

Diplomarbeit

Werner Lenz



Reaktivierung von Schienennebenstrecken durch
den Einsatz satellitengestützten Zugleitbetriebs

Stuttgart, 23.08.1999

Inhaltsverzeichnis:

Abkürzungen und Akronyme	Seite 3
Einführung	Seite 4
1 Eisenbahnbetrieb an Nebenbahnen	Seite 5
1.1 Entwicklung des Streckennetzes	Seite 5
1.2 Die Stilllegung von Nebenstrecken	Seite 7
1.3 Betriebsformen im Nebenbahnbetrieb	Seite 9
1.4 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Bahnbetrieb	Seite 11
1.5 Finanzierung des SPNV	Seite 14
2 Die Reaktivierung von Schienennebenstrecken	Seite 17
2.1 Beweggründe für die Reaktivierung einer stillgelegten Bahn	Seite 17
2.2 Durchführung von Reaktivierungsmaßnahmen	Seite 18
2.3 Die Reaktivierung der »Schönbuchbahn« Böblingen - Dettenhausen	Seite 20
3 Einsparungen an der Streckeninfrastruktur durch den Einsatz von funkgestützter Betriebsführung	Seite 24
3.1 Einsparmöglichkeiten an Streckenelementen	Seite 24
3.2 Definition des Funkfahrbetriebs nach Lastenheft der DB Netz AG	Seite 28
3.2.1 FFB-Zentrale	Seite 29
3.2.2 FFB-Fahrzeugeinrichtung	Seite 30
3.2.3 Streckenelemente	Seite 32
3.2.4 Ablauf des FFB	Seite 32
3.2.5 Störfallbetrachtung	Seite 33
3.3 GSM-Rail als Übertragungsmedium für funkgestützten Zugleitbetrieb	Seite 34
3.3.1 Das digitale Funknetz GSM	Seite 35
3.3.2 Eisenbahnspezifische Anforderungen an GSM: GSM-Rail	Seite 38
3.3.3 Die Zukunft des GSM	Seite 40
4 Einsparungen an der Streckeninfrastruktur durch Ortung der Fahrzeuge mit Satelliten	Seite 42
4.1 Verfahren der Zugortung zur Freimeldung von Gleisabschnitten	Seite 42
4.2 Verfahren der Zugortung zur punktgenauen Zugbeeinflussung	Seite 45
4.3 Anforderungen an eine Ortungsplattform bei der Bahn	Seite 47
4.4 Verfahren der Zugortung mit Hilfe der Satellitennavigation	Seite 49
4.4.1 Das Navigation Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System NAVSTAR – GPS	Seite 49

4.4.2	Weitere Satellitennavigationssysteme: GLONASS und GALILEO	.....Seite 54
4.5	Verbesserung der Satellitensysteme für den Einsatz als Ortungsplattform	.....Seite 55
4.5.1	Verbesserung der Satellitensysteme durch GNSS-1	.....Seite 56
4.5.2	Verbesserung der Genauigkeit durch D-GPS	.....Seite 56
4.5.3	Verwendung hybrider Systeme für bessere Verfügbarkeit und Integrität	.....Seite 59
4.6	Anwendungsmöglichkeiten der Satellitenortung für Bahnanwendungen	...Seite 60
4.6.1	Satellitenortung als betriebliche Ortungsplattform - Versuch »RailOrt«	....Seite 60
4.6.2	Satellitengestützter Zugleitbetrieb - SatZB	.....Seite 64
4.6.3	Nicht sicherheitsrelevante Anwendungen der Satellitennavigation	.....Seite 65
5	Wirtschaftlichkeit des Nebenbahnverkehrs	.....Seite 68
5.1	Konventioneller Betrieb auf Nebenstrecken	.....Seite 68
5.2	Kosteneinsparung durch Einführung des FFB	.....Seite 70
6	Reaktivierung einer Schienennebenstrecke mit satellitengestütztem Funkfahrbetrieb	.....Seite 74
7	Ausblick	.....Seite 80
Anhang		
	Übersicht stillgelegter Strecken in Deutschland	.....Seite 83
	Auflistung stillgelegter Strecken in Baden - Württemberg	.....Seite 83
	Übersicht bisher reaktivierter Strecken oder begonnener Wiederinbetriebnahmen	.....Seite 84
	Angedachte Reaktivierungen in Baden-Württemberg	.....Seite 84
	Nebenbahnfahrzeuge	.....Seite 85
	»Schönbuchbahn« - Streckenverlauf	.....Seite 87
	»Schönbuchbahn« - durchgeführte Baumaßnahmen	.....Seite 88
	GSM-Services	.....Seite 89
	GPS-Verfügbarkeit	.....Seite 90
	SAPOS - Referenzstationen in Deutschland	.....Seite 91
	SAPOS - 2m-Band - Funkstationen in Deutschland	.....Seite 92
	Linienführung und Fahrplan Lauffen - Leonbronn	.....Seite 93
	Literaturverzeichnis	.....Seite 94
	Bildergalerie	.....Seite 99

Abkürzungen und Akronyme

AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen in Deutschland
AEG	Allgemeines Eisenbahngesetz
ALF	Accurate positioning by Low Frequency - D-GPS- Dienst der Telekom und dem Bundesamt für Kartographie
BSC	Base Station Controller - Bodenk Kontrollstation für das Mobilfunknetz GSM
BSchwAG	Bundesschienenwegeausbaugesetz
BTS	Base Transceiver Station - Sendeanlage des Mobilfunknetzes GSM
BÜ	Bahnübergang
DB	Deutsche Bundesbahn vor dem Eisenbahnneuordnungsgesetz 1993
DB-AG	Deutsche Bahn AG. Bezeichnung für die Bundeseisenbahnen nach dem Eisenbahnneuordnungsgesetz
D-GPS	Differential - Global Positioning System
DIBMOF	Dienste integrierender Bahn mobilfunk
DS	Drucksache - Regelwerke der DB
EBO	Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung
EGNOS	European Geostationary Navigation Operating System
EIRENE	European Integrated Railways Radio Enhanced Network
ENeuOG	Eisenbahnneuordnungsgesetz vom 27.12.1993
ERRI	European Railroad Research Institute - Europäisches Eisenbahnforschungsinstitut in Utrecht
ETCS	European Train Control System - geplantes europäisches Sicherungssystem bei Eisenbahnen
EU	Europäische Union nach den Verträgen von Maastricht
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft, Vorgänger von EG und EU
FFB	FunkFahrBetrieb nach dem Lastenheft der DB Netz AG
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM	Global System for Mobile communication - europäischer Mobilfunkstandard
GVFG	Gemeinde-Verkehrs-Finanzierungs-Gesetz
ICAO	International Civil Aviation Organization
MSC	Mobile Switching Center - Verbindung von Festnetz zu Mobilfunknetz
NAVSTAR-GPS	Navigation by Satellite Timing And Ranging - Global Positioning System
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PKW	Personenkraftwagen
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Service
SAPOS	Satellitenpositionierungsdienst der AdV
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
SZB	Signalgestützter Zugleitbetrieb
UIC	Union Internationale des Chemins de fer / Internationaler Eisenbahnverband
VDV	Verband Deutscher Verkehrsunternehmen
WEG	Württembergische Eisenbahngesellschaft
WGS-84	World Geodetic System 1984
ZVS	Zweckverband »Schönbuchbahn«

Einführung

»Unternehmen Zukunft – Deutsche Bahn«, dieser Slogan soll nach dem Verständnis der DB-AG seine wörtliche Bedeutung wieder verdienen. Die Bahn in Deutschland war seit ihrer Entstehung lange Zeit ein Technologieträger, der viele Entwicklungen nicht nur für das Eisenbahnwesen maßgeblich vorangetrieben hat. Doch Jahre der Stagnation im technologischen Fortschritt brachten die Bahn ins Hintertreffen vor allem gegenüber dem Straßenverkehr.

Ihre nationale Bedeutung aber hat die Bahn nie verloren. Sind es zwar oft auch negative Schlagzeilen, die die Bahn immer wieder im Rampenlicht stehen lassen, so beweist doch das rege Interesse einer breiten Öffentlichkeit bei Streckenstillegungen, beim Streit um den Transrapid oder die ICE-Linienführungen, daß die Bahn einen enormen Stellenwert in der Bevölkerung hat.

Nun versuchen sowohl politische Verantwortliche als auch die DB-AG selbst, durch große Anstrengungen wie etwa der Eisenbahnneuordnung von 1993, das Ruder wieder zugunsten der Schiene herumzureißen. Moderne Technologien sollen dabei helfen, den Betrieb rentabler, attraktiver und sicherer zu gestalten.

Thema dieser Diplomarbeit soll sein, welche Möglichkeiten Satellitennavigation und digitale Funknetze für ein »Unternehmen Zukunft« bereitstellen, und inwieweit mit diesen Techniken der Betrieb auf bisher unwirtschaftlichen und daher stillgelegten Eisenbahnstrecken wieder aufgenommen werden kann.

1 Eisenbahnbetrieb an Nebenbahnen

Die Erwähnung des Wortes Nebenbahn löst bei manchem Eisenbahnfreund so etwas wie eine wehmütige Erinnerung an die „gute alte Zeit“ aus. Beschaulich und gemütlich konnte man mit der Eisenbahn von fast jeder Ecke in unserem Land fast überallhin fahren. Der heute in seiner gesellschaftlichen Bedeutung sehr wichtige Begriff »Zeit« spielte bei der Entfernungsüberwindung noch nicht die tragende Rolle, alleine die Möglichkeit zur Fahrt war das entscheidende Kriterium.

Paradoxerweise verbindet man mit der Nebenbahn, deren Bau so mancher abgelegenen Gemeinde erst den Fortschritt und den Anschluß an die „große weite Welt“ gebracht hatte, heutzutage nicht dieses Image des Neuen und Modernen. Die Tage sind längst vergessen, wo mit der Errichtung der Eisenbahn für die anliegenden Ortschaften eine neue Zeitrechnung begann.

In Deutschland begann diese neue Zeitrechnung am 07. Dezember 1835. Die einsetzende Industrialisierung und die damit verbundene technologische Entwicklung zu unserer heutigen Industrie- und Dienstleistungsgesellschaft hatte mit der ersten Eisenbahnlinie zwischen den beiden fränkischen Nachbarstädten Nürnberg und Fürth an jenem Tag ihren maßgeblichen Ursprung. Die Eisenbahn ist von da an in Deutschland zu einem wichtigen Bestandteil der Gesellschaft geworden.¹

1.1 Entwicklung des Streckennetzes

Der Vorteil der Schienenbahn, große Transportmengen schnell, zuverlässig und sicher bewältigen zu können, führte nach 1835 zu vielen weiteren Eisenbahnprojekten. Wegen der fehlenden Konkurrenz im Transportsegment auf dem Landweg waren die Investitionen in die Eisenbahn zumeist äußerst gewinnbringend. Mit der Aussicht auf eine hohe Rendite fand sich daher ohne allzu große Schwierigkeiten genügend „Risikokapital“ – sowohl von privater als auch von staatlicher Seite –, mit dem die sehr teuren Bahnanlagen und Fahrzeuge finanziert werden konnten. Bis etwa 1880 wurde der Großteil des noch heute bestehenden Hauptverkehrsnetzes zwischen den wichtigen Zentren Deutschlands fertiggestellt. [7]

Nach der Gründung des Deutschen Reiches 1871 hatten die einzelnen Länder im Reich vermehrt ein Interesse, den Eisenbahnbau und -betrieb selbst in die Hand zu nehmen und die privaten Kapitalgesellschaften aufzukaufen. Die Eisenbahn war wirtschaftlich sehr erfolgreich und

¹Die ehemalige Deutsche Bundesbahn war beispielsweise nach der ehemaligen Deutschen Bundespost der größte Einzelarbeitgeber in der Bundesrepublik Deutschland mit seinerzeit 516.115 Mitarbeitern im Jahr 1958 als größtem Personalbestand nach dem Zweiten Weltkrieg. [7]

sicherte dem Land große Einnahmen.² Weiterhin war es mit einem immer größer und dichter werdenden Schienennetz unumgänglich geworden, den Betrieb zwischen den einzelnen Linien zu koordinieren, was aus Sicht der Länder natürlich durch sie selbst am besten geschehen würde. Außerdem würde für einen weiteren Netzausbau in die dünnbesiedelten, abgelegenen Landesteile abseits der großen Verkehrsströme kaum privates Kapital zur Verfügung stehen, da die Gewinne deutlich niedriger ausfallen als bei Verbindungen zwischen verkehrsaufkommensstarken Zentren. Zumeist würden sich die Betreibergesellschaften bei Ausbauten des Netzes im „flachen Land“ sogar Verluste einhandeln. Das geringe Fahrgastaufkommen der Nebenbahnen reichte von Beginn an nicht aus, um Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten einzufahren.

Von den Ländern wurde dieser weitere Netzausbau vorangetrieben. Eine Erschließung der Fläche kann sehr wohl wirtschaftlich sinnvoll sein, auch wenn das Betriebsergebnis der einzelnen Strecke unwirtschaftlich ist. Die Nebenstrecke fungiert als Zubringer zu den Hauptstrecken und erschließt ein zusätzliches Kundenpotential für die gewinnbringenden Fernverkehre, die dafür im Gegenzug die Verluste der Nebenstrecke auffangen.

Es zeigten sich bei den Landesregierungen auch erste raum- und entwicklungsplanerische Ansätze für eine Netzerweiterung im dünnbesiedelten Raum. Teilräume wären benachteiligt, wenn sie nicht an das einzige leistungsfähige Landverkehrsmittel angeschlossen sind. Da die Eisenbahn während ihrer Entstehungszeit so etwas wie eine Monopolstellung auf dem Verkehrsmarkt besaß, wäre eine fehlende Bahnverbindung ein derartiger Nachteil, um ein potentiell Abwanderungsgebiet entstehen zu lassen.

Nicht von der Hand zu weisen sind schließlich sicherheitspolitische und militärisch- strategische Aspekte, die für ein dichtes Eisenbahnnetz auch in der Region sprachen. Vor allem im deutschen Kaiserreich, das man ja durchaus als einen vom Militär geprägten Staat ansehen kann, spielte die Eisenbahn die entscheidende Rolle, um Truppen auf schnellstem Wege in alle möglichen Landesteile zu transportieren.

Damit sich das Defizit auf den einzelnen Nebenstrecken in einem überschaubaren Rahmen bewegt, wurden bei der Erstellung dieser Klein- und Lokalbahnen vereinfachte Methoden angewandt. Abweichend von den „Normen für den Bau und die Ausrüstung“ sowie der „Betriebsordnung für die Haupteisenbahnen Deutschlands“ gab es eine eigene „Bahnordnung für die Nebenbahnen Deutschlands“. [11] Die Vereinfachungen bestanden hauptsächlich in der Zulassung kleinerer Bogenradien, um sich dem Geländeverlauf besser anpassen zu können, der

²Im Vorkriegsjahr 1913 beispielsweise erwirtschafteten die Länderbahnen einen Reingewinn von 1 Mrd Reichsmark, was einem Drittel der gesamten Staatsausgaben entsprach. [2]

nicht vorgeschriebenen Sicherung von Bahnübergängen bis hin zu geringeren Ansprüchen an den Gleisoberbau.

Nach diesen vereinfachenden Regelwerken wurden im Zeitraum von 1880 bis zum Ausbruch des Ersten Weltkrieges noch 22.000 km Nebenbahnen und gleichzeitig nur 4.000 km Hauptbahnen fertiggestellt [7], bei einem Gesamtnetz vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges von über 60.000 km. [2]

1.2 Die Stilllegung von Nebenstrecken

Nach dem Zweiten Weltkrieg, insbesondere aber ab etwa 1960, begann die Bahn, das Nebenbahnnetz wieder „zurückzubauen“. Die 1949 entstandene Deutsche Bundesbahn hatte, anders als ihre Vorgängerinstitutionen wie Länderbahnen oder Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft, große Finanzprobleme. Die notwendige Beseitigung der Kriegsschäden an Fuhrpark und Fahrweg, die Umorientierung der Verkehrsströme im geteilten Deutschland³ sowie der Strukturwandel weg von der Dampflokomotive hin zur Elektro- und Dieseltraktion sollte mit einem Startkapital von 200 Mio. DM bewerkstelligt werden.⁴ Um alle Aufgaben erfüllen zu können, nahm die DB in großem Umfang Fremdkapital auf, an dessen Zinslast das Betriebsergebnis Jahr für Jahr zu leiden hatte.

Zu den finanziellen Schwierigkeiten der Bahn kam in den Jahren des Wirtschaftswunders nach dem Krieg der endgültige Verlust des Transportmonopols. Hatte es sich schon vor dem Krieg durch die Entstehung der ersten Reichsautobahnen (die zum Teil noch von der Reichsbahn mitfinanziert wurden [2]) und dem „Volkswagen“ angekündigt, so entwickelte sich der private PKW spätestens in den 60er Jahren zu einem Lieblingskind der Nation. Die heimische Automobilindustrie wurde nach und nach zum größten Wirtschaftszweig des Landes. Bund, Länder und Gemeinden sorgten dafür, den Straßenbau voranzutreiben, damit die werbewirksame „Freude am Fahren“ überall Wirklichkeit wurde.⁵

Es entstand für die Nebenbahnen eine Konkurrenz, der sie letztendlich nicht gewachsen waren. Mehrere Gründe waren für die fehlende Konkurrenzfähigkeit verantwortlich. Das Grundrecht auf freies Eigentum führte – negativ gesehen – zu einer verstärkten „Zersiedlung“ der Landschaft. Für das Linienverkehrsmittel Bahn bedeutet dies einen spürbaren Nachteil gegenüber dem PKW, dessen Wirkung bei der Flächenerschließung ungleich höher ist.

³In der BRD nach dem Krieg waren die Hauptverkehrsströme vornehmlich die Nord-Süd-Verbindungen, wie etwa Hamburg - Würzburg - München oder Rhein/Ruhr - Rhein/Main - Basel.

⁴Allein die Kriegsschäden an Fahrzeugen und Schienenwegen wurden auf etwa 2,5 bis 8 Mrd DM geschätzt. [12]

⁵Nach dem Krieg wurden insgesamt 33% neue Straßen errichtet, während das mit Personenverkehr bediente Schienennetz um 22% zurückgebaut wurde. [2]

Die möglichst einfache Erstellung der Bahnen stellte sich als weiteres Manko heraus. Durch lange Fahrzeiten wurde nicht alleine die Attraktivität gegenüber dem PKW eingebüßt. Zusammen mit hohem Personaleinsatz wegen fehlender moderner Sicherungstechnik wurde die Betriebsleistung herabgesetzt, so daß der Nebenbahnbetrieb bei seinen ohnehin geringen Einnahmen hohe Betriebskosten verursachte. Vor dem Zweiten Weltkrieg brauchten sich die Bahnen wegen ihrer Monopolstellung auf dem Landverkehrsweg keine Gedanken um attraktivitätssteigernde Ausbauten der Nebenbahninfrastruktur zu machen. Als die DB mit dem PKW in Konkurrenz treten mußte, war für derartige Maßnahmen schlichtweg kein Geld vorhanden.

Die Bahn versuchte dem Negativtrend in ihrem Betriebsergebnis entgegenzuwirken einerseits mit Angebotsverbesserungen im gewinnbringenden Fernverkehr (z.B. Einführung des planmäßigen IC-Verkehrs zum Winterfahrplan 1971/72) und andererseits mit einer Rationalisierung im Nahverkehr. Die Bahn machte vor, was man heute neudeutsch als „lean production“ bezeichnet. Bereiche, in denen negativ gewirtschaftet wird, fallen eher dem Rotstift zum Opfer oder werden aus dem Unternehmen ausgegliedert, als daß durch Investitionen versucht wird, diese Bereiche attraktiver und wirtschaftlicher zu gestalten. Dies bedeutete in vielen Fällen die Einstellung des Nebenbahnbetriebs zugunsten einer Umstellung auf den wesentlich günstiger zu betreibenden Busersatzverkehr. Auf diese Weise verringerte sich in der BRD das mit Personenverkehr bediente Streckennetz von 36.019 km im Jahr 1960 auf 26.382 km im Jahr 1993. Zur Zeit sind im vereinten Deutschland etwa 7.500 km Eisenbahnstrecke für den Personenverkehr stillgelegt. (siehe Anhang: Übersicht stillgelegter Strecken in Deutschland)

Viele Kilometer Nebenstrecke sind relativ schnell zurückgebaut worden, einige Nebenbahnen sind für den Güterverkehr weiterhin im Betrieb, andere wurden von Eisenbahnfreunden und Liebhabervereinen in Pflege genommen und werden heutzutage an einigen Tagen im Jahr für touristische Zwecke wie beispielsweise Dampflokomotiv-Sonderfahrten genutzt.

In den neuen Bundesländern ist die Stilllegung des Nebenbahnnetzes ein Phänomen der 90er Jahre. Zu DDR-Zeiten spielte der PKW nicht die Rolle wie in der BRD, auch der alternative ÖPNV mit Busverkehren hatte nie eine große Bedeutung entwickelt. Ab dem Zeitpunkt der Wiedervereinigung erfolgte jedoch ein regelrechter „Kahlschlag“ am dichten Streckennetz. Von Fahrplanwechsel zu Fahrplanwechsel sind mittlerweile über 2.000 km Eisenbahnstrecke stillgelegt worden, wobei das Ende dieser Entwicklung noch gar nicht erreicht sein dürfte.

