

FACHHOCHSCHULE Braunschweig/Wolfenbüttel

Karl-Scharfenberg-Fakultät Salzgitter
Verkehr – Sport – Tourismus - Medien

Diplomarbeit

**Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von
Eisenbahnsystemen anhand von
Streckensimulationen
am Beispiel einer Nebenstrecke**

eingereicht bei:

Prof. Dr.-Ing. W.-R. Runge

Dipl.-Wirtsch.-Ing. K. Beck

vorgelegt von:

Benedikt Scheier

Matr.-Nr.: 40288358

Brahmsstraße 1

38106 Braunschweig

Braunschweig, den 16.01.2007

Abkürzungsverzeichnis

AEG	Allgemeines Eisenbahn Gesetz
BEK	Betrieberschwerniskosten
Brh	Bremshundertstel
BZ	Betriebszentrale
BV	Betriebsverfahren
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
EMSTW	Elektromechanisches Stellwerk
ERTMS	European Rail Traffic Management System
ESTW	Elektronisches Stellwerk
ESZB	Elektronisches Stellwerk für Signalisierten Zugleitbetrieb
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
GSM-R	Global System for Mobile Communications - Rail
H/V – System	Hauptsignal/ Vorsignal - System
IH – K	Instandhaltungskosten
Ks – Signale	Kombinationssignale
LCC	Life Cycle Costing (Lebenszykluskosten)
LEU	Telegrammcodierer
LST	Leit- und Sicherungstechnik
MSTW	Mechanisches Stellwerk
PZB	Punktförmige Zugbeeinflussung
RSTW	Relaisstellwerk o. Gleisbildstellwerk
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SZB	Signalisierter Zugleitbetrieb
TuZ	Technisch unterstützter Zugleitbetrieb
VBA	Visual Basic for Applications
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
ZLB	Zugleitbetrieb
Z/V – Diagramm	Zugkraft / Geschwindigkeits - Diagramm

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1.1	Beziehung der Leistungserbringung und Produktionsfaktoren zueinander bei der Kosten / Nutzen - Optimierung9
Abb. 2.1	Funktionen des Systems Eisenbahn früher und heute 12
Abb. 2.2	Skizze der Determinierung und des Eintritts der Kosten bei Eisenbahnsystemen 15
Abb. 2.3	Einteilung der Betriebsverfahren nach Pachl 17
Abb. 2.4	Betrieblicher und infrastruktureller Aufbau des Zugleitbetriebes 19
Abb. 4.1	Wartezeitfunktion 34
Abb. 4.2	Kostengliederungsstruktur der Lebenszykluskosten [BEC06] 37
Abb. 4.3	Einflussgrößen auf die Wirtschaftlichkeit des Oberbaus 43
Abb. 5.1	Bahnhofstopologie der zu untersuchenden Strecke 47
Abb. 5.2	Auswirkungen der Streckensperrung 57
Abb. 5.3	Auswirkungen der Weichenstörung 58
Abb. 5.4	präventive IH-Kosten für Anlagen + korrektive IH-Kosten eines Jahres 61
Abb. 5.5	Gegenüberstellung der jährlichen präventiven IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Referenzszenario 63
Abb. 5.6	Gegenüberstellung der jährlichen präventiven IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Referenzszenario 63
Abb. 5.7	Gegenüberstellung der jährlichen präventiven IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Referenzszenario 64
Abb. 5.8	Kosten über den Betrachtungszeitraum 65
Abb. 5.9	Anteil der Kostenarten an den Besitzkosten im Referenzszenario 66
Abb. 5.10	Anteil der Kostenarten an den Besitzkosten im Szenario ESTW 66
Abb. 5.11	Anteil der Kostenarten an den Besitzkosten im Szenario SZB 67

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 2.1	Vergleich der Betriebsverfahren in ihrer Funktionalität25
Tabelle 4.1	Einflussgrößen auf die Verkehrsnachfrage32
Tabelle 4.2	Betriebskosten von Schienenfahrzeugen.....39
Tabelle 4.3	Kostenblockanteile an LCC des ICE 2 [STR02].....40
Tabelle 4.4	Infrastrukturelemente und dessen Kostenarten.....41
Tabelle 4.5	Jahreskostenanteile einer hoch belasteten Hauptstrecke43
Tabelle 5.1	Streckenkatgorie R 80 im Vergleich mit dem Untersuchungsgegenstand.....48
Tabelle 5.2	Matrix zur Berechnung des Belastungsprofils der Untersuchungsstrecke52
Tabelle 5.3	Eingabedaten zur Modellierung der Szenarien in RailSys.....55
Tabelle 5.4	Auswirkung der Fahrplanstörung [Verspätungsminuten].....56
Tabelle 5.5	Auswirkungen der Fahrplanstörung (Anzahl betroffener Züge)57
Tabelle 5.6	Betriebskosten der Szenarien eines Jahres60
Tabelle 5.7	Instandhaltungskosten der Szenarien eines Jahres62
Tabelle 5.8	Jährliche, präventive IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Szenarienvergleich.....62
Tabelle 5.9	Betriebserschwerniskosten der Szenarien eines Jahres64
Tabelle 5.10	Einnahmen durch vergebende Trassenkilometer eines Jahres.....64
Tabelle 5.11	Kosten / Erlös - Struktur der Szenarien über Betrachtungszeitraum .65
Tabelle 6.1	Erweiterte Kostenbetrachtung über Kantenattributierung.....71

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	7
1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL DER ARBEIT	8
1.2 VORGEHENSWEISE DER ARBEIT	10
2 GRUNDLAGEN	11
2.1 EISENBahnINFRASTRUKTUR- / EISENBahnVERKEHRSUNTERNEHMEN	11
2.2 LEBENSZYKLUSKOSTEN (LCC)	12
2.2.1 <i>Definition Lebenszykluskosten</i>	13
2.2.2 <i>Ermittlung der Lebenszykluskosten</i>	14
2.2.3 <i>Betrachtung der Lebenszykluskosten im System Eisenbahn</i>	14
2.3 BETRIEBSVERFAHREN (BV)	16
2.3.1 <i>Funktionsweise und Aufbau ausgewählter Betriebsverfahren</i>	17
2.3.1.1 <i>Zugleitbetrieb (ZLB)</i>	17
2.3.1.2 <i>Technisch unterstützter Zugleitbetrieb (TuZ)</i>	20
2.3.1.3 <i>Signalisierter Zugleitbetrieb (SZB)</i>	20
2.3.1.4 <i>Elektronisches Stellwerk für den Signalisierten Zugleitbetrieb (ESZB)</i>	21
2.3.1.5 <i>Zugmeldeverfahren</i>	22
2.3.2 <i>Vergleich und Übersicht der Betriebsverfahren in ihrer Funktionalität</i> ...	24
3 DIE TOOLKOPPLUNG	26
3.1 DAS ZIEL DER TOOLKOPPLUNG	26
3.2 DAS TOOL ZUR WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	26
3.3 DAS EISENBahnBETRIEBSSIMULATIONSTOOL	27
3.4 DATENTRANSFER INNERHALB DER TOOLKOPPLUNG	29
3.5 BEGRÜNDUNG DER WAHL DES SIMULATIONSTOOLS FÜR DIE TOOLKOPPLUNG	29
4 WIRTSCHAFTLICHKEIT VON EISENBahnSYSTEMEN	30
4.1 NUTZEN / ERLÖSE	31
4.1.1 <i>Nutzen aus Sicht des EVU</i>	31
4.1.2 <i>Nutzen aus Sicht des EIU</i>	33
4.1.3 <i>Leistungsverhalten (Leistungsfähigkeit und Qualität)</i>	34
4.2 KOSTEN	36
4.2.1 <i>Eisenbahnverkehrsunternehmen</i>	38
4.2.1.1 <i>Beschaffungskosten</i>	38
4.2.1.2 <i>Betriebs- und Fahrwegkosten</i>	39
4.2.1.3 <i>Instandhaltungskosten</i>	39
4.2.1.4 <i>Anteile der Kostenblöcke an LCC</i>	40
4.2.2 <i>Eisenbahninfrastrukturunternehmen</i>	40
4.2.2.1 <i>Fahrbahn</i>	41
4.2.2.2 <i>Fahrweg</i>	44
4.2.2.3 <i>Sonstige Bahnanlagen</i>	45
5 WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNG ANHAND EINES STRECKENBEISPIELS	46
5.1 UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND	46
5.1.1 <i>Feste Parameter</i>	46
5.1.2 <i>Definition der Szenarien</i>	49
5.1.3 <i>Definition des Szenario SZB</i>	50
5.2 MODELLIERUNG DER SZENARIEN IN RAILSYS	54
5.3 UNTERSUCHUNG DER BETRIEBSQUALITÄT	56
5.4 DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE DER WIRTSCHAFTLICHKEITSBERECHNUNG	59
5.4.1 <i>Grundlegendes / Durchführung</i>	59
5.4.2 <i>Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsdurchführung</i>	60
5.4.2.1 <i>Betriebskosten</i>	60
5.4.2.2 <i>Instandhaltungskosten</i>	61
5.4.2.3 <i>Betriebserschwerernskosten und Erlöse</i>	64
5.4.2.4 <i>Kosten / Erlös - Struktur im Detail</i>	65
5.5 FAZIT BEZÜGLICH DER TOOLKOPPLUNG	68

6 ENTWICKLUNGSVORSCHLÄGE ZU DER TOOLKOPPLUNG	69
6.1 DURCHFÜHRUNG DER WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNG	69
6.1.1 Probleme	69
6.1.2 Lösungsvorschläge	70
6.2 WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNGEN WEITERER BETRIEBSVERFAHREN	70
6.3 Erweiterte Erfassung von Nutzen- / Kostenfaktoren	71
7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	72
8 AUSBLICK	74
LITERATURVERZEICHNIS	75
GLOSSAR	78
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	80
ANHANG.....	81

1 Einleitung

Der Verkehrsträger Schiene steht nach der großen Reform des Bahnwesens in diesem Jahrhundert vor weiteren großen Veränderungen, um dem Konkurrenzdruck anderer Verkehrsträger widerstehen zu können und um sich als effizienter und sicherer Anbieter von Verkehrsleistungen behaupten zu können. Im Fernverkehr sieht sich die Bahn neben dem Kraftwagenverkehr insbesondere gegenüber den Low Cost Airlines einem hohen Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Um diesen Druck entgegenwirken zu können, fokussiert die Deutsche Bahn AG Investitionen auf den Hochgeschwindigkeits- und Fernverkehr [ZIM03]. Dies bewirkt einen hohen Investitionsstau in das Nebennetz infolge mangelhafter Unterhaltung der Infrastruktur. Darüber hinaus zeichnet sich der Netzbetrieb aufgrund veralteter Betriebstechnologie auf den meisten Nebenstrecken durch einen hohen Personalbedarf aus.¹ Diese Merkmale nehmen negativen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Nebenstrecken. Um den Rückbau bzw. die Stilllegung der Nebenstrecken verhindern zu können, müssen bestehende Konzepte für die Betriebsführung im Nebennetz im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit optimiert bzw. Neue entwickelt werden.

Lösungen zu diesen Aufgaben zu eruiieren, ist das Ziel des Themenbereichs Bahnsysteme des Instituts für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.. In diesem Institut entsteht durch Kopplung eines mikroskopischen Eisenbahnbetriebssimulationstools und eines eigens entwickelten Excel-basierten Tools zur Wirtschaftlichkeitsberechnung eine Analyse der Nutzen und der Kosten der Betriebsführung auf Eisenbahnstrecken, -knoten oder -teilnetzen. Die vorliegende Arbeit setzt sich mit der Idee der Toolkopplung auseinander, in dem sie anhand eines fiktiven Nebenstreckenbeispiels mit dem jetzigen Entwicklungsstandes der Toolkopplung eine Betrachtung des Ist-Zustandes und möglicher Varianten der Betriebsführung und der Infrastruktur durchführt, um eine Empfehlung für einen wirtschaftlichen Betrieb geben zu können.

¹ Laut Daten und Fakten zum Geschäftsbericht 2005 der DB AG sind 640 von 5.085 Stellwerken elektronisch und 11.413 von 21.827 Bahnübergängen technisch gesichert. (Quelle: http://www.db.de/site/shared/de/dateianhaenge/berichte/daten_und_fakten_2005.pdf)

1.1 Problemstellung und Ziel der Arbeit

Aufgrund zumeist schwacher Verkehrsnachfrage bedürfen insbesondere Nebenstrecken einer Untersuchung ihres wirtschaftlichen Betriebes. Ziel der Untersuchung ist, den Umfang des Gleisnetzes und den Bedarf der Leit- und Sicherungstechnik (LST) mit dem Hintergrund der Instandhaltung und der laufenden Kosten angemessen zu gestalten. Gefragt sind dabei technische und organisatorische Lösungen, die auf den jeweiligen Einsatzfall skalierbar sind. Gegenwärtig gibt es keine ideale Lösung für alle Einsatzfälle, da Verkehrsnachfrage, Zustand und Art der infrastrukturellen Voraussetzung und das Anforderungsprofil an die Betriebsführung sich von Fall zu Fall unterscheiden [BER06]. Die Kosten für Sanierung und Instandhaltung der Infrastruktur sind, unter anderem aufgrund des (technologischen) Alters, ein erheblicher Kostenfaktor. Die Betrachtung der Lebenszykluskosten einzelner Anlagenteile ist von Vorteil, um Empfehlungen für Instandhaltungspläne oder gar alternativer Infrastrukturvarianten aus wirtschaftlicher Perspektive geben zu können.

Des Weiteren ist die Leit- und Sicherungstechnik zumeist ausschlaggebend bei den hohen Gesamtkosten, da wegen eines ungenügenden Modernisierungsgrads die Betriebskosten erheblich sind (umfangreicher Personalaufwand). Eine weitere Aufgabe besteht bei Strecken mit schwacher Verkehrsnachfrage einen hohen Automatisierungsgrad (hohe Investition, geringer Personalaufwand) gegenüber einer manuellen, technisch unterstützten Sicherung des Zugbetriebes (geringe Investition, hoher Personalaufwand) abzuwägen. Zusätzlich ist diese Entscheidung unter dem Aspekt der optimalen Bemessung und Nutzbarkeit der Eisenbahnbetriebsanlagen zu fällen (Abbildung 1.1). Dieses weitere Ziel mit dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit wird erreicht

- durch eine nachfragegerechte Erfüllung der Leistungsanforderung sowohl in qualitativer (Fahrplanqualität, Betriebsqualität) als auch quantitativer Hinsicht (Leistungsfähigkeit → Erlöse).
- mit einem möglichst „geringen Produktionsaufwand“ durch „schlanke“ Produktionsfaktoren (Kosten).

Diese Optimierungsaufgabe ist jedoch nicht trivial zu lösen, da eine unabhängige Optimierung der Produktionsfaktoren oder der Leistungserbringung zu einer mangelhaften Betriebsqualität oder zu nicht am Trassenmarkt nachgefragten

Fahrwegkapazitäten führt. [SCH03] Die Anforderungen an die Sicherheit sind dabei stets einzuhalten.

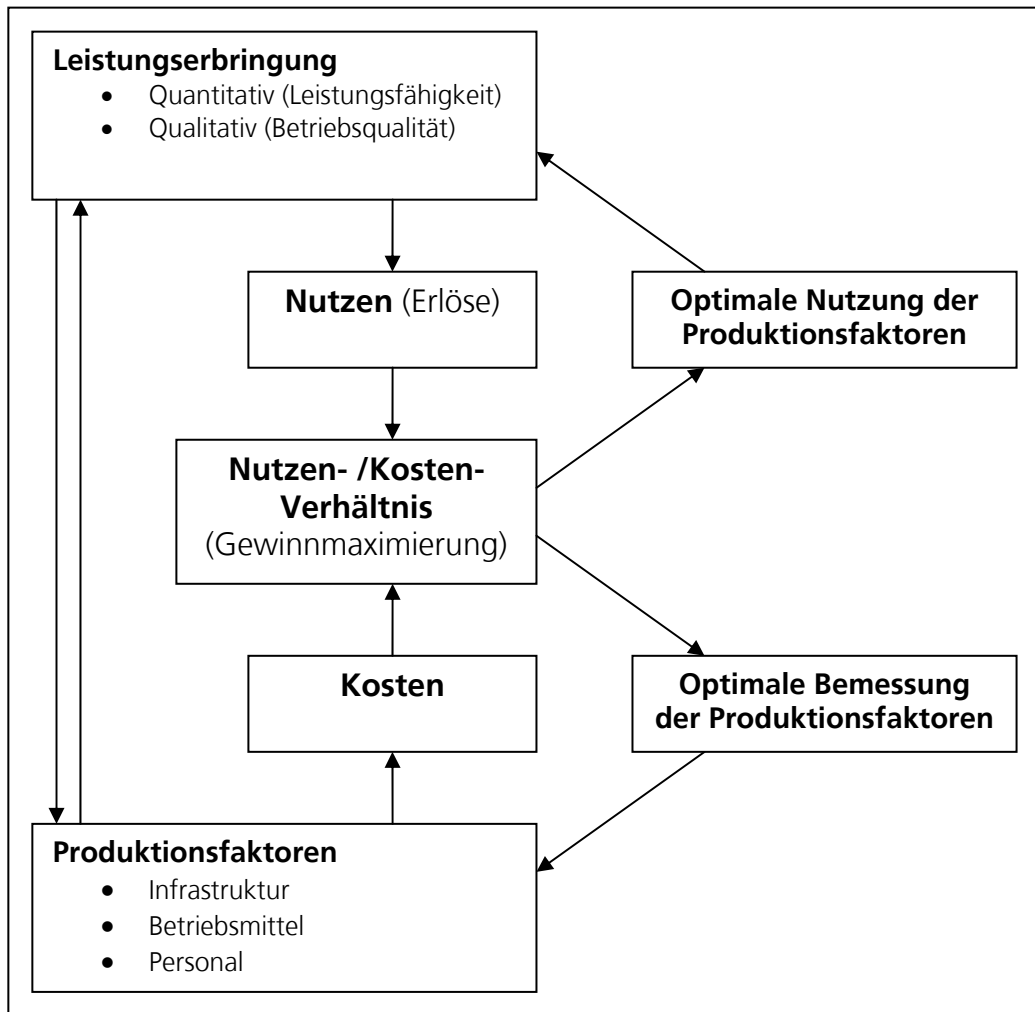


Abbildung 1.1: Beziehung der Leistungserbringung und Produktionsfaktoren zueinander bei der Kosten / Nutzen - Optimierung

Mit mikroskopischen Eisenbahnbetriebssimulationstools ist die Optimierung der Nutzung bzw. der Bemessung der Infrastruktur möglich. Mittels Simulation kann der Fahrplan bezüglich einer bestehenden Infrastruktur optimiert werden bzw. die Infrastruktur einer gegebenen Leistungsanforderung angepasst werden. Die Fahrplanqualität kann direkt über Qualitätskenngrößen im Fahrplan selbst bestimmt werden, die Betriebsqualität über Auswirkungen von Störungen des Fahrplans. Diese Optimierungen erfolgen rein betrieblich. Kostenbetrachtungen können mit diesen Tools nicht durchgeführt werden. Um die Kosten quantifizieren zu können, stehen zwei Betrachtungen aus:

- Die Betrachtung der Lebenszykluskosten der Betriebsanlagen.
- Die Einbeziehung des Aufwandes für Betriebsmittel und Personal bei der Vorhaltung und Betriebsführung der Infrastruktur in einer Lebenszykluskostenbetrachtung des zu untersuchenden Systems.

Diese Nicht - Betrachtungen führen zu einer unzureichenden Aussage über die tatsächlichen Kosten und machen die optimale Bemessung der Produktionsfaktoren unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten allein mit solch einem Tool nicht möglich.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung mit Hilfe der Kopplung eines Eisenbahnbetriebsimulationstools und des Tools zur Wirtschaftlichkeitsberechnung soweit der Entwicklungsstand der Toolkopplung es gebietet. Untersucht wird eine der Realität nachempfundenen Nebenstrecke. Anhand der Ergebnisse dieser Untersuchung ist eine Empfehlung für einen wirtschaftlichen Betrieb in Abhängigkeit des Betriebsverfahrens und der LST - Ausrüstung bei gegebener Trassennachfrage zu geben. Auf Grundlage der Untersuchung erfolgt eine kritische Auseinandersetzung mit der Toolkopplung. Schwachstellen sowie mögliche Lösungsansätze sind aufzuzeigen.

1.2 Vorgehensweise der Arbeit

In einem ersten Schritt werden im Grundlagenteil der vorliegenden Arbeit die Auswirkungen der unternehmerischen Trennung des Infrastrukturbetriebes von dem Verkehrsbetrieb auf die durchzuführende Wirtschaftlichkeitsuntersuchung verdeutlicht. Nach einer allgemeinen Definition der Lebenszykluskosten, wird explizit auf Lebenszykluskostenbetrachtungen im System Eisenbahn eingegangen, um ihre Bedeutung bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Eisenbahnsystemen zu erläutern. Großen Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb einer Nebenstrecke hat die Auswahl der Betriebsverfahren. Die zur Auswahl stehenden Betriebsverfahren werden vorgestellt und aufgrund ihrer Funktionalität bewertet.

In dem zweiten Schritt werden die Ziele und die Funktionsweise der Toolkopplung vorgestellt. Im Kapitel „Wirtschaftlichkeit von Eisenbahnsystemen“ werden Einflussgrößen analysiert, die die Kosten und den Nutzen der Eisenbahnsysteme determinieren. Die Wechselwirkungen zwischen den Einflussgrößen werden herausgestellt.

Die eigentliche Wirtschaftlichkeitsuntersuchung der Nebenstrecke erfolgt im fünften Kapitel. In diesem wird der Untersuchungsgegenstand definiert und die Ergebnisse der Untersuchung präsentiert. Auf Grundlage der Untersuchung werden im sechsten Kapitel Probleme bei der Anwendung der Toolkopplung beschrieben und mögliche Entwicklungsvorschläge gegeben.

2 Grundlagen

2.1 Eisenbahninfrastruktur- / Eisenbahnverkehrsunternehmen

Die Funktionen des Systems Eisenbahn waren in der Hand staatlicher Organisationen, bis eine Neuverteilung der Verantwortlichkeiten zu privatwirtschaftlichen Unternehmen beschlossen wurde. Die Europäische Union schuf mit der Richtlinie 91/440 vom 29. Juli 1991 die Neuorientierung zur Entwicklung der Eisenbahnunternehmen. Ziel der Richtlinie ist nach Artikel 1 die Anpassung der Eisenbahnunternehmen an die Erfordernisse des Binnenmarktes zu erleichtern und ihre Leistungsfähigkeit zu erhöhen, indem „der Betrieb der Eisenbahninfrastruktur und die Erbringung von Verkehrsleistungen durch die Eisenbahnunternehmen voneinander getrennt werden, wobei die Trennung der Rechnungsführung obligatorisch, die organisatorische oder institutionelle Trennung fakultativ ist;“

Mit dem Allgemeinen Eisenbahngesetz (AEG) vom 27. Dezember 1993 hat Deutschland im Rahmen der seit 1994 realisierten Bahnreform diese EU - Richtlinie in nationales Gesetz umgesetzt. Durch § 1 Abs.1 dient dieses Gesetz „der Sicherstellung eines wirksamen und unverfälschten Wettbewerbs auf der Schiene bei dem Erbringen von Eisenbahnverkehrsleistungen und dem Betrieb von Eisenbahninfrastrukturen.“ In § 9 Abs.1 ist die Trennung öffentlicher Eisenbahnen in Eisenbahninfrastrukturunternehmen (folgend: EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (folgend: EVU) festgeschrieben.

Das EVU erbringt die Personen- bzw. Güterverkehrsleistung (Abbildung 1.1). Für jeden verkehrenden Zug kauft es vom jeweiligen EIU eine Streckentrasse, die räumlich und zeitlich begrenzt ist. Auf Grundlage der angemeldeten Trassen konstruiert das EIU den Fahrplan und führt im Falle von Betriebsstörungen Dispositionsmaßnahmen durch (Abbildung 1.1).

