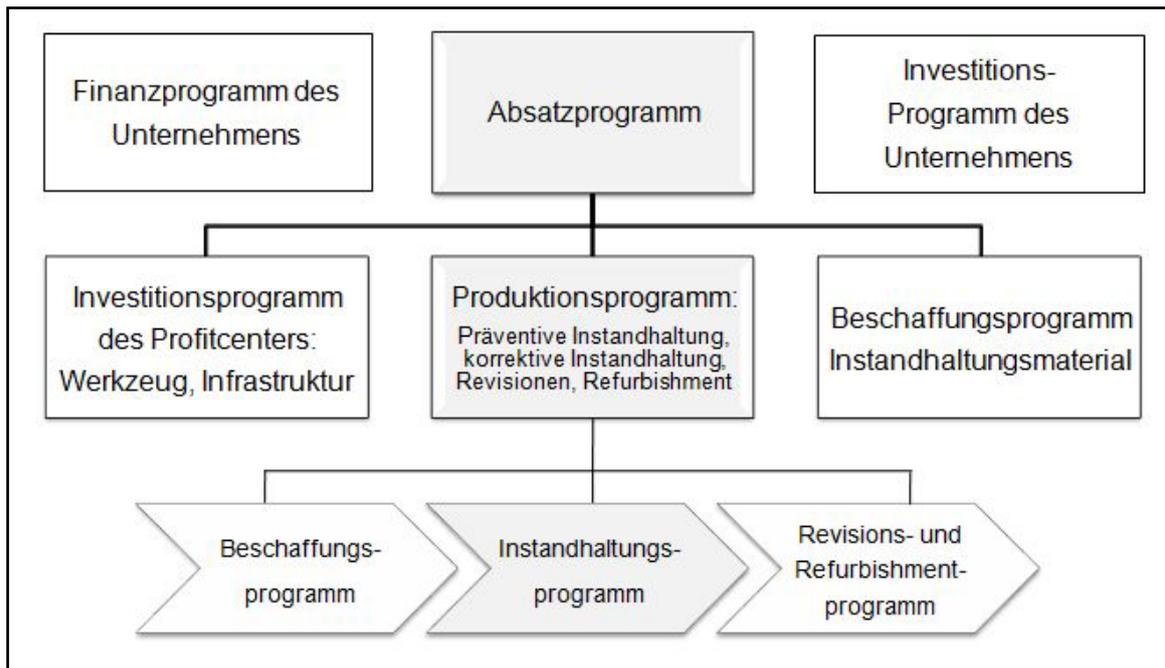


Abb. 2.2: Zur Ableitung von Programmen im Produktionsmanagement¹²

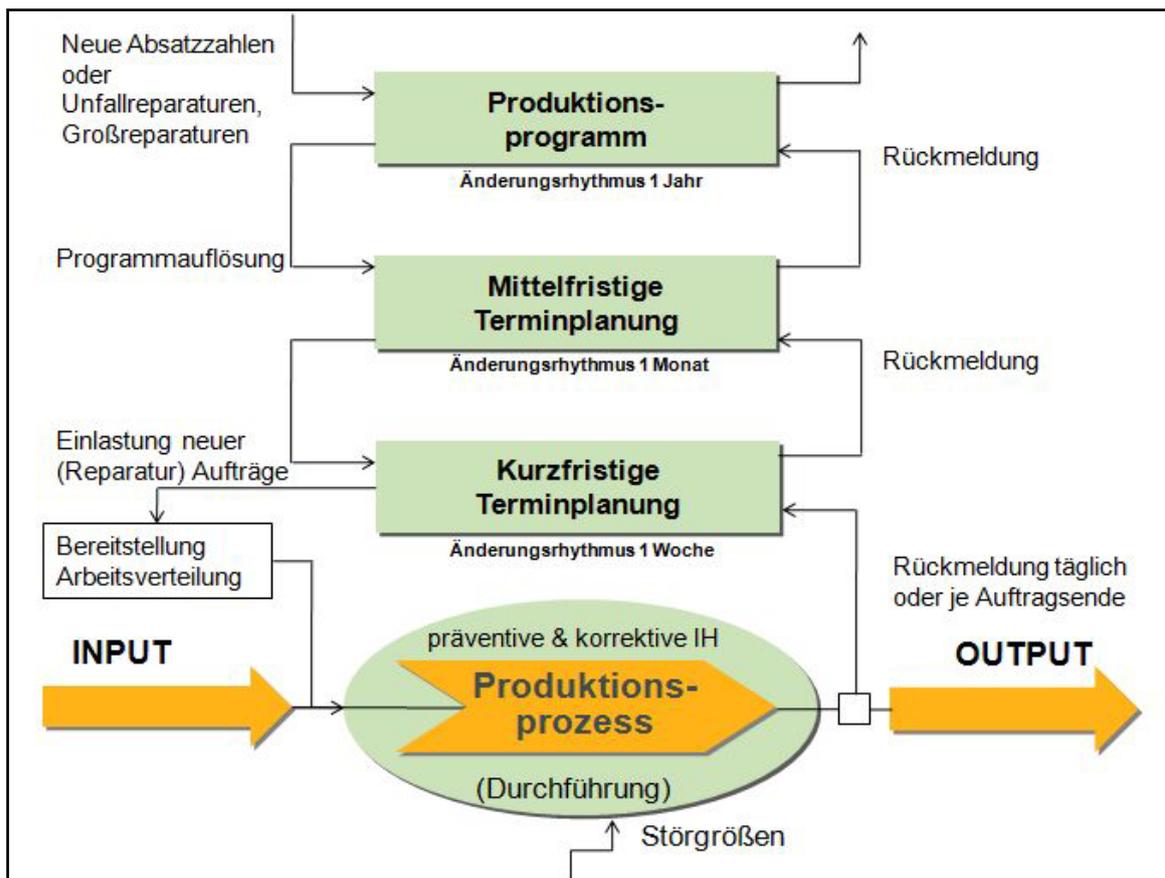


Abb. 2.3: Operative Terminplanung für einen Produktionsprozess¹³

¹² Vgl. WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 228

¹³ Vgl. WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 90

Die Grundlage der unternehmerischen Tätigkeit eines Profitcenters bilden Aufträge, die sich z.B. gemäß REFA wie in Abbildung 2.4 dargestellt auf die Instandhaltung übertragen lassen.

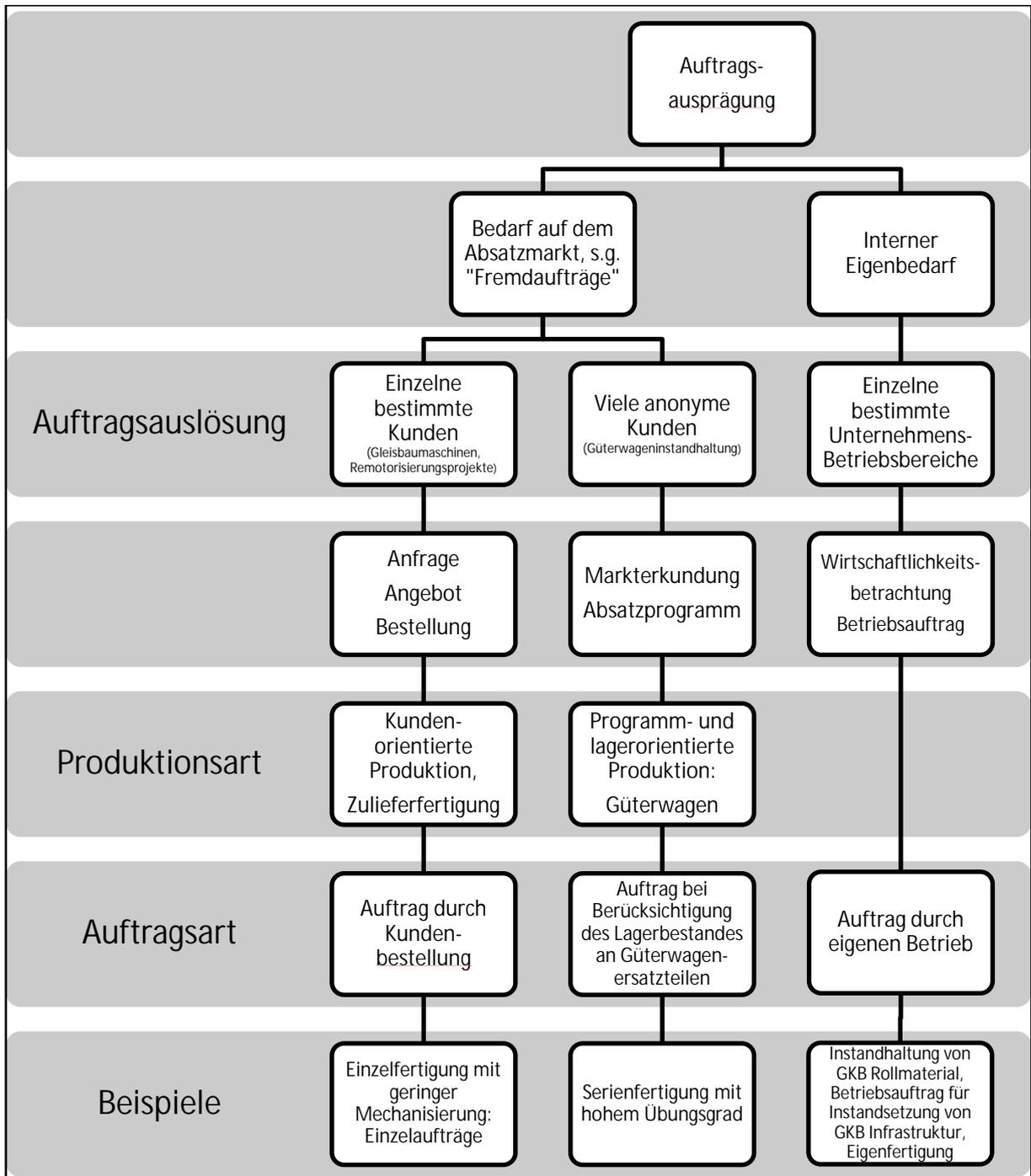


Abb. 2.4: Vgl.: Unterschiedliche Ausprägung von Aufträgen nach REFA, 1991¹⁴

¹⁴ abgebildet in: WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 229

Die bereichsspezifischen Ziele im Produktionsmanagement,

- § kurze Durchlaufzeiten
- § genaue Termineinhaltung
- § hohe Kapazitätsauslastung
- § geringe Kapitalbindung
- § hohe Flexibilität
- § hoher Lieferbereitschaftsgrad – entspricht kurzen Vorlaufzeiten bei Beauftragung
- § Planungssicherheit

sind auf eine Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätte voll übertragbar. Detailliert zeigt sich die Zielsetzung im Produktionsmanagement wie in Abb. 2.5 dargestellt.

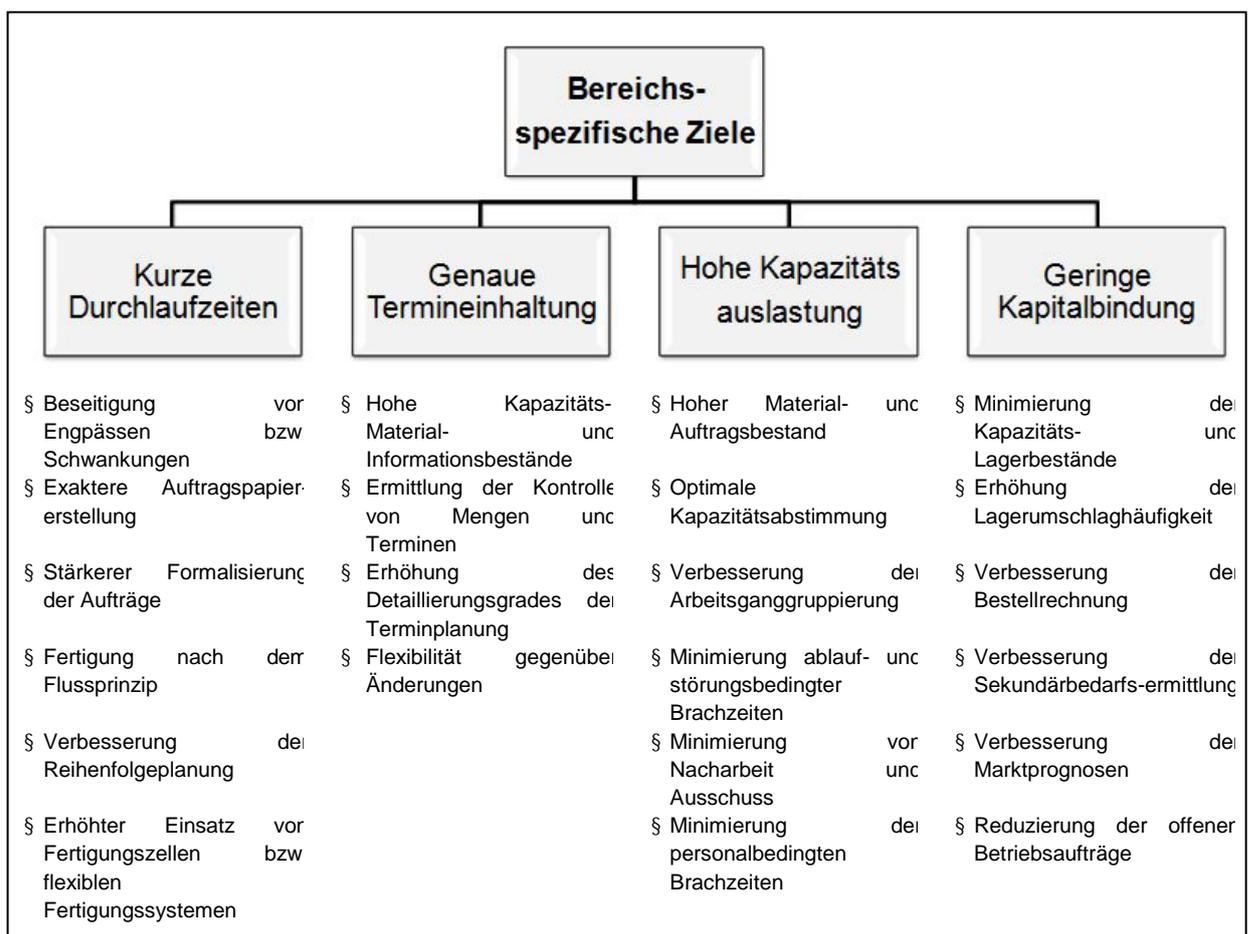


Abb. 2.5: Bereichsspezifische Ziele im Produktionsmanagement¹⁵

Doch bereits GUTENBERG¹⁶ erkannte Zielkonflikte im Produktionsmanagement. Der Forderung der Minimierung der Durchlaufzeit steht die Forderung, die Aufträge so zu verteilen, dass eine möglichst günstige Auslastung der Werkstätte erreicht wird,

¹⁵ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 230

¹⁶ GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Berlin 1973

gegenüber. Jede Ablaufplanung stellt somit den Versuch dar, diese beiden entgegengesetzten Forderungen miteinander in Einklang zu bringen.

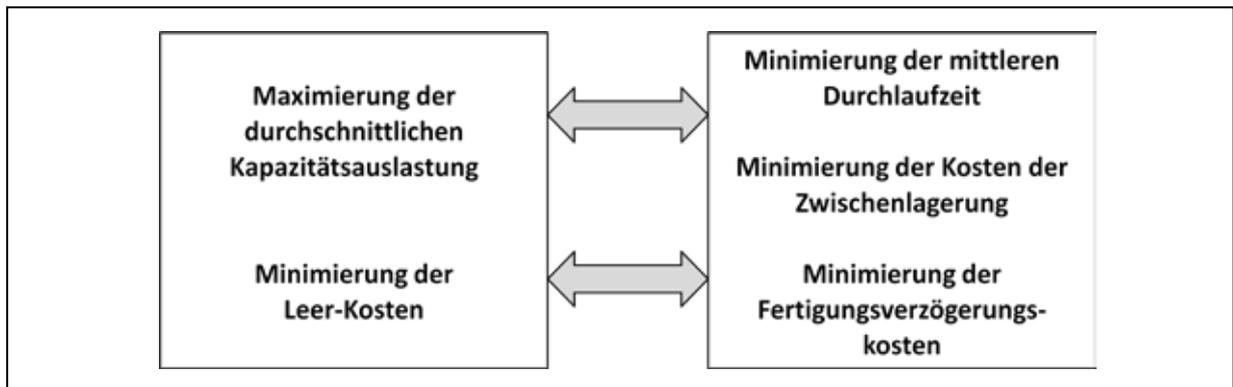


Abb. 2.6: Das Dilemma der Ablaufplanung¹⁷

Die Aufgabenschwerpunkte des Produktionsmanagements – zur Erreichung der Ziele - können nach WOHINZ festgehalten werden als

- § Produktionsplanung und –steuerung (PPS),
- § Produktrealisation und
- § Gestaltung und Entwicklung von Produktionssystemen.

Betriebliche Anwendungssysteme (integrierte Softwarelösungen) im Umfeld der Produktion bzw. im Produktionsmanagement werden von SCHUH¹⁸ in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

	Auftragsabwicklung		Produktentwicklung	
Netzwerkplanung	SCM			
Produktionsplanung	ERP/PPS		EDM/PDM	CAD
Feinplanung	MES			
Produktionssteuerung	BDE	MDE		

Legende:

BDE	Betriebsdatenerfassung	ERP	Enterprise Resource Planning	PDM	Production Data Management
CAD	Computer Aided Design	MDE	Maschinendatenerfassung	PPS	Produktionsplanung u. -steuerung
EDM	Engineering Data Management	MES	Manufacturing Execution System	SCM	Supply Chain Management

Tab. 2.7: Anwendungssysteme im Umfeld der Produktion

SCHUH definiert zwar weder den Begriff des Produktionsmanagements noch dessen Ziele, er fasst jedoch die Aufgaben und Ziele der PPS sehr umfassend zusammen:

¹⁷ GUTENBERG, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1, Berlin 1973

¹⁸ SCHUH, G.: Produktionsplanung und –steuerung, Berlin/Heidelberg, 2006 S. 196

Netzwerkaufgaben	
Netzwerkkonfiguration	Produktprogrammplanung Netzwerkauslegung
Netzwerkabsatzplanung	Absatzmengenermittlung Absatzmengenkonsolidierung
Netzwerkbedarfsplanung	Netzwerkkapazitätsplanung Netzwerkbedarfsallokation Netzwerkbeschaffungsplanung
Kernaufgaben	
Produktionsprogrammplanung	Absatzplanung Primärbedarfsplanung Ressourcengrobplanung
Produktionsbedarfsplanung	Bruttosekundärbedarfsermittlung Nettosekundärbedarfsermittlung Beschaffungsartzuordnung Durchlaufterminierung Kapazitätsbedarfsermittlung Kapazitätsabstimmung
Eigenfertigungsplanung und -steuerung	Losgrößenrechnung Feinterminierung Ressourcenfeinplanung Reihenfolgeplanung Verfügbarkeitsprüfung
Fremdbezugsplanung und -steuerung	Auftragsfreigabe Bestellrechnung Angebotseinholung/-bewertung Lieferantenauswahl Bestellfreigabe
Querschnittsaufgaben	
Auftragsmanagement	Angebotsbearbeitung Auftragsbearbeitung Auftragskoordination
Bestandsmanagement	Bestandsplanung Bestandsanalyse Lagerverwaltung Bestandsführung Chargenverwaltung
Controlling	Informationsaufbereitung Maßnahmenableitung
Datenverwaltung	Stammdaten Bewegungsdaten

Tabelle 2.8: Aufgabengliederung der Produktionsplanung und -steuerung¹⁹

Seine Zusammenfassung bildet die Überleitung zu den Teilaufgaben der PPS.

¹⁹ SCHUH, G.: Produktionsplanung und -steuerung, Berlin/Heidelberg, 2006 S. 30

2.2 Die Produktionsplanung

WOHINZ²⁰ definiert als Ziel der Produktionsplanung die Erzielung „ [...] niedriger Herstellkosten je Mengeneinheit durch

- § das Festlegen der Arbeitsvorgänge und ihrer Reihenfolge (**Ablaufplanung**),
- § die Bereitstellung der zur Durchführung der Arbeitsaufgaben benötigten Mitarbeiter in der erforderlichen Qualifikation und Anzahl (**Personalplanung**),
- § die Auswahl geeigneter Arbeitsverfahren und -methoden sowie geeignete Betriebsmittel (**Betriebsmittelplanung**),
- § die Auswahl günstiger Materialien hinsichtlich Ausgangsform und Qualität (**Materialplanung**),
- § die Erstellung vollständiger und verständlicher Fertigungsunterlagen (**Informationsplanung**) zu ermöglichen.“

Damit ergibt sich folgende grafische Darstellung der Teilaufgaben der Produktionsplanung:

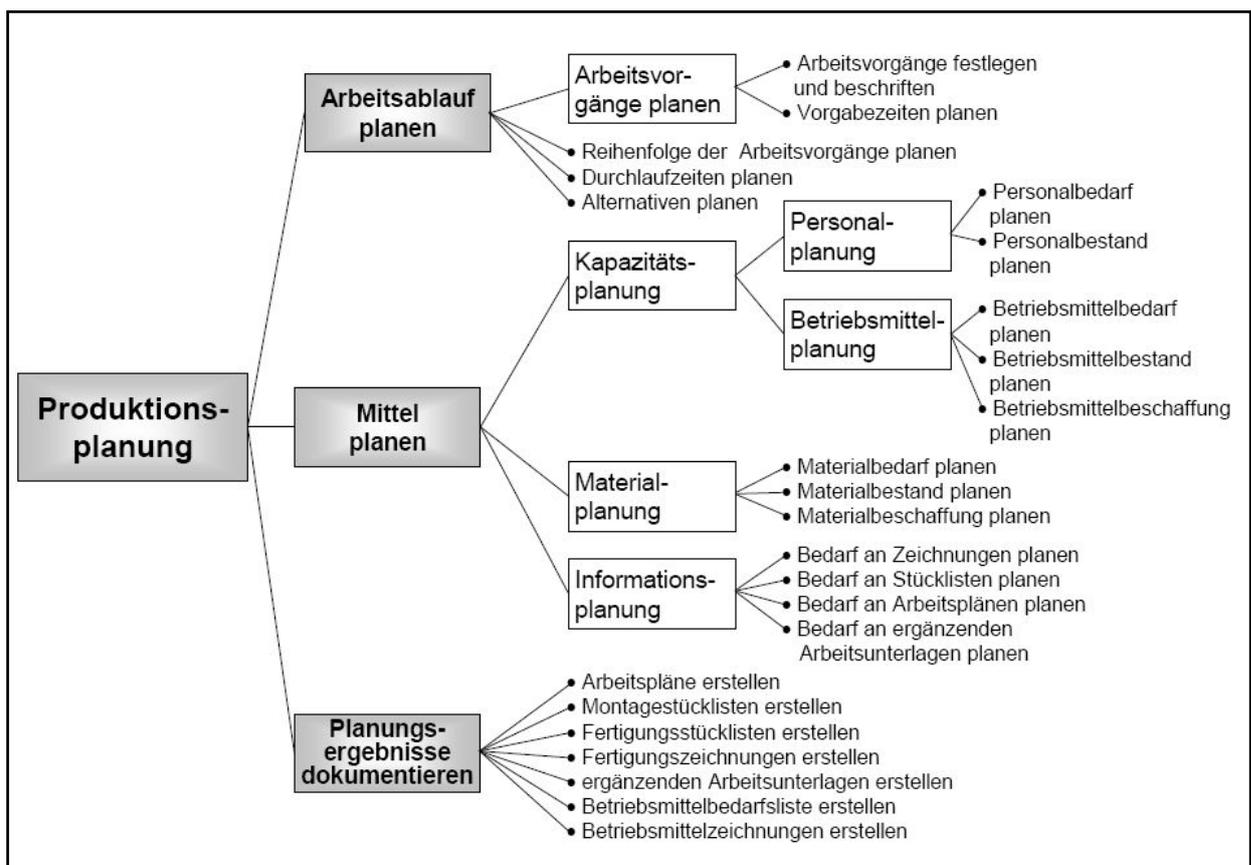


Abb. 2.9: Teilaufgaben in der Produktionsplanung²¹

²⁰ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 233

²¹ Vgl. REFA, 1985, S. 63

Die Arten der Produktionsplanung werden nach WOHINZ unterschieden in:

- § Neuplanung
- § Ähnlichkeitsplanung
- § Wiederholplanung

Die **Neuplanung** entspricht im **Schienefahrzeuginstandhaltungssektor** z.B. der Planung einer Revision bzw. Remotorisierung eines Dieseltriebfahrzeuges eines Kunden; insbesondere dann, wenn bei der Beauftragung für die Revision bzw. die Remotorisierung aufgrund des Alters des Triebfahrzeuges wenig bis keine Dokumentation mehr vorhanden ist (Arbeitspläne, Vorgabezeiten, Schnittzeichnungen, Stücklisten, Sublieferantendokumentation, Berechnungsunterlagen für die zulässige Belastung von Bauteilen, etc.). Bei einem üblichen Arbeitsumfang von über 2000 Mannstunden für eine Revision eines Diesel-Tfz. bzw. von über 3000 Mannstunden bei einer Revision inklusive Remotorisierung müssen sämtliche Teilaufgaben der Produktionsplanung erarbeitet/gelöst werden, um die erforderliche Planungssicherheit für die Angebotslegung/Durchführung zu erlangen.

Die **Ähnlichkeitsplanung** entspricht z.B. der Übernahme der Arbeitspläne (z.B. Arbeitsvorgänge) von einem bestehenden/abgeschlossenen Revisionsprojekt für ein ähnliches Fahrzeug. Dies wird bei Güterwagenrevisionen praktiziert; bei Triebfahrzeugen ist dies weder üblich, noch zu empfehlen: anfänglich als geringfügig eingeschätzte Unterschiede können den tatsächlichen Arbeitsaufwand drastisch erhöhen.

Die **Wiederholplanung**, das Ergänzen bestehender Arbeitspläne um auftragsabhängige Daten würde z.B. der Revision eines weiteren baugleichen Fahrzeuges einer Baureihe entsprechen, aber z.B. einzelnen Zusatz Tätigkeiten geringen Umfanges oder mit geänderter Teamstruktur des ausführenden Personals.

Im **Arbeitsplan** - als zentrales Ergebnis der Produktionsplanung – wird gemäß WOHINZ vorgeschrieben, was, wie, wo, womit, in welcher Zeit, unter welcher Lohngruppe, woraus gefertigt wird.

2.3 Die Produktionssteuerung

„Aufbauend auf die Produktionsplanung werden die von der Fertigung und Montage durchzuführenden Aufträge durch die Produktionssteuerung veranlasst, überwacht und gesichert“.²²

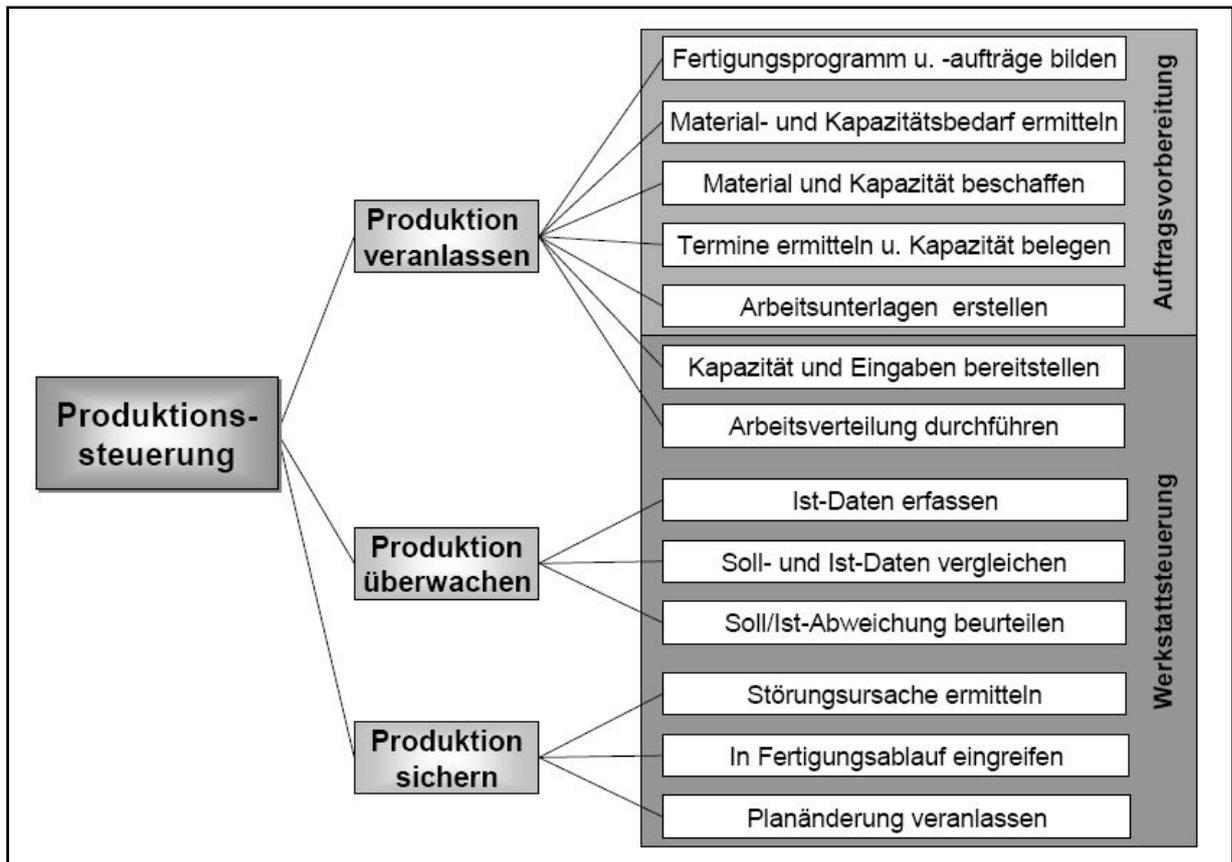


Abb. 2.10: Teilaufgaben in der Produktionssteuerung²³

„In der **Auftragsvorbereitung** sind alle auftragsabhängigen Aufgaben, die der Vorbereitung der Aufgabendurchführung dienen, durchzuführen: Fertigungs- und Montageaufträge generieren, Bedarf an Material und Kapazitäten ermitteln und bereitstellen, Termine ermitteln, die Kapazitäten belegen und die Arbeitsunterlagen erstellen.

Die **Werkstattsteuerung** ist die Regelung der Arbeitsabläufe im Fertigungs- und Montagebereich auf Basis der in der Auftragsvorbereitung generierten Soll-Daten. Das heißt, die Bereitstellung von Menschen, Betriebsmitteln, Material und von allen anderen erforderlichen Eingaben sowie die Durchführung der Arbeitsaufgaben werden veranlasst, überwacht und gesichert.“²²

²² WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 235f.

²³ Vgl. REFA, 1985, S. 18

Das Regelkreismodell der Produktionssteuerung wurde bereits in Abbildung 2.3 auf Seite 10 mit der Abbildung 2.3 vorgestellt. Auf seine besondere Bedeutung bei der Erstellung des Produktionsprogrammes einer Schienenfahrzeugwerkstätte sei hier nochmals hingewiesen bzw. wird in Kapitel 4.1 noch detaillierter eingegangen.

2.4 Die Ablaufplanung und Durchlaufzeitermittlung

Die Ablaufplanung, als Teilaufgabe der Produktionsplanung, besteht im Festlegen der Teilaufgaben und der Aufeinanderfolge von Ablaufabschnitten, die für eine zielgerichtete Aufgabendurchführung erforderlich sind.²⁴ Die Hauptaufgabe der Ablaufplanung liegt in der „[...] Ermittlung der Durchlaufzeiten durch Arbeitssysteme. Im Rahmen der Zeitermittlung sind für die geplanten Abläufe zunächst folgende Daten zu bestimmen:

- § die Dauer der einzelnen Ablaufabschnitte
- § die Zeitpunkte des Anfanges und des Endes der Ablaufabschnitte
- § die Zeitabstände aufeinanderfolgender Ablaufabschnitte
- § die Gesamtdauer der Aufgabendurchführung

Die Durchlaufzeit (t_D ; DLZ) ist die Summe der Durchführungszeiten für die Erfüllung von Aufgaben sowie der Zwischen- und Zusatzzeiten. Somit ist sie die Zeitspanne des Aufenthaltes eines Arbeitsgegenstandes in einem Arbeitssystem.“²⁴

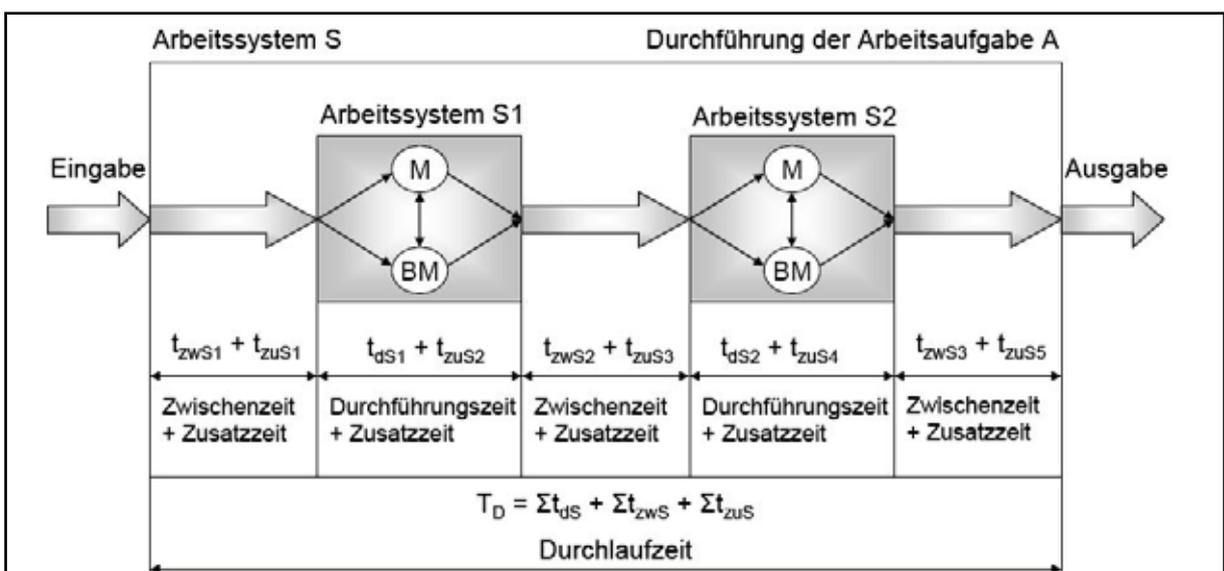


Abb. 2.11: Gliederung der Durchlaufzeit nach REFA²⁵

²⁴ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 233f.

²⁵ Vgl. REFA: MLPS, München 1985, S. 17f.

„Die Durchführungszeit (t_{dS}) besteht aus der Summe der Soll-Zeiten von Ablaufabschnitten, die für die planmäßige Durchführung einer Aufgabe erforderlich ist. Die Zwischenzeit (t_{zWS}) ist die Summe der Soll-Zeiten, während derer die Durchführung der Aufgabe planmäßig unterbrochen ist. Sie setzt sich üblicherweise aus der Liegezeit vor und nach der Bearbeitung und der Transportzeit zusammen.

Die Zusatzzeit (t_{zuS}) besteht aus der Summe der Zeiten, die zusätzlich zur planmäßigen Durchführung der Aufgaben erforderlich ist. Sie treten während des Ablaufs mit unterschiedlicher Dauer und Häufigkeit auf und entstehen im Wesentlichen durch zusätzliche Durchführungen (z.B. durch Nacharbeit) und/oder durch längerfristiges störungsbedingtes Unterbrechen der Durchführung.“

2.5 Die Kapazitätsplanung und –steuerung

Gemäß WOHINZ ergibt sich „die kurz- bis mittelfristig zur Verfügung stehende Kapazität eines Produktionssystems [...] aus den Menschen und Betriebsmitteln, welche im Hinblick auf die Erfüllung bestimmter Aufgaben verfügbar sind.

Im Rahmen der Kapazitätsplanung und –steuerung sind nun der Bedarf und der Bestand mittel- bis langfristig zu planen und kurzfristig abzustimmen.“²⁶

„Der Kapazitätsbestand ist die Kapazität, die zur Durchführung von Arbeitsaufträgen qualitativ und quantitativ zur Verfügung steht.“²⁷

Der Kapazitätsbedarf resultiert aus dem qualitativen und quantitativen Kapazitätsbedarf einzelner Aufträge, welche zu Fertigungsprogrammen (z.B. Auftrag zur Revision eines Schienenfahrzeuges) zusammengefasst werden und andererseits an den geplanten mittel- bis langfristigen Produktionsprogrammen (z.B. die präventive Instandhaltung eines Schienenfahrzeuges über seine Nutzungsdauer).

„Bei der Kapazitätsabstimmung erfolgt zunächst ein Vergleich zwischen Kapazitätsbedarf und Kapazitätsbestand. Ziel der Kapazitätsabstimmung ist die dauerhafte Deckung zwischen Kapazitätsbedarf und –bestand und somit die gleichmäßige Auslastung der Kapazität.“²⁷

²⁶ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 237

²⁷ WOHINZ, J. W. et al.: Industriebetriebslehre, Skriptum, Technische Universität Graz 2009

Abbildung 2.12 zeigt die Mechanismen der Kapazitätsabstimmung:

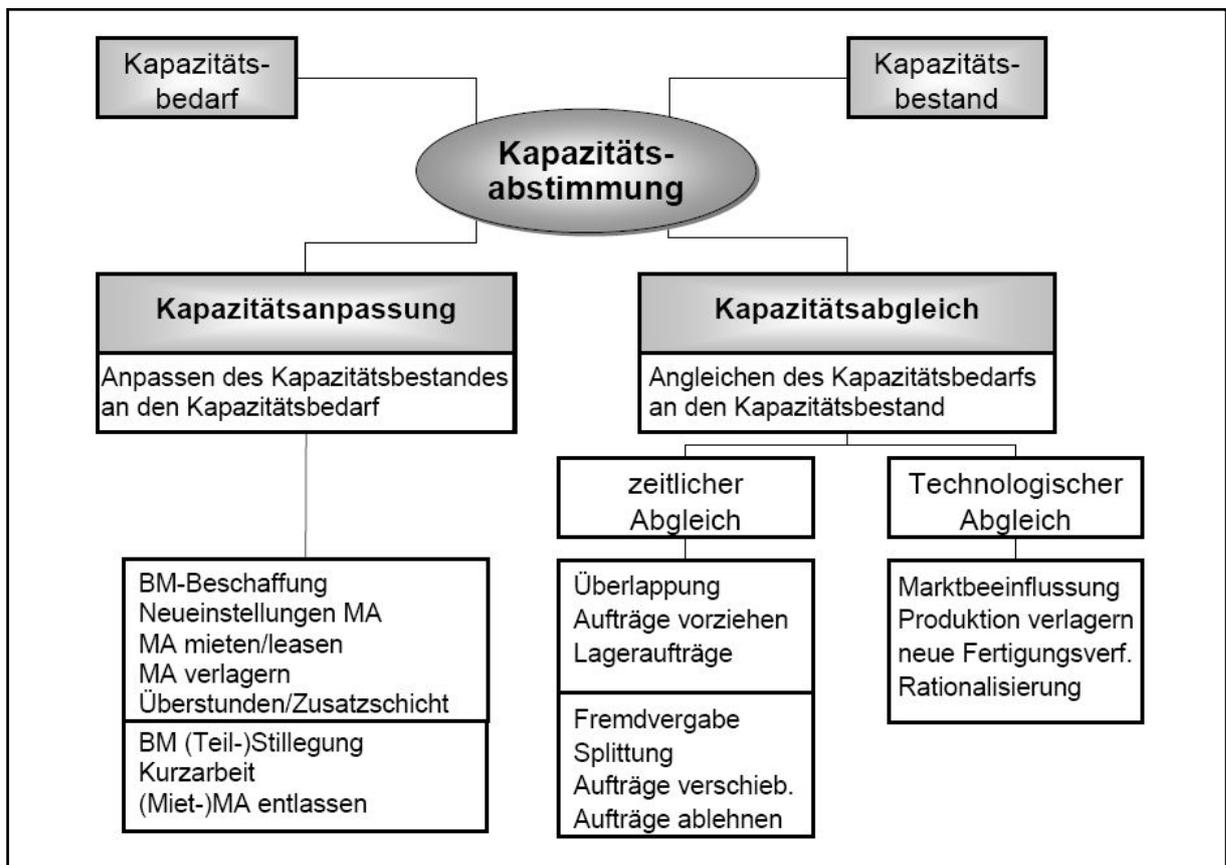


Abb. 2.12: Die Kapazitätsabstimmung²⁸

„Die Kapazitätsabstimmung erstreckt sich im kurzfristigen Bereich im Wesentlichen auf den zeitlichen Abgleich (Verschieben von Aufträgen, vor oder zurück) und den technologischen Abgleich (Aufgabenverlagerung auf z.B. neue gebaute Werkstättengleise). Eine Kapazitätsanpassung kann kurzfristig nur durch Überstunden, Zusatzschichten oder Urlaubstage erfolgen.“²⁹

2.6 Die Personalplanung

Bei aller Komplexität der Aufgabenstellung können nach WOHINZ²⁹ „drei Schwerpunktbereiche im Personalmanagement bzw. in der Personalplanung festgestellt werden:

- § Die Ermittlung des Personalbedarfes
- § Die Bereitstellung der erforderlichen Personalkapazität
- § Die Ermöglichung von Personalentwicklung“

²⁸ WOHINZ, J. W. et al.: Industriebetriebslehre, Skriptum, Technische Universität Graz 2009

²⁹ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 145

Abbildung 2.13 stellt die Aufgabenschwerpunkte grafisch dar:

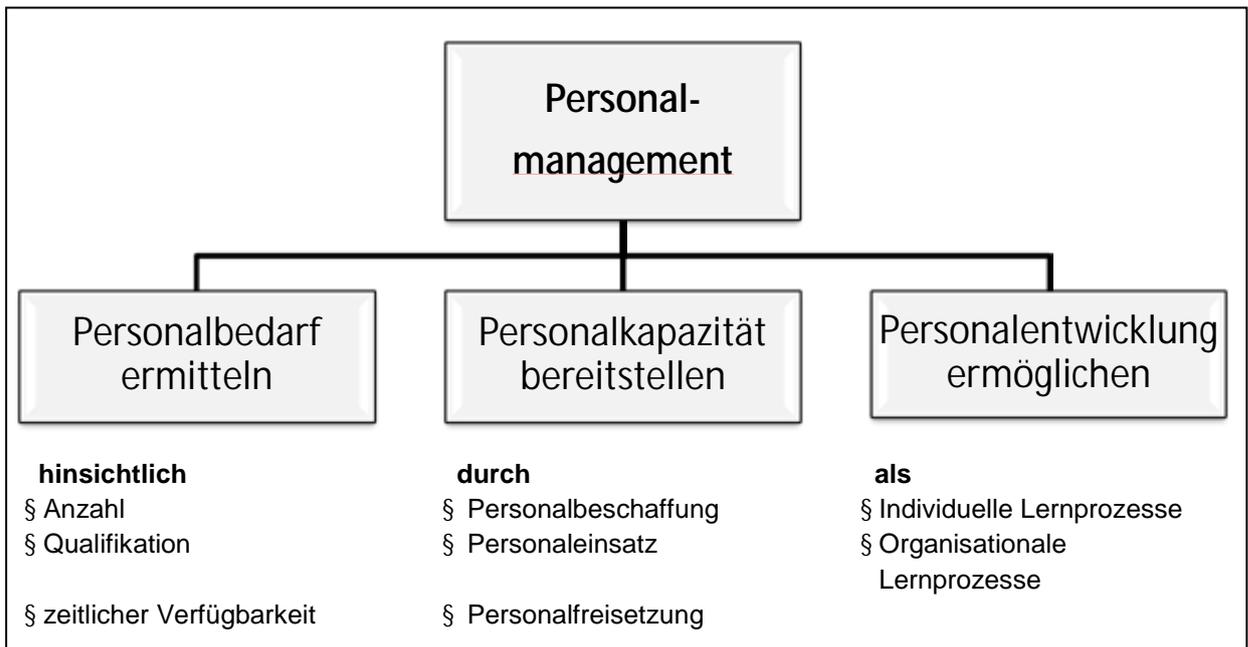


Abb. 2.13: Die Aufgabenschwerpunkte im Personalmanagement³⁰

Der Personalbedarf kann weiter gegliedert werden in Einsatzbedarf, Reservebedarf, Neubedarf, Ersatzbedarf und Freistellungsbedarf.

Die relevanten Einflussfaktoren für den Personalbedarf stellen sich wie folgt dar:

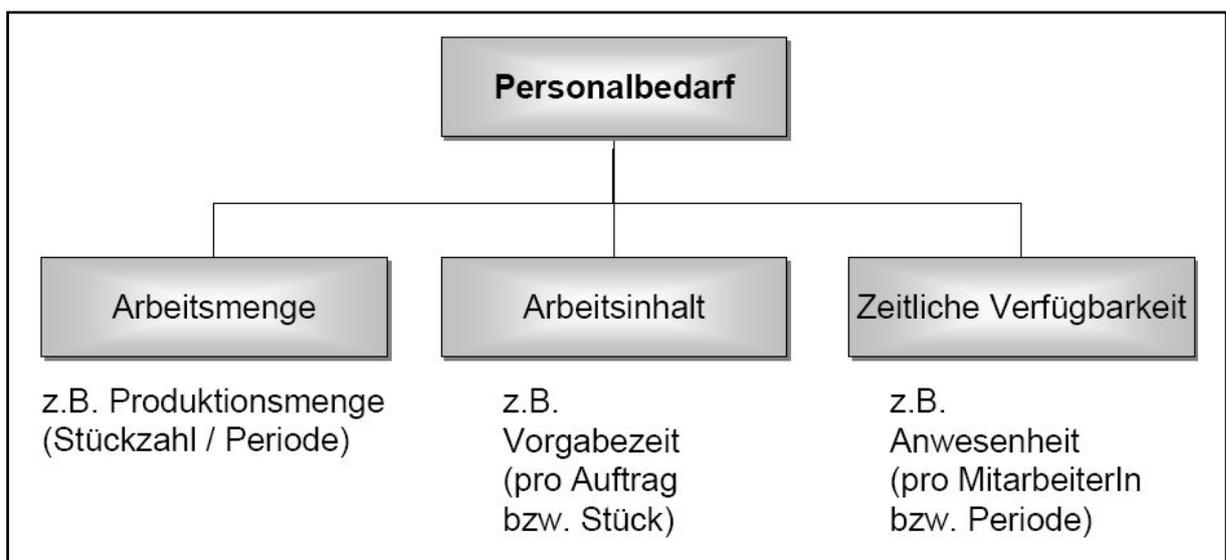


Abb. 2.14: Die relevanten Einflussfaktoren zur Ermittlung des Personalbedarfs³⁰

Wobei der Personalbedarf aus der Arbeitsmenge und deren Auftragszeit resultiert.