1.3 Betriebsformen im Nebenbahnbetrieb

Zur Unterscheidung Neben- und Hauptbahn trägt nicht alleine die vereinfachte Errichtung sondern auch die Betriebsform für die jeweilige Strecke bei. Für den Nebenbahnbetrieb haben sich eigene Betriebsweisen entwickelt.

- Betrieb nach Fahrdienstvorschrift DS 408 (Zugmeldeverfahren)

Dennoch ist der „klassische“ Eisenbahnbetrieb nach der Bundesbahn-DS 408 auch heute noch die am häufigsten anzutreffende Betriebsform auch auf Nebenstrecken. Die Zugfolge wird dadurch geregelt, daß die Strecke in Streckenblöcke unterteilt wird, die jeweils nur von einem Zug befahren werden dürfen. Die Freigabe der einzelnen Blockabschnitte erfolgt durch Fahrdienstleiter in örtlich besetzten Zugmeldestellen, welche für den Betriebsablauf in ihren jeweiligen Streckenblöcken zuständig sind. In der Regel begrenzen Blocksignale die einzelnen Blockabschnitte und zeigen die Befahrbarkeit des nächsten Blockes an. Sind keine Blocksignale vorhanden, ist die zulässige Geschwindigkeit auf 60 km/h begrenzt (§ 14 EBO). [11] Die Zugmeldestellen befinden sich meist an Bahnhöfen und sind mit einem örtlichen Stellwerk zur Steuerung der Streckenelemente (Weichen, Signale) verbunden. Verläßt ein Zug den Regelungsbereich der Zugmeldestelle A und will in den nächsten Streckenblock der angrenzenden Zugmeldestelle B einfahren, so meldet Fahrdienstleiter A an Fahrdienstleiter B und dieser an alle weiteren an der Strecke liegenden beteiligten Stellen (Schrankenwärter, Bautrupps, Blockabschnittswärter) die Übergabe des Zuges. Für den Zug ist der Übergang zweier Meldestellen unmerklich eine Fahrt in einen weiteren Streckenblock. Der Zug selbst ist in diesem Betriebsverfahren rein passiv.

- Vereinfachter Nebenbahnbetrieb nach DS 436 (Zugleitbetrieb)

Das Zugmeldeverfahren über Fahrdienstleitungen ist bei einfachen Betriebsverhältnissen oder bei wenigen Zugfahrten am Tag keine wirtschaftliche Lösung, da die aufwendige Zugfolgesicherung durch Signalanlagen oder mit Fahrdienstleitern besetzte Zugmeldestellen nicht immer benötigt wird. Bereits seit 1953 wird daher auf Strecken mit geringem Verkehr der Zugleitbetrieb angewandt. Der Streckenabschnitt wird von einem Zugleiter zentral überwacht. Der Zugleiter stellt von seiner Zentrale aus die gewünschten Fahrstraßen ein und erteilt fernmündlich Fahrtfreigaben bis zu bestimmten Punkten, meist Bahnhöfe, Ausweichstellen oder Haltepunkte, an denen die Fahrzeugführer dann weitere Fahrtfreigaben anfordern müssen.

Dem Zugleitbetrieb sind enge Grenzen in der Leistungsfähigkeit gesetzt, da bei zu vielen Zugbewegungen der Zugleiter schnell den Überblick verlieren kann und dabei irrtümlich Fahrtfreigabe für zwei Züge auf den selben Streckenabschnitt erteilen kann, was bereits zu einigen Zugunglücken geführt hat.

- Signalisierter Zugleitbetrieb (SZB)

Um eine ähnliche Sicherheit mit dem Zugleitbetrieb wie beim Zugmeldeverfahren zu erreichen, werden an den Freigabeabschnitten Signale eingerichtet. Die Fahrtfreigabe erfolgt dann nicht mehr fernmündlich, sondern über die Signalstellung. Ebenso wird die Rückmeldung der Fahrzeugführer und die Meldung der Zugvollständigkeit durch eine Ortung der Züge in den Streckenblöcken über Achszähler ersetzt. [40] Der Zugleiter muß für die Betriebssteuerung nur noch einfache Handgriffe erledigen, so daß der Betrieb schneller und sicherer abgewickelt werden kann.

Der SZB eignet sich besonders bei längeren oder auch verzweigten Nebenbahnabschnitten, da gegenüber dem Zugmeldeverfahren nur eine Fahrdienstleitung benötigt wird und gegenüber dem Zugleitbetrieb durch die Reduktion des Betriebsablaufs auf einfache Handgriffe eine höhere Leistungsfähigkeit und Sicherheit besteht. Demgegenüber muß ein erheblich höherer Aufwand bei der Installation der technischen Sicherungseinrichtungen (Signalisierung, Achszählanlagen) betrieben werden.

- Ein-Zug-Betrieb

Eine Ausnahme in der Fahrdienstvorschrift stellt der Ein-Zug-Betrieb dar. Bei kurzen Streckenästen, an denen ein Betrieb mit nur einem Fahrzeug möglich ist, entfällt die Zugfolgesicherung über Signale oder fernmündliche Fahrtfreigaben. Der Ein-Zug-Betrieb ist daher von der Betriebsführung her am günstigsten zu betreiben.

Von den etwa 20.000 km Nebenstrecke in Deutschland sind heute etwa 15.000 km für vereinfachte Betriebsverhältnisse ausgestattet, die restlichen 5.000 km werden zwar den Nebenbahnen zugerechnet, aber deren hohes Verkehrsaufkommen rechtfertigt derzeit die installierte Sicherungstechnik: [14]

Betriebsform:	Streckenkilometer:
Zugmeldeverfahren (DS 408)	8.000
Zugleitbetrieb (DS 436)	5.400
SZB	300
Ein-Zug-Betrieb	1.700

Für stillgelegte Nebenstrecken müßte zur Wiederinbetriebnahme das vorhandene Sicherungssystem (mehrheitlich der konventionelle Betrieb nach DS 408) erneuert werden bzw. überhaupt erstmalig installiert werden. Dabei ist natürlich zu prüfen, welche Betriebsform angewandt werden kann und soll.

1.4 Rechtliche Rahmenbedingungen für den Bahnbetrieb

Mit der Wiedervereinigung und dem Zusammenschluß der beiden deutschen Bahnen Deutsche Bundesbahn und Deutsche Reichsbahn, zeigte sich, daß die beiden finanziell schwer angeschlagenen Sondervermögen des Bundes in der bisherigen Form nicht weiter geführt werden konnten. Der Jahresfehlbetrag wäre bis zum Jahr 2000 auf 42 Mrd DM und der Gesamtschuldenstand gar auf 266 Mrd DM angewachsen. [12] Ein weiterer Anstoß zu einer durchgreifenden Reform im Eisenbahnwesen kam von der Europäischen Union, die mit der 1991 erlassenen Richtlinie 91/440, welche einer Umsetzung in nationales Recht bedurfte, grundsätzliche Verbesserungen der Situation der Eisenbahnen in Europa forderte, vor allem die Befreiung von der großen Schuldenlast. Diese Umsetzung in deutsches Recht erfolgte mit dem Eisenbahnneuordnungsgesetz vom 27.12.1993, welches sich aus folgenden Artikeln zusammensetzt:

- Art. 1 Bundeseisenbahn-Neugliederungsgesetz
- Art. 2 Gesetz über die Gründung einer Deutschen Bahn Aktiengesellschaft
- Art. 3 Gesetz über die Eisenbahnverkehrsverwaltung des Bundes
- Art. 4 Gesetz zur Regionalisierung des öffentlichen Personennahverkehrs
- Art. 5 Änderung des Allgemeinen Eisenbahngesetzes (AEG)
- Art. 6 Anpassung anderer Rechtsvorschriften

Im wesentlichen bedeuten die ersten drei Artikel des ENeuOG die Aufteilung der bisherigen DB in eigenständige Geschäftsbereiche (Netz, Reise&Touristik, Regio, Cargo, Station&Service). Die früheren hoheitlichen Aufgaben der DB, wie etwa die Durchführung von Planfeststellungsverfahren oder die Zulassung neuer Techniken, erledigt für die Eisenbahnen in Bundesbesitz und für ausländische Eisenbahnunternehmen das neugeschaffene Eisenbahn-Bundesamt. Ansonsten sind in hoheitlichen Fragen die Verkehrsbehörden der Bundesländer mit einem eigenen Landesbevollmächtigten für Eisenbahnwesen zuständig.

Das frühere AEG war als gesetzliche Grundlage auf die nichtbundeseigenen Eisenbahnen beschränkt. Die DB wurde von einem eigenen Bundesbahngesetz reglementiert. Das neue AEG bildet die Rechtsgrundlage für alle Eisenbahnen, die in Deutschland betrieben werden. Eisenbahnunternehmen werden als Gewerbeunternehmen in den Handelsregistern geführt.⁶ Unterschieden wird dabei zwischen Verkehrsunternehmen und Infrastrukturunternehmen:

- Verkehrsunternehmen sind Unternehmen, die einen Personen- oder Güterverkehr durchführen,
- Infrastrukturunternehmen stellen einen Fahrweg kostenpflichtig zur Verfügung, auf dem Verkehrsunternehmen ihren Betrieb durchführen

⁶Die DB-AG beispielsweise wurde am 05.01.1994 im Handelsregister Berlin eingetragen. Die Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft vor dem Zweiten Weltkrieg sowie die meisten „Länderbahnen“ im Kaiserreich hatten bereits diesen Status als Gewerbeunternehmen.

Ein Unternehmen kann dabei gleichzeitig Verkehrs- und Infrastrukturunternehmen sein, bilanztechnisch müssen beide Unternehmensteile jedoch getrennt werden.

Öffentliche, d.h. jedermann für Personen- oder Güterverkehr zugängliche Verkehrsunternehmen, haben einen diskriminierungsfreien Zugang zu den Netzen der Infrastrukturunternehmen. Dies bedeutet unter anderem, daß Fremdunternehmen kein höherer Trassenpreis für die Benutzung des Fahrwegs abverlangt werden darf oder bei erwiesener freier Netzkapazität die Verkehre der Fremdunternehmen nicht auf Randzeiten verschoben werden dürfen.

Das bisherige Stilllegungsverfahren nach §44 des Bundesbahngesetzes wurde mit dem AEG ebenfalls neu geregelt.⁷ Nach dem Bundesbahngesetz bedeutete eine Stilllegung sowohl die Einstellung des Personenverkehrs oder des Gesamtverkehrs und auch die Aufgabe der Strecke mit dem dabei stattfindenden Verkauf derselben bis hin zur Entwidmung der Grundstücke von ihrer Nutzung als Verkehrsflächen. Von Streckenstilllegung wird im AEG nur noch bei einer Aufgabe einer Strecke oder Streckenteilen wie etwa Haltestellen durch Infrastrukturunternehmen gesprochen. Wenn eine Streckenstilllegung bei der zuständigen Aufsichtsbehörde⁸ beantragt wird, muß das Unternehmen nachweisen, daß ein Weiterbetrieb wirtschaftlich unzumutbar wäre, beispielsweise wenn von Verkehrsbetreibern zu wenige Trassen bestellt werden, um die Kosten decken zu können. Verhandlungen über eine Übernahme durch »Dritte« (Gebietskörperschaften, andere Infrastrukturunternehmen) müssen vor der Beantragung der Stilllegung erfolglos geblieben sein.

Die Einstellung des Betriebs durch ein Verkehrsunternehmen ist damit jedoch nicht geregelt. Nach der Regionalisierung des SPNV wird der Verkehr auf Bestellung der Länder durch das Abschließen von Verträgen über Art und Umfang der Verkehrsleistung durchgeführt. Möchte ein Verkehrsunternehmen von seinem Vertrag entbunden werden, gilt das übliche Gewerberecht bei vorzeitiger Vertragsauflösung, auch wenn es sich beim SPNV um eine gemeinwirtschaftliche Leistung handelt.

Um brachliegende Gleisanlagen der DB Netz AG wieder ihrem Nutzen zuführen zu können, kann nach § 26 Bundeseisenbahn-Neugliederungsgesetz ein Aufgabenträger für den ÖPNV die Übertragung dieser Infrastruktur auf sich anmelden, wenn

⁷Die DB war nur verpflichtet, die Stilllegung bekanntzugeben. Die obersten Landesverkehrsbehörden hatten die Möglichkeit einer Stellungnahme, eine Klagemöglichkeit gegen die Stilllegungsabsicht bestand einzig bei erwiesener Willkür seitens der DB

⁸Aufsichtsbehörde ist für bundeseigene Infrastrukturunternehmen (DB Netz AG) und ausländische Bahnen das Eisenbahn-Bundesamt, ansonsten die zuständige Landesbehörde.

- »die Eisenbahninfrastruktur (...) ausschließlich oder ganz überwiegend für Zwecke des Schienenpersonennahverkehrs genutzt wird,
- die Eisenbahnen des Bundes (Infrastrukturunternehmen) zum Erbringen von Verkehrsleistungen nicht mehr bereit sind,
- eine Vereinbarung mit Aufgabenträgern über das Erbringen von Verkehrsleistungen auf der Eisenbahninfrastruktur des Bundes (...) nicht zustandegekommen ist sowie
- der Aufgabenträger das Erbringen von Verkehrsleistungen im Schienenpersonennahverkehr für mindestens 15 Jahre und das Betreiben der Infrastruktur für mindestens 30 Jahre garantiert.« [12]

Der Aufgabenträger erhält unter diesen Umständen die Infrastruktur kostenfrei. Die Abschreibung und Verzinsung von vorher noch getätigten Investitionen der DB Netz AG in die Infrastruktur müssen jedoch vom Aufgabenträger übernommen werden.

Nach Art. 4 ENeuOG gab der Bund seine bisherige Zuständigkeit für den Schienenpersonennahverkehr mit Inkrafttreten des Regionalisierungsgesetzes zum 01.01.1996 an die Bundesländer ab⁹. Die Länder ernennen dazu einen Aufgabenträger für den SPNV, der nach Maßgabe eines zu erstellenden und den verkehrlichen Gegebenheiten immer wieder anzupassenden Nahverkehrsplanes Art und Umfang der zu erbringenden Verkehrsleistungen festlegt. Der Aufgabenträger schließt daraufhin mit Eisenbahnunternehmen Verträge über die Durchführung der von ihm gewünschten Verkehrsleistungen ab.¹⁰

Die gesetzliche Grundlage bilden Landesnahverkehrsgesetze, die von den Ländern zum 01.01.1996 erlassen wurden. Dabei beschreiten die Länder ganz unterschiedliche Wege. In Bayern mit der Bayrischen Eisenbahngesellschaft oder in Baden-Württemberg mit der Landesnahverkehrsgesellschaft wird der SPNV landesweit organisiert, in Hessen dagegen sind die einzelnen Kommunen Aufgabenträger, die jedoch zur besseren Koordination des Regionalverkehrs diese Aufgabenträgerschaft in Verbänden wahrnehmen können und sollen.

1.5 Finanzierung des SPNV

Mit dem neuen Bestellerprinzip im SPNV durch Vertragsabschlüsse der Länder mit Eisenbahnunternehmen wird nicht nur der Betrieb des SPNV geregelt, sondern auch bezahlt. Da

⁹Vor der Regionalisierung war der Bund mit „seiner“ DB für alle Schienenverkehre zuständig. Weitere Schienenverkehrsunternehmen konnten nur an Streckenabschnitten einen Betrieb einrichten, an denen die DB kein Interesse hatte bzw. sie konnten Verkehre nur im Auftrag der DB durchführen.

¹⁰Um zur Einführung des neuen Vertragssystems einem langwierigen organisatorischen Aufwand zu entgehen, schlossen alle Länder mit der DB-AG einen Pauschalvertrag zur Durchführung des SPNV ab. Dieser Pauschalvertrag soll dann nach und nach mit der Ausschreibung einzelner Streckenabschnitte ersetzt werden.

der SPNV in den allerwenigsten Fällen eigenwirtschaftlich durchgeführt werden kann und im rechtlichen Sinn eine »gemeinwirtschaftliche Leistung« ist,¹¹ welche die Unternehmen auf eigene Rechnung nicht freiwillig durchführen würden, muß dem Unternehmen das entstehende Defizit von demjenigen ausgeglichen werden, der eine solche gemeinwirtschaftliche Leistung bestellt.

Der finanzielle Ausgleich von auferlegten gemeinwirtschaftlichen Leistungen geht auf die Rechtsvorschrift EWG-Verordnung 1191/69 der Europäischen Gemeinschaft aus dem Jahre 1969 zurück. Die Neufassung dieser Rechtsvorschrift durch die EU-Verordnung 1893/91 verpflichtet die Aufgabenträger bei der Auferlegung von gemeinwirtschaftlichen Leistungen zum Abschluß von Verträgen mit den Erbringern der Leistung. Damit soll nach Möglichkeit Wettbewerb und Kostenersparnis Einzug in ein starres und defizitäres Marktsegment halten.

Der Ausgleich des Defizits kann darin bestehen, daß dem Unternehmen ein fester Betrag für die Durchführung des Betriebs zur Verfügung gestellt wird. Die Einnahmen aus Fahrscheinerlösen können dann dem Betreiber zu einem Gewinn verhelfen, wenn die Summe aus Fahrgeldeinnahmen und gewährtem Zuschuß über den Betriebskosten des Unternehmens liegen. Dies ist ein wirtschaftlicher Anreiz für Eisenbahnunternehmen, kostengünstig und attraktiv ihre Verkehrsleistung zu produzieren.

Ebenso kann der Aufgabenträger die Verkehrsleistung an denjenigen Unternehmer vergeben, der meint, mit den geringsten Ausgleichszahlungen den Betrieb realisieren zu können. Dies entspricht dem Grundgedanken eines Wettbewerbs zwischen den Verkehrsunternehmen.

Genausogut kann die Verkehrsleistung auf dem „althergebrachten“ Weg vergeben werden, nach dem der Betreiber seine Kosten aus dem Haushalt des Aufgabenträgers voll erstattet bekommt.¹² Im Gegenzug erhält der Aufgabenträger die Fahrgeldeinnahmen. Der Betreiber geht in diesem Fall kein Risiko ein, da ihm egal sein kann, wie viele Fahrgäste tatsächlich das Angebot nutzen. Diese Vergabeform soll aus Sicht der Aufgabenträger die Ausnahmeform darstellen und empfiehlt sich nur für kurzfristige Vertragsabschlüsse, damit dem Betreiber wenigstens der Druck bleibt, daß er bei ungenügender Durchführung des Betriebs beim nächsten Vertragsabschluß nicht mehr den Zuschlag erhalten könnte.

Für die Finanzierung des SPNV stellt der Bund den Aufgabenträgern festgeschriebene Mittel nach dem Regionalisierungsgesetz zur Verfügung, die nach einem festgelegten Schlüssel unter den Ländern verteilt werden.

¹¹ „Die Sicherstellung einer ausreichenden Bedienung mit Verkehrsleistungen im öffentlichen Personennahverkehr ist eine Aufgabe der Daseinsvorsorge“ (§ 1 Regionalisierungsgesetz)

Die Höhe der Geldmittel wurde nach dem Bedarf des Fahrplanjahres 1993/94 ermittelt und beinhaltet eine jährliche Angebotssteigerung. Seit dem Haushaltsjahr 1997 sind die Regionalisierungsmittel dynamisch an das Wachstum des Umsatzsteueraufkommens gekoppelt. Zum Jahresende 1997 wurde eine Kommission beauftragt, die Höhe der Regionalisierungsmittel zu überprüfen. Diese im Regionalisierungsgesetz verankerte Überprüfung erbrachte bisher nur, daß die Mittel für den Betrieb des SPNV ausreichen und daher nicht weiter erhöht werden, die Verteilung der Mittel unter den Ländern bedürfe jedoch gewissen noch nicht festgelegten Änderungen.¹³

Günstigere Tarife für Schüler- und Auszubildendenverkehre sowie die kostenlose Beförderung von Schwerbehinderten in öffentlichen Verkehrsmitteln sind gesonderte gemeinwirtschaftliche Leistungen und werden den Verkehrsunternehmen aus einem zusätzlichen Posten im Landesverkehrsetat ausgeglichen.¹⁴

Nicht nur für den Betrieb von Schienenpersonennahverkehr stehen staatliche Gelder zur Verfügung. Der Bau von Schienenwegen und der Kauf von Fahrzeugen kann mit Fördergeldern unterstützt werden. Nach der Änderung des Gemeinde-Verkehrs- Finanzierungs-Gesetzes vom 14.02.1992 stehen für SPNV-Projekte jährlich hohe Geldmittel zur Verfügung. Die GVFG-Mittel sollen dazu verwendet werden, große Verkehrsprojekte des kommunalen Straßenbaus und des ÖPNV zu realisieren, zu deren Finanzierung die Gemeinden aus eigener Kraft nicht in der Lage sind. Seit Bestehen dieser Förderungsmöglichkeit haben sich sowohl die Höhe der Geldmittel als auch die Verteilung der Mittel zwischen Individualverkehr und öffentlichem Verkehr immer wieder geändert. [51] Die Anwendung der Mittel blieb auch nicht auf den reinen Verkehrswegebau beschränkt. Haltestellen und selbst Fahrzeuge des ÖPNV fallen mittlerweile unter die Rubrik förderungsfähig nach dem GVFG. Bei der Förderung ist zu beachten, daß mit Ausnahmen in den neuen Bundesländer nie die vollen Kosten durch GVFG-Mittel gedeckt werden.¹⁵ Weiterhin beschränkt sich die Verwendung der Mittel auf Neubaumaßnahmen.