Funktionen im System Bahn	Ausgangslage	seit 1994 realisierte Bahnreform
Erbringen der Verkehrsleistung	Deutsche Bundesbahn bzw. Deutsche Reichsbahn	Eisenbahnverkehrsunternehmen
Betriebsführung der Infrastruktur (Fahrplankonstruktion und Disposition)		Eisenbahninfrastrukturunternehmen
Vorhaltung der Infrastruktur		

Abbildung 2.1: Funktionen des Systems Eisenbahn früher und heute

Fazit:

Für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bedeutet dies eine Trennung der Kosten und Erlöse von EIU und EVU. Untersuchungen können aus der Sicht eines EIU oder EVU erfolgen. Da in der vorliegenden Arbeit eine Empfehlung für einen wirtschaftlichen Betrieb in Abhängigkeiten des Betriebsverfahrens und der Infrastrukturellen Ausrüstung zu geben sind, entspricht dies einer Kosten / Nutzen - Untersuchung aus der Sicht eines EIU.

2.2 Lebenszykluskosten (LCC)

Die wirtschaftliche Bewertung großer technischer Systeme, deren Lebensdauer sich über viele Jahre bis Jahrzehnte erstreckt, kann durchaus komplex sein: Verschiedenste Kostenfaktoren, die sich nicht allein auf die Beschaffungskosten beschränken, sind während der Lebenszeit des Systems zu berücksichtigen. Es entspricht der Alltagserfahrung, dass ein „billiges“ Produkt sich im Verlauf des Gebrauchs beispielsweise aufgrund hoher Wartungs- und Betriebskosten und bei der Entsorgung als sehr viel „teurer“ im Vergleich zu einem in den Investitionskosten teureren Produkt erweisen kann. Um diese Kostenfaktoren bestimmen und gegeneinander abwägen zu können, wurde die

Lebenszykluskostenanalyse entwickelt¹, auf die im Folgenden erst allgemein und dann spezifisch für den Eisenbahnsektor eingegangen wird.

2.2.1 Definition Lebenszykluskosten

Als Lebenszykluskosten, auch Life Cycle Cost (LCC) genannt, werden die über den gesamten Lebenslauf eines Objekts kumulierten Kosten bezeichnet. Das betrachtete Objekt kann sowohl ein Produkt, ein System oder auch ein Verfahren sein. Der Lebenszyklus ist als „Zeitintervall zwischen der Konzipierung und der Aussonderung eines Produktes“ [DKE05] definiert und besteht aus sechs Hauptphasen:

- Konzept und Definition
- Entwurf und Entwicklung
- Produktion / Herstellung
- Installation / Einbau
- Nutzung / Betrieb und Instandhaltung
- Entsorgung / Rückbau

Die in diesen Phasen auftretenden Kosten eines Produkts oder Systems werden im Allgemeinen dreifach untergliedert:

- Die **Beschaffungskosten** sind unmittelbar sichtbar und enthalten die Kosten vom Konzept bis zur Produktion eines Produkts. Installationskosten können enthalten sein.
- Die **Besitzkosten** beschreiben die Kosten für Betrieb und Instandhaltung. Sie sind nicht unmittelbar sichtbar, daher schwierig vorherzubestimmen und können auch Kosten im Zusammenhang mit der Installation beinhalten. Sie machen oft den Hauptteil der LCC aus und übersteigen in vielen Fällen die Beschaffungskosten.
- die **Entsorgungskosten**

¹ Der Teil 3-3 der Norm DIN EN 60300 gibt eine allgemeine Einführung in das Konzept der Ermittlung der Lebenszykluskosten.

2.2.2 Ermittlung der Lebenszykluskosten

Die Ermittlung der LCC ist definiert als „Prozess der wirtschaftlichen Analyse zur Abschätzung der gesamten Beschaffungs- und Besitz- und Entsorgungskosten eines Produkts. Dieser Prozess kann auf den gesamten Lebenszyklus eines Produkts, eines Teilprodukts oder für verschiedene Lebenszyklusphasen angewandt werden.“ [DKE05]

Das primäre Ziel der Ermittlung der LCC ist, Eingabedaten für (Investitions-) Entscheidungen in jeder oder in allen Phasen des Lebenszyklus zu liefern, beispielsweise für folgende Entscheidungen:

- Bewertung und Vergleich von alternativen Entwurfsansätzen
- Abschätzung der Rentabilität von Projekten/Produkten
- Identifizierung von Kostentreibern und kostenwirksamen Verbesserungen
- Bewertung und Vergleich alternativer Strategien für die Nutzung, den Betrieb und die Instandhaltung eines Produkts/Projekts
- Bewertung und Vergleich verschiedener Vorgehensweisen für den Ersatz, die Sanierung/Lebensdauerverlängerung oder die Aussonderung von alternden Anlagen

Entscheidungen, die frühzeitig im Produktlebenszyklus getroffen werden, haben einen größeren Einfluss auf die LCC, als solche, die später im Produktlebenszyklus getroffen werden. Nach den Phasen *Konzept und Definition* und *Entwurf und Entwicklung* sind ein wesentlicher Teil der LCC durch getroffene Entscheidungen terminiert. Das bedeutet, dass der Nutzer oder Betreiber eines Systems nach dem Erwerb desselben nur einen relativ geringen Spielraum zur Beeinflussung der laufenden Kosten hat. Dies bedingt eine möglichst frühe Identifizierung der einzelnen Kostenfaktoren, um in Hinblick auf möglichst geringe Lebenszykluskosten die zukünftigen Besitzkosten gegen die Beschaffungskosten abzuwägen.

2.2.3 Betrachtung der Lebenszykluskosten im System Eisenbahn

Schienenfahrzeuge und Betriebsanlagen (Fahrweg, Stellwerke) haben eine hohe Lebensdauer. Schienenfahrzeuge sind zurzeit in der Regel 25 bis 40 Jahre in Gebrauch [GÖB97]. Je länger die Lebensdauer, desto größer wird das Verhältnis zwischen Beschaffungs- und Besitzkosten, welches bei Fahrzeugen des

Personenverkehrs in der Größenordnung 1:3 und höher liegt [GÖB97]. Bei den baulichen Anlagen der DB AG entstehen 60 % der kumulierten Kosten in der Nutzungsphase. [HÜP06]

Da das System Eisenbahn ein langlebiges System ist und die Besitzkosten wesentlichen Anteil an den Lebenszykluskosten tragen, reicht eine Kostenverminderung mittels Vergleichen der Beschaffungspreise nicht aus. Die Kostenarten des Lebenszyklus müssen analysiert werden, um sie anhand der Gesamtbetrachtung optimieren zu können. Dies trifft sowohl für Schienenfahrzeuge und einzelnen Anlagen, wie Signale, Stellwerke, etc. zu, als auch für ein Strecken-, Knoten- oder Teilnetzprojekt, wie sie im Rahmen dieser Arbeit angewendet wird. Erst mit der Betrachtung des Lebenszyklus des Eisenbahnsystems werden Kosten, die durch den Betrieb anfallen, richtig erfasst. Analog zu den Lebenszyklusphasen eines Produktes (siehe Kapitel 2.2.1) kann für ein zu untersuchendes oder geplantes Eisenbahnsystem der Lebenszyklus in Hauptphasen unterteilt werden (Abbildung 2.2).

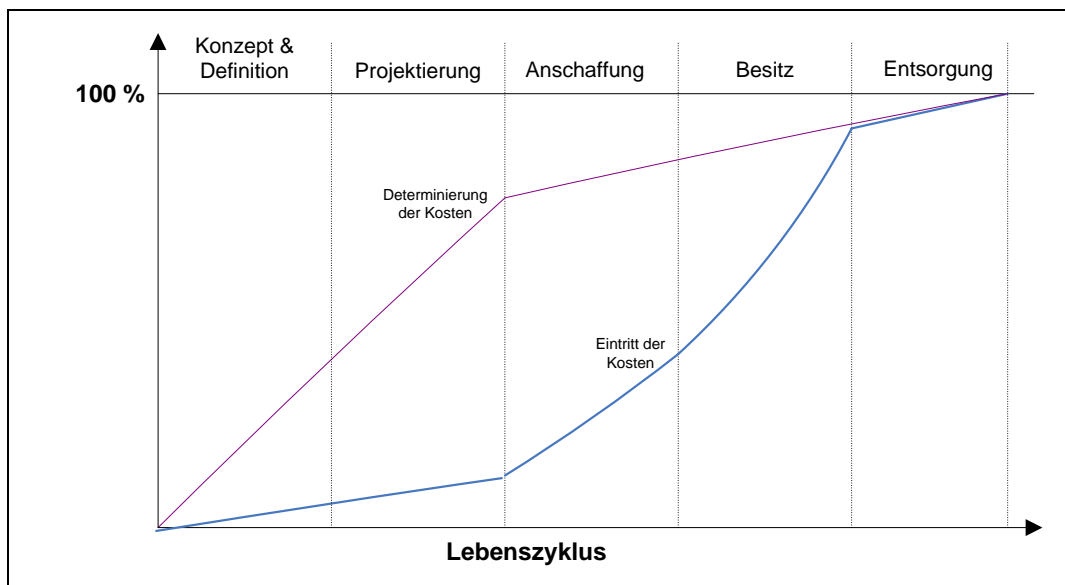


Abbildung 2.2: Skizze der Determinierung und des Eintritts der Kosten bei Eisenbahnsystemen

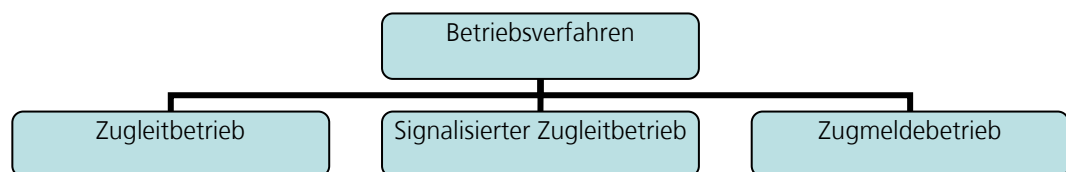
In der Konzept & Definitionsphase werden Entscheidungen zur Streckenführung und zur Streckenkategorie gefällt. Die Streckenführung beeinflusst zum Beispiel die Anzahl und den Umfang der Kunstbauwerke, die maßgebenden Einfluss auf die Kosten der Bauphase haben. Die Streckenkategorie gibt die Menge (Züge je Betriebstag), Art (Güter-, Personen- oder Mischverkehr) und Höchstgeschwindigkeit des Verkehrs wieder und beeinflusst im Wesentlichen Umfang und Art der Leit- und

Sicherungstechnik und dessen Ausrüstungsgrad. Obwohl die Einrichtungen der Leit- und Sicherungstechnik nur 10 bis 15% der Investitionskosten für die Infrastruktur ausmachen, wird mit der Auswahl der entscheidende Grundstein für die Gesamtanlagenarchitektur und damit für deren Lebenszykluskosten gelegt [WOL00]. Die Determinierung und der Eintritt der Kosten von Eisenbahnsystemen verlaufen somit ähnlich einzelner Produkte wie Schienenfahrzeuge (Abbildung 2.2).

2.3 Betriebsverfahren (BV)

Bei der Bestimmung der Ausrüstung einer Eisenbahninfrastruktur ist die geeignete Auswahl des Betriebsverfahren der „Schlüssel“, um – neben der Gewährleistung des flüssigen und sicheren Betriebsablaufes – die Infrastruktur wirtschaftlich betreiben zu können, da es sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Kosten einer Strecke determiniert.

Für den Nebenstreckenverkehr bieten sich folgende Verfahren zur Sicherung der Zugfahrten an:



Die (zu erwartende) Leistungsanforderung bestimmt maßgeblich das Betriebsverfahren und dessen Ausrüstungsgrad an Leit- und Sicherungstechnik. Diese hat erheblichen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und die Zugsicherung einer Eisenbahnstrecke. Bei der Zugsicherung wird zwischen zentraler und dezentraler Fahrdienstleitung unterschieden, welche Einfluss auf den Personalaufwand haben. In der Vergangenheit war eine zentralisierte Fahrdienstleitung nur in Form des Zugleiters auf Nebenbahnen unter vereinfachten Bedingungen üblich. Erst mit der Weiterentwicklung der Stellwerkstechnik wird die dezentrale Fahrdienstleitung der Hauptbahnen (örtlich besetzte Stellwerke) fortwährend durch Betriebszentralen (BZ) ersetzt. Die heutige Einteilung der Betriebsverfahren nach *PACHL*, ist in der folgenden Abbildung zu sehen [PAC04]:

	Betriebsverfahren							
Zustimmung zur Zugfahrt im Regelbetrieb	durch Signaleinrichtungen					durch mündliche/schriftliche Aufträge		
Signalisierung	Führerraumanzeigen		durchgehende ortsfeste Signalisierung			keine durchgehende ortsfeste Signalisierung		durchgehende ortsfeste Signalisierung
Streckenblock	ja		ja		nein	nein		ja
Fahrdienstleitung	dezentral	zentral	dezentral	zentral	dezentral	dezentral	zentral	zentral
heutige Zuordnung der Betriebsverfahren	"Betrieb nach Konzernrichtlinie 408"					Zugleitbetrieb		Signalisierter Zugleitbetrieb

Abbildung 2.3: Einteilung der Betriebsverfahren nach Pacht

Dieses Kapitel geht auf die verschiedenen Betriebsverfahren des Systems Eisenbahn ein. Neben den bestehenden wird auch auf innovative Betriebsverfahren hingewiesen, die im Sinne der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Regionalstrecken in Zukunft von Interesse sein könnten. Die Betriebsverfahren werden bezüglich ihres Infrastrukturellen Aufbaus und ihrer betrieblichen Abläufe hin erläutert, um sie anhand festgelegter Kriterien in Relation zueinander vergleichen zu können.

2.3.1 Funktionsweise und Aufbau ausgewählter Betriebsverfahren

2.3.1.1 Zugleitbetrieb (ZLB)

Der Zugleitbetrieb nach DB-Richtlinie 436 ist ein vereinfachtes Betriebsverfahren für Nebenbahnen. Die Streckenhöchstgeschwindigkeit beträgt mit Sondergenehmigung 80 km/h, sonst 60 km/h. Das Betriebsprogramm ist bei der DB AG gemäß Konzernrichtlinie (KoRil) 413 auf einen 60-Minuten Takt beschränkt. Für Nichtbundeseigene (NE)- Bahnen regelt die VDV-Schrift 752 die betriebliche Obergrenze.

Die Zugfolge bzw. -kreuzung / -überholung werden mittels Zuglaufmeldungen zentral durch den Zugleiter geregelt. Die einem Zugleiter zugewiesene Strecke heißt Zugleitstrecke. Zuglaufmeldungen werden zwischen Zugleiter und der Fahrdienstleitung einer angrenzenden Strecke bzw. örtliche Fahrdienstleitung innerhalb der Zugleitstrecke gegeben (Abbildung 2.4). Die für die Zugfolge maßgebenden Betriebsstellen heißen Zuglaufstellen. Diejenigen Zuglaufstellen, auf denen regelmäßig Zuglaufmeldungen gegeben werden, heißen

Zuglaufmeldestellen. In der Regel sind dies Kreuzungsbahnhöfe. Zuglaufmeldestellen können mit einem örtlichen Bahnhofsfahrdienstleiter besetzt sein. Ist dies nicht der Fall, übernimmt der Zugführer bzw. der Triebfahrzeugführer die örtliche Fahrdienstleitung. Im Fahrplan ist festgelegt, auf welchen Zuglaufstellen Zuglaufmeldungen zu geben sind. Der Zugleiter kann die Abgabe weiterer Zuglaufmeldungen mit schriftlichem Befehl anordnen. Zum Nachweis aller Zuglaufmeldungen dient das vom Zugleiter geführte Zugmeldebuch für den Zugleitbetrieb. [DB98a]

Infrastruktur der Zuglaufmeldestellen

Kreuzungsbahnhöfe sind in der Regel mit Rückfallweichen ausgestattet. Für gegen die Weichenspitze fahrende Züge ist der Fahrweg fest eingestellt. In der Gegenrichtung wird die Rückfallweiche aufgefahren. Dabei ist eine maximale Geschwindigkeit von 40 km/h einzuhalten. Nach 6 bis 10 s erfolgt die Rückstellbewegung [SCH06].

Die Grenzen der unbesetzten Betriebsstellen zur freien Strecke sind durch Signal NE 1 (Trapeztafel) anstelle von Einfahrsignalen gekennzeichnet. Anstelle der Ausfahrtsignale übernehmen Haltetafeln den absoluten Haltebegriff. Zuglaufmeldestellen, die mit einem örtlichen Fahrdienstleiter besetzt sind, sind üblicherweise mit ferngestellten Weichen und Einfahrsignalen (ggf. auch Ausfahrtsignale) ausgestattet, obgleich die Signale keine Fahrerlaubnis erteilen dürfen. Dies obliegt ausschließlich dem Zugleiter, der zugleich örtlicher Fahrdienstleiter einer Zuglaufmeldestelle sein kann (Abbildung 2.4).

[DB98a] [END03]

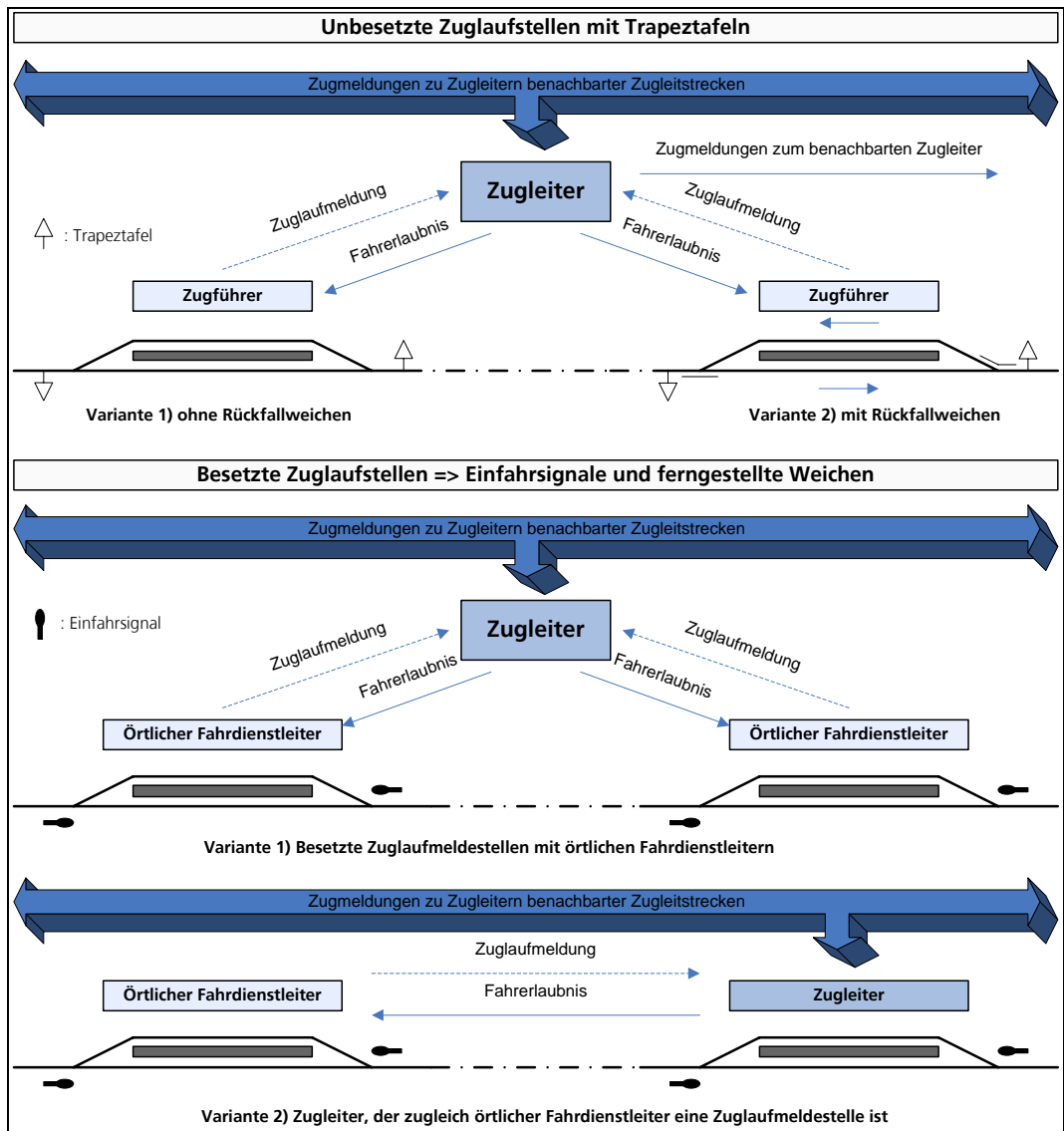


Abbildung 2.4: Betrieblicher und infrastruktureller Aufbau des Zugleitbetriebes

Zugkreuzungen

Bei der Abwicklung von Zugkreuzungen ist der Zugführer des zuerst einfahrenden Zuges für die örtliche Fahrdienstleitung während der Kreuzung zuständig. Dabei sind zur Durchführung der Kreuzung zwei Verfahren möglich. Eines besteht darin, für den zweiten Zug im Fahrplan einen Halt vor der Trapeztafel des Bahnhofs vorzuschreiben. Nach Einfahrt des ersten Zuges prüft und sichert der Zugführer des ersten Zuges den Fahrweg für die Einfahrt des zweiten Zuges und gibt anschließend die Zustimmung zur Fahrt des zweiten Zuges. Die andere Möglichkeit besteht darin, dass der Zugführer nach Sicherung der Einfahrt für den zweiten Zug eine Fahrwegsicherungsmeldung an den Zugleiter gibt. Der Zugleiter kann dann dem zweiten Zug eine Fahrerlaubnis zur Einfahrt in den Bahnhof ohne Halt vor der Trapeztafel erteilen. [DB98a]

Bei besetzten Bahnhöfen wird die Fahrstraße von dem örtlichen Bahnhofsahrdienstleiter eingestellt.

Durch die Verwendung von Rückfallweichen kann in einfachen Bahnhöfen gekreuzt werden, ohne dass ein Umstellen der Weichen von Hand erforderlich ist. Dadurch entfällt bei Kreuzungen der Halt des zweiten Zuges vor der Trapeztafel. Beide Züge können gleichzeitig in den Bahnhof einfahren. Dies trifft auch für elektrisch ortsbediente Weichen zu, die insofern erweitert wurden, dass der Fahrweg zentral über eine Stelltafel angefordert werden kann [SCH06].

2.3.1.2 Technisch unterstützter Zuggleitbetrieb (TuZ)

Unter anderen hat die Tiefenbach GmbH den Zuggleitbetrieb um eine technische Unterstützung erweitert, um die Sicherheit zu erhöhen, den technisch unterstützen Zuggleitbetrieb (TuZ). Um menschliches Fehlverhalten auszuschließen, werden Bahnhofs- und Streckengleise mit der induktiven Zugsicherung (Indusi) und mit Achszählern ausgerüstet. Der Zuggleiter erhält einen Zuggleitrechner und einen Bildschirmarbeitsplatz mit Anzeigen zur Gleisbelegung mit Zugnummern, Wirksamkeit der Indusimagneten und Zustand der Fahrstraßen. Der Zuggleitrechner kommuniziert mit der dezentralen Steuerung der Fahrstraßen, vergleicht die Achszahl nach Ein- und Ausfahrt des Zuges und gibt die Fahrstraße bei Übereinstimmung wieder frei. [b06]

Dieses Betriebsverfahren ähnelt stark dem signalisierten Zuggleitbetrieb mit der Bauform Sig L 90 (siehe nachfolgendes Kapitel), bedarf aber weiterhin keiner Ein- und Ausfahrtsignale.

2.3.1.3 Signalisierter Zuggleitbetrieb (SZB)

Der Signalisierte Zuggleitbetrieb ist eine Sonderform des Zuggleitbetriebes, bei der die Zuggleitstrecke mit Block- und Fahrstraßensicherung ausgerüstet ist. Die Strecken sind in der Regel mit Zugbeeinflussungsanlagen ausgerüstet. Daher ermöglicht dieses Betriebsverfahren höhere Geschwindigkeiten und ist auf einem höheren sicherheitlichen Niveau angesiedelt als der ZLB. Der SZB ist für eingleisige Hauptbahnen (max. 120 km/h) und Nebenbahnen (max. 100 km/h) mit schwachem oder mäßigem Verkehr konzipiert. Wie beim ZLB wird die Zustimmung zur Zugfahrt zentral durch Fahrerlaubnis des Zuggleiters erteilt. Die Sicherung der Zugfolge und

der Zugkreuzung gleicht der des ZLB. Die Anzahl verkehrender Züge auf der Zugleitstrecke wird von der Anzahl der Zuglaufmeldungen, die der Zugleiter zu bewältigen hat, begrenzt.