³⁰ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 146f.

2.7 Die Terminplanung und Terminierung

WOHINZ definiert die „Terminermittlung [...] in der Festlegung von Anfangs- und Endterminen für das Durchführen von Aufgaben in den ausführenden Arbeitssystemen. Dadurch soll erreicht werden, dass die Gesamtaufgabe zum vorgegebenen Zieltermin abgeschlossen werden kann.“³¹

„Die Terminplanung ist der Vorgang in einem abgegrenzten System (Terminsystem), bei dem aufgrund der Eingangsdaten und Gesetzmäßigkeiten der Planungsmethode sowie der Durchführungsphase eine zeitliche Zuordnung von Tätigkeiten zu ausführenden Leistungsorganen getroffen wird (Terminplan als Sollzustand), einschließlich der Durchführung aufgrund des Terminplanes. Das Ergebnis der Terminsteuerung sind die auftrags- und anlagenbezogenen IST-Termine. Die Abweichungen zwischen den SOLL- und IST-Terminen werden durch die Störgrößen hervorgerufen.

Die Führungsgrößen des Terminsystems sind in erster Linie:

- § Art, Menge und Qualitäten der Aufträge
- § die Personal- und Maschinenkapazitäten
- § die Plandurchlaufzeiten

Die wichtigsten terminbeeinflussenden Störgrößen sind:

- § die Änderung des Produktionsprogrammes und der Aufträge
- § ungeplanter Ausschuss und Nacharbeit
- § fehlendes Personal (Krankenstände), Maschinenausfall
- § Ungenauigkeit der Planungsmethodik“³²

Gemäß Abbildung 2.15 gibt es drei Möglichkeiten der Terminierung/Terminermittlung:

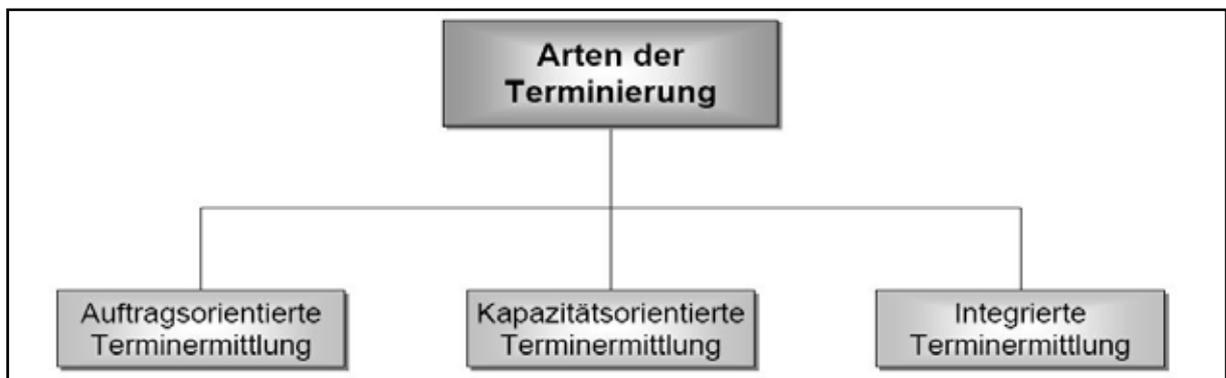


Abb. 2.15: Arten der Terminierung³⁰

³¹ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 238

³² WOHINZ, J. W. et al.: Industriebetriebslehre, Skriptum, Technische Universität Graz 2009

„Bei der auftragsorientierten Terminermittlung werden weder konkurrierende Aufträge noch die Kapazitätsbelastungen und –grenzen der einzelnen Produktionssysteme berücksichtigt.

Die kapazitätsorientierte Terminermittlung hingegen berücksichtigt sowohl miteinander konkurrierende Aufträge als auch die Kapazitätsbelastungen und –grenzen der Produktionssysteme.

Die integrierte Terminermittlung wird ebenfalls kapazitätsorientiert durchgeführt und berücksichtigt darüber hinaus die Verfügbarkeit aller zur Fertigung bzw. Montage notwendigen Mittel (Material, Mess- und Prüfmittel, Werkzeuge, Arbeitsunterlagen etc.)

Im Regelfall läuft die Terminermittlung zuerst auftragsorientiert und dann kapazitätsorientiert oder integriert ab.

Prioritätsregeln sind Vereinbarungen über die Reihenfolge der Durchführung mehrerer Aufgaben bzw. Teilaufgaben durch ein Arbeitssystem entsprechend ihrer Dringlichkeit. Die Prioritätsregeln legen fest, welcher der vor einem Arbeitssystem wartenden Aufträge als nächster abzufertigen ist, wie in Abbildung 2.16 dargestellt.“³³

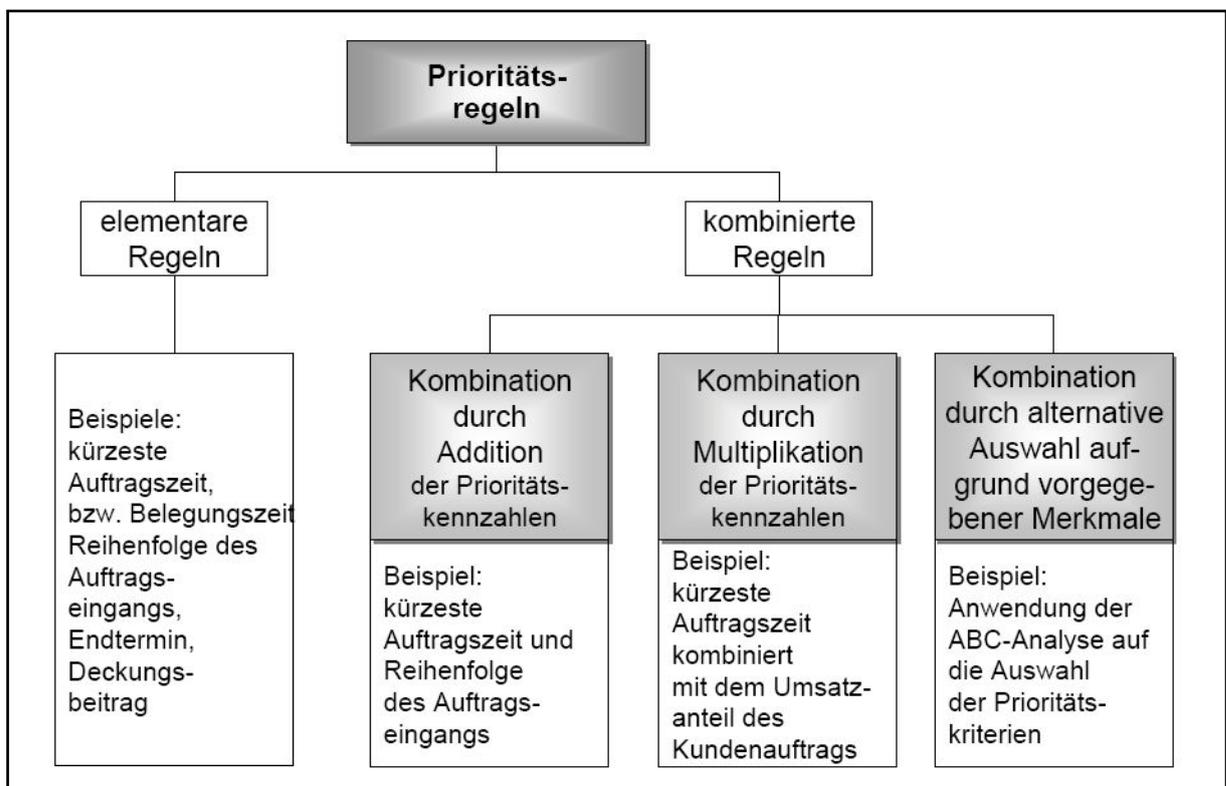


Abb. 2.16: Aufbau von Prioritätsregeln³⁴

³³ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 238

³⁴ REFA (1985), S. 62

Laut WOHINZ können „mit den **Methoden der Terminierung**

- § Start- bzw. Anfangstermine
- § Ziel-, End-, Fertigstellungs- oder Liefertermine für die Durchführung einer Aufgabe
- § Anfangs- und Endtermine als Zwischentermine von Teilaufgaben der durchzuführenden Gesamtaufgabe

ermittelt werden. Abbildung 2.17 stellt dies grafisch dar:

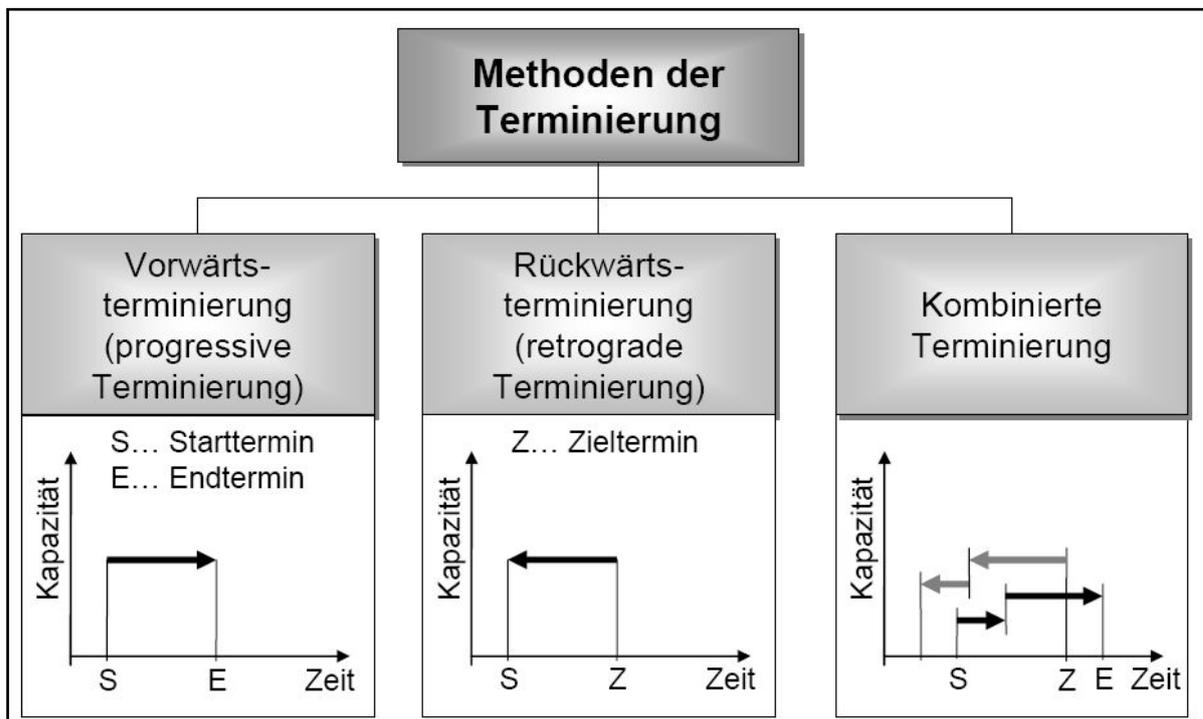


Abb. 2.17: Methoden der Terminierung³⁵

Bei der Vorwärtsterminierung wird ausgehend vom Starttermin der Endtermin des Gesamtablaufs (frühestes Ende) ermittelt. Bei der Rückwärtsterminierung wird ausgehend vom Zieltermin der Starttermin des Gesamtablaufs (spätester Anfang) ermittelt. Bei der kombinierten Terminierung werden ausgehend vom Zieltermin, die Anfangs- und Endtermine (der Arbeitsschritte) durch abwechselndes Rückwärts- und Vorwärtsrechnen unter Berücksichtigung der Kapazitätsgrenzen ermittelt.“³⁶

Von den Methoden der **Durchlaufzeitverkürzung** sind in einer Schienenfahrzeug-instandhaltungswerkstätte nur fertigungsorganisatorische Ansätze (Überlappung, Splitting, Verringerung der Zwischenzeiten und Reihenfolgeoptimierung) umsetzbar. Konstruktive und fertigungstechnische Ansätze sind z.T. bei Revisionen relevant.

³⁵ REFA (1985), S. 70

³⁶ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 238

3 Grundlagen der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Die Grundlage für die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen bilden behördlich (eisenbahnrechtlich) genehmigte Instandhaltungsunterlagen. Jeder Betreiber eines Triebfahrzeuges ist verpflichtet, das Instandhaltungsprogramm eines Fahrzeuges bzw. einer Baureihe baugleicher Schienenfahrzeuge bei der zuständigen Eisenbahnbehörde genehmigen zu lassen. Dies geschieht in der Regel im Rahmen der behördlichen Zulassung eines Schienenfahrzeuges (d.h. beim Antrag auf Bauartgenehmigung und Erteilung einer Betriebsbewilligung durch das BMVIT in Österreich), auf jeden Fall vor Inbetriebnahme bzw. vor der Freigabe des Fahrzeuges für den kommerziellen Betrieb (meist nach einer zeitlich befristeten Erprobungsphase, d.h. nach dem Test- oder Probetrieb).

Dieser Sachverhalt samt zugehöriger rechtlicher und normativer Zusammenhänge ist Schienenfahrzeugtechnikern allgegenwärtig. Selbst dabei gibt es aber - abhängig von der Gattung (Art) des Schienenfahrzeuges - unzählige Abweichungen und Sonderregelungen. Damit diese Zusammenhänge übersichtlich und vor allem wissenschaftlich nachvollziehbar dargestellt werden, folgt in diesem Abschnitt eine sukzessive Heranführung des Lesers an die aktuelle Legislatur und Normung im Eisenbahnwesen.

3.1 Gliederung von Schienenfahrzeugen

„Allgemein orientiert sich die Einteilung und Unterscheidung der Schienenfahrzeuge am Gültigkeitsbereich entsprechender Gesetze und Verordnungen“³⁷

Im österreichischen Eisenbahnrecht nehmen die EisBVO 2003, die EisBBV, die SchLV und die TFVO eine Gliederung der Schienenfahrzeuge ipso iure vor.

Umseitig folgt die Gliederung von Schienenfahrzeugen entsprechend ihrer Zweckbestimmung gemäß §18 EisBBV, BGBl. II 398/2008 vom 19. November 2008 (entspricht der deutschen EBO).

³⁷ JANICKI, J.; REINHARD, H.: Schienenfahrzeugtechnik, Heidelberg/Mainz 2008, S. 16

Gliederung von Schienenfahrzeugen gemäß §18 EisbBBV, BGBl. II 398/2008 vom 19. November 2008:

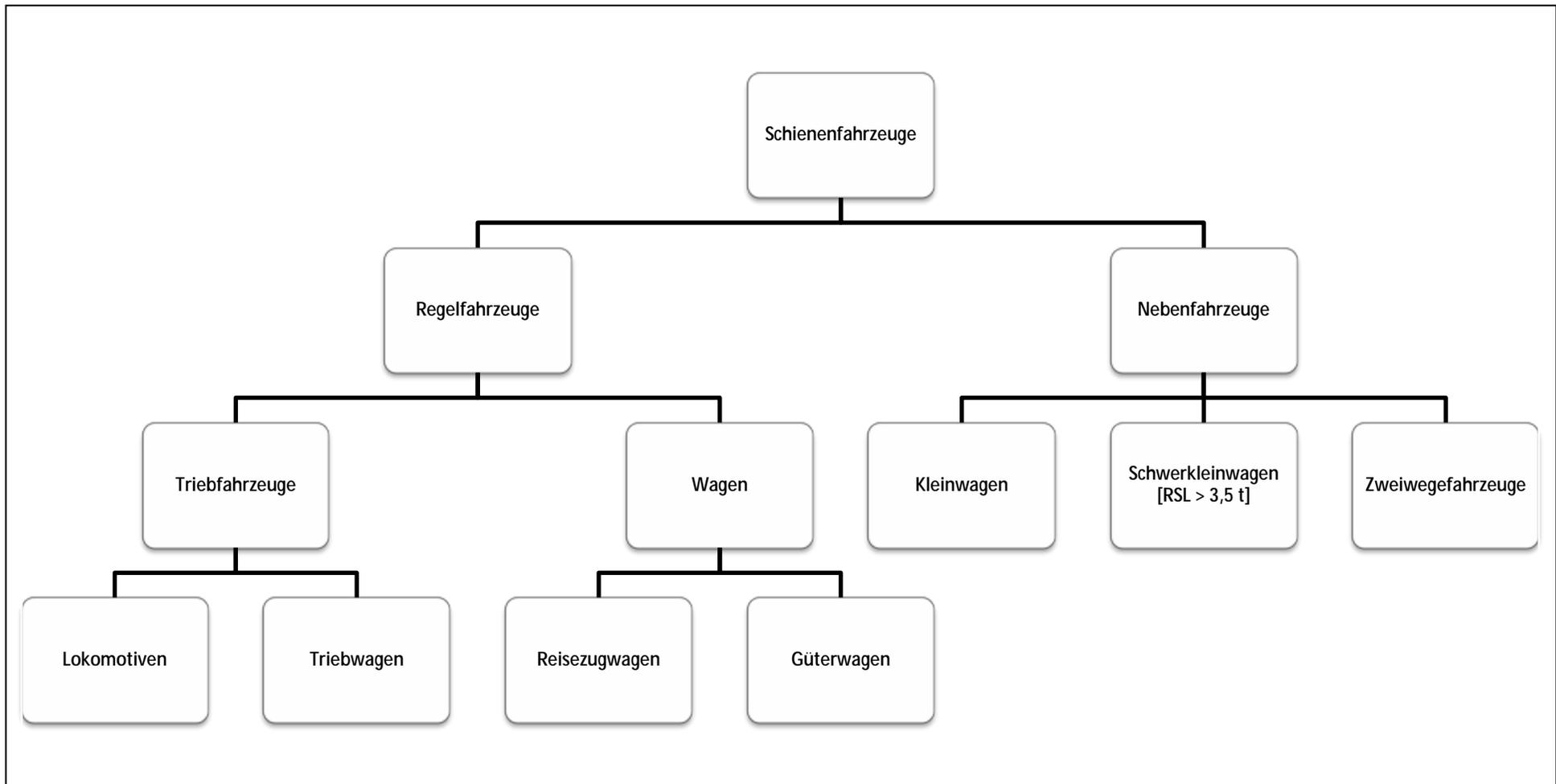


Abb. 3.1: Gliederung von Schienenfahrzeugen

Angemerkt sei, dass das EisbG 1957 - die Grundlage des österreichischen Eisenbahnrechts - Schienenfahrzeuge ab §86 ff. nur in Bezug auf die Interoperabilität unterscheidet und auf die Zugehörigkeit zum transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystem bzw. auf die Anwendbarkeit der „Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität“, kurz der TSI, nicht in Gattungen oder „Arten“, wie umseitig angeführt.

In Deutschland werden Schienenfahrzeuge gemäß EBO, ESBO und BOStrab gegliedert. Diese Gliederung entspricht derjenigen in §18 EisbBBV, erweitert um 3 Kategorien (Kleinloks, Triebzüge, sonstige Wagen). In der Schweiz gelten obige Zusammenhänge sinngemäß.

Derzeit stellen sich die **Zuständigkeiten bei der Schienenfahrzeuginstandhaltung in Österreich** wie folgt dar (Stand Juli 2010):

Regelungen für:	Instandhaltungsrichtlinien	Genehmigung in Österreich
Zweiwegefahrzeuge	ÖBB Dienstbehelf DB 663, Herstellerunterlagen	ÖBB Infrastruktur AG, Fahrzeugtechnik - Zulassung
Schwerkleinwagen SKL	ÖBB Dienstbehelf DB 663, Herstellerunterlagen	ÖBB Infrastruktur AG, Fahrzeugtechnik - Zulassung
Kleinwagen, KL	ÖBB Dienstbehelf DB 663, Herstellerunterlagen	ÖBB Infrastruktur AG, Fahrzeugtechnik - Zulassung
Güterwagen	AVV, ÖBB Dienstbehelf DB 662: (wird 2010 abgelöst durch „ECM“), Herstellerunterlagen bei Sonderbauarten	ÖBB Infrastruktur AG, Fahrzeugtechnik - Zulassung
Reisezugwagen	ehem. ÖBB Dienstvorschrift M 61, Herstellerunterlagen	Hersteller, Gesamtgutachter & BMVIT
Triebwagen (Schwerpunkt der Diplomarbeit)	Herstellerunterlagen	Hersteller, Gesamtgutachter & BMVIT
Lokomotiven	Herstellerunterlagen	Hersteller, Gesamtgutachter & BMVIT

Tab. 3.2: Regelungen für die Instandhaltung in Abhängigkeit von der Schienenfahrzeuggattung

Betreffend die **Regelungen über die Instandhaltung** von Schienenfahrzeugen existieren – wie erwähnt - gattungsabhängige Unterschiede und Unterschiede in den einzelnen EU-Mitgliedsstaaten. Dies begründet sich in bahnbetrieblichen Ursachen und in der regional unterschiedlichen Entwicklung der Eisenbahnen seit Beginn des 19. Jahrhunderts. Des Weiteren wird angemerkt, dass die gesetzliche Regelungsdichte und der Umfang der anzuwendenden Normen (Stand der Technik) im Bahnbereich am ehesten mit der Regelungsdichte in der zivilen Luftfahrt zu vergleichen ist.

3.2 Entwicklungsgeschichte der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Eisenbahnen waren in ihrer Anfangszeit (ab 1804) nur als kurze „regionale“ Bahnstrecken – meist Materialbahnen um Kohlefördergruben – mit eigens konstruierten Dampfloks in Betrieb. Es gab weder ein verbundenes Streckennetz noch einheitliche Konstruktionsrichtlinien betreffend Schienenprofil, Radprofil, Lichtraumprofil, Radsatzlasten, etc. In dieser Zeit regelten Staatsbeamte mit Hoheitsrechten die Zulassung der Dampfloks, Materialwagen und der Bahnstrecke („Behelfsgleise“), für den „Bahnbetrieb“. Bereits damals gab es erste **Instandhaltungsrichtlinien für Dampfkessel** aufgrund erster Unfälle bzw. Kesselexplosionen mit Personenschaden.

Mit dem Entstehen der ersten Bahnstrecken um europäische Ballungszentren (Liverpool-Manchester, London, Nürnberg-Fürth, Berlin, Baden-Wien) wurden die Zulassungsagenden eigens gegründeten staatlichen Bahn- bzw. Verkehrsministerien übertragen.

Das Zusammenwachsen der ursprünglich regionalen Stichstrecken bzw. Netze ermögliche erste grenzüberschreitende Verkehre, die einheitliche Konstruktionsrichtlinien erforderten, damit das Wagenmaterial aber auch die Lokomotiven überhaupt grenzüberschreitend verkehren konnten. Die Schienenfahrzeuge mussten übergangsfähig und austauschbar bzw. kompatibel werden.

Folglich wurden die Güter- und Personenwagen in den damaligen Staaten der industriellen Revolution sehr bald „genormt“, d.h. nach einheitlichen Richtlinien gebaut. Diese Konstruktionsrichtlinien wurden in sogenannten UIC-Merkblättern³⁸ festgelegt. Es folgten UIC-Merkblätter für Triebfahrzeuge (Diesel- und E-Loks).

Zeitgleich entstanden Mitte des 19. Jahrhunderts Staatsbahnen, die nicht nur den staatlichen Personen- und Güterbeförderungsauftrag erhielten, sondern auch eigene Stabstellen für Technik, Normen, Vorschriften und auch die Erarbeitung von Instandhaltungsrichtlinien einrichteten und praxisnahe betrieben.

Bis Ende der 1980er, Anfang der 90er Jahre oblag den Fahrzeugtechnik-Stabstellen der Staatsbahnen somit die Ausarbeitung und Umsetzung von

³⁸ UIC: Union Internationale des Chemins de Fer , Internationaler Eisenbahnverband mit Sitz in Paris

Instandhaltungsrichtlinien für alle Gattungen von Schienenfahrzeugen. Bis zu diesem Zeitpunkt war der Hersteller eines Schienenfahrzeuges bei der Konstruktion „nur“ verpflichtet, UIC-Richtlinien, gültige Normen und im Lastenheft festgehaltene Forderungen der Staatsbahnen umzusetzen. Der Hersteller gab Empfehlungen über die Instandhaltungsintervalle und den Umfang der Instandhaltungstätigkeiten ab – nach Ablauf der Gewährleistung des Schienenfahrzeugherstellers wurden diese Instandhaltungsrichtlinien meist abgeändert und an die betrieblichen und technischen Randbedingungen der jeweiligen Staatsbahn angepasst und konnten somit für dasselbe Fahrzeug nationalen Unterschieden unterliegen.

Wie in der Einleitung auf Seite 1 dargelegt, begann in den 1990er Jahren die EU-weite Liberalisierung des Schienenverkehrs: Zum einen sollte der EU-weite Hochgeschwindigkeitsverkehr nicht durch nationale Grenzen (negativ) beeinflusst werden; zum anderen sollte auch für Privatunternehmen der Zugang zum kommerziellen Güter- und Personenverkehr ermöglicht und forciert werden. Damit setzte auch im Instandhaltungssektor eine Kehrtwende ein: Privatunternehmen (ohne eigene Werkstätteninfrastruktur) hielten bereits bei der Bestellung von Schienenfahrzeugen im Lastenheft vertraglich die Kosten und die Durchführung der Instandhaltung des Schienenfahrzeuges über seine gesamte Nutzungsdauer (> 30 Jahre) fest und forderten zusätzlich eine prinzipiell EU-weite Einsetzbarkeit der Schienenfahrzeuge.

Damit entstand die Notwendigkeit, Normen für die Herstellung als auch für die Instandhaltung (und den Betrieb) von Schienenfahrzeugen von der nationalen Ebene auf EU-Ebene zu heben. Die EU selbst hat sich jedoch zur Umsetzung ihrer Richtlinien der sogenannten „Notified Bodies“³⁹ auf nationaler Ebene bedient, die weisungsgebunden EU-Richtlinien auf nationaler Ebene umsetzen und deren Einhaltung im Bahnbereich überwachen.

Oben angeführte Regelungen unterliegen laufenden Änderungen und Anpassungen. Im Folgenden werden die rechtlichen und normativen Grundlagen der Instandhaltung erörtert.

3.3 Recht der Europäischen Union

Im Europäischen Recht wird zwischen Primär- und Sekundärrecht unterschieden. Das Primärrecht umfasst die Gründungsverträge und Gemeinschaftsgrundrechte – ganz

³⁹ Notified Bodies: Benannte Stellen gemäß Richtlinie 768/2008/EG

allgemein die „Verfassung der EU“ – und beeinflusst die Schienenfahrzeuginstandhaltung nicht mittelbar.

Das Sekundärrecht hingegen beeinflusst und regelt mit folgenden **Interoperabilitätsrichtlinien**⁴⁰ das Eisenbahnwesen der EU und teilweise auch die Schienenfahrzeuginstandhaltung der EU grundlegend und nachhaltig:

- § **Richtlinie 96/48/EG** des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitseisenbahnsystems
- § **Richtlinie 2001/16/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. März 2001 über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems
- § **Richtlinie 2004/50/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 zur Änderung der Richtlinie 96/48/EG des Rates über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems
- § **Richtlinie 2008/57/EG** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 über die Interoperabilität des Eisenbahnsystems in der Gemeinschaft

Diese Interoperabilitätsrichtlinien sind durch folgende **Technische Spezifikationen für Interoperabilität (kurz TSI)** zur Umsetzung der **Teilsysteme** (der Bahn) weiter gegliedert:

TSI für den Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV):

Teilsystem	Abkürzung (engl.)	Entscheidung	Gültigkeit
Infrastruktur	INS	2002/732/EG	bis 30.06.2008
Infrastruktur	INS Rev	2008/217/EG	ab 01.07.2008
Energie	ENE	2002/733/EG	bis 30.09.2008
Energie	ENE Rev	2008/284/EG	ab 01.10.2008
Zugsteuerung, Zug- sicherung und Signal- gebung	CCS	2002/731/EG	bis 06.11.2006
Zugsteuerung, Zugsicherung	CCS Rev	2006/860/EG	ab 07.11.2006

⁴⁰ Interoperabilität: Eignung des transeuropäischen Eisenbahnsystems für den grenzüberschreitenden, sicheren und durchgehenden Zugverkehr

Zugsteuerung, Zug- sicherung und Signal- gebung	CCS Änd	2008/386/EG	ab 07.11.2006
Fahrzeuge	RST	2002/735/EG	bis 31.08.2008
Fahrzeuge	RST Rev	2008/232/EG	ab 01.09.2008
Betrieb	OPE	2002/734/EG	bis 31.08.2008
Betrieb	OPE Rev	2008/231/EG	ab 01.09.2008
Instandhaltung	MAI	2002/730/EG	ab 30.05.2002

Tab. 3.3: TSI für HGV, Stand Juni 2010

TSI für den konventionellen Verkehr:

Teilsystem	Abkürzung	Entscheidung	Gültigkeit
Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung	CCS	2006/679/EG	ab 28.09.2006
Fahrzeuge - Lärm	NOI	2006/66/EG	ab 23.06.2006
Fahrzeuge - Güterwagen	WAG	2006/861/EG	ab 31.01.2007
Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung	OPE	2006/920/EG	ab 11.02.2007
Telematikanwendungen für den Güterverkehr	TAF	62/2006/EG	ab 19.01.2006

Tab. 3.4: TSI für konventionellen Verkehr, Stand Juni 2010

TSI für Hochgeschwindigkeits- und konventionellen Verkehr:

Teilsystem	Abkürzung	Entscheidung	Gültigkeit
Mobilitätsbehinderte	PRM	2008/164/EG	ab 01.07.2008
Tunnelsicherheit	SRT	2008/163/EG	ab 01.07.2008

Tab. 3.5: TSI für HGV und konventionellen Verkehr, Stand Juni 2010

Zusammenfassend wird festgehalten, dass folgende Technische Spezifikationen für Interoperabilität bei der Instandhaltung der Schienenfahrzeuge der GKB bereits anzuwenden sind (im Instandhaltungshandbuch des Herstellers berücksichtigt):

- § **TSI PRM:** Access to Persons with Reduced Mobility
- § **TSI SRT:** Safety in Railway Tunnels
- § **TSI NOI:** Subsystem „Rolling Stock - Noise“

Die nächsten Schritte bzw. der Fahrplan für die nächsten TSI's, die im Jahre 2011 erwartet werden:

Teilsystem	Abkürzung	Entscheidung	Gültigkeit
energy	CR TSI ENE	-	Decision
infrastructure	CR TSI INF	-	Decision
locomotives and passenger rolling stock	CR TSI LOC PAS RST	-	Decision
telematic applications for passengers	TAP	-	Regulation
operation	CR TSI OPE Revision	-	Decision
rolling stock freight wagons	CR TSI WAG: Revision in preparation by ERA working group	-	Decision
rolling stock-noise	CR TSI NOI Amendment	-	Decision

Tab. 3.6: TSI, die im Jahre 2011 erwartet werden

3.4 Nationales Eisenbahnrecht

Im **österreichischen Recht** nehmen die im Folgenden subsumierend aufgezählten Rechtsquellen, d.h. Gesetze, Verordnungen und Richtlinien (jeweils idgF) Bezug auf den Schienenverkehr bzw. generell auf das Eisenbahnwesen.

Die vom BMVIT gemäß „Austrian Notification according to Article 8/2 of Directive 2004/49/EC“ in die **Liste der nationalen, technischen Vorschriften** aufgenommenen Rechtsquellen sind **fett** dargestellt:

- § **EisbG 1957**: Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957)
- § **EisbVO 2003**: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über den Bau, den Betrieb und die Organisation von Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung 2003)
- § EisbBBV: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie, mit der die Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen erlassen wird sowie die Verordnung über den Bau, den Betrieb und die Organisation von Eisenbahnen geändert wird (Eisenbahnbau- und –betriebsverordnung)
- § **EisbAV**: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über den Schutz von ArbeitnehmerInnen im Bereich von Gleisen (Eisenbahn-ArbeitnehmerInnenschutzverordnung)
- § **Eisenbahn-Kreuzungsverordnung 1961**: Verordnung des Bundesministeriums für Verkehr und Elektrizitätswirtschaft vom 21. Dezember 1960 über die Sicherung und Benützung schienengleicher Eisenbahnübergänge
- § AVO Verkehr: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über die Berücksichtigung der Erfordernisse des Arbeitnehmerschutzes und über den Nachweis der Einhaltung in Genehmigungsverfahren des Verkehrswesens (Arbeitnehmerschutzverordnung-Verkehr)
- § SchLV: Verordnung des Bundesministers für öffentliche Wirtschaft und Verkehr über die Lärmzulässigkeit von Schienenfahrzeugen (Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung)
- § **TFVO**: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über die Befugnis zur selbständigen Führung und Bedienung von Triebfahrzeugen (Triebfahrzeugführer-Verordnung)
- § **Tfzf-RI**: Richtlinie für die Ausbildung, die Prüfung, den Einsatz, das Verhalten, die Unterweisungen sowie die Nachprüfungen der Triebfahrzeugführer bei den österreichischen Eisenbahnunternehmen (Triebfahrzeugführer-Richtlinie)

- § VO über geringfügige Veränderungen an Fahrbetriebsmitteln: Verordnung des Bundesministers für öffentliche Wirtschaft und Verkehr über geringfügige Veränderungen und Maßnahmen betreffend Fahrbetriebsmitteln, 1994
- § **UUG**: Bundesgesetz über die Errichtung der Unfalluntersuchungsstelle des Bundes, Unfalluntersuchungsgesetz
- § **MeldeVO-Eisb 2006**: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über den Umfang und die Form der Meldungen von Unfällen und Störungen, die bei Eisenbahnunternehmungen auftreten, an die Unfalluntersuchungsstelle des Bundes
- § **GGBG - Novelle 2007**: Bundesgesetz, mit dem das Gefahrgutbeförderungsgesetz geändert wird (Gefahrgutbeförderungsgesetz)
- § **GGBV**: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie, mit der die Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über die Beförderung gefährlicher Güter geändert wird (Gefahrgutbeförderungsverordnung)

Österreichische Rechtsquellen, die sich expressis verbis auf die **Instandhaltung von Schienenfahrzeugen** beziehen, sind:

EisbG 1957, §19 Pflichten des Eisenbahnunternehmens, Vorkehrungen

- (1) Ein zum Bau und zum Betrieb von Eisenbahnen berechtigtes Eisenbahnunternehmen ist verpflichtet, die Eisenbahn einschließlich der zugehörigen Eisenbahnanlagen, Betriebsmittel und des sonstigen Zugehör unter Berücksichtigung der Sicherheit, der Ordnung und der Erfordernisse des Betriebes der Eisenbahn und des Verkehrs auf der Eisenbahn zu bauen, zu erhalten, zu ergänzen und nach Maßgabe der Rechtsvorschriften und entsprechend der nach diesem Bundesgesetz erforderlichen Konzessionen, Genehmigungen und Bewilligungen zu betreiben und hat diesbezüglich die notwendigen Vorkehrungen zu treffen.
- (2) Ein zum Bau und zum Betrieb von Eisenbahnen berechtigtes Eisenbahnunternehmen hat Vorkehrungen zu treffen, dass durch den Bau, Bestand oder Betrieb der Eisenbahn keine Schäden an öffentlichem und privatem Gut entstehen.
- (3) Ein zur Erbringung von Eisenbahnverkehrsleistungen auf Eisenbahnen berechtigtes Eisenbahnunternehmen ist verpflichtet, die Schienenfahrzeuge, Eisenbahnanlagen, Betriebsmittel und sonstiges Zugehör unter Berücksichtigung der Sicherheit, der Ordnung und der Erfordernisse des Verkehrs auf der Eisenbahn zu bauen, zu erhalten, zu ergänzen und nach

Maßgabe der Rechtsvorschriften und entsprechend der nach diesem Bundesgesetz erforderlichen Genehmigungen und Bewilligungen zu betreiben und hat diesbezüglich die notwendigen Vorkehrungen zu treffen.

EisbVO 2003, §21 Instandhaltung

- § (1) Die Instandhaltung der Betriebsanlagen und Fahrbetriebsmittel umfasst Wartung, Inspektionen und Instandsetzungen; sie muss sich mindestens auf jene Teile erstrecken, deren Zustand die Betriebssicherheit und Verfügbarkeit beeinflussen kann.
- § (2) Art, Umfang und Häufigkeit der Wartung und der Inspektionen haben sich nach Bauart und Belastung der Betriebsanlagen und der Fahrbetriebsmittel zu richten. Gefährdete Stellen sind so zu überwachen, dass Betriebsgefährdungen rechtzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen getroffen werden können.
- § (3) Unbeschadet der vorgesehenen regelmäßigen Inspektionen sind Betriebsanlagen und Fahrbetriebsmittel auch nach schweren Unfällen, bei denen Teile beschädigt worden sind, die die Betriebssicherheit beeinträchtigen können, einer Inspektion zu unterziehen.
- § (4) Über die Wartung und die Inspektionen sind Aufzeichnungen zu führen. Die Aufzeichnungen sind den für den Bau und die Instandhaltung wesentlichen Unterlagen beizugeben.
- § (5) Die Aufzeichnungen über die Wartung sind bis zur nächsten Inspektion, mindestens jedoch fünf Jahre, diejenigen über die Inspektionen bis zur Außerbetriebsetzung der Betriebsanlagen und Fahrbetriebsmittel aufzubewahren.

EisbBBV, §25 Ausrüstung und Anschriften

- § (15) Die Schienenfahrzeuge müssen die für Betrieb, Instandhaltung und Arbeitnehmerschutz erforderlichen Anschriften und Zeichen tragen.

EisbBBV, §26 Wiederkehrende Prüfung von Schienenfahrzeugen

- § Die Schienenfahrzeuge sind planmäßig auf ihre ordnungsgemäße Beschaffenheit wiederkehrend zu prüfen. Art, Umfang und Häufigkeit der wiederkehrenden Prüfung haben sich nach Zustand und Belastung der Schienenfahrzeuge sowie nach der zugelassenen Geschwindigkeit zu richten. Über die wiederkehrenden Prüfungen der Schienenfahrzeuge sind Aufzeichnungen zu führen.

EisbAV §39, Wiederkehrende Prüfung:

- § (1) Folgende Arbeitsmittel sind mindestens einmal im Kalenderjahr, jedoch längstens im Abstand von 15 Monaten, einer wiederkehrenden Prüfung zu unterziehen:
1. Triebfahrzeuge,
 2. etc. (infrastrukturelle, ortsfeste Anlagen)
- § (2) Die wiederkehrende Prüfung muss mindestens die Prüfinhalte des § 8 Abs. 2 der Arbeitsmittelverordnung, BGBl. II Nr. 164/2000, umfassen.
- § (3) Für wiederkehrende Prüfungen nach Abs. 1 sind Personen gemäß § 7 Abs. 3 oder nach § 7 Abs. 4 der Arbeitsmittelverordnung, BGBl. II Nr. 164/2000, oder sonstige geeignete fachkundige Personen heranzuziehen.

EisbAV §40, Prüfung nach außergewöhnlichen Ereignissen

- § (1) Arbeitsmittel, bei denen wiederkehrende Prüfungen durchzuführen sind (§ 39 Abs. 1), sind nach außergewöhnlichen Ereignissen, die schädliche Einwirkungen auf die Sicherheit des Arbeitsmittels haben können, auf ihren ordnungsgemäßen Zustand zu prüfen. Zu den außergewöhnlichen Ereignissen zählen insbesondere die in § 9 Abs. 1 der Arbeitsmittelverordnung, BGBl. II Nr. 164/2000, angeführten Ereignisse.

EisbAV §46, Schienenfahrzeuge

- § (1) Schienenfahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie ihrem Bestimmungszweck entsprechend sicher betrieben werden können.

Die **Unterschiede nationaler Rechtsquellen** betreffend die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen sind zum Teil beachtlich. Im österreichischen Recht findet sich z.B. keine Zeitangabe (in Jahren) über die maximal zulässige Zeitdauer zwischen zwei Hauptuntersuchungen (Revisionen) von Schienenfahrzeugen (im speziellen Triebfahrzeugen). Im österreichischen Recht, genügt ein (Instandhaltungs) Nachweis, dass das Schienenfahrzeug ständig betriebssicher ist, sofern der Hersteller nichts anderes vorschreibt.

Im **deutschen Recht**, das sich im Wesentlichen auf folgende Rechtsquellen stützt

- § **Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG)** zuletzt geändert durch Art. 7 G v. 29.07.2009 I 2542

- § **Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO)**, Ausfertigungsdatum 08.05.1967, zuletzt geändert durch V vom 19.03.2009 I 467
- § (ESBO für Schmalspurbahnen)
- § **Verordnung über die Sicherheit des Eisenbahnsystems (Eisenbahn-Sicherheitsverordnung ESiV)** vom 5. Juli 2007, zuletzt geändert am 09.01.2008

ist das maximal zulässige Zeitintervall zwischen zwei Revisionen mit 6+2 Jahren auf maximal 8 Jahre begrenzt.

Das **Schweizer Eisenbahnrecht** – wie das österreichische sehr komplex und diversifiziert - basiert auf folgenden Rechtsquellen:

- § **Eisenbahngesetz (EBG)** 742.101 mit Stand vom 1. Januar 2010
- § **Eisenbahnverordnung (EBV)** 742.141.1 mit Stand wie o.a.
- § **Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)**, insbesondere Artikel 13 Instandhaltung, Ausgabe am 02.07.2006
- § **Richtlinie Art. 6a, 7 und 8** der Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen, Zulassung Eisenbahnfahrzeuge
- § **Verordnung über die sicherheitsrelevanten Tätigkeiten im Eisenbahnbereich (STEBV)** 742.141.2 mit Stand 1. Januar 2010
- § **Einheitlicher Fehlerkatalog**, Version 1.2, 05.11.2009

Im **Schweizer Recht** existiert eine exakte Regelung der Revisionsfristen abhängig von der Gattung des Schienenfahrzeuges Die Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung legen fest (Wortlaut aus dem Gesetzestext, schweizerdeutsch):

Revisionen R0 bzw. R1 (Tab. 3.6):

„Die Fristen beginnen mit dem Tag nach Übernahme von der Lieferfirma oder beendeter Revision eines Fahrzeuges und enden mit dem Tag seiner Ausserdienstnahme für die nächste Revision. Liegen besondere Verhältnisse vor, z.B. wenn ein Fahrzeug längere Zeit ununterbrochen ausser Betrieb gesetzt wird, kann die Frist zwischen zwei aufeinanderfolgenden Revisionen, insbesondere R1, verlängert werden; möglichen Stillstandsschäden ist dabei Rechnung zu tragen. Andererseits ist die Frist zu verkürzen, wenn der Zustand des Fahrzeuges es erfordert.“

Fahrzeuggruppen, Adhäsionsbahnen	Zeitintervall
Triebfahrzeuge bzw. triebfahrzeugtechnischer Teil von Steuerwagen	4 bis 6 Jahre
Personenwagen, Gepäckwagen, Postwagen	6 bis 8 Jahre
Güterwagen, Dienstwagen	8 bis 10 Jahre

Tab. 3.7: Revisionsfristen von Schienenfahrzeugen im Schweizer Eisenbahnrecht

Diese **Unterschiede im nationalen Recht** zeigen anhand eines einzelnen Aspektes (der Revisionsfristen), dass

- § ein und dasselbe Schienenfahrzeug in Österreich, Deutschland oder in der Schweiz unterschiedlichen Instandhaltungsplänen/Instandhaltungsprogrammen unterliegen kann
- § z.B. bei Eigentumsübergang eines Schienenfahrzeuges (hohe) Kosten für sofort fällige Revisionen entstehen können bzw. eine nationale Zulassung auf dem Schienennetz eines ausländischen Betreibers (kurzfristig) abgelehnt werden kann, bis die Differenz an Instandhaltungsarbeiten abgearbeitet ist

3.5 Normen und Stand der Technik

Sämtliche Prozesse der Instandhaltung von Schienenfahrzeugen unterliegen dem „geregelten Bereich“, d.h. es existieren bezugnehmende CEN-Normen entsprechend dem „New Approach“.

3.5.1 Normen

Die wichtigsten bezugnehmenden Normen in der Werkstattpraxis sind nach wie vor die sogenannten **UIC-Merkblätter**⁴¹ (welche den Status von Anwendernormen im Bahnwesen besitzen) und das in Kapitel 3.6 beschriebene Regelwerk der Staatsbahnen. Sowohl die UIC-Merkblätter als auch das Regelwerk der Staatsbahnen werden sukzessive in DIN, EN, VDE oder ÖNORMEN „übergeleitet“. Aufgrund des Umfangs wird dieser Prozess wohl noch Jahre dauern (Stand 2010).

Eine Aufzählung der bezugnehmenden UIC-Merkblätter (über 100) für die Schienenfahrzeuginstandhaltung würde den Rahmen der Diplomarbeit sprengen - es wird auf die UIC-Homepage⁴² verwiesen.