Geldmittel für den SPNV nach GVFG, Regionalisierungsgesetz [in TDM] [12]

Jahr	RegionG	GVFG-Mittel	Bundesprogramm	Länderprogramme	davon ÖPNV	Gesamt-ÖPNV
1996	8.700	6.271,8	1.254,36	5.017,44	3.010,46	4.264,82
1997	12.000	3.271,8	654,36	2.617,44	1.308,22	1.963,08
1998	12.600	3.271,8	654,36	2.617,44	1.308,22	1.963,08

¹²Eigentlich hätte der Bund auf diesem Wege der ehemaligen DB das Defizit im SPNV ausgleichen müssen, aber der Bund beglich für die Durchführung des SPNV immer nur einen Teil des Defizits mit der Begründung der Zubringerfunktion des SPNV für den Fernverkehr. [7]

¹³Aussage des Präsidenten der Bayrischen Eisenbahn-Gesellschaft, anlässlich der Fachtagung »3 Jahre Regionalisierung« zur Transport '99 in München.

¹⁴Der VVS beispielsweise erhielt für diese Leistungen im Jahr 1998 20 Mio DM an Zuwendungen.

¹⁵Baumaßnahmen sind bis 85% förderungsfähig, Fahrzeuge bis zu 50%.

Dabei ist zu beachten, daß im Jahr 1998 mit diesen Geldmitteln eine Betriebsleistung im SPNV von 564 Mio Zug-km erbracht wurde, was einem Mitteleinsatz von 15,07 DM pro Zug-km entsprach. Von den 12,6 Mrd DM der Regionalisierungsmittel wurden nur 8,5 Mrd DM für den Betrieb ausgezahlt.¹⁶ Der Rest wird von den Ländern im Verkehrshaushalt unter anderem zur Finanzierung von Verkehrsprojekten verwendet.

Der Bund trägt nach Art. 87 GG noch immer die Verantwortung für den Bau von Schienenwegen. Im Zuge der Eisenbahn-Neuordnung wurde das Bundes-Schienenwege- Ausbau-Gesetz erlassen, das sich an den gesetzlichen Regelungen für den Bundesfernstraßenbau orientiert. Das Bundesministerium für Verkehr verwirklicht mit dem Gewähren von zinslosen Darlehen für die Infrastrukturunternehmen Bedarfspläne für den Bau von Schienenwegen. Die jährlich zur Verfügung stehenden Mittel richten sich nach dem jeweiligen Haushaltsetat des Ministeriums. Sie sind zwar keinesfalls gleichbleibend, doch die Größenordnung ist in gewissem Maße kalkulierbar.¹⁷ Gesetzlich festgelegt ist, daß 20% der jährlichen Mittel für Maßnahmen im SPNV verwendet werden müssen.

¹⁶VDV-Präsident Günter Girnau, Zwischenbilanz der Bahnregionalisierung. In ETR 7/98

¹⁷Im Jahr 1995 standen 7,5 Mrd DM zur Verfügung, im Jahr 1998 7,2 Mrd DM. (Geschäftsangaben der DB-AG)

2 Die Reaktivierung von Schienennebenstrecken

Sieht man die seit der Eisenbahnneuordnung für den Schienenverkehr und da insbesondere für den SPNV zur Verfügung stehenden Geldmittel im Vergleich mit den Zuwendungen, die der Bund „seiner“ ehemaligen DB zur Verfügung stellte,¹⁸ so zeigt dies auch den Willen der politisch Verantwortlichen, den SPNV zu stärken. In den 90er Jahren – zumindest in den alten Bundesländern – ist daher nicht mehr von Stilllegungen im Nebenbahnbetrieb die Rede. Vielmehr sorgte mancherorts die Wiederaufnahme des Personenverkehrs auf bereits jahrzehntelang stillgelegten Strecken für Schlagzeilen.

Nachdem im Jahre 1992 zwischen Friedrichsdorf und Grävenwiesbach bei Frankfurt erstmals eine komplette Nebenstrecke wieder in Betrieb genommen worden ist, die vorher von der DB aufgegeben worden war, sind mittlerweile immerhin 337 km stillgelegte Strecke in Deutschland wieder eröffnet worden. (siehe Anhang: Übersicht reaktivierter Strecken)

2.1 Beweggründe für die Reaktivierung einer stillgelegten Bahn

Nicht nur die verbesserte Finanzausstattung der Aufgabenträger des SPNV haben für dieses Phänomen gesorgt. Eine erfolgreiche Reaktivierung von Schienennebenstrecken kann darüberhinaus vielfältige Ursachen haben.

Wie bereits erwähnt hat die dezentrale Siedlungsstruktur in unserem Land Nachteile für den Eisenbahnbetrieb gebracht. Doch eine weitere Begleiterscheinung der sich stetig ändernden Siedlungstätigkeit führt nun zu neuen Möglichkeiten für die Schienenbahn. Das verstärkte Anwachsen der „Speckgürtel“, der Gemeinden im Einzugsgebiet der großen Ballungszentren, das die Folge des Wunsches nach Leben und Wohnen im Grünen ist, setzt sich heutzutage immer noch fort. Die Stadtfucht endet nicht mehr an den unmittelbar vor den Toren der Stadt gelegenen Vororten, sondern zieht sich weit ins Umland hinaus. In vielen ehemals peripheren Räumen sind mittlerweile die Bevölkerungszahlen derart angestiegen, daß ein Eisenbahnverkehr ein größeres Potential an Kunden erschließen kann und somit ein ehemals unrentabler Bahnbetrieb aufgrund dessen vielleicht wieder aufgenommen werden kann.

Die bloße Bevölkerungszahl reicht für sich allein betrachtet nicht aus, um eine Eisenbahn zu betreiben. Die Bevölkerung muß für einen erfolgreichen Betrieb das Angebot auch nutzen wollen. In dieser Hinsicht hat ein gesellschaftlicher Wandel stattgefunden. Wurde der ÖPNV lange Zeit verschmäht und ihm der private PKW vorgezogen, so genießt er heute ein gutes Ansehen, wenn es um die Lösung der dringenden Verkehrsprobleme geht. Verkehrslärm, Staus, Unfallzahlen

oder Schadstoffbelastung als Folgen des motorisierten Individualverkehrs stehen heute verstärkt in der öffentlichen Diskussion und insbesondere Schienenbahnen tragen zu einem positiven Ansehen des ÖPNV in der Bevölkerung bei, wird ihnen doch ein hohes Maß an Sicherheit, Zuverlässigkeit oder Umweltfreundlichkeit bescheinigt. Aus diesem Grund ziehen die Schienenverkehre gegenüber einem vergleichbar attraktiven Ersatzverkehr mit Bussen mehr Fahrgäste an.

Mittlerweile haben die Bahnbetreiber – NE-Bahnen und DB-AG – eingesehen, daß sie wegen unterlassener Anstrengungen für eine Verbesserung des Nebenbahnbetriebs eine gehörige Portion an eigener Schuld für die niedrigen Fahrgastzahlen und daher ungenügenden Kostendeckungsgrade ihrer Nebenbahnen besitzen.¹⁹ Seit der Umstellung von Dampflokomotiven zu Elektro- oder Diesellokomotiven wurden kaum noch Entwicklungen in eine moderne Fahrzeugtechnik verwirklicht, so daß bis vor kurzem noch Baureihen aus den frühen 60ern (Baureihe 211/212 ab Baujahr 1957) das Rückgrat des Nebenbahnbetriebs stellten. Erst als mit der Regionalisierung des SPNV 1996 ein Wettbewerb für Nahverkehrsanbieter bevorstand, bemühten sich Bahnunternehmen um eine Modernisierung des Fuhrparks.²⁰

2.2 Durchführung von Reaktivierungsmaßnahmen

Um eine Strecke erfolgreich wieder in Betrieb zu nehmen, muß bedacht werden, daß diese Strecken damals nicht umsonst stillgelegt worden waren. Die Attraktivitätskriterien, die für die Nutzer entscheidend sind, z.B. Schnelligkeit, Komfort, Sicherheit, Kosten, Serviceleistungen müssen überprüft und in der Regel verbessert werden, um für die Bahn neue Fahrgäste gewinnen zu können.

- Anschaffung neuer Nebenbahnfahrzeuge

Der Einsatz von modernen Fahrzeugen erfüllt die Forderung nach Wirtschaftlichkeit. Mögen die Investitionskosten von über 2 Mio DM pro Fahrzeug auf den ersten Blick gegenüber den längst abgeschriebenen, als stille Reserven aber immer noch betriebenen Lokomotiven recht hoch erscheinen, so haben die Dieselleichttriebwagen dennoch Systemvorteile, durch die der Betrieb günstiger gestaltet werden kann. Der Einsatz von Triebwagen ermöglicht einen Ein-Mann-Zugbetrieb, so daß Personalkosten für einen bei Wagenzügen zusätzlich benötigten Zugbegleiter entfallen. Die Triebwagen erreichen wegen ihres geringen Gewichts bei verbrauchsärmerer Betriebsweise eine wesentlich bessere Beschleunigung, was im Nahverkehr mit den kurzen

¹⁸Die Geschäftsführung der ehemaligen DB beklagte immer die nicht ausreichenden Zuwendungen des Bundes zum Ausgleich der gemeinwirtschaftlichen Leistungen [7] und forderte eine Befreiung von den Altschulden.

¹⁹Nebenbahnen, die stillgelegt wurden, ezielten zuvor meist Deckungsgrade von gerade 15 - 20% [5]

Haltestellenabständen von besonderem Vorteil ist. Die Betriebsleistung wird auf diese Weise gesteigert und kann bei genügend langen Strecken sogar bis zur Einsparung von Fahrzeugen für die gleiche Zahl an Umläufen führen.²¹ Ein „Nebeneffekt“ der höheren Betriebsleistung ist die Attraktivitätssteigerung für die Fahrgäste durch kürzere Fahrzeiten (siehe Anhang: Nebenbahnfahrzeuge).

- Geschwindigkeitssteigernde Maßnahmen

Die Kürzung der Fahrzeit ist ohnehin unumgänglich, will man als Schienenbahnbetreiber mit dem Privat-PKW in Konkurrenz treten. Die Reisegeschwindigkeit kann aber auch mit neuen Leichttriebwagen meist nur auf ein dem PKW-Verkehr vergleichbares Niveau gehoben werden, indem man teilweise von der bisherigen Trassierung abweicht und enge Radien aufweitet. Wird jedoch die ursprüngliche Trasse um mehr als 5 Meter verlassen, wird dafür ein Planfeststellungsverfahren notwendig, welches neben den bereits höheren Baukosten für die neue Trassierung auch eine gewisse Unsicherheit und zeitliche Verzögerung bei der Projektverwirklichung mit sich bringt. Langsamfahrstellen, hervorgerufen durch schlechten Bauzustand des Oberbaus oder von Brücken bzw. durch ungesicherte Bahnübergänge, sind ebenfalls nachteilig für eine Verringerung der Fahrzeit und sollten beseitigt werden, auch wenn dies in der Regel hohe Kosten verursacht.

- Komfort

Der Komfort für die Fahrgäste kann neben dem Einsatz moderner Fahrzeuge durch ein ausreichendes Sitzplatzangebot in Spitzenzeiten erreicht werden, was aber zumeist wegen zu hoher Vorhaltekosten für den Fahrzeugpark nicht verwirklicht werden kann. Weiterhin sind es Detaillösungen, die den Komfort steigern können. Leichtgängige Drucklufttüren an den Fahrzeugen gehören ebenso dazu wie ein niveaugleiches Aussteigen an den Bahnsteigkanten der Haltestellen, die deshalb an die Ein- bzw. Ausstiegshöhe des Fahrzeugs angepaßt werden sollten.

- Haltestellen und Service

Haltepunkte sollten sich in ihrer Lage an der mittlerweile vorhandenen Siedlungsstruktur richten, da sich die Siedlungstätigkeit und Ausweisung von Bau- und Gewerbegebieten seit dem Verlust der Monopolstellung der Bahn nicht mehr an deren Netz orientiert hat, erst recht nicht, wenn dieses stillgelegt war. Unter Umständen bedeutet dies eine neue Lage gegenüber den ursprünglichen Haltestellen sowie die Einrichtung komplett neuer Haltepunkte. Eine

²⁰Der VDV, der fast alle NE-Bahnen beinhaltet, erließ 1992 eine Aufforderung und eine Merkmalsliste an die Fahrzeughersteller, Dieselleichttriebwagen für den Nahverkehr zu entwickeln. (siehe Anhang: Nebenbahnfahrzeuge)

²¹Die Dürener Kreisbahn beispielsweise übernahm einen DB-Verkehr mit ihren RegioSprintern und konnte dabei die Zahl der eingesetzten Fahrzeuge verringern.

Haltestellenausstattung besteht neben Fahrscheinautomaten und Fahrplan auch aus Schlechtwetterschutzdach und genügend Sitzgelegenheiten für wartende Fahrgäste. Wünschenswert wäre die zusätzliche Einrichtung von Läden, Kiosk oder Telefonzellen an den stärker frequentierten Haltestellen.

- Abstimmung des ÖPNV zu einem Gesamtkonzept

Die Einführung des Eisenbahnbetriebs auf einer Strecke hat Konsequenzen für die bisherige Bedienung im ÖPNV, vornehmlich für die Betreiber des Busverkehrs. Im Interesse einer möglichst guten Auslastung der leistungsfähigen Schienenbahn muß der Busverkehr mit seiner Linienführung als Zubringerverkehr auf die Bahn abgestimmt werden. Parallele Führung von Buslinien und Bahnlinie sind zu vermeiden. So wie der Bus für die Bahn, so erfüllt die Nebenbahn in fast allen Fällen Zubringerfunktionen für das übergeordnete Eisenbahnnetz. Für die erfolgreiche Verwirklichung eines alle öffentlichen Verkehre betreffenden Konzeptes müssen daher günstige Anschlüsse für die umsteigenden Fahrgäste auch in Schwachlastzeiten angeboten werden und die Zubringerverkehre jeweils zeitlich an die übergeordneten Verkehre angepaßt werden.

Mit der Reaktivierung der Nebenbahn soll nicht nur der bisherige Busverkehr ersetzt werden. Die hauptsächliche Absicht, die bei einer Reaktivierungsmaßnahme verfolgt wird, ist die Gewinnung neuer Fahrgäste für den ÖPNV. Zu einem attraktiven Bahnangebot gehören dabei Anlagen für Park + Ride, Fahrradabstellmöglichkeiten und ein Verkehrsleitsystem, das die Bahn miteinbezieht. Unter Umständen ist dabei die Erreichbarkeit der Bahnanlagen nicht zufriedenstellend gewährleistet, d.h. das Wegenetz (Fuß-, Radwege, Zubringerstraßen) muß auf jeden Fall auf die Bahnstationen ausgerichtet werden und ist im Bedarfsfall auszubauen.

2.3 Die Reaktivierung der »Schönbuchbahn« Böblingen - Dettenhausen

Ein gelungenes Beispiel für die Wiederaufnahme eines stillgelegten Personenverkehrs auf der Schiene ist die als »Schönbuchbahn« bekannte Strecke vor den Toren Stuttgarts zwischen Böblingen und Dettenhausen. Die Bahn war ursprünglich als direkte Verbindung von Stuttgart über Böblingen nach Tübingen geplant, wurde in diesem Umfang aber nie verwirklicht. Drei Gemeinden im Schönbuch – Holzgerlingen, Weil im Schönbuch, Dettenhausen – erwirkten jedoch im Jahr 1911 für sich den Bahnanschluß an die Gäubahn Stuttgart - Horb.

Nachdem die genannten Schwierigkeiten der DB nach dem Zweiten Weltkrieg auch diese Strecke nicht verschont hatten, wurde der Personenverkehr zum Jahreswechsel 1966/67 eingestellt und das Verfahren auf Gesamtstilllegung (Verkauf und Entwidmung der Bahnanlagen) von der DB im Jahre 1988 eingeleitet. Die an der Strecke gelegenen Landkreise Böblingen und

Tübingen wollten die Schönbuchbahn jedoch erhalten, da die Wiederaufnahme des Personenverkehrs erfolgversprechend erschien. Die beiden Landkreise gründeten dazu im Dezember 1993 den Zweckverband Schönbuchbahn (ZVS), dem zum Jahreswechsel 1993/94 die betriebsnotwendigen Grundstücke und Bahnanlagen von der DB-AG zum Preis von 1,15 DM übertragen wurden.²²

Für die geplante Inbetriebnahme zum Fahrplanwechsel 1996 wurde die 17 km lange Strecke grundlegend saniert. Der Fahrweg wurde zwar von den Firmen Pfinder/Böblingen, Schill&Seilacher/Böblingen und Nau/Dettenhausen, die eigene Gleisanschlüsse an die Schönbuchbahn unterhalten, für geringen Güterverkehr immer noch benutzt, doch dies unter Hinnahme von Langsamfahrstellen wie ungesicherten Bahnübergängen (erlaubte Geschwindigkeit 30 km/h §11 EBO) [11], die für einen attraktiven Personenverkehr natürlich nicht in Betracht kamen.

Die geschwindigkeitssteigernden Maßnahmen machten insgesamt einen Großteil der Sanierungskosten aus. Die Linienführung wurde teilweise geändert, so daß die Streckenhöchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 80 km/h angehoben werden konnte. Dazu wurden etwa 10 km Gleis und 8.900 Holzschwellen neu verlegt sowie 12.000 t Schotter auf der Strecke eingebaut. Zu den Gleiserneuerungen kommen die fälligen Sanierungen für die Eisenbahnbrücken, damit sie dem Betrieb mit 80 km/h standhalten. 5 solcher Bahnbrücken über Straßen bzw. Fußwege verursachten Sanierungskosten von knapp 400.000 DM. (vgl. Anhang: »Schönbuchbahn«: Durchgeführte Baumaßnahmen)

Bei einer Streckengeschwindigkeit von 80 km/h müssen Bahnübergänge durch Lichtzeichenanlagen gesichert werden. Die Einrichtung der Sicherungstechnik an 12 Bahnübergängen kostete etwa 4,5 Mio DM. 5 weitere Bahnübergänge wurden als Fuß- bzw. Radwegübergänge zurückgebaut und mit Drehkreuzen oder Umlaufsperrern versehen. 4 Bahnübergänge wurden vollgeschlossen, d.h. die Überquerung der Gleise wird nicht mehr ermöglicht, und schließlich wurde ein Bahnübergang durch ein Unterführungsbauwerk ersetzt, welches alleine mit knapp 1 Mio DM zu Buche schlug. Eine weitere Unterführung wurde von der Gemeinde Holzgerlingen neu erstellt, was für den Zweckverband keine Kosten verursachte, ebenso die Erneuerung der Gleisanschlüsse der Güterverkehr betreibenden Firmen.

Die Gemeinden an der Bahnlinie waren seit der Entstehung der Bahn stark angewachsen. Aus diesem Grund wurden 6 neue Haltepunkte eingerichtet, um damit einen größeren Teil des

²²Kaufpreis 1,- DM zzgl. MwSt. Einige weitere Strecken gingen für diesen symbolischen Preis von der Bundesbahn auf kommunale Betreiber über (Schorndorf - Rudersberg, Calw - Weil der Stadt etc.). Da zu diesem Zeitpunkt das

bebauten Gebietes direkt zu erschließen. Damit stieg die Zahl der Haltestellen zwischen Böblingen und Dettenhausen auf zehn Zwischenhalte. Da seit 1966 keine Personenzüge mehr verkehrten, mußten alle Haltestellen komplett neu gestaltet werden. Alleine die Ausstattung mit Fahrausweisautomaten „verschlang“ eine weitere Million DM. Die Bahnsteighöhe wurde an die Fahrzeugeinstiegshöhe angepaßt und beträgt nun 76 cm an allen Bahnsteigen.²³

Damit die Fahrzeuge nicht wegen fälliger Inspektionen zu einem Betriebswerk abgezogen werden müssen, was die Anschaffung von zusätzlichen Reservefahrzeugen erfordert hätte, wurde am Streckenende in Dettenhausen eine eigene Wartungshalle als Betriebswerkstatt errichtet. An das Gebäude wurde gleichzeitig die Betriebsleitung angeschlossen.

Der Streckenausbau, der insgesamt etwa 17,5 Mio DM kostete, gehörte bereits zum Betreibervertrag, den der ZVS ausgeschrieben hatte. Als Bieter trat neben der WEG, die letztlich den Zuschlag erhielt, noch eine Bietergemeinschaft aus DB Regio AG (damals noch DB-AG „Geschäftsbereich Nahverkehr“), Regional-Bus-Stuttgart und der Bauunternehmung Leonhard Weiss Crailsheim/Göppingen auf. Der Betreibervertrag umfaßt die Vermietung der Infrastruktur durch den ZVS an den Betreiber und die Kosten für die Durchführung des geforderten Betriebes. Die Fahrgeldeinnahmen verbleiben dem ZVS, der die geschätzten jährlichen Defizite von etwa 850.000 DM²⁴ übernimmt. Der Betreiber, der bei dieser Vergabeform eigentlich keinerlei Risiko über Erfolg oder Mißerfolg dieser Streckenreaktivierung eingeht, hat aus dem Grund ein Interesse an einen erfolgreichen Betrieb, da der Vertrag nur über 5 Jahre abgeschlossen wurde.