[DB98b] [END03]

Fahrstraßeneinstellung

Zur Fahrstraßeneinstellung sind zwei Verfahren üblich:

Bauform SIG L 90:

Der Zugleiter verfügt über eine Bedienoberfläche in Form eines im signaltechnischen Sinn nicht sicheren Rechners, an der die Fahrstraßenstellbefehle eingegeben und über ein Fernwirksystem zu örtlichen Sicherungslogiken übertragen werden (ähnlich eines Gleisbildstellwerkes). Der Zugleiter darf jedoch aus der auf seinem Monitor dargestellten Übersicht der Gleisbelegung im Störfall nicht auf das Frei- und Besetztsein von Gleisen schließen. Die Vollständigkeitskontrolle bzw. Räumungsfeststellung nach einer Zugfahrt erfolgt über eine selbsttätige Gleisfreimeldeanlage mit Achszähler.

Scheidt & Bachmann:

Diese andere Realisierungsform des Signalisierten Zugleitbetriebes besteht darin, auf eine zentralisierte Bedienoberfläche beim Zugleiter zu verzichten und die Fahrstraßeneinstellung an Ausfahrtsignalen vom Triebfahrzeugführer mittels Infrarotsender vornehmen zu lassen, womit die Stellkommandos zu an den Signalen angebrachten Infrarotempfängern übertragen werden. Die Fahrstraßeneinstellung an Einfahrtsignalen wird durch den Streckenblock angestoßen, wobei stets in das gleiche Einfahrgleis eingefahren wird.

[DB98b] [END03]

2.3.1.4 Elektronisches Stellwerk für den Signalisierten Zugleitbetrieb (ESZB)

Im Zuge der Weiterentwicklung der Leit- und Sicherungstechnik im Zusammenhang mit dem SZB ist das Betriebsverfahren ESZB entstanden. Hierbei wird auf der Basis des Verfahrens nach KoRil 437 der Grad der Automatisierung sowie die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Leit- und Sicherungstechnik erhöht. Es besteht die Möglichkeit, den Zugbetrieb auf ESZB – Strecken im Modus der Zuglenkung (automatische Zugsteuerung) durch den Zugleiter zu führen. Durch den Einsatz von

ESZB werden Nebenbahnen durchgehend mit selbsttätigen Gleisfreimeldeanlagen sowie Signalen für die Mehrabschnittssignalisierung (Ks-System) ausgerüstet. Im Unterschied zum klassischen SZB darf im ESZB auf die fernmündliche Fahrerlaubnis verzichtet werden. Die Fahrtbegriffe der Hauptsignale gelten wie im klassischen signalgeführten Betrieb unmittelbar als Zustimmung zur Zugfahrt.

Der Einsatz elektronischer Komponenten bei der Leit- und Sicherungstechnik sowie das Einrichten der automatischen Zugsteuerung ermöglichen einen höheren Grad der Zentralisierung bei der Betriebsführung solcher Strecken. Dies führt zu einem geringeren Personalbedarf und einem niedrigeren Unfallrisiko.

2.3.1.5 Zugmeldeverfahren

Haupt-/Vorsignal-System (H/V-System)

Das H/V System nach DB – Richtlinie 408 ist das bei den Eisenbahnen am häufigsten verwendete Signalsystem. Es gilt der Grundsatz gemäß § 39 EBO, dass Schienenstrecken durch Hauptsignale in so genannte Zugfolgeabschnitte unterteilt werden. Die Züge folgen einander im Abstand der Zugfolgestellen (Blockeinteilung), bzw. Zugmeldestellen (daher auch Zugmeldeverfahren), wenn von dort aus zugleich die Zugfolge geregelt wird (Fahrdienstleiter). Das H/V – System eignet sich für Nebenbahnen mit einer Streckengeschwindigkeit von bis zu 100 km/h sowie für Hauptbahnen mit einer Streckenhöchstgeschwindigkeit von bis zu 160 km/h.

Auf Hauptbahnen mit H/V – System ist bei Geschwindigkeiten von mehr als 100 km/h das Einrichten von punktförmigen Zugbeeinflussungsanlagen (PZB) vorgeschrieben. Das Sichern der Bahnübergänge auf Hauptbahnen ist durch den Einbau von technischen Sicherungen vorgeschrieben, auf Nebenbahnen sind auch nichttechnische BÜ-Sicherungen zugelassen, z.B. bei Übersicht über die Bahnstrecke und geben hörbarer Signale durch Schienenfahrzeuge.

Für die Zugfolge im H/V – System gilt, dass ein Zug in einen Zugfolgeabschnitt nur eingelassen werden darf, wenn der zuletzt gefahrene Zug den Abschnitt vollständig geräumt hat und sich unter Deckung eines Halt zeigenden Hauptsignals befindet. Hauptsignale werden unterschieden nach Einfahrtsignalen, Ausfahrtsignalen, Zwischensignalen, Blocksignalen sowie Deckungssignalen. Die Stellung von Hauptsignalen muss dem Triebfahrzeugführer durch Vorsignale angekündigt

werden, wenn die Streckengeschwindigkeit größer als 60 km/h ist. Auf Hauptbahnen sind Vorsignale generell vorgeschrieben.

Im H/V – System können, je nach dem Entwicklungsstand der Leit- und Sicherungstechnik Formsignale (mechanische bzw. elektromechanische Stellwerke) oder Lichttagessignale (Relais-, bzw. elektronische Stellwerke) zum Einsatz kommen. Im Zuge der Weiterentwicklung der Leit- und Sicherungstechnik, sowie der Konzentration der Stellebene in so genannten Betriebszentralen (BZ) werden die derzeit noch zahlreich vorhandenen örtlich besetzten dezentralen Stellwerke zukünftig entfallen. Dezentrale Stellwerke sind die mechanischen- und elektromechanischen Stellwerke, da ihre Stellentfernung auf Grund der mechanischen Übermittlung 400 m nicht überschreiten kann.

Mehrabschnittssignalisierung (Ks – System)

Im Zuge der Weiterentwicklung ortsfester Signale nach dem H/V – Prinzip bei der Anwendung der Betriebsverfahren nach KoRil 408 sowie KoRil 437 (ESZB) werden bei Modernisierungen der Leit- und Sicherungstechnik anstelle herkömmlicher H/V – Signale Kombinationssignale (Ks – Signale) eingesetzt. Der Vorteil dieses Signalsystems ist die Mehrabschnittssignalisierung bei gleichzeitiger Verringerung der Anzahl der Lichtpunkte im Signalschirm. Die getrennte Anordnung von Vor- und Hauptsignalschirmen wird hierbei zugunsten einer Doppelfunktionalität der Lichtpunkte zur Haupt- und Vorsignalisierung in ein und demselben Signalschirm aufgegeben. Vom Grundprinzip der Zugfolgesicherung im Vergleich zum H/V – System wird bei den Ks – Signalen jedoch nicht abgewichen.

2.3.2 Vergleich und Übersicht der Betriebsverfahren in ihrer Funktionalität

In diesem Unterkapitel werden die oben beschriebenen Betriebsverfahren tabellarisch aufgeführt (Tabelle 2.1) und in einer Gewichtung ihrer Funktionalitäten miteinander verglichen. Vorangestellt werden die zu vergleichenden Kriterien näher erläutert.

Kriterien von Betriebsverfahren:

1. Der *zulässige Geschwindigkeitsbereich [km/h]* eines Betriebsverfahrens ist ein Kriterium, welches die Leistungsfähigkeit einer Strecke mitbestimmt und bezogen auf die Beförderungszeit ein Qualitätskriterium für den Kunden darstellt.
2. Der Ablauf der Zugfolge wird durch die verwendete Leit- und Sicherungstechnik bzw. -verfahren gesichert und bestimmt maßgeblich die *Leistungsfähigkeit* des Betriebsverfahrens, ausgedrückt in *Züge je Stunde*.
3. Ob das Betriebsverfahren bei der Regelung der Zugfolge und Zugkreuzungen / -überholungen eine technische Absicherung vorsieht, bestimmt das *Unfallrisiko bzw. die Sicherheit* eines Betriebsverfahrens. Das Unfallrisiko wird im Rahmen dieser Arbeit gewichtet.
4. Die für das Betriebsverfahren aufzuwendende Infrastruktur und der Personalbedarf verursachen *Kosten*, die im Rahmen dieses Kapitels gewichtet werden. Im Hauptteil dieser Arbeit wird auf die Einflussgrößen, die auf die Kosten wirken, eingegangen.

Kriterium	Zugleitbetriebe				Zugmeldeverfahren			
	ZLB	TUZ	SZB	ESZB	H/V-System		K/S-System	
Fahrdienstleitung	Zentral	Zentral	Zentral	Zentral	Zentral	Dezentral	Zentral	Dezentral
Technische Zugsicherung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
zulässiger Geschwindigkeitsbereich	sehr niedrig	sehr niedrig	niedrig	niedrig	hoch	hoch	hoch	hoch
Leistungsfähigkeit	sehr niedrig	sehr niedrig	niedrig	niedrig	hoch	hoch	sehr hoch	sehr hoch
Unfallrisiko	hoch	niedrig	niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig
Personalaufwand	niedrig	niedrig	niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig	hoch	sehr niedrig	hoch
Aufwand für LST	sehr niedrig	niedrig	niedrig	hoch	hoch	hoch	hoch	hoch

Tabelle 2.1: Vergleich der Betriebsverfahren in ihrer Funktionalität

3 Die Toolkopplung

3.1 Das Ziel der Toolkopplung

Ziel der Toolkopplung ist es ein handhabbares Instrument zu schaffen, mit dem die Bemessung und Nutzung der Produktionsfaktoren im Eisenbahnsystem unter Berücksichtigung der Investitions- und Folgekosten optimiert werden können. Mit den auf dem Markt erhältlichen Tools zur Modellierung der Eisenbahnbetriebsanlagen und der Simulation des darauf stattfindenden Eisenbahnbetriebes ist es möglich, die Bemessung und/oder die Nutzbarkeit der Infrastruktur im Hinblick auf die Betriebsdurchführung zu optimieren. Der Aufwand für Betriebsmittel und Personal werden dabei nicht berücksichtigt. Diese Betrachtung wird durch das Tool zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nunmehr ermöglicht. Darüber hinaus werden Instandhaltungsaufwendungen für die Ist- und Planfälle mit einbezogen. Somit werden bei der Planung von verschiedenen Betriebsszenarien und/oder ihrer Ausrüstungsvarianten erstmals die Lebenszykluskosten erfasst. Das Erkennen von Hauptkostenträger ist ein weiteres Ziel. Die wirtschaftliche Bewertung der Betriebs- und Ausrüstungsvarianten erfolgt anhand einer Differenzrechnung der Kosten-Nutzen-Verhältnisse.

3.2 Das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

Das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ist eine Excel-Tabelle, die mittels VBA-Anweisungen (Visual Basic for Applications Codes) Informationen aus den Export-Dateien des Simulationstools einliest. Diese Informationen, die für eine Wirtschaftlichkeitsbewertung relevant sind, sind Daten zur Infrastruktur und des Betriebes des zu untersuchenden Systems und ihrer geplanten Varianten. Sie werden mit weiteren, über eine Maske einzugebenden Daten ergänzt. Diese enthalten statische Werte wie Trassenpreise, Instandhaltungsfrequenzen einzelner Anlagen, Personalstunden, Personalkostensätze, etc.

Auf einer zurzeit angesetzten Nutzungsdauer von 20 Jahren werden für die zu untersuchenden Systeme die Kosten und Erlöse errechnet. Die Betrachtung der Erlöse (Nutzen) und die Kostenrechnung werden getrennt für EIU und EVU durchgeführt.

Mit dem derzeitigen Entwicklungsstand des Tools sind folgende Randbedingungen zu beachten [BEC06]:

- Es wird ein einheitlicher Anschaffungszeitpunkt $t=0$ in der Simulation angesetzt
- Es werden einheitliche Komponenten bewertet, d.h. eine Analyse von Standardisierungseffekten erfolgt nicht
- Die Entsorgungsphase bleibt unberücksichtigt
- Die korrektiven Instandhaltungskosten werden nach Erfahrungen der DB Netz AG mit 10% der Kosten für präventive Instandhaltung zugrunde gelegt.
- Da es sich um eine vergleichende Bewertung von Betriebs- und Ausrüstungsvarianten handelt, werden trassenabhängige Kosten durch z.B. Tunnel, Brücken, Erdbau, etc. nicht betrachtet

3.3 Das Eisenbahnbetriebssimulationstool

Eine Methode für eisenbahnbetriebswissenschaftliche Untersuchungen ist die Simulation des Eisenbahnbetriebes. Besonders für Untersuchungen von komplexen Systemen ist sie geeignet, wenn die betrieblichen Anforderungen bekannt sind. Ziel ist, den realen Betriebsablauf mittels EDV in einem Modell abzubilden, um daraus Rückschlüsse auf die Eignung von vorhandenen oder geplanten Anlagen bezüglich der betrieblichen Anforderungen ziehen zu können.

Im Detaillierungsgrad des zu modellierenden Betrachtungsraumes und der Menge, der in die Berechnungen eingehender Daten unterscheiden sich im Wesentlichen zwei Modelle der Simulation; das mikroskopische und das makroskopische Modell:

- Mikroskopische Modelle basieren auf sekundengenauen Fahrplandaten und metergenauen Angaben zur Infrastruktur. Typisches Merkmal ist die Abbildung von individuellen Zugfahrten, die eine exakte Konflikterkennung ermöglicht, gleichzeitig aber auch einen höheren Rechenaufwand als bei makroskopischen Modellen verursacht.
- Makroskopische Modelle beinhalten eine vereinfachte Abbildung von Zugfahrten, bei der anstelle der individuellen Betrachtung das mittlere Verhalten von Zuggruppen ohne zugehörigen Fahrplan dargestellt wird. Für diesen Ansatz ist eine weniger detaillierte Auflösung der Infrastruktur

ausreichend. Die Ergebnisse erfordern einen geringeren Rechenaufwand, zeichnen sich aber durch einen höheren Grad an Unschärfe aus. Ziel dieses Ansatzes ist es daher zum Beispiel, Eisenbahnnetze im Ganzen abzubilden, um Engpässe und Überfluss der Kapazität zu ermitteln.

Da im Rahmen der Toolkopplung Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen einzelner Strecken und Knoten durchgeführt werden und damit verbunden eine detaillierte, metergenaue Modellierung der Infrastruktur vonnöten ist, eignen sich ausschließlich mikroskopische Modelle für die Betriebssimulation und die Toolkopplung. Sie ermöglichen detaillierte Untersuchungen von Betriebsvorgängen auf Teilnetzen, Knotenpunkten und Strecken. Für die Modellierung der Infrastruktur nutzen mikroskopische Tools einen attributierten Knoten-Kanten-Graphen. Die Knoten bilden ortsfeste Infrastrukturelemente ab, wie z.B. Signale, Haltetafeln, Weichen oder trennen Kanten, um einen Attributwechsel zu ermöglichen. Die Kanten zwischen den Knoten werden mit den benötigten Attributen Gleislänge, Gradient und zulässige Geschwindigkeiten belegt. Eine grafische Benutzeroberfläche unterstützt die Eingabe und Bearbeitung der Daten. Für jedes Triebfahrzeug wird ein Zugkraft- /Geschwindigkeits- Diagramm (ZV - Diagramm) angelegt. Länge, Gewicht und Formeln zur Widerstandsberechnung sind sowohl bei den Triebfahrzeugen als auch bei den Wagenzügen anzugeben.

Die Attribute der Kanten, die Leit- und Sicherungstechnik, das ZV - Diagramm, sowie die Widerstandsberechnungen gehen in die Berechnung ein und führen zu einer exakten Fahrzeit (Mindestfahrzeit). Bei der Fahrplankonstruktion werden Zeitzuschläge zu den Mindestfahrzeiten addiert, die als Sicherheitsreserve im Störfall dienen (Pufferzeiten).

Für folgende Zwecke werden Untersuchungen mit Hilfe der mikroskopischen Eisenbahnbetriebssimulation durchgeführt:

- Zur Nutzenuntersuchung bestehender und geplanter Infrastruktur
- Für fahrdynamische Berechnung, z.B. Fahrzeitberechnung, Energieverbrauchsrechnung
- Zur Fahrplankonstruktion
- Zur Modellierung von Störungseinflüssen des Betriebes
- Zur Überprüfung von Fahrplanstabilitäten
- Zur Ermittlung des Leistungsverhaltens

[KET04] [SCH05]

3.4 Datentransfer innerhalb der Toolkopplung

Die zu exportierenden Daten aus dem Simulationstool lassen sich unterscheiden in

- Daten aus dem Modell der Infrastruktur,
- Daten aus dem konfliktfreien Fahrplan und
- Daten zur Auswirkungen der Infrastruktur und des Fahrplanes auf die Betriebsqualität, z.B. aus der Simulation eines gestörten Fahrplanes.

Die Infrastrukturdaten enthalten Informationen über, z.B. die Anzahl der Hauptsignale, Vorsignale, Achszähler, Balisen (ETCS), Haltetafeln und Weichen sowie Gleislängen und Anzahl und Typ der Stellwerke.

Daten zu dem konfliktfreien Fahrplan enthalten Informationen zu Fahrzeiten, gefahrene Kilometer und Energieverbrauch einzelner Züge, Anzahl der Verkehrshalte, Belegungsgrade von Kanten und Betriebsdauer der Stellwerke.

Daten aus dem möglichen tatsächlichen Betriebsablauf enthalten z.B. Verspätungswerte bei gestörten Fahrplänen.

[BEC06]

3.5 Begründung der Wahl des Simulationstools für die Toolkopplung

Am Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung des DLR e.V., Standort Braunschweig, stehen zwei mikroskopische Eisenbahnbetriebssimulationstools zur Verfügung:

- **OpenTrack**, entstanden am *Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Straßen- und Eisenbahnbau (IVT)* der *ETH Zürich* und
- **RailSys** des Schienenverkehrsmanagement- und Softwareentwicklungsunternehmens *Rail Management Consultants GmbH (RMCon)*.

Entscheidend für die Wahl war die zu schaffende Datenschnittstelle zwischen dem Simulationstool und dem Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung. Dabei wurden zwei Ansätze untersucht. Einen für OpenTrack und einen für RailSys.

- Der Ansatz für OpenTrack sah vor, Infrastrukturdaten aus XML - Dateien, die OpenTrack in der RailML - Infrastrukturdatenschnittstelle ausgibt, zu erhalten. Daten über den konfliktfreien Fahrplan gibt OpenTrack in Dateien eigener Formate heraus, die aber manuell in das Excel-Format formatiert werden können.
- Der Ansatz für RailSys sieht die ausschließliche Verwendung von Dateien im Excel-Format vor, die der Benutzer von RailSys direkt aus den Tabellen der grafischen Benutzeroberfläche generiert.

Aufgrund einer einfacheren Datengewinnung und der einheitlichen Datenschnittstelle, durch ausschließliche Verwendung von Excel-Dateien, wurde entschieden, RailSys OpenTrack den Vorzug zu geben. [a06]

4 Wirtschaftlichkeit von Eisenbahnsystemen

Die Wirtschaftlichkeit eines Systems wird in dem Verhältnis der Investitionen (Kosten) zu den Folgewirkungen (Nutzen) der Investitionen bewertet. Mit Investitionen sind dabei nicht einmalige gemeint, sondern die, die über den Betrachtungszeitraum anfallen.

An dieser Stelle werden Einflussgrößen, die die Kosten bzw. Nutzen determinieren, analysiert. Die Zusammenhänge zwischen den Einflussgrößen werden kenntlich gemacht. Nach einer Betrachtung der Einflussgrößen auf den Nutzen, folgt die der Kosten.

4.1 Nutzen / Erlöse

4.1.1 Nutzen aus Sicht des EVU

Der Nutzen aus Sicht des Eisenbahnverkehrsunternehmens ist das Erreichen möglichst hoher Erlöse und im Falle des spurgeführten Personennahverkehrs (SPNV) das Erlangen von Subventionsgeldern für erbrachte Verkehrsleistungen. Im SPNV werden Verkehrsleistungen durch die Länder ausgeschrieben oder freihändig vergeben. *Trost* [TRO06] geht auf die Regionalisierung des SPNV näher ein. Zur Erfüllung der Leistungserbringung gegenüber den Kunden ist das EVU auf die erbrachte Leistung des EIU zwingend angewiesen (siehe Grundlagen EIU EVU). Bei nicht eingeschränkter Nachfrage wird die mögliche Anzahl fahrender Züge je Betrachtungsraum und Betrachtungszeitraum an der Anzahl der vom EIU angebotenen Trassen bestimmt.

Da im Nebennetz von relativ schwacher Nachfrage auszugehen ist, ist Ziel des EVU, durch Steigerung der Attraktivität der angebotenen Leistungen die Nachfrage zu erhöhen. Die Einflussgrößen auf die Verkehrsnachfrage sind in Tabelle 4.1 dargestellt. Können diese Einflussgrößen quantifiziert werden, wird die zugehörige Kenngröße angegeben. In der Spalte „Bemerkung“ wird vermerkt, wodurch wiederum die jeweilige Einflussgröße beeinflusst wird. Deutlich wird die hohe Zuständigkeit des EIU für die Einflussgrößen auf die Verkehrsnachfrage:

Tabelle 4.1: Einflussgrößen auf die Verkehrsnachfrage

Einflussgröße	Bemerkung	Quantifizierung
Sicherheit	Beeinflusst durch die Zuverlässigkeit der Triebfahrzeuge, Infrastruktur und Auswahl des BV's, der LST	
Verfügbarkeit	Beeinflusst durch die Anzahl an Zugfahrten je Betrachtungsraum und -zeit	
Pünktlichkeit	Beeinflusst von der Fahrplankonstruktion (Pufferzeiten), der Anlagen- und Fahrzeugverfügbarkeit und Dispositionsmaßnahmen (Warten auf Anschlüsse)	Anzahl an Verspätungsminuten [Zeiteinheit] und Anteil verspäteter Züge [%] ¹ ; Werte können über Fahrplanstabilitätsuntersuchungen ermittelt werden
Anschlussicherheit	Beeinflusst von der Pünktlichkeit und Dispositionsmaßnahmen	Zu ermitteln über den Anschlussgewährleistungsgrad [Dimensionslos] ²
Umsteigezeit	Beeinflusst durch Leistungserbringung durch EVU (Wunschfahrplan) und tatsächlicher Fahrplankonstruktion (EIU)	Zu ermitteln wenn Quelle-Ziel Beziehungen bekannt sind
Umsteigehäufigkeit		
Planmäßige Beförderungszeit	Neben Art der Zugtrasse (Höchstgeschwindigkeit) und den Fahrzeugen (Fahrzeugeigenschaften) wird sie von der Fahrplankonstruktion beeinflusst (Trasse im Gesamtgefüge)	Zeit, die im Fahrplan für die Beförderung zwischen zwei Messpunkten eines Zuges unter festgelegten Randbedingungen (Betriebsverfahren, Leit- und Sicherungstechnik, Pufferzeiten etc.) bestimmt ist..
Fahrgastinformation Sendungsverfolgung	Beeinflusst durch Ausrüstung der Fahrzeuge und der Infrastruktur	
Tarifsystem		
Sauberkeit und Komfort der Fahrzeuge, Bahnhöfe, Haltepunkte	Sauberkeit und Komfort der Bahnhöfe und Haltepunkt wird durch das EIU beeinflusst	
Service	Service an Bahnhöfen und Haltepunkten wird von EIU beeinflusst	
Zugänglichkeit zum System Eisenbahn	Anzahl und Verteilung der Bahnhöfe, Haltepunkte in einem Betrachtungsraum (beeinflusst durch EIU)	Unter Festlegung von Kriterien (z.B. Bezugsraum des Bhf, Hp) kann Anteil der Bevölkerung mit Zugang zum System bestimmt werden.