Die Instandhaltung wird nach **DIN 31051:2003-06** (aktuelle Fassung) definiert als: „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“

„Die Instandhaltung kann vollständig in die Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung, Schwachstellenanalyse unterteilt werden.“

⁴¹ UIC: Union Internationale des Chemins de Fer, Internationaler Eisenbahnverband mit Sitz in Paris

⁴² Homepage: <http://www.uic.org>, Zugriff im Jänner 2011

Weitere Begriffe sind (nach DIN 31051:2003-06):

- § **Wartung:** Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats
- § **Inspektion:** Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Istzustandes einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung
- § **Instandsetzung:** Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen
- § **Verbesserung:** Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern
- § **Funktionsfähigkeit:** Fähigkeit einer Betrachtungseinheit zur Funktionserfüllung aufgrund ihres Zustands
- § **Ausfall:** Beendigung der Fähigkeit einer Betrachtungseinheit, eine geforderte Funktion zu erfüllen

Bezugnehmende **DIN EN Normen aus dem Instandhaltungsbereich** sind derzeit (kein Anspruch auf Vollständigkeit“):

- § **DIN EN 12080** Bahnanwendungen - Radsatzlager - Wälzlager
- § **DIN 12663** Teil Bahnanwendungen - Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen
- § **DIN EN 14752** Bahnanwendungen - Seiteneinstiegssysteme
- § **DIN EN 15085ff** Schweißen von Schienenfahrzeugen
- § **Normenreihe DIN EN 27200ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge -Grundsätze und Begriffe für den betriebssicheren Zustand
- § **DIN VDE 0119-206ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Elektro- und Traktionsanlagen, Zulelektrik

„Die **DIN EN Normenreihe 27200**⁴³ - das Gesamtwerk „Zustand der Eisenbahnfahrzeuge“ - besteht aus insgesamt 79 Normen (Stand 2010). Sie beschreiben die Grenzkriterien und Grenzwerte, die von Eisenbahnfahrzeugen und deren Komponenten im Betriebseinsatz eingehalten werden müssen. Das Normenwerk enthält grundsätzlich nicht die Instandhaltungsmaßnahmen, mit denen diese Zustände erreicht werden können. Vielmehr obliegt es dem Betreiber von Eisenbahnfahrzeugen, die notwendigen Instandhaltungsprogramme in Abhängigkeit der jeweiligen Einsatzbedingungen und der konstruktiven Gestaltung der Fahrzeuge zu definieren.

⁴³ Zitat DIN, Deutsches Institut für Normung e.V.

Die DIN-Normenreihe 27200 entstand durch Überführung des „**Technischen Regelwerkes Fahrzeugzustand (TRF)**“, das in den Jahren 1994 bis 2000 auf Initiative mehrerer Interessentenkreise des Eisenbahnwesens erstellt wurde. Beteiligt waren:

- § die Deutsche Bahn AG
- § das Eisenbahnbundesamt (EBA)
- § der Verband der Privaten Reisezugwageneinsteller (VPR)
- § der Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) und
- § die Vereinigung der Privatgüterwageninteressenten (VPI).“

Von theoretischer Bedeutung bzw. bei der Ausarbeitung/Anpassung von Instandhaltungsunterlagen von Bedeutung sind folgende DIN-Normen:

- § DIN 13306: Begriffe der Instandhaltung
- § DIN 25003: Bahnanwendungen - Systematik der Schienenfahrzeuge - Übersicht, Benennungen, Definitionen

3.5.2 Stand der Technik

Der Begriff „Stand der Technik“ spielt insbesondere bei Unfällen von oder mit Schienenfahrzeugen oder bei Instandhaltungsfehlern /-mängel, die gerichtlich behandelt werden, eine bedeutende Rolle.

Im Zuge der Novellierung des EisbG 1957 im Jahre 2006 wurde der Begriff „Stand der Technik“ erstmals näher bestimmt - wie in anderen Materiengesetzen üblich:

„**EisbG 1957, § 9b.** Der Stand der Technik im Sinne dieses Bundesgesetzes ist der auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Entwicklungsstand fortschrittlicher technologischer Verfahren, Einrichtungen, Bau- und Betriebsweisen, deren Funktionstüchtigkeit erwiesen und erprobt ist. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen, Bau- oder Betriebsweisen heranzuziehen und die Verhältnismäßigkeit zwischen dem Aufwand für die nach der vorgesehenen Betriebsform erforderlichen technischen Maßnahmen und dem dadurch bewirkten Nutzen für die jeweils zu schützenden Interessen zu berücksichtigen.“

Des Weiteren verweist das BMVIT auf folgende Normen, die als nationale Sicherheitsvorschriften gemäß Artikel 8 Absatz 2 der Richtlinie 2004/49/EG über die

Eisenbahnsicherheit einzuhalten sind: <http://www.bmvit.gv.at/verkehr/eisenbahn/-recht/eu/normen.html>⁴⁴

Einen entsprechenden Katalog hat das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Jahre 2008 daher der Europäischen Kommission übermittelt.

Im **deutschen Recht** werden - vergleichsweise - in der **Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO) §2 Allgemeine Anforderungen** die „anerkannten Regeln der Technik“ zitiert:

„(1) Bahnanlagen und Fahrzeuge müssen so beschaffen sein, dass sie den Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen. Diese Anforderungen gelten als erfüllt, wenn die Bahnanlagen und Fahrzeuge den Vorschriften dieser Verordnung und, soweit diese keine ausdrücklichen Vorschriften enthalten, anerkannten Regeln der Technik entsprechen.

(2) Von den anerkannten Regeln der Technik darf abgewichen werden, wenn mindestens die gleiche Sicherheit wie bei Beachtung dieser Regeln nachgewiesen ist.“

3.6 Regelwerk der Staatsbahnen

Sowohl die ÖBB, die DB AG oder die SBB (als auch oder andere europäische Bahnverwaltungen) – respektive ihre Vorgängergesellschaften - waren zum Zeitpunkt ihrer Gründung hierarchisch aufgebaut und mittels interner Vorschriften sehr exakt strukturiert. Dies begründet sich im erforderlichen gemeinsamen Ziel der größtmöglichen Sicherheit und der Planmäßigkeit des Bahnbetriebes. Für einen „Nichteisenbahner“ scheint die Summe an Dienstbehelfen, Dienstvorschriften, Betriebsvorschriften, Signalen und Befehlen beinahe „militärisch“, aber Mitte des 19. Jahrhunderts musste – mangels moderner Kommunikationstechnologien - die eindeutige und verwechslungsfreie verbale Befehlsausgabe, Befehlsweiterleitung und –umsetzung sichergestellt werden. Dies war nur durch strenge Hierarchien möglich. Die **betriebliche „Regelungstiefe“** nahm aber auch Einzug in die Bedienung und **Instandhaltung der Schienenfahrzeuge**. Dadurch waren die ÖBB (aber auch die DB) bis Mitte der 1990er Jahre mehr oder weniger „autark“ von externen Normen oder Gesetzen.

Bei den ÖBB beispielsweise umfasst das Regelwerk (auszugsweise):

⁴⁴ Homepage des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation & Technologie, BMVIT, Zugriff im Jänner 2011

- § **Dienstbehelfe**, wie z.B. DB 663 Nebenfahrzeuge betriebsfähig erhalten
- § **Dienstvorschriften**, wie z.B. DV M26 Bremsvorschrift
- § **Dienstanweisungen**, die bahnspezifisch erstellt und ausgeführt werden, sie konkretisieren die Dienstvorschriften im Einzelfall
- § **Signalvorschriften** (die auch im Werkstättenbereich Gültigkeit besitzen)
- § **Zusatzbestimmungen** zu den Dienstvorschriften
- § etc.

Teilweise wurde dieses ursprünglich interne Regelwerk (mit weit über 100 Einzelbestimmungen!) durch Novellen des EisbG oder der Eisb-VO zum Gesetz erhoben, teilweise wurde es durch Überschneidungen mit dem EU-Recht oder mit EN Normen aufgehoben.

3.7 Qualitäts- und LCC - Management

„Für Unternehmungen wird es somit immer wichtiger, Qualität als hochrangiges Unternehmungsziel zu definieren“⁴⁵. Dieser Grundsatz gilt für produzierende Unternehmungen genauso wie für Instandhalter (von Schienenfahrzeugen).

„Neben der zeitpunktbezogenen Betrachtung der Qualität i.e.S. – wird vielfach auch die zeitraumbezogene Betrachtung – der Zuverlässigkeit – vorgenommen.“ Damit leitet WOHINZ zur Kernaufgabe des LCC-Managements über, nämlich der Betrachtung der Zuverlässigkeit eines Produktes über seine gesamte Lebensdauer.

3.7.1 Grundlagen des Qualitätsmanagements in der Schienenfahrzeuginstandhaltung

WOHINZ definiert weiters die wesentlichen Ziele des Qualitätsmanagements in den folgenden Punkten:

- § „Möglichst hohe Kundenzufriedenheit, und zwar sowohl der externen Kunden am Markt wie auch der internen Kunden in der Unternehmung
- § Möglichst geringe qualitätsbezogene Kosten, als Übereinstimmungskosten wie als Abweichungskosten
- § Kontinuierliche Weiterentwicklung des Qualitätsbewusstseins in der Unternehmung als kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Zur Verwirklichung dieser Ziele beschreibt die ISO 9001:2000 ein Modell eines prozessorientierten Qualitätsmanagementsystems, [...].“⁴⁵

Mittlerweile hat sich die Zertifizierung gemäß ISO 9001:2008 in der Schienenfahrzeuginstandhaltung als Standard etabliert. Bei Nichtvorhandensein eines

⁴⁵ WOHINZ, J. W. et al.: Industriebetriebslehre, Skriptum, Technische Universität Graz 2009

QM-Systems gemäß ISO 9001:2008 ist das Anbieten und Durchführen von Aufträgen/Leistungen für ein „fremdes“, d.h. für ein anderes (Eisenbahnverkehrs) Unternehmen praktisch unmöglich.

Weitere „Standards“ im Schienenfahrzeuginstandhaltungsbereich sind Zertifizierungen der schweißtechnischen Fertigung, wie z.B. gemäß

- § ÖNORM M 7812
- § DIN ISO 3834
- § DIN EN 15085 ff. (ehem. Normenreihe DIN 6700ff.)

Ein zertifiziertes Umweltmanagementsystem nach ISO 14000ff besitzen wenige Staatsbahnwerkstätten (z.B. die Technischen Services der ÖBB oder die Werkstätten der DB AG) und nur sehr vereinzelt private Instandhalter.

Zum Teil überschneiden sich die Zertifizierungen des Qualitätsmanagements mit bahninternen Zulassungen/Zertifizierungen bzw. bedingen sich gegenseitig wie z.B. die Zulassungen, die die ÖBB Infrastruktur AG/Fahrzeuge/Zulassungsstelle erteilt:

- § ÖBB Dienstbehelf DB 663 Nebenfahrzeuge betriebsfähig erhalten
- § Anerkennung/Zulassung als Fachwerkstätte für Triebfahrzeuge am ÖBB-Netz

Beide o.a. Zulassungen bedingen das Vorhandensein eines QM-Systems, in dem zumindest Prozesse, Verfahrensanweisungen, Aufzeichnungen und das Verhalten bei Abweichungen definiert sind. Auf dieser Basis ist der Aufwand, gleich ein QM-System gemäß ISO 9001 einzuführen und zertifizieren zu lassen, gering.

Weiters verlangt **§39 des EisbG 1957** idgF die **„Einführung bzw. das Vorhandensein eines Sicherheitsmanagementsystems** für Eisenbahnverkehrsunternehmen und Eisenbahninfrastrukturunternehmen mit Sitz in Österreich.“ Das bedeutet, dass Instandhaltungswerkstätten, die unternehmerisch als Abteilungen oder Teilorganisationen einem EVU oder EisblU untergeordnet sind, zumindest teilweise ihre Prozesse, Verfahrensanweisungen, Fehler- und Abweichungsanalysen, etc. für das Sicherheitsmanagementsystem der Muttergesellschaft zertifizieren muss(t)en.

3.7.2 LCC - Grundlagen

Das LCC-Management bzw. das LCC-Engineering modelliert und analysiert die Kosten während eines gesamten Produktlebensweges.

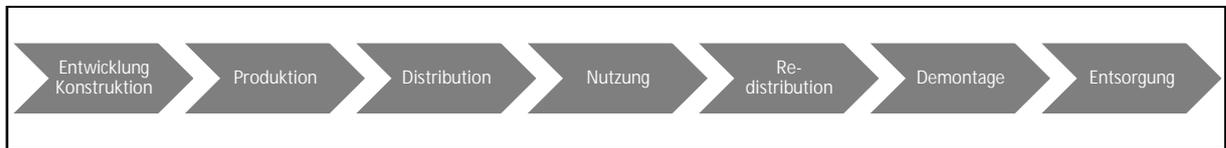


Abb. 3.8: Produktlebensweg⁴⁶

HERRMANN stellt den Produktlebensweg als Basis für weiterführende LCC-orientierte Betrachtungen gemäß Abb. 3.7 dar.

In der Schienenfahrzeugindustrie werden diese Phasen zusammengefasst als:

- § Angebotsphase, Bestellung & Herstellung (Lastenheft, Pflichtenheft, Entwicklung, Konstruktion)
- § Inbetriebsetzung (beim Hersteller), Inbetriebnahme beim Kunden
- § Betrieb
- § Außerbetriebnahme eines Schienenfahrzeuges

Während der Betriebsphase des Fahrzeuges sind die Qualitätskriterien der Verfügbarkeit (availability⁴⁷) und der Zuverlässigkeit (reliability⁴⁸) die maßgeblichen Faktoren für die Bewertung und Zufriedenheit des Kunden/Betreibers. Oft werden sie im Überbegriff „RAMS-Engineering“ zusammengefasst: Reliability, Availability, Maintainability and Safety.

BIEDERMANN stellt diese Zusammenhänge wie folgt dar:

⁴⁶ Vgl. HERRMANN, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management, Berlin/Heidelberg 2010, S.360

⁴⁷ gemäß DIN 40042

⁴⁸ gemäß EN 50126, EN 13306, DIN 40041 bzw. ÖNORM M8103

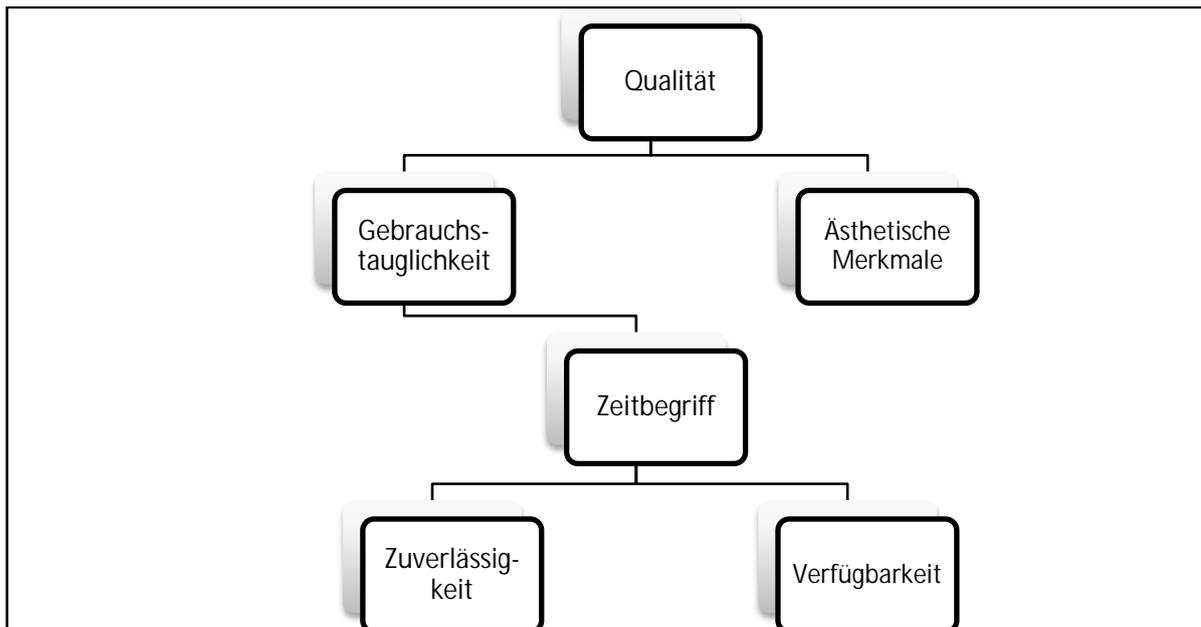


Abb. 3.9: Begriffszusammenhänge Qualität, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit⁴⁹

Weiters stellt BIEDERMANN die Zusammenhänge der im Bahnbetrieb wichtigen Ziele der Sicherheit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit folgendermaßen dar:

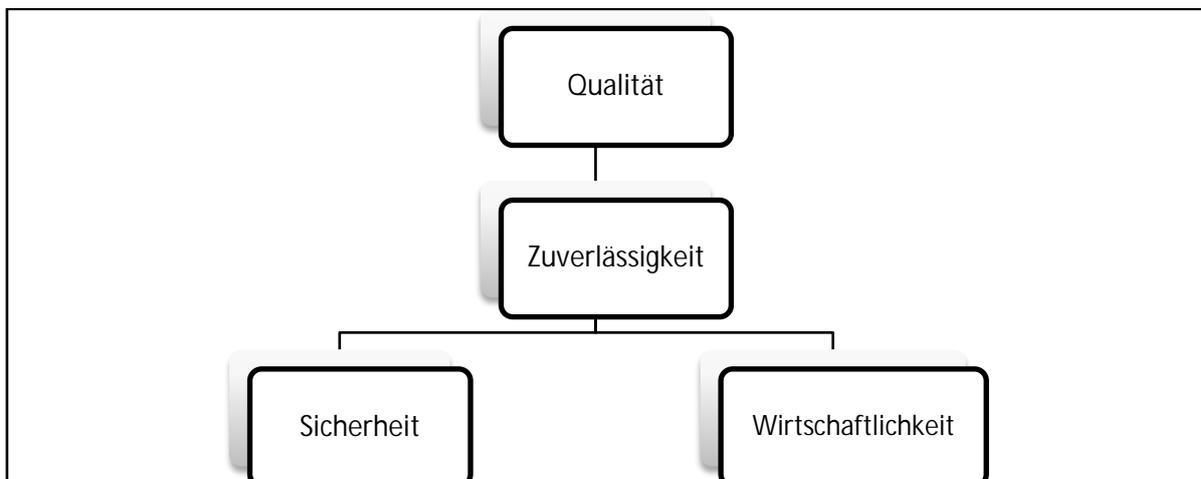


Abb. 3.10: Begriffshierarchie Zuverlässigkeit – Sicherheit - Wirtschaftlichkeit⁴⁹

Es entspricht dem Stand der Technik, dass Schienenfahrzeughersteller bereits in der Angebotsphase die Instandhaltungskosten (Materialkosten und Mannstunden über die gesamte Nutzungsdauer) mit anbieten; je nach Gewichtung des Auftraggebers beeinflussen diese Kosten die Kaufentscheidung maßgeblich.

In der Angebots- bzw. Beschaffungsphase eines modernen Schienenfahrzeuges werden deshalb Begriffe des LCC-Managements vom Auftraggeber und Auftragnehmer exakt definiert und mit Werten hinterlegt, die während der gesamten Nutzungsdauer des Fahrzeuges zu verifizieren sind:

⁴⁹ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 41

- § Verfügbarkeit, reliability: $= \frac{\sum \text{Ausfallszeiten}}{\sum \text{Anzahl der Ausfälle}}$...beispielsweise
- § Zuverlässigkeit, availability: $= \frac{\sum \text{Störungen, Ausfälle}}{\sum \text{Flottenkilometer}}$...beispielsweise
- § MDT: Mean Down Time
- § MTBF: Mean Time Between Failure
- § MTBM: Mean Time Between Maintenance
- § MTTFF: Mean Time To First Failure
- § MTTF: Mean Time To Failure
- § MTTR: Mean Time To Repair
- § Mct: Mean corrective maintenance time

Praktische Berechnungsbeispiele dazu werden in Kap. 4.4 bei den einzelnen Instandhaltungsprozessen behandelt.

Im Schnittstellenbereich zwischen QM und LCC - Management sind die Methoden der Failure Mode and Effects Analysis, kurz FMEA, angesiedelt. Sie werden benötigt, um Sicherheitszeile eines Sicherheitsmanagementsystems gemäß §39 EisbG 1957 idgF zu erreichen und den aktuellen Status eines Eisenbahnverkehrsunternehmens mittels Berechnung von Risikoprioritätszahlen zu bewerten. Im Jahre 2009 hat die EU eine Richtlinie über gemeinsame Sicherheitsziele - sogenannter **Common Safety Methods**- beschlossen, die zusätzlich im Sicherheitsmanagementsystem eines Eisenbahnverkehrsunternehmens integriert werden müssen.

Umseitig werden die bisher in Kapitel 3 aufgezählten Grundlagen der Schienenfahrzeuginstandhaltung und deren Prioritäten/Hierarchie (vereinfacht) grafisch dargestellt.

Die Prioritätensetzung in Abbildung 3.5 erfolgt „bottom-up“, d.h. unveränderbare Bedingungen sind an der Basislinie, die „flexibelsten“ an der Spitze der Pyramide dargestellt.

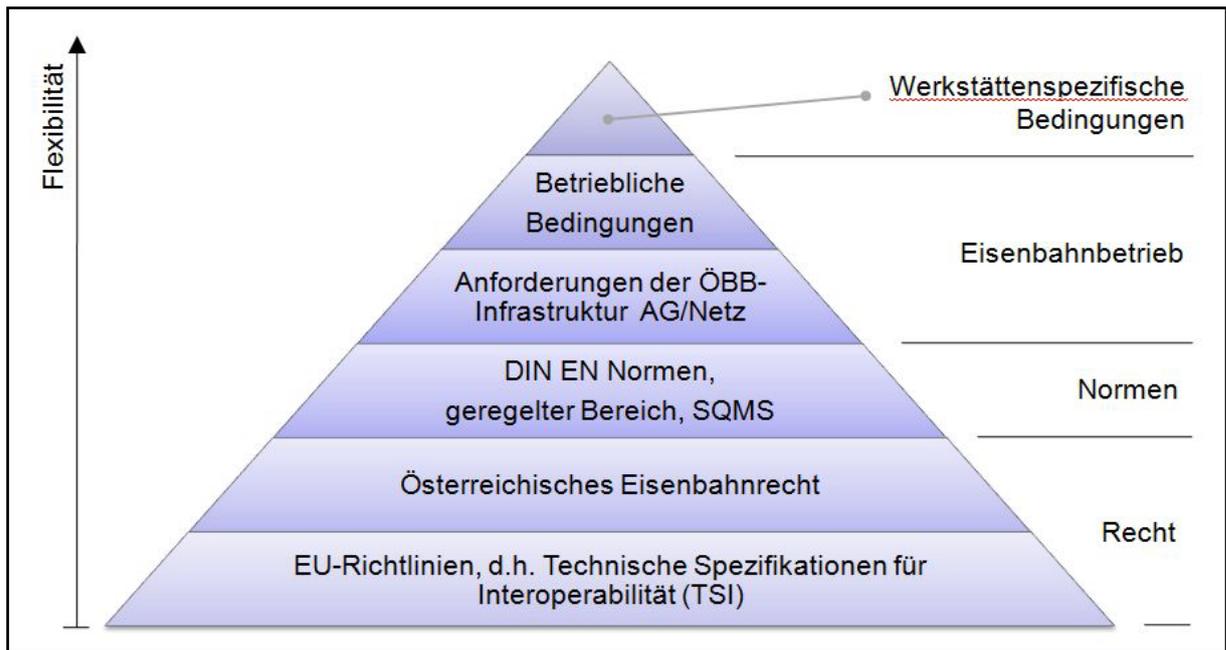


Abb. 3.11: Die Grundlagen der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Für einen Nicht-Eisenbahner ist die Regelungsdichte und -tiefe bei der Instandhaltung von Schienenfahrzeugen am ehesten mit der Regelungsdichte der Instandhaltung von Passagierflugzeugen vergleichbar.

Die Darstellung in Pyramidenform indiziert, dass die Bedingungen an der Basis unveränderbar sind – sozusagen das Fundament darstellen und mit zunehmender Y-Achse flexibler bzw. beeinflussbarer werden.

Die Basis bildet das **EU-Recht**, das über die sogenannte TSI bereits den Bau und die Instandhaltung neuer Schienenfahrzeuge regelt. Für die neuen Triebwagen sind bereits die TSI-PRM und TSI-SRT anzuwenden (d.h. der Zugang von Personen mit eingeschränkter Mobilität und die Sicherheit in Bahntunneln, siehe auch Kap. 3.3, Seite 31, Tabelle 3.5).

Darauf basiert in der nächsthöheren Ebene das **österreichische Eisenbahngesetz**, das das EU-Sekundärrecht mittels Verordnungen, Gesetzen und Richtlinien auf nationaler Ebene umsetzt.

Die Gesamtheit der Normen stellt den Stand der Technik dar. Die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen unterliegt einem durch EU-RL geregelten Bereich und es existieren harmonisierte beziehungsweise harmonisierende Normen, Stichwort „New Approach“.

Ein Nicht-Eisenbahner könnte sich die Frage stellen, weshalb die ÖBB Infrastruktur AG/Abteilung Netz Anforderungen an ein GKB Schienenfahrzeug und an dessen Instandhaltung stellen darf. Dies erklärt sich dadurch, dass die Triebwagen der GKB (und weitere Tfz.) regelmäßig ÖBB-Infrastruktur befahren werden. G-Hbf. zählt zum ÖBB Netz, die Koralmstrecke G-Hbf – Wtt ist Teil des ÖBB-Netzes aber auch für die regelmäßige Räderprofilierung auf einer Unterflurdrehbank in Salzburg sind Überstellfahrten am ÖBB-Netz erforderlich.

Zu den GKB-eigenen betrieblichen Bedingungen zählen

- § Einsatzpläne/Umlaufpläne: wann steht das Fzg. zur IH zur Verfügung?
- § wieviele km / Bh leistet es: davon hängt die Häufigkeit der IH-Tätigkeiten ab
- § wie ist der Oberbau beschaffen, wie die Gleislage. Ein schlechter Oberbau bzw. enge Gleisradien (Trassierung) erhöhen den Radsatzverschleiß und die IH-Tätigkeiten am RS, der die teuerste IH-Komponente eines SF darstellt.

Zuletzt bleiben noch die werkstättenspezifischen Bedingungen wie

- § Tagesarbeitszeiten
- § Qualifikationsprofile der MA
- § MA-Anzahl
- § kollektivvertragliche Bedingungen
- § Arbeitnehmerschutz, Arbeitssicherheit
- § wie auch Motivation, Qualität und Zufriedenheit der Kunden

Die werkstättenspezifischen Bedingungen sind diejenigen, die vom Instandhalter beeinflussbar und optimierbar sind, z.B. mittels PPS-Methoden.

3.8 Herstellerangaben, –handbücher und –dokumentation

Der Hersteller eines Schienenfahrzeuges wird meist schon in den Ausschreibungsunterlagen des Käufers (& des zukünftigen Betreibers) verpflichtet, Instandhaltungsunterlagen zu liefern, die alle in Kapitel 3 erwähnten Grundlagen und Erfordernisse erfüllen, d.h. EU-RL, TSI, nationales Eisenbahnrecht, Normen, das Regelwerk der Staatsbahnen und dem Stand der Technik entsprechen.

Die Instandhaltungsdokumentation umfasst in der Regel:

- § Instandhaltungsstrategie, Instandhaltungsplan
- § Instandhaltungshandbuch

- § Arbeitspläne für jede Instandhaltungsstufe
- § Vollständiger Zeichnungssatz
- § Schemata wie Druckluftschema, Hydraulikschema, Stromlaufpläne, komponentenspezifische Software sowie SW-Release-Übersicht
- § Komponentenbeschreibungen inkl. Werkstoffangaben
- § Lieferantenverzeichnis
- § Reparaturanleitungen für jede Komponente
- § sowie weitere Unterlagen gem. Kundenwunsch/Lastenheft

Der Aufbau eines Instandhaltungshandbuches kann – in gewissem Rahmen – vom Betreiber beeinflusst werden, damit z.B. werkstättenspezifische Randbedingungen berücksichtigt werden.

Das Instandhaltungshandbuch bzw. der Instandhaltungsplan wird – zumindest nach derzeit gültigem österreichischem Recht – im Zuge des behördlichen Genehmigungsverfahrens des gesamten Fahrzeuges (mit) genehmigt und muss anschließend über die gesamte Nutzungsdauer strikt eingehalten werden. Sollten Änderungen erforderlich werden, z.B. durch geänderte betreiberspezifische Randbedingungen wie eklatant höhere Jahreslaufleistung oder aber wesentlich geringere Laufleistung bedingt diese Änderung ein neuerliches Ansuchen bei der zuständigen Behörde (BMVIT), unter Umständen mit einem beizulegendem Gutachten.

Der Handlungsrahmen eines Schienenfahrzeuginstandhalters stellt sich nun im Schema der Wirkungsbeziehungen wie folgt dar:

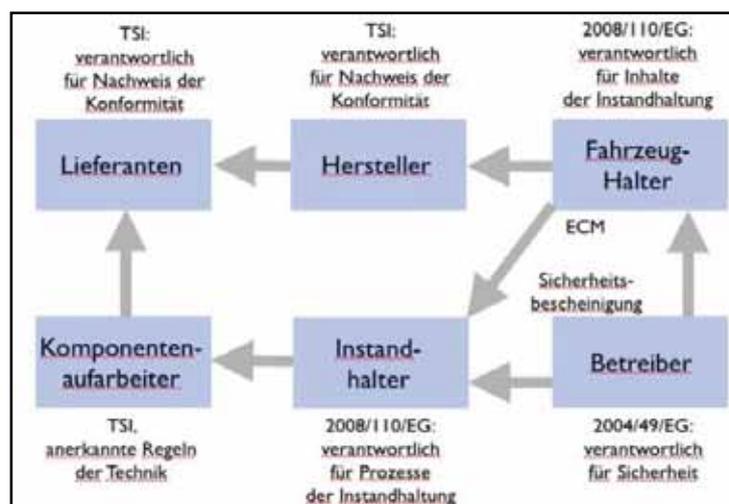


Abb. 3.12: Der Handlungsrahmen nach EU-Regularien; Quelle: Rösch Consult Group, 2010⁵⁰

⁵⁰ RÖSCH, W.: Vortrag an der TUG, Schienenfahrzeugtagung 2010

4 Schienenfahrzeuginstandhaltung in der betrieblichen Praxis

Während in den Kapiteln 2 und 3 die Grundlagen der Schienenfahrzeuginstandhaltung erläutert wurden, beschreibt das Kapitel 4 die Umsetzung der methodischen, gesetzlichen und normativen Grundlagen in der betrieblichen Praxis (Abbildung 4.1 zeigt z.B. einen „Blick in die „Lokmontierung“). Über eine reine IST-Bestandsaufnahme hinausgehend, werden auch SOLL-Zustände definiert. Des Weiteren werden Stärken/Schwächen - Analysen einzelner Prozesse bzw. Strategien durchgeführt.



Abb. 4.1: Schwere Instandhaltung (HU, Revisionen)
in der Halle der „Lokmontierung“

4.1 Das Optimierungsproblem der Instandhaltung

Prinzipiell wird von den Führungskräften einer Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätte die Optimierung zweier Hauptaufgaben verlangt:

1. einerseits die optimale Instandhaltungsstrategie für jede Schienenfahrzeugbaureihe zu finden und umzusetzen
2. andererseits die optimale Ablaufplanung bzw. generell die optimale Produktionsplanung und –steuerung der Werkstätte (des Personals) zu finden und umzusetzen.

Schon die erste Aufgabe kann Widersprüche in sich selbst tragen: Aufgrund vorhandener Infrastrukturengpässe (wie z.B. Anzahl und Ausstattung der Werkstättengleise und Arbeitsstände) kann es notwendig werden, Kompromisslösungen bei der Instandhaltung einzelner Baureihen einzugehen. Beispielsweise kann der IH-Plan bei einer (oder bei mehreren)

Schienenfahrzeugbaureihe(n) innerhalb eines kurzen Zeitintervalls Tätigkeiten an Komponenten am Dach des Fahrzeuges verlangen. Wenn nun aber nur ein Werkstättengleis mit einer geeigneten Dacharbeitsbühne zur Verfügung steht und die Gleisbelegung innerhalb der Normalarbeitszeit bereits 100% beträgt, verbleiben folgende Möglichkeiten:

- § Streckung des Instandhaltungsintervalls dieser Komponenten nach Rücksprache und Freigabe durch deren Hersteller, aber evtl. mit erhöhtem Tätigkeitsumfang
- § Durchführung der Tätigkeiten im vorgegebenen Zeitintervall aber mit Behelfsmitteln – wie z.B. einer mobilen Arbeitsbühne - auf einem „sub-optimalen“ Werkstättengleis. Dies bedingt i.d.R. einen Mehraufwand an Mannstunden (durch umfangreichere Arbeitsvorbereitung) und ist somit nicht kostenneutral.
- § Durchführung im vorgegebenem Zeitintervall, aber in Überstunden, samstags oder in einer 2. Schicht, evtl. auch nicht kostenneutral

Zusätzlich kann die erste Aufgabe in Widerspruch zur zweiten Aufgabe stehen. Fällt nämlich bei einer Baureihe von z.B. mehr als 10 baugleichen Schienenfahrzeugen die Revision innerhalb nur eines oder zweier Kalenderjahre an, so ergibt sich eine Spitze im Kapazitätsbedarf einer mittelständischen Werkstätte. Nach Abarbeitung der Revisionen (i.d.R. > 1.000 Mannstunden / Fzg.) ergibt sich demgemäß eine Senkung des Kapazitätsbedarfs. Im besten Fall gelingt es, mittels Kapazitätsabgleich – unter der Voraussetzung, dass die Aufnahme von Personal nicht genehmigt wird – den Kapazitätsbedarf an den Kapazitätsbestand anzugleichen, z.B. durch das Vorziehen von Aufträgen. Die Alternative wäre die Durchführung der Revisionen durch den Hersteller oder einen Mitbewerber, der über das erforderliche Know-how und die erforderlichen Kapazitäten besitzt. Durch den Termindruck und die Monopolstellung der wenigen Anbieter am Markt führen letztgenannte Alternativen zu stark überhöhten Kosten der Revision für den Betreiber dieser Schienenfahrzeugbaureihe.

Die **Ziele** der einleitend angeführten Optimierungsaufgaben sind eindeutig definiert.

ad 1.) Aus Unternehmenssicht lässt sich die **optimale Instandhaltungsstrategie** – angelehnt an BIEDERMANN⁵¹ - wie folgt definieren:

- § Sicherheit und definierte Betriebsmittelverfügbarkeit (i.S. von Schienenfahrzeugverfügbarkeit)
bei
- § minimalen Gesamtkosten der Instandhaltung

⁵¹ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 38

ad 2.) Aus Unternehmenssicht stellen sich die Ziele einer **optimalen Ablaufplanung** einer Werkstätte – angelehnt an BIEDERMANN⁵² - wie folgt dar:

- § Minimierung der präventiven Instandhaltungs-Zeit (IH-Zeit)
- § Minimierung von Ausfallzeiten, Minimierung von Durchlaufzeiten (von Reparaturen, Revisionen und Refurbishment-Aufträgen)
- § Maximierung der Fahrzeugverfügbarkeit
- § Zuverlässigkeitsmaximierung
- § Lebensdauermaximierung
- § Gewinnmaximierung
- § Minimierung der direkten IH-Kosten (Kosten für Inspektion, Wartung und Instandsetzung)
- § Minimierung der indirekten IH-Kosten (Ausfallkosten, kalkulatorische Kosten)

HODAPP⁵³ stellt die Lösung der Optimierungsaufgabe der Instandhaltung grafisch als Schnittpunkt zweier Funktionen dar (Instandsetzungskosten, Wartungskosten), zugleich das Gesamtkostenminimum:

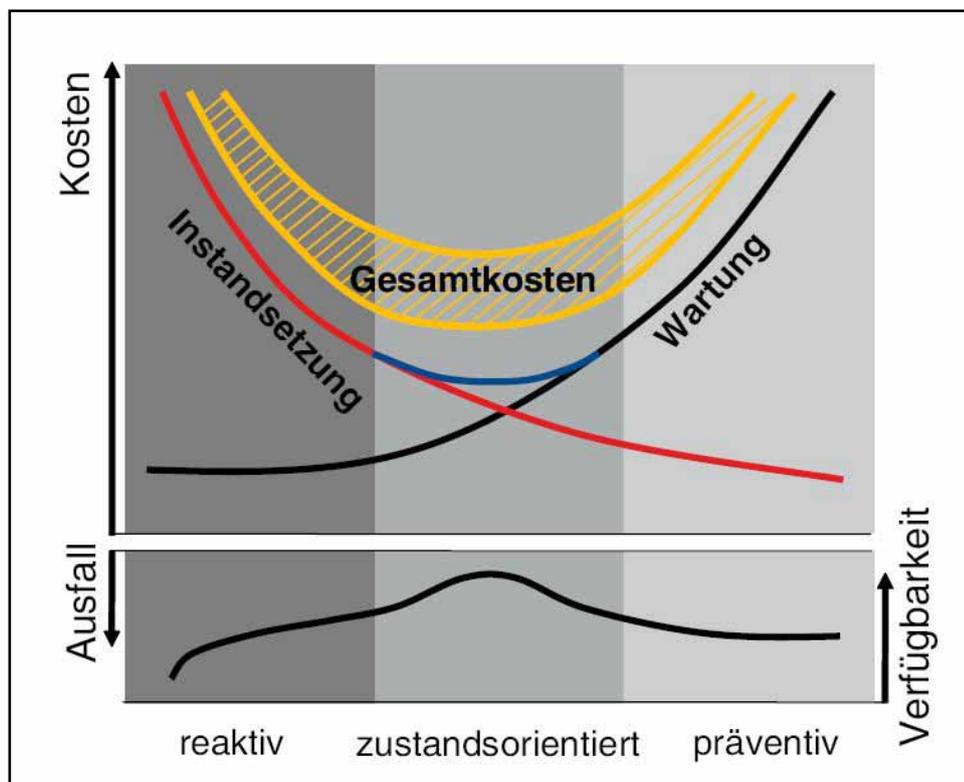


Abb. 4.2: Der optimale Punkt einer Instandhaltung(sstrategie)⁵³

⁵² BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 37

⁵³ HODAPP, W.: in REICHEL, J.; MÜLLER, G.; MANDELARTZ, J. (Hrsg.): Betriebliche Instandhaltung, Berlin/Heidelberg 2009, S. 138

Das Grundproblem einer Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätte ist das „GUTENBERG-Dilemma“ der Ablaufplanung, das bereits in Kap. 2.1 „Ziele und Zielkonflikte des Produktionsmanagements“ auf S. 13 (Abb. 2.6) erwähnt wurde. Der Maximierung der durchschnittlichen Kapazitätsauslastung und der Minimierung der Leer-Kosten stehen die Minimierung der mittleren DLZ, die Minimierung der Kosten der Zwischenlagerung und die Minimierung der Fertigungsverzögerungskosten gegenüber.

Damit eng verknüpft ist der Zyklus der „Operativen Terminplanung für einen Produktionsprozess“, wie auf S. 10 (Abb. 2.3) abgebildet. Er beschreibt das iterative und kurzfristige Erstellen von Produktionsplänen (im Wochenrhythmus) aus dem Jahresproduktionsprogramm, ausgelöst von Störgrößen (wie z.B. Reparaturanfall). Der Instandhalter muss innerhalb dieser Randbedingungen die (kosten) optimale Produktionsplanung (und –steuerung) seiner Teilaufgaben finden.

DANGELMAIER⁵⁴ löst PPS-Optimierungsprobleme z.B. arithmetisch durch:

- § die Bildung von Datenstrukturen
- § die Bildung eines formalen Modells inklusive Klassifikation
- § anschließende Lösung unter gegebener Produktionsfunktion und gegebener Nebenbedingungen

Im Detail geht DANGELMAIER folgendermaßen vor:

- § Schaffung von Produktionspunkten, d.s. aus Faktormengenvektoren $-y$ und zugehörigen Produktmengenvektoren x bestehende Vektoren z . Alle in einem Produktionssystem realisierbaren Produktionspunkte bilden die Technologiemenge TZ
- § Definition der Produktions- /Verbrauchsfunktion(en): lineare oder nicht lineare Prozesse bzw. Funktionen
- § Definition der Nebenbedingungen
- § Lineare Optimierung zur Ermittlung der maximalen Produktmenge bzw. der kostenminimalen Produktion

Dieser Exkurs in die analytische Lösung von PPS-Optimierungsaufgaben soll einerseits das Potential dieser Vorgehensweise demonstrieren und andererseits das Verständnis für die Programmierung des in Kap. 5 beschriebenen Software-Tools (zur Optimierung der PPS-Teilaufgaben der GKB-Werkstätte) schaffen.

⁵⁴ DANGELMAIER, W.: Theorie der Produktionsplanung und –steuerung, Berlin/Heidelberg 2009, S. 333ff.

4.2 Strategien der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Als Instandhaltungsstrategie (kurz: IH-Strategie) wird gemäß DIN EN 13306 die Instandhaltungsmethode bezeichnet, die angewendet wird, um die Instandhaltungsziele zu erreichen. Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, hängen von der IH-Strategie die periodenbezogenen Instandhaltungskosten und - noch viel wesentlicher - die IH-Kosten über die gesamte Nutzungsdauer eines Schienenfahrzeuges (LCC-Kosten) ab.

4.2.1 Überblick über die Instandhaltungsstrategien

Die Gliederung von IH-Strategien wird von jedem namhaften Autor auf dem Gebiet der Produktionsplanung und –steuerung bzw. der Instandhaltungsplanung unterschiedlich vorgenommen, deshalb werden hier nur die übersichtlichsten und für die Schienenfahrzeuginstandhaltung am besten zutreffenden Gliederungen vorgestellt. WOHINZ⁵⁵ unterscheidet folgende drei IH-Strategien, die in der folgenden Abbildung 4.3 dargestellt sind:

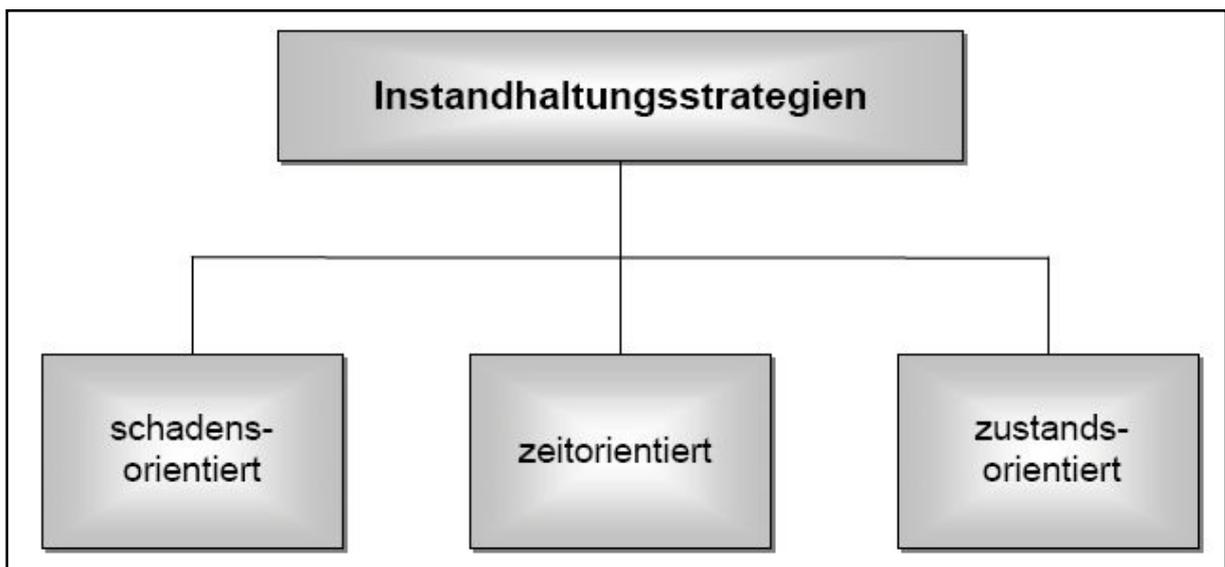


Abb. 4.3: Ausprägungen von Instandhaltungsstrategien⁵⁵

⁵⁵ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 166

MATYAS⁵⁶ gliedert und bezeichnet dieselben Strategien etwas unterschiedlich:

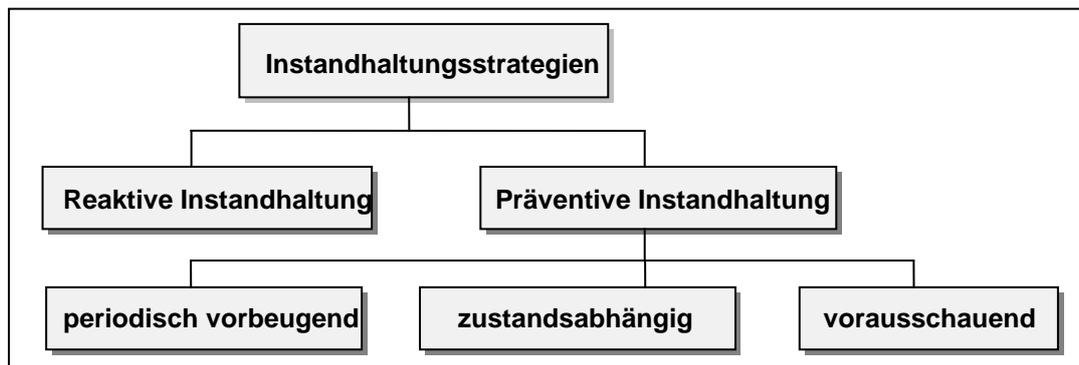


Abb. 4.4: Instandhaltungsstrategien⁵⁶

MATYAS ergänzt, dass die **reaktive Instandhaltung** oft auch als störungsbedingte Instandsetzung, ausfallorientierte Instandhaltung oder Feuerwehrstrategie bezeichnet wird. Dies entspricht exakt dem in der Schienenfahrzeuginstandhaltung üblichen Begriff der **korrektiven Instandhaltung**.