Mit der Einrichtung des Schienenbahnverkehrs mußte der bisherige Busverkehr, der die Linie Sindelfingen - Böblingen - Tübingen bediente, wegen des Bahnverkehr neu organisiert werden. Abgestimmt auf die Schichtwechselzeiten des Daimlerwerkes bestehen weiterhin durchgehende Buslinien zwischen Tübingen und Sindelfingen, ansonsten enden die Busverbindungen von Tübingen in Dettenhausen mit Anschluß an die Schönbuchbahn. Als Zubringer zur Schönbuchbahn wurden die Linien Ehningen - Altdorf - Hildrizhausen - Holzgerlingen und Holzgerlingen - Neuweiler - Weil i.S. eingeführt. (Anhang: »Schönbuchbahn«: Streckenverlauf)

Der fahrplanmäßige Bahnbetrieb konnte trotz erfolgreicher Umsetzung der Baumaßnahmen und Organisation des Busverkehrs erst verspätet zum 01. Dezember 1996 aufgenommen werden, nachdem es bei den vier Fahrzeugen vom Typ Adtranz »RegioShuttle RS1«

ENeuOG aber bereits bekannt war, es trat zum 31.12.1993 in Kraft, hätte die Übertragung der Grundstücke eigentlich auch ganz kostenfrei erfolgen können (siehe Kapitel 1.4).

²³Am DB-Bahnhof Böblingen wurde nur eine 5 Meter lange Rampe auf 76 cm angehoben, um auch dort einen ebenen Übergang für behindertengerechten Ein-/Ausstieg zu ermöglichen. Die niedrige Bahnsteigüberdachung in Böblingen verhinderte einen kompletten Ausbau.

Lieferschwierigkeiten gegeben hatte. Eine nachträgliche Erhöhung der Motorleistung von 2x228 kW auf 2x257 kW ermöglichte die Einhaltung des knappen Fahrplans und dem Einbinden des Haltepunktes „Böblingen - Zimmerschlag“, der sonst nur am Wochenende angefahren werden konnte, da mit kürzeren Ein-/Ausstiegszeiten genügend Pufferzeit übrig blieb.²⁵ Die Einhaltung des Fahrplans ist besonders wichtig, da in Böblingen der Anschluß an die S-Bahn von Herrenberg nach Stuttgart und an die Gegenrichtung gewährleistet wird.²⁶ Dabei muß die Schönbuchbahn mindestens drei Minuten vor der S-Bahn einfahren, da wegen fehlender Durchrutschwege und einer geforderten Mindestumsteigezeit für die S-Bahn eine gleichzeitige Einfahrt von Schönbuchbahn und S-Bahn nicht möglich ist.

Mittlerweile ist die »Schönbuchbahn« als Kursbuchstrecke 790.9 und als R 72 im Verkehrsverbund Stuttgart etabliert. Durch das Anbieten eines attraktiven Verkehrsmittels mit Sicherung der Bahnübergänge und Erhöhung der Streckengeschwindigkeit, die im ersten Konzept noch gar nicht vorgesehen war,²⁷ wurde die prognostizierte Fahrgastzahl von 2.500 Fahrgästen/Tag schon von Beginn an übertroffen. Bis über 5.000 Fahrgäste täglich nutzen „Baden-Württembergs schönste Nebenstrecke“. Die Mehreinnahmen des ZVS wurden bereits dazu verwendet, das Betriebsangebot auszudehnen. Ursprünglich geplant war eine Bedienung mit 27 Zugpaaren werktags, 14 samstags und 6 an Sonn- und Feiertagen. Das Fahrtenangebot wurde auf 30/18/13 Zugpaare erweitert. Wegen der hohen Einnahmen bei der Schönbuchbahn verspricht sich der ZVS Ausgleichszahlungen vom Verkehrsverbund Stuttgart, in welchen ja die Schönbuchbahn eingebunden ist. Nach der Betriebseinführung vor mittlerweile 3 Jahren liegen darüber jedoch noch keine Informationen vor.

²⁴Vom Landratsamt Böblingen ursprünglich kalkulierter Fehlbetrag. Die tatsächliche Höhe des Defizits ist nicht bekannt.

²⁵Böblingen-Zimmerschlag weist von allen Haltepunkten den meisten Ausflugsverkehr und den geringsten Anteil am Berufs- und Schülerverkehr aus, so daß dieser Haltepunkt werktags am ehesten gestrichen werden konnte, um die Fahrzeit einzuhalten.

²⁶Vorteilhaft ist dabei die Konstellation des S-Bahnverkehrs am Bahnhof Böblingen, da beide Richtungen der S1 innerhalb von zwei Minuten ankommen und abfahren.

²⁷Die günstige S-Bahnkonstellation am Bahnhof Böblingen besteht erst seit dem Fahrplanwechsel 1996.

3 Einsparungen an der Streckeninfrastruktur durch den Einsatz von funkgestützter Betriebsführung

Das genannte Beispiel Schönbuchbahn hat bestätigt, daß nur ein besonders attraktiv gestalteter Nebenbahnbetrieb einen hohen Zuspruch bei den Kunden findet. Da dies jedoch gleichzeitig mit hohen finanziellen Aufwendungen verbunden ist, muß anderswo im Betrieb das erwirtschaftete Defizit möglichst gering gehalten werden. Auf der Fahrzeugseite haben die Eisenbahnunternehmen mittlerweile durch den Einsatz von Leichttriebwagen erhebliche Einsparungen gegenüber dem früheren lokbespannten Zugbetrieb erreicht, so daß hier vorerst kaum weitere Möglichkeiten zur Rationalisierung übrig bleiben. Folglich hält beim Rad-Schiene-System Eisenbahn einzig die Schiene, also die Streckeninfrastruktur Potential für Einsparungen bereit.

3.1 Einsparmöglichkeiten an Streckenelementen

Die streckenseitig installierte Zugsicherung ist unabhängig vom Betriebsaufkommen verfügbar. Sie stellt einen relativ hohen Satz an Fixkosten dar. Dies hat Vorteile, wenn viele Züge die Streckeneinrichtungen benutzen, was beim Nebenbahnbetrieb jedoch in aller Regel nicht der Fall ist. Die seither verwendete Übertragung von Befehlen und Informationen aus Stellwerken über Kabel ist bei der Erstellung aufwendig und verursacht hohe Personal- und Unterhaltskosten und ist ein wesentlicher Bestandteil der hohen Netzkosten. Die Infrastrukturunternehmen können hier Einsparungen vornehmen, indem die Steuerung des Fahrwegs und die Zugfolgesicherung auf drahtlosem Wege rechnergesteuert über Funk abgewickelt wird.

- Weichen

Weichen sind Streckenelemente, die seit Bestehen der Eisenbahnen überall anzufinden sind. Im Streckennetz der DB-AG befinden sich derzeit knapp 140.000 Weichen im Einsatz. [46] Werden Weichen von der spitzen Seite her immer nur auf ein Gleis als reine Ausweichstelle befahren, so können Rückfallweichen zum Einsatz kommen, die keine Stelleinrichtung benötigen. Bei der ehemaligen DB und auch jetzt bei der DB Netz AG wird dieser Weichentyp jedoch (noch) nicht verwendet, da betriebliche Einschränkungen in Kauf genommen werden müssen (keine Zugüberholung möglich, Befahrbarkeit von der stumpfen Seite nur mit 40 km/h) und die Rückfallweiche durch die auftretenden mechanischen Beanspruchungen beim Befahren von der stumpfen Seite einem erhöhten Verschleiß unterliegt. Die Vorteile einer günstigeren Erstellung und nicht benötigten Steuerung werden nach Ansicht der DB Netz AG dadurch mehr als relativiert. Die Schaltung der steuerbaren Weichen erfolgt bisher auf unterschiedliche Arten.

Am einfachsten geschieht die Einstellung des Fahrwegs durch Umlegung eines Stellhebels an Ort und Stelle, also direkt an der Weiche. Da dies wegen der nötigen Überprüfung des eingestellten Fahrwegs durch den Fahrzeugführer eine unterbrechungsfreie Fahrt verhindert, findet man diese manuellen Umstellvorrichtungen nur an reinen Rangiergleisen oder Anschlußgleisen für wenig genutzte Werksanschlüsse.

Die Entwicklung der mechanischen Steuerung von Weichen über Drahtverbindungen und Stellhebel aus Bahnhofsstellwerken ermöglichte einen direkten Bahnbetrieb, bei dem das Zugpersonal sich nicht mehr um den Fahrweg kümmern mußte. Da jedoch insbesondere die Drahtverbindung aufwendig zu erstellen ist, nur geringe Reichweiten hat (maximal 1.000 Meter), hohe Zugkräfte erfordert (bis zu 450 N Zugkraft für den Bediener im Stellwerk [4]) und zusammen mit der Witterungsanfälligkeit hohem Verschleiß ausgesetzt ist und daher einen hohen Personal- und Pflegeaufwand verursacht, sind die mechanischen Stellwerke nur noch vereinzelt, aber vor allem noch an Nebenbahnen anzutreffen.

An vielbefahrenen Strecken sind elektrische Weichenantriebe gebräuchlich. Über Relais- oder voll elektronische Stellwerke wird die Weiche per Knopfdruck in ihre Stellung gebracht. Durch die nötige Kabelverbindung zur Übertragung des Steuerbefehls hat sich dabei gleichzeitig eine sicherheitsrelevante Sensorik der Weichenendlagenprüfung bewährt. Ein an der Weiche angebrachter Endlagensensor meldet die korrekte Ausführung des Steuerbefehls bzw. auch eventuelle Störungen über eine eigene Datenleitung zurück ans Stellwerk. Erst dadurch wird eine hohe Sicherheit bei der Einstellung der Fahrstraßen gewährleistet. Wegen der zusätzlichen Einrichtungen ist eine elektrisch angetriebene, elektrisch gesteuerte und sehr oft auch elektrisch beheizte Weichenanlage sehr teuer zu erstellen und zu unterhalten.²⁸

Einen nicht unerheblichen Anteil machen die Tiefbauarbeiten mit den Verkabelungen der Steuerleitungen an den Weichen aus. Durch Funksteuerung kann dieser Aufwand reduziert werden, da anstelle der Kabelverbindungen nur die Installation eines Funkempfänger/ -Senders nötig ist, was bei niedrigeren Kosten aber die gleiche Sicherheit bedeutet, da die Endlagenmeldung ebenfalls über Funk zurückgesandt werden kann. Interessanter als die Umrüstung bestehender elektrischer Antriebe ist die Kostenfrage bei einer angedachten Umrüstung der mechanischen Weichensteuerung an Nebenstrecken, da bereits bei der Installation für die Funksteuerung geringere Kosten anfallen und das Personal für das örtliche Stellwerk eingespart werden kann.

- Bahnübergänge (BÜ)

²⁸Die DB Netz AG rechnet mit Herstellungskosten von 150.000 DM für elektrisch angetriebene Weichen und 100.000 DM für Rückfallweichen

Durch einen sich immer weiter verstärkenden Straßenverkehr und dem dichten Straßennetz hat die Bahnübergangssicherung beim Eisenbahnbetrieb einen hohen Stellenwert. Da Bahnübergänge den Straßenverkehr nicht unerheblich behindern und gleichzeitig stets einen potentiellen Gefahrenpunkt darstellen, sind auf den Hauptbahnen viele BÜ mittlerweile durch niveaufreie Kreuzungen ersetzt worden. Bei Nebenbahnen finden sich dagegen sehr viele BÜ im Einsatz, da hier die Zahl der Schließungen aufgrund des geringen Bahnverkehrs niedrig ist und durch die begrenzte zulässige Fahrgeschwindigkeit auf Nebenbahnen (80 km/h) das Gefahrenpotential nicht ganz so hoch ist wie bei Schnellfahrbetrieb.

Sicherungsart an Bahnübergängen:	Zahl (Stand 1996) [4]
Bahnübergänge ohne technische Sicherung	14.240
Bahnübergänge lichtzeichengeregelt ohne Schranken	2.376
Bahnübergänge lichtzeichengeregelt mit Halbschranken	6.643
Bahnübergänge mit Vollschranken	5.151

Bei der BÜ-Sicherung kann zwischen gesicherten und ungesicherten BÜ unterschieden werden. Zwar haben laut Straßenverkehrsordnung Eisenbahnen Vorrang vor dem Straßenverkehr, doch bei ungesicherten BÜ mit dem Straßenverkehr – eine Ausnahme sind BÜ als reine Fuß-/Radwege – ist die Fahrgeschwindigkeit des Zuges auf 30 km/h beschränkt (§ 11 EBO), so daß den Fahrzeugführern Chancen auf eine nötige Abbremsung des Zuges gegeben sind, wenn der BÜ nicht befahrbar sein sollte. Die Züge machen sich durch ein akustisches Warnsignal bei der Annäherung bemerkbar.

Die Sicherung von BÜ geschieht in der Regel durch Schrankenanlagen, den Vollschranken und den Halbschranken. Die Schranken werden oft noch durch eigenes Personal bedient, den Schrankenwärtern. Die Bedienung erfolgt zumeist nicht mehr vor Ort in den Schrankenwärterhäuschen, sondern ferngesteuert aus dem nächsten Stellwerk. Der Zug wird von der Fahrdienstleitung beim Wärter angemeldet oder der Fahrzeugführer meldet seinen Zug selbst an, worauf der Schrankenwärter in Aktion tritt und die Schranke schließt. Bei erfolgter Schließung des BÜ wird dem Fahrzeugführer durch ein Signal im Bremswegabstand die Fahrtfreigabe mitgeteilt. Bei nicht erfolgter Schließung kann demnach keine Weiterfahrt ermöglicht werden und der Zug kommt vor dem BÜ zum Stehen. Bei Vollschrankenanlagen muß zusätzlich noch eine Gefahrenraumfreimeldung erfolgen. Diese wird entweder visuell vor Ort oder über Videoüberwachung durch das Bedienpersonal gewährleistet.

Wird eine BÜ-Anlage automatisch geschlossen, so sorgt das Überfahren eines Kontaktes (Annäherungspunkt), der für die erlaubte Fahrgeschwindigkeit zeitoptimiert an der Strecke angebracht werden kann, um die Schließungszeit auf das nötige Minimum zu reduzieren, für die

Aktivierung des elektrischen Schrankenantriebs. Auch hier erfolgt die Rückmeldung eines Endlagensensors der Schrankenanlage für eine Fahrtfreigabe durch Lichtzeichenregelung eines Signals im Bremswegabstand. Die automatische Gefahrenraumfreimeldung bei Vollschraken besorgt in diesem Fall beispielsweise ein Radarscanner. Dies stellt derzeit aber noch keine Serienlösung dar, so daß Vollschrakenanlagen zum größten Teil mit Personal überwacht werden. [31]

Auch bei der BÜ-Steuerung kann die Funkübertragung der Stellbefehle notwendige Kabelanlagen für Befehlsübertragung und Endlagenprüfung ersetzen, die einen nicht unerheblichen Teil der Tiefbaukosten bei der Erstellung eines BÜ ausmachen.

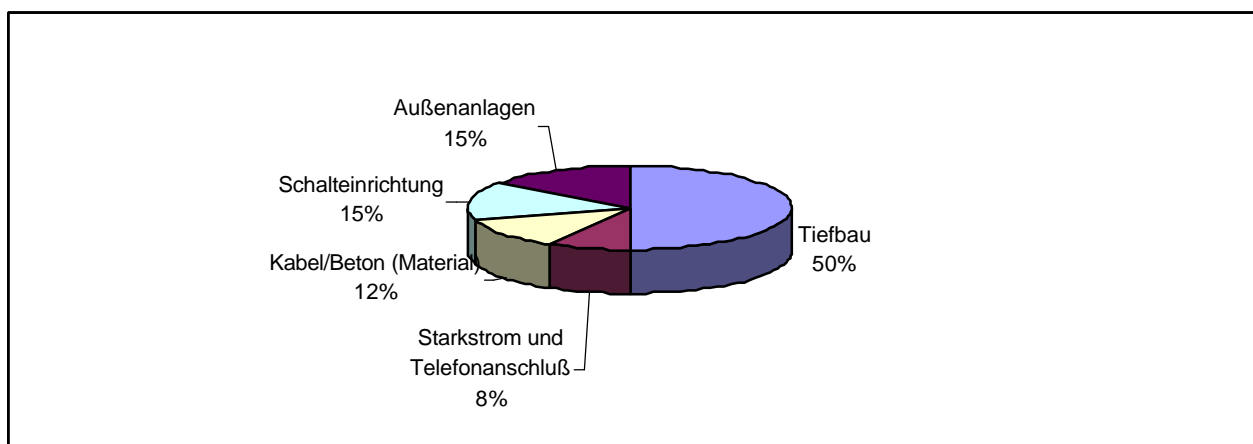


Abb. 1: Kostenaufschlüsselung bei Bahnübergängen [4]

- Signalisierung

Die ortsfeste Signalisierung für die Zugfolgeregulierung besteht aus weiteren Anlagen, die weg von der Strecke auf das Fahrzeug übertragen werden können. Die Signale geben dem Fahrzeugführer die Befahrbarkeit des folgenden Blockabschnittes an. Ab Geschwindigkeiten von mehr als 60 km/h kann der Fahrzeugführer wegen des langen Bremswegs von Zügen bei »Halt«-zeigenden Signalen nicht ohne weiteres den Zug rechtzeitig zum Stillstand bringen, so daß die Installation eines zusätzlichen Vorsignals erforderlich wird, welches den Fahrzeugführer rechtzeitig vor dem eigentlichen Hauptsignal über dessen Anzeige informiert. Die Führerstandssignalisierung im Fahrzeug wird bereits im Hochgeschwindigkeitsverkehr erfolgreich angewendet, da man mit der Linienzugbeeinflussung ebenfalls auf eine ortsfeste Signalisierung verzichten will.²⁹ Die Signalisierung der Streckenblockabschnitte und ihre Vernetzung mit der Fahrdienstleitung machen einen Großteil der Streckenkosten aus. Die Installation einer Signalanlage schlägt beispielsweise alleine mit etwa 250.000 DM pro Streckenhauptsignal zu Buche. An vielen Nebenstrecken finden sich zudem noch mechanisch betriebene Flügel-(Form-

)signale, die über Stelldrähte aus einem Stellwerk heraus gestellt werden. Bei deren Betrieb gelten die gleichen Nachteile eines geringen Automatisierungsgrades (nötiger Personaleinsatz vor Ort) und einer hohen Pflegebedürftigkeit wie bei den mechanisch gestellten Weichen.

3.2 Definition des Funkfahrbetriebs nach Lastenheft der DB Netz AG

Um Streckeninfrastruktur einzusparen, ist es erforderlich, ein völlig neues Betriebsverfahren zu entwickeln. Die bisher angewandte Betriebsweise, die Streckenelemente zentral zu steuern, ist für einen rationellen Nebenbahnbetrieb nur bedingt geeignet. Wollte man die zentrale Steuerung von einem Stellwerk aus auch für die Funkfernsteuerung beibehalten, so hätte dies einen erhöhten Kommunikationsaufwand zur Folge, da neben den Stellbefehlen die Zentrale quasi kontinuierlich in Funkkontakt mit den Fahrzeugen bleiben muß, um deren Positionen für die nötigen Stellbefehle zu kennen. Zwar ist eine dezentrale Steuerung des Fahrwegs von den Fahrzeugen aus mit einem zusätzlichen Installationsaufwand bei der fahrzeugseitigen Intelligenz durch ein sicherheitsrelevantes Rechnersystem verbunden, doch die Einsparungen bei der Kommunikation würden immens ausfallen.

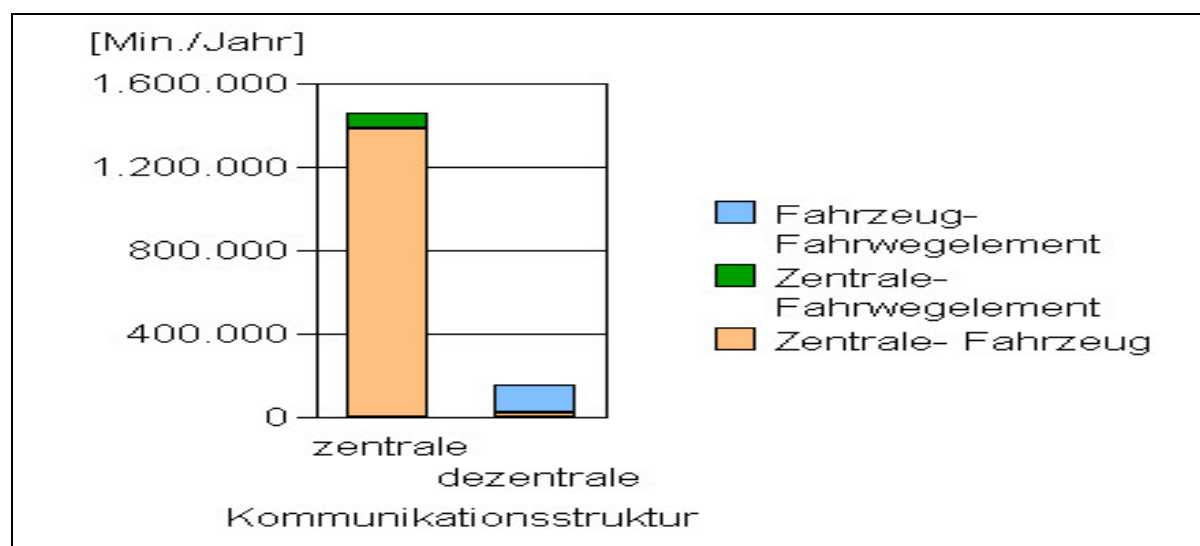


Abb.2: Kommunikationsbedarf bei zentraler und dezentraler Steuerung - Berechnungsbeispiel für die Erstanwendungsstrecke »Alzey Y« [37]

Die DB Netz AG hat in Zusammenarbeit mit der Daimler-Chrysler Tochter Adtranz-Signal das Betriebssystem Funk-Fahr-Betrieb (FFB) ausgearbeitet. [53] Der FFB verwirklicht das Fahren ohne ortsfeste Signalisierung und einer auf Funkbefehlen basierenden dezentralen Steuerung von Streckenelementen aus „intelligenten“ Fahrzeugen heraus. Dagegen würde die europäische Standardisierung der Leit- und Sicherungstechnik ETCS (european train control system) die

²⁹Beim LZB-Betrieb wird dennoch ein Signalsystem installiert, das als Rückfallebene für einen Ausfall der LZB-Komponenten dient und einen Betrieb bis 160 km/h zuläßt.

zentrale Funksteuerung vorsehen. [35] Der FFB deckt mit seiner Regelung die Zugsteuerung und Zugfolgesicherung, die Fahrwegsteuerung und -Sicherung sowie die Disposition, den Betriebsablauf, ab. Die dazu erforderlichen Komponenten setzen sich aus FFB-Zentrale, FFB-Fahrzeugen und funkgesteuerten Streckenelementen zusammen.