¹ Die Kenngröße gibt den prozentualen Anteil der pünktlich verkehrenden Züge an, wobei entsprechend der derzeitigen Praxis ein Grenzwert für Fahrplanabweichungen festgelegt werden kann, bis zu dem Züge noch als pünktlich einzustufen sind. Eine Erweiterung dieser Kenngröße besteht in der Angabe der Häufigkeit verspäteter Züge in Verspätungsklassen. [DB02a]

² Bei konstant definierter Anschlussverzichtszeit, kann durch die Angabe des Anschlussgewährleistungsgrads der Anteil an gewährleisteten Anschlüssen angegeben werden. Er wird durch den Quotient von der Anzahl gewährleisteter Anschlüsse und der Anzahl an geplanten Anschlüssen berechnet.

4.1.2 Nutzen aus Sicht des EIU

Das **Eisenbahninfrastrukturunternehmen** bezieht seinen **Nutzen** aus dem **Verkauf** der von ihm dargebotenen **Trassen** und das Einnehmen von Gebühren für etwaige Stationsbenutzungen. Eine Trasse ist eine Zugfahrt von A nach B, die über die vom EIU vorgehaltene Infrastruktur verläuft. „Betreiber von Schienenwegen haben ihre Entgelte [...] so zu bemessen, dass die ihnen insgesamt für die Erbringung der Pflichtleistung [...] entstehenden Kosten zuzüglich einer Rendite, die am Markt erzielt werden kann, ausgeglichen werden.“ (§ 14 Abs. 4 AEG) Für die Ermittlung und Angabe der Trassenpreise können verschiedene Strategien verfolgt werden [LIE03]:

- Die Benutzerperspektive: Wer die Trasse am häufigsten benutzt, zahlt am meisten.
- Die Wirtschaftlichkeitsperspektive: Wer den größten Gewinn aus der Benutzung der Trasse erzielt, zahlt am meisten.
- Die Machtperspektive: Der Preis richtet sich danach, wie viel der Infrastrukturbetreiber dem Benutzer abverlangen kann.
- Die Ingenieurperspektive: Wer das Gleis am meisten schädigt, zahlt am meisten.

Bei der DB Netz AG wird der Preis für eine Trasse zurzeit über das Modulare Trassenpreissystem bestimmt [DB05]. Die Wertigkeit einer Strecke ist nach diesem System von

- der zulässigen Höchstgeschwindigkeit,
- der Auslastung,
- des geplanten Trassenprogramms (Zugeigenschaften, Reihenfolgeregelung),
- und ihrer Lage im Schienennetz (Verbindung von Ballungszentren, Erschließung des Netzes)

abhängig. Je höher die Wertigkeit, desto höher der Trassenpreiskilometer. Andere europäische Bahnen beziehen weitere/andere Parameter in die Trassenpreisbildung mit ein, z.B. Achslast, Pünktlichkeit.

Neben der Wertigkeit ist die Anzahl der Trassen, die je Zeiteinheit veräußert werden können, zu betrachten. Maßgebend sind dabei die Leistungsfähigkeit [Züge/t] und die Nachfrage des zu untersuchenden Systems. Das EIU nimmt mit seinen erbrachten Leistungen Einfluss auf die Verkehrsnachfrage (Tabelle 4.1). Um die

theoretisch maximale Anzahl der Trassen zu ermitteln ist die Leistungsfähigkeit im Kontext der erwünschten Betriebsqualität zu sehen, ausgegeben im konstruierten Fahrplan. Die daraus resultierende Kenngröße ist die Nennleistung [Züge/t]. Das nächste Kapitel erläutert die Kenngröße Nennleistung und den damit verbundenen Zusammenhang zwischen Leistungsfähigkeit und Betriebsqualität.

4.1.3 Leistungsverhalten (Leistungsfähigkeit und Qualität)

Die Kenngröße für die maximale Anzahl der verkehrenden Züge eines zu betrachtenden Systems ist die **Leistungsfähigkeit [Züge/t]** und wird über die Kenngröße **Mindestzugfolgezeit [t]** ermittelt. Die Mindestzugfolgezeit ist für eine Zugfolge über eine Sperrzeitentreppe zu bestimmen. Die Sperrzeitentreppe wiederum wird maßgebend vom Betriebsverfahren, dem Trassenprogramm und dem Ausrüstungsgrad der Infrastruktur bestimmt. Bei konstant ablaufendem Trassenprogramm können für unterschiedliche Betriebsverfahren und variierende Ausrüstungsvarianten der Infrastruktur unterschiedliche Leistungsfähigkeiten berechnet werden. Somit ist die Leistungsfähigkeit ein Maß für die Kapazität der Infrastruktur, da die Summe der Mindestzugfolgezeiten die Gesamtbelegungszeit des betrachteten Abschnitts ist. [BEI06] [DB02a]

Das **Leistungsverhalten** beschreibt den Zusammenhang zwischen der Belastung und der Betriebsqualität des betrachtenden Systems in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit. Maßstab für die Betriebsqualität sind die im System auftretenden Wartezeiten. Durch stärkere Belastung des Systems steigen die Wartezeiten progressiv an und konvergieren gegen die maximale Leistungsfähigkeit (Abbildung 4.1) [PAC02] [SCH03].

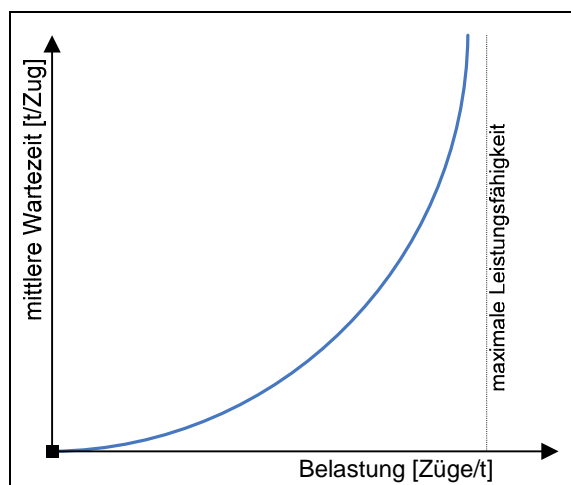


Abbildung 4.1: Wartezeitfunktion

Die Wartezeiten lassen sich im Wesentlichen unterscheiden in

- planmäßige Wartezeiten und
- außerplanmäßige Wartezeiten.

Planmäßige Wartezeiten sind bereits in den Fahrplan eingearbeitet und entstehen beim Überholen und Kreuzen von Zügen sowie zum Herstellen von Anschlüssen oder zum Anpassen der Lage einer Fahrplantrasse an eine gewünschte Taktlage. Planmäßige Wartezeiten sind ein Maß für die Planungsqualität des Fahrplans (Fahrplanqualität).

Außerplanmäßige Wartezeiten (Folgeverspätung) offenbaren sich dem Nutzer als Verspätungen und sind ein Maß für die Qualität der Betriebsdurchführung (Betriebsqualität). Sie entstehen aufgrund außerplanmäßiger Synchronisationszeiten (Warten auf Anschlüsse, Folgeverspätung) oder in Folge von Urverspätungen, die durch

- Störungen von Anlagen und Betriebsmitteln,
- Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen,
- Haltezeitverlängerungen oder
- durch höhere Gewalt (Unwetter, Suizide, etc.) entstehen.

Die Folgeverspätungen kann der Disponent direkt beeinflussen.

Die **Nennleistung** entspricht der Anzahl von Zugtrassen je Betrachtungszeitraum, die auf der planmäßig verfügbaren Infrastruktur bei vorgegebener Struktur des Trassenprogramms innerhalb des Betrachtungsraumes einlegbar sind und während des Betriebsablaufes voraussichtlich mit einer „zufriedenstellenden Betriebsqualität“ fahrbar sind. Diese Anforderung bedingt genügende Zeitzuschläge. [DB02a]

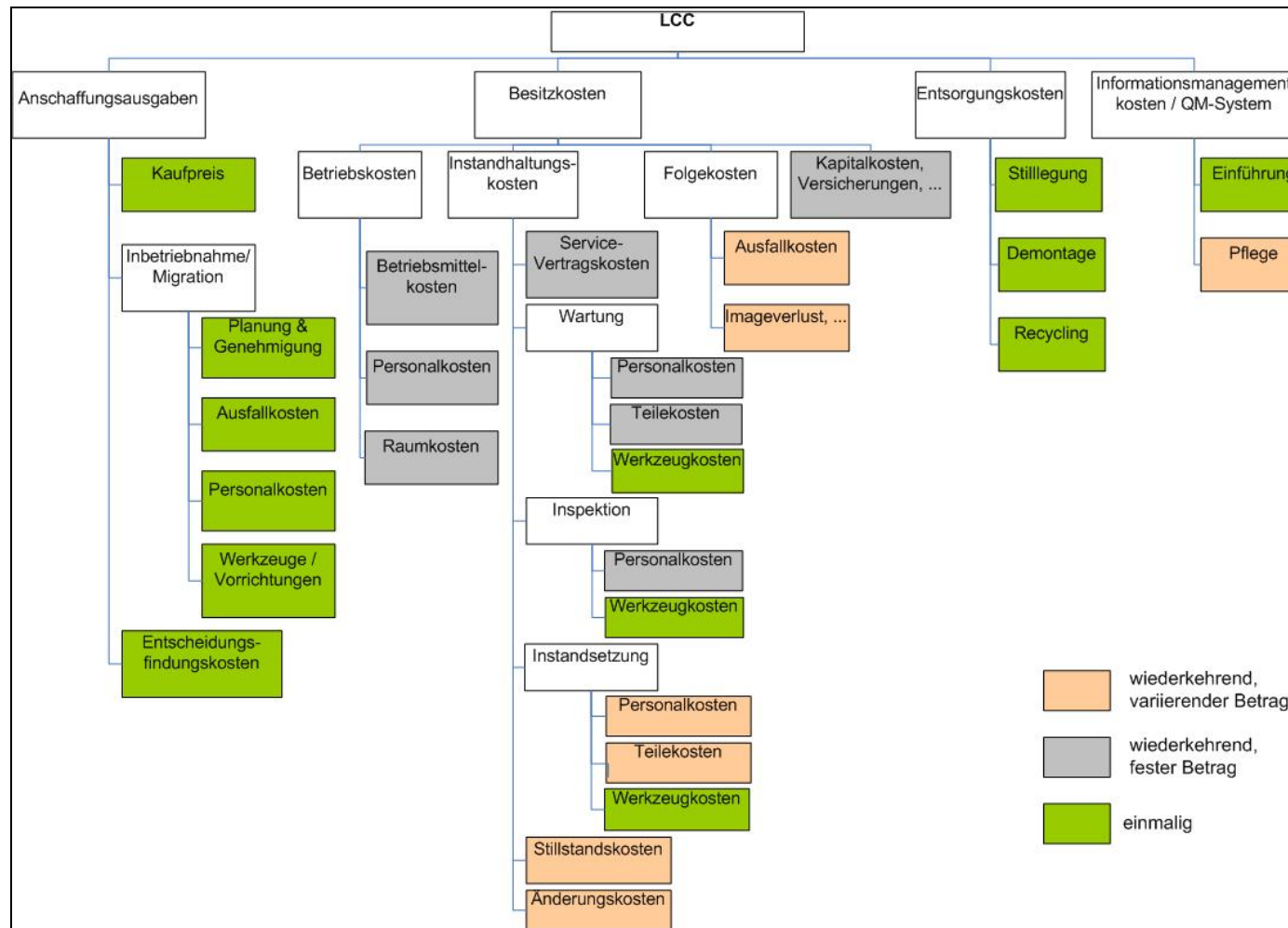
Fazit:

Die Nennleistung gibt demnach die maximal vom EIU zu vergebenden Trassen in einem Betrachtungsraum- und -zeit an.

4.2 Kosten

Dieses Kapitel führt Einflussgrößen auf die Kosten von Eisenbahnsystemen getrennt für EIU und EVU auf. Die Gesamtkosten des zu untersuchenden Systems ergeben sich aus den Kosten des EIU's und die Kosten des EVU's. Die Kostenarten über den Lebenszyklus der Kostenelemente sind im nachfolgenden Bild gegliedert:

Abbildung 4.2: Kostengliederungsstruktur der Lebenszykluskosten [BEC06]



4.2.1 Eisenbahnverkehrsunternehmen

Das Eisenbahnverkehrsunternehmen erbringt die eigentliche Verkehrsleistung, d.h. den Transport von Gütern und Personen auf der Eisenbahninfrastruktur mittels Triebwagen oder Zugkompositionen. Im Sinne der Gewinnmaximierung stellt sich daher die Frage wofür und in welchen Anteilen bezogen auf die LCC, Kosten für den Transport entstehen. Neben der Verwaltung des eigentlichen Unternehmens entstehen für das EVU Kosten für Beschaffung, Betrieb, Instandhaltung und Entsorgung der Schienenfahrzeuge.

Die Kosten für das Erbringen von Verkehrsleistungen mittels Schienenfahrzeuge werden in Kostenblöcken unterschieden und in Teilkostenblöcken und Kostenelementen untergliedert. Die Summe der Kostenblöcke sind die Lebenszykluskosten.

Kostenblöcke der Leistungserbringung

- **Beschaffung** der Schienenfahrzeuge
- **Betrieb** der Schienenfahrzeuge
- **Fahrweg**
- **Instandhaltung** der Schienenfahrzeuge
- **Entsorgung** der Schienenfahrzeuge

4.2.1.1 Beschaffungskosten

Im Kostenblock **Beschaffung** wird das Investitionsvolumen der Schienenfahrzeuge erfasst. Werden die Fahrzeuge gemietet oder über Leasing „beschafft“, werden die dadurch entstehenden Kosten diesem Kostenblock angerechnet.

Die Beschaffungskosten können unter Umständen von dem zu befahrenden Fahrweg abhängig sein, wenn dieser mit Sicherungstechnik und/oder Stromversorgung (Oberleitungen, Stromschienen) ausgerüstet ist. Das Triebfahrzeug / der Triebwagen muss kompatibel zu der Streckenseitigen Ausrüstung sein. Insbesondere mit der Migration des europäisch einheitlichen Sicherungssystems ERTMS kann dies für das EVU Mehrkosten (Doppelausrüstung der Fahrzeuge) ohne direkt wirkende Nutzenerhöhung bedeuten.

4.2.1.2 Betriebs- und Fahrwegkosten

Der Kostenblock **Betrieb** enthält folgende Teilkostenblöcke, die wiederum Kostenelemente enthalten:

Tabelle 4.2: Betriebskosten von Schienenfahrzeuge

Teilkostenblock:	Energie	Personal	Reinigung	Betriebsablauf	Verbrauchsmaterialien/ Betriebsstoffe
Kostenelement:	Traktionsenergie, Hilfsbetriebsenergie	Triebfahrzeugführer, Zugführer, Zugbegleiter, Zugtechniker	Außenreinigung, Innenreinigung	Zugvorbereitung, Reservierung, Rangieren, Standgebühren, Bewachung während der Abstellung in Betriebsruhen	Trinkwasser, Brauchwasser

Im Kostenblock **Fahrweg** sind die Trassenkosten und Stationsgebühren enthalten, die bei den Zugfahrten entstehen und sind abhängig von den EIU festgelegten Trassenpreisen und Stationsgebühren. Abhängig vom Trassenpreissystem des EIU kann das EVU Einfluss auf die Trassenkilometerkosten nehmen, z.B. über geringere Achslasten der Züge.

4.2.1.3 Instandhaltungskosten

Der Kostenblock **Instandhaltung** ist in präventive und korrektive Instandhaltung unterteilt. Kostenelemente präventiver und korrektiver Instandhaltung sind:

- Personal
- Material
- Betriebsstoffe
- Indirekt: Fahrzeugüberführungskosten
(Trassenkosten + Triebfahrzeugführerkosten)

Als Fahrzeugbetreiber verfolgt das EVU das Ziel der Minimierung der Stillstandzeiten bzw. Häufigkeit der Instandhaltungsmaßnahmen. Kögel schlägt hierfür eine Zustandsbezogene Instandhaltung vor, anstatt einer Laufkilometer- bzw. Betriebsstundenzahlbezogene Instandhaltung [KÖG04]. Durch Intervallverlängerungen sinkt über den Lebenszyklus betrachtet der erforderliche

Aufwand für Personal, Material und Betriebsstoffen und die Häufigkeit der Außerbetriebsetzung der Fahrzeuge. Damit einhergehend führt dies zur einer Steigerung der Fahrzeugverfügbarkeit und zu Einsparungen bei anderen Kostenblöcken (Trassen- und Triebfahrzeugführerkosten).

4.2.1.4 Anteile der Kostenblöcke an LCC

Im Rahmen einer LCC-Analyse wurden die Anteile der Kostenblöcke an den Lebenszykluskosten des ICE 2 ermittelt. Am Beispiel der Ergebnisse dieser Untersuchung soll die Verteilung der Kosten der Verkehrsleistungserbringung verstanden werden, obwohl sie nicht 1:1 auf andere potenzielle Einsatzgebiete (Güterverkehr, SPNV) von EVU's übertragen werden können:

Tabelle 4.3: Kostenblockanteile an LCC des ICE 2 [STR02]

Kostenblock	Anteil an LCC in [%]
Vorbereitung ¹	0,53
Beschaffung	3,51
Betriebseinsatz	23,07
Fahrweg	27,11
Instandhaltung	15,78

Die Kosten für den Fahrweg sind demnach der größte Kostenblock und im Wesentlichen abhängig von den für das EIU anfallenden LCC des Fahrweges und dem Trassenpreissystem des EIU.

4.2.2 Eisenbahninfrastrukturunternehmen

Geschäftszweck und somit Ziel eines Eisenbahninfrastrukturunternehmens ist „[...] die Bereitstellung von Fahrplantrassen [...]“ [KNE02]. Bedingung für die Bereitstellung von Fahrplantrassen ist das Vorhandensein von Eisenbahninfrastruktur.

Die folgende Tabelle führt die Kostenelemente auf, die bei dem Bau und Betrieb (Vorhaltung + Betriebsdurchführung) der Eisenbahninfrastruktur für das Unternehmen anfallen. Für alle Elemente fallen Beschaffungskosten an, auf die nicht

¹ Der Kostenblock Vorbereitung berücksichtigt den Aufwand der Deutschen Bahn bis zur Indienststellung und Abnahme der ICE 2-Züge. Das betrifft den Zeitraum von 1992 bis 1999 mit dem Kostenaufwand für Projekt- und Beraterleistungen.

näher eingegangen wird. Ob für jenes Element Besitzkosten - unterteilt in Betriebs-, Instandhaltungs- und etwaige Betriebserschwerungskosten - zu verrichten sind, wird in der jeweiligen Spalte vermerkt. Das Verständnis der Zusammenhänge wird in den nachfolgenden, jeweiligen Unterkapiteln vermittelt.

Tabelle 4.4: Infrastrukturelemente und dessen Kostenarten

Infrastrukturelement	Besitzkosten		
	Betrieb	Instandhaltung	Betriebserschwerungskosten ¹
Fahrweg nach [KOR00]			
Fahrbahn			
Oberbau	☑☒	☑	☑
Kunstbauwerke	☒	☑	☑
Erdbauwerke	☒	☑	☑
Signalanlagen	☑	☑	☑
Fernmeldeanlagen	☒	☑	☑
Bahnübergangsanlagen	☑/☒	☑	☑
Oberleitungsanlagen	☒	☑	☑
Bahnstromanlagen	☒	☑	☑
Lärm-, Windschutzanlagen	☒	☒	☒
Hochbauten für Stellwerksanlagen	☒	☒	☒
Sonstige Bahnanlagen			
Einrichtungen zur Zugführung, -sicherung	☑	☑	☑
Stationsinfrastruktur	☑	☑	☑

4.2.2.1 Fahrbahn

Der Begriff Fahrbahn umfasst den Oberbau, den Unterbau und Kunstbauwerke (Tunnel, Brücken). Zum Oberbau zählen neben dem Gleisbett (Schotter oder Beton („Feste Fahrbahn“)) die Gleise (Schienen, Schienenunterstützung, Schienenbefestigungsmittel), Weichen und Kreuzungen. Die Weichen sind zwischen Rückfallweichen, ortsgestellten und ferngestellten zu unterscheiden. Die Wahl des Oberbaus hat Einfluss auf die maximal zulässige Geschwindigkeit der Strecke und maximalen Radsatzlasten der Züge.

¹ Betriebserschwerungskosten (BEK) sind Folgekosten, die durch Nichtverfügbarkeit oder eingeschränkte Verfügbarkeit (Langsamfahrstellen) einzelner Bahnanlagen entstehen. Z.B. kann es sich um Pönale für Verspätungsminuten handeln.

Wie jede industrielle Anlage müssen Gleisanlagen gewartet werden. Sie unterliegen den Ansprüchen durch die Betriebslasten, durch Witterungseinflüsse und anderen externen Einflüssen (chemischer Art, Vegetation). Die Bauteile des Gleises verfügen je nach Einsatzdauer, Instandhaltungsstrategie und Beanspruchung über eine begrenzte Lebensdauer - die Gleisliegedauer -, nach der sie ersetzt bzw. erneuert werden müssen [LIE03].

Grundsätzlich fallen für die Fahrbahn keine Betriebskosten an, wie bei Fahrzeugen oder Stellwerken. Eine Ausnahme betrifft die Weichen, die indirekt Betriebskosten durch Stellaufwand verursachen. Im Regelbetrieb verursachen Rückfallweichen keinen Stellaufwand. Neben Personal- und Materialkosten für Instandhaltungsmaßnahmen, fallen des Weiteren Betriebserscherniskosten (BEK) an, die aufgrund der Nichtverfügbarkeit durch Instandhaltung oder durch eingeschränkte Verfügbarkeit (Langsamfahrstellen) entstehen. Eingeschränkte Verfügbarkeit der Fahrbahn entsteht durch nicht vorgenommene oder unzureichende Instandhaltungsmaßnahmen (Abbildung 4.3).

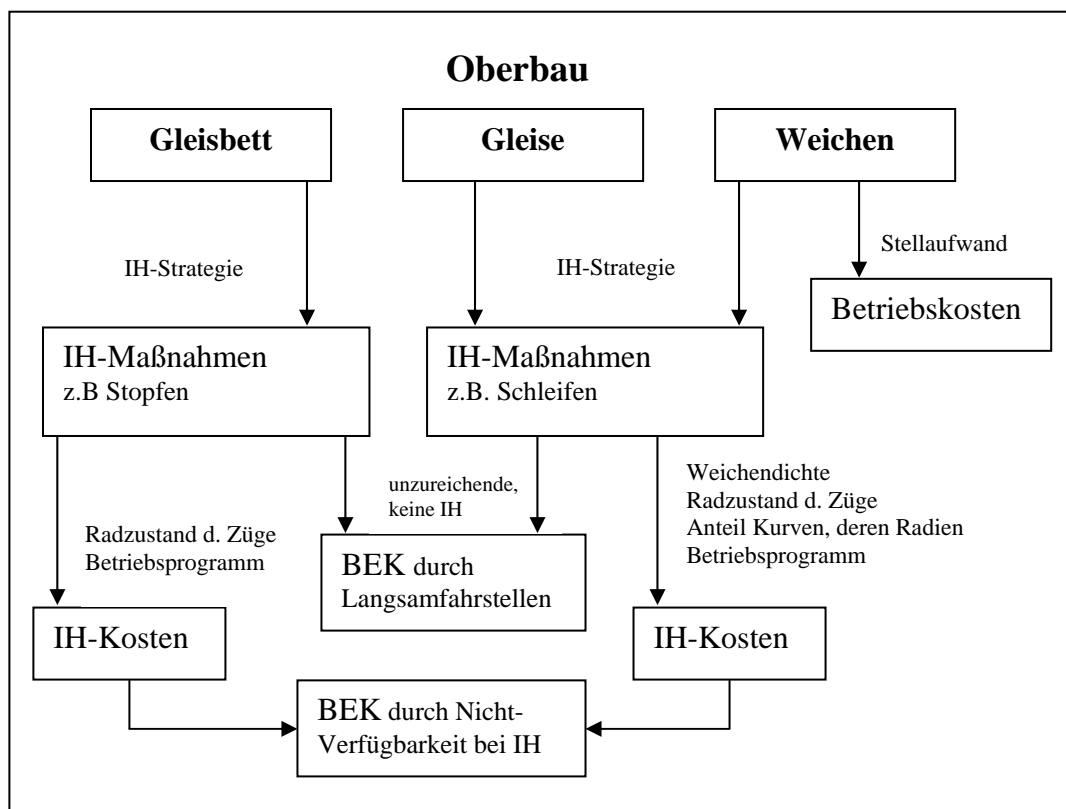


Abbildung 4.3: Einflussgrößen auf die Wirtschaftlichkeit des Oberbaus

Kostentreiber der Instandhaltung sind nach [LIE03] und [KOR00]

- der Anteil Kurven und deren Radien,
- die Weichendichte (IH-K. einer Weiche = IH-K. für 330m Hauptgleis),
- das Trassenprogramm (20% niedrigere IH-K. bei homogenen Verkehr gegenüber Mischverkehr)
- und der Radzustand verkehrender Züge (z.B. Flachstellen).