HERRMANN⁵⁷ definiert über der Ebene der IH-Strategien eine weitere Ebene – die der übergeordneten Instandhaltungskonzepte:

	Konzepte	RCM Reliability Centered Maintanance	RBM Risk Based Maintenance	TPM Total Productive Maintenance
	Strategien	präventiv		korrektiv
		<i>zeitbasiert</i> Alter, feste Intervalle	<i>Zustandsbasiert</i> Symptome, Trends, Limits	<i>ausfall-</i> <i>orientiert</i>
	Multi-unit Optionen	Opportunistische Instandhaltung		(Gruppen-) Instandhaltung
	Instandhaltungs- grad	minimal	unperfekt	perfekt
	Aktivitäten	Wartung	Inspektion	Instand- setzung
	Operationen	reinigen	prüfen	ersetzen
		schmieren	analysieren	wiederherstellen
		nachstellen	messen	reparieren

Tab. 4.5: Hierarchisches Rahmenmodell zur Instandhaltungsterminologie basierend auf Wang, 2002; Takata et al., 2004 und DIN 31051, 2003⁵⁷

⁵⁶ MATYAS, K.: Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien, 2002 in SCHENK, M. (Hrsg.): Instandhaltung technischer Systeme, Berlin/Heidelberg 2010

⁵⁷ HERRMANN, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management, Berlin/Heidelberg 2010, S. 354

In dieser Tabelle steht:

- § RCM, Reliability Centered Maintenance: für die Instandhaltung mit dem Ziel der maximalen oder zumindest definierten Verfügbarkeit
- § RBM, Risk Based Maintenance: für die Instandhaltung basierend auf Risikoprioritätszahlen
- § Opportunistische Instandhaltung: für die Instandhaltung von z.B. einer Einzelkomponenten einer Anlage, wenn dieselbe Anlage gerade aus einem anderen Grund stillsteht (Schichtwechsel, Reparatur, etc.)
- § TPM, Total Productive Maintenance: für ein Konzept, das v.a. in der Automobilindustrie oder in der Serienfertigung von Produkten eine bedeutende Rolle spielt – in der Schienenfahrzeuginstandhaltung aber unbedeutend ist.

Laut Hermann stellt eine IH-Strategie eine Kombination von IH-Tätigkeiten dar. Im Rahmen der Auswahl der IH-Strategie wird auch der gewünschte IH-Grad festgelegt.

In Tabelle 4.6 stellt HERRMANN Vor- und Nachteile der präventiven und der korrektiven IH gegenüber. Eine generelle Empfehlung für eine Strategie ist laut Hermann jedoch nicht möglich.

<i>Instandhaltungsstrategien</i>	<i>Effekt bezüglich der Nachhaltigkeitsdimensionen</i>	
	+	-
Präventive Strategie (periodisch, zustandsbasiert) Fokus: Wartung, Inspektion, Instandsetzung	<ul style="list-style-type: none"> + Instandhaltungskosten einfacher zu kalkulieren + Reduzierung von ungeplanten Ausfällen mit entsprechenden Konsequenzen + Verlängerung der Nutzungsdauer (z.B. durch Wartung) + besserer Zustand der Komponenten, weniger Aufwand für Remanufacturing bzw. direkte Wiederverwendung möglich + dauerhafter Erhalt der Funktion (z.B. hinsichtlich Effizienz, Sicherheit) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausnutzung der ersten Nutzungsphase nicht optimal - Laufende Kosten durch Instandhaltungsmaßnahmen (z.B. Material, Personal) - Ökonomische, ökologische und soziale Auswirkung von Instandhaltungsmaßnahmen und notwendigen Hilfsstoffen (z.B. Schmierstoffe, zusätzlicher Energieeinsatz) - evtl. insgesamt mehr Teile notwendig (z.B. durch zu frühen Austausch)
Korrektive Strategie (ausfallorientiert) Fokus: Instandsetzung	<ul style="list-style-type: none"> + optimale Ausnutzung der ersten Nutzungsphase + keine laufenden Kosten + keine zusätzlichen Aufwände/Auswirkungen durch Instandhaltungsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> - Zustand der Komponenten kann kritisch sein – Wiederverwendung und/oder Aufarbeitung nicht oder nur mit hohem Aufwand machbar - Risiko ökonomischer, ökologischer oder sozialer Folgen bei Ausfällen - Funktionalität evtl. eingeschränkt (z.B. Sicherheit, Effizienz) - Kosten sind schwierig kalkulierbar

Tab. 4.6: Vor- und Nachteile von Instandhaltungsstrategien in Bezug auf Nachhaltigkeitsdimensionen⁵⁸

⁵⁸ HERMANN et al., 2007 in HERRMANN, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management, Berlin/Heidelberg 2010, S. 363

In der Praxis setzt sich die Instandhaltung eines Schienenfahrzeuges immer aus einer Kombination von geplanten, präventiven Tätigkeiten und ungeplanten Reparaturen, den korrektiven Tätigkeiten zusammen.

BIEDERMANN⁵⁹ definiert folgende Einflussfaktoren für die Wahl der IH-Strategie:

- § Das Ausfallverhalten (Gamma-, Exponential-, Normal-, Lognormal-, Weibull-Verteilung)
- § Die Struktur der maschinellen Anlage (Anzahl der Sub-Komponenten und deren gegenseitige Abhängigkeit/Unabhängigkeit bei einem Ausfall)
- § Die Anforderungen an die Zuverlässigkeit (definierte Verfügbarkeit, definierte Zuverlässigkeit, definierte Maximalzahl von Fehlern/Ausfällen)
- § Die Informationsmöglichkeiten über den Anlagenzustand (analytische Inspektionen oder kontinuierliche Überwachung)

Davon abhängig wird eine Instandhaltungsstrategie (auf Fahrzeugebene) festgelegt.

Die Grundlage für das Verständnis der Zeit-/Altersabhängigkeit von IH-Strategien bildet die umseitig dargestellte Badewannenkurve der Instandhaltung. Nomen est omen, die Form gab ihr den Namen.

Sie ist nicht nur für Schienenfahrzeuge anwendbar, sondern für jede einzelne verschleißbehaftete Komponente:

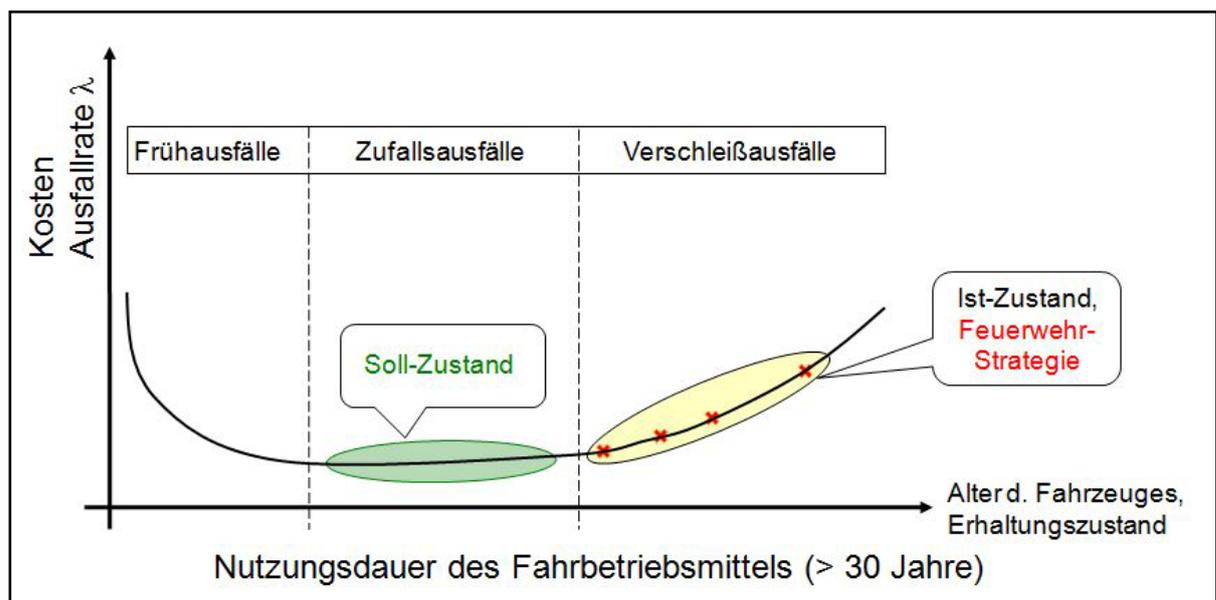


Abb. 4.7: „Badewannenkurve“ der Instandhaltung, in Anlehnung an WOHINZ, 2009⁶⁰

⁵⁹ BIEDERMANN H., Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 52ff.

⁶⁰ REFA (1985), S.73, abgebildet in: WOHINZ, J. W. et al.: Industriebetriebslehre, Skriptum, Technische Universität Graz 2009

Auf der Ordinate ist die Ausfallsrate λ aufgetragen, direkt proportional zu den Kosten. Auf der Abszisse ist das Alter des IH-Objektes bzw. die Nutzungsdauer aufgetragen.

Zeitraum Frühausfälle: 0,1 bis 2 Jahre:

Mit der Inbetriebsetzung/Auslieferung eines Schienenfahrzeuges ist die Ausfallrate λ sehr hoch. Ein aus tausenden Komponenten bestehendes Schienenfahrzeug, geregelt/gesteuert über CAN-Bus (modernste Elektronik) – wird beim ersten Aktivieren nicht fehlerfrei sein. Der Hersteller versucht Störungen/Fehler noch im Werk zu beheben bzw. falls dies am stillstehenden Fahrzeug nicht möglich ist, bei den ersten Probefahrten, Testfahrten Überstellfahrten. Beim Kunden pendelt sich die Ausfallrate auf ein niedriges Niveau ein, verständlich, dort beginnt nämlich die Garantie/Gewährleistung zu laufen.

Es folgt die **Phase der Zufallsausfälle**, deren Dauer von der IH-Strategie abhängt:

- § ein hoher präventiver IH-Aufwand (wöchentliche Betriebsuntersuchung, monatliche Fristen) senkt die Wahrscheinlichkeit von Fehlern, Störmeldungen und damit die Ausfallrate – erhöht aber die Kosten auf ein konstant hohes Niveau.
- § ein Verringern des präventiven IH-Umfanges erhöht die Wahrscheinlichkeit von Fehlern und Ausfällen, das Fahrzeug „rutscht“ in die Phase der Verschleißausfälle, unter Umständen schon nach wenigen Jahren.

Phase der Verschleißausfälle:

Ab einem gewissen Alter bzw. ND - bei Triebfahrzeugen in der Regel nach 30 bis 40 Jahren - steigt die Ausfallrate auch bei umfangreicher präventiver IH, weil Hauptkomponenten wie z.B. Drehgestelle, Rahmen, Radsatzwellen oder Getriebe am Ende ihrer Lebensdauer angelangt sind und täglich zu Ausfällen führen können.

4.2.2 Bisherige Strategien der Bahnverwaltungen

Als Beispiel wird der Instandhaltungsplan der Dieseltriebwagenbaureihe VT70 der GKB einer Analyse unterzogen. Die dieselelektrischen Triebwagen (13 Stk.) wurden in den Jahren 1980 (5 Stk.) und 1985 (8 Stk.) von Siemens Transportation Systems GmbH & Co KG, ehem. SGP Werk Graz gebaut, als Lizenzbau von Linke-Hofmann-Busch (jetzt Alstom Salzgitter). Der Instandhaltungsplan mit der SGP Zeichnungsnummer SK 1716, erstellt und freigegeben am 29.07.1981 (SGP Werk Graz) ist im Anhang vollständig abgebildet. (Anmerkung: Instandhaltungspläne über präventive Instandhaltungsstufen werden im Bahnwesen üblicherweise als

„Fristenpläne“ bezeichnet, weil sie Arbeiten beinhalten, die in regelmäßigen „Fristen“ durchzuführen sind).

Die wichtigsten enthaltenen Informationen:

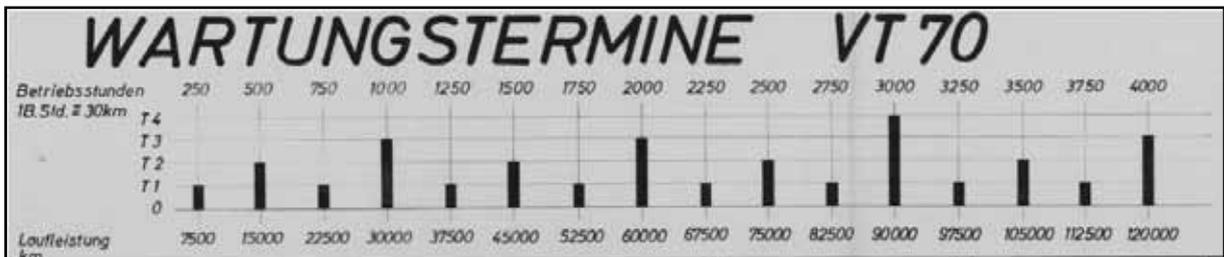


Abb. 4.8: Wartungstermine VT70, präventiver Instandhaltungsplan⁶¹

- § Dieser Instandhaltungsplan umfasst vier präventive Instandhaltungsstufen, T1 bis T4, die von den Leistungsdaten, d.s. Motor-Betriebsstunden [Bh] oder Laufleistung [km], ausgelöst werden. Die nächsthöhere Stufe beinhaltet jeweils die Tätigkeiten der „kleineren“ Instandhaltungsstufe - plus Zusatzaktivitäten.
- § Fristintervall(e): Aufgrund der zum Erstellungszeitpunkt des IH-Planes bekannten Umlaufpläne des Dieseltriebwagens am Streckennetz der GKB lagen dem Ersteller die realen Laufleistungsdaten vor: 3.000 Betriebsstunden bzw. 90.000 km je Fahrzeug per anno.
- § Der IH-Plan „endet“ bei der Instandhaltungsstufe T4, bei 3.000 Bh. Er beinhaltet weder umfangreichere planmäßige Instandhaltungsarbeiten wie Dieselmotorservices (z.B. nach 500.000 bis 800.000 km) noch Revisionen des gesamten Schienenfahrzeuges (üblicherweise nach 8 bis 10 Jahren, entsprechend ca. 24.000 Bh bis 30.000 Bh) noch korrektive Arbeiten.
- § Im IH-Plan fehlen auch planmäßige Instandsetzungsarbeiten, wie sie im Zuge der Räderprofilierung (Ausbinden der Radsätze) oder des Aufziehens neuer Radreifen – in Abhängigkeit von der Laufleistung - erforderlich sind.
- § Der IH-Plan beschränkt sich auf folgende 23 Komponenten: Dieselmotor, Kühlanlage, Druckluftanlage, P-Bremse & Bremsteile, Mg-Bremse, Webasto, Doppelschiebetüren, Scharfenbergkupplung, Drehgestelle, Kompressormotor, Kompressorkupplung, Generator, Vulkankupplung, Gelenkwelle, LAM, Fahrmotor, Hohlwellenantrieb, Widerstandsaggregat, Batterien, Unterflurkästen, E-Schränke (FStd. & KK-Ende), Erdungsverbindungen und Erdungskontakt.

⁶¹ Siemens Transportation Systems GmbH & Co KG (ehem. SGP Werk Graz, jetzt: Siemens Mobility) und GKB Graz, 1981

§ Dieser IH-Plan beinhaltete keine Zeitfristen, die bei längerem Stillstand des Fahrzeuges kalendertagabhängig durchzuführen wären. Er beinhaltet auch keine wöchentliche Betriebsuntersuchung.

Dieser Instandhaltungsplan war Stand der Technik in den späten 1970er und frühen 80er Jahren. D.h. Schienenfahrzeuge, die ± 5 Jahre um das Jahr 1980 von der SGP in Graz oder Wien gebaut wurden und noch in Betrieb sind (mindestens 30 Diesellokomotiven und über 100 E-Loks bei den ÖBB) sind im vergleichbaren Umfang dokumentiert. D.h. deren Instandhaltungswerkstätten müssen oder mussten aus der z.T. beim Kauf überreichten Lieferantendokumentation (Dieselmotor, Kühlsystem, Radsatzgetriebe, Fahrmotore) die erforderlichen Informationen für eine Revision selbst zusammenstellen oder basierend auf eigener Erfahrung erarbeiten. Die damalige Dokumentation war aber zumindest betreffend Detailzeichnungen (Fertigungs-, Montage- und Werkstattzeichnungen), Stücklisten, Werkstoffangaben und Herstellerbezeichnungen sehr exakt.

4.2.3 Zustandsorientierte Strategien

Die zustandsorientierte Instandhaltung von Schienenfahrzeugen ist derzeit (Stand 2010) eine Grundidee, der sich jeder Unternehmensberater im Bahnbereich widmet. Die zustandsorientierte IH, **Condition Based Maintenance (CBM)**, stellt aber weder eine neue Strategie noch einen neuen Prozess dar. Sie steht dafür, dass der aktuelle Zustand einer Komponente die Entscheidungsgrundlage für eine anstehende Wartungstätigkeit bildet und nicht ein intervallbasierter Wartungszyklus.

Dies wird bei der kostenintensivsten Instandhaltungskomponente eines Schienenfahrzeuges – dem Radsatz - seit jeher durchgeführt. In regelmäßigen Abständen wird das Radprofil gemessen und bei Erreichen gewisser Grenzmaße (z.B. $q_R \leq 6,5$ mm) muss das Rad (Radreifen oder Monoblock) reprofiliert werden. Kein Betreiber würde einen Radsatz nach reinen Zeitintervallen instand halten (außer die vorgeschriebenen UT-Prüfungen auf Risse der RS-Welle oder der Radscheibe) und reprofilieren lassen, wenn die Grenzmaße für Spurkranzhöhe, Spurkranzdicke und Quermaß noch (lange) nicht erreicht sind.

Bei Großkomponenten eines Schienenfahrzeuges, die nicht sicherheitsrelevant sind, jedoch in der Instandhaltung ebenso kostenintensiv, bietet sich eine zustandsorientierte Instandhaltung an.

Ein Beispiel stellt das Turbogetriebe einer dieselhydraulischen Lok dar.

Ein Turbogetriebe (TG) mit einer Eingangsleistung von etwa 1.000 kW muss ca. alle 30.000 Betriebsstunden generalüberholt werden. Dabei muss das TG aus der Lok ausgebaut (lohnintensiv), zum Hersteller versandt und zerlegt werden. Dort werden in der Regel alle Wälzlager ersetzt, Zahnräder (Hochgang) werden vermessen (Flankenspiel, Pittings), anschließend geschliffen bzw. ersetzt, der gesamte Wandlerstrang wird auf Rundlauf und Unwucht vermessen, bedarfsweise werden Gehäuse Teile, Wellen, Pumpenräder, Turbinenräder, Füllpumpen, Ventile, Schaltregler oder Geber-/Sensoreinheiten ersetzt. Die Kosten (für die Aufarbeitung, ohne Aus/Einbau, ohne Ausfallkosten) liegen in der Größenordnung eines sechsstelligen EUR-Betrages.

Das Problem bei der TG-Aufarbeitung ist die Auslösung dieser Instandhaltungstätigkeit bzw. die Analyse des IST-Zustandes eines Getriebes im eingebauten Zustand. Am ehesten ermüden die Wälzlager; dies kann aber nicht direkt festgestellt werden (bedingt vollständige Zerlegung). Indirekt kann ein Wälzlagerschaden über Metallteile im Getriebeöl detektiert werden, dann ist jedoch bereits ein Schaden eingetreten und es bleibt kein Planungszeitraum mehr (für die Budgetierung). Das TG sollte dann unverzüglich aufgearbeitet werden. Umgekehrt neigt der Betreiber dazu, mit der Aufarbeitung solange als möglich zuzuwarten. Verständlich: Wenn z.B. die DB AG 100 baugleiche Verschiebloks (desselben Baujahres!) mit demselben Turbogetriebe betreibt, fällt die Generalüberholung dieser 100 Turbogetriebe im ungünstigsten Fall (alle Loks mit annähernd derselben Laufleistung) innerhalb eines Zeitraumes von zwei bis drei Jahren an. Das Folgeinvestitionsvolumen für die Generalüberholung von 100 Turbogetrieben ist beträchtlich (mehrere Mio. EUR), ebenso die Ausfallkosten. Und genau hier setzen zustandsorientierte Instandhaltungstheorien an:

Wenn es gelingt, den aktuellen Zustand einer Komponente, z.B. über sogenannte **Condition Monitoring Systems (CMS)** „von außen“ zu überwachen, kann mit der Aufarbeitung bis zum spätest möglichen Zeitpunkt gewartet werden und die Folgeinvestition u.U. um ein halbes Jahr oder länger nach hinten verschoben werden, bei hoher Betriebssicherheit der Komponente. Dadurch ergibt sich (aufgezinst) ein beträchtliches Investitionspotential in Zustandsüberwachungssysteme (CMS).

Ähnlich stellt sich die Situation bei Radsatzgetrieben dar bzw. ganz allgemein bei allen Komponenten, deren Verschleißzustand im eingebauten Zustand nur schwer feststellbar ist.

Die nächste Entwicklungsstufe stellen **Computerized Maintenance Management Systems (CMMS)** dar. Bei diesen wird eine Komponente über ein Zustands-

überwachungssystem kontinuierlich überwacht, die Mess- / Analysedaten werden in einen Rechner transferiert, der die IST-Daten laufend mit den SOLL-Daten abgleicht und gemäß hinterlegter Grenzwerte oder Warnlimits - z.B. bei plötzlichem starkem Verschleiß oberhalb des Auslösewertes Instandhaltungsmaßnahmen (automatisiert) einleitet (siehe auch Kap. 4.2.5).

4.2.4 Time-Slot Strategie

Die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen in Zeitfenstern, die vom (Eisenbahn) Betriebsdienst vorgegeben werden bzw. aus den Umlaufplänen des Rollmaterials resultieren, wird als **Instandhaltung in Zeitfenstern** oder als Time-Slot-Strategie bezeichnet. Im Wesentlichen handelt es sich um präventive oder korrektive Tätigkeiten, die mittels exakter Organisation & Logistik in strikt vorgegebenen Zeitintervallen abgearbeitet werden. Von der Grundidee her ist diese Strategie mit dem Splitten zur Durchlaufzeitverkürzung in der PPS vergleichbar: Der Arbeitsvorgang (die Revision) wird auf mehreren dafür geeigneten Arbeitssystemen durchgeführt.⁶² In der Schienenfahrzeuginstandhaltung sind unterschiedliche Ausprägungsstufen zu unterscheiden:

- § Der Instandhalter entscheidet, wann und wie lange ein Fahrzeug in der Werkstätte instand gesetzt wird - aufgrund seiner personellen und infrastrukturellen Kapazitäten (Werkstattgleise, Arbeitsstände). In diesem Fall entstehen dem Instandhalter keine Mehrkosten, dem Betriebsdienst aber u.U. hohe Kosten für Ersatzfahrzeuge oder Schienenersatzverkehre etc. In diesem Fall beträgt die **Ausprägung der Time-Slot-Strategie: 0 %**.
- § Der Betreiber entscheidet, wann ein Schienenfahrzeug für Instandhaltungsmaßnahmen zur Verfügung steht, aufgrund seiner Kapazitäten durch Reservefahrzeuge, Samstags- oder Sonntagsumlaufpläne. In diesem Fall entstehen dem Betreiber keine Mehrkosten zur Abwicklung seiner Verkehrsleistungen, jedoch dem Instandhalter. Dieser muss u.U. eine Arbeit in zwei oder drei Teilaufgabe „stückeln“ und diese in der Nacht oder samstags oder sonntags durchführen. Hier würden die Umsetzung der Time-Slot-Strategie und deren **Ausprägung 100 %** betragen.
- § Als Zielvorstellung der Time-Slot-Strategie könnte die Durchführung der Revision eines Schienenfahrzeuges (Arbeitsaufwand > 1.000 Mannstunden) in einzelnen Arbeitspaketen betrachtet werden, die ausschließlich in Zeitfenstern durchgeführt wird, ohne dass das Fahrzeug (länger als ein oder zwei Tage) abgestellt wird.

⁶² WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 240

Diese Zielvorstellung wird derzeit selbst bei HGV-Schienenfahrzeugen (TGV, ICE, Velaro) in eigens dafür ausgestatteten Instandhaltungswerken, die das Prinzip der Serienfertigung erlauben, noch nicht ganz erreicht. Die minimale Durchlaufzeit (Ausfallzeit) liegt beim ICE in den DB-Werken Nürnberg und Krefeld für die „Revision IS 600, auch kleine Revision“ nach 1,2 Mio. km Laufleistung (wird nach ca. 4 bis max. 8 Jahren erreicht) bei zweimal fünf Tagen; für die „Revision IS 700, auch große Revision“ nach 2,4 Mio. km Laufleistung (nach weiteren 4 bis max. 8 Jahren) bei ebenfalls zweimal fünf Tagen.⁶³

Eine weitere Ausprägung der Time-Slot-Strategie bezeichnet Siemens beispielsweise als „Boxen-Stopp-Prinzip“: 30 Fahrzeuge vom Typ „Desiro“ für den britischen Betreiber National Express Group wurden von Siemens Mobility in einem auf 20 Jahre abgeschlossenen Full-Service-Vertrag zur Instandhaltung übernommen.

„Um die Standzeiten der zu wartenden Züge kurz zu halten und ihre Verfügbarkeit im Fahrgastbetrieb zu gewährleisten, wird die Wartung nach dem „Boxen-Stopp-Prinzip“ betrieben: Die Komponenten werden komplett ausgetauscht und das ausgebaute Teil wird außerhalb des Zuges überholt.“⁶⁴

Auch der Schweizer Hersteller Stadler Rail AG bietet bei seinen aktuell (ab Bj. 2010) ausgelieferten Fahrzeugen, u.a. der Type GTW (Gelenktriebwagen), FLIRT (Flinker Leichter Innovativer Regional Triebzug) und KISS (komfortabler innovativer spurtstarker S-Bahn-Zug z.B. für die Westbahn Management GmbH), die Instandhaltung in Time-Slots als Option an.

Die 13 an die GKB gelieferten dieselelektrischen Triebwagen der Type GTW 2/8 werden auf die Durchführung der Instandhaltung in Time-Slots in Kapitel 6 und 7 im Detail untersucht.

4.2.5 Letztstand der Technik, Best Practices

Die in den Kapiteln 4.2.3 angesprochenen Strategien der Condition Based Maintenance (**CBM**), die Systeme der Computerized Maintenance Management Systems (**CMMS**) sowie die in Kapitel 4.2.4. erläuterte Instandhaltung in **Time-Slots**

⁶³http://www.deutschebahn.com/site/ice_europaweit/de/ice/technik/instandhaltung/instandhaltung.html, Zugriff im Jänner 2011

⁶⁴<http://www.siemens.com/sustainability/de/stakeholders/kunden.htm>, Zugriff am 30.12.2010

lassen vermuten, in welche Richtung sich die Schienenfahrzeuginstandhaltung entwickelt. Derzeit (Stand Jänner 2011) wird als „**State of the Art**“ folgende Vorgehensweise betrachtet:

- § Das Schienenfahrzeug bzw. dessen Leitreechner sendet z.B. via GPRS/UMTS während der Fahrt seine Onboard-Diagnosedaten sowie Schäden seiner Komponenten an das zugeordnete Instandhaltungswerk zur „Reparaturvorbereitung“. Dabei werden bei HGV-Zügen insbesondere Daten der Radsatzlagersensoren, Schwingungen an den Drehgestellen oder an den Wagenkästen und Temperaturen sowie elektrotechnische Daten (Stromstärken, Spannungen, Widerstände) von Komponenten im Onboard-Diagnosesystem verarbeitet und anstehende Störmeldungen an einen zugeordneten Werkstätten-Server übertragen.
- § Diese Informationen lassen sich den mit geplanten (präventiven) Instandhaltungstätigkeiten in Time-Slots kombinieren. Wenn das Fahrzeug in den Nachtstunden im Instandhaltungswerk eintrifft, werden dort neben den präventiven Tätigkeiten anstehende Reparaturen mit erledigt. Die erforderliche Personalkapazität, deren Prioritätensetzung, die Arbeitspläne und die Ersatzteile müssen ab dem Zeitraum der Störungsmeldung des Fahrzeuges bis zu dessen Eintreffen bereit gestellt werden.
- § Der Fahrzeugleitreechner kennt (über GPRS) die aktuellen Positionsdaten des Fahrzeuges und entscheidet aufgrund programmierter Limits, ob das Fahrzeug noch betriebssicher bis in die nächste Unterhaltswerkstätte verkehren darf oder vom Triebfahrzeugführer vor Ort (im nächsten Unterwegs-Bahnhof) durch gewisse Tätigkeiten instand gesetzt werden muss. Diese werden dem Triebfahrzeugführer als Handlungsempfehlungen am Führerstandsdisplay signalisiert (z.B. Wegschalten von Fahrmotoren oder Stromrichtern, etc.).

Siemens⁶⁵ bezeichnet diese Strategie als „vorausschauende Wartung“, auch als „prädiiktive bzw. proaktive Instandhaltung“.⁶⁶ Aktuell wendet Siemens diese Strategie beispielsweise bei den acht zehnteiligen Zügen des Typs Velaro RUS an, die seit Dezember 2009 zwischen Moskau und St. Petersburg mit bis zu 250 km/h (auf 650 km Distanz) verkehren. Siemens und die DB AG weisen darauf hin, dass diese Strategie - im Ansatz - bereits bei der Instandhaltung des ICE 1 (Baujahr 1989) angewendet wurde.

⁶⁵ Siemens Mobility, Division des Sectors Industry der Siemens AG

⁶⁶ MÜLLER, C.: Zustandsgetriebene Instandhaltung ohne feste Intervalle, in: Eisenbahntechnische Rundschau, ETR, Heft 1+2, 2011, S. 57ff.

Stadler⁶⁷ hat ein ähnliches Computerized Maintenance Management System System entwickelt. Es handelt sich dabei um ein Onboard-Messsystem mit Fernkommunikationsmöglichkeiten (Telemetriesystem). Es wird auf allen neuen Fahrzeugen serienmäßig installiert und erlaubt, Diagnosedaten des Fahrzeuges an einen Server oder an ein Betriebswerk zu übermitteln. Unter anderem sind die Gelenktriebwagen der GKB wie auch die Doppelstocktriebzüge der Westbahn Management GmbH damit ausgestattet.

Fotos aus dem Siemens Mobility Instandhaltungswerk, nahe St. Petersburg⁶⁸:



Abb. 4.9 Anmeldung der MA zur Arbeit über RFID



Abb. 4.10: Arbeitsaufträge samt Time-Slots



Abb. 4.11: Touchscreens zur Auftragsrückmeldg.



Abb. 4.12: Eines der drei Wartungsgleise

Für die Instandhaltung der acht Velaro RUS Züge ist Siemens Mobility verantwortlich (Wartungsvertrag über 30 Jahre), die RZD (Russische Bahngesellschaft) nur für die Außen- und Innenreinigung.

⁶⁷ Stadler Rail AG

⁶⁸ Siemens Mobility und <http://railomotive.com/2010/11/siemens-vorausschauende-wartung-verhindert-zugausfalle>; Zugriff im Dezember 2010

4.3 Organisationsformen in der Schienenfahrzeuginstandhaltung, Aufbauorganisation

Dieser Abschnitt behandelt unterschiedliche Möglichkeiten der personellen/funktionalen Strukturorganisation innerhalb einer Instandhaltungswerkstätte – er behandelt nicht die verschiedenen Möglichkeiten der organisatorischen/unternehmensrechtlichen Eingliederung der Instandhaltungswerkstätte in der Unternehmung.

BIEDERMANN⁶⁹ analysiert alle möglichen Varianten an Aufbauorganisationen sehr detailliert; er sieht das Grundproblem der Strukturierung darin, „ [...] aus der Gesamtaufgabe der Instandhaltung Teilaufgaben abzuleiten (durch die schrittweise Aufgabenzerlegung, die Aufgabenanalyse), diese Teilaufgaben zu Stellen zusammenzufassen (Aufgabensynthese) und diese den Aufgabenträgern zuzuordnen [...]“. Er unterteilt die strukturellen Aufbauvarianten – den Weisungsbefugnissen entsprechend – in **Linien-, Stab-Linien- und Matrixsysteme**. Die Aufgabensynthese und damit die Stellenbildung im ausführenden Bereich unterscheidet er nach dem Verrichtungs- bzw. **Funktionalprinzip (nach dem Beruf)** oder nach dem Objekt bzw. **Prozessprinzip (nach Instandhaltungsprozessen)**.

Folgende **Varianten an Aufbauorganisationen** ergeben sich dadurch:

§ Die Aufbauorganisation **nach dem Funktionalprinzip (Beruf)**:

⁶⁹ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 74ff.

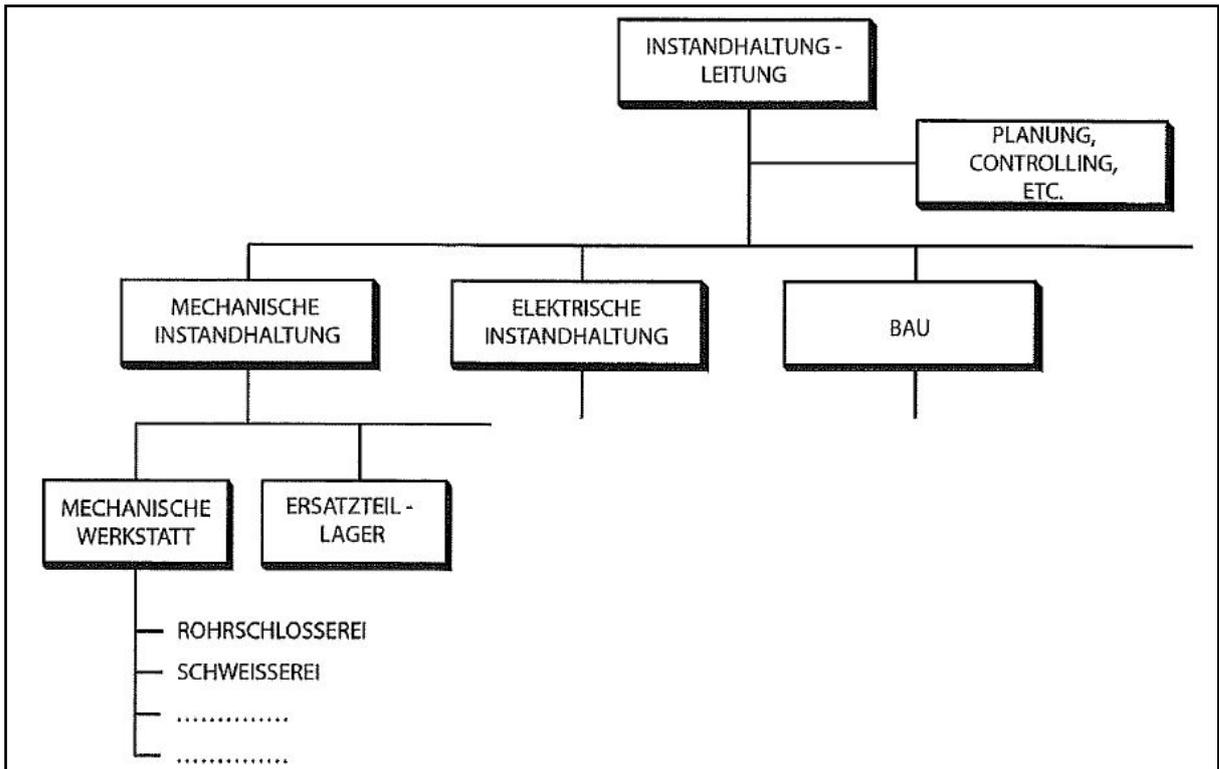


Abb. 4.13: Vereinfachtes Organigramm einer funktionsorientierten Linienorganisation⁷⁰

Die Stabstelle ist nach BIEDERMANN „Übermittler von Leitungskompetenz, bei dauernder Übernahme derselben verändert sich der Charakter der Stabstelle.“

§ Die objekt-/**prozessorientierte** Aufbauorganisation:

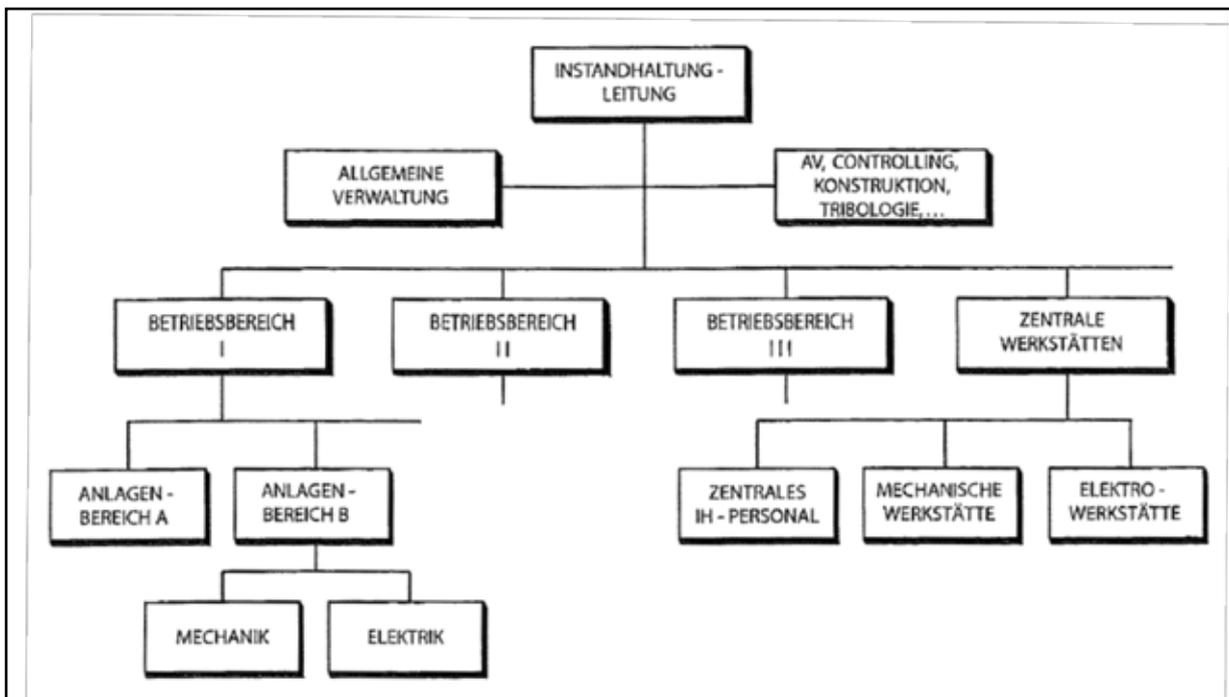


Abb. 4.14: Vereinfachtes Organigramm einer anlagen/(prozess)orientierten Stab-Linien-Organisation⁷⁰

⁷⁰ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 81ff.

Den Betriebsbereichen I bis III, etc. entsprechen in der Schienenfahrzeug-IH die Prozesse der präventiven, der korrektiven IH, des Refurbishments & der Revisionen.

§ Die **kombinierte** Aufbauorganisation (anlagen- bzw. prozess- & fachorientiert):

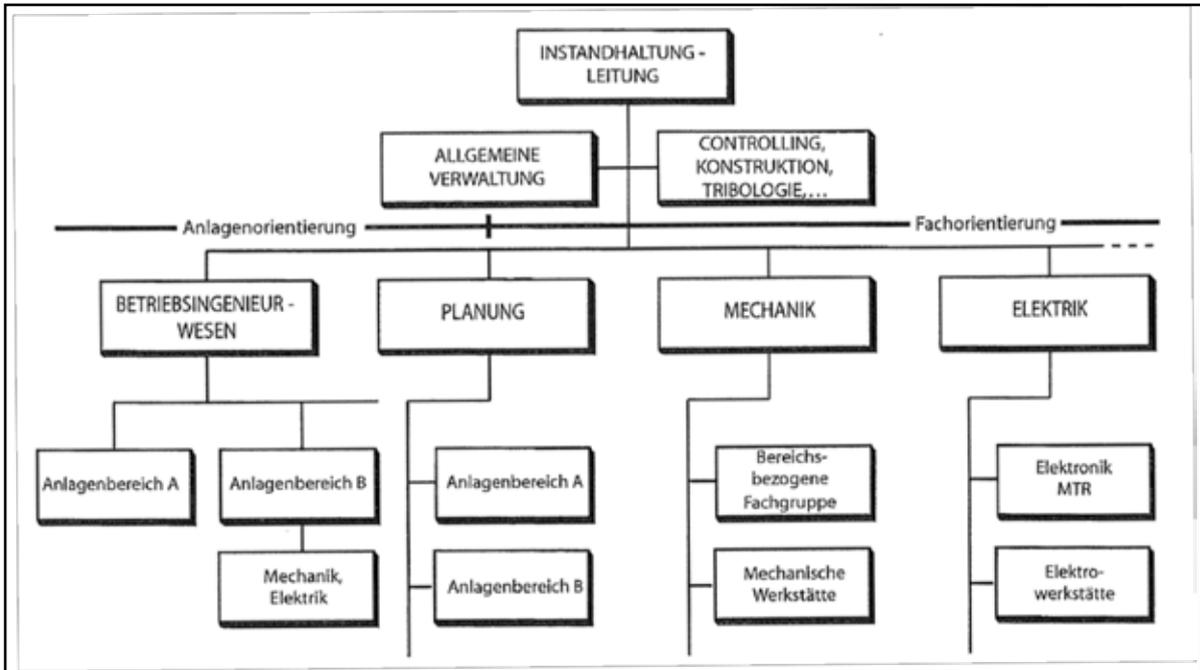


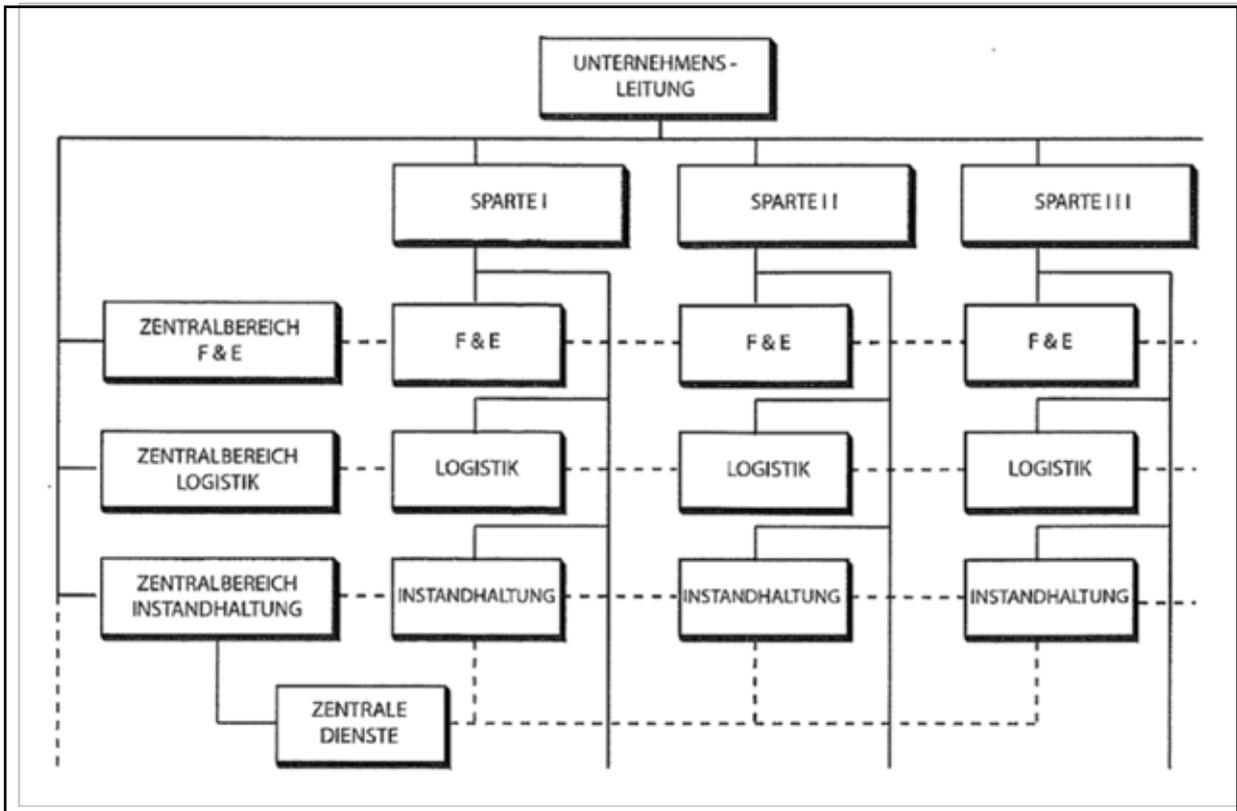
Abb. 4.15: Vereinfachtes Organigramm einer funktional- und anlagenorientierten IH-Organisation⁷¹

Zusammengefasst stellen sich die Vor- und Nachteile von berufsorientierten vs. prozessorientierten Aufbauorganisationen wie folgt dar:

Funktional/berufsorientierte Aufbauorganisation	Prozessorientierte Aufbauorganisation
<ul style="list-style-type: none"> + Anpassungsmöglichkeit an schwankenden Personalbedarf im Team + Straffer Aufbau + Evtl. höhere Qualität der Arbeit (weil berufsorientiert) 	<ul style="list-style-type: none"> + Möglichkeit der aufgabenbezogenen Spezialisierung in den Stabstellen + Entlastung der Führungsinstanzen + Umfangreiche Anlagen/Fahrzeugkenntnis + Gute Auslastung, hohe Gesamtleistung
<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Belastung der Führungs- u. Zwischeninstanzen (Behandlung von Routineangelegenheiten) - Langwierige u. umständl. Anordnungswege - Koordination zw. IH-Meistern, Teamleitern - Geringe Anlagen/Fahrzeuggesamtkenntnis - Starrheit des Systems <p>Die Nachteile verstärken sich mit zunehmender Aufgabenvielfalt und Komplexität</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zeitliche und sachliche Koordinationsprobleme - Wenig teamübergreifender Informationsaustausch - Unter Umständen Qualitätsmängel bei berufsübergreifender Arbeitsverrichtung <p>Mit zunehmender Aufgabenvielfalt und Komplexität steigen die Vorteile/Leistungen dieser Struktur.</p>

Tab. 4.16: Vor- u. Nachteile von Aufbauorganisationsstrukturen, in Anlehnung an BIEDERMANN⁷¹

⁷¹ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 85ff.