3.2.1 FFB-Zentrale

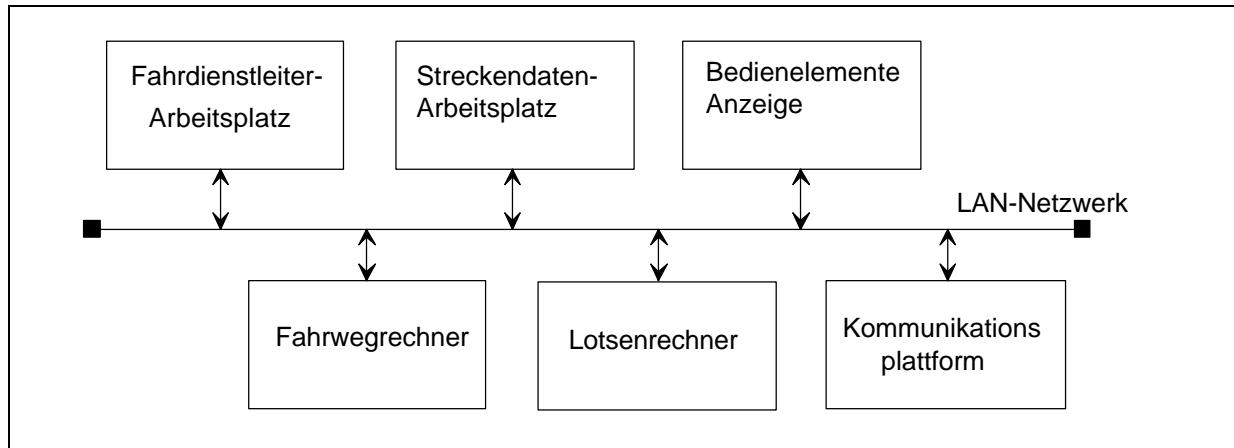


Abb. 3: Komponenten einer FFB-Zentrale

- Fahrdienstleiterarbeitsplatz

Der Fahrdienstleiter gibt die am Fahrbetrieb teilnehmenden Züge mit Angabe von Zugnummer, Zuglänge und einer Bestätigung der Zugvollständigkeit in den Fahrwegrechner ein, ebenso die Fahrweganforderungen der Züge. Der Fahrdienstleiter hat neben einer überwachenden Tätigkeit die Aufgabe, den Betriebsablauf durch das Zuweisen der Fahrwege an die beteiligten Züge zu steuern.

- Fahrwegrechner, Lotsenrechner

Die Rechereinheiten übernehmen sicherheitsrelevante Aufgaben und sind daher signaltechnisch sicher ausgeführt, d.h. sie bestehen aus je zwei unabhängig voneinander arbeitenden Recheneinheiten. Der Fahrwegrechner ist für die Zugfolgesicherung zuständig. Er prüft die vom Fahrdienstleiter eingegebenen Fahrweganforderungen und Fahrwegfreigaben an die Fahrzeuge. Überschneiden sich dabei Fahrwegfreigaben von mehreren Fahrzeugen, so gibt der Fahrwegrechner erst Teilbereiche frei, speichert die restliche Anforderung und gibt diesen restlichen Fahrweg erst frei, wenn keine Überschneidung mit einer weiteren Fahrweganfrage mehr vorliegt. Der Lotsenrechner dient der Fahrtüberwachung im Störfall, wenn Züge im Modus des einfachen Zugleitbetriebes nach DS 436 (Kap. 1.3) bzw. wenn Züge ohne FFB-Ausrüstung auf der Strecke gesteuert werden müssen.

- Streckendaten-Arbeitsplatz

Die Streckendaten werden in einer Datenbank gepflegt. Sie sind in Kopien an alle am Betrieb teilnehmenden Fahrzeuge zu verteilen. Im Streckenatlas enthalten sind neben den genauen Gleisverläufen und den FFB-Bereichsgrenzen noch die für den Betriebsablauf nötigen Daten über Haltestellenlagen, das dynamische Geschwindigkeitsband der jeweils zulässigen Fahrgeschwindigkeiten, Bremskurven zur Sicherung von Gefahrenbereichen, Einschaltpunkte für BÜ, Annäherungspunkte für Weichen zur Auslösung des Stellbefehls, Meldepunkte für Zugvollständigkeitskontrollen und Meldepunkte für Gefahrenraumkontrollen durch den Triebfahrzeugführer, etwa bei Fußgängerüberwegen zu Bahnsteigen. Änderungen an den Streckendaten, hervorgerufen etwa von temporären Langsamfahrstellen oder Sperrungen durch Ausbesserungsarbeiten sind in der Streckendatenbank zu verwalten. Die Datengrundlage dazu liefern digitalisierte Streckenkarten, die von der DB Netz AG von einer eigenen Abteilung DB-GIS (geographisches Informationssystem) erstellt und gepflegt werden. [36]

- Kommunikations-Plattform

Die Kommunikationsplattform dient der Entgegennahme der Fahrweganforderungen und dem Absenden der Fahrwegfreigaben. In Störfällen kommen weitere Anwendungen hinzu, wie etwa Notrufe oder die Steuerung von Streckenelementen von der Zentrale aus.

3.2.2 FFB-Fahrzeugeinrichtung

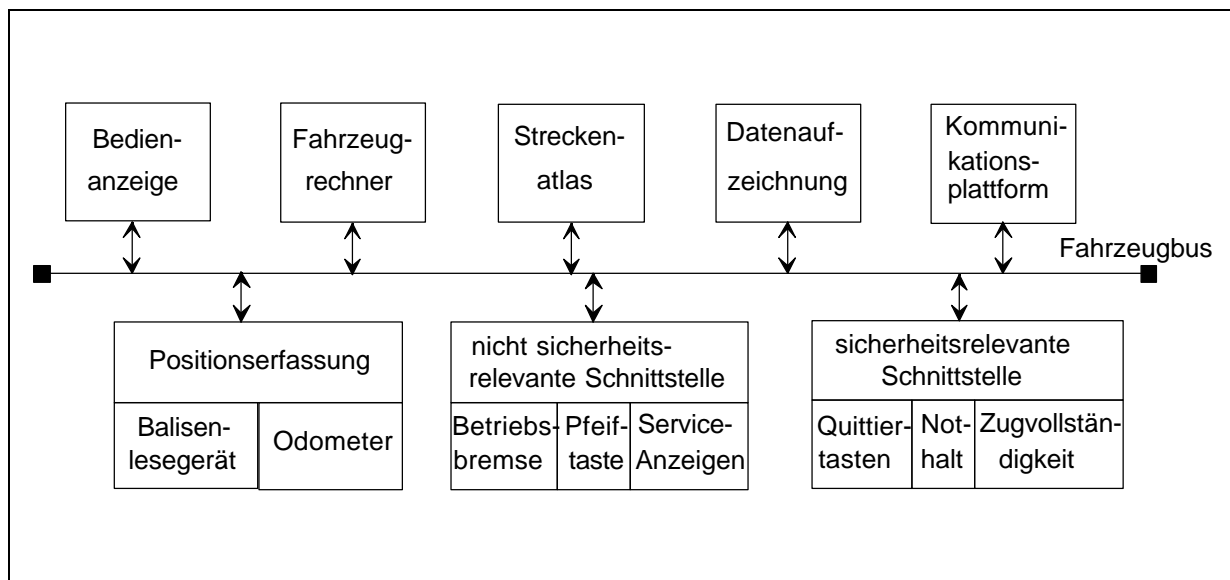


Abb. 4: Elemente der Fahrzeugeinrichtung

- Ortungsplattform und Streckenatlas

Die nötigen Streckendaten und das Betriebsprogramm werden im Fahrzeug mitgeführt. Als Datenträger sind grundsätzlich alle Medien geeignet, etwa Disketten, CD-ROM, programmierbare oder batteriegestützte Flash-Speicher. Die Datenmenge ist überschaubar, für die knapp 35 km lange »Lautertalbahn« Kaiserslautern-Lauterecken betragen die

Streckeninformationen beispielsweise 60 Kilobyte. Die Datenübertragungsrate spielt ebenso eine untergeordnete Rolle, da die Daten zu Fahrtbeginn komplett in den Rechnerspeicher geladen werden. Zusammen im Abgleich mit den Daten der Ortungsplattform, die im Grundkonzept aus Balisen und Odometer besteht, aber im Grunde auch andere Möglichkeiten wie induktive Linienleiter oder Satellitenüberwachung zur Anwendung kommen lassen könnte, bestimmt das Fahrzeug selbständig seine Position und kann mit den hinterlegten Betriebsinformationen seine Fahrt auf freigegebenen Streckenabschnitten durchführen. Erst dadurch wird es möglich, die ortsfeste Sicherung von Gefahrenbereichen durch Signale zu ersetzen.

- Zugvollständigkeitskontrolle

Die Zugvollständigkeit kann entweder automatisch und kontinuierlich über eine technische Einrichtung oder durch den Triebfahrzeugführer per Augenschein an festgelegten Meldepunkten, zumeist Haltestellen, erkannt werden. Wichtig ist die Meldung der Zugvollständigkeit neben der Ortungsplattform, da Gleisabschnitte erst wieder freigegeben werden können, wenn der Zug diese vollständig verlassen hat. Die Zugvollständigkeit ist bei Reisezügen in der Regel durch eine durchgehende Steuerleitung gewährleistet. Bei Güterzügen ist dies noch nicht realisiert. Technische Lösungsgedanken zielen auf eine Nutzung der Druckluftbremsleitung als Träger von Schallwellen. Solange die Wellen am Zugende reflektiert werden und daher wieder empfangen werden können, ist dies ein Beleg für die Zugvollständigkeit.

- Fahrzeugrechner

Der Abgleich der Daten von der Ortungsplattform und dem hinterlegten Streckenatlas geschieht mit einem redundanten Rechnersystem im Fahrzeug. Dieses Rechnersystem steuert das Fahrzeug nach dem im Streckenatlas hinterlegten Betriebsprogramm. Der Fahrzeugrechner führt dabei das Betriebsprogramm nur im jeweils zugewiesenen freien Streckenabschnitt durch. Somit wird verhindert, daß das Fahrzeug auf Streckenelemente eines anderen am Betrieb beteiligten Fahrzeugs außerhalb des zugewiesenen Gleisabschnittes zugreift.

- Führerstandssignalisierung

Die Anzeige im Führerstand beinhaltet im wesentlichen die zulässige Geschwindigkeit, die Anzeige von Statusmeldungen der Streckenelemente bzw. die Anzeige von Aufforderungen, Statusmeldungen zu quittieren. Dazu sind die jeweiligen Quittiertasten in der Fahrzeugbedienung enthalten. Der Fahrzeugführer muß etwa die Freimeldung eines höhengleichen Bahnsteigzuganges oder die Zugvollständigkeit quittieren.

- Kommunikationsplattform

Die fahrzeugseitige Kommunikationsplattform dient der Übertragung der Fahrweganforderungen und Statusmeldungen (Position, Zugvollständigkeit) an die FFB-Zentrale sowie das Entsenden der Steuerbefehle an die Streckenelemente und den Empfang der Nachricht, ob die Steuerbefehle ordnungsgemäß ausgeführt wurden. Sollte sich die Kommunikation zu aufwendig gestalten – bei kurz aufeinanderfolgenden Elementen oder Positionsanfragen der FFB-Zentrale – wird am Fahrzeug eine zusätzliche Funkanlage erforderlich.

3.2.3 Streckenelemente

Die Streckenelemente setzen sich aus Haltestellen, Rangierbereichen, Bahnübergängen und Weichenbereichen zusammen. Sie sind durch „Bremspunkte“ gesichert. Bremspunkte sind diejenigen Stellen, an denen dem Zug spätestens eine Fahrtfreigabe, sei es durch die FFB-Zentrale mit einem zugewiesenen Fahrweg oder eine zur Weiterfahrt berechtigenden Statusmeldung eines Streckenelements (Weiche in korrekter Position, BÜ gesichert, Gefahrenraum frei), vorliegen muß. Bleibt die Meldung aus, führt der Fahrzeugrechner eine Zwangsbremung durch, damit das Fahrzeug vor dem Gefahrenpunkt zum Stillstand kommt.

Weichen und BÜ sind steuerbare Streckenelemente und besitzen daher eine eigene Kommunikationseinheit, um Steuerbefehle entgegenzunehmen und Statusmeldungen über die Ausführung des Steuerbefehls zurückzusenden.

3.2.4 Ablauf des FFB

Zur Durchführung einer Fahrt muß sich ein Zug vor Fahrtbeginn bei der FFB-Zentrale anmelden. Dazu werden im Fahrwegrechner der FFB-Zentrale Zugdaten und der angeforderte Fahrweg registriert. Der Fahrwegrechner prüft, inwieweit der angeforderte Fahrweg zur Verfügung steht und weist dem Zug gegebenenfalls einen freien Abschnitt zu. Die Strecke ist in Gleisabschnitte eingeteilt, die folgende Zustände annehmen können: frei, von Zug belegt, angefordert. Sind Gleisabschnitte von zwei Zügen angefordert, so entscheidet der Fahrdienstleiter über die Benutzung dieser Abschnitte laut seinem Betriebsprogramm. Der Fahrwegrechner prüft dabei die Zulässigkeit der Eingaben des Fahrdienstleiters und verhindert notfalls die gleichzeitige Freigabe eines Abschnittes an zwei Züge. Hat ein Zug einen Gleisabschnitt verlassen, so meldet er dies zusammen mit der Zugvollständigkeit an die FFB-Zentrale, so daß der Gleisabschnitt wieder frei wird. Erfolgt die Kontrolle der Zugvollständigkeit erst an einem folgenden Meldepunkt durch den Triebfahrzeugführer, so bleibt der verlassene Gleisabschnitt solange belegt, bis die Vollständigkeit der FFB-Zentrale gemeldet wurde. Ist der Zug im Gleisabschnitt unterwegs, so steuert der Fahrzeugrechner selbsttätig alle Streckenelemente. Bei Störungen folgt der Geschwindigkeitsverlauf der Fahrzeuge der Bremskurve, damit der Zug vor dem Gefahrenpunkt des Streckenelements zum Stehen kommt.

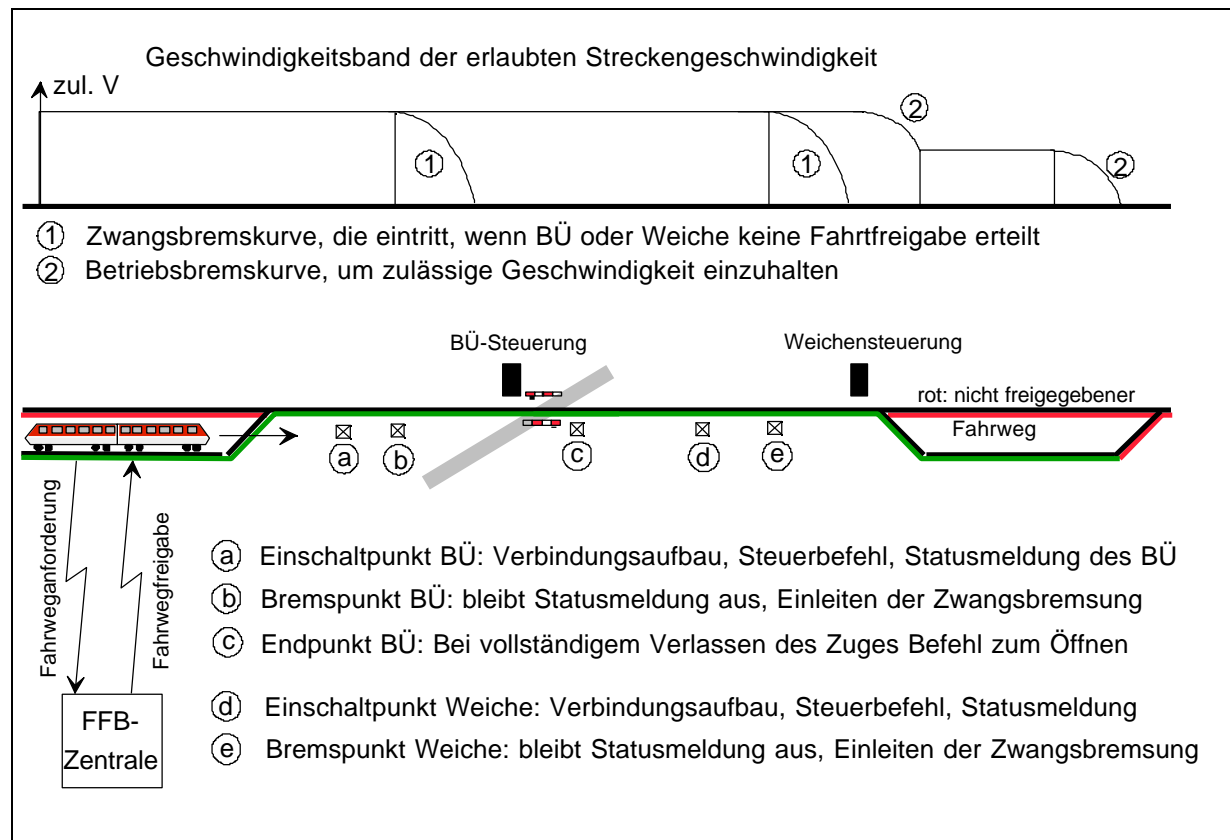


Abb. 5: Zugfahrt im FFB

3.2.5 Störfallbetrachtung

Störungen treten auf, wenn an einzelnen Komponenten nicht die erwartete Funktion ausgeführt wird. Diese Ursachen sind im FFB auf Gerätedefekte zurückzuführen. Damit aber durch solche Vorkommnisse nicht gleich der komplette Betrieb lahmgelegt wird, sind betriebliche Rückfallebenen vorgesehen, um einen wenn auch eingeschränkten Betrieb aufrechtzuerhalten.

Eine Rückfallebene ist das „systemunterstützte“ Fahren. Fallen etwa die Kommunikationseinrichtungen der Streckenelemente aus bzw. ist deren Sensorik nicht in der Lage, korrekte Werte zu ermitteln,³⁰ muß sich der Triebfahrzeugführer vor den Gefahrenpunkten augenscheinlich über die Befahrbarkeit der Gefahrenstellen vergewissern und diese durch entsprechende Quittiertasten bestätigen. Sollte die Kommunikationseinrichtung am Fahrzeug ausfallen, so ist für die Fahrt im verbleibenden Streckenabschnitt ebenso systemunterstütztes Fahren anzuwenden. Dabei steuert die Zentrale die nötigen Streckenelemente, während der Fahrzeugführer deren richtige Stellung am Fahrzeug quittieren muß. Dieser Fall ist jedoch möglichst zu verhindern (beispielsweise durch Einbau einer redundanten zweiten Kommunikationseinheit), da der Betrieb

³⁰Die Endlagensensoren von Bahnübergängen oder Weichen sind „fail-safe“-Bausteine, d.h. sie ermitteln kontinuierlich und eigenständig ihr korrektes Funktionieren. Treten dabei Unregelmäßigkeiten auf, so meldet der Sensor einen Defekt. Auf diese Weise wird verhindert, daß fälschlicherweise ein anderer als der tatsächliche Status angezeigt wird.

für das Fahrzeug bei Erreichen des bereits zugewiesenen Abschnittsendes die Fahrt beendet werden muß, da dem Fahrzeug kein weiterer Streckenabschnitt mehr zugewiesen werden kann.

Gleichbedeutend ist hier der Ausfall der FFB-Zentrale. Da auch in diesem Fall keine weiteren Abschnitte mehr freigegeben werden können, endet der Betrieb für die Fahrzeuge an den Endpunkten der bereits zugewiesenen Abschnitte.

Eine weitere Rückfallebene besteht aus der Möglichkeit, Fahrzeuge im Zugleitbetrieb (Kap. 1.3) auf dem FFB-Bereich fahren zu lassen. Dies wird angewandt, wenn etwa die Fahrzeugrechner ausfallen oder wenn das Fahrzeug über gar keine FFB-Ausrüstung verfügt. Der Fahrdienstleiter hat die Möglichkeit, einen solchen Zug im Lotsenrechner einzugeben, der die Fahrt dieses Zuges simuliert. Die FFB-Zentrale steuert für diesen Zug die erforderlichen Streckenelemente. Durch Rückmeldungen des Zuges an den Endpunkten der zugewiesenen Streckenabschnitte wird die Position des Zuges immer wieder aktualisiert.