Instandhaltungsstrategien

Zur Ermittlung der günstigsten Instandhaltungsstrategie ist das Verständnis über die Zusammensetzung der Jahreskosten von Wichtigkeit. Tabelle 4.5 zeigt die Zusammensetzung der Kosten für eine hoch belastete Hauptstrecke nach [LIE03]:

Tabelle 4.5: Jahreskostenanteile einer hoch belasteten Hauptstrecke

Aufteilung der normalisierten Jahreskosten	
Abschreibungskosten	47 %
Instandhaltungskosten	20 %
Betrieberschwerniskosten	33 %

Entscheidungsrelevant für den strategischen Ansatz sind aufgrund der Verteilung die Abschreibungs- und Betriebserschwerungskosten. Der Grundlegende strategische Ansatz muss daher eine Verlängerung der Liegedauer des Gleises und seiner Komponenten sein. Kosteneinsparung durch geringere Instandhaltung - welche eine Verkürzung der Liegedauer verursacht - ist wegen ihrer geringeren Gewichtung nicht sinnvoll. Z.B. kann durch zeitliches Bündeln von Stopfen und Schleifen die Liegedauer des Gleises erhöht werden [VEI00] [LIE03].

4.2.2.2 Fahrweg

Neben der im vorherigen Unterkapitel behandelten Fahrbahn zählt zum Fahrweg insbesondere die Fahrwegseitige Leit- und Sicherungstechnik. Obwohl die LST nur einen relativ geringen Teil an den Investitionskosten der Infrastruktur tragen (10-15% [WOL00]), können sie einen wesentlichen Einfluss auf die Mindestzugfolgezeiten haben (bei vorgegebener Struktur des Trassenprogramms). Neben den Beschaffungs- und den Instandhaltungskosten sind Folgekosten durch Nichtverfügbarkeit ein Faktor bei der Betrachtung der LCC der LST. Der Ausfall von Signalanlagen, Kommunikationsanlagen und Sicherungstechnik und der damit verbundene Rückfall auf die nächste, tiefere Sicherungsebene verursacht Probleme bei der Einhaltung des Fahrplans und somit möglicherweise Betriebserschwerungskosten. Zur Fahrwegseitigen LST zählen:

- Lichtsignale
- Mechanische Formsignale
- Tafeln
- Bahnübergangssicherung
- Funkausleuchtung der Bahnhöfe
- Streckenseitiges GSM-R zur Kommunikation zwischen Personal
- Stationäre Fernsprecheinrichtungen
- Gleisfreimeldeinrichtungen (z.B. Achszähler)
- Punktuelle Zugbeeinflussung (Magnete bzw. Balisen, ETCS Telegrammcodierer → LEU, etc.)
- Linienförmige Zugbeeinflussung (Linienleiter, GSM-R für ETCS, etc.)

Nicht zur Leit- und Sicherungstechnik, dennoch zum Fahrweg zählen des Weiteren:

- Oberleitungsanlagen
- Bahnstromanlagen
- Lärm- und Windschutzanlagen
- Hochbauten für Stellwerksanlagen

Neben Beschaffungskosten sind für Bahnstromanlagen Instandhaltungskosten zu betrachten. Bei den Oberleitungen sind durch präventive und korrektive Instandhaltung verursachte Nichtverfügbarkeiten des Gleises mit zu betrachten.

4.2.2.3 Sonstige Bahnanlagen

Die für die vorzuhaltende und zu betreibende Stationsinfrastruktur anfallenden Beschaffungs- Betriebs- bzw. Instandhaltungskosten entstehen durch

- Bau und Vorhaltung (Reinigung, Instandhaltung) der Gebäude, Bahnsteige, Parkplätze, Fahrscheinautomaten, Einrichtungen für die örtliche Fahrdienstleitung
- und durch Personal für Kundenbetreuung, Fahrscheinverkauf und die örtliche Fahrdienstleitung.

Zu den Einrichtungen zur Zugführung und -sicherung gehören im Wesentlichen

- mechanische Stellwerke (MSTW),
- elektromechanische Stellwerke (EMSTW),
- Gleisbild- bzw. Relaisstellwerke (RSTW),
- elektronische Stellwerke (ESTW),
- Betriebszentralen (BZ) und
- Einrichtungen für den Zugsleiter des Zugleitbetriebes (z.B. Fernwirksystem, Zugnummernmeldedruker).

Der Betriebsaufwand für die Zugführung und -sicherung wird über die Betriebskosten dieser Einrichtungen erfasst. Wie die fahrwegseitige LST nehmen Stellwerke aufgrund verschiedener Fahrstraßenbilde- und -auflösezeiten Einfluss auf die Mindestzugfolgezeiten und somit die Kapazität der betrachteten Strecke / Knoten.

5 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung anhand eines Streckenbeispiels

Ziel der Untersuchung ist, im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit den Ist - Zustand der zu untersuchenden Strecke mit Ausrüstungsvarianten zu vergleichen. Die Untersuchung wird bei gegebener Leistungsanforderung durchgeführt. Die Varianten beinhalten daher ausschließlich Änderungen bezüglich der Art des Betriebsverfahren und des Ausrüstungsgrades der Streckeninfrastruktur. Da diese Änderungen Auswirkungen auf die Betriebsqualität nehmen können, werden Fahrplanstabilitätsuntersuchungen durchgeführt. Die Züge des Fahrplans werden als Zugtrassen interpretiert, so dass diese Untersuchung aus der Sicht eines EIU zu verstehen ist.

5.1 Untersuchungsgegenstand

Untersuchungsgegenstand sind drei Szenarien: Der vorliegende Ist - Zustand der Strecke dient als Referenzszenario und zwei Varianten, die in Kapitel 5.1.2 definiert werden. Streckenparameter, die im gesamten Untersuchungsgegenstand terminiert sind, sind im nachfolgenden Unterkapitel aufgeführt.

5.1.1 Feste Parameter

Streckentopologie

Untersuchungsgegenstand ist eine eingleisige Nebenstrecke, die einer realen Nebenstrecke nachempfunden ist. Folgende Parameter, die gegenüber den Varianten nicht verändert werden, gelten für die Strecke:

- 107 km Länge
- Eingleisig, Zweirichtungsbetrieb
- Streckenhöchstgeschwindigkeit 80 km/h
- Zehn Bahnhöfe
- Elf Haltepunkte
- Zwei Anschlussstellen
- Bahnübergänge sind nicht Gegenstand der Betrachtung.

Die Streckentopologie in Abbildung 5.1 ist aus RailSys entnommen und zeigt den Infrastrukturausbau des Ist - Zustandes:

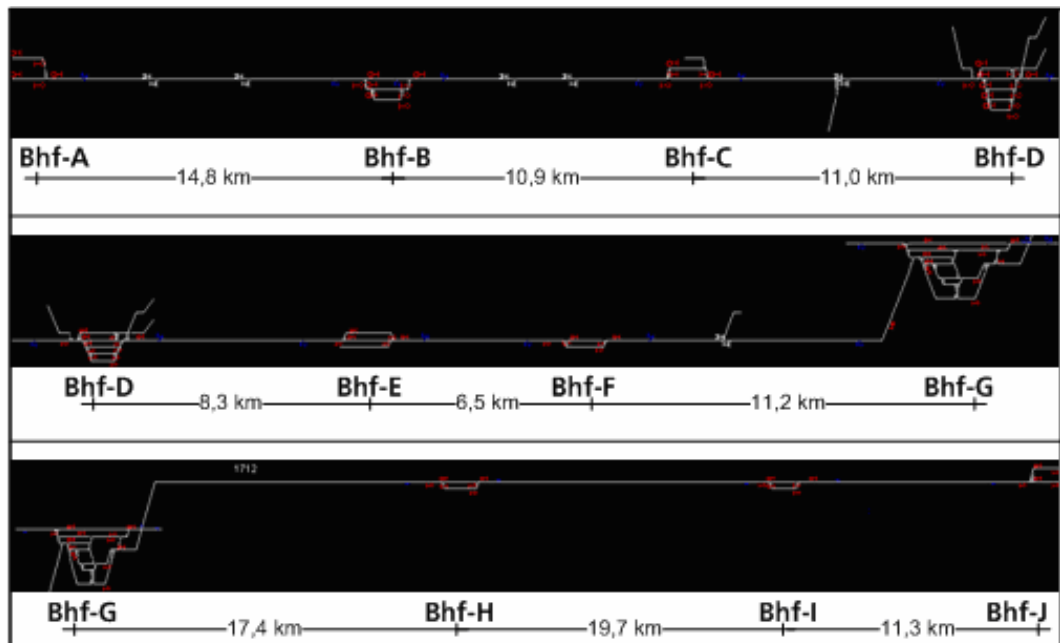


Abbildung 5.1: Bahnhofstopologie der zu untersuchenden Strecke

Bahnhof *A* und *J* sind Bahnhöfe bzw. Zugmeldestelle benachbarter Strecken, die in allen untersuchten Varianten im Zugmeldeverfahren betrieben werden. In diesen Bahnhöfen werden ausschließlich ein Einfahr-, ein Ausfahrgeis, zugehörige Signale (Vor- und Einfahrsignal, Ausfahrtsignal) und Stellwerke (in diesem Fall: elektromechanische) modelliert, um das Ein- und Ausbrechen von Zügen in die bzw. aus der Simulation zu ermöglichen. Diese „unscharf“ modellierten Bahnhöfe sind bei der Szenarienerstellung nicht Gegenstand der Betrachtung und werden daher im Verlauf der Untersuchung infrastrukturell nicht verändert. Die modellierte Infrastruktur dieser Bahnhöfe wird aufgrund des automatischen Datenexports in das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung in der Kostenrechnung mit einbezogen.

In den Bahnhöfen *D* und *E* sind für den Güterverkehr Anschlussstellen vorhanden. Diese Anschlussstellen sollen für alle untersuchten Varianten beibehalten werden. In den Bahnhöfen *D* und *G* beginnen und enden Züge, daher werden Nebengleise dieser Betriebsstellen in den Varianten nicht rückgebaut.

Nach der DB Konzernrichtlinie 413 [DB02b] erfüllt die Strecke die Parameter für die Streckenkategorie *R 80 - Regionalverkehrsstrecke*. Einige Parameter aus der Richtlinie, die für diese Untersuchung von Interesse sind, sind in der folgenden Tabelle im Vergleich zu der untersuchten Strecke aufgeführt:

Tabelle 5.1: Streckenkategorie R 80 im Vergleich mit dem Untersuchungsgegenstand

Streckenkategorie R 80 - Regionalverkehrsstrecke			
Basisparameter			Parameter des Untersuchungsgegenstandes
Streckenauslastung [Z/d je Richtung]	Obergrenze	Untergrenze	
Summe/SPFV/SPNV/SGV	30/-/25/5	18/-/13/5	27/-/25/2
Leitgeschwindigkeit	51 - 100 km/h		80 km/h
Standardelemente			
Anzahl der Streckengleise	1		1
Kreuzungsgleisabstand	10 Km	15 - 20 Km	6,5 - 19,7 Km
Blockabschnittslängen	Abstand der Kreuzungsbahnhöfe (in der Regel keine Blockteilung)		Abstand der Kreuzungsbahnhöfe
$v_{\text{Einf/Ausf}}$	50 / 40 km/h		50 / 40 km/h
Streckenblock	erforderlich		vorhanden
Gleisfreimeldeeinrichtung	nicht Bedingung		vorhanden
PZB/Indusi	erforderlich		vorhanden
Zugfunk	erforderlich		vorhanden
Einfachbetriebsweise	zugelassen (SZB ...), Einfachbetriebsweise ist Bedingung bei 1 - 2 Z/h		ja, in einem Szenario

Fahrplantopologie

Da die Untersuchung unter gegebener Leistungsanforderung durchgeführt wird, werden die An- und Abfahrtszeiten der Züge des Referenzszenarios in die Varianten übertragen. Der Fahrplan umfasst Zugfahrten von ca. 4:00 Uhr Morgens bis 1:00 Uhr Nachts (siehe Bildfahrplan im Anhang).

Es verkehren zwei Zuggattungen, eine Personenzuggattung und eine Güterzuggattung. Beide Gattungen fahren planmäßig 80 km/h. Es liegt somit ein von der Geschwindigkeit her homogenes Trassenprogramm vor und es bedarf im Fahrplan keiner Überholungen von Zügen. In jedem der Bahnhöfe finden Zugkreuzungen statt. Der Fahrplan beinhaltet 54 Zugfahrten, wobei 50 Zugfahrten Fahrten eines Personenzuges sind und vier eines Güterzuges.

An jeder Anschlussstelle sind jeweils eine Ein- und eine Ausfahrt eines Güterzuges betrieblich zu regeln.

In den Bahnhöfen D und G beginnen und enden Züge.

Trassenpreise

Da der Fahrplan für alle Szenarien gleich ist, bleibt der durch die Trassenvergabe direkt monetarisierbare Nutzen unverändert.

Nach dem modularen Trassenpreissystem der DB Netz AG [DB05], entspricht die zu untersuchende Strecke der Kategorie *F5* mit dem Grundpreis von 1,76 Euro/Trkm. Der Auslastungsfaktor wird nicht erhoben. Für den Personenverkehr wird die „Nahverkehrs-Takt-Trasse“ mit dem Produktfaktor von 1,65 angenommen. Für den Güterverkehr die „Güterverkehrs-Standard-Trasse“ mit dem Produktfaktor von 1,00. Sonderfaktoren sind nicht zu betrachten. Regionalfaktoren werden ebenfalls nicht betrachtet, um eine möglicherweise nicht tragfähige Kosten-Erlös-Struktur aufzeigen zu können. [DB05]

Für die zwei Zuggattungen werden in dieser Untersuchung demnach folgende Trassenpreise angenommen:

Personenzuggattung	→	1,76 €/Trkm * 1,65 = 2,904 €/Trkm
Güterzuggattung	→	1,76 €/Trkm * 1,00 = 1,76 €/Trkm

Stationsgebühren

Stationsgebühren werden nicht betrachtet, da Kosten für Erhalt und Betrieb der Stationen nicht betrachtet werden.

5.1.2 Definition der Szenarien

Referenzszenario

Das im Ist - Zustand vorliegende Betriebsverfahren ist das Zugmeldeverfahren mit durchgehend ortsfester Signalisierung. In den Bahnhöfen *A*, *B* und *J* befinden sich elektromechanische, in den übrigen mechanische Stellwerke.

Szenario ESTW

Aufgrund der Stellwerke des Referenzszenarios erscheint eine **erste Untersuchungsvariante** sinnvoll, in der die alte Stellwerkstechnik durch **elektronische Stellwerke** ersetzt werden soll. Darüber hinaus wird nicht mehr benötigte Infrastruktur zurückgebaut. Dies betrifft Kreuzungsbahnhöfe - an denen keine Züge beginnen / enden oder sich Anschlussstellen befinden - die jedoch mehr als die benötigten Hauptgleise haben.

Szenario SZB

In der **zweiten Untersuchungsvariante** wird auf Stellwerkstechnik gänzlich verzichtet. Das Betriebsverfahren **signalisierter Zugleitbetrieb** mit der Bauform SIG L 90 soll den Zugbetrieb regeln und sichern. Da aufgrund der gegebenen Leistungsanforderung und der Länge der Strecke relativ viele Züge gleichzeitig verkehren und der Zugleiter in der Anzahl der Bewältigung von Zuglaufmeldungen begrenzt ist, ist vorab zu untersuchen, inwiefern ein Zugleiter der Leistungsanforderung gerecht wird. Daher wird im nachfolgenden Unterkapitel ein einschlägiges Verfahren angewendet, um das Belastungsprofil der Strecke zu ermitteln.

5.1.3 Definition des Szenario SZB

Das Belastungsprofil wird nach der Methode in VDV-Schrift 752 ermittelt. [SCH06] geht auf dieses Vorgehen näher ein. Die Berechnung wird mittels einer Berechnungsmatrix durchgeführt, in der die Streckenparameter gewichtet werden. Das Ergebnis ist eine Punktzahl, die eine Empfehlung für das zu verwendende Betriebsverfahren ausgibt. Punktzahlbereiche mit einer Empfehlung für das zu wählende Betriebsverfahren sind:

- **Summe < 10.000 Punkte: Schwaches Belastungsprofil**
Geeignetes Betriebsverfahren: (technisch unterstützter) Zugleitbetrieb
- **Summe 8.000 - 20.000 Punkte: Mäßiges Belastungsprofil**
Geeignetes Betriebsverfahren: Signalisierter Zugleitbetrieb
- **Summe > 18.000 Punkte: Starkes Belastungsprofil**
Geeignetes Betriebsverfahren: Zugmeldeverfahren mit Streckenblock, voll signalisiert

Wird eine Punktzahl im Übergangsbereich ermittelt, so ist im Regelfall eine genaue Einzelfallprüfung erforderlich. In diesem Fall ist es verbindlich den signalisierten Zugleitbetrieb als Betriebsverfahren zu verwenden. Auf Grund der Länge der Strecke und der damit verbundenen Anzahl an Zuglaufmeldungen ist nicht von einem schwachen Belastungsprofil auszugehen. Wird ein starkes Belastungsprofil ermittelt, wird die Zugleitstrecke in zwei oder notwendigerweise in mehrere Zugleitstrecken unterteilt und für diese erneut das Belastungsprofil ermittelt, bis die Zugleitstrecken ein mäßiges Belastungsprofil aufweisen.

Elementar für die Bestimmung des Belastungsprofils der Strecke sind die Kreuzungen/Überholungen in der Spitzenstunde und die abzugebenden Meldungen des am stärksten belasteten Triebfahrzeugführers und des Zugleiters in der Spitzenstunde. Die Spitzenstunde ist nach VDV-Schrift 752 definiert mit dem „[...] Zeitraum, in dem das jeweils zu betrachtende Kriterium am häufigsten auftritt.“ [VDV00]

Für die (erste) Untersuchung wird eine Zugleitstrecke vom Einfahrsignal des Bahnhofs *A* bis zum Einfahrsignal des Bahnhofs *J* angenommen. Der Zugleiter der Zugleitstrecke ist zugleich Fahrdienstleiter des Bahnhofs *A*. Somit entfallen Meldungen zwischen dem Zugleiter und dem Fahrdienstleiter der Zugmeldestelle *A*, da diese ein und dieselbe Person sind. Bemerkungen zu den Eintragungen in die Berechnungsmatrix werden im Anschluss an die folgende Tabelle gegeben.

Tabelle 5.2: Matrix zur Berechnung des Belastungsprofils der Untersuchungsstrecke

Strecke			Grunddaten des Eisen- bahnunter- nehmens	Bewer- tungs- faktor	Pro- dukt
Infrastruktur und Fahrzeuge					
1	Bahnhöfe	[Anzahl]	8	100	800
2	Bremsfaktor		0,7	2000	1400
3	Doppelter Bremswegabstand nicht einsehbar	(%)	25	20	500
1-3 Zwischensumme					2700
Betrieb					
4	Gesamtzugzahl	[Anzahl/Tag]	54	20	1080
5	Gesamtzugzahl in der Spitzenstunde	[Anzahl/Stunde]	10	500	5000
6	Sonderverkehre im Jahresdurchschnitt	[Anzahl/Tag]	1	100	100
7	Kreuzungen / Überholungen	[Anzahl/Tag]	51	40	2040
8	Kreuzungen / Überholungen in der Spitzenstunde	[Anzahl/Stunde]	6	200	1200
9	Kreuzungsverlegungen im Jahresdurchschnitt	[Anzahl/Tag]	0	40	0
10	Zusätzliche Kreuzungen durch Sonderverkehre im Jahresdurchschnitt	[Anzahl/Tag]	2	80	160
4-10 Zwischensumme					9480
Personal					
11	Meldungen Zugleiter in der Spitzenstunde	[Anzahl/Stunde]	50	40	2000
12	Meldungen des am stärksten belasteten Triebfahrzeugführers in der Spitzenstunde	[Anzahl/Stunde]	7	40	280
13	Anteil der sonstigen Arbeiten des Zugleiters, die nicht der direkten Durchführung der unter Punkt 4 bis 10 bewerteten Zugfahrten auf der Betrachtungsstrecke und der hierzu durchgeführten betrieblichen Kommunikation dienen	(%)	50	24	1200
14	Anteil der Arbeiten des am stärksten belasteten Triebfahrzeugführers während der Zeit im Fahrdienst, die nicht betrieblicher Art sind	(%)	0	48	0
11-14 Zwischensumme					3480
Gesamtpunktsumme					15660

Infrastruktur und Fahrzeuge

Da der erste und der letzte Bahnhof nicht zur Zugleitstrecke gehören, werden acht Bahnhöfe in die Berechnungsmatrix eingetragen.

Der Bremsfaktor ist ein dimensionsloser Wert, der aus der Division der geforderten Mindestbremsleistung durch die vorhandenen Bremsleistung (Brh) gebildet wird. Für die Strecke wird eine Mindest-Brh von 100 angenommen. Im Personenverkehr wird ein Zug mit 150 Brh und im Güterverkehr ein Zug mit 100 Brh angenommen. Der Bremsfaktor wird folgendermaßen berechnet:

$$\frac{50 * \frac{100}{150} + 4 * \frac{100}{100}}{54} = 0,69 \approx 0,7$$

Nicht einsehbarer doppelter Bremswegabstand wird für 25 % der Strecke angenommen.

Betrieb

54 Züge insgesamt verkehren am Tag. Nach Fahrplan befinden sich von 5:45 Uhr bis 6:45 Uhr mit zehn Zügen die meisten Züge gleichzeitig auf der Strecke. Im Durchschnitt wird pro Tag ein Sonderzug angenommen. Die Sonderverkehre verursachen zwei zusätzliche Kreuzungen durchschnittlich pro Tag (Annahme).

Aufgrund des von der Geschwindigkeit her homogenen Betriebsprogramms finden keine Überholungen statt, jedoch 51 Kreuzungen. In der Spitzenstunde für Kreuzungen von 8:00 Uhr bis 9:00 Uhr finden sechs statt.

Personal

Der Zeitraum von 7:02 Uhr bis 8:02 ist die Spitzenstunde, in der der Zugleiter die meisten Zuglaufmeldungen (50) zu geben oder anzunehmen hat. Der am stärksten belastete Triebfahrzeugführer ist an sieben Meldungen in der Spitzestunde beteiligt.

Fazit:

Die Strecke weist mit einer Punktzahl von 15660 ein „mäßiges Belastungsprofil“ auf und bedarf daher keiner weiteren Untersuchung. Gemäß des Belastungsprofils und der Untersuchung wird eine Zugleitstrecke vom Einfahrsignal des Bahnhofes A bis zum Einfahrsignal des Bahnhofes J angenommen. Der Zugleiter der Zugleitstrecke ist zugleich Fahrdienstleiter des Bahnhofes A.

5.2 Modellierung der Szenarien in RailSys

Abhängig von der Vollständigkeit und dem Detaillierungsgrad der Daten ergibt sich die Güte des Simulationsmodells. Die Eingabedaten werden prinzipiell in Infrastrukturdaten, Daten der Triebfahrzeuge und Betriebsdaten (Fahrplan) unterschieden. Da in allen Szenarien Eingabedaten zu den Zügen und zum Betrieb gleich gehalten sind, wird im Weiteren auf die Eingabedaten zur Erstellung des Infrastrukturmodells eingegangen.