§ Beispiel für eine **Matrix**-Aufbauorganisation auf **Unternehmensebene**:Abb. 4.17: Vereinfachtes Organigramm einer Matrixorganisation⁷²

Die Vor- und Nachteile einer Matrixorganisation stellen sich wie folgt dar:

Matrixorganisation	
<ul style="list-style-type: none"> + Schwer zu koordinierende, komplexe Organisationen können in überschaubare aufgeteilt werden + Möglichkeit zum personellen Kapazitätsausgleich + Entlastung der Führungsinstanzen durch Regelung auf mittleren Ebenen + Wissens- und Erfahrungsausgleich + Geringere Gefahr der Bildung funktionaler „Königreiche“ der Fach-Meister oder Teamleiter 	
<ul style="list-style-type: none"> - Mögliche Konflikte durch Doppelunterstellung - Relativ hoher Organisationsaufwand zur Koordinierung - Zeitliche und sachliche Koordinationsprobleme bei den Einzelaufgaben - Evtl. Qualitätsmängel bei berufsübergreifender Arbeitsverrichtung 	

Tab. 4.18: Vor- und Nachteile einer Matrixorganisation, in Anlehnung an BIEDERMANN⁷²

Die Eingliederung der gesamten Instandhaltung in eine Matrixorganisation ist laut BIEDERMANN in der Regel nur in Großunternehmen mit einem entsprechend differenzierten Produktionsprogramm anzutreffen.

⁷² BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2007, S. 87

Eine Empfehlung für die optimale Aufbauorganisation einer Schienenfahrzeugwerkstätte wird an dieser Stelle nicht erteilt – dies ist pauschaliert auch nicht möglich. Die optimale Aufbauorganisation muss individuell gefunden werden und ist z.B. abhängig von

- § der Werkstättengröße, d.h. der Anzahl der Mitarbeiter
- § dem Tätigkeitsfeld und den Tätigkeitsschwerpunkten
- § der Verteilung der Kernkompetenzen (Anciennitätsprinzip oder Know-How- bzw. leistungsbezogen)
- § den infrastrukturellen Randbedingungen der Werkstätte (eine zentrale Halle mit mehreren Arbeitsständen oder mehrere dezentrale Stützpunktwerkstätten)
- § der organisatorischen/unternehmensrechtlichen Eingliederung der Werkstätte im Mutterunternehmen und allfälligen Aufgaben für andere Unternehmensbereiche (wie z.B. die Instandhaltung von Gebäuden, Oberbau, Maschinen und Fahrzeugen der Infrastruktur, etc.)
- § Tagesarbeitszeiten (Schichtbetrieb)
- § kollektivvertraglichen Einflüssen (unter Umständen), etc.

In Kapitel 6.4 erfolgt jedoch eine vertiefende Analyse der Aufbauorganisation im Zuge der IH-Prozessoptimierung (der neuen GTW) und abschließend eine prozessbezogene Empfehlung.

4.4 Instandhaltungsprozesse

Die Matrix des Produktportfolios der GKB-Werkstätte ermöglicht einen Überblick über das gesamte Tätigkeitsfeld der Werkstätte inklusive Prioritätensetzung bei der Terminermittlung:

Instandhaltungs-Objekte 4 Prozesse	Güter- & Dienstwagen		Reisezugwagen		Dieselloks		Dieseltriebwagen		Nebenfahrzeuge	
	eigene	fremde	eigene	fremde	eigene	fremde	VT 70	GTW	eigene	fremde
1 Präv. Instandhaltung			II.		II.	II.	II.	II.	II.	III.
2 Korr. Instandhaltung	II.	I.	I.		I.	II.	II.	I.	I.	II.
3 Refurbishment	III.		III.		III.	III.	III.	II.	III.	II.
4 REV, HU	III.	II.	III.		III.	III.	III.	II.	III.	II.

↓ Fahrzeugwert

↓ Umfang der Tätigkeiten

Legende:

- I. I. Priorität, vor der nächsten Verkehrsspitze auftragsorientierte Terminermittlung
- II. II. Priorität, innerhalb von 7 Tagen (bzw. innerh. d. Frist-Toleranz).. auftragsorientierte Terminermittlung
- III. III. Priorität, terminverschieblich kapazitätsorientierte Terminermittlung
- innerhalb der Gewährleistung durch den Hersteller auftragsorientierte Terminermittlung
- keine Instandhaltungstätigkeit möglich bzw. derzeit durch GKB durchgeführt

Abb. 4.19: Produktportfolio der GKB Werkstätte mit Stand Jänner 2011

4.4.1 Präventive Instandhaltung

Der Instandhaltungsprozess - als Produktionsprozess - ist stets als eine Kombination der Produktionsfaktoren Mensch (Werkstättenmitarbeiter) und Betriebsmittel (Schienenfahrzeug und Werkzeug) in einem Arbeitssystem (Werkstätte) zu verstehen. Bei der Beschreibung der Instandhaltungsprozesse werden deshalb zuerst die fahrzeugunabhängigen Prozessschritte des Personals beschrieben und darauffolgend die prozessbezogenen Tätigkeiten an den neuen Stadler Triebwagen im Detail.

Der werkstättenbezogene Prozess der präventiven Instandhaltung stellt sich in Form einer LIPOK-Darstellung (Lieferant-Input-Prozess-Output-Kunde) wie folgt dar:



Abb. 4.20: Prozess der präventiven Instandhaltung bei der GKB⁷³

Die zugehörige Darstellung des Prozesses in Form eines Flussdiagrammes (als Verfahrensanweisung des SQMS-Systems der GKB⁷⁴) ist im Anhang abgebildet.

Den fahrzeugbezogenen Prozess der präventiven Instandhaltung der neuen Triebwagenbaureihe GTW 2/8 (in der Ausführung der GKB) beschreibt der Hersteller Stadler Rail AG in einem Instandhaltungsplan, der acht Instandhaltungsstufen und die Dieselmotorrevision umfasst.

⁷³ Successfactory Management Coaching GmbH, Leoben und GKB, Graz 2003

⁷⁴ Sicherheits- und Qualitätsmanagementsystem gemäß Richtlinie 2004/49/EG

Dieser Instandhaltungsplan⁷⁵ ist – nach erteilter behördlicher Bauartgenehmigung und Betriebsbewilligung – verbindlich über die gesamte Nutzungsdauer des Fahrzeuges anzuwenden und einzuhalten.

Die Instandhaltungsstufen⁷² tragen die GKB-interne Kurzbezeichnung I1 bis I8 (und DM für Dieselmotorrevision bzw. -überholung). Die Instandhaltungsstufen sind kumulativ, d.h. die Arbeiten einer niedrigen Instandhaltungsstufe sind auch stets in der nächsthöheren Instandhaltungsstufe enthalten. Ausgelöst werden die Instandhaltungsstufen durch die Leistungsdaten des Fahrzeuges, d.s. Dieselmotorbetriebsstunden, Laufleistung in km oder Kalendertage. Die Instandhaltungsstufen bzw. der Instandhaltungsplan beruhen auf einer Laufleistung von ca. 150.000 km bzw. 4.000 Motorbetriebsstunden per anno.

Die Instandhaltungsstufen über die gesamte Nutzungsdauer des Fahrzeuges sind in Tab. 4.22 aufgelistet:

Nr.	Instandhaltungsstufen	Intervall		Bemerkung
		Motorbetriebsstunden [Bh]	Laufleistung [km]	
I1	Instandhaltungsstufe I1	500	18.750	Ölwechsel, Filterwechsel
I2	Instandhaltungsstufe I2	1.000	37.500	+ Zusatz Tätigkeiten
I3	Instandhaltungsstufe I3	2.000	75.000	+ Zusatz Tätigkeiten
I4	Instandhaltungsstufe I4	4.000	150.000	+ jährlicher Sicherheits-Check
I5	Instandhaltungsstufe I5	6.000	ca. 225.000	+ Zusatz Tätigkeiten im Zuge der Räderprofilierung
I6	Instandhaltungsstufe I6		ca. 225.000	Räderprofilierung
I7	Instandhaltungsstufe I7	27.000	1.000.000	kleine Revision: DG-Revision
I8	Instandhaltungsstufe I8	54.000	2.000.000	große Revision: + Wagenkasten
DM	Dieselmotor-Revision	14.000	ca. 525.000	Motor aufarbeiten + neu servieren

Tab. 4.21: Instandhaltungsstufen des GTW 2/8 in der Ausführung der GKB⁷⁶

Erläuterung:

Bei einer Instandhaltungsstufe I4 ist z.B. der Öl- und Filterwechsel der Instandhaltungsstufe I1 durchzuführen, ergänzt um die Zusatz Tätigkeiten der IH-Stufen I2 und I3, sowie die Tätigkeiten, die einmal pro Kalenderjahr durchzuführen sind (im Wesentlichen der sogenannte Sicherheits-Check des Fahrzeuges).

⁷⁵ Stadler Rail AG

⁷⁶ Stadler Rail AG, Entwurf mit Stand Jänner 2010

Daraus resultiert folgender Instandhaltungsplan, aufgeteilt in die Zeitintervalle

- § von 0 bis 6.000 Betriebsstunden und
- § von 6.000 bis 56.000 Betriebsstunden

wie er in Abb. 4.23 dargestellt ist:

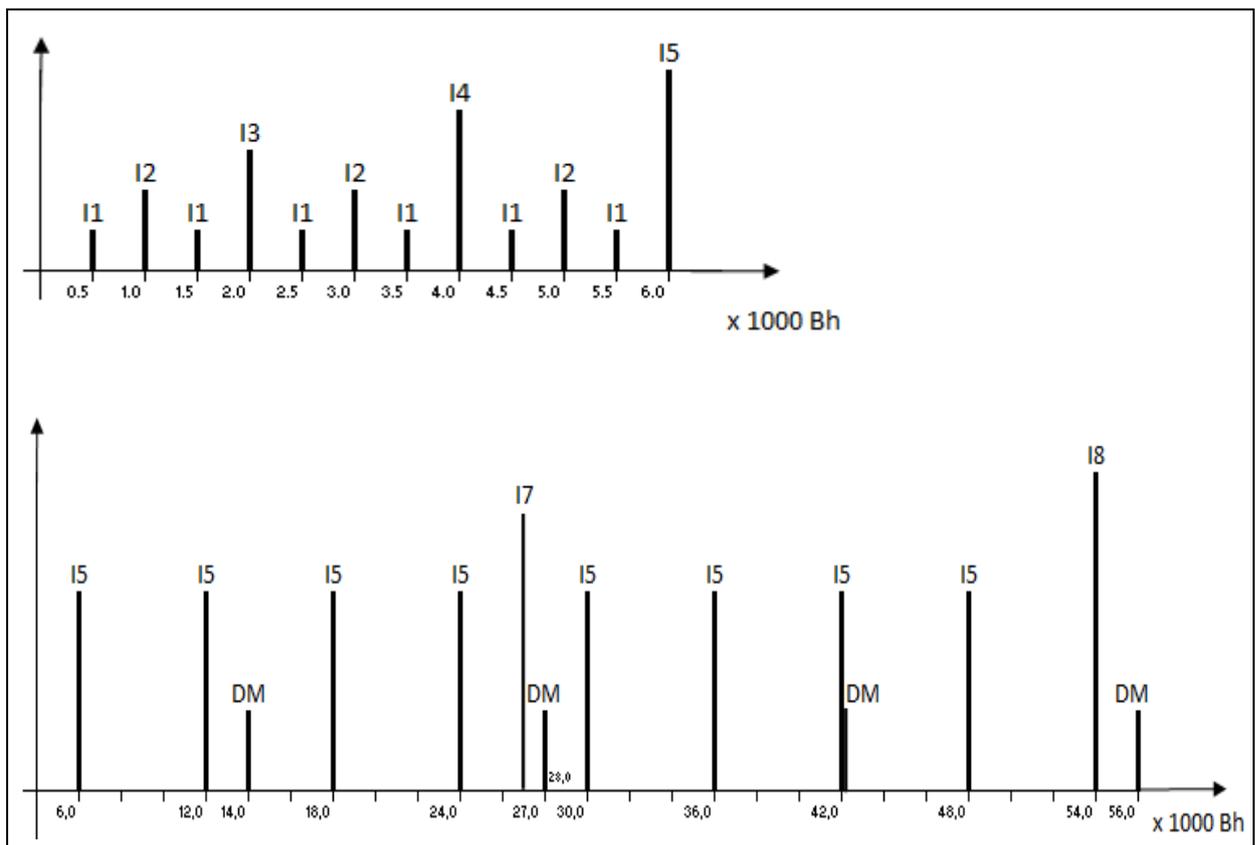


Abb. 4.22: Der Instandhaltungsplan des Stadler Dieseltriebwagens GTW 2/8, Variante der GKB⁷⁷

Folgende Anmerkungen zum IH-Plan (Abb. 4.23):

- § In der unteren Zeitreihe sind zwischen allen Instandhaltungsstufen I5 (im 6.000 Betriebsstunden Intervall) dieselben Stufen (I1 bis I4) einzufügen bzw. abzarbeiten, wie sie in der oberen Zeitreihe detailliert dargestellt sind.
- § Aufgrund der niedrigen Durchschnittsgeschwindigkeit am GKB Streckennetz (~35 km/h) – bedingt durch kurze Haltestellenabstände, wie im SPNV üblich – werden die Instandhaltungsstufen der GKB-Fahrzeuge immer von den Betriebsstunden ausgelöst oder von den in Kalendertagen absolut festgelegten Zeitintervallen und nie von den Intervallen der zurückgelegten Laufleistung in km.
- § Der dargestellte Instandhaltungsplan war zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Diplomarbeit noch nicht behördlich genehmigt; unter Umständen fließen noch

⁷⁷ Stadler Rail AG, Entwurf mit Stand Jänner 2010

Änderungen des Herstellers oder auch Erkenntnisse dieser Diplomarbeit in den Instandhaltungsplan ein.

- § Verbesserungspotential zeigt sich z.B. bei der Planung der Dieselmotorfristen und der Eintaktung der Instandhaltungsstufe I7 (kleine Revision): Die zweite Motorüberholung ist bei 28.000 Bh angesetzt, nur 1.000 Bh nach der Instandhaltungsstufe I7 (der kleinen Revision). Hier würde der Betreiber bzw. die Instandhaltungswerkstätte die Dieselmotorrevision (bedingt den Motor-Aus & Einbau) wahrscheinlich zum Zeitpunkt der Revision des gesamten Fahrzeuges durchführen oder zum Zeitpunkt der kleinen Revision aufgearbeitete Dieselmotoren einbauen (2 Stk. pro Fahrzeug). Weiters: Die terminliche Anordnung der Instandhaltungsstufe I7 exakt zwischen zwei I5 ist ebenso „suboptimal“. Dies hätte zur Folge, dass nur 3.000 Betriebsstunden nach der Durchführung einer kleinen Revision (mit einer Drehgestellaufarbeitung) wieder eine Instandhaltungsstufe I5 (Räderprofilierung) erledigt werden muss. Besser: Die I7 als ganzzahliges Vielfaches des I5-Intervalles einzutakten, z.B. bei 30.000 Betriebsstunden oder bei der I7 neu profilierte Radsätze in die Drehgestelle einzubinden.

Das detaillierte Instandhaltungsprogramm mit allen komponentenbezogenen Einzeltätigkeiten ist im Instandhaltungshandbuch „GTW DMU 2/8 95 81 5063 001 – 013“⁷⁸ der GKB abgedruckt (Umfang: mehrere 100 Seiten im Fertigungszustand, derzeit noch im Entwurf). Es unterliegt jedoch dem Urheberrecht und wird hier nicht vorgestellt. Für die produktionstechnischen Betrachtungen innerhalb dieser Diplomarbeit bzw. die Optimierung der Instandhaltungsabläufe in der GKB-Werkstätte stellt dies keine Einschränkung dar.

Der gesamte in diesem Abschnitt vorgestellte Instandhaltungsplan samt

- § allen 8 Instandhaltungsstufen, inklusive der Dieselmotorrevision
- § betriebsstunden- oder km-abhängiger Fristauslösung
- § Vorgabezeiten (in Mannstunden) für jede einzelne Instandhaltungsstufe
- § Mindestmitarbeiterzahl je Instandhaltungsstufe

ist zu 100% in dem im Zuge der Diplomarbeit entwickelten Software-Tool namens „**GTW Maintenance Calculator**“ eingeflossen. Die Beschreibung des SW-Tools folgt in Kapitel 5.

⁷⁸ Stadler Bussnang AG

4.4.2 Korrektive Instandhaltung

Wie bei der präventiven Instandhaltung erfolgt auch bei der korrekativen Instandhaltung zuerst die Darstellung der mitarbeiterbezogenen Prozesse und anschließend eine Erläuterung der fahrzeugbezogenen Tätigkeiten.

Der werkstättenbezogene Prozess der korrekativen Instandhaltung stellt sich in der LIPOK-Darstellung wie folgt dar:

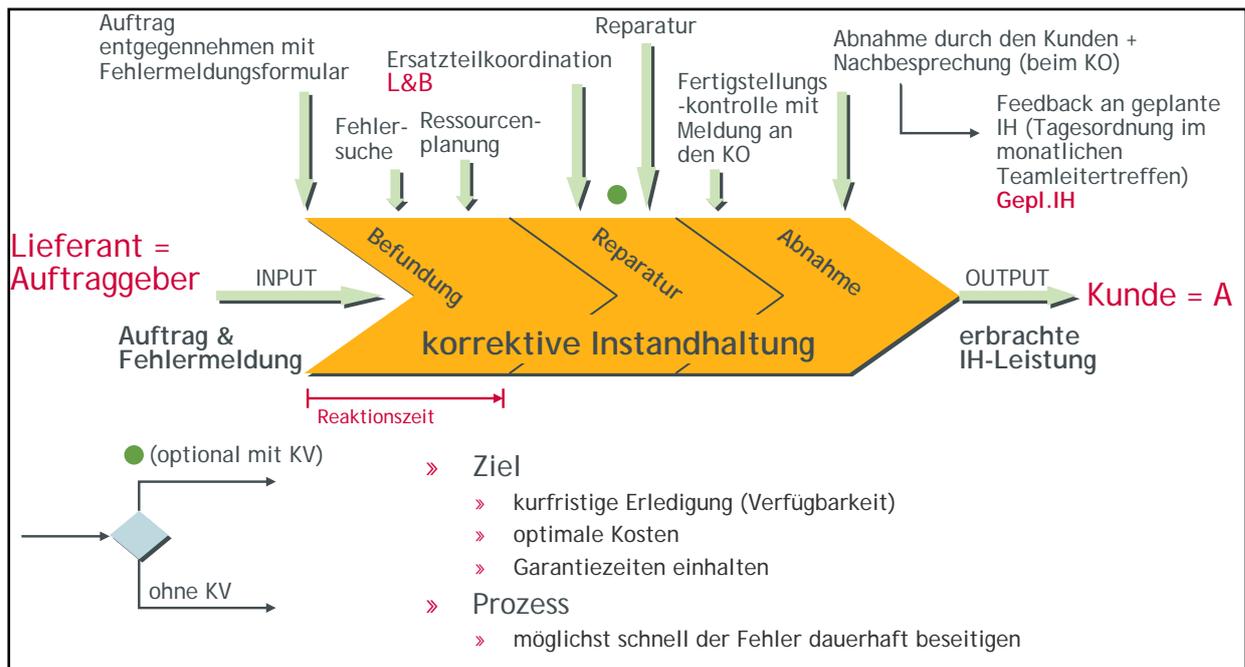


Abb. 4.23: Prozess der korrekativen Instandhaltung bei der GKB⁷⁹

Die zugehörige Darstellung des Prozesses in Form eines Flussdiagrammes (als Verfahrensanweisung des SQMS-Systems der GKB⁸⁰) ist wiederum im Anhang abgebildet.

Zum Verständnis der korrekativen Instandhaltung eines Schienenfahrzeuges werden einleitend ein paar Überlegungen zur Theorie des Ausfalls angestellt. Ein Schienenfahrzeug besteht aus tausenden von Einzelbauteilen, die

- § eine begrenzte Lebensdauer besitzen
- § einem nutzungsdauerabhängigen Verschleiß unterliegen
- § einen Verschleißvorrat besitzen
- § in anderen Komponenten (= strukturierten Systemen) eingebaut sind: entweder in sogenannten Seriensystemen (Ausfall eines Bauteils = Totalausfall der

⁷⁹ Successfactory Management Coaching GmbH, Leoben und GKB, Graz 2003

⁸⁰ Sicherheits- und Qualitätsmanagementsystem gemäß Richtlinie 2004/49/EG

Komponente) oder in Parallelsystemen (mit parallel geschalteten „Reservebauteilen“)

§ durch ihren Ausfall entweder nur zu einer temporären Störung, zu einer Komfortminderung, zu einer betrieblich eingeschränkten Nutzung oder zum Totalausfall des Fahrzeuges führen

Je nach Folgewirkung des Ausfalles eines Bauteils wird es

1. entweder in den präventiven Instandhaltungsplan aufgenommen und bereits vor Erreichen der Verschleißgrenze ersetzt: z.B.: das Steuerventil des pneumatischen Bremssystems oder die Stützbatterien von sicherheitsrelevanten elektronischen Baugruppen
2. bei jeder präventiven Instandhaltungsstufe beobachtet und zustandsorientiert ersetzt: z.B. die Bremsbeläge (der Radbremszangeneinheiten) oder die Brems Scheiben oder das Radprofil aller Radsätze
3. nicht beobachtet und bei Ausfall getauscht: z.B. die Leuchtstoffröhren im Fahrgastraum

Somit ist erkennbar, dass auch bei einem gewissenhaft instand gehaltenen Schienenfahrzeug Ausfälle bzw. Reparaturen von Bauteilen an der Tagesordnung stehen, insbesondere ab einer gewissen Flottengröße (baugleicher Fahrzeuge). In der Praxis beträgt der Reparaturaufwand (in Mannstunden) ca. 15 % der präventiven Instandhaltungsarbeiten bei jeder Instandhaltungsstufe.

Stadler liefert deshalb (wie auch andere Schienenfahrzeughersteller) mit seinen Fahrzeugen eine sogenannte „Tauschzeitentabelle“ mit, aus der der Betreiber bzw. die Werkstätte Vorgabezeiten für Reparaturen entnehmen kann. Diese Tabelle beinhaltet auch die empfohlene Mindest-Mitarbeiter-Anzahl je Tätigkeit. Solange eine Unterhaltswerkstätte einer neuen Fahrzeugbaureihe noch keine eigenen Erfahrungen gesammelt hat und Reparaturen erstmals durchführt, stellt eine solche Tabelle ein wertvolles Hilfsmittel für die Arbeitsvorbereitung, die Arbeitsablauf- und die Arbeitsmittelplanung (Neuplanung) dar.

Die 116 korrektiven Tätigkeiten dieser Tauschzeitentabelle sind inklusive Vorgabezeit und Mindest-MA-Anzahl zu 100% im „**GTW Maintenance Calculator**“ enthalten. Die Beschreibung des SW-Tools folgt – wie bereits erwähnt - in Kapitel 5.

4.4.3 Revisionen, Unfallreparaturen, Remotorisierungen, Refurbishment

Unter der **Revision** eines Schienenfahrzeuges wird die vom Hersteller und vom Gesetzgeber in exakt geregelten Zeitintervallen geforderte Grundüberholung aller sicherheitsrelevanten Komponenten bezeichnet. Dies bedingt in der Regel umfangreiche Zerlegungsarbeiten des Fahrzeuges, auch sind geeignete Hebebock- und/oder (fahrzeugabhängig oftmals) Krananlagen und überhaupt eine geeignete Werkstätteninfrastruktur erforderlich. Je nach vorhandener Personalkapazität, fällt das Schienenfahrzeug (Waggon, Gleisbaumaschine, Dieseltriebwagen, Diesellok, E-Triebwagen oder E-Lok) mindestens eine Woche (z.B. ein ICE bei Schichtarbeit in DB Werkstätten) aus – meist jedoch länger.

Der Begriff **Hauptreparatur** ist in Österreich geläufig, in Deutschland wird meist der Begriff **Hauptuntersuchung** verwendet, abgekürzt mit „**HU**“. Im österreichischen Bahnwesen wurde früher der Begriff Revision für nicht angetriebene Schienenfahrzeuge (Güterwagen, Personenwagen) verwendet und der Begriff Hauptreparatur für angetriebene Schienenfahrzeuge (Triebfahrzeuge). Diese Unterscheidung wird mittlerweile nicht mehr getroffen – alle 3 Begriffe werden annähernd äquivalent verwendet.

Vom Prinzip her, stellt eine Revision eine planbare Instandhaltungstätigkeit dar und wäre somit der präventiven Instandhaltung zuzuordnen. Aufgrund des Arbeitsumfanges und der erforderlichen Werkstätteninfrastruktur werden Revisionen (=Hauptuntersuchungen), **Unfallreparaturen** (bei denen Schäden an tragenden Bauteilen entstanden sind) und Remotorisierungen unter dem Begriff „**schwere Instandhaltung**“ zusammengefasst.

Unter **Remotorisierung** versteht man die Ausrüstung eines Dieseltriebfahrzeuges mit einem neuen Dieselmotor, meist ist dies nach 30.000 bis 50.000 Motorbetriebsstunden erforderlich. Im Schienenfahrzeug bedingt eine Remotorisierung immer eine Neuauslegung der Motorlager samt tragender Konstruktion, des gesamten Kühlsystems, der Ansaugluft- und Abgasführung, der Haupt- und der Nebenabtriebe sowie der Motorsteuerung.

Das Gegenteil – die **leichte Instandhaltung** – umfasst in der Regel „niedrige“ präventive Instandhaltungsstufen (z.B. IH-Stufen I1 bis I4), die ohne Ausbau von Drehgestellen (also ohne Hebebockanlage) durchgeführt werden können.

Refurbishment steht für die Modernisierung von Schienenfahrzeugen z.B. durch

- § den Einbau von Fahrkartenautomaten
- § den Einbau von Fahrgastzählssystemen
- § die Nachrüstung von Klimaanlage für Lokführer oder Fahrgäste
- § die Nachrüstung von Zugsicherungssystemen oder digitalen Zugfunkanlagen

Diese Modernisierungen werden durch die lange Nutzungsdauer von Schienenfahrzeugen (> 30 Jahre) oftmals erforderlich, um den Nutzwert von Triebfahrzeugen oder die Akzeptanz von Personenfahrzeugen nach 10 oder 15 Jahren Betriebseinsatz zu erhöhen.

Alle in diesem Abschnitt (4.4.3) beschriebenen Tätigkeiten werden im SQMS-System der GKB-Werkstätte in einer einzigen Prozessbeschreibung zusammengefasst (Flussdiagramm im Anhang), was durchaus nachteilig für die Arbeitsplanung ist:

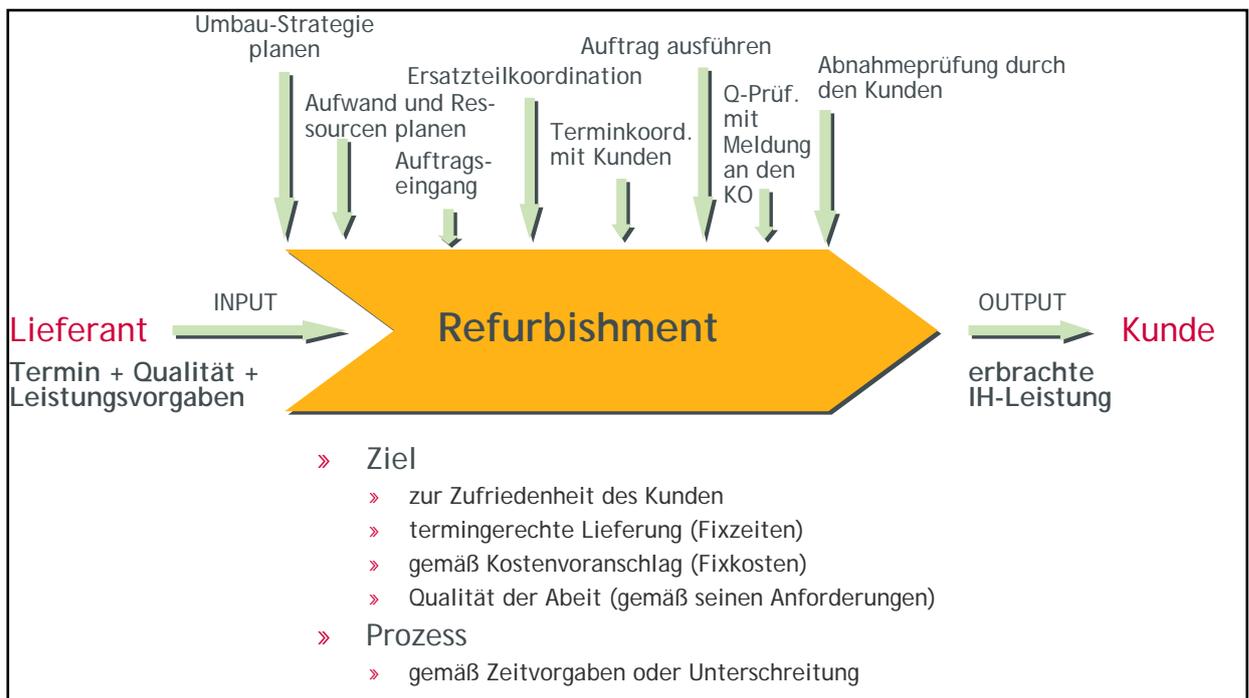


Abb. 4.24: Prozess des Refurbishments bei der GKB⁸¹

Diese „Vereinheitlichung“ führt - produktionstechnisch betrachtet – zu fehlenden Zuständigkeiten und Ablaufproblemen bei der Arbeitsvorbereitung und in der Werkstattsteuerung. Eine mögliche Optimierung wird in Kapitel 6.4 vorgenommen.

⁸¹ Successfactory Management Coaching GmbH, Leoben und GKB, Graz 2003

4.4.4 Einflüsse auf die Durchlaufzeit von Instandhaltungsprozessen

Das Problem der (zu) langen Durchlaufzeit von Refurbishment- bzw. Revisionsaufträgen kann mit einem (Ursachen-Wirkungs) Diagramm nach ISHIKAWA analysiert werden. Dies soll verdeutlichen, dass die Methoden des Qualitätsmanagements zur Problemanalyse im Instandhaltungsbereich durchaus geeignet sind, jedoch keine unmittelbare Lösung des Optimierungsproblems anbieten:

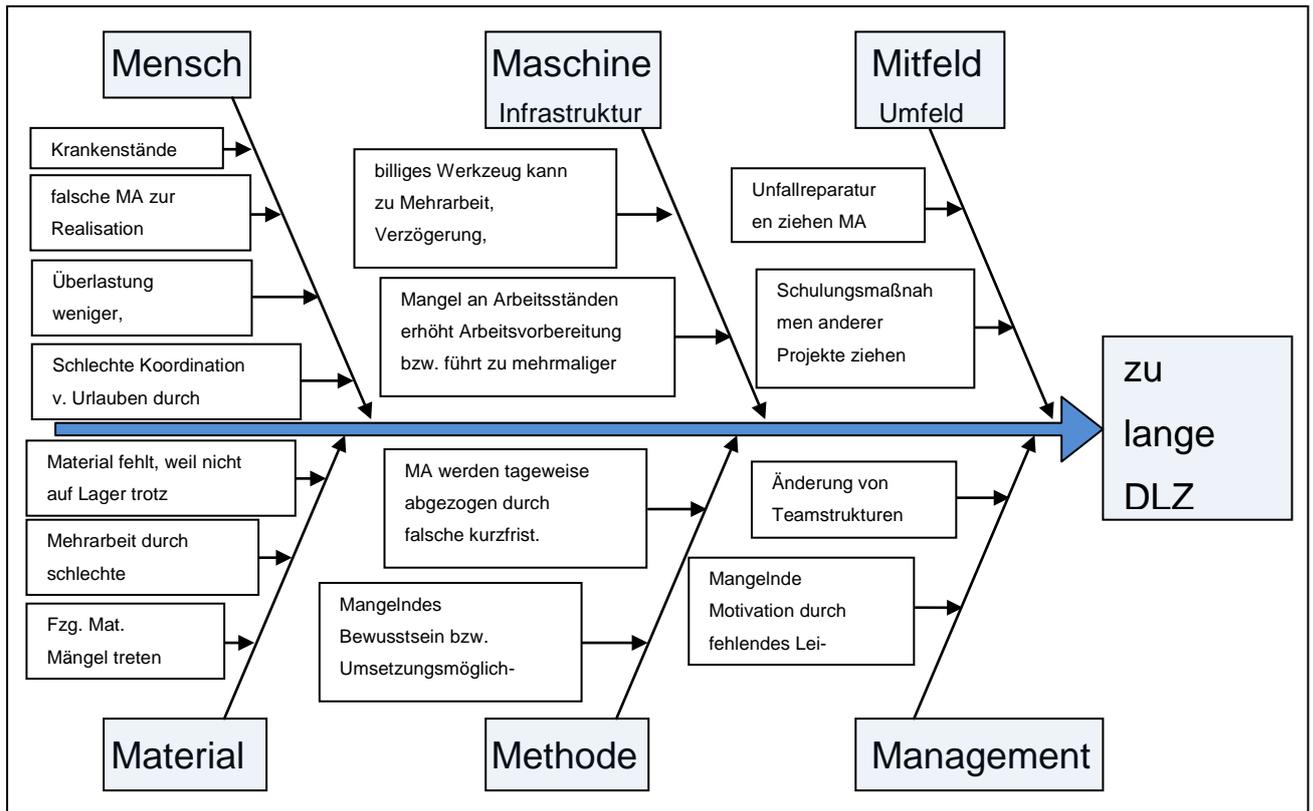


Abb. 4.25: Anwendung des ISHIKAWA-Diagramms

Den Hauptursachen „Mensch“ und „Material“ sind jeweils die meisten Einzel – bzw. Nebenursachen zu- bzw. untergeordnet. Die angeführten Punkte sind jeweils als negative Einflüsse zu werten.

Die Erkenntnis daraus ist die folgende:

Den Produktionsfaktoren „Mensch“ und „Material“ ist bei der Revision von Schienenfahrzeugen die meiste Bedeutung zu zumessen, hier besteht Optimierungspotential, hier kann auch am meisten falsch gemacht werden.

BIEDERMANN⁸³ weist darauf hin, dass „andererseits zu beachten ist, dass die Folgekosten, die durch nicht rechtzeitig verfügbare Ersatzteile entstehen, das Hundert- bis Tausendfache des Teilewertes übersteigen können.

Dies zeigt, dass eine isolierte Betrachtung der Ersatzteilbewirtschaftung einerseits und der Instandhaltung andererseits zwangsläufig zu Suboptima führen muss, die den Ansprüchen einer wirtschaftlichen Ersatzteilbewirtschaftung nicht gerecht werden.“

Beim lebenszyklusorientierten Ersatzteilmanagement stellt HERRMANN⁸⁴ fest, dass „die Versorgung während der Serienproduktion [Anmerkung des Verfassers: z.B. einer Triebwagenbaureihe] im Allgemeinen unproblematisch ist, da sich entstehende Bedarfe an Ersatzteilen über die Produktion der laufenden Serie abdecken lassen. Für die Sicherstellung und die Planung der Ersatzteilversorgung in der Nachserie hat jedoch die Prognose von Bedarfsverläufen eine besondere Relevanz.“

4.5 Kosten der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Anschließend an die Ausführungen über die Materialwirtschaft folgt eine Untersuchung über den Entscheidungsspielraum eines „Profit-Centers Instandhaltung“ und über das Kostenbild der Instandhaltung⁸⁵:

„Dies ist deshalb von Bedeutung, da der Entscheidungsspielraum der Instandhaltung durch Entscheidungen anderer Unternehmensbereiche stark eingeschränkt wird. So nimmt z.B. die Produktion [Anmerkung des Verfassers: Erbringen von Verkehrsleistungen im SPNV] Einfluss auf Art, Umfang, Zeitpunkt und Häufigkeit von Instandhaltungsmaßnahmen; die Materialwirtschaft auf Beschaffung und Lagerung von Ersatzteilen und damit wiederum auf das Instandhaltungsprogramm usw. Empirische Untersuchungen zeigen, dass das Kostenbild der Instandhaltung zum großen Teil fremdbestimmt wird. [...] durch eine Koordination der Teilfunktionen – insbesondere Beschaffung, Instandhaltung und Verwertung – könnte das Unternehmenspotential gestärkt werden und ein Gesamtoptimum, die Anlagensubstanz betreffend, angestrebt werden.“

Allgemein betrachtet, setzen sich die Kosten der Instandhaltung wie folgt zusammen:

- § Personalkosten
- § Instandhaltungsmaterial

⁸³ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2003, S. 114

⁸⁴ HERRMANN, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management, Berlin/Heidelberg 2010, S. 365

⁸⁵ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2003, S. 76ff.

- § Gebrauch maschineller Einrichtungen und Infrastruktur (bzw. deren Abschreibungskosten)
- § fallweise Fremdkosten für Servicetechniker

Für die Analyse der minimalen Instandhaltungskosten (bei einem definiertem Leistungsniveau) summiert BIEDERMANN⁸⁶ folgende Kostenfunktionen:

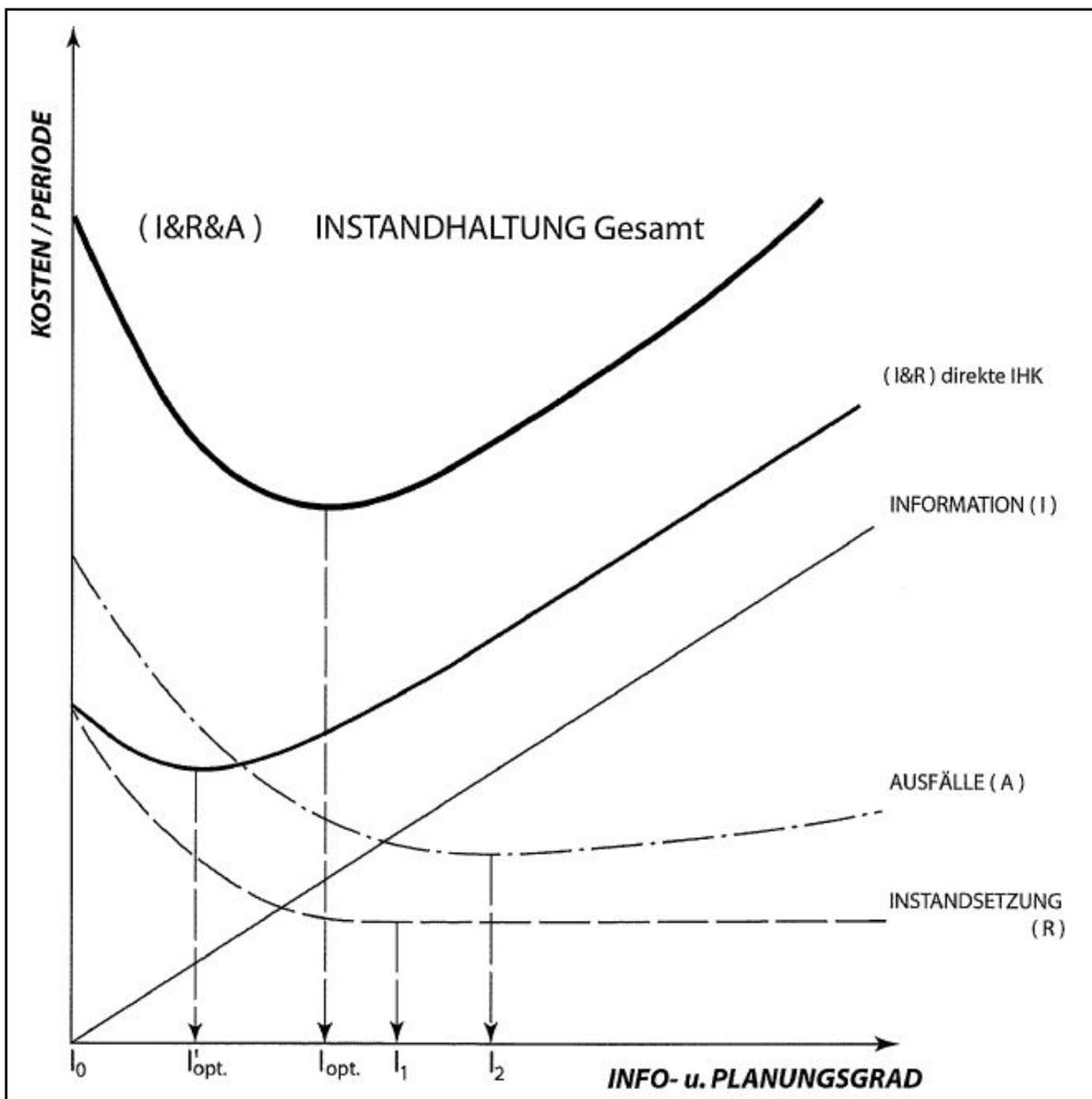


Abb. 4.27: Optimales Planungs- und Informationsniveau, Kostenmodell der Instandhaltung⁸⁶

Instandsetzungskosten (R): Kosten für Reparaturen, in Abhängigkeit vom Informationsgrad über den Anlagenzustand; $l_0 = 0$ bedeutet: Reparatur erfolgt erst nach Schadeneintritt. Ab einem Informationsgrad $l = l_1$ können Instandsetzungskosten nicht mehr durch einen zusätzlichen Planungsaufwand gesenkt werden.

⁸⁶ BIEDERMANN, H.: Anlagenmanagement, Leoben/Köln 2003, S. 31

Ausfallkosten (A): (kalkulatorische) Ausfallkosten inklusive der s.g. Opportunitätskosten, d.h. Kosten durch z.B. überlangen Anlagenausfall durch fehlende Ersatzteile. Ab einem gewissen Informationsgrad $I = I_2$ wird der Produktionsablauf durch ständige Inspektionen (zum Informationsgewinn) gestört.

Informationsgrad, Informationskosten (I): unabhängige Variable für den (Kosten)aufwand der Information über den Zustand einer Anlage/Komponente durch z.B. Inspektion oder Zustandsüberwachungssysteme

Direkte Instandhaltungskosten (I&R): Instandhaltungskosten als Summe der Kosten für Information (Inspektion), präventive Wartung und korrektive Instandsetzung – aber ohne kalkulatorische Ausfallkosten. Das Minimum I'_{opt} stellt somit kein absolutes Minimum dar!

Gesamtkostenfunktion inklusive kalkulatorischer Ausfallkosten (I&R&A): Die Gesamtkostenfunktion stellt den Verlauf der Gesamtkosten als Funktion des Informations- und Planungsgrades auf der Abszisse und der Kosten auf der Ordinate dar.

Zur Berechnung des Instandhaltungskostenminimums bei der Instandhaltung der neuen **Diesetriebwagen der Type GTW 2/8** wurden folgende Kostenarten berücksichtigt:

- § Personalkosten
- § Kalkulatorische Ausfallkosten
- § Infrastruktur- und Maschinenkosten in Form der kalkulatorischen Abschreibung

Über das in Kapitel 5 vorgestellte (eigens programmierte) Kalkulations-Tool ist es möglich, für alle präventiven und korrektiven Instandhaltungstätigkeiten (über die gesamte Nutzungsdauer des Fahrzeuges) die kostenoptimalen Parameter für die Arbeitsplanung zu berechnen. Näheres dazu folgt in Abschnitt 5.

4.6 Informationsmanagement und IT-Technologien in der Schienenfahrzeuginstandhaltung

Ergänzend zur Übersichtstabelle mit den IT-Anwendungssystemen im Umfeld der Produktion (Tab. 2.7 auf Seite 13, Kap. 2) zählt SCHENK⁸⁷ IT-Systeme in der Instandhaltung wie folgt auf:

- § Instandhaltungsplanungs – und Steuerungssysteme (IPS-Systeme)
- § Condition Monitoring Systeme (CMS-Systeme)
- § Enterprise Resource Planning-Systeme (ERP-Systeme)
- § Dokumentenmanagementsysteme (DMS-Systeme)
- § Engineering und Product Data Management Systeme (EDM/PDM-Systeme)
- § Elektronische Ersatzteilkataloge (eETK)
- § Wissensmanagementsysteme (WMS-Systeme)

SCHENK führt aktuelle Anbieter für o.a. Anwendungen an (Stand 2010), die z.T. auch im Bahnbereich eingesetzt werden. Die DB AG verwendet z.B. durchgängig SAP⁸⁸, auch für die Auftragsabwicklung im Instandhaltungsbereich (SAP PM⁸⁸). Die ÖBB verwenden SAP als ERP-System, in der Instandhaltung jedoch ein Software-Paket namens „SAM“ der Fa. Boom-Software AG⁸⁹ in Leibnitz. Bei den Privatbahnen (und deren Werkstätten) in Österreich wird meist ähnlich vorgegangen: SAP kommt als ERP- System zum Zug, im Instandhaltungsbereich unterschiedliche Lösungen: von SAP PM bis hin zu Individual-SW-Lösungen. BECKER und LUCZAK⁹⁰ postulieren, „dass [...] zukünftig angestrebte Organisationsstrukturen mit informationstechnischer Hilfe überhaupt erst oder zumindest besser realisiert werden können.“

Die Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH setzt ebenso SAP als unternehmensweite ERP-Lösung ein und zedas[®]asset⁹¹ als Asset-Management- und IPS-System. Weiters sind DMS- und BDE-Systeme in Verwendung, neben anderen anwendungsspezifischen SW-Lösungen.