3.3 GSM-Rail als Übertragungsmedium für funkgestützten Zugleitbetrieb

Für die Einführung des FFB standen mehrere mögliche Übertragungsmedien zur Verfügung. Allein bei der DB-AG finden sich für verschiedenste Anwendungen mehrere eigene inkompatible Funksysteme, die zudem noch jeweils eigene Frequenzbereiche belegen. [32]

- Kfz - Funk (160 MHz)
- Rangierfunk (80 / 460 MHz)
- Instandhaltungsfunk (160 MHz)
- Zugbahnfunk (460 MHz)
- Tunnelfunk (450 MHz), Tunnelinstandhaltungsfunk (460 MHz)

Bereits zu Ende der 80er Jahre war man bei der DB bemüht, ein Funksystem aufzubauen, das alle Telekommunikationsaufgaben der Eisenbahn vereint. Das Forschungsvorhaben DIBMOF (Dienste-integrierender Bahnmobilfunk) definierte die Anwendungen, die mit dem Funksystem bewältigt werden sollen. Unterschieden wird dabei in sicherheitsrelevante bzw. nicht sicherheitsrelevante Eisenbahnanwendungen sowie Dienste für Bahnkunden. [43]

- Bahninterne Dienste mit Sicherheitsverantwortung:
 - Zugsteuerung und Zugsicherung
 - Elektronischer Befehl
 - Elektronische Korrektur des Buchfahrplans
 - Fernsteuerung von Rangierlokomotiven
 - Rottenwarnung
- Bahninterne Dienste ohne Sicherheitsverantwortung
 - Zugfunk (Daten, Sprache, Notruf)
 - Instandhaltungsfunk
 - Zugdiagnose
 - Rangierfunk
 - Disposition von kundenbezogenen Serviceleistungen

- Dienste für Bahnkunden:
 - Telefon, Telefax
 - Rechnerkommunikation
 - Buchungs- und Informationsservice
 - Verteilerdienste (UKW-Rundfunk)

Gemeinsam mit weiteren europäischen Eisenbahnverwaltungen wurde dahingehend das EIRENE-Projekt (european integrated railways radio enhanced network) beim europäischen Eisenbahnforschungszentrum ERRI (european railroad research institute) in Utrecht gestartet [34] und kam zu dem Ergebnis, die digitale Telekommunikation sei für die entsprechenden Bahnanwendungen am besten geeignet, da sowohl im Festnetzbereich mit ISDN als auch im Mobilfunkbereich mit dem europäischen Standard GSM ein Wandel weg von Analogsystemen hin zur digitalen Übertragung zu beobachten ist. Die Entwicklung der Digitaltechnik hat mittlerweile dazu geführt, daß eine hohe Leistungsfähigkeit bei einer der Analogtechnik weit überlegenen Übertragungsqualität erreichbar ist. Durch die große Zahl von Nutzern und Anbietern der Telekommunikationsleistungen verspricht sich die Bahn auch eine Kostenreduktion durch den Einsatz von Standardgeräten, welche die bisher eingesetzten Spezialentwicklungen eigens für die Bahn ablösen sollen.

3.3.1 Das digitale Funknetz GSM

Das digitale Funknetz GSM ist eine europäische Entwicklung seit dem Jahr 1982 und erreichte seine Marktreife am Anfang der 90er Jahre (Einführung in Deutschland als bisher größtem Einzelmarkt 1992). Der GSM-Standard wird vom ETSI (european telecommunication standardisation institute) mit einem über 7.000 Seiten starken Dokument definiert und diese Definition ist noch nicht abgeschlossen. Dennoch hatte die europäische Gemeinschaft von vornherein das Ziel, ein marktoffenes System zu entwickeln, um durch Monopolstellungen einzelner (damals zumeist staatlicher) Telekommunikationsanbieter künstlich hohe Preise zu vermeiden, die den Erfolg des Systems und die Verfügbarkeit für eine möglichst große Zahl von Nutzern wahrscheinlich verhindert hätten.

Flächendeckend verwirklicht wird das System mit Funkbereichen, den Zellen, die aus Übertragungsstationen, den BTS (base transceiver station) und ihren Kontrollzentren, den BTC (base station controller) bestehen. Zusammen bilden sie das base station subsystem, das als Kontrolleinheit die Funkübertragung im Zellengebiet organisiert. Dazu gehört neben der Zuweisung des Kanals für den Funkaufbau auch die Registrierung der Anwender. Einerseits geschieht dies durch einen Eintrag im home location register, das die Identität und Rufnummer der registrierten Anwender in der Zelle enthält, sowie durch das visitor location register, das die Daten der im Moment erreichbaren Anwender in der Zelle enthält. Das System überprüft dabei kontinuierlich, welche Nutzer sich im Zellengebiet befinden. Wechseln Anwender die Zellen, so

werden deren Registerdaten ebenfalls ausgetauscht. Um zu verhindern, daß eine Verbindung wegen eines Zellenwechsels unterbrochen werden muß, sind die Registerdaten der Nachbarzellen ebenfalls im visitor location register enthalten. Beim Zellenwechsel wird die Verbindung automatisch auf den BTS der Nachbarzelle übergeleitet.³¹ Die Kommunikation der Kontrollstationen untereinander, etwa beim Austausch der Registerdaten, bei der Übergabe von Anwendern beim Zellenwechsel oder auch bei der Suche einer angeforderten Verbindung, geschieht durch eigene Infrastruktur, in der Regel durch Vernetzung mit ISDN-Kabelverbindungen, aber auch Kommunikation via Satellit ist im Einsatz. Auf diese Weise bleiben die Funkkanäle für die mobilen Nutzer reserviert. Einige Kontrollstationen, MSC (mobile switching center) genannt, haben zudem einen eigenen Anschluß an das öffentliche Festnetz, um die Verbindung mit diesem herzustellen.

Die Leistungsfähigkeit des Systems wird in der ursprünglichen Konzeption von zwei 25 MHz-Frequenzbereichen im 900 MHz-Band bestimmt. Bei der Spezifikation für GSM hatte man sich für die hochfrequente Übertragung entschieden, da diese eine hochwertigere Qualität ermöglicht. Der Nachteil der geringeren Reichweite der Hochfrequenzwellen – Zellen haben eine Größe von nur etwa 30 km im Durchmesser – wurde aus diesem Grund in Kauf genommen. Der erste Frequenzbereich 890-915 MHz stellt den »uplink«, die Verbindung von Mobilfunkgerät zur Übertragungsstation, und der zweite Bereich von 935-960 MHz den »downlink«, die Verbindung von der Übertragungsstation zum Empfänger-Mobilfunkgerät, zur Verfügung. Aufgeteilt wird der 25 MHz-Bereich in 125 Kanäle mit einer Bandbreite von je 200 kHz. Um die Zahl der Nutzer nicht durch die geringe Anzahl der Kanäle einzuschränken, wird die Leistungsfähigkeit künstlich erhöht. Durch TDMA (time division multiple access) teilen sich mehrere Nutzer einen Kanal mit Hilfe der Aufteilung der zu übersendenden Nachricht, die in Zeitabschnitten (»frames«) übertragen wird. Dies wird ermöglicht, da ein Nutzer selten die volle Kapazität eines Kanals in Anspruch nimmt bzw. durch Restriktion der maximal übertragbaren Datenrate erst gar nicht in Anspruch nehmen kann.

Die von den Frequenzbändern zur Verfügung gestellte Kapazität kann jedoch nur teilweise zur Übertragung von Sprache oder Daten, den sogenannten »user bits«, verwendet werden. Daneben werden zusätzlich Steuerbits in den Zeitfenstern mitübertragen, damit die user bits vor einem unberechtigten Datenzugriff geschützt werden und die Datenübertragung sicherer und zuverlässiger wird. Die Verschlüsselung der user bits soll einen Datenmißbrauch durch Dritte

³¹Bei dem sogenannten „handover“ kann es zu Störungen bis hin zum Verbindungsabbruch kommen, wenn der Anwender sich längere Zeit an der Grenze zwischen den Zellen aufhält und diese immer wieder überschreitet. Durch die kurz unterbrochene Verbindung bei der Übergabe zwischen den BTS kann die Empfangsleistung so stark eingeschränkt werden, daß die Verbindung ganz verloren geht.

verhindern. Dazu wird auf dem Mobilfunkgerät mit einer im Gerät enthaltenen Chipkarte die Authentizität des Nutzers festgestellt.³² Der vom System benutzte Algorithmus zur Datenverschlüsselung ist auf dem Chip enthalten. Damit der Algorithmus nicht ohne weiteres entschlüsselt werden kann, wird ein »challenge response«-Verfahren verwendet. Die Datenverschlüsselung des Algorithmus hängt von einer variablen Zufallszahl ab, die beim Verbindungsaufbau vom BSC an den mobilen Empfänger bekanntgegeben wird. Um Fehler bei der Übertragung verschlüsselter Daten zu verhindern, womit das Entschlüsseln zwangsläufig ebenfalls zu Fehlern führen würde, werden die Daten zusätzlich noch mit einer Fehlerkennung versehen, die auf dem Prinzip einer Prüfsumme beruht. Da die bloße Fehlerkennung nur die Integrität des Systems erhöht, d.h. fehlerhafte Datensendungen werden erkannt, können aber nicht mehr verwendet werden, sind zusätzliche Bits nötig, die den Empfänger befähigen, erkannte fehlerhafte Meldungen wiederherzustellen. Die zusätzlichen Bits für Fehlererkennung und Fehlerkorrektur steigern die Qualität des Netzes, schränken aber in gewisser Weise die maximale Leistungsfähigkeit ein.

Dabei führen neben geographisch und topographisch bedingten Abschattungsbereichen vor allem Leistungseinbrüche in der Empfangsleistung am Mobilfunkgerät durch hohe Beanspruchung am Übertragungskanal, dem sogenannten »fading«, zu Bitfehlern. Die Bitfehlerrate BER (bit error rate) ist statistisch nicht unabhängig. Die Wahrscheinlichkeit, daß einem fehlerhaften Frame ein weiterer fehlerhafter Frame nachfolgt, ist ungleich höher, als wenn vorher nur eine fehlerfreie Übertragung stattgefunden hat. [47] Begegnet wird diesem Phänomen durch »frequency hopping«, durch Wechseln des Übertragungskanals, was auch bei einer bereits aufgebauten Verbindung möglich ist.

Verwirklicht wurde das GSM-Projekt in zwei Phasen. Zuerst wurde allgemein digitale Sprach- und Datenübertragung ermöglicht, daneben noch Zusatzdienste wie SMS (short message service). (siehe Anhang: GSM-Services) In der zweiten Phase wurden weitere Zusatzdienste eingegliedert, herauszuheben ist hier vor allem der half-rate-mode, d.h. Übertragung nur unter Verfügung der halben Kapazität, dafür aber mehrere mögliche gleichzeitige Nutzer durch verbesserte TDMA-Fähigkeit. Schließlich wurde mit der zweiten Phase auch das nutzbare Frequenzband vergrößert. Das GSM-E (extended) stellt für autorisierte Benutzer, zumeist Behörden, jeweils für uplink und downlink weitere 10 MHz zur Verfügung, was zusätzliche 50 Kanäle bedeutet.

3.3.2 Eisenbahnspezifische Anforderungen an GSM: GSM-Rail

³²Bei den meisten Privatgeräten geschieht dies durch Eingabe der vierstelligen PIN (personal identification number).

Die Eisenbahngesellschaften haben sich bereits im Jahr 1993 für die Nutzung des GSM-Standards entschieden. Der Eisenbahnbetrieb hat jedoch weitere Ansprüche an ein Funknetz als bloße digitale Datenübertragung, so daß die Bahnen zusätzliche Spezifikationen definiert haben, die bei der Weiterentwicklung des GSM-Systems zu einer neueren Version umgesetzt werden sollen.

- Gruppen- und Sammelrufe: eine Gruppe von Teilnehmern kann gleichzeitig miteinander sprechen
- Prioritätsrufe: für Notrufe werden, falls notwendig, bestehende Verbindungen abgebrochen
- Paket Datendienste: effiziente Übertragung kleiner, periodisch anfallender Datenmengen
 - Funktionsbezogene Rufnummern: ein Zug wird immer unter der Zugnummer erreicht, unabhängig vom installierten Funkgerät
 - Ortsbezogene Rufnummern: mit bestimmten Rufnummern werden immer bestimmte Funktionen aufgerufen (zuständige Fahrdienstleitungen haben unabhängig von ihrem Ort die gleiche Nummer)
 - Vordefinierte Meldungen: oft benötigte Meldungen werden auf Tastendruck abgesendet
- Empfangsbestätigung für Meldungen

Die Verfügbarkeit der bahnspezifischen Forderungen wird mit einem jeweils 4 MHz-Band und daraus resultierend mit 20 zusätzlichen Kanälen ermöglicht. Die Erweiterung des GSM-Standards um die Bahnanwendungen, das sogenannte GSM-R (Rail), führt dazu, daß sich das endgültige Frequenzband nunmehr von 876-915 MHz (uplink) und von 921-960 MHz (downlink) erstreckt.

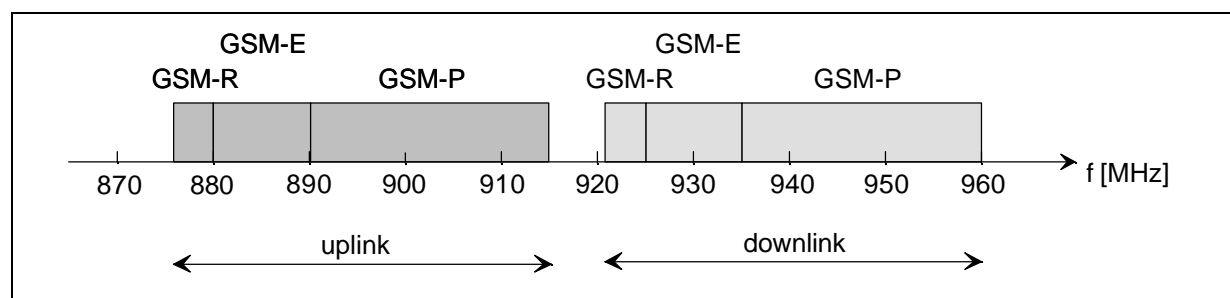


Abb. 6: Frequenzband des GSM-Netzes

Angedacht ist, die Funktionen Gruppenrufe, Sammelrufe, Paketdatendienste für den gesamten GSM-Standard zur Verfügung zu stellen. Bei der Verwendung dieser Dienste sind dann nicht die 20 zusätzlichen Kanäle des GSM-R erforderlich, was die Leistungsfähigkeit für Eisenbahnanwendungen erhöht.

Endgeräte für Eisenbahnen sollen alle drei Frequenzbereiche GSM-Public, -Extended und -Rail benutzen können. Ein Grund für die Festlegung der Bahn auf den GSM-Standard war die Hoffnung, Standardgeräte aus Massenfertigung einsetzen zu können. Mit der Umsetzung des bahnspezifischen GSM-R relativiert sich dies wieder ein wenig. Die „Sonderausstattung“ der

Geräte wird sich wohl auch in höheren Preisen niederschlagen. Bei Geräten für Standardanwendungen, wie z.B. Kommunikation über Handy, wird sich der Mehrpreis nur wegen der höheren erforderlichen Bandbreite des Sender/Empfängerteils bemerkbar machen. Bei Sonderanwendungen, wie etwa im Rangierfunk, wo die Gehäuseform an den Einsatz angepaßt werden muß, um beispielsweise Spritzwasserschutz und auch Bedienung mit Handschuhen zu gewährleisten, werden ebenso Spezialgeräte benötigt, wie bei der Ausstattung der Fahrzeuge und der festen funkgesteuerten Streckenelemente, die jeweils Geräteentwicklungen benötigen, die speziell an die Gegebenheiten im Fahrzeug oder an den Weichen bzw. Bahnübergängen angepaßt sind. [26]

Da die Funkübertragung beim Eisenbahnbetrieb, speziell beim Funkfahrbetrieb, sicherheitsrelevant ist, verlangt ein solcher Betrieb natürlich eine bestimmte Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Netzes. Auch aus diesem Grund wurden 20 neue Kanäle für den Bahnbetrieb zur Verfügung gestellt, da es natürlich nicht sein kann, daß wegen zu hoher Belastung des Funknetzes der Betrieb darunter zu leiden hat. Die Verfügbarkeit des Systems wird beim GSM-Standard mit dem QoS (quality of service) ausgedrückt. Dabei werden Anforderungen definiert, die vom Netz mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu erfüllen sind. Bahnanwendungen verlangen laut Vereinbarungen der UIC grundsätzlich den höchsten QoS. Im Lastenheft für den FFB wurden die Anforderungen an das Funknetz wie folgt definiert:

Verbindungsaufbau:	
– fehlerhafter Verbindungsaufbau	0,5 %
– Aufbauzeit einer Verbindung Festnetz - Mobile	< 6 sek (95%)
– Aufbauzeit einer Verbindung Mobile - Mobile	< 8 sek (95%)
zulässige Fehlerraten:	
– nicht erkannter Fehler bei der Datenübertragung	$< 3 \cdot 10^{-15}$
– Fehlerrate bei einer Datenübertragungsrate von 2.400 bps ³³	$< 10^{-4}$
Flächendeckende Ausleuchtung:	über 97 %

Die Verschlüsselung der Daten und die Fehlerkorrektur, die im GSM-Standard bereits implementiert ist, reicht für sicherheitsrelevante Übertragung von Steuerbefehlen der Eisenbahn nicht aus. Aus diesem Grund werden die Daten bahneigen mit einem kryptografischen Verfahren verschlüsselt, das ähnlich arbeitet wie beim GSM-Standard, da mit einer Zufallszahl der Verschlüsselungsalgorithmus aktiviert wird und daher von der Zufallszahl abhängige Werte errechnet. [47] Die bahneigene Protokollschicht wird beim Verbindungsaufbau dem eigentlichen

³³Die Datenkanäle (traffic channel: TCH) weisen unterschiedliche Qualitätseigenschaften auf hinsichtlich der Anwendung im Eisenbahnwesen. Die Qualität ist beispielsweise abhängig von der Fahrgeschwindigkeit oder dem Terrain. [47]

Aufbauverfahren vorgeschaltet. Das ohnehin recht aufwendige Verfahren wird damit jedoch um weitere 10 Sekunden verzögert.

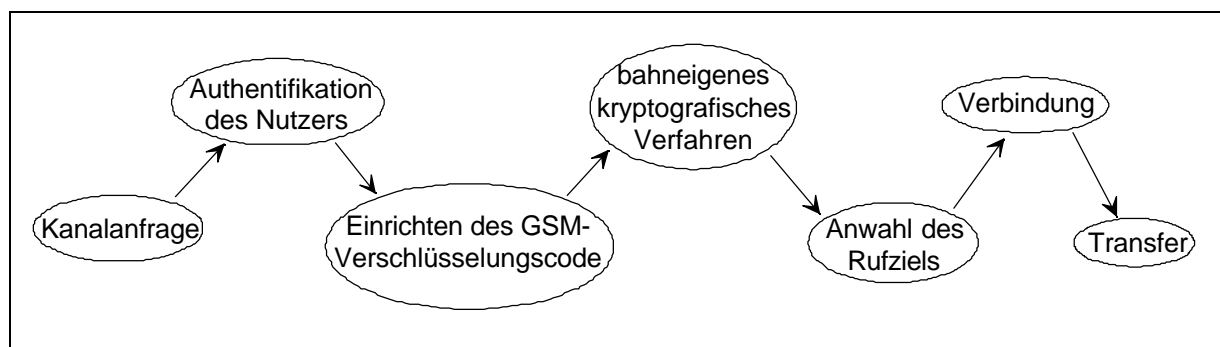


Abb. 7: Rufaufbau einer GSM-R Verbindung

3.3.3 Die Zukunft des GSM

Nach dem jetzigen Stand der Dinge wird die Umsetzung einiger bahnspezifischer Anwendungen (Paketdatendienst, verkürzter Verbindungsaufbau) noch einige Zeit auf sich warten lassen. Das GSM ist ein System, das sich ständig weiterentwickelt, so daß in den nächsten Jahren noch mehrere systemerweiternde Bereiche eingeführt werden sollen, um die Verwendungsmöglichkeiten noch zu steigern. [25]

- CAMEL (customer application mobile enhanced logic): Services des eigenen Netzanbieters (z.B. funktionale Rufnummern) funktionieren auch in anderen Netzen
- HSCSD (high speed circuit switched data): höhere Datenraten durch Zusammenfassen von vier (später bis acht) Zeitschlitzten für Nutzdaten-übertragung bei leitungsvermittelten Verbindungen
- ASCI (advanced speech call items): Gruppenruf (einer an alle in der Gruppe), Broadcast (einer an alle Teilnehmer), Freiräumen des Kanals. Umsetzen einiger Bahnspezifikationen im gesamten Frequenzband
- GPRS (general packet radio service): Bereitstellung paketvermittelnder Datendienste zur besseren Ausnutzung der Funkkanäle bei Kommunikation in Verbindung mit Paketdatennetzen (Internet)
- EDGE (enhanced data rates for the GSM evolution): Erhöhung der Datenrate durch verbesserte Modulationsmethoden

Dies alles sind Zwischenstationen auf dem Weg zu einem Ziel, das UMTS (universal mobile telecommunication system) heißt. In dieser Endstufe sollen alle Zusatzdienste eingerichtet sein, was nicht heißt, daß noch weitere dazukommen können, aber die entscheidende Veränderung wird in der Technik der Ausnutzung des Frequenzbandes liegen. Anstelle der zeitabhängigen Zuteilung von Kanälen durch Zeitfenster soll dann die Technik CDMA (code division multiple access) zur Anwendung kommen, wobei jeder Nutzer durch seinen ganz speziellen Zugangscode über die gesamte Bandbreite des GSM-Bandes verfügt. Durch Zuteilung der Nutzerdaten zu dem benutzereigenen Code kann der Empfänger aus dem riesigen Datenstrom, der dabei entsteht,

die für ihn bestimmten Daten wieder herausfiltern. Diese Übertragungstechnik verspricht eine zusätzliche Leistungssteigerung des Netzes und eine Anpassung an weltweite Entwicklungsstandards zusammen mit den USA und Japan. Die Technik mit der Zuweisung von Kanälen ist dann überflüssig, so daß dafür eine neue Gerätegeneration erforderlich wird und diese von den Nutzern auch zu beschaffen ist. Gleichzeitig wird es, bedingt durch die Technik, für die Bahn keine eigenen reservierten Frequenzbereiche mehr geben. Ob die Bahnen mit dieser Entwicklung zufrieden sein können, wird abzuwarten sein, da die Verwirklichung des UMTS vorerst noch in ferner Zukunft liegt.