In RailSys werden Stellwerke nicht explizit modelliert. Es genügt im Regelfall ein Stellwerk mit den Fahrstraßenbilde- und auflösezeit zu definieren und es den Hauptsignalen zuzuweisen. Haben die Fahrstraßen im Betrachtungsraum unterschiedliche Bilde- und Auflösezeiten, müssen dementsprechend viele Stellwerke definiert werden. Um mit dieser Simulation korrekte Daten an das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung exportieren zu können, wurde jedes physisch im Untersuchungsraum vorhandene Stellwerk in RailSys definiert, obwohl zur Simulation weniger genügt hätten. Alle Stellwerke, der Zugleiter und die ESTW - Außenstationen konnten so erfasst zu dem Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung exportiert werden.

Die folgende Tabelle gibt Aufschluss darüber, welche Eingabedaten in welcher Quantität vorgenommen worden sind. Eingabedaten zu den Bahnhöfen A und J erscheinen ebenfalls in der Tabelle 5.3, da - aufgrund der vorhandenen Modellierung - diese Daten in die Kostenbetrachtung mit einbezogen werden müssen (siehe Streckentopologie Kapitel 5.1.1).

Tabelle 5.3: Eingabedaten zur Modellierung der Szenarien in RailSys

Eingabedatentyp	Referenzszenario		Szenario ESTW		Szenario SZB	
Gleislänge in [Km]	126,848		125,798		125,798	
Anzahl der Weichen	44		42		42	
Radien, Gradienten	keine					
Anzahl Vorsignale	19		19		2	
Anzahl Hauptsignale	69		67		57	
Anzahl Bahnhöfe	10					
Anzahl Haltepunkte	11					
Art der Zugbeeinflussung	PZB					
Stellwerkstyp + Anzahl	7 MSTW	3 EMSTW	8 ESTW-A	2 EMSTW	1 Zugleiter	2 EMSTW
Fahrstraßenbildezeit	90 s	45 s	12 s	45 s	42 s	45 s
Fahrstraßenauflösezeit	25 s	12 s	6 s	12 s	26 s	12 s

In den Szenarien *ESTW* und *SZB* wurde gegenüber dem Referenzszenario in Bahnhof B ein Nebengleis und dessen dazugehörige Ausfahrtsignale entfernt. Im *SZB* werden die Vorsignale nicht mehr benötigt, deshalb stehen ausschließlich vor den Einfahrtsignalen der Bahnhöfe A und J, die weiterhin im Zugmeldebetrieb betrieben werden, Vorsignale. Da die Bahnhöfe im Szenario *SZB* im Richtungsbetrieb (Rückfallweichen) betrieben werden, können Ausfahrtsignale wegfallen.

Die Zeiten für die Bildung und Auflösung der Fahrstraßen durch Stellwerke wurde [POT62] entnommen. Die Bilde- und Auflösezeit der Fahrstraßen durch den Zugleiter besteht aus folgenden Zeiten:

Fahrstraßenbildezeit durch den Zugleiter

12 s für das Einstellen der Fahrstraße durch das Fernwirkssystem (Zeiten gleich Gleisbildstellwerk)
 + 20 s für die Anfrage und das Geben der Fahrerlaubnis
 + 10 s für das Eintragen der Zuglaufmeldung in das Zugmeldebuch
 = **42 Sekunden**

Fahrstraßenauflösezeit durch den Zugleiter

6 s für das Auflösen der Fahrstraße (Zeiten gleich Gleisbildstellwerk)
 +10 s für die Entgegennahme der Haltmeldung
 +10 s für das Eintragen der Zuglaufmeldungen in das Zugmeldebuch
 = **26 Sekunden**

5.3 Untersuchung der Betriebsqualität

Die Szenarien weisen, aufgrund unterschiedlicher Betriebsverfahren bzw. Ausrüstungsvarianten der Infrastruktur, verschiedene Mindestzugfolgezeiten auf. Dies kann Einfluss auf die Betriebsqualität nehmen. Die Fahrplanqualität ist - wegen der gegebenen Leistungsanforderung - gleichbleibend.

Inwiefern sich Störungen im Fahrplan auf die Betriebsqualität der Szenarien auswirken, wird mittels Fahrplanstabilitätsuntersuchungen ermittelt. Hierzu wurden zwei gestörte Fahrpläne erstellt und ausgewertet:

- In einem ersten gestörten Fahrplan ist der **Streckenabschnitt** zwischen Bahnhof *G* und Bahnhof *H* aufgrund von Instandhaltungsarbeiten **gesperrt**. Aufhebung der Sperrung ist um 4:30 Uhr. Die Abfahrt der Regionalbahn 71109 in Bahnhof *G* verspätet sich um 24,4 Minuten. Dies hat unter anderem eine verspätet Abfahrt für den Nachfolgezug zur Folge und eine zusätzliche Kreuzung in Bahnhof *H* (siehe Bildfahrplan im Anhang).
- Die zweite **Störung** betrifft die **Weiche** in dem Bahnhof *A*¹. Nach Einfahrt des Zuges RB 72101 um 6:27:12 Uhr kann die Weiche nicht mehr bedient werden. Um 6:45 Uhr ist die Störung behoben. Die Regionalbahn 71101 kann mit 10 min. Verspätung abfahren, verursacht dadurch Folgeverspätungen (siehe Bildfahrplan im Anhang).

Die Verspätungen der einzelnen Züge werden an jedem Haltepunkt und Bahnhof gemessen, da sie an diesen Orten für Kunden bemerkbar sind. In Tabelle 5.4 ist die Summe der Verspätungsminuten für jedes Szenario und jede Störung abzulesen, in Tabelle 5.5 die Anzahl der von der Störung betroffenen Züge.

Tabelle 5.4: Auswirkung der Fahrplanstörungen [Verspätungsminuten]

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
Streckensperrung	604 min 36 s	463 min 11 s	528 min 24 s
Weichenstörung	109 min 39 s	92 min 33 s	91 min 1 s
Gesamt	714 min 15 s	555 min 44 s	619 min 25 s

¹ Weichenstörungen können in RailSys explizit nicht modelliert werden, daher wurde eine Streckensperrung über eine Weichenkante vorgenommen.

Tabelle 5.5: Auswirkung der Fahrplanstörung [Anzahl betroffener Züge]

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
Streckensperrung	8	5	6
Weichenstörung	4	3	3

Im Sinne der Fahrplanstabilität ist es von Interesse wie viele Verspätungen sich aufgrund einer Ursache summieren und nach welcher Zeit diese abgebaut werden können. Die Graphen in den Abbildungen 5.2 bzw. 5.3 zeigen die für die Streckensperrung bzw. die Weichenstörung aufsummierten Verspätungen [s] über der Zeit. Steigt der Graph nicht weiter an, treten keine weiteren Folgeverspätungen auf.

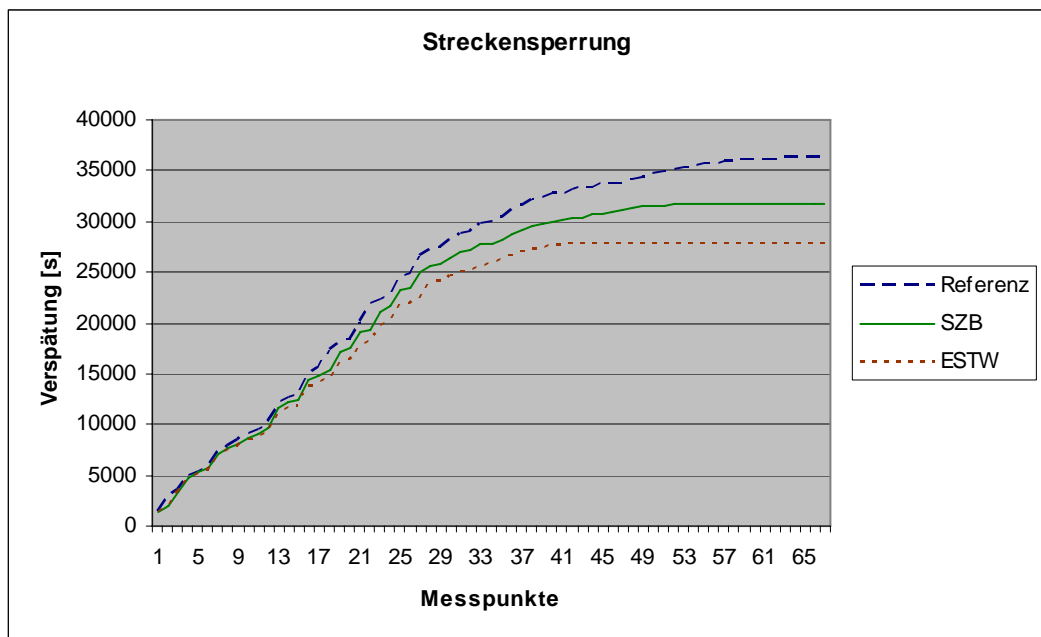


Abbildung 5.2: Auswirkungen der Streckensperrung

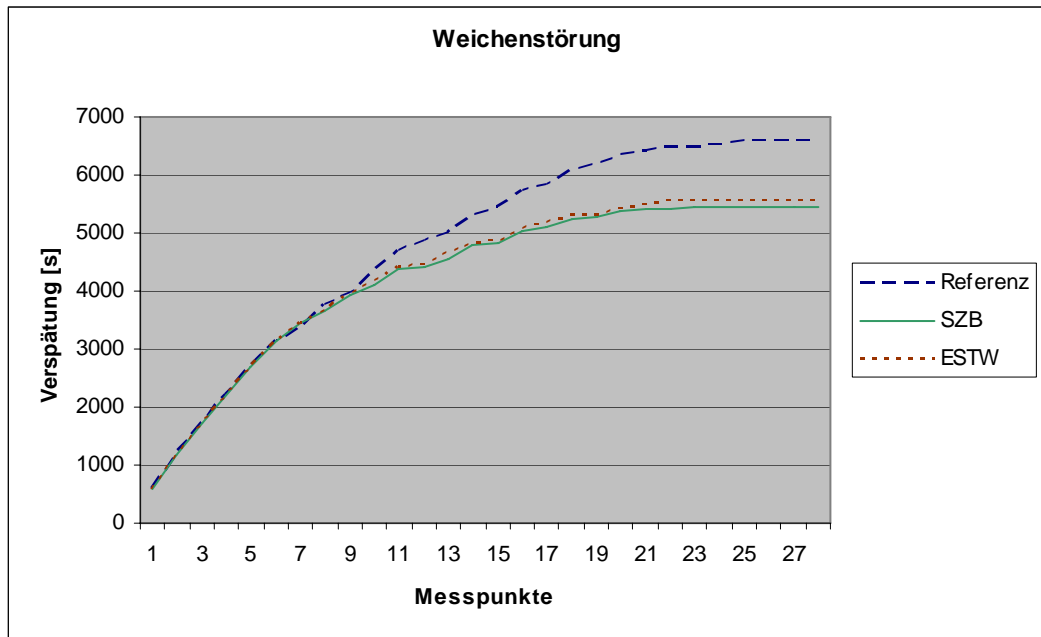


Abbildung 5.3: Auswirkung der Weichenstörung

Die ermittelten Gesamtverspätungsminuten werden im Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung durch zwei geteilt - aufgrund zweier durchgeführter Störungen - und zur Berechnung der Betriebserschwerungskosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen, um die Kosten durch Nichteinhaltung des Fahrplans abzubilden, die vom EIU verursacht werden.

Ergebnis:

Die Verwendung von elektronischen Stellwerken bzw. des Fernwirksystems des Zugleiters mit der Bedienoberfläche eines Gleisbildstellwerkes nehmen gegenüber mechanischen und elektromechanischen Stellwerken deutlich positiven Einfluss auf den Verspätungsabbau und somit auf die Gesamt auftretenden Verspätungen.

Das Szenario ESTW weist in Relation die höchste Betriebsqualität auf, das Referenzszenario die niedrigste Betriebsqualität.

5.4 Durchführung und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

5.4.1 Grundlegendes / Durchführung

Der Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung beträgt 20 Jahre. Es wird unterstellt, dass der Fahrplan an 365 Tagen eines Jahres abläuft. Für die Kosten / Erlös - Rechnung wird angenommen, dass jedes Szenario zum Zeitpunkt der Untersuchung schon bestehen würde. Das heißt Kosten für den Aufwand der Anschaffung und den Rückbau von Infrastrukturelementen werden nicht behoben. Erfasst werden die Besitzkosten mit den Anteilen *Betriebskosten*, *Instandhaltungskosten*, *Folgekosten*.

Folgende Daten wurden aus RailSys in das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung importiert und für die Berechnung der Kosten / Erlöse verwendet:

- Anzahl und Ort (Kilometrierung) der Bahnhöfe und Haltepunkte
- Anzahl der Zugleiter und Anzahl / Typ der Stellwerke
- Anzahl Vorsignale
- Anzahl Hauptsignale
- Anzahl Weichen
- Anzahl Haltetafeln
- Kantenlängen
- Anzahl und Nummer der Knoten
- Zugverläufe (Zugnummer, An- und Abfahrtszeiten bei Halt, Name des Bahnhofs bzw. Haltepunktes)
- Anzahl Züge je Kante / Knoten
- Zugnummer und dessen Verspätung bei den Fahrplanstabilitätsuntersuchungen

Ausgehend von diesen Daten und in Ergänzung mit den Daten durch Handeingabe (z.B. Trassenpreis, Personalbedarf der Stellwerke, Instandhaltungsfrequenz einzelner Anlagen, etc.) wird die Berechnung der Kosten / Erlöse im Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung automatisch durchgeführt. Ausgegeben werden

- Betriebskosten durch Stellwerke bzw. Zugleiter,
- präventive Instandhaltungskosten (Personal + Materialkosten) einzelner Anlagen,

- korrektive Instandhaltungskosten einzelner Anlagen,
- Betriebserschwerungskosten (Folgekosten) und
- Erlöse durch Trassenkilometervergabe.

Die Betriebserschwerungskosten dienen der Abbildung des verschiedenartigen Einflusses der infrastrukturellen Ausrüstung der Szenarien auf die jeweilige Betriebsqualität. Es wird davon ausgegangen, dass an 5%¹ der Betriebstage eines Jahres eine der untersuchten Störungen (Kapitel 5.3) auftritt.

Die Erlöse ergeben sich durch die befahrenen Trassenkilometer der Personen- und Güterzüge in einem Jahr, multipliziert mit den in Kapitel 5.1.1 definierten Trassenpreisen.

5.4.2 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsdurchführung

5.4.2.1 Betriebskosten

Die Kosten für die Betriebsführung- und -sicherung eines Jahres bestehen aus Personalkosten (Tabelle 5.6). In allen Szenarien werden Kosten für den Betrieb der EMSTWs in den Bahnhöfen A und J berechnet. Weitere Kosten entstehen im Referenzszenario für sieben MSTWs und ein weiteres EMSTW; im Szenario ESTW werden Kosten für Aufwand in einer Betriebszentrale für die untersuchte Strecke erhoben; im Szenario SZB wird der Kostenaufwand für den Zugleiter berechnet.

Tabelle 5.6: Betriebskosten der Szenarien eines Jahres

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
Betriebskosten	2.993.446,10 €	898.033,80 €	898.033,80 €

¹ Bei Annahme 90%iger Pünktlichkeit der Zugfahrten und das 25% der Urverspätungen durch Störungen von Anlagen und 25% der Urverspätungen durch Bau- und Instandhaltungsmaßnahmen entstehen.

5.4.2.2 Instandhaltungskosten

Die korrektiven Instandhaltungskosten werden im Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einem Anteil von 10% an den gesamten Instandhaltungskosten bemessen.

Die präventiven Instandhaltungskosten für die Anlagenelemente und die korrektiven Instandhaltungskosten der Szenarien sind der Abbildung 5.4 und der Tabelle 5.7 zu entnehmen. Der IH - Zyklus der Gleise beträgt vier Jahre. Im Diagramm und in der Tabelle wurden die IH - Gleis - Kosten demnach über ein Jahr gemittelt.

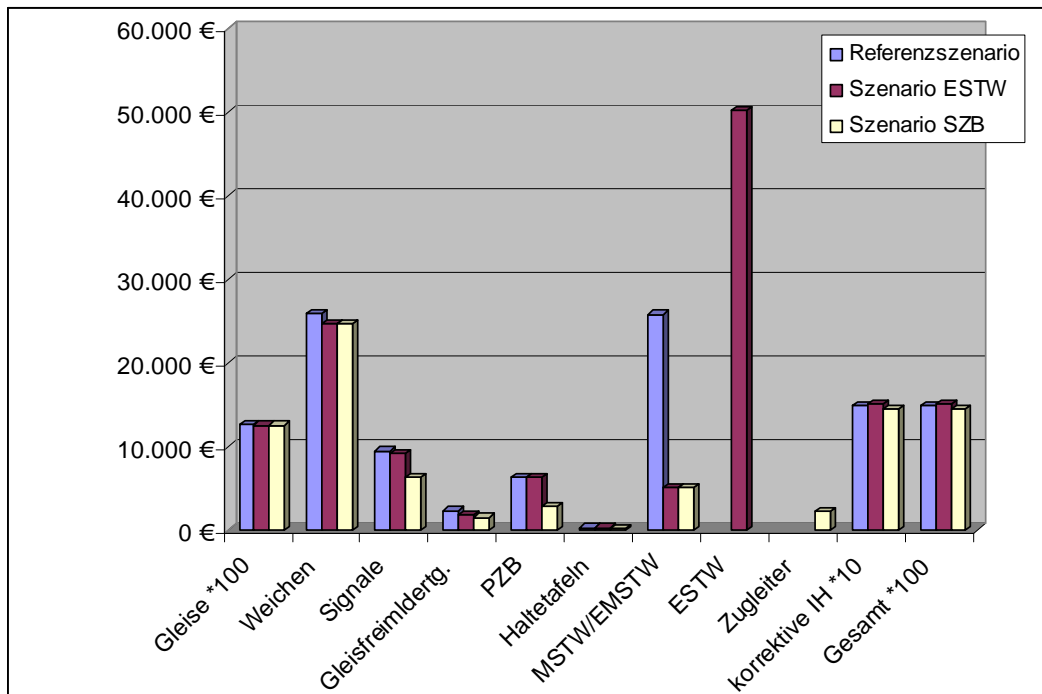


Abbildung 5.4: präventive IH-Kosten für Anlagen + korrektive IH-Kosten eines Jahres

Tabelle 5.7: Instandhaltungskosten der Szenarien eines Jahres

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
Gleise	1.268.480 €	1.257.980 €	1.257.980 €
Weichen	25.948 €	24.769 €	24.769 €
Signale (H/V)	9.488 €	9.273 €	6.361 €
Gleisfreimldertg.	2.367 €	1.802 €	1.533 €
PZB	6.381 €	6.279 €	2.887 €
Haltetafeln	322 €	322 €	289 €
MSTW/EMSTW	25.830 €	5.166 €	5.166 €
ESTW	-	50.255 €	-
Zugleiter	-	-	2.220 €
korrektive IH	148.757 €	150.650 €	144.331 €
Gesamt	1.487.573 €	1.506.496 €	1.445.536 €

Die infrastrukturellen Unterschiede zwischen den Szenarien betragen im Wesentlichen die Art der Fahrstraßenbildung und -auflösung und die Anzahl der Fahrstraßen. Die Anzahl der Fahrstraßen wiederum bestimmen die Anzahl der Signale, Gleisfreimeldeeinrichtungen und Einrichtungen für die PZB. In Abbildung 5.5 bis 5.7 sind die präventiven Instandhaltungskosten der Einrichtungen zur Bildung, Auflösung und Sicherung der Fahrstraßen gegenübergestellt. In der folgenden Tabelle sind für alle Szenarien die jährlichen Kosten aufsummiert:

Tabelle 5.8: Jährliche, präventive IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Szenarienvergleich

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
Signale	9.488,00 €	9.273,00 €	6.361,00 €
Gleisfreimldertg.	2.367,00 €	1.802,00 €	1.533,00 €
PZB	6.381,00 €	6.279,00 €	2.887,00 €
Fahrstraßenbildung, -auflösung	25.830,00 €	55.421,00 €	7.386,00 €
Gesamt	44.066,00 €	72.775,00 €	18.167,00 €

Da das Fernwirksystem des Zugleiters im signaltechnischen Sinne nicht sicher ist, ist es gegenüber herkömmlicher Stellwerkstechnik günstiger im Unterhalt. Da Bahnhöfe im Szenario SZB im Richtungsbetrieb betrieben werden, sind weniger Fahrstraßen gegenüber den anderen Szenarien vorhanden. Dies wirkt sich positiv auf die Instandhaltungskosten dieser Einrichtungen aus. Die Instandhaltungskosten der ESTW's sind höher als die der alten Stellwerkstechnik.