Zedas[®]asset ist eine Server-Applikation basierend auf einer Oracle-Datenbank. Mittels WindowsRemoteDesktop verbindet sich der (Windows) User auf den zedas-Server, am Front-End (der Zedas-Oberfläche) stehen vier Module zur Verfügung:

⁸⁷SCHENK, M.: Instandhaltung technischer Systeme, Berlin/Heidelberg 2010, S. 271-281

⁸⁸<http://www.sap.com/austria/index.epx>

⁸⁹<http://boomsoftware.com/de/home.html>

⁹⁰BECKER, J., LUCZAK, H.: Workflowmanagement in der Produktionsplanung und -steuerung, Berlin/Heidelberg 2003, S.133

⁹¹<http://www.pcssoft.de>

- § **JobOrders** zur IT-gestützten Abwicklung des „Tagesgeschäftes“: von der Störungsmeldung zur Arbeitsablauf- & Mittelplanung, Auftragsvorbereitung und Werkstattsteuerung
- § **Structures & Items** zur Pflege der Zählerstände (Betriebsstunden & Laufleistung) eines jeden erfassten Fahrzeuges / einer jeden erfassten Anlage
- § **BasicData**: zum digitalen Anlegen von Fahrzeugstrukturen
- § **SystemAdministration**: zur Festlegung von Benutzerrechten

Es existiert eine Schnittstelle ins SAP für den täglichen Import des vollständigen Artikelstamms (~50.000 Lagerartikel). Mittels einer Schnittstelle in die BDE können Arbeitszeiten/Auftragszeiten ausgetauscht werden. Ein CMS-System (für die Radprofilaten) ist im Entstehen, ebenso eine CMMS-Lösung (wie bereits in Kap. 4.2.5 auf S. 62 erwähnt). Der Meldungsfluss einer Fahrzeugstörung bis zum rückgemeldeten Auftrag stellt sich folgendermaßen dar:

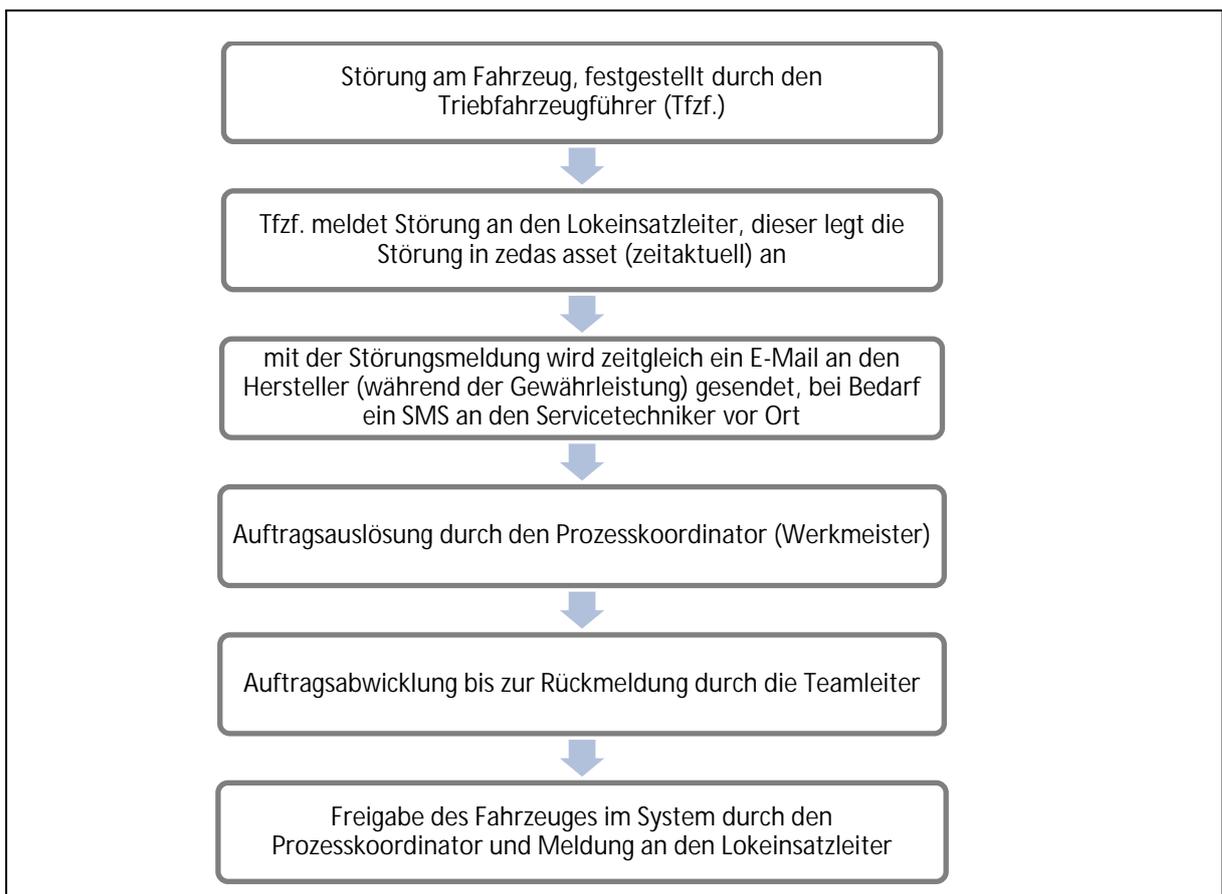


Abb. 4.28: Auftragsabwicklung im Instandhaltungsplanungs- und –steuerungssystem der GKB

5 Kalkulations-Tool zur Kostenbewertung einzelner Instandhaltungsstufen eines Dieseltriebwagens – der „GTW Maintenance Calculator“

Aus den vorangegangenen Abschnitten geht hervor, dass sich die Instandhaltungskosten eines Schienenfahrzeuges (z.B. für den Stadler GTW 2/8) als Summe folgender Kosten(funktionen) darstellen:

- § Personalkosten, abhängig von der DLZ und vom Zeitpunkt der Arbeitsdurchführung (Zulagen, etc.)
- § Kalkulatorische Ausfallkosten der Schienenfahrzeuge (abhängig vom Umlaufplan der Fahrzeugflotte und somit ebenso vom Zeitpunkt und Zeitintervall des Ausfalls)
- § Infrastruktur und Maschinenkosten, in Form der kalkulatorischen Abschreibung, abhängig von der Durchlaufzeit des Fahrzeuges in der Servicehalle
- § Instandhaltungsmaterial

Die Materialkosten stellen ein Konstante für jede einzelne Instandhaltungsstufe dar (werden „durchgereicht“) und können dadurch bei einer Optimierungsaufgabe vernachlässigt werden; das Ergebnis bleibt dasselbe.

Die Durchlaufzeit wiederum ist abhängig von der Arbeitskapazität; diese hängt bei den präventiven Arbeiten vom Instandhaltungsplan, bei den korrektiven Arbeiten von den Vorgabezeiten des Fahrzeugherstellers ab.

Nachdem diese Zusammenhänge in keinem IT-System der GKB vollständig erfasst sind (Stand 2010) und auch der Hersteller (Stadler Rail AG) nur die fahrzeugbezogenen Daten zur Verfügung stellt, wurde im Zuge dieser Diplomarbeit ein PC-gestütztes Berechnungsprogramm entwickelt und programmiert, die

- § sämtliche Kostenfunktionen zur Berechnung des Kostenminimums berücksichtigt
- § auf „Knopfdruck“ Optimierungsrechnungen für alle möglichen Kombinationen von Eingabeparametern ermöglicht
- § das Pflichtenheft des Besprechungsprotokolls der 1. Diplomarbeit-Zwischenpräsentation vom 28.04.2010 erfüllt.

5.1 Software-Basis des Maintenance Calculators

Das von Grund auf neu programmierte Software-Tool trägt den Namen „GTW Maintenance Calculator“, kurz: Maintenance Calculator. Das Tool basiert auf einer Microsoft Excel-Oberfläche (Microsoft Excel 2007) mit Microsoft Visual Basic Makros (Microsoft Visual Basic 6.5). Sämtliche Berechnungen erfolgen in vierzehn Visual Basic Modulen, sogenannten „Sub-Procedures“. Diese Visual Basic Prozeduren umfassen in Summe knapp 1.000 Programmzeilen. Sie ermöglichen Optimierungsrechnungen zu allen erdenkbaren Eingabevarianten/Parametern für die Instandhaltung der Fahrzeugbaureihe GTW 2/8 der Graz-Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH. Der Maintenance Calculator kann aufgrund der Strukturierung der „Sub-Procedures“ mit sehr geringem Programmieraufwand auf den Instandhaltungsplan einer beliebigen anderen Schienenfahrzeugbaureihe (mit bekanntem Instandhaltungsplan) adaptiert werden.

Die Vorteile einer MS Excel & MS VBA Lösung sind:

- § einfach bedienbar
- § einfach erweiterbar und kompatibel mit allen MS Office Produkten
- § objektorientierte Programmierung mit Modulen, Klassen, Objekten, etc.
- § VBA-Parameter, Argumente und Variablen können einfach „übergeben“ und auf der Excel-Oberfläche dargestellt werden
- § VBA gilt als leistungsfähige Skriptsprache
- § VB besitzt eine integrierte Entwicklungsumgebung (IDE)
- § VBA ist sehr gut dokumentiert
- § MS Excel (und MS VBA „im Hintergrund“) laufen auf jedem Standard PC der GKB bzw. der TUG und verursachen keine zusätzlichen Investitionen in Software/Hardware
- § trotz umfangreicher Funktionalität benötigt die entwickelte Software nur 170 kB Speicherplatz und kann problemlos via E-Mail, BlackBerry, Smartphone, etc. versendet und gespeichert werden

Die Nachteile (z.B. des Excel-Solvers) konnten programmintern kompensiert werden.

5.2 Excel-Oberfläche

Umseitig ist das gesamte „Benutzerblatt“ dargestellt, wie es sich beispielsweise nach der Berechnung einer Instandhaltungsstufe IKB4, kurz I4, und von korrektiven Arbeiten (Reparaturen) im Umfang von 9,5 Mannstunden zeigt (Tabellenblatt „I.Benutzerblatt“ der Excel-Oberfläche):

Kalkulation der kostenminimalen Durchlaufzeit bei der Instandhaltung des GTW 2/8

RESET
1 Präventive Instandhaltung
2 Korrektive Instandhaltung
3.1 Arbeitsvorbereitung & 3.2 Ablaufplanung
4.1 Kalkulation: Kosten & Durchlaufzeit
4.2 Kalkulation: Optimierungsrechnung
5 Graphische Darstellung der Ergebnisse
6 Druckansicht der Kalkulation & der Ergebnisse

Zwischen- ergebnisse:	Privat	IKB4	Rpo1:	6,0	Mh	AV:	1,5	Mh	Lohn-K:	2.386	EUR	Lohn-K:	2.386	EUR	gesamt, Kalk.I:	5.096	EUR
		64,0	Rpo2:	1,5	Mh	IMA:	4		Tfz.-K:	1.532	EUR	Tfz.-K:	0	EUR	optimiert:	2.750	EUR
			Sonst. Rep.:	9,6	Mh				Halle:	1.179	EUR	Halle:	365	EUR			
				19,1	Mh												

1 Präventive Instandhaltung

1.1 Wählen Sie die erforderliche Instandhaltungsstufe aus: oder geben Sie den Kilometerstand, die Betriebsstunden und die zugehörigen Toleranzen ein:

1.2 Eingabe der Betriebsstunden [Bh] des Fahrzeuges: Bh (ganzzahlig, max. 180.000 Bh)

1.3 Eingabe des km-Standes [km] des Fahrzeuges: km (ganzzahlig, max. 6.000.000 km)

1.4 Fristüberschreitungstoleranz [min. 0; max. ± 50 Betriebsstunden]: Bh [min. 0 km; max. ± 1.875 Kilometer]: km

2 Korrektive Instandhaltung

2.1 Wählen Sie eine Standard-Reparatur (Rep. 1) aus (aus der "Tauschzeitentabelle") und die

2.2 Eingabe der Anzahl der Durchführungen der Reparatur (1): mal (positive Ganzzahl, max. 99, z.B. 8 für 8 x Tausch einer Leuchtstoffröhre)

2.3 Auswahl einer weiteren Standard-Reparatur (2): (aus der "Tauschzeitentabelle")

2.4 Eingabe der Anzahl der Durchführungen der Reparatur (2): mal und/oder

2.5 Sonstige Reparaturen (nicht in Tauschzeitentabelle enthalten), Zeit in Mannstunden [Mh]: Mh [falls keine Angabe: 15% der priv. IH]

3.1 Arbeitsvorbereitung

3.1.1 Wählen Sie die Dauer der Arbeitsvorbereitung (in Mannstunden, zwischen 0,0 und 10,0): Mh

3.1.2 geplante Mitarbeiterzahl (Eingabe einer positiven Ganzzahl, größer gleich 1, max. 15): Mitarbeiter bzw. Arbeitsplätze

3.2 Ablaufplanung

3.2.1 Durchführungsmodus (in Abhängigkeit von der MA-Zahl) bis IKB4 bzw. 50 Mh wählbar:

3.2.2 geplante Zeitfenster, wochentags kostenwirksamer Einfluss auf Tfz.-Umlauf:

6.00 - 7.00	7.00 - 8.00	8.00 - 15.00	15.00-18.00	18.00-20.00	20.00-22.00
<input type="text" value="ja"/>	<input type="text" value="ja"/>	<input type="text" value="nein"/>	<input type="text" value="ja"/>	<input type="text" value="ja"/>	<input type="text" value="ja"/>
<input type="text" value="NEU"/>	<input type="text" value="NEU"/>	<input type="text" value="JA"/>	<input type="text" value="JA"/>	<input type="text" value="NEU"/>	<input type="text" value="NEU"/>

Auswahl: Arbeit im Zeitfenster

3.2.3 Arbeit auch am Samstag?

3.2.4 Zeitfenster am Samstag? (Stunden, ganzzahlig): Stunden

3.2.5 Arbeit auch am Sonntag (nur bei korrektiver IH wie z.B. Unfallreparaturen)?

3.2.6 Zeitfenster am Sonntag? (Stunden, ganzzahlig): Stunden

4.1 Kalkulation: Ergebnisse basierend auf den gewählten Zeitfenstern

4.1.1 Lohnkosten (zu Teilkosten): Mh à EUR ergibt EUR Lohnkosten Lohn Normalzeit

4.1.2 Tfz.-Ausfallkosten: EUR Tfz.-Ausfallkosten

4.1.3 Hallenbenutzungskosten (A_{Hall}): EUR Hallenbenutzung (kalk. Abschreibung)

4.1.4 Summe Teilkosten: EUR Gesamtkosten zu Teilkosten

4.1.5 DLZ = Mean Down Time, MDT: Stunden MDT = Tage Stunden (Tfz. Eingang - Tfz. Ausgang)

4.2 Kalkulation: Optimierungsrechnung für Arbeitsaufträge gemäß Pos. 1 und 2

4.2.1 Lohnkosten (zu Teilkosten): EUR Lohnkosten Lohn Normalzeit

4.2.2 Tfz.-Ausfallkosten: EUR Tfz.-Ausfallkosten

4.2.3 Hallenbenutzungskosten (A_{Hall}): EUR Hallenbenutzung (kalk. Abschreibung)

4.2.4 Ergebnis Gesamtkosten_{min}: EUR Gesamtkosten zu Teilkosten

4.2.5 Ergebnis DLZ_{opt}: Stunden MDT_{min}

Abb. 5.1: Benutzerblatt des Maintenance Calculators mit bspw. Ein-/Ausgabedaten

Die vom Programm automatisch erstellte grafische Darstellung der Ergebnisse – für umseitige Berechnung - sieht wie folgt aus (Tabellenblatt „II.Graphische Darstellung“):

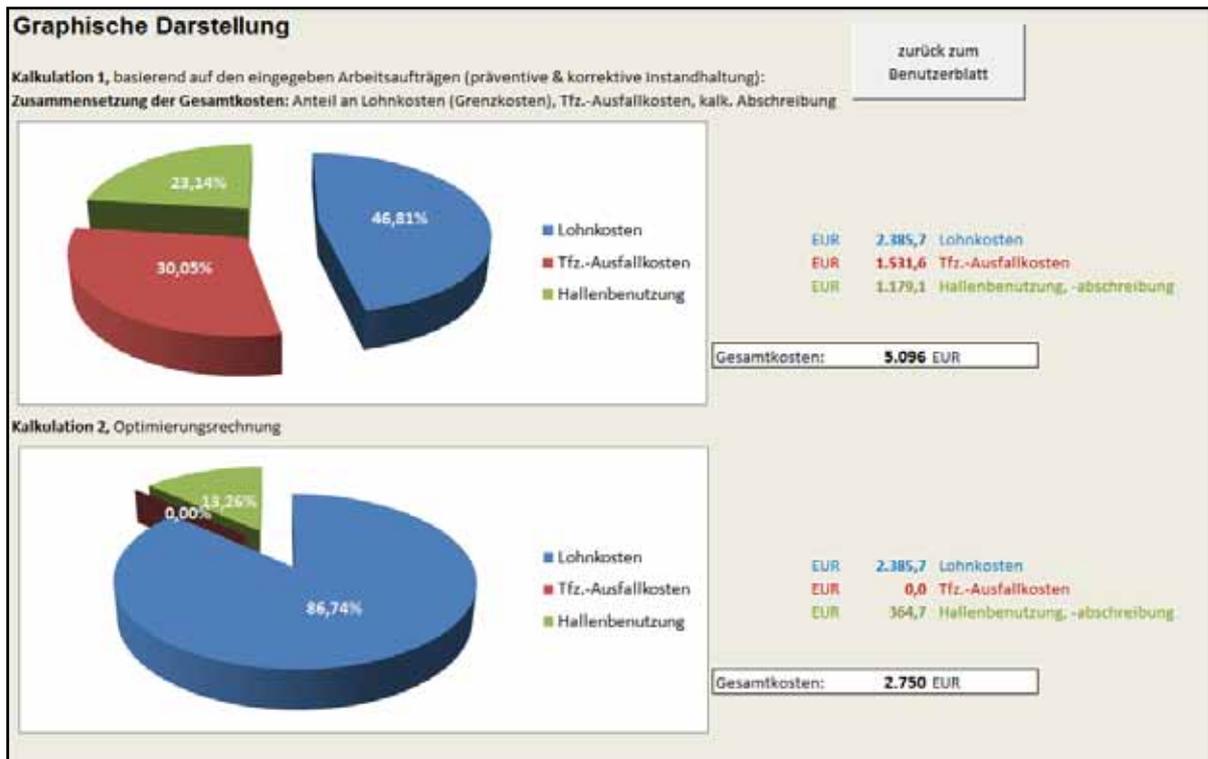


Abb. 5.2: Graphische Darstellung der Ergebnisse des Maintenance Calculators

Die Darstellung erfolgt als Tortendiagramm mit den Sektoren [in % der Gesamtkosten]:

- § **Lohnkosten**
- § **Triebfahrzeug-Ausfallkosten**
- § **Hallenbenutzung** (kalkulatorische Abschreibung)

Neben den Grafiken sind die einzelnen Kostenarten [in EUR] aufgeschlüsselt.

5.3 Tabellenblätter der Excel-Oberfläche

Die Excel-Benutzeroberfläche ist (in der „Fußzeile“) in folgende Tabellenblätter strukturiert:



Abb. 5.3: Tabellenblätter der Excel-Oberfläche

- § **I. Benutzerblatt:** zeigt die in Abb. 5.1 dargestellte Ein-/Ausgabe-Oberfläche
- § **II. Graphische Darstellung:** zeigt die Diagramme von Abb. 5.2

- § **III. Listenform:** zeigt die Ergebnisse als Tabellenkalkulation in Listenform, z.B. zum Kopieren der Zellen und Weiterverarbeitung in einer anderen Excel-Anwendung oder Software (SAP, Zedas[®] Asset, etc.), siehe Abb. 5.4
- § **IV. Kostenfaktoren:** Auf diesem Tabellenblatt (siehe Abb. 5.5) werden Daten eingegeben bzw. geändert, die sich im Normalfall nur mittelfristig ändern, wie z.B. Personalstundensätze, Ausfallkosten für Triebfahrzeuge, etc. Die Eingabewerte werden auf Plausibilität geprüft. Es ist aber auch möglich, Berechnungen ohne Ausfallkosten oder ohne kalkulatorische Abschreibung durchzuführen.
- § **V. Formelblatt:** Im Formelblatt sind im Wesentlichen die Vorgabezeiten für korrektive Instandhaltungen hinterlegt (inkl. Mindest-Mitarbeiter-Anzahl) und die Auswahlwerte von „Combo-Boxen“ der Excel-Benutzeroberfläche. Am Formelblatt werden aber auch Ergebnisse von Berechnungen zwischengespeichert, z.B. für die Tortendiagramme, etc.
- § **VI. Legende:** Alle verwendeten Abkürzungen werden erklärt.

Die Tabellenblätter der Excel-Oberfläche können natürlich zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Berechnung (auch bei Zwischen-Schritten) ausgewählt werden

Das Tabellenblatt „III. Listenform“ stellt die Ergebnisse - komprimiert - wie folgt dar:

Darstellung der Kalkulation in Listenform					
1. Präventive Instandhaltung	Instandhaltungsstufe				
	Σ Mannstunden präventiv		IKB4	64,0	
2. Korrektive Instandhaltung	Reparatur 1			8,0	
	Reparatur 2			1,5	
	Sonstige Reparaturen			9,6	
	Σ Mannstunden korrektiv			19,1	
3.1 Arbeitsvorbereitung	Σ Mannstunden AV			1,5	
3.2 Ablaufplanung	Mitarbeiterzahl			4	
	Tagesarbeitszeit wochentags			10	
	Tagesarbeitszeit samstags			8	
	Tagesarbeitszeit sonntags				
4.1 Gesamtkosten, basierend auf Eingabe	Lohnkosten	EUR		2.386	
	Tfz.-Ausfallkosten	EUR		1.532	
	Hallenkosten	EUR		1.179	
	Gesamtkosten	EUR		5.096	
	Durchlaufzeit (MDT)			21,2	Stunden
4.2 Optimierung, Kostenminimum	Lohnkosten	EUR		2.386	
	Tfz.-Ausfallkosten	EUR		0	
	Hallenkosten	EUR		365	
	Gesamtkosten	EUR		2.750	
	Durchlaufzeit (MDT)			5,6	Stunden

zurück zum Benutzerblatt

Abb. 5.4: Tabellenblatt „III. Listenform“

Die Eingabe von (mittelfristig veränderlichen) Basisdaten, wie Personalsatzen, Ausfallkosten für Triebfahrzeuge, etc. erfolgt am Tabellenblatt „IV. Kostenfaktoren“ (aus Geheimhaltungsgründen ohne Zahlenwerte abgebildet):

Bitte legen Sie folgende Kostenfaktoren fest: Personalkosten, die kalkulatorische Abschreibung der Servicehalle, die Triebwagenausfallkosten und die (kurzfristig) verfügbare Mitarbeiterzahl				
Personalkosten zu Grenzkosten, Stundensatz für die Normalarbeitszeit [EUR]	EUR		grün: veränderbar	
Faktor für Sonntagsstunden [%]	%		rot: Konstante blau: kalkulierter Wert	
Investitionskosten der Servicehalle [Mio. EUR]	Mio. EUR	}	#DIV/0!	
Nutzungsdauer/kalk. Abschreibungsdauer in Jahren [a]	a			EUR Annuität p. a.
kalkulatorischer Zinssatz i_{kalk} [%]	%			
Triebwagenausfallkosten:				
Ausfall < 1 Tag, innerhalb des Instandhaltungs-Zeitfensters von 08.00 bis 15.00	EUR			
Ausfall < 1 Tag durch Arbeiten am GTW vor 08.00 oder nach 15.00. FBM-Tagespauschale für Tfz. und DOSTO-Wagensatz als GTW-Ersatz im Umlauf, lt. G-CO, Perl	EUR			
Ausfall > 1 Tag [EUR/Tag], in der Regel bei Instandhaltungsstufen \geq IKB4	EUR			
maximale Anzahl der Mitarbeiter, die für die GTW-Flotte (kurzzeitig) gleichzeitig verfügbar ist, z.B. bei Unfallreparaturen oder Revisionen [Ganzzahl: $8 \leq MA \leq 15$]	MA		zurück zum Benutzerblatt	

Abb. 5.5: Tabellenblatt „IV. Kostenfaktoren“

Das Tabellenblatt „V. Formelblatt“ umfasst 233 Zeilen und wird hier nicht bildlich dargestellt – die wichtigsten Parameter werden in Kap. 5.4 beschrieben. Am Tabellenblatt „VI. Legende“ werden alle verwendeten Abkürzungen im Volltext dargestellt:

verwendete Abkürzungen, Legende:	
AV	..... Dauer der Arbeitsvorbereitung
Frist	..... Fristarbeiten, d.h. präventive Instandhaltungsarbeiten innerhalb bestimmter Fristen
gesamt, Kalk.1	..... Gesamtkosten, Kalkulation 1
DM	..... Revision Dieselmotor
Halle	..... kalkulatorische Abschreibung der neuen Servicehalle
Lohn-K.	..... Lohnkosten
MA	..... Anzahl der Mitarbeiter
Mh	..... Mannstunden
Rep1	..... Reparatur 1 (korrektive Instandhaltung)
Rep2	..... Reparatur 2 (korrektive Instandhaltung)
Sonst.Rep.	..... sonstige Reparaturen
Tfz.-K.	..... Triebfahrzeugausfallkosten

Abb. 5.6: Tabellenblatt „VI. Legende“ der Excel-Benutzeroberfläche

5.4 Parameter

Die bereits auf den Screenshots ersichtlichen Ein-/Ausgabe-Parameter werden im folgenden Abschnitt im Detail erläutert.

5.4.1 Input

In diesem Abschnitt werden alle Eingabeparameter des Maintenance Calculators zusammengefasst (weiß umrandete Zellen, im Gegensatz zu den gelb eingefärbten Ausgabefeldern).

5.4.1.1 Basisdaten

Unter Basisdaten werden Zahlenwerte verstanden, die nicht bei jeder Berechnung geändert werden, sondern als Grundlage für eine ganze Reihe von Berechnungen/Auswertungen konstant bleiben. Das sind:

- § Personalkosten zu Grenzkosten (= Stundensatz für die Normalarbeitszeit) in EUR/Mannstunde
- § Faktor für die Sonntagsstunden (in % vom Stundensatz der Normalarbeitszeit)
- § Investitionskosten (Herstellkosten) der Servicehalle für die neuen Triebwagen (in Mio. EUR)
- § Nutzungsdauer bzw. kalkulatorische Abschreibungsdauer in Jahren
- § Kalkulatorischer Zinssatz in %
- § Triebwagenausfallkosten, gestaffelt nach
 - Ausfall < 1 Tag, innerhalb des Instandhaltungszeitfensters (EUR/Tag)
 - Ausfall < 1 Tag, vor oder nach dem Instandhaltungszeitfenster (EUR/Tag)
 - Ausfall > 1 Tag (EUR/Tag), in der Regel bei Instandhaltungsstufen \geq I4
- § Maximale Anzahl der Mitarbeiter, die für die GTW-Flotte (kurzzeitig) gleichzeitig verfügbar ist, z.B. bei Unfallreparaturen oder Revisionen

5.4.1.2 Variable Daten

Unter den variablen Daten werden jene Parameter verstanden, die am Benutzerblatt bei jeder Berechnung neu ausgewählt/eingetippt werden. Das sind im **Eingabebereich „1 Präventive Instandhaltung“**

- § die Auswahl der präventiven Instandhaltungsstufe (IKB1 bis IKB8, d.h. Instandhaltungsstufe I1 bis I8 oder DM für die Dieselmotorrevision)
- § alternativ die aktuellen Betriebsstunden und die Laufleistung, falls die Instandhaltungsstufe nicht direkt gewählt wird (weil nicht eindeutig klar): der Maintenance Calculator errechnet die zugehörige Instandhaltungsstufe

§ der Wert „keine“ in der „Combo-Box“, falls keine präventiven Arbeiten erforderlich sind oder kalkuliert werden sollen

Im **Eingabebereich „2 Korrektive Instandhaltung“** stehen folgende Auswahlfelder zur Verfügung:

- § je eine Combo-Box für die Reparatur 1 und die Reparatur 2 mit der Dropdown-Auswahlmöglichkeit von 116 möglichen Reparaturen des GTW 2/8; zusätzlich kann darunter der Repetierfaktor der jeweiligen Reparatur (getrennt) gewählt werden
- § falls die gewünschte Reparatur nicht im Dropdown-Feld enthalten sein sollte, aber deren Zeitaufwand (in Mannstunden) bekannt ist, kann dieser eingetippt werden. Diese Funktionalität dürfte bei der Berechnung von z.B. Unfallreparaturen mit unterschiedlichem hohem Schadensausmaß von Bedeutung sein.

Im Eingabebereich **„3.1 Arbeitsvorbereitung“** können die Dauer der Arbeitsvorbereitung (in Mannstunden) und die geplante Mitarbeiterzahl für die Instandhaltungstätigkeiten gewählt werden.

Der Eingabebereich **„3.2 Ablaufplanung“** stellt die zentrale Funktionalität des Maintenance Calculators dar. Hier können über Dropdown-Felder die Zeitfenster gewählt werden, in denen gearbeitet wird und das Triebfahrzeug deshalb vom Umlauf ausfällt. Die Zeitfenster, die gewählt werden können:

- § Wochentags:
 - 06.00 bis 07.00
 - 07.00 bis 08.00
 - 08.00 bis 15.00
 - 15.00 bis 18.00
 - 18.00 bis 20.00
 - 20.00 bis 22.00
- § Samstag durch Eingabe der Arbeitsstunden (ganzzahlig, max. 16)
- § Sonntag durch Eingabe der Arbeitsstunden (ganzzahlig, max. 16)

Die Teilung der Arbeitszeitfenster erfolgte nach Kriterien des Fahrzeugumlaufes als auch nach Kriterien der anfallenden Zulagen. Auf Basis dieser Festlegung, bei der alle sinnhaften Kombinationen von Eingaben möglich sind (Fehleingaben werden ausgeschlossen), erfolgt die Kalkulation aller Kosten.

5.4.2 Output

Alle **gelb eingefärbten Zellen der Ausgabebereiche 4.1 und 4.2** des Benutzerblattes werden in diesem Abschnitt beschrieben. Die Erläuterungen umfassen auch die gelb eingefärbten Zellen der feststehenden Kopfzeile.

5.4.2.1 Ausgabebereich 4.1

Im **Ausgabebereich „4.1 Kalkulation: Ergebnisse basierend auf den gewählten Zeitfenstern“** werden folgende Ergebnisse präsentiert:

- § die Anzahl der Mannstunden, die aufgrund der gewählten präventiven und korrektiven Instandhaltungstätigkeiten zu leisten sind
- § der gewählte Stundensatz der Personalkosten
- § daraus resultierend die Lohnkosten
- § die Triebfahrzeugausfallkosten
- § die in diesem Zeitraum durch die Belegung der Servicehalle (ein Gleis!) anfallenden kalkulatorischen Abschreibungen: wäre das Gleis durch ein anderes Fahrzeug belegt, wäre dieses Fahrzeug der Kostenträger
- § die Durchlaufzeit (in Tagen und Stunden) aufgrund der gewählten Tagesarbeitszeitfenster

5.4.2.2 Ausgabebereich 4.2

In diesem **Ausgabebereich „4.2 Kalkulation: Optimierungsrechnung für Arbeitsaufträge gem. Pos. 1 und 2“** wird dieselbe Anzahl an Ergebnisparametern (mit derselben Bezeichnung) angezeigt wie im Ausgabebereich 4.1 – nur unterscheiden sich die Werte aufgrund des vom Maintenance Calculator errechneten Gesamtkostenminimums.

5.4.2.3 Feststehende Kopfzeile

Die feststehende Kopfzeile des Benutzerblattes besitzt zum einen die Funktion einer Navigationsleiste - mit den Prozesspfeilen als Buttons, um zum zugehörigen Eingabebereich zu „springen“ - und zum anderen die Funktion einer Anzeige der aktuellen Zwischenergebnisse.

Die Beschreibung der Kopfzeile erfolgt umseitig:

Prozessbuttons, die durch „Anklicken“ zum gewählten Eingabebereich führen

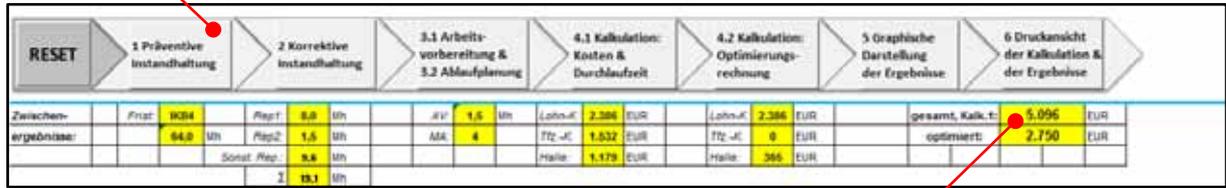


Abb. 5.7: Die feststehende Kopfzeile des Benutzerblattes

aktuelle Zwischenergebnisse

Der Inhalt des Tabellenblattes „II. Graphische Darstellung“, als weiterer „Output“ des Maintenance Calculators wurde bereits in Abschnitt 5.2 beschrieben: Zwei Tortendiagramme, mit den Kostenarten als prozentuelle Sektoren dargestellt und den Absolutbeträgen in EUR unmittelbar daneben aufgelistet.

5.5 Visual Basic Module und Sub-Procedures

Vierzehn Sub-Procedures in VBA führen sämtliche Berechnungen durch; die jeweilige Bezeichnung der Routine lässt bereits auf deren Inhalt schließen:

Sub-Procedure	Funktion
Reset	führt ein Reset aller Eingabefelder durch
Frist	berechnet die Instandhaltungsstufe
Mannstunden-Frist	ordnet den Instandhaltungsstufen die Mannstunden zu
Tauschzeiten	ordnet den Reparaturen die Vorgabezeiten zu
Mitarbeiter-Verifikation	überprüft die erforderlichen Mindest-Mitarbeiter-Zahlen
Wochenarbeitszeit	berechnet die Wochenarbeitszeit aufgrund der Eingaben
IKB4-Check	Zwischenberechnung für die Optimierung
Triebfahrzeug-Umlauf	prüft, ob ein Ersatz-Tfz. erforderlich ist
Lohnkosten und Durchlaufzeit	berechnet die Lohnkosten bei gewählten Arbeitszeitfenstern
Triebfahrzeug-Ausfallkosten	berechnet die Ausfallkosten abhängig von der Reparaturdauer
Hallenkosten	errechnet die anfallenden Kosten aufgrund der Rep.dauer
Start-Berechnung	ruft vor „Optimierung“ alle zugehörigen Sub-Procedures auf
Prozess-Buttons	ruft bei jedem Prozess-Schritt in der Kopfzeile die zugehörigen „Sub-Procedures“ auf
Optimierung	führt die Optimierungsrechnung durch

Tab. 5.8: Beschreibung der Sub-Procedures

Diese Sub-Procedures beinhalten auch Plausibilitätsabfragen, sofern diese nicht direkt auf der Excel-Oberfläche durchgeführt wurden.

5.6 Optimierungsrechnung

Zur Lösung einer Optimierungsaufgabe, die in Excel und Visual Basic formuliert ist, schlägt Microsoft die Verwendung des Excel-Solver Tools vor. Laut Microsoft⁹², [...] besteht ein Optimierungsmodell aus drei Teilen: der Zielzelle, den veränderbaren Zellen und den Nebenbedingungen [...]. Die Zielzelle stellt das Ziel oder den angestrebten Wert dar. Dieser Wert soll minimiert oder maximiert werden [...]. Veränderbare Zellen sind die Zellen in der Kalkulationstabelle, die zum Optimieren der Zielzelle geändert oder angepasst werden können [...]. Nebenbedingungen sind die Einschränkungen für die veränderbaren Zellen.“

Noch während der Programmierung des Maintenance Calculators wurde versucht, die Optimierungsaufgabe (Ermittlung des Kostenminimums in Abhängigkeit von den Arbeitszeitfenstern) mit dem Excel-Solver zu lösen. Sämtliche Nebenbedingungen wurden im Excel-Solver erfasst, ebenso die Bezüge zu den veränderbaren Zellen. Dennoch errechnete der Excel-Solver nicht das absolute Minimum, sondern nur lokale Grenzwerte. In sehr wenigen Fällen fand der Excel-Solver auf Anhieb das absolute Kostenminimum: meist dann, wenn das Zielintervall vorher (durch eine eigene „händische“ Berechnung) eingegrenzt und vorgegeben wurde. Diese Vorgehensweise war aber weder exakt und fehlerfrei, noch praktikabel und automatisierbar.

Nach intensiver Ursachenanalyse, zuerst in online User-Foren und anschließend durch eine Rücksprache mit dem Maschinenbau und Betriebsinformatik Institut (MBI) der TUG, bestätigten sich die Vermutungen: Das Vorhandensein mehrerer binärer Variablen und einer sprungfixen Kostenfunktion führen zu mehreren lokalen Grenzwerten. Das absolute Minimum wird dabei vom Excel-Solver nur gelegentlich gefunden. Der Excel-Solver ist für derart komplexe Optimierungsrechnungen nicht geeignet. Es gibt zwar diverse Freeware und kostenpflichtige Erweiterungen des Excel-Solvers im Internet, es wurde aber die Entscheidung zur analytischen Lösung/Programmierung der Optimierungsaufgabe getroffen.

Die Lösung der Optimierungsaufgabe erfolgt nun mittels mehrerer If-Then Schleifen. Zuerst wird geprüft, ob der vorhandene Kapazitätsbedarf (Arbeitsvorrat in

⁹² <http://office.microsoft.com/de-de/excel-help/einfuehrung-in-die-optimierung-mit-dem-excel-solver-tool-HA001124595.aspx#BMinstalling>; Zugriff im Jänner 2011

Mannstunden) innerhalb des Instandhaltungszeitfensters eines Tages unter Ausnutzung der maximal möglichen/zulässige Mitarbeiterzahl abgearbeitet werden kann. Ist dies nicht möglich, wird geprüft, ob der Arbeitsvorrat zumindest innerhalb der maximal möglichen Arbeitszeit eines Tages abgearbeitet werden kann, um den Triebfahrzeugausfall auf einen Tag zu begrenzen. Ist der Arbeitsvorrat dennoch größer, fallen die vollen Triebfahrzeugausfallkosten an und es kann nur mehr versucht werden, die Anzahl der Ausfalltage (z.B. bei einer Revision) niedrig zu halten und die Durchlaufzeit zu verkürzen.

Die Ergebnisse der wirtschaftlichen Auswertung von Instandhaltungsstufen werden in Abschnitt 6 analysiert und bewertet.

5.7 Bedienungsanleitung, Benutzerleitfaden

Auf der CD (in der CD-Hülle des Einbandes) sind sowohl der GTW Maintenance Calculator (im Microsoft Office Excel 2007 Format) als auch der Benutzerleitfaden (im Microsoft Office Word 2007 Format) gespeichert. Der Benutzerleitfaden ist so aufgebaut, dass er als eigenständiges Dokument – unabhängig von der Diplomarbeit – verwendet werden kann.

5.7.1 Starten des Programms

Der Maintenance Calculator wird wie jedes Standard Excel Dokument z.B. aus dem Windows Explorer durch Doppelklicken des Dateinamens gestartet. Sofort erscheint die Benutzeroberfläche bzw. das Excel-Tabellenblatt, auf dem gearbeitet wird. Falls der Benutzer schon zuvor mit dem Maintenance Calculator gearbeitet und die Basisdaten am Tabellenblatt „IV. Kostenfaktoren“ eingepflegt hat, kann er bei Kapitel 5.7.3 des Benutzerleitfadens fortsetzen und alle Ein- und Ausgaben auf diesem Tabellenblatt („I. Benutzerblatt“) tätigen. Empfehlenswert ist das Drücken des RESET-Buttons am Tabellenblatt „I. Benutzerblatt“ vor den nächsten Schritten.

Schritt 1: RESET-Button vor jeder neuen Berechnung drücken

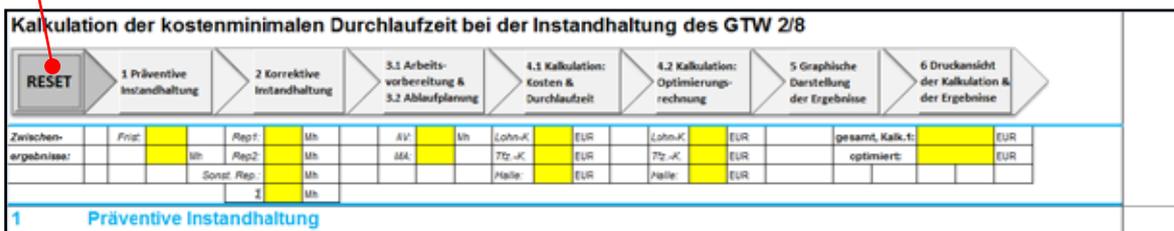


Abb. 5.9: Drücken des RESET-Buttons vor jeder neuen Berechnung

5.7.2 Eingabe der Basisdaten

Die Eingabe von Basisdaten ist erforderlich, um das betriebswirtschaftliche Umfeld bzw. die Kostenfunktionen der Instandhaltung zu definieren. Diese als „Kostenfaktoren“ bezeichneten Daten ändern sich in der Regel nicht für jede Berechnung, sondern nur periodenweise oder für Variantenauswertungen.

Schritt 2: Drücken des Tabellenreiters „IV. Kostenfaktoren“ in der Excel-Fußzeile

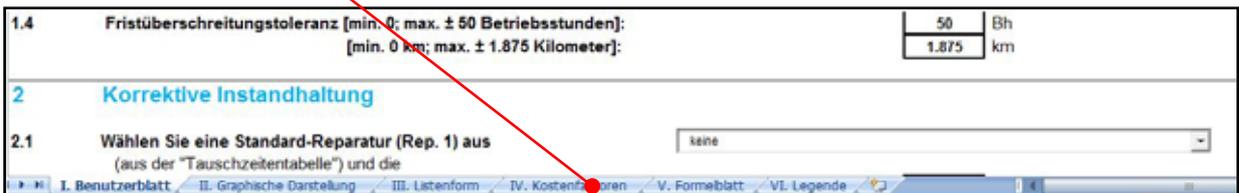


Abb. 5.10: Aktivieren des Tabellenblattes „IV. Kostenfaktoren“

Schritt 3: Anschließend ist die Eingabe der Kostenfaktoren in den jeweiligen Zellen erforderlich; die Eingaben werden plausibilitätsgeprüft:

Einmalige Eingabe der Kostenfaktoren als quasi konstante Determinanten der Kostenfunktion.

Bitte legen Sie folgende Kostenfaktoren fest:			
Personalkosten, die kalkulatorische Abschreibung der Servicehalle, die Triebwagenausfallkosten und die (kurzfristig) verfügbare Mitarbeiterzahl			
Personalkosten zu Grenzkosten, Stundensatz für die Normalarbeitszeit [EUR]	EUR		grün: veränderbar rot: Konstante blau: kalkulierter Wert
Faktor für Sonntagsstunden [%]	%		
Investitionskosten der Servicehalle [Mio. EUR]	Mio. EUR	}	#DIV/0! EUR Annuität p. a.
Nutzungsdauer/kalk. Abschreibungsdauer in Jahren [a]	a		
kalkulatorischer Zinssatz i_{kalk} [%]	%		
Triebwagenausfallkosten:			
Ausfall < 1 Tag, innerhalb des Instandhaltungs-Zeitfensters von 08.00 bis 15.00	EUR		
Ausfall < 1 Tag durch Arbeiten am GTW vor 08.00 oder nach 15.00: FBM-Tagespauschale für Tfz. und DOSTO-Wagensatz als GTW-Ersatz im Umlauf, lt.G-CO-Perl	EUR		
Ausfall > 1 Tag [EUR/Tag], in der Regel bei Instandhaltungsstufen \geq IKB4	EUR		
maximale Anzahl der Mitarbeiter , die für die GTW-Flotte (kurzzeitig) gleichzeitig verfügbar ist, z.B. bei Unfallreparaturen oder Revisionen [Ganzzahl: $8 \leq MA \leq 15$]	MA		zurück zum Benutzerblatt

Abb. 5.11: Eingabe der Kostenfaktoren am Tabellenblatt „IV. Kostenfaktoren“

Schritt 4: Zurück zum Benutzerblatt durch Drücken der Schaltfläche rechts unten

Bitte legen Sie folgende Kostenfaktoren fest:			
Personalkosten, die kalkulatorische Abschreibung der Servicehalle, die Triebwagenausfallkosten und die (kurzfristig) verfügbare Mitarbeiterzahl			
Personalkosten zu Grenzkosten, Stundensatz für die Normalarbeitszeit [EUR]	100,00	EUR	grün: veränderbar
Faktor für Sonntagsstunden [%]	200	%	rot: Konstante
			blau: kalkulierter Wert
Investitionskosten der Servicehalle [Mio. EUR]	1	Mio. EUR	} 67.439 EUR Annuität p. a.
Nutzungsdauer/kalk. Abschreibungsdauer in Jahren [a]	25	a	
kalkulatorischer Zinssatz i_{kalk} [%]	4,5	%	
Triebwagenausfallkosten:			
Ausfall < 1 Tag, innerhalb des Instandhaltungs-Zeitfensters von 08.00 bis 15.00	0	EUR	
Ausfall < 1 Tag durch Arbeiten am GTW vor 08.00 oder nach 15.00: FBM-Tagespauschale für Tfz. und DOSTO-Wagensatz als GTW-Ersatz im Umlauf, It.G-CO, Perl	250	EUR	
Ausfall > 1 Tag [EUR/Tag], in der Regel bei Instandhaltungsstufen \geq IKB4	1000	EUR	
maximale Anzahl der Mitarbeiter, die für die GTW-Flotte (kurzzeitig) gleichzeitig verfügbar ist, z.B. bei Unfallreparaturen oder Revisionen [Ganzzahl: $8 \leq$ MA \leq 15]	10	MA	

Abb. 5.12: Zurück zum Benutzerblatt

Die weitere Bedienung des Calculators erfolgt ausschließlich auf Tabellenblatt „I.Benutzerblatt“.

5.7.3 Die Funktion der Prozess-Buttons (Schaltflächen)

Der Calculator läuft so stabil, dass alle Kombinationen von Eingabereihenfolgen möglich sind, die Darstellung als Prozessschaubild legt jedoch nahe, eine Bedienungsreihenfolge der Schaltflächen von links nach rechts - den Prozesspfeilen folgend - zu wählen.