4 Einsparungen an der Streckeninfrastruktur durch Ortung der Fahrzeuge mit Satelliten

Mit der Verwirklichung des Konzeptes Funkfahrbetrieb wird bereits ein beachtlicher Teil der Streckeninfrastruktur durch den Wegfall von ortsfester Signalisierung und der Kabelleitungen zur Steuerung der Streckenelemente eingespart. Die einzige Komponente des Funkfahrbetriebs, die streckenseitig installiert verbleibt, ist die Ortungsplattform zur Überwachung und Erkennung des Ortes, an dem sich der Zug befindet.

Die Einteilung der Strecken in Blockabschnitte erfordert die Kenntnis darüber, wenn ein Zug gerade in einen Abschnitt eingefahren ist, genauso wenn er aus dem Abschnitt wieder vollständig ausfährt, d.h. eine Hauptaufgabe der Zugortung ist das Erkennen, ob ein Gleisabschnitt frei oder belegt ist. Die Statusüberprüfung der Belegung eines Gleisabschnittes benötigt lediglich ein zuverlässiges aber kein sehr genaues Ortungsverfahren.

Zum anderen sind dagegen für die Zugbeeinflussung punktuell genaue Ortsinformationen nötig, um eine hohe Sicherheit zu gewährleisten. Hohe Genauigkeitsanforderungen stellt etwa die Sicherung von Gefahrenbereichen (Bahnübergänge, Weichenbereiche von Bahnhöfen, Langsamfahrstellen) sowie zeitoptimierte Einschaltbereiche für BÜ.

Ebenso genaue und dazu noch kontinuierliche Ortsinformationen werden benötigt, wenn die Zugfolge im wandernden Raumabstand realisiert wird, d.h. die einzige Beschränkung für einen fahrenden Zug ist der Abstand zum vorausfahrenden Zug. Die Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer Strecke durch die Abkehr von der festen Streckenblockeinteilung wird derzeit jedoch nur im Hochgeschwindigkeitsverkehr mit dem Einsatz der induktiven Linienzugbeeinflussung verwirklicht und ist auch nicht im FFB vorgesehen.

4.1 Verfahren der Zugortung zur Freimeldung von Gleisabschnitten

- Visuelle Zugüberwachung und Übertragung von Ortsinformationen

Eine Möglichkeit, zu bestimmen, ob ein Gleisabschnitt frei oder belegt ist, bietet die visuelle Verfolgung der Zugfahrt durch die Fahrdienstleitung. Besonders der Betrieb auf eingleisigen Nebenstrecken zeichnet sich dadurch aus, daß die Gleisabschnitte zumeist von Bahnhof zu Bahnhof reichen, wo Zugkreuzungen durch Ausweichgleise ermöglicht werden. Beim Zugmeldebetrieb (Kap. 1.3) sind die Bahnhöfe mit Fahrdienstleitern besetzt, so daß diesem die Verantwortung aufgetragen werden kann, einfahrende Züge und ihre Vollständigkeit zu erkennen. Der letzte Waggon eines Zuges wird dabei immer besonders durch zwei rote Zugschlußzeichen gekennzeichnet. Die Bestätigung der Zugvollständigkeit gibt dem Fahrdienstleiter der vorhergehenden Blockstelle die Gewißheit, daß sein Bereich freigefahren wurde. Die

Rückmeldung der Zugvollständigkeit ist notwendig, da in den seltensten Fällen der Fahrdienstleiter seinen Gleisabschnitt ganz überblicken kann. Beim Zugleitbetrieb fehlen die örtlichen Fahrdienstleiter, so daß die Meldung über Position und Zugvollständigkeit vom Fahrzeugführer an die Zugleitung durchgegeben werden muß. Der Fahrzeugführer hat sich folglich per Augenschein an bestimmten Stellen über seinen Aufenthalt und die Vollständigkeit seines Zuges zu vergewissern.

Bei der visuellen Überwachung der Zugfolge und der Angabe der Zugposition durch Fahrdienstleiter oder Fahrzeugführer liegt die Sicherheitsverantwortung ausschließlich beim Personal. Dies verursacht zum einen hohe Personalkosten, zum anderen ist jedoch bei der weiter fortschreitenden Entwicklung der technischen Möglichkeiten mittlerweile der Mensch bei Fehlhandlungen das größte Sicherheitsrisiko im Bahnbetrieb. Zur Verbesserung von Wirtschaftlichkeit und Sicherheit werden deshalb technische Einrichtungen installiert.

- Gleisstromkreise

Ein technisches Hilfsmittel ist der Gleisstromkreis, mit dem die Belegung von Gleisabschnitten festgestellt werden kann. Dazu wird über eine Stromversorgung eine Spannung am Gleis angelegt und der Widerstand gemessen. [3] Bei unbelegtem Abschnitt mißt man alleine den Grundwiderstand des Stromkreises im Empfänger. Befährt ein Zug den Gleisabschnitt, so schließt er diesen über seine stromleitenden Achsen kurz, und am Empfänger fließt lediglich ein kleiner Reststrom.

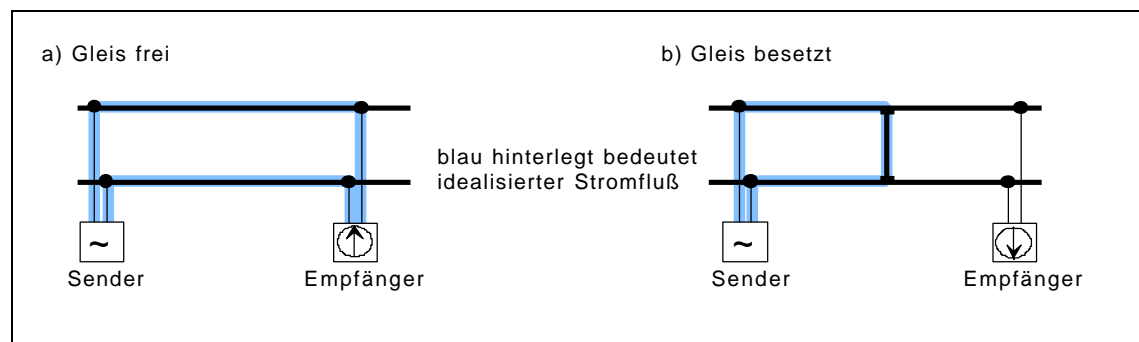


Abb. 8:

Wirkungsprinzip eines Gleisstromkreises

Damit eine zweifelsfreie Erkennung vorliegt, muß der gemessene Unterschied signifikant groß sein. Deshalb ist die Reichweite der Gleisstromkreise durch verschiedene Einflüsse wie etwa unterschiedliches Widerstandsverhalten des Gleises durch Schwankungen in der Gleisbettung (feuchte Holzschwellen) begrenzt auf einen Bereich von etwa 800 Meter bei Ausbaustrecken bis über 3 Kilometer bei Neubaustrecken. Das Zwischenschalten von Kondensatoren kann dabei die Wirklänge vergrößern. [41] Beeinflusst wird das Meßergebnis auch von der Tatsache, daß bei Elektrotraktion die Triebströme über das Gleis zurückgeleitet werden, so daß die Trägerfrequenz

des Gleisstromkreises darauf abgestimmt werden muß. Elektrische Anlagen aus dem 50 Hz-Netz der öffentlichen Energieversorgung können ebenfalls das Meßergebnis beeinflussen. Eine Erhöhung der Wechselstromfrequenz bringt dabei nur bis zu einem gewissen Grad Vorteile, da sich die Gleise stark induktiv verhalten und somit die Stromwelle stark dämpfen, wobei die Dämpfung mit steigender Frequenz zunimmt. Benachbarte Gleisstromkreise sind voneinander zu trennen, damit sich die Stromkreise nicht gegenseitig beeinflussen und möglicherweise das Meßergebnis verfälschen. Um den Installationsaufwand von Isolierstößen gering zu halten, werden benachbarte Stromkreise auch mit unterschiedlicher Frequenz betrieben, deren Ströme herausgefiltert werden können.

- Achszählkreise

Der Vorteil der einfachen Installation von Gleisstromkreisen kann sehr schnell relativiert werden, wenn man für zuverlässige Messungen die Gleisbettung isolieren muß und dies unter Umständen über größere Wegstrecken hinweg. Aus diesem Grund hat sich ein zweites Verfahren zur Bestimmung von Blockabschnittsbelegungen etabliert. Mit Achszählkreisen werden an bestimmten Punkten (prinzipiell an den Blockgrenzen) Zugbewegungen registriert. Die Aufgaben des Achszählpunktes sind das Erfassen der Achsenanzahl eines Zuges sowie die Erkennung der Fahrtrichtung. Das System besteht aus mindestens zwei Zählpunkten. Durch die Registrierung eines Zuges am ersten Zählpunkt wird der Gleisabschnitt als belegt gemeldet. Werden nach der Durchfahrt des Zuges am letzten Zählpunkt des Abschnittes die gleiche Anzahl Achsen als ausfahrender Zug registriert, so wird der Abschnitt wieder freigegeben.

Prinzipiell besteht der Achszähler aus zwei Sensoren. [3] Beide Sensoren zählen jeweils die Achsenzahl, durch die Kenntnis der zeitlichen Abfolge nach dem ersten Kontakt kann die Fahrtrichtung bestimmt werden. Verwendet wird dazu jeweils ein Kondensator am Gleis, durch dessen elektrisches Feld die Spurkränze der Räder fahren. Dadurch wird das Kondensatorfeld so gestört, daß ein Phasenwechsel stattfindet. Bei Ein- und Ausfahrt des Rades in den Feldbereich werden somit zwei Phasenwechsel registriert. An die Zählensensoren werden Zählpunktrechner angeschlossen, die die Auswertung der Zählung vornehmen. Für die Übertragung der Auswertergebnisse sind die Achszählpunkte über Standleitung und Modem miteinander verbunden. Ebenso wird vom jeweilig ersten Achszählpunkt eines Gleisabschnittes die Belegung und vom letzten Achszählpunkt die Freigabe an die Fahrdienstleitung gemeldet.

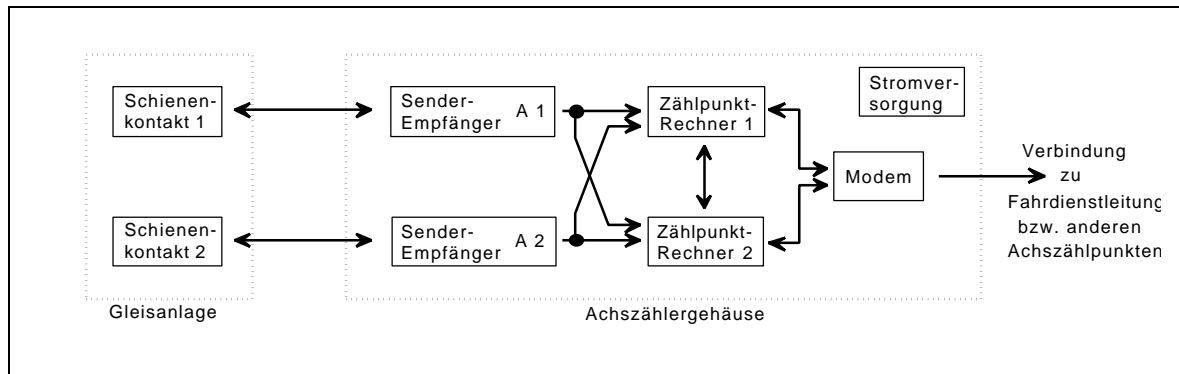


Abb. 9: Blockschaltbild eines Achszählers [42]

Die Achszählpunkte zeichnen eine hohe Zuverlässigkeit aus. Die erreichbare Blocklänge spielt nur insofern eine Rolle, da die Datenübertragungswege dementsprechend lang werden.

4.2 Verfahren der Zugortung zur punktgenauen Zugbeeinflussung

- Visuelle Informationsübertragung

Im bisherigen konventionellen Eisenbahnbetrieb obliegt die Geschwindigkeits- und Fahrtüberwachung dem Fahrzeugführer. In vielen Streckenabschnitten ist jedoch durch enge Radien, Weichenstraßen oder schlechte Oberbauzustände die zulässige Fahrgeschwindigkeit nicht gleichzeitig die Streckenhöchstgeschwindigkeit. Damit sich der Fahrzeugführer orientieren kann, welche Geschwindigkeit gerade erlaubt ist, ist die Strecke in der Regel in 200-Meter-Abständen kilometriert. An den Kilometermarkierungen kann er ebenso feststellen, wann er sich mit seinem Zug einem eventuellen Wartungs-/Reperaturtrupp nähert und ein Warnsignal ausgeben muß. Weitere visuelle Übertragungsmittel, die bei der Bahn verwendet werden, sind Tafeln aller Art, wie Geschwindigkeitsanzeigen, Halttafeln an Haltepunkten, Rangiertafeln, die Rangierbereiche begrenzen, oder Anfang-/Ende-Markierungen von Langsamfahrstellen. Eine besondere visuelle Informationsübertragung ist die in Kapitel 3.1 beschriebene Signalisierung der möglichen Fahrzustände »Fahrt frei« (eventuell kombiniert mit Geschwindigkeitsangaben) oder »Halt«.

- Gleissensor

Im Hinblick auf eine Systemoptimierung und zur Erhöhung der Sicherheit ist es von Vorteil, wenn Streckenelemente, hauptsächlich BÜ, automatisch durch den Zug eingeschaltet werden. Solche punktförmige Übertragungen von Stellbefehlen werden mit Hilfe von Gleissensoren ermöglicht, die genau an der erforderlichen Position angebracht werden können. Das Funktionsprinzip ist ähnlich den Achszählpunkten. Ein angelegtes Kondensatorfeld wird durch das Durchfahren der Zugräder verändert und diese Veränderung löst den Stellbefehl aus. Nachteil der Steuerung über

die Gleissensoren ist die benötigte Energieversorgung und die Verkabelung mit dem Streckenelement zur Übertragung des Stellbefehls.

- Induktive Zugsicherung (Indusi)

Im Gegensatz zu den Gleissensoren, wo nach dem Überfahren Streckenfunktionen ausgeführt werden, haben die Elektromagneten der induktiven Zugsicherung die Aufgabe, Fahrzeugreaktionen auszulösen. Die Sicherung des Überfahrens von »Halt« zeigenden Signalen durch Indusi ist laut EBO ab Geschwindigkeiten von 100 km/h Pflicht. Da es bei hohen Geschwindigkeiten nicht ausreicht, erst beim Überfahren des Hauptsignals den Zug abzubremesen,³⁴ besteht das System Indusi aus drei verschiedenen elektromagnetischen Schwingkreisen. Die Schwingkreise sind nur bei »Halt« angeregt. Der angeregte Zustand wird durch eine Fahrzeuginrichtung erkannt und löst dort die verschiedenen Reaktionen aus.

Im Vorsignalabstand befindet sich der 1000 Hz-Schwingkreis, der beim Überfahren vom Fahrzeugführer eine Quittierung des erkannten Signalbildes verlangt. Zusätzlich wird ein zeitabhängiger Geschwindigkeitsabgleich aktiviert. Erreicht beispielsweise ein Reisezug nicht innerhalb der nächsten 20 Sekunden eine Geschwindigkeit unter 95 km/h, so wird die Zwangsbremmung ausgelöst. Im Abstand von etwa 250 Metern befindet sich ein 500 Hz-Schwingkreis, der punktuell die Einhaltung der erlaubten Geschwindigkeit prüft. Bei Einhaltung der normalen Bremskurve sollte der Fahrzeugführer die Geschwindigkeit des Reisezuges bis zu diesem Punkt auf mindestens 65 km/h verringert haben. Am Hauptsignal selbst befindet sich der 2000 Hz-Schwingkreis, der eine Zwangsbremmung auslöst, sollte der Fahrzeugführer trotz Einhaltung der Geschwindigkeit am 500 Hz-Magnet den Zug bis zum Hauptsignal nicht zum Stillstand gebracht haben.

- Balise

Das Prinzip des FFB sieht vor, daß der Zug quasi kontinuierlich seine Position am hinterlegten Streckenatlas vergleicht, um sein Betriebsprogramm ableisten zu können. Da dieses Betriebsprogramm auch aus sicherheitsrelevanten Aufgaben besteht, muß die Ortungsplattform ebenfalls signaltechnisch sicher ausgelegt sein. Beim FFB wird wegen der kontinuierlichen Positionierung im Fahrzeug keine streckenseitige Sicherung von Gefahrenpunkten benötigt. Der FFB ist vom Eisenbahn-Bundesamt ohne zusätzliche Ausrüstung wie Indusi für Fahrgeschwindigkeiten bis 160 km/h zugelassen.³⁵ Die kontinuierliche Ortung wird dabei durch ein Odometer (siehe Kap. 4.5.3) gewährleistet. Der Nachteil des Odometers besteht dabei, daß die Meßwerte mit zunehmender Fahrt immer ungenauer werden, so daß eine

³⁴Der Bremsweg eines Reisezuges aus einer Geschwindigkeit von 140 km/h beträgt etwa 1.000 Meter.

Rückstelleinrichtung benötigt wird. Dies muß durch die Übertragung von punktgenauen Ortsinformationen ermöglicht werden, die im besten Falle ohne eigene Datenleitungen oder Energieversorgung auskommt.

Genau ein solches für den FFB benötigtes punktförmiges Übertragungsmedium der Informationen von der Strecke zum Fahrzeug steht seit etwa 1996 mit der Balise zur Verfügung. [45] Die Balise ist ein Magnet in Form einer Induktionsschleife, die ein Informationstelegramm enthält. Ohne eigene Energieversorgung wird der Magnet über doppelt induktive Kopplung vom Fahrzeug aus mit Energie versorgt und gleichzeitig sendet er sein Telegramm, das von einem Balisenlesegerät (BTM - balise transmission module) im Fahrzeug empfangen werden kann. Das Telegramm kann im Prinzip jede mögliche Information enthalten, am zweckmäßigsten erscheint jedoch in unserem Fall die genaue Ortsangabe als Telegramminhalt.³⁶ Die Nachricht muß gegen Fehlübertragungen geschützt werden, so daß zur eigentlichen Nachricht zusätzliche Bits zur Fehlerkorrektur mitübertragen werden. Die induktive Wirkung soll nicht durch Ablagerungen von Schmutz oder Schnee behindert werden. Die Baliseninformation wird daher auch durch eine Schicht von 40 cm Schnee übertragen. Da die Ortsangabe der Balise genau ist, der Zug aber die Nachricht nicht immer gleichmäßig an der gleichen Überfahrtsstelle bekommt (bei erkanntem Fehler tritt zudem erst noch die Fehlerkorrektur in Kraft) und dazu die Fahrzeuggeschwindigkeit auch nicht sehr genau bekannt ist, erreicht die Ortsangabe eine Genauigkeit von etwa ± 20 cm, was jedoch für Bahnanwendungen mehr als ausreichend ist.

4.3 Anforderungen an eine Ortungsplattform bei der Bahn

An eine Ortungsplattform können je nach Betriebszweck Anforderungen hinsichtlich von folgenden Parametern definiert werden [50]:

- Genauigkeit

Die Genauigkeit kann eindimensional als höchstzulässige Abweichung vom Sollwert in der betrachteten Richtung angegeben werden. Bei zwei- und dreidimensionalen Betrachtungen behilft man sich mit Fehlerellipsen bzw. Rotationsellipsoiden. Die jeweils zulässige Abweichung in verschiedene Raumrichtungen kann somit zusammen mit einer Trefferwahrscheinlichkeit angegeben werden, d.h. mit bestimmter Wahrscheinlichkeit soll die angegebene Genauigkeit erreicht werden.

- Verfügbarkeit

³⁵Die kontinuierliche Zugortung würde dazu berechtigen, auch höhere Fahrgeschwindigkeiten ähnlich wie bei der Linienzugbeeinflussung zuzulassen.

³⁶Neben den rein passiven Balisen, die nur ein festes Telegramm absenden können, sind auch programmierbare Balisen zur Zugsteuerung angedacht, die aber für den FFB nicht benötigt werden.

Die Ortungsplattform ist ein sicherheitsrelevanter Teil des Systems Bahn, so daß eigentlich eine hundertprozentige Verfügbarkeit gefordert werden müßte. Da aber jedes verwendete Bauteil einen funktionsunfähigen Zustand erreichen kann, wird daher eine Zeitspanne MTBF (mean time between failure) angegeben, die aussagt, wie lange ein Bauteil durchschnittlich in Betrieb ist, ehe ein Fehler auftritt. Zusätzlich kann beim Auftritt eines Fehlers noch gefordert werden, daß dieser schnellstmöglich behoben wird. Dieser Wert MTTF (mean time to repair) gibt dann die Zeit an, die benötigt wird, nach einem aufgetretenen Fehler wieder funktionsfähig den Dienst zu versehen.