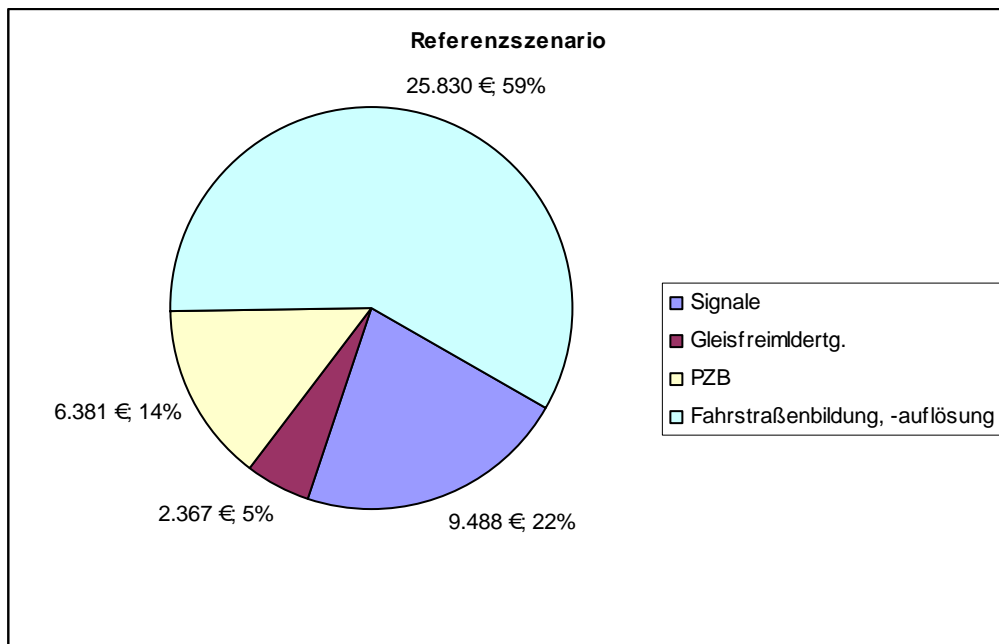


Abbildung 5.5: Gegenüberstellung der jährlichen präventiven IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Referenzszenario

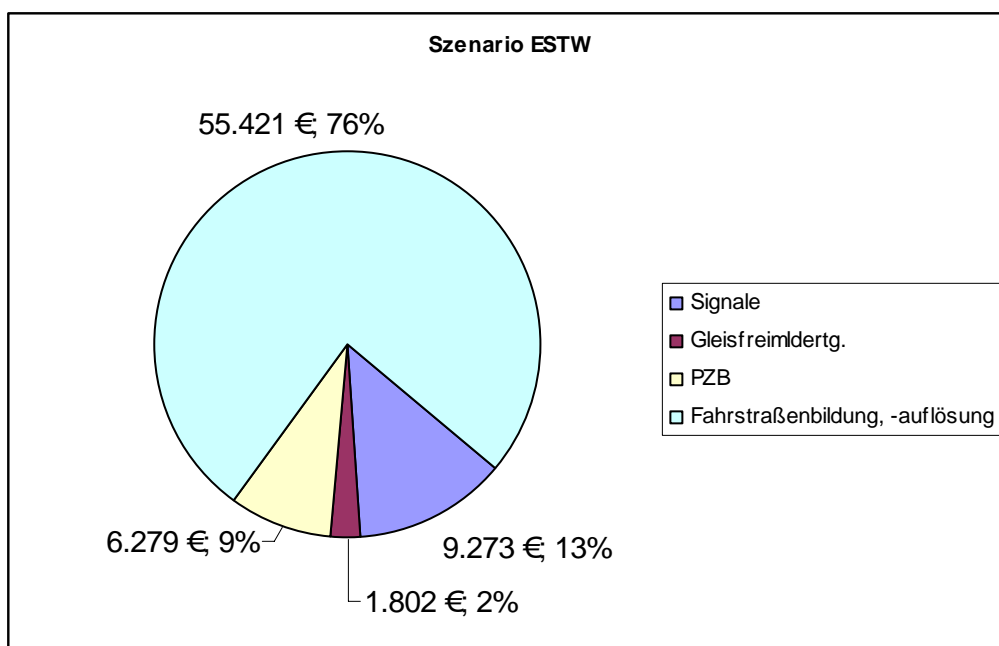


Abbildung 5.6: Gegenüberstellung der jährlichen präventiven IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Szenario ESTW

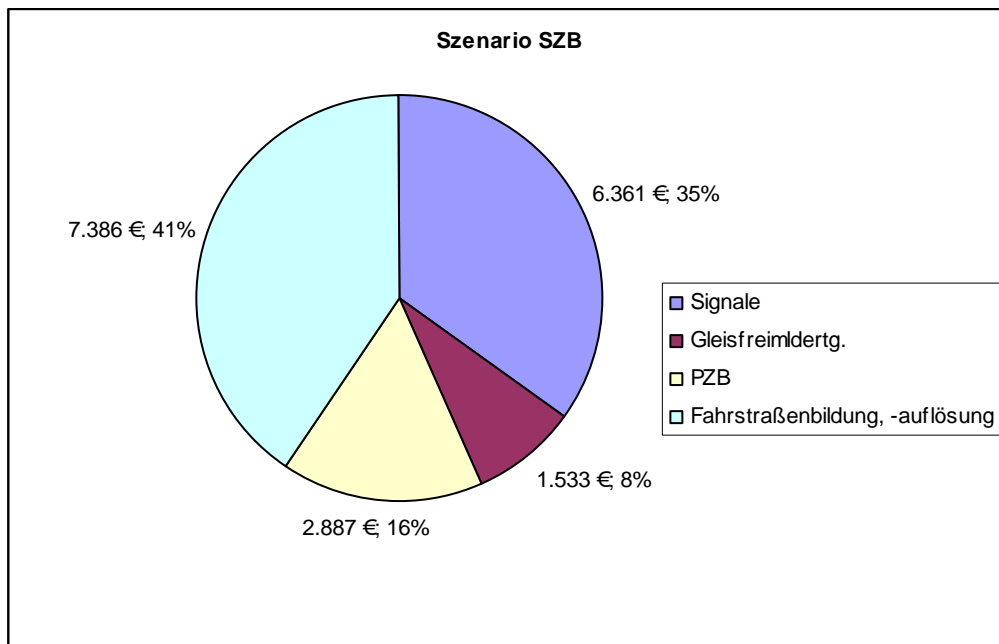


Abbildung 5.7: Gegenüberstellung der jährlichen präventiven IH - Kosten der Einrichtungen zur Fahrstraßenbildung und -auflösung im Szenario SZB

5.4.2.3 Betriebserschwerniskosten und Erlöse

Aufgrund der höheren Fahrplanstabilität wirken sich Störungen in den Szenarien ESTW und SZB nicht so stark auf die Betriebsqualität aus. Dies hat geringere Betriebserschwerniskosten zur Folge:

Tabelle 5.9: Betriebserschwerniskosten der Szenarien eines Jahres

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
BEK	97.318,10 €	76.239,40 €	84.588,80 €

Aufgrund des gleichgehaltenen Fahrplanes ist die Erlösstruktur in allen Szenarien gleich. Die Personen- und Güterzugkilometer und die dadurch entstehenden Erlöse sind in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 5.10: Einnahmen durch vergebende Trassenkilometer eines Jahres

	Trassenkilometer	Erlöse
Personenzuggattung	1.201.616,5 km	3.489.494,30 €
Güterzuggattung	90.009 km	158.415,80 €
Gesamt	1.291.625,5 km	3.647.910,20 €

5.4.2.4 Kosten / Erlös - Struktur im Detail

Die Besitzkosten der untersuchten Systeme sind die in dieser Untersuchung ermittelten Gesamtkosten, da Kosten der Entwicklungs- / Konzeptphase, Anschaffungs- / Bauphase und Entsorgungs- / Rückbauphase nicht in die Betrachtung mit einfinden.

Die Kosten / Erlös - Struktur über den betrachteten Zeitraum von 20 Jahren ergibt eine deutlich positive Struktur für die Szenarien ESTW und SZB. Das Referenzszenario weist als einziges Szenario eine negative Struktur auf (Tabelle 5.11). Durch eine Mitbetrachtung der Beschaffungskosten, würde die Kosten / Erlös - Struktur tendenziell verschlechtert werden.

Tabelle 5.11: Kosten / Erlös - Struktur der Szenarien über Betrachtungszeitraum

	Referenzszenario	Szenario ESTW	Szenario SZB
Kosten	91.566.751,83 €	49.615.366,83 €	48.518.772,11 €
Erlöse	72.958.203,12 €	72.958.203,12 €	72.958.203,12 €
Gesamt	-18.608.548,71 €	23.342.836,29 €	24.439.431,01 €

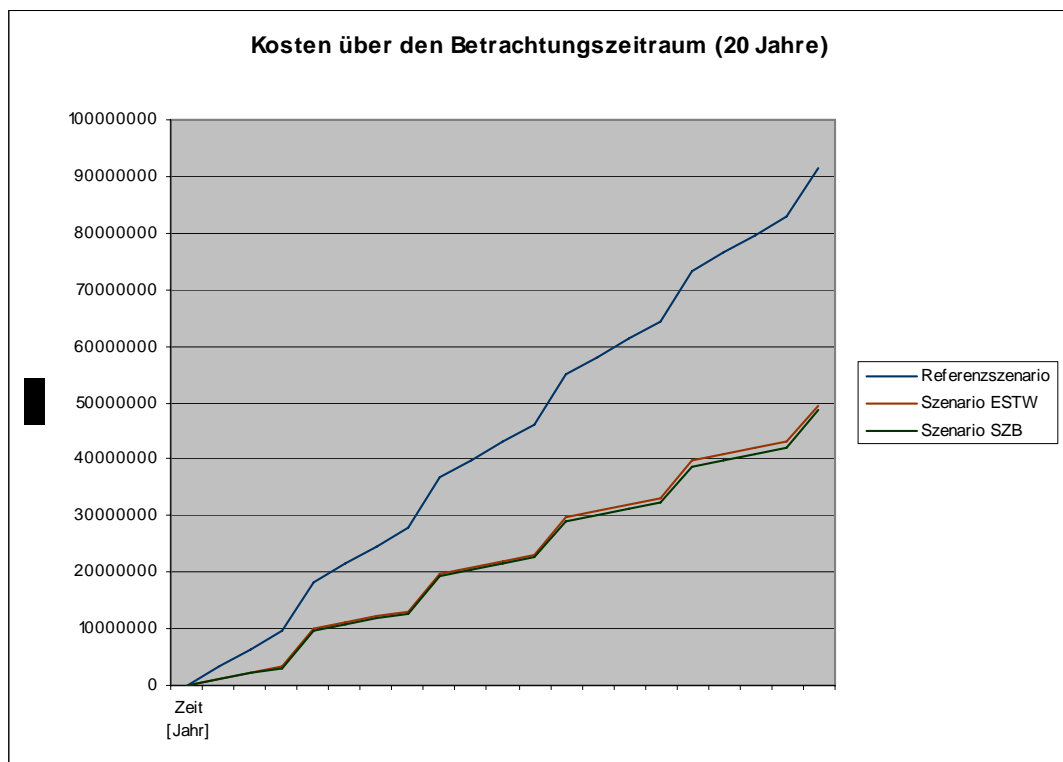


Abbildung 5.8: Kosten über den Betrachtungszeitraum

Auffallend an der Kosten / Erlös - Struktur ist, dass die Szenarien ESTW und SZB nur ca. 53 % der Kosten des Referenzszenarios aufweisen (Tabelle 5.11, Abbildung 5.8). Ausschlaggebend für die hohe Differenz der Kosten zwischen dem Referenzszenario und den Szenarien ESTW, SZB sind die Betriebskosten, die im Referenzszenario einen erheblich höheren Anteil (66 %) an den Besitzkosten haben, als in den Szenarien ESTW und SZB mit einem Anteil von 36 % bzw. 37 % (Abbildungen 5.9, 5.10, 5.11).

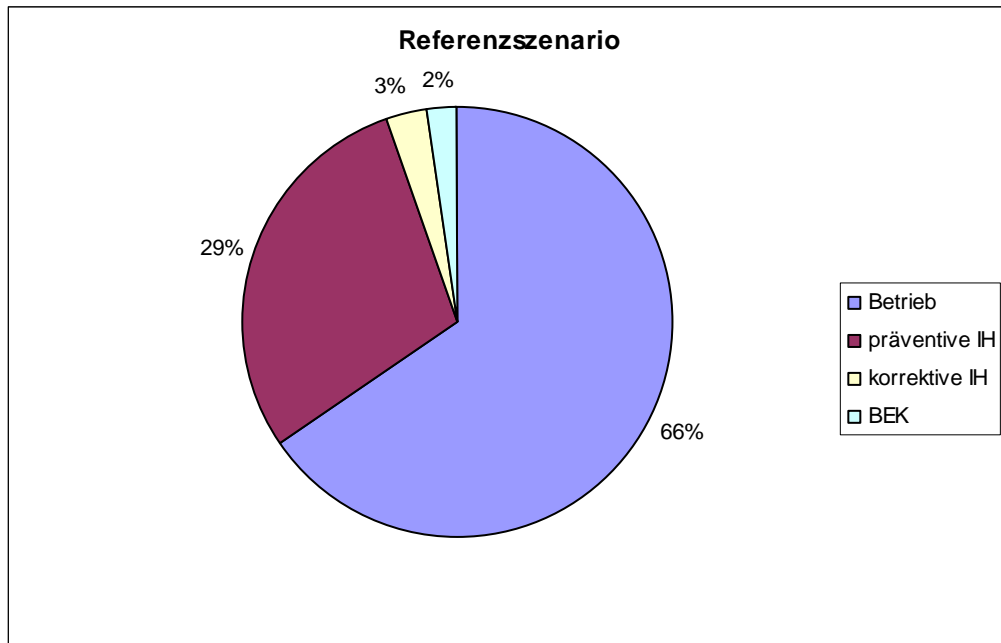


Abbildung 5.9: Anteil der Kostenarten an den Besitzkosten im Referenzszenario

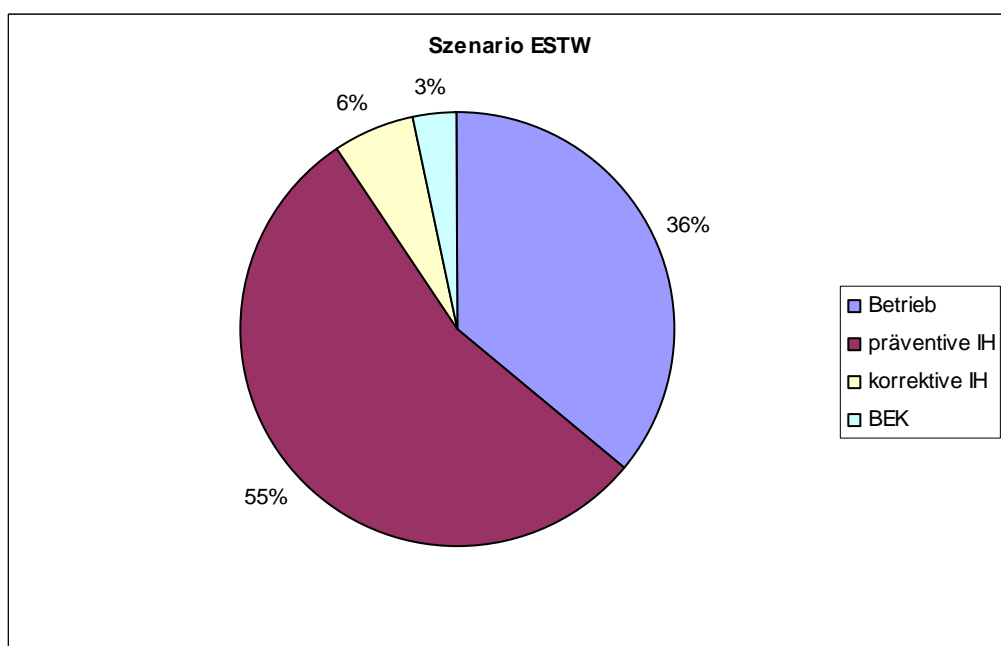


Abbildung 5.10: Anteil der Kostenarten an den Besitzkosten im Szenario ESTW

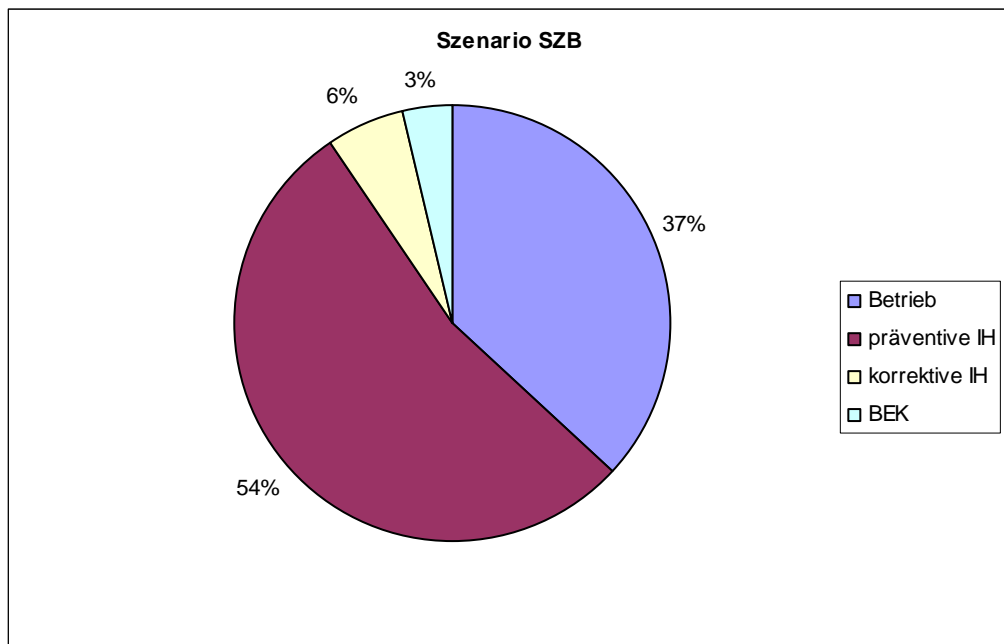


Abbildung 5.11: Anteil der Kostenarten an den Besitzkosten im Szenario SZB

Ergebnis:

Das Szenario SZB hat eine um 4,7 % bessere Kosten / Erlös -Struktur gegenüber dem Szenario ESTW. Aufgrund geringerer Ausstattung der LST weist das Szenario SZB geringere Instandhaltungskosten gegenüber den anderen Szenarien auf.

Als einziges Szenario weist das Referenzszenario eine negative Kosten / Erlös -Struktur auf. Dies kann mit den hohen Betriebskosten begründet werden, die mit dem Betrieb alter, personalaufwändiger Stellwerkstechnik zusammenhängt.

Fazit:

Bezogen auf die Betriebs-, Instandhaltungs- und Folgekosten können mittels moderner Stellwerkstechnik (ESTW) oder der Betriebsführung durch den Signalisierten Zugleitbetrieb, deutliche Kosteneinsparungen, bei gleichzeitig höherer Betriebsqualität, erzielt werden.

5.5 Fazit bezüglich der Toolkopplung

Erfasst wurden die Betriebs-, Instandhaltungs- und Folgekosten der untersuchten Systeme. Stehen entsprechende Informationen über die Höhe der jeweilig anderweitigen Kosten zur Verfügung, ist eine Erweiterung der Betrachtung auf Beschaffungs- und Rückbau- / Entsorgungskosten ohne Weiteres möglich.

Die eigentliche Arbeit mit RailSys, d.h. die Erstellung des Modells der Infrastruktur und Durchführung der Simulation, war bis auf zwei Ausnahmen in gewohnter Weise¹ durchführbar:

1. Die Definition - für die Simulation - unnötiger Stellwerke bzw. Zugleiter, damit diese in die Kostenberechnung mit einbezogen werden können.
2. Erstellung der Excel-Auswertungsdateien für den Datentransfer.

Die Definition – in diesem Falle – neun zusätzlicher Stellwerke (Referenzszenario) nimmt einen geringen zeitlichen Mehraufwand in Anspruch.

Die Erstellung von insgesamt sieben Auswertungsdateien innerhalb RailSys' kann mit einem ebenfalls geringen zeitlichen Aufwand beziffert werden, da RailSys einen Tabellenexport im Excel-Format vorsieht.

Fazit:

Der durch die Toolkopplung entstehende Mehraufwand bei der Modellerstellung und Simulation des zu untersuchenden Systems ist gering, sodass die Kosten / Nutzen - Berechnung eines zu simulierenden Systems quasi nebenher vonstatten geht. **Das Ziel, ein handhabbares Instrument zur Kosten / Nutzen - Berechnung von Eisenbahnsystemen auf Datengrundlagen von Simulationsmodellen in RailSys zu entwickeln, wurde** – wenigstens in dem jetzigen vorliegenden Entwicklungsstadium der Toolkopplung – **erreicht.**

¹ „gewohnte Weise“ bedeutet die Arbeit mit RailSys ohne im Hintergrund der Toolkopplung zu arbeiten

6 Entwicklungsvorschläge zu der Toolkopplung

6.1 Durchführung der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

6.1.1 Probleme

Probleme ergaben sich im Wesentlichen bei der Untersuchung der Betriebsqualität. Die Möglichkeiten bei der Modellierung von Fahrplanstörungen mit RailSys sind folgendermaßen eingeschränkt:

1. Die Untersuchung von Auswirkungen einer Gleissperrung in einer der Bahnhöfe war nicht möglich. Im Falle solch einer Störung sehen Dispositionsmaßnahmen vor, ein anderes Bahnhofsgleis zu benutzen. Im Referenzszenario und im Szenario ESTW kann diese Disposition modelliert werden. Im Szenario SZB jedoch wurden Bahnhöfe im Richtungsbetrieb modelliert, d.h. Hauptsignale auf dem Bahnhofsgleis in Gegenrichtung wurden im Modell nicht erstellt. In der Simulation konnte daher dieses Gleis nicht als Ausweichgleis definiert werden, da in RailSys Hauptsignale elementar zur Fahrwegfindung der Züge sind. Werden Hauptsignale, zum Zwecke der Nutzung der Gleise in Gegenrichtung als Ausweichgleise, erstellt, verfälschen diese die Anzahl der Hauptsignale, die im Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung zur Berechnung der LCC herangezogen werden.
2. Die Störung von LST und der damit verbundene Rückfall in die nächst tiefere Sicherungsebene konnte in RailSys nicht dargestellt werden. In einem solchen Fall können Züge in der Realität mit einer verminderten Geschwindigkeit den gestörten Bereich durchfahren. In einem Simulationstool kann die Nutzung der Rückfallebene durch Langsamfahrstellen über die Zeit der Störung simuliert werden (OpenTrack). Dies ist in RailSys nicht möglich, da temporäre Langsamfahrstellen nicht eingerichtet werden können.

6.1.2 Lösungsvorschläge

Für das 2. Problem konnte kein Lösungsvorschlag ermittelt werden. Der Lösungsvorschlag für das 1. Problem sieht folgendermaßen aus:

Die Hauptsignale werden für die Gleise in Gegenrichtung in das Modell eingepflegt. Damit das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung diese nicht zur Berechnung der LCC mit einbezieht, muss eine gesonderte Erkennung dieser Signale innerhalb des Datenaustausches erfolgen. Die Hauptsignale werden vom Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung über die exportierte Excel-Tabelle, die Informationen über die im Modell erstellten Knoten enthält, erkannt. Die Tabelle enthält bisher ungenutzte Spalten („Name“, „Beschreibung“), die genutzt werden können, um Signale zu kennzeichnen, die nur für die Simulation vonnöten sind und für die LCC-Berechnung irrelevant. Die Import-Schnittstelle des Tools zur Wirtschaftlichkeitsberechnung müsste diesem Vorgehen angepasst werden.

6.2 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen weiterer Betriebsverfahren

Die Betriebsführung- und Sicherung durch das gängige Zugmeldeverfahren mit unterschiedlicher infrastruktureller Ausrüstung und den signalisierte Zugleitbetrieb konnte mit RailSys simuliert werden. Durch Einbeziehung des Lösungsvorschlages in 6.1.2 ist es theoretisch möglich den Zugleitbetrieb nach KoRil 436 zu modellieren.

Die Linienzugbeeinflussung lässt sich in RailSys betrieblich darstellen. LZB-Blockkennzeichen werden für die Simulation im Modell angelegt und können daher leicht in der Berechnung erfasst werden. Der Anfang und das Ende streckenseitiger Ausrüstung mit Linienleiter wird den Knoten im Modell hinterlegt. Aus diesen Informationen kann – bei entsprechender Anpassung – das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung die Länge der Linienleiter berechnen.

Problem bei der Modellierung anderweitiger Betriebsverfahren / Ausrüstungsvarianten besteht in RailSys derzeit mit dem europäischen Zugleit- und –sicherungssystem ETCS. Es ist (derzeitig) nicht möglich, die betrieblichen Auswirkungen, verschiedener Ausrüstungsstufen des ETCS, abzubilden.

6.3 Erweiterte Erfassung von Nutzen- / Kostenfaktoren

Um spezifischere Daten über den Fahrweg mit in die Kostenbetrachtung einfließen lassen zu können, können die Kanten mit weiteren Attributen versehen werden. Welche das sind und inwiefern diese Information zur Kostenbetrachtung im Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen werden können, ist in Tabelle 6.1 abgebildet.

Tabelle 6.1: Erweiterte Kostenbetrachtung über Kantenattributierung

Attribut der Kante	Betrachtung Kosten
Kurvenradius	Einfluss der Kurvenradien auf die IH-Kosten
Tunnelquerschnitt	Erfassung Anzahl, Umfang und Länge der Tunnel
Maximal zulässige Radsatzlasten	Bestimmung der Kosten für den Oberbau und Unterbau
Elektrifizierung	Bei zusätzlicher Betrachtung der Kantengeschwindigkeit können die Kosten für die Oberleitung erfasst werden

Bezogen auf die Nutzen / Kosten des EVU können weitere Informationen aus RailSys in das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung importiert werden:

- Anzahl und Typ der Triebfahrzeuge lassen sich aus der Tabelle der Triebfahrzeuge und deren Baureihenbezeichnung importieren. Da sich die die Baureihenbezeichnungen ändern lassen, können besondere Ausrüstungsmerkmale der Triebfahrzeuge und Triebwagen (z.B. (Mehrfach-) Ausrüstung mit bestimmten Zugsicherungssystemen) dort vermerkt werden. In form einer Excel-Tabelle kann diese Liste zu dem Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung exportiert werden, um detaillierte Triebfahrzeuginformationen in die Kostenbetrachtung mit einfließen lassen zu können.
- Mit den Daten zu dem Triebfahrzeug wird für die Simulation eine Zuggattung innerhalb RailSys erstellt. Innerhalb einer Zuggattung lässt sich eine Tabelle über den Wagenzug erstellen. So können Werte zur Lademasse oder Anzahl Stehplätze, Sitzplätze mit in die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einbezogen werden.
- Je Zuggattung lassen sich in der frei zur Verfügung stehenden Spalte „Name“ weitere Informationen einfügen, die in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit eingehen sollen, z.B. Information über

den Radzustand. In der Realität haben jedoch die Zuggattungen selten ein und denselben Radzustand. In diesem Falle sind mehrere Zuggattung zu erstellen, um unterschiedliche Radzustände erfassen zu können.