Mit dem Klicken der Buttons „springt“ das Programm in die zugehörigen Ein-/Ausgabebereiche und erspart somit die Verwendung des Scroll-Balkens am rechten Blattrand; gleichzeitig aktualisiert das Klicken eines Buttons alle Visual Basic Parameter und Sub-Procedures. Die **Bedienungsreihenfolge** sollte also wie folgt aussehen:

Klicken eines Buttons → Eingabe bzw. Auswahl von Werten im zugehörigen Bedienfeld → erneutes Klicken zum Aktualisieren → nächster Button

Die Schaltflächen besitzen folgende Funktion(en):

„RESET“-Button:

wurde bereits einleitend als Schritt 1 vor jeder neuen Berechnung empfohlen

„1 Präventive Instandhaltung“:

der Calculator „springt“ in den Eingabebereich der präventiven Instandhaltung, der folgende Eingabevarianten zulässt:

„keine“
„berechnen“

es werden nur korrektive Arbeiten kalkuliert nach der Eingabe der Betriebsstunden und der Laufleistung des Fahrzeuges, sowie der Fristüberschreitungstoleranz berechnet der Calculator die zugehörige Instandhaltungsstufe

„1 bis 18“
„DM“

direkte Auswahl der Instandhaltungsstufe
Auswahl einer Dieselmotorüberholung

Kalkulation der kostenminimalen Durchlaufzeit bei der Instandhaltung des GTW 2/8

RESET | 1 Präventive Instandhaltung | 2 Korrektive Instandhaltung | 3.1 Arbeitsvorbereitung & 3.2 Abmaßplanung | 4.1 Kalkulation: Kosten & Durchlaufzeit | 4.2 Kalkulation: Optimierungsberechnung | 5 Graphische Darstellung der Ergebnisse

Zwischen- ergebnisse:	Frist: keine	Rep1: 0,0	h	AV: MA	h	Lohn-K: 77z-K	EUR	Lohn-K: 77z-K	EUR	gesamt, Ka	optimie
	Sonet. Rep: 9,9	h				Malle: 77z-K	EUR	Malle: 77z-K	EUR		
		1	h								

1 Präventive Instandhaltung

1.1 Wählen Sie die erforderliche Instandhaltungsstufe aus:
oder geben Sie den Kilometerstand, die Betriebsstunden und die zugehörigen Toleranzen ein.

1.2 Eingabe der Betriebsstunden [Bh] des Fahrzeuges:
(ganzzahlig, max. 160.000 Bh)

und

1.3 Eingabe des km-Standes [km] des Fahrzeuges:
(ganzzahlig, max. 6.000.000 km)

1.4 Fristüberschreitungstoleranz [min. 0; max. ± 50 Betriebsstunden]:
(min. 0 km; max. ± 1.875 Kilometer):

keine [dropdown]
[text box] Bh
[text box] km
[text box] km

Auswahl der IH-Stufe
Eintippen der Bh
Eintippen der Laufleistung
Eingabe der
Fristüberschreitungstoleranz

Abb. 5.13: Auswahlmöglichkeiten präventiver IH-Maßnahmen

„2 Korrektive Instandhaltung“:

der Calculator „springt“ in den Eingabebereich der korrektiven Instandhaltung, der folgende Eingabevarianten zulässt:

„Reparatur 1“

Möglichkeit der Auswahl einer von über 100 Standardreparaturen des GTW über Dropdown-Auswahl oder Auswahl von „keine“ falls z.B. nur präventive IH kalkuliert werden soll

„Anzahl“ ermöglicht - durch Eintippen einer Ganzzahl - die Reparatur mehrmals durchzuführen wie Reparatur 1

„Reparatur 2“ wie Reparatur 1

„Anzahl“ wie Reparatur 1

„Sonstige“ falls die gewünschte Reparatur in der Dropdown-Auswahl nicht enthalten ist, kann durch Eingabe der (bekannten oder geschätzten) Mannstundenzahl jede beliebige Reparatur kalkuliert werden

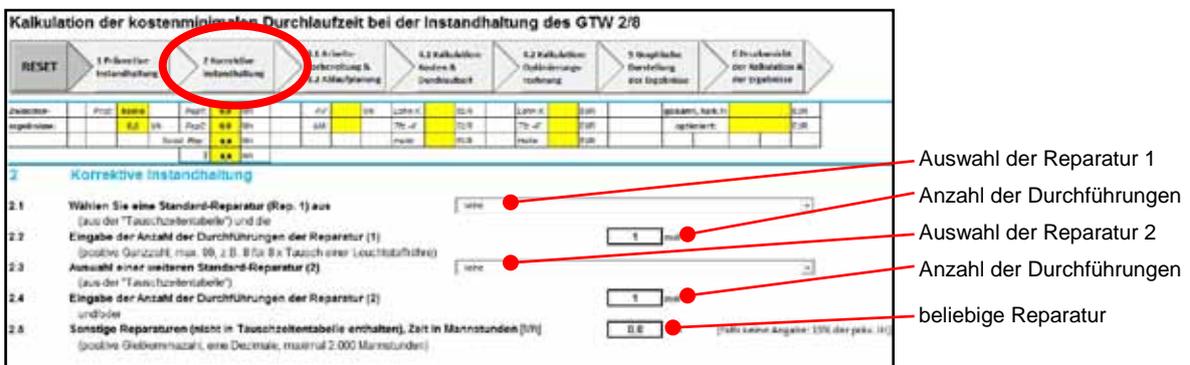


Abb. 5.14: Auswahlmöglichkeiten korrekativer IH-Maßnahmen

**„3.1 Arbeitsvorbereitung,
3.2 Ablaufplanung“:**

der Calculator „springt“ in den Eingabebereich der AV & Ablaufplanung mit folgenden Eingabemöglichkeiten:

„Arbeitsvorbereitung“ Auswahl der einmaligen AV-Zeit über Dropdown-Button

„geplante Mitarbeiterzahl“ Auswahl der MA-Zahl durch Eintippen

„Durchführungsmodus“ eintägig oder mehrtägig über Dropdown-Wahl

„geplante Zeitfenster wochentags“ durch Anklicken der Auswahlfelder „JA“ oder „NEIN“ kann jedes beliebiges Zeitfenster für die Kalkulation gewählt werden

„Arbeit auch am Sa“ durch Auswahl im Dropdownfeld und zusätzliches Eintippen der Tagesarbeitszeit in ganzen Stunden wird Samstagsarbeitszeit kalkuliert; theoretisch kann eine Reparatur auch nur samstags durchgeführt werden

„6. Druckansicht“:

zeigt die Druckvorschau und erlaubt das direkte Drucken aus dem Calculator oder z.B. das Senden an einen pdf-writer

Kalkulation der kostenminimalen Durchlaufzeit bei der Instandhaltung des GTW 2/8

1. Präventive Instandhaltung | 2. Korrektive Instandhaltung | 3. Arbeitsvorbereitung & 3.2 Arbeitsvorbereitung | 4.1 Kalkulation: Kosten & Durchlaufzeit | 4.2 Kalkulation: Optimierungsrechnung | 5. Graphische Darstellung der Ergebnisse | 6. Endbericht der Kalkulation & der Ergebnisse

1.1 Wählen Sie die erforderliche Instandhaltungskufe aus:
 1.2 Eingabe der Betriebsstunden (Bt) des Fahrzeuges:
 1.3 Eingabe des im-Standes (im) des Fahrzeuges:
 1.4 Fristüberschreitungstoleranz [min. 0, max. ± 40 Betriebsstunden]:

2.1 Wählen Sie eine Standard-Reparatur (Rep. 1) aus:
 2.2 Eingabe der Anzahl der Durchführungen der Reparatur (1):
 2.3 Auswahl einer weiteren Standard-Reparatur (2):
 2.4 Eingabe der Anzahl der Durchführungen der Reparatur (2):
 2.5 Sonstige Reparaturen (nicht in Tauschleitenschema enthalten):

3.1 Arbeitsvorbereitung
 3.1.1 Wählen Sie die Dauer der Arbeitsvorbereitung (in Mannstunden, zwischen 0,0 und 19,0):
 3.1.3 geplante Mitarbeiterzahl (Eingabe einer positiven Ganzzahl, größer gleich 1, max. 15):

3.2 Ablaufplanung
 3.2.1 Durchführungsmodus (in Abhängigkeit von der MA-Zahl) bis 80 MA bzw. 80 MA wählbar:
 3.2.2 geplante Zeiterstar: wochentags
 3.2.3 Arbeit auch am Samstag?
 3.2.4 Zeiterstar am Samstag? (Stunden, ganzzahlig):
 3.2.5 Arbeit auch am Sonntag (nur bei korrekter Bt wie z.B. Unfallreparatur)?
 3.2.6 Zeiterstar am Sonntag? (Stunden, ganzzahlig):

4.1 Kalkulation: Ergebnisse basierend auf den gewählten Zeiterstern
 4.1.1 Lohnkosten (zu Teilkosten):
 4.1.2 Tz-Ausfallkosten:
 4.1.3 Hallenbenutzungskosten (K_{Hallen}):
 4.1.4 SUMME (einschl.):
 4.1.5 DLZ = Mean Down Time, MDT: (Tz. Eingang + Tz. Ausgang)

4.2 Kalkulation: Optimierungsrechnung für Arbeitsaufträge gemäß Pos. 1 und 2
 4.2.1 Lohnkosten (zu Teilkosten):
 4.2.2 Tz-Ausfallkosten:
 4.2.3 Hallenbenutzungskosten (K_{Hallen}):
 4.2.4 Ergebnis Gesamtkosten:
 4.2.5 Ergebnis DLZ_{opt}:

Abb. 5.17: Druckansicht

Abschließend ein Excel-Tipp (aus eigener Erfahrung durch Fehlersuche): Microsoft Excel 2007 besitzt nachweislich ein bekanntes Problem mit Skalierungen, die vom Skalierfaktor „100 %“ abweichen. Dies äußert sich z.B. in Fehlermeldung „Debuggen“ o.ä. Abhilfe schafft gemäß Auskunft des MBI-Institutes bzw. diverser Internetforen die Rückstellung des Skalierfaktors auf 100%.

6 Ergebnisse der Instandhaltungsoptimierung eines Dieseltriebwagens mittels angewandter Methoden des Produktionsmanagements

Wie bereits die Abb. 1.4 auf Seite 8 zeigt, wird im Zuge dieser Arbeit die Instandhaltung von Schienenfahrzeugen in den Kapiteln 2, 3 und 4 analysiert. Darin werden zuerst produktionstechnische, dann rechtliche und schließlich betriebliche bzw. praktische Aspekte behandelt. In den jeweiligen Abschnitten werden auch Ziele (das optimale Instandhaltungssystem, die optimale Instandhaltungsabwicklung) gesucht und erörtert. Der in Kapitel 5 vorgestellte GTW Maintenance Calculator ermöglicht Variantenausarbeitungen und –bewertungen. In Summe entspricht dies der Grundstruktur im „Prozess der Strategie-Entwicklung“, wie sie WOHINZ⁹³ im „Grazer Modell“ vorstellt:

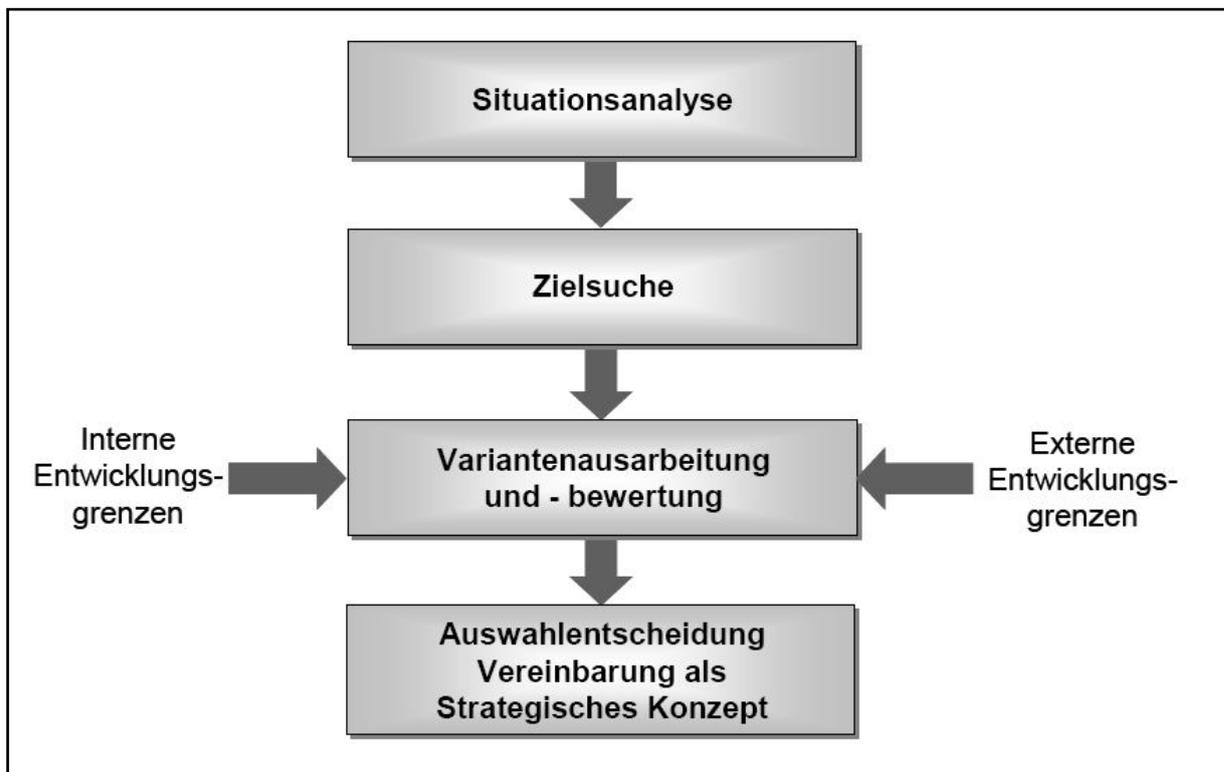


Abb. 6.1: Die Grundstruktur im Prozess der Strategie-Entwicklung⁹³

In diesem Kapitel werden nun Auswahlentscheidungen getroffen, sowie Vereinbarungen als „Strategisches Konzept“ vorgeschlagen. Dabei werden zuerst die

⁹³ WOHINZ, J. W.: Industrielles Management – Das Grazer Modell, Wien/Graz 2003, S. 74

Erkenntnisse aus der Rechts- und Normensammlung präsentiert, anschließend die Überlegungen zur Instandhaltungsstrategie und zum Instandhaltungsplan. Es folgen die Ergebnisse der betriebswirtschaftlichen Analysen einzelner Instandhaltungsstufen, abschließend werden die Ergebnisse der Analyse von PPS-Teilaufgaben behandelt.

6.1 Ergebnis der Rechtsquellenammlung und Normenrecherche

Das österreichische Eisenbahnrecht ermöglicht einen größeren Spielraum bei der Gestaltung von Instandhaltungsprogrammen als das deutsche oder Schweizer Recht, insbesondere bei der Festsetzung von Revisionsintervallen. In Deutschland muss die Revision eines Triebfahrzeuges nach spätestens 8 Jahren durchgeführt werden, in der Schweiz (z.B. bei Triebfahrzeugen von Adhäsionsbahnen) nach maximal 6 Jahren; in Österreich kann dieses Zeitintervall (theoretisch) 8 Jahre überschreiten.

Dabei besteht aber eine zwingende Abhängigkeit vom behördlich genehmigten Instandhaltungshandbuch bzw. vom Instandhaltungsprogramm des Herstellers. Legt der Hersteller die Revisionsintervalle in Kalenderjahren fest, sind diese einzuhalten. Werden die Revisionsintervalle herstellerseitig an Leistungsdaten wie z.B. Betriebsstunden eines Triebfahrzeuges geknüpft (unabhängig von Kalenderjahren) und diese aufgrund geringer Laufleistung erst nach mehr als z.B. 10 oder 15 Jahren erreicht, obliegt es dem Betreiber von Eisenbahnfahrzeugen, die notwendigen Instandhaltungsprogramme zu definieren und zu verantworten. Dabei müssen Aufarbeitungsrichtlinien und -intervalle einzelner Komponenten (wie z.B. Radsatzwellen, Bremskomponenten, etc.) genauso Berücksichtigung finden wie der Stand der Technik. Insbesondere müssen zutreffende EU-Richtlinien (in Form der jeweils anzuwendenden Technischen Spezifikationen für Interoperabilität, kurz TSI) ins Instandhaltungsprogramm einfließen.

Schreibt der Hersteller keine Revisionsintervalle vor, sondern nur die Intervalle der „leichten Instandhaltung“, trägt der Betreiber von Eisenbahnfahrzeugen die alleinige Verantwortung, notwendige Instandhaltungsprogramme für Revisionen in Abhängigkeit der jeweiligen Einsatzbedingungen und der konstruktiven Gestaltung der Fahrzeuge zu definieren. Er kann dies selbstständig durchführen, er kann dazu aber auch unabhängige Institutionen aus Technik und Forschung beauftragen.

Sowohl das Studium der Rechtsquellen als auch die Analyse der Normen im Bahnbereich führen zum Ergebnis, dass die **Revision von Schienenfahrzeugen in Teilarbeitsgängen** für ein österreichisches Eisenbahnverkehrsunternehmen bzw.

dessen Triebfahrzeuge (die am ÖBB-Netz verkehren) zulässig ist. **Gleiches gilt ganz allgemein für die Durchführung aller präventiven Instandhaltungsmaßnahmen eines Schienenfahrzeuges in Teillosen (Time-Slots).** Alle Teilschritte müssen vor der Fälligkeit der Gesamtrevision bzw. der jeweiligen Instandhaltungsstufe eines Schienenfahrzeuges abgeschlossen sein. Das Hauptaugenmerk liegt bei dieser Art der Durchführung auf der lückenlosen Dokumentation aller einzelnen Arbeitsgänge. Deren Durchführungszeitpunkt, Art und Umfang der Aufarbeitung jeder Komponente und die zugehörigen Nachweise (wie z.B. der Werksprüfzeugnisse) stellen die zentralen Dokumentationserfordernisse dar. Selbst die Technischen Spezifikationen für Interoperabilität lassen diese Vorgehensweise derzeit zu.

Noch komplexer gestalten sich o.a. Zusammenhänge bei Schienenfahrzeugen, die grenzüberschreitend verkehren und interoperabel zugelassen werden sollen. Es existieren folgende Varianten:

1. Es handelt sich um ein Neufahrzeug, bei dem der Hersteller um Zulassung des Fahrzeuges/der Baureihe in mehreren Staaten ansucht. Dann fließt das Instandhaltungsregelwerk jedes einzelnen Staates in das Instandhaltungsprogramm ein. Damit erhöhen sich die Instandhaltungskosten vom ersten Tag an gegenüber Fahrzeugen/Baureihen, die nicht grenzüberschreitend verkehren und zugelassen sind. Die Durchführung von Instandhaltungsarbeiten in Time-Slots ist auch hier zulässig bei entsprechend exakter Dokumentation.
2. Es handelt sich um ein Bestandsfahrzeug, das nachträglich in einem oder mehreren Staaten zugelassen werden soll. Dann bleibt entweder (a) das ursprüngliche Instandhaltungsprogramm gültig und bei Verkehrsaufnahme im jeweiligen Nachbarstaat muss die „Instandhaltungsdifferenz“ abgearbeitet und als erledigt nachgewiesen werden (meist mittels Überprüfung durch einen Behördenvertreter vor Ort), oder (b) die Behörde verlangt eine Änderung des Instandhaltungsprogrammes.

An dieser Stelle werden nochmals folgende Fakten wiederholt (vgl. Kap. 3.4, Seite 38):

- § ein und dasselbe Schienenfahrzeug kann (bei rein nationaler Zulassung) in Österreich, Deutschland oder in der Schweiz unterschiedlichen Instandhaltungsplänen/Instandhaltungsprogrammen unterliegen
- § bei Eigentumsübergang eines Schienenfahrzeuges können (hohe) Kosten für sofort fällige Revisionen entstehen bzw. eine nationale Zulassung auf dem

Schiennetz eines ausländischen Betreibers (kurzfristig) abgelehnt werden, bis die Differenz an Instandhaltungsarbeiten abgearbeitet ist

Als Ergebnis der **Normenrecherche** lässt sich festhalten, dass sich die Gesamtheit der CEN⁹⁴-Normen, der UIC⁹⁵-Merkblätter und des Regelwerkes der Staatsbahnen nur mehr mittels IT-Unterstützung verwalten lässt, z.B. mittels digitaler Archivierung, online-Abfragen, online-Suchsystemen und Mitgliedschaft in Normungsinstituten und bei der UIC in Paris. Eine „klassische“ Archivierung in gedruckter Form auf Basis eigener Recherchen ist aufgrund des Umfangs an Normen und Merkblättern im Eisenbahnwesen (fast) nicht mehr möglich und auch nicht mehr QM-konform (z.B. gemäß ISO 9001: 2008). Weitere Erkenntnisse der Normenrecherche sind indirekt im folgenden Abschnitt 6.2 enthalten, indem vorgeschlagene Strategien im Vorhinein auf ihre Normenkonformität geprüft wurden.

6.2 Ergebnis der Analyse von Instandhaltungsstrategien

Einen Überblick über Instandhaltungsstrategien für die Triebwagenbaureihe GTW 2/8 der GKB und deren Eignung liefert Tabelle 6.2:

nicht geeignet	nicht zutreffend	gut bis sehr gut geeignet
Schadensorientierte Strategien	Total Productive Maintenance (TPM):	Präventive Strategien:
Ausfallorientierte Strategien		Opportunistische Instandhaltung
Risk-based Maintenance		Time-Slot Strategien
(rein) korrektive Strategien		Reliability centered maintenance
		LCC-orientierte Instandhaltung
		Zustandsorientierte Instandhaltung (CBM) mittels Condition Monitoring System (CMS)
		Computerized maintenance management systems (CMMS)

Tab. 6.2: Eignung von Instandhaltungsstrategien für den Triebwagen GTW 2/8 der GKB

Schadens-, ausfallorientierte oder risk-based Strategien scheiden von vornherein aus, weil sie im Bahnbetrieb zu hohen Risiken, extrem niedriger Sicherheit (im öffentlichen Verkehr!) und hohen Ausfallkosten führen würden. Wird ein „altes“ Schienenfahrzeug (Nutzungsdauer > 30 Jahre) präventiv instand gehalten, ohne die Ergebnisse von Störungs- oder Fehleranalysen im Instandhaltungsprogramm einfließen zu lassen oder wird mit der Aufarbeitung von (nicht sicherheitsrelevanten) Komponenten zu lange

⁹⁴ Comité Européen de Normalisation, Europäisches Komitee für Normung

⁹⁵ Union Internationale des Chemins de Fer, Internationaler Eisenbahnverband mit Sitz in Paris

zugewartet, wird die Instandhaltung zwangsläufig schadensorientiert und somit ausfallzeit- und kostenintensiv (siehe auch „Badewannenkurve“ und „Feuerwehrstrategie“ in Kap. 4.2.1 auf S. 56).

Die Total Productive Maintenance, kurz TPM, ist in der Automobilindustrie und in der seriellen Fließbandfertigung eine sehr weit verbreitete und erfolgreiche Strategie – in der Schienenfahrzeuginstandhaltung aber unbedeutend weil sie nicht anwendbar ist.

Präventive Instandhaltungsstrategien stellen den Schwerpunkt in der Schienenfahrzeuginstandhaltung dar und können mit zunehmender Komplexität bzw. mit zunehmendem IT-Einsatz zum Instandhaltungskostenminimum führen (vgl. Abb. 4.28 auf Seite 81):

- § Der Sammelbegriff der „klassischen“ präventiven Strategie umfasst die Instandhaltung gemäß Instandhaltungsplan in starren Intervallen.
- § Unter opportunistischer Instandhaltung wird verstanden, dass (Klein) Reparaturen nur dann durchgeführt werden, wenn das Fahrzeug ohnehin steht – umlaufbedingt oder instandhaltungsbedingt. Diese Vorgehensweise ist in der Schienenfahrzeuginstandhaltung weit verbreitet; sie stellt die einfachste Möglichkeit dar, (Ausfall) Kosten zu sparen.
- § Der Begriff und die Bedeutung von Time-Slot Strategien wurden bereits ausführlich in Kap. 4.2.4, ab Seite 61 erörtert.
- § Strategien, die die Verfügbarkeit eines Fahrzeuges in den Mittelpunkt stellen, werden als „reliability centered maintenance“ zusammengefasst. Strategien, die eine maximale Verfügbarkeit zum Ziel haben, bewirken automatisch ein hohes Sicherheits-Niveau und (meist) ein hohes Komfort-Niveau für den Fahrgast.
- § Rein LCC-orientierte Strategien (ohne Berücksichtigung von Verfügbarkeitskennzahlen) sind kostenorientiert. Niedrige LCC-Kosten bedeuten für den Hersteller einen hohen Imagewert und für den Betreiber ein effizientes Instandhaltungsprogramm. Nicht übersehen werden darf der kritische Punkt, ab dem sich die Kosteneffizienz in eine Abnahme der Zuverlässigkeit - oder sogar der Sicherheit – wandelt.
- § Zustandsorientierte Strategien stellen einen Kompromiss aus Kostenbewusstsein und Sicherheitsstrategie dar. Der Abnutzungsvorrat einer Komponente wird (fast) vollständig ausgenutzt, gleichzeitig bleibt die Sicherheit der Komponente (durch die Beobachtung) auf einem hohen Niveau. Aufgrund des Kostenaufwandes für die ständige Beobachtung bzw. Überwachung werden zustandsorientierte Strategien nur bei instandhaltungskostenintensiven Komponenten wie z.B. Radsätzen eingesetzt. Wird bei der Beobachtung ein IT-gestütztes

Beobachtungssystem (CMS) verwendet, verringert sich der Kostenaufwand für die Beobachtung geringfügig.

- § Computerized Maintenance Management Systems stellen derzeit den „State of the art“ dar, bedeuten aber hohe Einmalkosten, um ein derartiges System aufzubauen und zu betreiben.

Nach der Entscheidung für eine Instandhaltungsstrategie und für den gewünschten Grad an IT-Unterstützung folgen Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit des Instandhaltungsplans.

6.3 Ergebnis der Analyse des Instandhaltungsplans samt wirtschaftlicher Betrachtung

Die Wirtschaftlichkeit eines präventiven Instandhaltungsplans hängt von den Instandhaltungsintervallen, der Anordnung der Instandhaltungsstufen (IH-Stufen) auf der „Zeitachse“ und insbesondere von deren Einzelaufwendungen ab (Mannstunden und Materialkosten). Kostenoptimal sind somit präventive Instandhaltungspläne, bei denen:

- § die Intervalle zwischen den Stufen möglichst groß (lang) sind
- § die nächsthöheren IH-Stufen jeweils ganzzahlige Vielfache der Betriebsstunden der davorliegenden IH-Stufe sind (keine „unpaarigen“ Fristen)
- § der Arbeitsaufwand innerhalb der jeweiligen IH-Stufe möglichst gering ist
- § es keine Sonderfristen gibt, für die das Fahrzeug „extra“ aus dem Umlauf genommen werden muss
- § die Durchlaufzeit und die Ausfalldauer möglichst kurz sind

Der in Tab. 4.22 auf S. 71 dargestellte **Instandhaltungsplan des Dieseltriebwagens GTW 2/8** besitzt im Wesentlichen oben angeführte Merkmale bis auf folgende Abweichungen:

- § Die Räderprofilierung: Diese ist laufeleistungsabhängig und muss bei Neufahrzeugen mit Monoblockrädern bzw. -werkstoffen, die zuvor am GKB Streckennetz nicht verwendet wurden (Rad-Schiene Paarung), erst im Betrieb ermittelt und über die Flotte gemittelt werden. Mit diesem Erfahrungswert kann der prognostizierte Wert verifiziert werden sowie die damit in Zusammenhang stehenden präventiven IH-Stufen I5 und I6. Werden Intervalle von 6.000 Betriebsstunden zwischen zwei Räderprofilierungen erreicht, ergibt sich bis zur Stufe I5 ein kontinuierlich aufbauender und gut strukturierter IH-Plan.

- § Die Dieselmotorrevision: Deren Intervall von 14.000 Betriebsstunden stellt kein ganzzahliges Vielfaches des Intervalls der IH-Stufe I4 (alle 4.000 Betriebsstunden) oder I5 (prognostizierte 6.000 Stunden) dar und kann somit nur mit einer I3 (2.000 Stunden Intervall) verbunden werden. Dies hätte die bereits in Kap. 4.1.1 auf Seite 73 angesprochene „Unpaarigkeit“ zur Folge. Insbesondere bei den Revisionen I7 und der I8 empfiehlt es sich, nicht die „alte“ Dieselmotor-Generatorgruppe wieder einzubauen, sondern eine „aufgearbeitete“, damit die Dieselmotorfrist nur 1.000 Stunden nach der I7 bzw. 2.000 Stunden nach der I8 entfallen kann.
- § Die kleine Revision, d.h. die Instandhaltungsstufe I7: Sie ist mit einem 27.000 Stunden Intervall nicht koinzident mit einem Vielfachen der Intervalle der Instandhaltungsstufen I3, I4 oder I5. Abhilfe bzw. Optimierungspotential könnte eine Verschiebung schaffen wie in Kap. 4.1.1 auf Seite 73 vorgeschlagen, wenn dies die Aufarbeitungsrichtlinien der Hersteller der jeweiligen Komponenten erlauben.
- § Die große Revision, d.h. die Instandhaltungsstufe I8: Hier gelten dieselben Zusammenhänge, wie sie bei der I7 angeführt wurden.

Mögliches Einsparungspotential wurde auch bei den **Einzelaufwendungen der Instandhaltungsstufen** gesucht. Der Tätigkeitsumfang und der Materialaufwand sind herstellerseitig festgelegt, sicherheitsrelevant und nicht optimierbar. Angesetzt werden kann also nur bei der Arbeitsvorbereitung und den Einmaltätigkeiten. Hier besteht ein Unterschied, ob die Instandhaltungsstufen I1 bis I4 an einem Tag durchgeführt werden, d.h. eine entsprechende Mitarbeiterzahl und ein entsprechend langes Zeitfenster zur Verfügung stehen oder ob die Instandhaltungsstufen in Zeitfenstern, in sogenannten Time-Slots (vgl. Kap. 4.2.4, S. 61), durchgeführt werden. Dabei erhöht sich durch die mehrmalige Arbeitsvorbereitung die Auftragszeit (in Mannstunden) je Instandhaltungsstufe. Das Fahrzeug muss bei einer mehrtägigen Durchführung einer Frist nach jedem Time-Slot wieder gereinigt und uneingeschränkt betriebsfähig aus der Werkstätte

In einem Kalenderjahr, in dem noch keine Revisionen I7 oder I8 anstehen (d.h. zwischen dem ersten und vor dem siebenten Nutzungsjahr), außerdem keine Dieselmotorüberholungsarbeiten und keine Räderreprofilierung (vereinfachte Annahme) stellt sich die Gegenüberstellung der Instandhaltung ohne/mit Time-Slots wie folgt dar.

Diese Aufstellung basiert auf einer Leistung von 4.000 Betriebsstunden pro Fahrzeug und Jahr und einem kleinsten Intervall (Instandhaltungsstufe I1) von 500 Betriebsstunden. Die Auftragszeiten umfassen derzeit (noch) prognostizierte Werte:

Anzahl der IH-Stufen p.a.	Auftragszeit eintägig [Mannstunden]	Auftragszeit bei Time-Slots [Mh]	Differenz je IH-Stufe	Differenz / Fahrzeug p.a.	Differenz / Flotte p.a. [Mannstunden]
4 x I1	11,0	14,33	3,33	13,32	173,16
2 x I2	17,4	19,69	2,29	4,58	59,54
1 x I3	30,9	35,18	4,28	4,28	55,64
1 x I4	64,0	84,84	20,84	20,84	270,92
Summen:				43,02	559,26

Tab. 6.3: Gegenüberstellung der Instandhaltung in Time-Slots zur eintägigen Durchführung⁹⁶

Die **Instandhaltungsstufe I1 und I2** werden dabei aufgrund ihrer kurzen Auftragszeit im Regelfall eintägig abgearbeitet werden.

Die **Instandhaltungsstufe I3** kann in einem 8-stündigen Instandhaltungszeitfenster (theoretisch) von 4 Mitarbeitern durchgeführt werden, dabei darf aber keine einzige zusätzliche korrektive Tätigkeit anstehen. Mit 5 Mitarbeitern verkürzt sich das Instandhaltungszeitfenster auf 6 ¼ Stunden bzw. bleibt in einem 8-Stunden-Zeitfenster eine Reserve für anstehende korrektive Tätigkeiten. Diese betragen im Schnitt (zusätzlich) 15 % der präventiven Auftragszeit. Steht kein fünfter Mitarbeiter zur Verfügung, so sind die Mehrkosten für 55,6 Mannstunden p.a. bei zweitägiger Durchführung (in Time-Slots) noch vertretbar.

Die **Instandhaltungsstufe I4** bedingt aufgrund ihres Umfanges von 64 Mannstunden bei einer Mindestmitarbeiterzahl von 4 MA bereits eine mehrtägige Durchführung. Muss das Fahrzeug zwischen den einzelnen Arbeitstagen die Werkstätte betriebsfähig verlassen und im Personenverkehr eingesetzt werden, erhöht sich die Auftragszeit auf 84,84 Mannstunden (prognostizierter Wert bei Time-Slot Instandhaltung). Die Mehrkosten dafür sind - bezogen auf die gesamte Flotte und ein Jahr – beträchtlich. Lassen der Umlaufplan und der Triebfahrzeugbestand keine Alternative zu, muss der Mehraufwand für die Time-Slot Instandhaltung in Kauf genommen werden. Stehen genügend Ersatzfahrzeuge zur Verfügung, so wird man sich für eine mehrtägige Durchführung ohne Unterbrechung (d.h. ohne betrieblichen Einsatz) entscheiden.

Die **Instandhaltungsstufen I5, I6 und die Dieselmotorrevision** werden zustandsorientiert ausgelöst und durchgeführt, die Ausfallzeiten können durch entsprechende Ersatzteilbevorratung und eine intelligente

⁹⁶ Stadler Rail AG

Komponententauschstrategie auf einen Tag begrenzt werden (z.B. für den Drehgestelltausch oder den Tausch der Dieselmotor-Generatorgruppe). Die jeweils ausgebauten Komponenten werden anschließend – ohne dass das Fahrzeug in der Werkstätte steht – aufgearbeitet und in dasselbe oder in ein anderes Fahrzeug wieder eingebaut.

Die **Revisionen I7 und I8** bedingen längere Ausfall-/Stillstandzeiten des betroffenen Fahrzeuges, ein zwischenzeitlicher Einsatz ist ausgeschlossen. Bereits in der Einleitung (Kap. 1) wurde erwähnt, dass bei den Durchlaufzeiten der Revisionen Optimierungspotential besteht. Hier muss versucht werden, durch Bereitstellung entsprechender Personalkapazität, durch entsprechende Aufbauorganisation und durch entsprechend flexible Arbeitszeiten, die Durchlaufzeit zu verkürzen.

Mögliche **Szenarien können mit dem GTW Maintenance Calculator analysiert und ausgewertet werden**. Die Priorität kann dabei am Kostenminimum und/oder auf der Durchlaufzeitverkürzung der jeweiligen Instandhaltungsstufe liegen. Die wichtigsten Ergebnisse der exemplarischen Auswertung von Instandhaltungsstufen werden im Folgenden bewertet. Die Materialkosten werden dabei nicht berücksichtigt, sie stellen einen konstanten Durchlaufposten dar, der unabhängig von der Durchlaufzeit oder Mitarbeiterzahl ist.

Die **Instandhaltungsstufe I3** besitzt – **wirtschaftlich betrachtet** - eine Vorgabezeit von 30,9 Mannstunden bei einer vorgegebenen Mindestmitarbeiterzahl von 2 Technikern. Bei Durchführung mit der Mindest-MA-Zahl entstehen maximale Gesamtkosten (d.s. Teilkosten des Personals, Triebfahrzeugausfallkosten und die kalkulatorische Abschreibung der Halle) in der Höhe von EUR 3.844.- (excl. Material) bei einer kalkulierten Durchlaufzeit von 15,5 Stunden. Bei Durchführung im Instandhaltungszeitfenster zwischen 08.00 und 15.00 (exakte Ausnutzung) betragen die Gesamtkosten EUR 2.060.- mit 5 erforderlichen Mitarbeitern. Das Kostenminimum bei Durchführung mit 8 Mitarbeitern beträgt nur EUR 1.228.-, die kalkulierte DLZ umfasst dann 3,9 Stunden.

Die **Instandhaltungsstufe I4** umfasst Tätigkeiten im Umfang von 64,0 Mannstunden mit einer Mindestmitarbeiterzahl von 4 MA, das ergibt Kosten von EUR 4.883.- bei einer DLZ von 16 Stunden. Mit 8 Mitarbeitern betragen die Kosten EUR 3.344.- bei 8 Stunden DLZ; mit z.B. 12 Mitarbeitern lässt sich die I4 innerhalb des Instandhaltungszeitfensters (08.00 bis 15.00) ohne Triebfahrzeugausfall um EUR 2.396.- durchführen.

Die **Instandhaltungsstufe I7** - die kleine Revision - umfasst 990 Mannstunden mit zumindest 8 Facharbeitern. Hier entstehen bei klassischer Durchführung in der Tagesarbeitszeit zwischen 07.00 und 15.00 Uhr Gesamtkosten in der Höhe von EUR 51.725.- (ohne Material) mit einer Durchlaufzeit von 17,5 Werktagen. Bei 8 Arbeitsplätzen, an denen von 06.00 bis 20.00 werktags (2-schichtig) gearbeitet wird, ergeben sich beispielsweise Kosten in der Höhe von EUR 39.822.- bei einer DLZ von knapp 9 Tagen.

Bei der **Instandhaltungsstufe I8** – der großen Revision – fallen planmäßig 1.390 Mannstunden an Auftragszeit an, für deren Umsetzung mindestens 8 Mitarbeiter erforderlich sind. Bei der Revision in der Tagesarbeitszeit zwischen 07.00 und 15.00 Uhr entstehen Kosten in Höhe von EUR 68.446.- (ohne Material) bei einer kalkulierten DLZ von knapp 22 Tagen – ohne Durchführung von korrektiven Zusatztätigkeiten. Wird – so wie bei der I7 vorgeschlagen – werktags von 06.00 bis 20.00 zweischichtig gearbeitet, ergeben sich Kosten in der Höhe von EUR 55.911.- bei einer DLZ von knapp 13 Tagen.

Berücksichtigt man alle Instandhaltungsstufen der GTW-Flotte eines Jahres (Daten und Randbedingungen aus der Tab. 6.3 auf S. 112) ergeben sich bei der Durchführung der IH-Stufen mit der jeweiligen Mindestmitarbeiterzahl im Instandhaltungszeitfenster zwischen 08.00 und 15.00 Uhr Kosten in der Höhe von EUR 240.851.- (ohne Materialkosten).

Bei Durchführung mit jeweils 8 Mitarbeitern pro Instandhaltungsstufe in durchlaufzeitoptimierten Zeitfenstern ergeben sich Kosten in der Höhe von EUR 91.117.- (jeweils ohne Material).

Die Differenz resultiert aus der wesentlich kürzeren Hallenbelegungszeit, wodurch die jeweils in der Servicehalle behandelten Fahrzeuge kürzer als Kostenträger belastet werden und weniger Ausfallkosten verursachen. Die Servicehalle steht dadurch auch zur Reparatur anderer Schienenfahrzeuge zur Verfügung (die dann Kostenträger der kalkulatorischen Kosten sind). Werden Triebfahrzeugausfallkosten und kalkulatorische Abschreibung der Servicehalle nicht berücksichtigt, ergibt sich keine Differenz.

6.4 Ergebnis der Analyse von PPS-Teilaufgaben

Aus der theoretisch-wissenschaftlichen Betrachtung der PPS-Teilaufgaben in der Schienenfahrzeuginstandhaltung und der Analyse der vorhandenen Schwachstellen lassen sich folgende Maßnahmen als strategisches Konzept ableiten:

1. **Die Strategieadäquanz** der Prozesse und Strukturen
2. **Eine prozessorientierte Aufbauorganisation**, angepasst an das Produktportfolio der Werkstätte
3. **Die Durchlaufzeitverkürzung** durch flexible Arbeitszeiten bei Revisionen und Refurbishment-Projekten
4. **Optionale Einführung von Schichtarbeit**, um die Betriebszeiten („Werkstattöffnungszeiten“) zu erweitern

Unter der **Strategieadäquanz** der Prozesse wird die Anpassung der Werkstätten- bzw. Instandhaltungsorganisation und -prozesse an die Unternehmensziele verstanden. „Structure follows strategy“⁹⁷: Der Zusammenhang von Strategie und Strukturen wurde von CHANDLER in seiner These bereits Anfang der 60er Jahre formuliert. Wenn z.B. eine Baureihe von Schienenfahrzeugen innerhalb eines definierten Zeitraumes mit Komponenten nachgerüstet/modernisiert werden muss, so sind dafür entsprechende Strukturen zu schaffen. Als Objekte des strategischen Managements sind laut HUNGENBERG Strategien, Strukturen und Systeme zu verstehen⁹⁸. Sobald es gelingt, neue Strategien in QM-konforme Prozesse, Verfahrensanweisungen und Strukturen zu formulieren, sind die Grundlagen für eine erfolgreiche Umsetzung der Strategie geschaffen. KRÜGER subsummiert als Gestaltungsparameter der Organisation zur Umsetzung von Strategien⁹⁹ die Form der Aufgabenspezialisierung, die Gestaltung der Weisungsbefugnisse und die Verteilung der Entscheidungsaufgaben.

Unter **Strategieadäquanz** ist auch zu verstehen, dass Wettbewerbsvorteile (z.B. einer Schienenfahrzeugwerkstätte) durch gezielte strategische Stärkung der Kernkompetenzen genutzt werden.

Eine **prozessorientierte Aufbauorganisation**, angepasst an das Produktportfolio bzw. das Tätigkeitsfeld der Werkstätte, kann sowohl strukturelle als auch produktionstechnische Probleme - wie die Kapazitätsabstimmung, die Durchlaufzeit, die Terminierung, die Ablaufplanung bzw. generell Themen der Werkstattsteuerung - lösen. Das Produktportfolio (siehe auch Kap. 4.4, S. 69 ff.) zeigt, dass die Werkstätte der GKB vier Prozesse abwickelt:

- § Die präventive Instandhaltung
- § Die korrektive Instandhaltung
- § Das Refurbishment (Modernisierung, Nachrüstung von Komponenten)

⁹⁷ CHANDLER, A.: Strategy and Structure, Cambridge 1962

⁹⁸ HUNGENBERG, H.: Strategisches Management in Unternehmen, Wiesbaden 2001

⁹⁹ KRÜGER, W.: Organisation der Unternehmung, Stuttgart 1994

§ Die Revision bzw. Hauptuntersuchung von Schienenfahrzeugen (Dieselloks, Dieseltriebwagen, Güterwagen, Nebenfahrzeuge)

Für die präventive Instandhaltung, die korrektive Instandhaltung und das Refurbishment existieren Ablaufdiagramme bzw. Verfahrensanweisungen im QM-System (siehe Kap. 4.4 bzw. im Anhang). Als erster Schritt sollte demzufolge eine Verfahrensanweisung bzw. ein Ablaufdiagramm für den Prozess der Revisionen erstellt werden.

Die derzeitige Aufbauorganisation (Teamstruktur) ist berufs-/funktionsorientiert. Bis zum Jahr 2008 entsprach die Teamstruktur den Prozessen der Werkstätte, damit war die Zuständigkeit – mit den Teamleitern als Prozessverantwortliche – und die Verantwortlichkeit für die Einhaltung von Terminen den Teamleitern zugeordnet. Ab 2008 wurde die Aufbauorganisation wieder nach dem Funktionalprinzip (berufsbezogen) geformt. Beide Varianten der Aufbauorganisation besitzen Vor- und Nachteile.

Die Erkenntnis daraus - im Sinne eines strategischen Konzeptes - ist die **Schaffung einer kombinierten Aufbauorganisation**, die die Vorteile (und Erfahrungen) aus beiden Aufbauorganisationsstrukturen vereint:

- § Durchführung der präventiven und korrektiven **Instandhaltungsarbeiten** mit hoher Qualität nach dem **Funktionalprinzip** (berufsgruppenbezogene Teamstruktur) und
- § **Prozessorientierte** Durchführung von **Refurbishment- und Revisionsprojekten** mit eigenen projektbezogenen Teams samt Teamleiter(n). Diese Teams werden als Task Force Teams bei Refurbishment- oder Revisionsaufträgen gebildet und können nach erfolgreichem Abschluss (und Mangel an weiteren Projekten) wieder aufgelöst werden. Während der Auftragsabwicklung liegt die Verantwortlichkeit für die Produktionssteuerung (vor Ort) wieder beim Teamleiter

Den Vorteilen einer derartigen Aufbauorganisation, wie z.B.

- § Flexibilität
- § Leistungssteigerung mit zunehmender Aufgabenvielfalt
- § gute Koordinierbarkeit, gute Überschaubarkeit der Arbeitsfortschritte
- § eigenverantwortliche (Arbeits) Zeiteinteilung
- § Entlastung der Führungsinstanzen

§ Möglichkeit der Spezialisierung der Teamleiter der Refurbishmentprojekte und der Revisionsprojekte

steht als Nachteil gegenüber, dass sich eine kombinierte Aufbauorganisation nur mit einer gewissen (personellen) Gesamtgröße der Werkstätte verwirklichen lässt; unter einer kritischen Größe lässt sie sich nicht mehr umsetzen.