- Um nicht nur Anzahl der Stationen erfassen zu können, sondern diese in Bahnhöfe und Haltepunkte unterscheiden zu können, kann eine weitere Beschreibung zu den Stationen erfolgen. In diese Beschreibung können weitere Informationen eingetragen werden, die in der Kosten / Nutzen Betrachtung von Bedeutung sein könnten (Größe der Station, Anzahl Personal, etc.). Das Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung müsste dementsprechend angepasst werden.

Nicht möglich ist eine Modellierung der Verkehrsnachfrage, der Struktur der zu transportierenden Personen / Güter (Fahrgeldeinnahmen) und der Quelle – Ziel – Beziehungen. Dies schließt eine umfassende Nutzen – Betrachtung aus Sicht eines EVU aus.

7 Zusammenfassung und Fazit

Herkömmliche mikroskopische Eisenbahnbetriebssimulationstools können auf Grundlage des erstellten Modells die Betriebsdurchführung des zu untersuchenden Systems simulieren. Durch Simulation des geplanten Betriebsablaufes kann bei einer gegebenen Infrastruktur die Fahrplanqualität optimiert werden. Durch Simulation des angenommenen gestörten Betriebsablaufes kann die Betriebsqualität bestimmt und durch Änderungen des Fahrplanes optimiert werden. Umgekehrt ist es ebenfalls möglich bei einer gegebenen Leistungsanforderung den Ausrüstungsgrad der Infrastruktur bezüglich der Leistungsanforderung zu ermitteln. Damit diese Optimierungen unter einer Betrachtung der Wirtschaftlichkeit durchgeführt werden können, fehlt im Eisenbahnbetriebssimulationstool eine Betrachtung der Infrastrukturkosten und der Kosten, die mit der Betriebsdurchführung zusammenhängen (Kostenbetrachtung: EIU). Erlöse, die durch die Betriebsführung entstehen, werden ebenfalls nicht quantifiziert.

Um eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Eisenbahnsystemen mittels auf dem Markt erhältlichen mikroskopischen Eisenbahnbetriebssimulationstools zu ermöglichen, hat das Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung ein auf Excel-basiertes Tool entwickelt, welches mittels VBA-Code und auf Grundlage von

Informationen aus Simulationen des Tools RailSys, eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchführt.

Die vorliegende Arbeit hat mittels dieser Toolkopplung eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer fiktiven, der Realität nachempfundenen, Nebenstrecke erstellt. Untersuchungsgegenstand waren drei Szenarien. Neben dem Ist-Zustand sind dies zwei Varianten des Betriebsverfahren und der Ausrüstung der Infrastruktur. Merkmal des Ist-Zustandes ist die veraltete Stellwerkstechnik (MSTW/EMSTW). Die erste Variante besteht im Wesentlichen aus dem Ersatz der alten Stellwerkstechnik durch eine Moderne (ESTW). Die zweite Variante sah eine Einfachbetriebsweise vor, den Signalisierten Zugleitbetrieb. Die Untersuchung wurde bei gegebener Leistungsanforderung durchgeführt. Für alle Szenarien wurden demnach durch die Vergabe von Trassenkilometern gleich hohe Erlöse ermittelt. Kostenseitig wurden, aufgrund vorliegender Informationen, ausschließlich die Betriebs-, Instandhaltungs- und Folgekosten erfasst. Die Folgekosten wurden über Verspätungsminuten gestörter Betriebsabläufe ermittelt. Das wirtschaftlichste Szenario ist nach den Ergebnissen der Untersuchung der Einsatz der Einfachbetriebsweise „signalisierter Zugleitbetrieb“. Dem gegenüber hat das Szenario mit Einsatz moderner Stellwerke eine um nur 4,7% ungünstigere Kosten / Erlös – Struktur. Der Ist-Zustand wies eine ungefähr doppelt so hohe Kosten – Struktur auf. Als wesentliche Kostentreiber des Ist-Zustandes konnten die personalintensiven alten Stellwerke ermittelt werden.

Im Laufe der Durchführung der Untersuchung erwies sich die Toolkopplung als kaum mehraufwändig gegenüber einer gewöhnlich durchgeführten Betriebssimulation. Es ist somit ein handhabbares Instrument zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Eisenbahnsystemen.

Auf Grundlage der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsuntersuchung konnten Vorschläge zu einer Weiterentwicklung der Toolkopplung gegeben werden.

8 Ausblick

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde aus Sicht eines EIU durchgeführt. Kosten aus der Beschaffungs- und Entsorgungsphase des Systems wurden nicht berücksichtigt. Mit Einsicht in entsprechenden Informationen ist die Betrachtung der Lebenszykluskosten eines Eisenbahnsystems aus Sicht eines EIU ohne Weiteres möglich.

Vom prinzipiellen Aufbau her kann das Tool zu Wirtschaftlichkeitsberechnung mit jedem beliebigen Simulationstool gekoppelt werden. Entscheidend dabei ist die Möglichkeit des umfassenden Datentransfers vom Simulationstool zum Tool zur Wirtschaftlichkeit. Ein Ansatz zur Kopplung mit dem Tool OpenTrack besteht bereits. Dieser Ansatz sollte weiter verfolgt werden. Andere auf dem Markt erhältlichen Simulationstools sollten auf Tauglichkeit für den Datentransfer untersucht werden. Durch die Entwicklung spezifischer Datenschnittstellen zu den jeweiligen Simulationstools, wäre das Tool zur Wirtschaftlichkeitsentwicklung flexibel in der Wahl des Eisenbahnbetriebssimulationstools.

Literaturverzeichnis

- [a06] **Beck, K.; Beier, T.:** Internes Gespräch zur Entscheidungsfindung des Simulationstools für die Toolkopplung, Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung, DLR e.V., August 2006
- [b06] Entnommen aus einem Informationsblatt der **Tiefenbach GmbH**, erhalten von Prof. Runge, FH Braunschweig/Wolfenbüttel, Oktober 2006
- [BEC06] **Beck, K.:** Themenbeschreibung: Wirtschaftlichkeitsbewertung als Erweiterung des Leistungsumfangs für Streckensimulationen, nicht veröffentlicht, Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung, DLR e.V., 2006
- [BEI06] **Beier, T.:** Bewertung betrieblicher Auswirkungen unterschiedlicher Betriebsverfahren mittels Simulation, internes Dokument, DLR e.V. Institut Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung
- [BER06] **Berndt, T.; Gather, M.; Sommer, S.:** Bewertung von Verfahren zur Sicherung von Eisenbahnnebenstrecken, in: Signal + Draht, Heft 3, 98. Jahrgang (2006), S.10 - 14
- [DB98a] **Deutsche Bahn AG:** Zug und Rangierfahrten im Zugleitbetrieb durchführen (ZLB), Konzernrichtlinie 436, gültig ab 24.05.1998
- [DB98b] **Deutsche Bahn AG:** Zug- und Rangierfahrten im Signalisierten Zugleitbetrieb durchführen, Konzernrichtlinie 437, gültig ab 01.03.1998
- [DB02a] **Deutsche Bahn AG:** Fahrwegkapazität, Konzernrichtlinie 405, gültig ab 01.04.2002
- [DB02b] **Deutsche Bahn AG:** Bahnbetrieb, Infrastruktur gestalten, Streckenstandards, Konzernrichtlinie 413, gültig ab 01.01.2002
- [DB05] **DB Netz AG:** Modulares Trassenpreissystem, http://www.db.de/site/shared/de/dateianhaenge/infomaterial/trasse/trasse_trassenpreissystem20051211.pdf, Stand: 02/2005
- [DKE05] **DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE:** Zuverlässigkeitsmanagement – Teil 3-3: Anwendungsleitfaden – Lebenszykluskosten (IEC 60300-3-3:2004); Deutsche Fassung EN 60300-3-3:2004, Berlin, 2005
- [END03] **Enders, D.:** Eisenbahn-Betriebsverfahren auf Haupt- und Nebenbahnen – heute und morgen, in: Deine Bahn, Heft 1, 31. Jahrgang (2003) S.39 – 44
- [GÖB97] **Göbel, Ch.; Liebermann Zoehe, M.:** LCC - Ein wichtiger Baustein für die Zukunft?, in: VDI Berichte 1344, Systemoptimierung im spurgeführten Verkehr, S. 1 - 5, Tagung München, 1997

- [HÜP06] **Hüper, A.-B.; Koriath, H.:** Life-Cycle-Management für bauliche Anlagen der Deutschen Bahn AG – Kernaussagen und Standards, in: Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 7/8, 55. Jahrgang (2006), S. 485 – 488
- [JOC00] **Jochim, H. E.:** Verkehrswirtschaftliche Ermittlung von Qualitätsmaßstäben im Eisenbahnbetrieb, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 7, 51. Jahrgang (2000) S. 5 - 8
- [KET04] **Kettner, M.; Sewcyk, B.; Hunold, J.:** Verknüpfung von mikroskopischen und makroskopischen Simulationsmodellen des Schienenverkehrs, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 2, 55. Jahrgang (2004) S. 6 - 11
- [KNE02] **Knewitz, R.:** 2. Internationaler S+D-Kongress: Verfügbarkeit – Diagnose – Instandhaltung, in: Signal + Draht, Heft 12, 94. Jahrgang (2002), S. 26 – 37
- [KOR00] **Koriath, H.:** Die Anwendung der LCC-Methode für die Fahrbahn der DB AG, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 12, 51. Jahrgang (2000), S. 25 - 27
- [KÖG04] **Kögel, B.; Marquardt, A.:** Betriebskostensenkung für Lokomotiven, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 9, 55. Jahrgang (2004), S. 136 – 139
- [KÖT02] **Kötting, H.:** Grundlagen der Stellwerkstechnik, www.stellwerke.de, Stand: 27.07.2002
- [LIE03] **Lichtberger, B.:** Handbuch Gleis - Unterbau, Oberbau, Instandhaltung, Wirtschaftlichkeit, Hamburg, 2003, S. 503 - 513
- [MEY03] **Meyna, A.; Pauli, B.:** Taschenbuch der Zuverlässigkeits- und Sicherheitstechnik, Quantitative Bewertungsverfahren, 2003, S. 244
- [PAC02] **Pachl, J.:** Systematik des Schienenverkehrs, 3. Auflage, Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2002
- [PAC04] **Pachl, J.:** Vorschlag für eine neue Systematik der Betriebsverfahren deutscher Eisenbahnen, in Eisenbahningenieur, Heft 7, (2004) S. 5 - 10
- [PÄC02] **Pächer, M.:** Möglichkeiten zur effizienten Leistungserstellung auf Nebenstrecken, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 12, 53. Jahrgang (2002), S.42 - 43
- [POT62] **Potthoff, G.:** Verkehrsströmungslehre, Band 1, Die Zugfolge auf Strecken und in Bahnhöfen, Berlin, 1962
- [SCH97] **Schultes, G.:** Behandlung und Bewertung der Verfügbarkeit von Schienenfahrzeugen in LCC-Betrachtungen, in: VDI Berichte 1344, Systemoptimierung im spurgeführten Verkehr, S. 15 - 23, Tagung München, 1997

- [SCH03] **Schaer, T.:** Der Einfluss von Betriebsführungskonzepten in großen Bahnnetzen, in: Signal + Draht, Heft 9, 95. Jahrgang (2003) S. 6 - 12
- [SCH05] **Scheier, B.:** Eisenbahnbetriebssimulationen, Ein Vergleich der Tools OpenTrack und RailSys, Studienarbeit, nicht veröffentlicht
- [SCH06] **Scheppan, M.:** Zugleitbetrieb für einfache betriebliche Verhältnisse, Hamburg, 2006
- [STR02] **Strauß, P.:** Der Hochgeschwindigkeitszug ICE 2 im Spiegel einer LifeCycleCost-Analyse, in: Der Eisenbahningenieur, Heft 10, 53. Jahrgang (2002), S. 96 - 99
- [TRO06] **Trost, D. G.:** Zehn Jahre Regionalisierung des SPNVs, Eine Bilanz, in: Internationales Verkehrswesen, Heft 10, 58. Jahrgang (2006) S. 450 - 456
- [VDV00] **Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV),** VDV Schriften 752 08/00 - Empfehlungen zur Auswahl geeigneter Betriebsverfahren für eingleisige Strecken der Nichtbundeseigene Eisenbahnen, Köln, 2000
- [VEI00] **Veit, P.:** Eisenbahnfahrwegstrategien auf Basis von Lebenszykluskosten, in: Internationales Verkehrswesen, Heft 9, 52. Jahrgang (2000) S. 381 – 385
- [WOL00] **Wolberg, J.; Kiefer, J.:** Life Cycle Costs – Die Kosten von Betrieb, Wartung und Verfügbarkeit, in Signal + Draht, Heft 6, Jahrgang 92 (2000), S. 19 - 22
- [ZIM03] **Zimmer, C.:** Neue Organisationsmodelle für den Nebennetzbetrieb der Eisenbahn, in: Internationales Verkehrswesen, Heft 3, 55. Jahrgang (2003)

Glossar

Beschaffungskosten

Die Beschaffungskosten beinhalten den Kaufpreis, Entscheidungsfindungskosten und Kosten zur Inbetriebnahme oder Migration eines Systems bzw. Produkts.

Besitzkosten

Die Besitzkosten beinhalten Betriebs-, Instandhaltungs-, Folge-, Kapitaleinst- und Versicherungskosten.

Hauptbahn

Strecke von hoher (meist überregionaler) verkehrlicher Bedeutung. Für Hauptbahnen sind eine hohe Streckenbelastung sowie das Verkehren von Zügen mit hohen Zugmassen und Geschwindigkeiten charakteristisch. [PAC02]

Instandhaltung

Die Instandhaltung ist nach der DIN EN 50126 die Kombination aller technischen und administrativen Tätigkeiten einschließlich Aufsichtsmaßnahmen, um ein Produkt in einem Zustand zu halten oder wieder zu versetzen, in dem es eine geforderte Funktion erfüllen kann. Instandhaltbarkeit bezeichnet eine Systemeigenschaft, während Instandhaltung das äußere Hilfsmittel zur Wiederherstellung der Funktion beschreibt.

Korrektive Instandhaltung

Systemwiederherstellungskosten einschließlich Instandsetzungskosten [DKE05]

Mindestzugfolgezeit

Kleinste technisch mögliche Zugfolgezeit zur behinderungsfreien Durchführung zweier Zugfahrten. Sie ergibt sich, wenn sich die Sperrzeitentreppe zweier Züge an einer beliebigen Stelle ohne Toleranz berühren. [PAC02]

Nebenbahn

Strecke von untergeordneter (meist nur regionaler) verkehrlicher Bedeutung. Auf Nebenbahnen sind gegenüber Hauptbahnen Vereinfachungen in der baulichen und signaltechnischen Ausstattung zugelassen. [PAC02]

Nebenstrecke

Sammelbegriff für Strecken, die ein mäßiges Verkehrsaufkommen vorweisen und in der Regel nur von regionaler Bedeutung sind. Nebenstrecken können als Nebenbahn oder als Hauptbahn gewidmet sein. Sie sind oft eingleisig und nicht elektrifiziert. [PAC02]

Präventive Instandhaltung

Kosten für vorbeugende Instandhaltung [DKE05]

Produktionsfaktoren

Faktoren, die für eine Leistungserbringung benötigt werden. Im Falle eines EIU sind dies die Infrastruktur, Betriebsmittel und Personal.

Pufferzeit

Bei der Fahrplankonstruktion zu berücksichtigender Zuschlag auf die Mindestzugfolgezeit zur Verminderung der Verspätungsübertragung bei Unregelmäßigkeiten. [PAC02]

Sperrzeit

Zeitspanne, in der ein Fahrwegabschnitt (Blockabschnitt, Fahrstraße) durch eine Fahrt betrieblich beansprucht und somit für andere Fahrten gesperrt ist. Die Sperrzeit beginnt mit der Fahrstraßenbildung und endet, wenn nach dem Freifahren der Zugschlussstelle der Fahrwegabschnitt wieder für eine folgende Fahrt freigegeben werden kann. [PAC02]

Sperrzeitentreppe

Grafische Darstellung der Sperrzeiten einer von einem Zug durchfahrenden Folge von Blockabschnitten. [PAC02]

Trassenprogramm

Die Struktur des Trassenprogramms ist abhängig von der Zugfolgereihenfolge und den Zugeigenschaften.

Verfügbarkeit

Die Fähigkeit eines Produktes, in einem Zustand zu sein, in dem es unter vorgegebenen Bedingungen zu einem vorgegebenen Zeitpunkt oder während einer vorgegebenen Zeitspanne eine geforderte Funktion erfüllen kann unter der Voraussetzung, dass die geforderten äußeren Hilfsmittel bereitstehen (DIN EN 50126), bzw. die mittlere Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen, dividiert durch die Summe aus der mittleren Betriebsdauer zwischen zwei Ausfällen und der mittleren Störungsdauer (DIN 40041).

Zuverlässigkeit

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Einheit ihre geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen für eine gegebene Zeitspanne erfüllen kann (DIN EN 50126) bzw. die Fähigkeit einer Betrachtungseinheit, innerhalb der vorgegebenen Grenzen den durch den Verwendungszweck begründeten Anforderungen zu genügen, die an das Verhalten ihrer Eigenschaften während einer gegebenen Zeitdauer gestellt sind (DIN 40041).

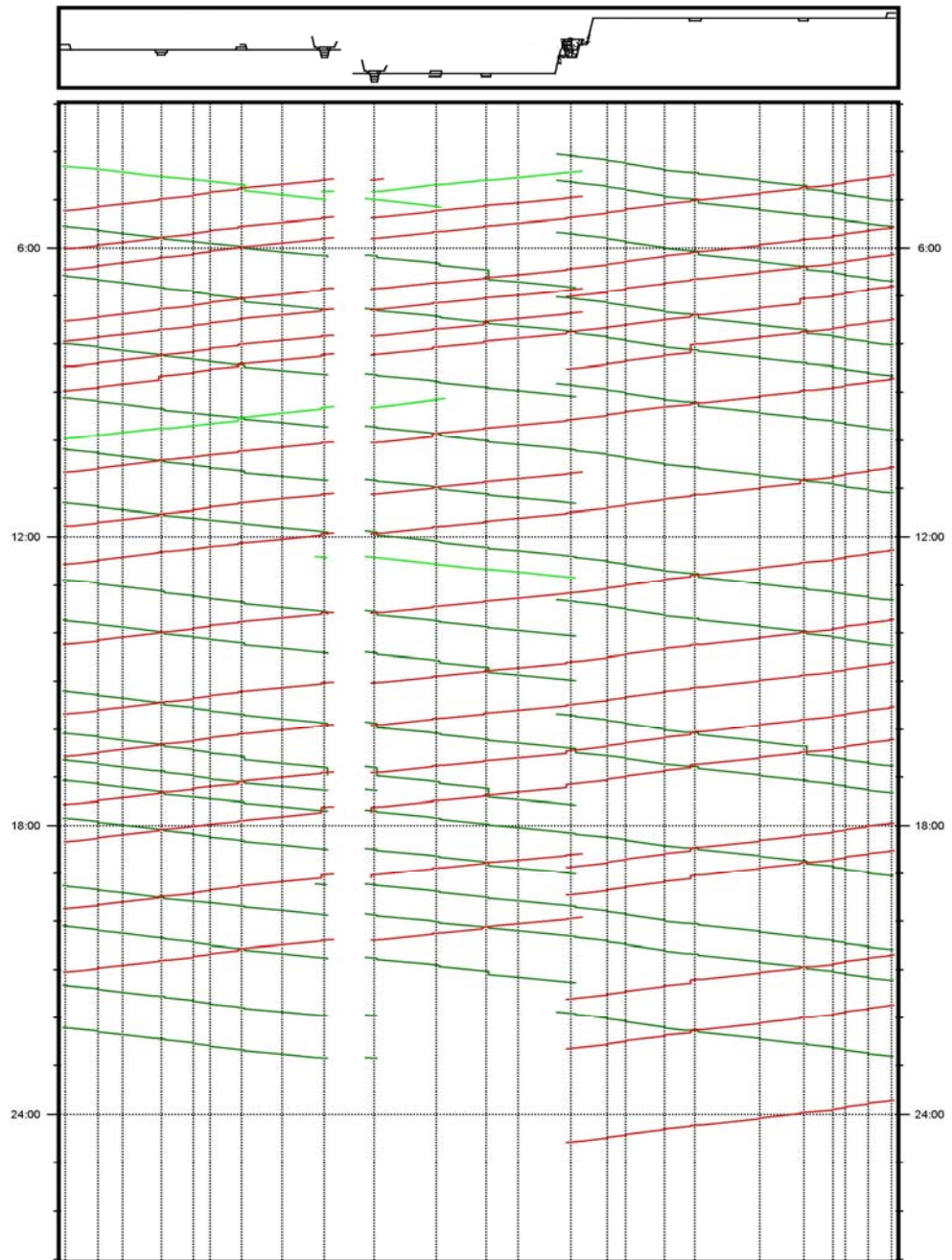
Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

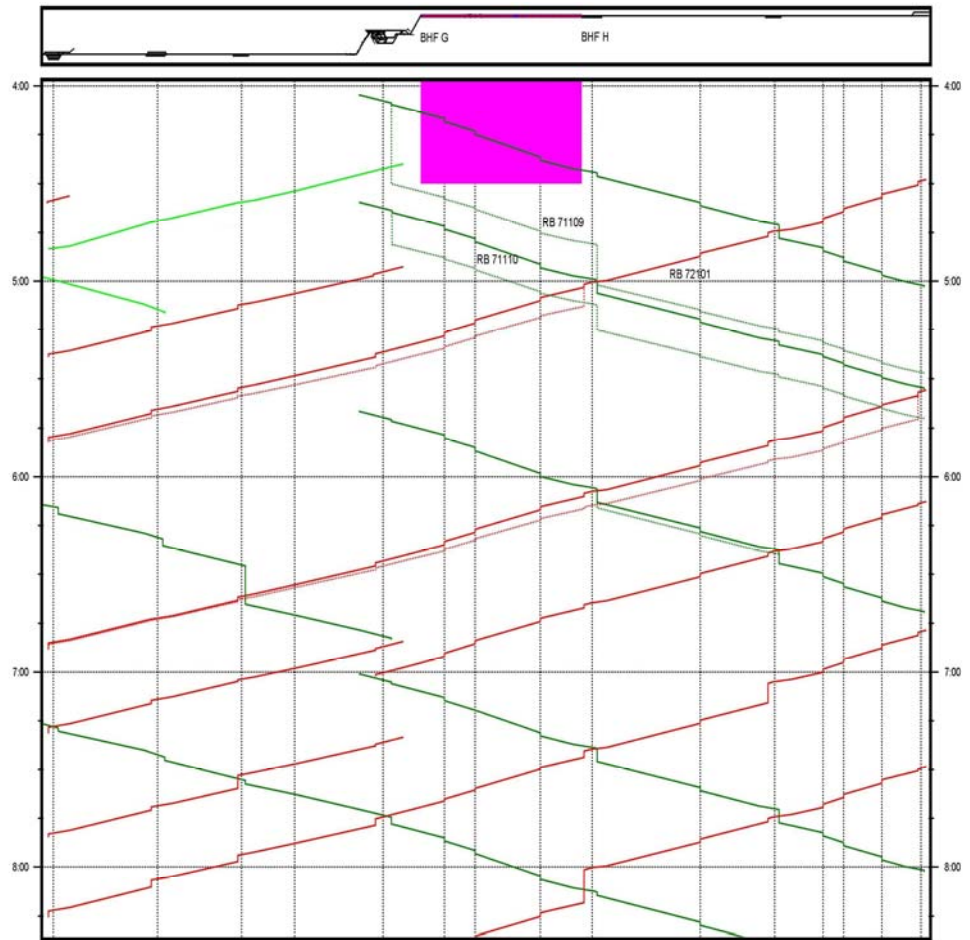
Braunschweig, den 15.01.2007

Anhang

Bildfahrplan des Untersuchungsgegenstandes:



Bildfahrplan des Untersuchungsgegenstandes (Streckensperrung):



Bildfahrplan des Untersuchungsgegenstandes (Weichenstörung):