Die **Durchlaufzeitverkürzung** bei Refurbishment- oder Revisionsprojekten könnte durch eine flexiblere Arbeitszeitgestaltung in Kombination mit der o.a. prozessorientierten Aufbauorganisation erzielt werden. Die Auftragszeit bei Revisionsprojekten beträgt meist weit über 1.000 Mannstunden. Diese können nur dann erbracht werden, wenn die (berufsbezogenen) Teams neben den präventiven und korrektiven Tätigkeiten, die am selben Tag durchgeführt werden müssen, genügend personelle Reserven besitzen, ein oder zwei Mitarbeiter für Revisions-/ Refurbishmentprojekte zuzuteilen. Bei krankheitsbedingten Ausfällen oder während der saisonalen Urlaubszeiten kommen derartige Großprojekte somit beinahe zum Stillstand.

In Verbindung mit der o.a. Aufbauorganisation könnten Task Force Teams für Refurbishment und/oder Revisionen unter Teamleiter-Verantwortung die Arbeitszeiten mehr oder weniger frei einteilen. Der Teamleiter wäre dann dafür verantwortlich, dass täglich zwischen z.B. 06.30 bis 19.30 am Fahrzeug gearbeitet wird. Je nach Arbeitsfortschritt koordiniert er die jeweiligen Tätigkeiten und die dafür erforderlichen Berufsgruppen innerhalb der flexiblen Zeiteinteilung in seinem Team. Derartige Arbeitszeitmodelle haben sich z.B. in den Schienenfahrzeugwerkstätten der DB AG bewährt, finden aber auch in den Werkstätten der ÖBB TS sukzessive Anwendung.

Der **Zweischichtbetrieb** wäre eine weitere Steigerungsform der flexiblen Arbeitszeit, um die Betriebszeiten (der Werkstätte) von den in der Regel kürzeren Tagesarbeitszeiten der Mitarbeiter zu entkoppeln. Grundsätzlich werden in Produktionsbetrieben Schichtsysteme eingeführt, wenn hohe Anlageninvestitionen durch entsprechend längere Betriebszeiten möglichst kurzfristig zu amortisieren sind. Damit wäre theoretisch eine Kapazitätsnutzung (Servicehalle und Werkstätteninfrastruktur) von bis zu 16 Stunden am Tag möglich und gleichzeitig die Voraussetzung für Durchlaufzeitverkürzungen bei vorhandener Infrastruktur geschaffen.

Bei einem Zweischichtbetrieb wird ein Arbeitsplatz von 2 Mitarbeitern „besetzt“; erst dadurch ergibt sich eine reale Verlängerung der Tätigkeitszeit am Fahrzeug und – im

Optimum - eine Halbierung der Durchlaufzeit. Dies würde eine Verdoppelung der Personalkapazität bei gleichbleibender Anzahl von Arbeitsplätzen bedingen. Umgekehrt hätte die Einführung eines Zweischichtbetriebes bei gleichbleibender Personalkapazität die Halbierung der Arbeitsplätze und eine dislozierte „Aufteilung“ der anwesenden Werkstättenmitarbeiter zur Folge. Dies würde bei der derzeitigen Flottengröße die Reaktionszeiten auf Reparaturanforderungen verdoppeln und sich produktionstechnisch nachteilig auswirken: Der Anteil der Arbeitsvorbereitung und Einmaltätigkeiten an den Auftragszeiten würde zunehmen.

Als „strategisches Konzept“ im Sinne des Grazer Modells besitzen die Strategieadäquanz, eine prozessorientierte Aufbauorganisation und die Durchlaufzeitverkürzung oberste Priorität – der Zweischichtbetrieb bedarf einer gesonderten betriebswirtschaftlichen Prüfung vor seiner Einführung.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Resümierend lässt sich die im Zuge dieser Diplomarbeit programmierte Software, der GTW Maintenance Calculator, als essentielles Ergebnis festhalten. Die wesentlichen Merkmale dieses Berechnungsprogrammes stellen sich wie folgt dar:

- § 100%ige Erfassung aller Instandhaltungstätigkeiten an der neuen Fahrzeugflotte im Vorfeld
- § Optimierungsrechnung auf „Knopfdruck“
- § Entscheidungsgrundlage für die Produktionsplanung & –steuerung (Prioritätsregeln, Terminermittlung, DLZ-Verkürzung) in der Schienenfahrzeuginstandhaltungswerkstätte der GKB
- § Möglichkeit der Variantenrechnung über die gesamte Flotte & Nutzungsdauer der neuen Gelenktriebwagen

Weitere Ergebnisse der Diplomarbeit sind:

- § Die Durchführung aller präventiven Instandhaltungsmaßnahmen eines Schienenfahrzeuges in Teillosen (Time-Slots) ist zulässig, sowohl nach österreichischem Eisenbahnrecht, als auch nach den derzeit anzuwendenden EU-Richtlinien, den Technischen Spezifikationen für Interoperabilität
- § Die Revision von Schienenfahrzeugen in Teilarbeitsgängen – rückwärts-terminiert vom Revisionsdatum als Zieltermin – ist demzufolge ebenso zulässig
- § Instandhaltungsstrategien, deren Schwerpunkt bei präventiven Maßnahmen liegt, stellen eindeutig den Stand der Technik in der Schienenfahrzeuginstandhaltung dar
- § Durch den zunehmenden Einsatz von IT-gestützten Zustandsüberwachungssystemen wird die Schienenfahrzeuginstandhaltung effizienter und zielgerichteter; Zustandsüberwachungssysteme, die Daten kontinuierlich und/oder automatisiert auf einen Instandhaltungsserver übertragen, stellen derzeit „Best Practice“ dar
- § Die Umsetzung des Instandhaltungsplanes eines Dieseltriebwagens in einer mittelständischen Werkstätte kann mit produktionstechnischen Ansätzen optimiert werden
- § Die Analyse aller Instandhaltungsstufen eines Dieseltriebwagens zeigt, dass die Durchlaufzeitverkürzung einzelner Instandhaltungsstufen Kosteneinsparungen auf Unternehmensebene bewirken kann
- § Basierend auf der Analyse der Teilaufgaben der PPS wurden Empfehlungen als „Strategisches Konzept“ abgeleitet

Die nächsten Entwicklungsschritte der Schienenfahrzeuginstandhaltung werden IT-getrieben sein und können sich z.B. als Implementierung von

- § Condition Monitoring Systems (CMS) zur Überwachung von Verschleißdaten, wie z.B. von Radprofildaten oder von weiteren Informationen über den aktuellen Zustand der Türsteuerungen, Fahrgastklimaanlagen oder vom Motorölzustand des Dieselmotors
- § Computerized Maintenance Management Systems (CMMS) mit Funk-Störungsübermittlung in ein Asset Management System
- § Virtual Engineering Systemen zur Visualisierung von z.B. Arbeitsabläufen oder der Einbauorte von Komponenten
- § elektronischen Ersatzteilkatalogen (eETK)

manifestieren. Schließlich und endlich werden die in anderen Industriezweigen eingesetzten Wissensmanagementsysteme (WMS) Einzug in die Schienenfahrzeugindustrie halten und könnten auch einen Beitrag zur Sicherung der Marktposition und des Know-how-Vorsprunges einer Schienenfahrzeugwerkstätte leisten.

8 Verzeichnisse

8.1 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1.1	DB Partnerwerkstätten in Mitteleuropa	2
Abb. 1.2	Der neue dieselelektrische Triebwagen der Type Stadler GTW2/8.....	4
Abb. 1.3	Luftaufnahme des Graz Köflacherbahnhofes aus dem Jahre 2006.....	4
Abb. 1.4	Ansicht der neuen Servicehalle im Jahre 2011	4
Abb. 1.5	Struktureller Aufbau der Diplomarbeit	8
Abb. 2.1	Produktion als Kombinationsprozess von Produktionsfaktoren	9
Abb. 2.2	Zur Ableitung von Programmen im Produktionsmanagement	10
Abb. 2.3	Operative Terminplanung für einen Produktionsprozess	10
Abb. 2.4	Unterschiedliche Ausprägung von Aufträgen nach REFA, 1991	11
Abb. 2.5	Bereichsspezifische Ziele im Produktionsmanagement.....	12
Abb. 2.6	Das Dilemma der Ablaufplanung.....	13
Tab. 2.7	Anwendungssysteme im Umfeld der Produktion	13
Tab. 2.8	Aufgabengliederung der Produktionsplanung und –steuerung.....	14
Tab. 2.9	Teilaufgaben in der Produktionsplanung.....	15
Abb. 2.10	Teilaufgaben in der Produktionssteuerung	17
Abb. 2.11	Gliederung der Durchlaufzeit nach REFA	18
Abb. 2.12	Die Kapazitätsabstimmung.....	20
Abb. 2.13	Die Aufgabenschwerpunkte im Personalmanagement	21
Abb. 2.14	Die relevanten Einflussfaktoren zur Ermittlung des Personalbedarfs	21
Abb. 2.15	Arten der Terminermittlung.....	22
Abb. 2.16	Aufbau von Prioritätsregeln	23
Abb. 2.17	Methoden der Terminierung	24
Abb. 3.1	Gliederung von Schienenfahrzeugen	26
Tab. 3.2	Regelungen für die Instandhaltung in Abhängigkeit von der Schienenfahrzeuggattung	27
Tab. 3.3	TSI für HGV, Stand Juni 2010.....	31
Tab. 3.4	TSI für konventionellen Verkehr, Stand Juni 2010	31
Tab. 3.5:	TSI für HGV und konventionellen Verkehr, Stand Juni 2010.....	31
Tab. 3.6	TSI, die im Jahre 2011 erwartet werden	32
Tab. 3.7	Revisionsfristen von Schienenfahrzeugen im Schweizer Eisenbahnrecht	37
Abb. 3.8	Produktlebensweg	44
Abb. 3.9	Begriffszusammenhänge Qualität, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit	45
Abb. 3.10	Begriffshierarchie Zuverlässigkeit – Sicherheit - Wirtschaftlichkeit.....	45
Abb. 3.11	Die Grundlagen der Schienenfahrzeuginstandhaltung	47
Abb. 3.12	Der Handlungsrahmen nach EU-Regularien.....	49
Abb. 4.1	Schwere Instandhaltung (HU, Revisionen) in der Halle der „Lokmontierung	50

Abb. 4.2	Der optimale Punkt einer Instandhaltung(sstrategie)	52
Abb. 4.3	Ausprägungen von Instandhaltungsstrategien	54
Abb. 4.4	Instandhaltungsstrategien	55
Tab. 4.5	Hierarchisches Rahmenmodell zur Instandhaltungsterminologie	55
Tab. 4.6	Vor- und Nachteile von Instandhaltungsstrategien in Bezug auf Nachhaltigkeits- dimensionen	56
Abb. 4.7	„Badewannenkurve“ der Instandhaltung	57
Abb. 4.8	Wartungstermine VT70, präventiver Instandhaltungsplan	59
Abb. 4.9	Anmeldung der MA zur Arbeit über RFID	65
Abb. 4.10	Arbeitsaufträge samt Time-Slots	65
Abb. 4.11	Touchscreens zur Auftragsrückmeldung	65
Abb. 4.12	Eines der drei Wartungsgleise	65
Abb. 4.13	Vereinfachtes Organigramm einer funktionsorientierten Linienorganisation	67
Abb. 4.14	Vereinfachtes Organigramm einer anlagen / (prozess) orientierten Stab-Linien-Organisation	67
Abb. 4.15	Vereinfachtes Organigramm einer funktional- und anlagenorientierten IH-Organisation	68
Tab. 4.16	Vor- u. Nachteile von Aufbauorganisationsstrukturen	68
Abb. 4.17	Vereinfachtes Organigramm einer Matrixorganisation	69
Tab. 4.18	Vor- und Nachteile einer Matrixorganisation	69
Abb. 4.19	Produktportfolio der GKB Werkstätte	71
Abb. 4.20	Prozess der präventiven Instandhaltung bei der GKB	72
Tab. 4.21	Instandhaltungsstufen des GTW 2/8 in der Ausführung der GKB	73
Abb. 4.22	Der Instandhaltungsplan des Stadler Dieseltriebwagens GTW 2/8, Variante der GKB	74
Abb. 4.23	Prozess der korrektiven Instandhaltung bei der GKB	76
Abb. 4.24	Prozess des Refurbishments bei der GKB	79
Abb. 4.25	Anwendung des ISHIKAWA-Diagramms	80
Abb. 4.26	Schnittstelle der Werkstättenprozesse zur Materialwirtschaft	81
Abb. 4.27	Optimales Planungs- und Informationsniveau, Kostenmodell der Instandhaltung	83
Abb. 4.28	Auftragsabwicklung im Instandhaltungsplanungs- und –steuerungssystem der GKB	86
Abb. 5.1	Benutzerblatt des Maintenance Calculators mit bspw. Ein-/Ausgabedaten	89
Abb. 5.2	Graphische Darstellung der Ergebnisse des Maintenance Calculators	90
Abb. 5.3	Tabellenblätter der Excel-Oberfläche	90
Abb. 5.4	Tabellenblatt „III. Listenform“	91
Abb. 5.5	Tabellenblatt „IV. Kostenfaktoren“	92
Abb. 5.6	Tabellenblatt „VI. Legende“ der Excel-Benutzeroberfläche	92
Abb. 5.7	Die feststehende Kopfzeile des Benutzerblattes	96
Tab. 5.8	Beschreibung der Sub-Procedures	96
Abb. 5.9	Drücken des RESET-Buttons vor jeder neuen Berechnung	98
Abb. 5.10	Aktivieren des Tabellenblattes „IV. Kostenfaktoren“	99
Abb. 5.11	Eingabe der Kostenfaktoren am Tabellenblatt „IV. Kostenfaktoren“	99

Abb. 5.12	Zurück zum Benutzerblatt	100
Abb. 5.13	Auswahlmöglichkeiten präventiver IH-Maßnahmen.....	101
Abb. 5.14	Auswahlmöglichkeiten korrektiver IH-Maßnahmen.....	102
Abb. 5.15	Auswahlmöglichkeiten der AV & Ablaufplanung	103
Abb. 5.16	Graphische Darstellung.....	103
Abb. 5.17	Druckansicht.....	104
Abb. 6.1	Die Grundstruktur im Prozess der Strategie-Entwicklung.....	105
Tab. 6.2	Eignung von Instandhaltungsstrategien für den Triebwagen GTW 2/8 der GKB	108
Tab. 6.3	Gegenüberstellung der Instandhaltung in Time-Slots zur eintägigen Durchführung	112

8.2 Literaturverzeichnis

- [Bastius 2009] BASTIUS, A., DB Fahrzeuginstandhaltung GmbH, Frankfurt, in: Herausforderung Verfügbarkeit, Kassel, 2009, S. 16
- [Baumgartner, Biedermann et al. 2006] BAUMGARTNER, Rupert J., BIEDERMANN, Hubert; KLÜGL, Franz; SCHNEEBERGER, Thomas; STROHMEIER, Georg; ZIELOWSKI, Christian: *Generic Management: Unternehmensführung in einem komplexen und dynamischen Umfeld*. 1. Aufl. Gabler Verlag Wiesbaden, 2006. – ISBN 9783835003699
- [Becker, Luczak 2003] BECKER, Jörg; LUCZAK, Holger (Hrsg.): *Workflowmanagement in der Produktionsplanung und Steuerung. Qualität und Effizienz der Auftragsabwicklung steigern*. Springer Verlag VDI Berlin Heidelberg, 2003. – ISBN 9783540005773
- [Biedermann 2007] BIEDERMANN, Hubert: *Praxiswissen Instandhaltung: Anlagenmanagement. Managementinstrumente zur Wertsteigerung*. 2. vollständig überarbeitete und aktualisierte Auflage. TÜV Media GmbH Köln, 2007. - ISBN 9783824910809
- [Catharin 2002] CATHARIN, Wolfgang: *Das Recht der Eisenbahnunternehmen des Schienenverkehrsmarktes*, in STOLZLECHNER (Hrsg), *Das Recht der Verkehrsgewerbe (2002)*, Springer Verlag Wien, 2002. - ISBN 3211837299
- [Catharin und Gürtlich 2007] CATHARIN, Wolfgang; GÜRTLICH, Gerhard H.: *Eisenbahngesetz. Kommentar samt ökonomischen und rechtlichen Grundlagen der Eisenbahnen*. 1. Linde Verlag Wien, 2007. – ISBN 9783707310696
- [Chandler 1962] CHANDLER, Alfred D.; *Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise*. Cambridge, 1962 in HUNGENBURG, H., *Strategisches Management in Unternehmen*. 3. Auflage. Gabler Verlag Wiesbaden, 2004. – ISBN 3409330631
- [DIN-VDE Taschenbuch 461 & 462] Deutsches Institut für Normung e.V., Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.: *Schienenfahrzeuge. Zustand der Eisenbahnfahrzeuge*. 1. Auflage. Beuth Verlag, 2007. – ISBN 9783410166061

- [Dangelmaier 2009] DANGELMAIER, Wilhelm: *Theorie der Produktionsplanung und –steuerung*. Springer-Verlag Berlin, 2009 - ISBN: 9783642006326
- [DB AG 2009, 2010] Deutsche Bahn AG: Unternehmen, Presse, Themendienst, Konzernportal: www.deutschebahn.com Deutschen Bahn AG, Berlin
- [Eisenbahntechnische Rundschau, ETR] Eisenbahntechnische Rundschau: Impulsgeber für das System Bahn, Heft 1+2, 2011, S. 57-59 DVV Media Group GmbH, Eurailpress, Hamburg
- [Ensthaler et al. 2007] ENSTHALER, Jürgen; STRÜBBE, Kai; BOCK, Leonie: *Zertifizierung und Akkreditierung technischer Produkte. Ein Handlungsleitfaden für Unternehmen*. 1. Aufl., Springer-Verlag Berlin, 2007 – ISBN 978-3540694359
- [Eversheim 2002] EVERSHEIM, Walter: *Organisation in der Produktionstechnik. Arbeitsvorbereitung*. 4. Auflage. Springer Verlage Berlin, Heidelberg, 2002. – ISBN 3540420169
- [Fendrich 2007] FENDRICH, Lothar (Hrsg.): *Handbuch Eisenbahninfrastruktur*. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2007. – ISBN 9783540295815
- [Herrmann 2010] HERRMANN, Christoph: *Ganzheitliches Life Cycle Management. Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung im Unternehmen*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2010 – ISBN 9783642014208
- [Janicki und Reinhard 2008] JANICKI, Jürgen; REINHARD, Horst: *Schienenfahrzeugtechnik*. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Bahn Fachverlag Heidelberg, Mainz, 2008 – ISBN 9783980800259
- [Krüger 1994] KRÜGER, Wilfried: *Organisation der Unternehmung*. 3. Auflage. Kohlhammer Verlag Stuttgart 1994 – ISBN 9783170135192
- [Kuntner und Waglechner 2009] KUNTNER, Reinhard; WAGLECHNER, Hannes: *Eisenbahnrecht*. 3. Aufl. ÖGB Verlag Wien, 2009. – ISBN 9783703513770
- [Matyas 2002] MATYAS, K.: *Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien*. In: *Industrie Management*, Jahrgang 18 (2002), Nr. 2, S. 13 bis 16. – ISSN 1434-1980
- [Moser et al. 2008] MOSER, Christian; HAIGERMOSER, Andreas: *Schienenfahrzeuge*. Skriptum zur Lehrveranstaltung, TU Graz. 2008

- [Reichel et al.2009] REICHEL, Jens; MÜLLER, Gerhard; MANDELARTZ, Johannes: *Betriebliche Instandhaltung*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2009. – ISBN 9783642005015
- [REFA 1985] REFA: *Methodenlehre der Betriebsorganisation - Planung und Steuerung, Teil 1, 2, 3. 4. Auflage*. Hanser Fachbuchverlag München, 1985. – ISBN 9783446163546
- [Schenk 2010] SCHENK, Michael (Hrsg.): *Instandhaltung technischer Systeme. Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs*. Springer Verlag Berlin Heidelberg 2010. – ISBN 9783642039485
- [Schuh 2006] SCHUH, Günther; *Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte*. 3., völlig neu bearbeitete Auflage. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 2006. – ISBN 9783540403067
- [Siemens 2010, 2011] SIEMENS AG, Sector Industry, Mobility Division, Fachpresse, Berlin <http://www.siemens.com/sustainability/de/stakeholders/kunden.htm>, Zugriffsdatum 30.12.2010
- [Thun-Hohenstein – Cede 1999] THUN-HOHENSTEIN, Christoph; CEDE, Franz: *Europarecht*. 3. völlig überarb. Auflage. Manz Verlag Wien, 1999. – ISBN 3214061542
- [Weidelich 2010] WEIDELICH, Friedhelm, Technik-Fachjournalist, Düsseldorf: *Vorausschauende Wartung verhindert Zugausfälle*, in <http://railomotive.com/>, Zugriffsdatum: Dezember 2010
- [Wohinz et al. 2009] WOHINZ, Josef W; *Industriebetriebslehre. Skriptum zur Lehrveranstaltung*. Technische Universität Graz 2009
- [Wohinz et al. 2009] WOHINZ, Josef W; EMBST, Sonja; FUCHS Hannes; PREMM Georg: *Industrial Management. Skriptum zur Lehrveranstaltung*. 6th edition, 2009
- [Wohinz 2003] WOHINZ, Josef W: *Industrielles Management – Das Grazer Modell*. Neuer Wissenschaftlicher Verlag Wien/Graz, 2003. – ISBN 3-7083-0143-9

8.3 Rechtsquellen

Diese werden untergliedert in europäische und nationale Rechtsquellen Österreichs, Deutschlands und der Schweiz.

8.3.1 Europäische Rechtsquellen (Sekundärrecht)

Richtlinie 96/48/EG des Rates vom 23. Juli 1996 über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems

ABl. L 235 vom 17.9.1996

Richtlinie 2001/13/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2001 zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen

ABl. L 75 vom 15.3.2001

Richtlinie 2001/14/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2001 über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung

ABl. L 75 vom 15.3.2001

Richtlinie 2002/730/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Instandhaltung" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1946)

ABl. L 245 vom 12.9.2002

Richtlinie 2002/731/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1947)

ABl. L 245 vom 12.9.2002

Richtlinie 2002/732/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Infrastruktur" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1948)

ABl. L 245 vom 12.9.2002

Richtlinie 2002/733/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Energie" des

transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1949)

ABl. L 245 vom 12.9.2002

Richtlinie 2002/734/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Betrieb" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1951)

ABl. L 245 vom 12.9.2002

Richtlinie 2002/735/EG: Entscheidung der Kommission vom 30. Mai 2002 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems "Fahrzeuge" des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG (Text von Bedeutung für den EWR) (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2002) 1952)

ABl. L 245 vom 12.9.2002

Richtlinie 2004/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 95/18/EG des Rates über die Erteilung von Genehmigungen an Eisenbahnunternehmen und der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn, die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur und die Sicherheitsbescheinigung (Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit)

ABl. L 164 vom 30.4.2004

Richtlinie 2004/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 zur Änderung der Richtlinie 96/48/EG des Rates über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und der Richtlinie 2001/16/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems

ABl. L 164 vom 30.4.2004

Richtlinie 2006/66/EG: Entscheidung der Kommission vom 23. Dezember 2005 über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem Fahrzeuge — Lärm des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2005) 5666) (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 37 vom 8.2.2006

Richtlinie 2006/679/EG: Entscheidung der Kommission vom 28. März 2006 über die Technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem Zugsteuerung/Zugsicherung und Signalgebung des konventionellen

transeuropäischen Eisenbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2006) 964) (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 284 vom 16.10.2006

Richtlinie 2006/860/EG: Entscheidung der Kommission vom 7. November 2006 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems und zur Änderung von Anhang A der Entscheidung 2006/679/EG vom 28. März 2006 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Zugsteuerung/Zugsicherung und Signalgebung des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2006) 5211) (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 342 vom 7.12.2006

Richtlinie 2006/861/EG: Entscheidung der Kommission vom 28. Juli 2006 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem Fahrzeuge — Güterwagen des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2006) 3345) Text von Bedeutung für den EWR

ABl. L 344 vom 8.12.2006

Richtlinie 2006/920/EG: Entscheidung der Kommission vom 11. August 2006 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2006) 3593) (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 359 vom 18.12.2006

Richtlinie 2007/58/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 zur Änderung der Richtlinie 91/440/EWG des Rates zur Entwicklung der Eisenbahnunternehmen der Gemeinschaft sowie der Richtlinie 2001/14/EG über die Zuweisung von Fahrwegkapazität der Eisenbahn und die Erhebung von Entgelten für die Nutzung von Eisenbahninfrastruktur

ABl. L 315 vom 3.12.2007

Richtlinie 2007/59/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Zertifizierung von Triebfahrzeugführern, die Lokomotiven und Züge im Eisenbahnsystem in der Gemeinschaft führen

ABl. L 315 vom 3.12.2007

Richtlinie 2008/110/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 zur Änderung der Richtlinie 2004/49/EG über Eisenbahnsicherheit in der Gemeinschaft (Richtlinie über die Eisenbahnsicherheit) (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 345 vom 23.12.2008

- Richtlinie 2008/163/EG:** Entscheidung der Kommission vom 20. Dezember 2007 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich Sicherheit in Eisenbahntunneln im konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystem und im transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystem (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2007) 6450) (Text von Bedeutung für den EWR)
ABl. L 64 vom 7.3.2008
- Richtlinie 2008/164/EG:** Entscheidung der Kommission vom 21. Dezember 2007 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität bezüglich eingeschränkt mobiler Personen im konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystem und im transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystem (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2007) 6633) (Text von Bedeutung für den EWR)
ABl. L 64 vom 7.3.2008
- Richtlinie 2008/217/EG:** Entscheidung der Kommission vom 20. Dezember 2007 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Infrastruktur des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2007) 6440) (Text von Bedeutung für den EWR)
ABl. L 77 vom 19.3.2008
- Richtlinie 2008/231/EG:** Entscheidung der Kommission vom 1. Februar 2008 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Betrieb des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG des Rates sowie zur Aufhebung der Entscheidung 2002/734/EG der Kommission (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2006) 356) (Text von Bedeutung für den EWR)
ABl. L 84 vom 26.3.2008
- Richtlinie 2008/232/EG:** Entscheidung der Kommission vom 21. Februar 2008 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Fahrzeuge des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2008) 648) (Text von Bedeutung für den EWR)
ABl. L 84 vom 26.3.2008
- Richtlinie 2008/284/EG:** Entscheidung der Kommission vom 6. März 2008 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Energie des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2008) 807) (Text von Bedeutung für den EWR)
ABl. L 104 vom 14.4.2008
- Richtlinie 2008/386/EG:** Entscheidung der Kommission vom 23. April 2008 zur Änderung von Anhang A der Entscheidung 2006/679/EG über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems und von Anhang A der Entscheidung 2006/860/EG über die

technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen K(2008) 1565) (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 136 vom 24.5.2008

Verordnung (EG) Nr. 62/2006 der Kommission vom 23. Dezember 2005 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem Telematikanwendungen für den Güterverkehr des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems (Text von Bedeutung für den EWR)

ABl. L 13 vom 18.1.2006

Verordnung (EG) NR. 881/2004 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 zur Errichtung einer Europäischen Eisenbahnagentur (Agenturverordnung)

ABl. L 164 vom 30.4.2004

Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über öffentliche Personenverkehrsdienste auf Schiene und Straße und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 1191/69 und (EWG) Nr. 1107/70 des Rates

ABl. L 315 vom 3.12.2007

Verordnung (EG) Nr. 1371/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Rechte und Pflichten der Fahrgäste im Eisenbahnverkehr

ABl. L 315 vom 3.12.2007

8.3.2 Nationale Rechtsquellen

8.3.2.1 Österreichische Rechtsquellen

AVO Verkehr: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über die Berücksichtigung der Erfordernisse des Arbeitnehmerschutzes und über den Nachweis der Einhaltung in Genehmigungsverfahren des Verkehrswesens (Arbeitnehmerschutz-verordnung-Verkehr) idF BGBl II 2010/251

EisbAV: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über den Schutz von ArbeitnehmerInnen im Bereich von Gleisen (Eisenbahn-ArbeitnehmerInnenschutzverordnung) idF BGBl II 2009/208

EisbBBV: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie, mit der die Verordnung über den Bau und Betrieb von Eisenbahnen erlassen wird sowie die Verordnung über den Bau, den Betrieb und die Organisation von Eisenbahnen geändert wird (Eisenbahnbau- und -betriebsverordnung) idF BGBl II 2008/398

EisbG 1957: Bundesgesetz über Eisenbahnen, Schienenfahrzeuge auf Eisenbahnen und den Verkehr auf Eisenbahnen (Eisenbahngesetz 1957) idF BGBl I 2010/25

EisbVO 2003: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über den Bau, den Betrieb und die Organisation von Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung 2003) idF BGBl II 2008/398

Eisenbahn-Kreuzungsverordnung 1961: Verordnung des Bundesministeriums für Verkehr und Elektrizitätswirtschaft vom 21. Dezember 1960 über die Sicherung und Benützung schienengleicher Eisenbahnübergänge idF BGBl 1994/84

GGBG - Novelle 2007: Bundesgesetz, mit dem das Gefahrgutbeförderungsgesetz geändert wird (Gefahrgutbeförderungsgesetz) idF BGBl 1998/145

GGBV: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie, mit der die Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über die Beförderung gefährlicher Güter geändert wird (Gefahrgutbeförderungsverordnung) idF BGBl II 2005/214

MeldeVO-Eisb 2006: Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie über den Umfang und die Form der Meldungen von Unfällen und Störungen, die bei Eisenbahnunternehmungen auftreten, an die Unfalluntersuchungsstelle des Bundes idF BGBl II 2006/279

SchLV: Verordnung des Bundesministers für öffentliche Wirtschaft und Verkehr über die Lärmzulässigkeit von Schienenfahrzeugen (Schienenfahrzeug-Lärmzulässigkeitsverordnung) idF BGBl 1993/414

TFVO: Verordnung des Bundesministers für Wissenschaft und Verkehr über die Befugnis zur selbständigen Führung und Bedienung von Triebfahrzeugen (Triebfahrzeugführer-Verordnung) idF BGBl 1999/64

Tfzf-RI: Richtlinie für die Ausbildung, die Prüfung, den Einsatz, das Verhalten, die Unterweisungen sowie die Nachprüfungen der Triebfahrzeugführer bei den österreichischen Eisenbahnunternehmen (Triebfahrzeugführer-Richtlinie) idF BGBl III 2011/33

VO über geringfügige Veränderungen an Fahrbetriebsmitteln: Verordnung des Bundesministers für öffentliche Wirtschaft und Verkehr über geringfügige Veränderungen und Maßnahmen betreffend Fahrbetriebsmitteln, 1994 idF BGBl 1994/548

UUG: Bundesgesetz über die Errichtung der Unfalluntersuchungsstelle des Bundes, Unfalluntersuchungsgesetz idF BGBl I 2005/123

8.3.2.2 Deutsche Rechtsquellen

Allgemeines Eisenbahngesetz (AEG), letzte Neufassung vom 27. Dezember 1993 (BGBl. I S. 2378, 2396; zuletzt geändert durch Art. 7 G v. 29.07.2009 mit (BGBl. I S. 2542, 2574

Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (BOStrab) vom 11. Dezember 1987 (BGBl. I S. 2648), zuletzt geändert durch Art. 1 VO vom 8. November 2007 mit BGBl. I S. 2569

Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO), letzte Neufassung vom 08.05.1967, zuletzt geändert durch ÄndVO vom 19.03.2008 mit BGBl. I S. 467

Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen (ESBO), letzte Neufassung vom 25.02.1972, zuletzt geändert durch Art. 10 G vom 26. Februar 2008 mit BGBl. I S. 215, 218

Verordnung über die Sicherheit des Eisenbahnsystems (Eisenbahn-Sicherheitsverordnung ESiV) vom 5. Juli 2007 (BGBl. I S. 1305, 1318), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 9. Januar 2008 (BGBl. I S. 24)

8.3.2.3 Schweizer Rechtsquellen

Eisenbahngesetz (EBG) 742.101 mit Stand vom 1. Januar 2010

Eisenbahnverordnung (EBV) 742.141.1 mit Stand wie o.a.

Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV), insbesondere Artikel 13 Instandhaltung, Ausgabe am 02.07.2006

Richtlinie Art. 6a, 7 und 8 der Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen, Zulassung Eisenbahnfahrzeuge

Verordnung über die sicherheitsrelevanten Tätigkeiten im Eisenbahnbereich (STEBV) 742.141.2 mit Stand 1. Januar 2010

Einheitlicher Fehlerkatalog, Version 1.2, 05.11.2009

8.4 Normen

Aufgrund der kurzen Änderungszyklen der Normen werden diese nur in Kurzform (ohne Ausgabedatum) zitiert.

- ÖNORM M 7812-1f.:** Anforderungen an Betriebe, in denen Schweißarbeiten nach Güteklassen durchgeführt werden und Sicherung der Güte von Schweißarbeiten
- DIN EN ISO 3834-1ff.** Qualitätsanforderungen für das Schmelzschweißen von metallischen Werkstoffen
- DIN EN ISO 9001:2008** Qualitätsmanagementsysteme- Anforderungen
- DIN EN 12080** Bahnanwendungen - Radsatzlager - Wälzlager
- DIN EN 12663-1ff.** Bahnanwendungen- Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen
- DIN EN 13306** Instandhaltung- Begriffe der Instandhaltung
- DIN ISO 14000ff.** Umweltmanagementsysteme- Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
- DIN EN 14752** Bahnanwendungen - Seiteneinstiegssysteme
- DIN EN 15085ff** Schweißen von Schienenfahrzeugen
- DIN EN 25003** Bahnanwendungen - Systematik der Schienenfahrzeuge - Übersicht, Benennungen, Definitionen
- DIN 27200** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge -Grundsätze und Begriffe für den betriebssicheren Zustand
- DIN 27201ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Grundlagen und Fertigungstechnologien
- DIN 27202ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Fahrzeugaufbau und Sondereinrichtungen
- DIN 27203ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Fahrgastraum
- DIN 27204ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Fahrwerk
- DIN 27205ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Bremse
- DIN 31051** Grundlagen der Instandhaltung
- DIN VDE 0119-206ff** Zustand der Eisenbahnfahrzeuge - Elektro- und Traktionsanlagen

9 Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus gedruckter Literatur, ungedruckten Quellen oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich, dass die für die Erstellung dieser Firmendiplomarbeit erforderlichen unternehmensinternen Quellen im Zuge der Zwischenpräsentationen freigegeben wurden.

Graz, im März 2011

Thomas Ottschoffski

10 Anhang

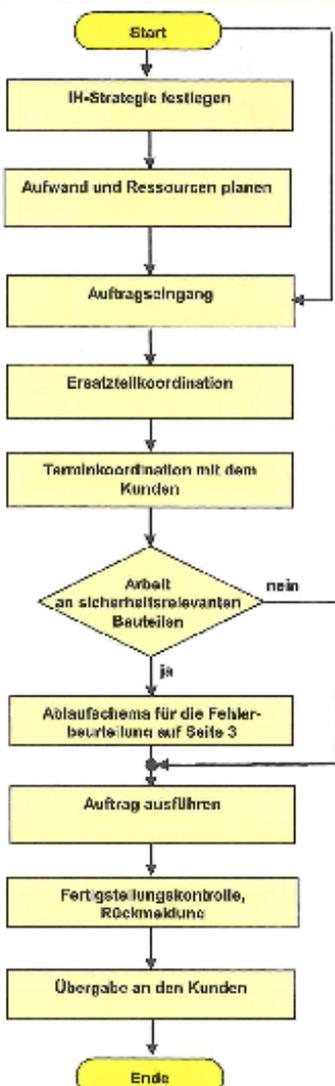
Abkürzungs- und Firmennamenverzeichnis

B	BDE	Betriebsdatenerfassung(ssoftware)
	BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
C	CBM	Condition Based Maintenance
	CMMS	Computerized Maintenance Management System
	CMS	Condition Monitoring System
	CSM	Common Safety Methods
	CST	Common Safety Targets
D	DB, DB AG	Deutsche Bahn AG
	DG	Drehgestell
	DMS	Dokumentenmanagementsysteme
	D-Tfz.	Dieseltriebfahrzeug
E	ECM	Entity in Charge of Maintenance
	EDM/PDM	Engineering & Product Data Management Systems
	EisbG	Eisenbahngesetz
	Eisb-VO	Eisenbahn-Verordnung
	E-Lok	Elektrolokomotive
	EK	Eisenbahnkreuzung
	ERP	Enterprise Resource Panning System
	eETK	elektronischer Ersatzteilkatalog
	EU-RL	Richtlinie der Europäischen Union
F	FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
	Frist(en)	Instandhaltungsfristen bzw. -intervalle
G	G-Hbf	Graz Hauptbahnhof
	GKB	Graz Köflacher Bahn und Busbetrieb GmbH
	GTW	Gelenktriebwagen der Fa. Stadler Rail AG
	GV	Güterverkehr
I	IH	Instandhaltung
	IHK, IH-Kosten	Instandhaltungskosten
	IH-Plan	Instandhaltungsplan
	IH-Stufe(n)	Instandhaltungsstufe(n)
	I & K	Information & Kommunikation
	IT	Information Technology
L	LCC	Life Cycle Costs

M	MA	Mitarbeiter
Ö	ÖBB	Österreichische Bundesbahnen
P	p.a.	per anno
	PDM	Product Data Management Systems
	PV	Personenverkehr
Q	QM	Qualitätsmanagement
R	RL bzw. RiLi	Richtlinie
S	SAP	Systeme Anwendungen & Produkte: ERP-SW
	SAP PM	Plant Maintenance: Modul Instandhaltung v. SAP
	SBB	Schweizer Bundesbahnen
	SCM	Supply Chain Management
	SGP	Simmering Graz Pauker AG
	SPNV	Schienenpersonennahverkehr
	SQMS	Safety and Quality Management System
	Stadler	STADLER Rail AG bzw. STADLER Bussnang AG
	Siemens (Mobility)	SIEMENS AG, Division des Sectors Industry
	successfactory	successfactory management coaching GmbH
	SW	Software
T	Teilsysteme der Bahn	Funktionseinheiten der EU-Richtlinien
	Tfz.	Triebfahrzeug
	Tfzf.	Triebfahrzeugführer
	Time-Slot	Zeitfenster für die Instandhaltung
	TSI	Technische Spezifikationen für Interoperabilität
V	VO	Verordnung
	VT	Verbrennungstriebwagen
W	WMS	Wissens Management Systeme
Z	zedas	Asset Management System der Fa. PC Soft GmbH

Index: 02	VA Werkstätte	 <small>FÜR KUNDEN FAHREN SIE AD</small>
09.08.10		

Anlage 1 zu VA 06.03-01 Ablaufdiagramm „Präventive Instandhaltung“

Input	Prozessschritte	Output	V	D	Hinweise
EB-TR-LE und N-BD (E-Mail, Fax, Liste Betriebsstunden und Kilometerleistungen, Zettel)		festgelegte und genehmigte IH-Strategie	EB-IH-EN	EB-IH-EN	Genehmigung durch §10-Person und EM/IT
Fahrzeugdaten, Herstellerangaben, Name, Erfahrungswerte		Kostenanschlag (Gesamtaufwand)	EB-IH-EN	EB-IH-EN, EB-IH-PK	Information an den Kunden
festgelegte und genehmigte IH-Strategie		wingegangener Kundenauftrag	EB-IH-PK	EB-IH-PK	Schnittstelle zur korrekiven IH!
Kundenauftrag		definierte Ersatzteile	EB-IH-TL	EB-IH-TL, EB-IH-MA	Schnittstelle zum Beschaffungsgewerk!
festgelegter Aufwand durch IH-Strategie		freier Termin mit dem Kunden	EB-IH-PK	EB-IH-PK	
definierte Ersatzteile		Festlegung über weitere Vorgehensweise	EB-IH	EB-IH-MA	Tabella durch §15 Person genehmigt
Tabella: Sicherheitsrelevante Bauteile in Schema Fahrzeugen auf Seite 2		Fehlerbeurteilung durch zuständigen Mitarbeiter	EB-IH	EB-IH-MA	
Fehler an diesen sicherheitsrelevanten Bauteil		ausgeführter Auftrag ausgefüllte Checkliste	ED-TL	ED-IH-MA	ev. Richtigung des Fahrzeuges, Schnittstelle zur korrekiven IH über den Koordinator!
Auftrag, Fahrzeug bzw. Anwesenheit, Ersatzteile, Personalressourcen, Checkliste		Meldung an den Koordinator ausgefülltes Formular Rückmeldung, Freigabe des Fahrzeuges	EB-IH-TL	EB-IH-TL, EB-IH-MA	ev. Abnahme- bzw. Probefahrt notwendig
ausgeführter Auftrag, Meldung an den Koordinator		ausgeliefertes Fahrzeug an den Kunden	EB-IH-PK	EB-IH-MA	Nachrechnungen in Rahmen der Jour-Fix-Sitzungen!
ausgeführter Auftrag, Meldung an den Koordinator					

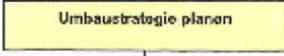
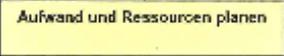
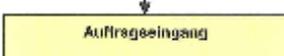
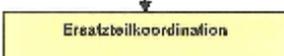
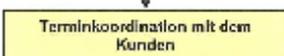
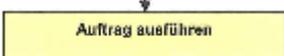
Index: 02	VA Werkstätte	 <small>GEBRAUCHSFAHRZEUGE</small>
09.08.10		

Anlage 2 zu VA 06.03-01 Ablaufdiagramm „Korrektive Instandhaltung“

Input	Prozessschritte	Output	V	D	Hinweise
	Start				
Auftrag, Störungsmeldung, Telefonat, Fax, Zedas	Auftrag entgegennehmen	Eingekommener Auftrag (mit ausgefülltem Störungsmeldungsformular)	EB-IH-PK	EB-IH-PK	Es gibt ein vom Kunden auszufüllendes Fehlermeldungsformular im Reparatur-Buch des jeweiligen Fahrzeugtyps
Eingekommener Auftrag (mit ausgefülltem Fehlermeldungsformular)	Koordination der Inspektion (Ortlichkeiten, Zeitraum,...)	koordinierte Inspektion, Vorbefund	EB-IH-TL	EB-IH-TL EB-IH-MK	
Fahrzeug, Vorbefund	Fehlersuche	Identifizierter Fehler, Weiterleitung an den Koordinator	EB-IH-TL	EB-IH-MK	
Identifizierter Fehler	Ressourcenplanung	zugeordnete Personalressourcen und Ortlichkeiten	EB-IH-II	FB-IH-II	
Identifizierter Fehler	Ersatzteilkoordination	definierte Ersatzteile	EB-IH-TL	EB-IH-MK	Schnittstelle zum Beschaffungsprozess I
Kundenwunsch nach Kostenveranschlagung identifizierter Fehler, definierte Ersatzteile, notwendige Personalressourcen	Kostenveranschlag erstellen (optional)	erstellter Kostenveranschlag	EB-IH-PK	EB-IH-TL	
Tablet: Sicherheitsrelevante Bauteile in Schemafahrzeugen auf Seite 2	Arbeit an sicherheitsrelevanten Bauteilen	Entscheidung über weitere Vorgehensweise	EB-II	FB-IH-MK	Tablet durch §40 Person genehmigt
Fehler an einem sicherheitsrelevanten Bauteil	Ablaufschema für die Fehlerbeurteilung auf Seite 3	Fehlerbeurteilung durch zuständigen Mitarbeiter	FB-II	FB-IH-MK	
Identifizierter Fehler, definierte Ersatzteile, notwendige Personalressourcen	Reparatur	repariertes Fahrzeug bzw. sonstige Maschine	FB-IH-TI	FB-IH-MK	In Zuge der Reparatur werden die notwendigen Ersatzteile bestellt (Schnittstelle zum Beschaffungsprozess I)
repariertes Fahrzeug bzw. sonstige Maschine	Fertigstellungskontrolle, Rückmeldung	Meldung an den Koordinator durch bearbeitete Störungsmeldung, Freigabe des Fahrzeuges	FB-IH-TI	FB-IH-TI, EB-IH-MK	ev. Probefahrerlaubnis
Meldung an den Koordinator, repariertes Fahrzeug bzw. sonstige Maschine	Abnahme durch den Kunden	vom Kunden abgenommene Fahrzeug	EB-IH-PK	EB-IH-MK	ev. Probefahrt mit dem Kunden, Nachbesprechungen im Rahmen der Teamfortschritts
	Ende				

Index: 02	VA Werkstätte	 <small>GEBRAUCHSFAHRZEUGE</small>
09.08.10		

Anlage 3 zu VA 06.03-01 Ablaufdiagramm „Refurbishment“

Input	Prozessschritte	Output	V	D	Hinweise
					
Kundenwunsch, V&L, BMW, Remus, Erfahrungswerte, Herstellerspezifikationen		festgelegte und genehmigte Umbaustategie	EB-IH-EN	ED-IH-EN, EB-IH-TL	Genehmigung durch §40-Personen mit BMW, V&L
festgelegte und genehmigte Umbaustategie		Kostenanschläge (Gesamtaufwand)	EB-IH-EN	EB-IH-EN, EB-IH-PK	Information an den Kunden
Kundenantrag		eingegangener Kundenantrag	EB-IH-PK	EB-IH-PK	Schrittstufe zur gegebenenfalls (neuen) Bauteile
festgelegter Aufwand durch Umbaustategie		definierte Ersatzteile	ED-IH-EN	ED-IH-TL, EB-IH-EN	Schrittstufe zum Beschaffungsprozess
definierte Ersatzteile		freier Termin mit dem Kunden	EB-IH-PK	EB-IH-PK	
Auftrag, Fahrzeug bzw. Arbeitsmittel, Ersatzteile, Personalressourcen, genehmigter Umbauplan		ausgeführter Auftrag	EB-IH-TL	ED-IH-MA	ev. Reinigung des Fahrzeuges
ausgeführter Auftrag, Normen		erstellte Bauteil-Bohrlochgenehmigung Meldung an den Koordinator	§40-Person	ED-IH-MA	ev. Probe- bzw. Abnahmebericht notwendig, Koordination mit BMW, V&L, L&L, §40, §41
Meldung an den Koordinator, erteilte Werkstattegenehmigung		ausgeliefertes Fahrzeug an den Kunden	EB-IH-PK	EB-IH-MA	Nachbesprechungen im Rahmen der Teambesitzungen
					