- Integrität

Unter Integrität versteht man die Eigenschaft, daß ein System erkennt, wenn ein Systemfehler auftritt, d.h. daß das System die geforderten Leistungen nicht mehr erreicht. Das System muß aus diesem Grund ständig seine Ergebnisse verifizieren können, was unter Umständen nur durch ein zweites redundant arbeitendes System und dem Ergebnisvergleich erreicht werden kann.

- Kontinuität

Kann der Ausfall von Bauteilen nicht vom System ausgeglichen werden, muß die Betriebsweise auf eine Rückfallebene für derartige Fälle zurückgreifen. Unter Kontinuität versteht man eine Angabe, ob ein Betrieb auch unter Ausfall von Systemteilen aufrecht erhalten werden kann, etwa wenn ein zweites redundantes System installiert ist. Diese „fail-safe“-Eigenschaft eines Systems, nämlich das Erkennen eines Fehlers und die Überführung des Systems in einen betriebssicheren Zustand, wird bei der Bahn von den signaltechnisch sicher auszuführenden Geräten gefordert.

Die Vereinigung der internationalen Luftfahrtgesellschaften ICAO (international civil aviation organisation) hat für verschiedene Betriebsformen auf Grundlage dieser Parameter Anforderungen an ein zu verwendendes Ortungssystem gestellt, d.h. eine Zulassung als Ortungssystem erfolgt nur, wenn die Bauteile diese definierten Anforderungen erfüllen.

Flugphase	Genauigkeit		Integrität		Verfügbarkeit		
	horiz. [m]	vert. [m]	Zeit bis Alarm [sek]	n. erkannter Fehler	allgemein	Intervall [sek]	Ausfall-Risiko
NPA	100	-	10	$1 \cdot 10^{-3}$	99,00%	60	$1 \cdot 10^{-4}$
CAT I	20	5,5	6	$2 \cdot 10^{-7}$	99,75%	15	$8 \cdot 10^{-5}$
CAT II	6,5	1,2	2	$1,5 \cdot 10^{-9}$	99,85%	15	$4 \cdot 10^{-5}$
CAT III	6,0	0,6	1	$1,5 \cdot 10^{-9}$	99,90%	30	$4 \cdot 10^{-6}$

Anforderungen der ICAO für Landeanflüge [1]

Bei der Bahn sind solche allgemeinen Anforderungen (noch) nicht definiert worden. Die verschiedenen Betriebsweisen verlangen zu unterschiedliche Anforderungen an ein Ortungsmodul, als daß diese allgemein definiert werden könnten. [17] Anstelle davon werden an einzelne Baugruppen eigene Anforderungen definiert, die bei einer Zulassung als sicherheitsrelevantes Gerät durch das Eisenbahn-Bundesamt oder eines

Landesbevollmächtigten für Eisenbahnwesen benötigt werden. Bisher wurden lediglich in deutsch-französischer Zusammenarbeit Leistungsparameter eines „Wegmeßsystems mit Sicherheitsverantwortung“ definiert, welches jedoch keine Vorschriften oder Berichte über den speziellen Einsatz von satellitengestützten Ortungsmodulen enthält. [29]

4.4 Verfahren der Zugortung mit Hilfe der Satellitennavigation

4.4.1 Das Navigation Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System NAVSTAR - GPS

Die Entwicklung des NAVSTAR-GPS durch das Verteidigungsministerium der Vereinigten Staaten hat für viele Nutzer von Positionsinformationen die Möglichkeit geschaffen, günstig an die Information heranzukommen und diese zu verwerten. Das Satellitensystem wurde seit 1974 aufgebaut und ein System aus Erprobungssatelliten installiert. 1989 war die Entwicklungsphase abgeschlossen und mit dem Start des ersten sogenannten „Block II“-Satellit begann der Ausbau des Systems zur vollen Funktionsfähigkeit, die am 17. Juli 1995 vom amerikanischen Verteidigungsministerium bekanntgegeben wurde.

- Weltraumsegment

Die Systemarchitektur besteht aus 24 Satelliten (21 operationell, 3 zur Reserve), die auf 6 Bahnen verteilt sind. Die Bahnebenen sind gegenüber dem Äquator um 55° geneigt, und haben untereinander einen Rotationswinkel von 60° . Die Bahnlänge beträgt 26.609 km, was einem halben Sternentag entspricht. Nach jedem Sternentag stellt sich jeweils die gleiche Satellitenkonstellation wieder ein. Für die Nutzer auf der Erde spielt dies eine untergeordnete Rolle, da ein Sternentag etwa vier Minuten kürzer ist als ein Sonnentag, nach dem sich die Zeit auf der Erde richtet. Die gleichbleibende Satellitenkonstellation findet sich also jeweils um die Strecke einer Erdrotation um vier Minuten versetzt wieder. Die Lebenserwartung der Satelliten beträgt etwa 7,5 Jahre, so daß seit 1997 Block II R-Satelliten (R - replace) als Ersatzsatelliten in die Umlaufbahn gebracht wurden. Ab dem Jahr 2002 will die USA Block II F-Satelliten (F - follow up) als Nachfolger der bisherigen Satellitengeneration installieren, die über verbesserte Fähigkeiten und eine längere Lebenserwartung verfügen sollen.

- Kontrollsegment

Da es sich beim NAVSTAR-GPS um ein militärisches System handelt, hat das amerikanische Militär natürlich die alleinige Kontrolle über die Satelliten. Zur Steuerung der Satelliten wurde ein Bahndienst installiert, der über fünf auf der Erde verteilte Bodenstationen die Satelliten beobachtet, die Satellitenposition bestimmt und die Satellitenuhren kontrolliert. Vom militärischen

Bahndienst werden dann die zur Navigation benötigten Daten zu den Satelliten gesandt, die diese als Navigationsnachricht absenden.

- Satellitensignal

Die Nachricht wird von den Satelliten mit Hilfe von zwei Signalen ausgesandt. Dazu werden zwei verschiedene hochfrequente Wellen im L-Band (L_1 : 1.575,42 MHz; L_2 : 1.227,90 MHz) verwendet, da im hochfrequenten Bereich eine hohe Bandbreite zur Datenübertragung zur Verfügung steht und Übertragungsfehler minimiert werden. Wegen der kurzen Wellenlänge wäre der Empfang des Signals jedoch mehrdeutig. Aus diesem Grund wird das Wellenbild phasenmoduliert. Dazu wird ein Algorithmus verwendet, der scheinbar zufällig Phasensprünge von ± 1 generiert. Scheinbar zufällig heißt, daß der Phasensprung +1 bzw. -1 gleich wahrscheinlich auftritt, jedoch mit einer durch den Algorithmus genau festgelegten Folge. Mit dieser phasenmodulierten Welle wird schließlich die Nachricht übertragen. Die Navigationsnachricht besteht aus insgesamt 1500 Bit, die bei einer Übertragungsrate von 50 bps immerhin 30 Sekunden zur vollständigen Übertragung benötigt. Auf dem L_1 -Signal werden gleich zwei unterschiedliche Codes aufmoduliert, der sogenannte C/A-Code, der Grobcode, und der P-Code (P - precise). Die Wellenstücke des C/A-Codes wiederholen sich bereits nach jeder Millisekunde, so daß die alleinige Messung dieses Codes nicht zu eindeutigen Ergebnissen führt, was eine Genauigkeit bei der Auswertung von ± 300 km bedeuten würde und erst die von Empfängergerät und Software aufzulösende Mehrdeutigkeit führt zu brauchbaren Genauigkeiten. Mit dem P-Code steht ein Signal zur Verfügung, das eine wiederkehrende Sequenz erst nach 266 Tagen aussendet. Die Wellenlänge eines kompletten Datensatzes ist 29,3 m lang, so daß die Messung in jedem Fall eindeutig ist. Das L_2 -Signal besteht nur aus dem P-Code.

- Signalausbreitungsfehler

Die Fehler bei der Auswertung beruhen auf mehreren Merkmalen. Das verwendete Bezugssystem der Satellitenkoordinaten ist das WGS 84 Coordinate System (WGS - world geodetic system). Da die Erde keine exakte Kugel ist, versucht man durch Modelle die Erde möglichst genau abzubilden. Dabei wird nie eine exakte Abbildung der Erdoberfläche erreicht. Vor allem die Bestimmung der Höhe ist bei der Koordinatenbestimmung aus diesem Grund mit großen Fehlern behaftet.³⁷ Unser Heimatplanet bewegt sich wegen seiner Achse schräg zur Bahn wie ein Kreisel um die Sonne. Da er aber seinen Schwerpunkt nicht genau in der Drehachse hat, besitzt er ein Aufstellmoment. Die Erde weicht dieser Kraft durch eine Präzessionsbewegung aus, die bis zu dem Zeitpunkt, zu dem wieder die gleiche Lage erreicht wird, ein platonisches Jahr dauert, was 25.700 Jahren entspricht. Der Mond hat einen

Gravitationseinfluß auf die Erde und verleitet sie ebenfalls, von der Bahn abzuweichen. Die Nutationsbewegung hat eine Periode von 18,61 Jahren. Aus den Ausweichbewegungen heraus verändert sich zudem die Geschwindigkeit, mit der die Erde um die Sonne kreist. Diese Fehlereinflüsse sind sehr wohl bekannt und können mit qualitativ hochwertigen Empfangsgeräten bzw. Auswerteprogrammen errechnet und daher korrigiert werden.

Das in den Satelliten verwendete Zeitsystem besteht aus Atomuhren. Fehler bei der Zeitmessung rühren aus relativistischen Aspekten her. Zwar wiegen sich zwei Effekte teilweise gegeneinander auf, doch der resultierende Fehler beeinflusst die Genauigkeit der Positionsbestimmung. Zum einen gehen wegen der hohen Bahngeschwindigkeit der Satelliten die Uhren der Satelliten langsamer als die Uhren auf der Erde, andererseits gehen die Satellitenuhren aufgrund des geringeren Schwerefeldes in 20.000 km Höhe schneller als Uhren auf der Erde.

Weitere Unregelmäßigkeiten ergeben sich aus der Wahl des Übertragungsmediums, nämlich der elektromagnetischen Welle. Aus der Zusammensetzung und Beschaffenheit der Atmosphäre ergeben sich Ungenauigkeiten, deren Bestimmung äußerst diffizil ist. Laut Fermat'schem Satz legt eine elektromagnetische Welle auf ihrem Weg von Sender zu Empfänger immer den schnellsten Weg zurück, der aber nicht gerade verlaufen muß. Wegen der Ionisation der Atmosphäre durch die Sonneneinstrahlung wird der Signalweg gebrochen. Die elektrisch geladenen Atmosphärenteilchen lenken das Signal ab, das dadurch den Weg einer undefinierten Raumkurve zurücklegt. Die Art der Ablenkung ist jedoch frequenzabhängig, so daß mit der Messung von zwei verschiedenen frequenten Signalen Aussagen über die ionosphärische Refraktion gemacht werden können.³⁸ Bei zu starker Ionisation, besonders in Äquatornähe, Polnähe und Gebieten, in denen Polarlichter sichtbar sind, kann eine Signalausbreitung oftmals auch ganz verhindert werden. In der Troposphäre führt die verschiedenartige Zusammensetzung der Gase zur troposphärischen Refraktion, d.h. durch veränderliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals in den verschiedenen Medien der Atmosphäre wird ebenfalls eine Raumkurve beschrieben. Diese kann nur mit Modellrechnungen simuliert werden, was zu Unsicherheiten führt. Die hochfrequenten elektromagnetischen Wellen können zudem noch an der Bebauung reflektiert werden und auf Umwegen zum Empfänger gelangen. Dieses Phänomen, „multipath“ genannt, führt dazu, daß das originale Signal durch das reflektierte Signal überlagert wird. Neben den Auswertungsfehlern hat dieser Effekt zur Folge, daß das überlagerte Signal so schwach werden kann, daß kein Empfang mehr möglich ist und das Signal letztlich abreißt.

³⁷Beispielsweise würde nach dem WGS-84 ein Schiff auf seiner Fahrt vom Kap der Guten Hoffnung in den Indischen Ozean einen Höhenunterschied von 135 Metern bewältigen [1].

³⁸Die Verwendung von zwei Signalen bei der Datenübertragung ist auf diesen Effekt der ionosphärischen Refraktion zurückzuführen.

Doch nicht nur die aus der Systematik heraus resultierenden Fehler erschweren die Positionsbestimmung. Aus Furcht vor Sabotage am Satellitensystem übermitteln die Satelliten verfälschte Bahndaten. Der Bahndatenfehler ist zudem nicht konstant ungenau. Die Betreiber des NAVSTAR-GPS behalten sich mit dieser „selected availability“ (SA) vor, die wahren Satellitenpositionen geheim zu halten. Ebenso kann aus Sicherheitsgründen die Nutzung des P-Codes unterbunden werden. Der Code wird verschlüsselt und steht nur noch den militärischen Betreibern zur Verfügung. Dieses „anti-spoofing“ hat neben dem Verlust des genaueren Signalcodes zur Folge, daß die Einflüsse der ionosphärischen Refraktion nicht mehr bestimmt werden können. Aus diesem Grund wird mit der Navigationsnachricht ein Rechenmodell zum Ausgleich der Einflüsse der ionosphärischen Refraktion mitübersandt.

Komponente	Fehlerart	P-Code		C/A-Code	
		Auswertung SA on	Auswertung SA off	Auswertung SA on	Auswertung SA off
Satelliten	Bahnfehler	10 - 40 m	5 m	10 - 40 m	5 m
	Uhrenfehler	10 - 50 m	1 m	10 - 50 m	1 m
Signal	ionosphärische Refraktion (P-Code empfangbar)	cm - dm		-	
	ionosphärische Refraktion (P-Code verschlüsselt)	-		2 - 100m	
	troposphärische Refraktion	dm		dm	
	Multipath	1m		5m	
Empfänger	Rauschen	0,1- 1m		1- 10m	
	systematische Fehler	dm- m		m	

Fehlerhaushalt bei Auswertung des Satellitensignals

- Positionsbestimmung mit Hilfe des Satellitensignals

In der 1500 Bit langen Navigationsnachricht sind die Bahndaten des Satelliten, eine Zeitangabe der Satellitenuhr, einem Hinweis, wann letztmals die Daten vom Bahndienst aktualisiert wurden, welche Satelliten zur Ortung zur Verfügung stehen, ob der P-Code verschlüsselt ist und besagtes Rechenmodell für die ionosphärische Refraktion enthalten.

Die Positionsbestimmung erfolgt im allgemeinen durch die geometrische Auswertung der Messung der Pseudoentfernungen (da keine genaue Entfernung) zu den Satelliten. Aus der Zeitangabe des Satellitensignals kann der Laufweg mit einer Annahme über die Wellengeschwindigkeit bestimmt werden. Aus den Bahndaten der Satelliten erhält man dessen Position. Somit ist zur Bestimmung der 3 räumlichen Dimensionen auf der Erdoberfläche die Streckenmessung zu drei Satelliten erforderlich. Da alle Daten von der Zeit abhängig sind, kommt eine vierte Dimension hinzu, so daß zur Positionierung auf der Erde mindestens zu vier Satelliten direkter Sichtkontakt vorhanden sein muß. Die erreichbare Genauigkeit hängt dabei von den genannten Fehlerquellen ab.

Genauere Positionsbestimmungen sind mit Hilfe der Phasenmessung möglich. Da die Wellen immer mit einem Phasen-Nulldurchgang beginnen, kann aus der Bestimmung des Phasenwinkels am eintreffenden Signal eine sehr genaue Bestimmung des zurückgelegten Wegs erfolgen. Die wahre Weglänge des Signals erhält man über ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge plus dem verbleibenden Wellenstück durch Messung des Phasenwinkels. Da die Zeitdifferenz des Absendens und des Empfangs ziemlich genau im Fehlerbereich $< 10^{-13}$ festgestellt werden kann, ist es daher möglich, aus der bekannten Frequenz die Zahl der Wellenstücke des Signals präzise zu bestimmen. Bei Auswertung dieser Pseudoentfernungen kann der Empfänger nach einer gewissen Zeit selbst eine ziemlich genaue Position des Satelliten ermitteln und somit Genauigkeiten bis hin zum Millimeterbereich erreichen. Die Berechnungszeit der eigenen Position, ist vor allem von der Empfängertechnik abhängig. Einen wesentlichen Anteil dabei haben Auswerteprogramme, welche die Satellitendaten auf die erforderlichen nutzbaren Koordinaten umrechnen. Auf diesem Gebiet sind noch einige Fortschritte zu erwarten, so daß es nicht abwegig erscheint, die derzeit sehr aufwendige und daher zeitintensive Messung der Trägermischphase zur Navigation von bewegten Objekten in Echtzeit zu verwenden.

- Signalabrisse

Für die Navigation eines Objektes werden wie gesagt die Daten von vier gleichzeitig sichtbaren Satelliten benötigt. Das NAVSTAR-GPS ist bereits so konstruiert, daß fast überall auf der Erde mindestens vier Satelliten sichtbar sein sollten. (siehe Anhang: Verfügbarkeit des GPS) Die Signalstärke des Satellitensignals ist jedoch so gering, daß bereits Pflanzen den Weg des Signals versperren können und dieses deshalb nicht mehr empfangen werden kann. Ist einer oder mehrere der vier Satelliten nicht mehr sichtbar, ist keine Auswertung mehr möglich. In diesem Falle spricht man von einem Signalabriß. Zu erwarten sind Signalabrisse vor allem in den Abschattungsbereichen von hohen Gebäuden oder Bäumen, bei der Unterquerung von Brücken oder in einem Tunnel. Da die Initialisierung des Satellitensignals sehr zeitaufwendig ist (etwa 1,5 Minuten) – im Empfänger wird der bekannte C/A-Code und die pseudozufällige Modulation erzeugt und solange gegen das eintreffende Signal phasenverschoben, bis beide Signale übereinstimmen, d.h. das Signal „rastet ein“ – ist es natürlich nicht hinnehmbar, wenn bei einem Signalabriß wiederum die komplette Initialisierung durchgeführt werden muß. Qualitativ hochwertige Empfänger gleichen dies durch zeitlich beschränkte Vorhersagen des eintreffenden Signals aus, d.h. während eines Signalabrisses wird das bis dahin empfangene Signal weiter im Empfänger simuliert, bis es wieder empfangen werden kann. Die Dauer eines Signalabrisses hat demnach ebenso Einfluß auf die Wiederherstellung des Empfanges wie die Anzahl der abgerissenen Satellitensignale. Die Reacquisition reicht dabei etwa von 5 Sekunden bis über eine Minute bei einem vollständigen Signalabriß aller sichtbaren Satelliten. [8]

4.4.2 Weitere Satellitennavigationssysteme: GLONASS und GALILEO

Neben dem amerikanischen Department of Defense hat auch das russische Verteidigungsministerium ein Satellitennavigationssystem installiert. Das GLONASS (globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema) wurde ab 1991 sukzessive ausgebaut und hatte seine volle Funktionsfähigkeit 1996 erreicht. [8] Insgesamt ist der Aufbau des GLONASS dem amerikanischen NAVSTAR-GPS sehr ähnlich. Es besteht ebenfalls aus 24 Satelliten, die auf nur drei Bahnen verteilt sind. Die Satelliten-Konstellation wurde so gewählt, daß die Satelliten insgesamt die Nordhalbkugel der Erde besser ausleuchten. Das System wird von einem militärischen Bodensegment überwacht und gesteuert. Nachteilig ist dabei, daß sich die Kontrollstationen alle auf dem Gebiet der ehemaligen UdSSR befinden. Die Satelliten können nicht überall überwacht werden und die Berechnung der Bahndaten wird erschwert, so daß mögliche Ausfälle nicht rechtzeitig erkannt werden. Ein Unterschied zum NAVSTAR-GPS besteht im Abstrahlen der Navigationsnachricht. Werden die GPS-Satelliten über ihren jeweiligen Code erkannt, während die Navigationsnachricht von jedem Satellit auf der gleichen Frequenz abgestrahlt wird, so sendet jeder GLONASS-Satellit auf seiner eigenen Frequenz. Die Signalstruktur ist wiederum gleich der GPS-Nachricht. Zwei verschiedene Signalfrequenzen und zwei verschiedenen genaue Signalcodes werden verwendet. Ebenso kann der genauere P-Code vom russischen Verteidigungsministerium verschlüsselt werden. Die Bahndaten der Satelliten werden jedoch nicht verfälscht, so daß bei reinem Satelliteneinsatz das GLONASS in der Regel genauere Werte liefert. Seit 1995 wurde kein Satellit mehr ersetzt. Mittlerweile sind nur noch 11 Satelliten im All, was die Verfügbarkeit nur noch zu bestimmten Zeitpunkten gewährleistet.³⁹ Rußland hat immerhin seine Absicht erklärt, das System wieder voll funktionsfähig auszubauen, auch im Hinblick auf ein hohes Nutzerpotential für zivile Nutzer in Europa.

Die Unwägbarkeiten des Fortbestands des russischen GLONASS und der willkürliche Zugriff des amerikanischen Militärs auf die Genauigkeit und Verfügbarkeit des NAVSTAR-GPS haben die Europäische Union dazu bewogen, ein eigenes Satellitennavigationssystem mit Namen GALILEO zu installieren. Derzeit befinden sich sowohl die politischen Verantwortlichen als auch die beteiligte Industrie noch in der Definitionsphase, wie das System auszusehen hat. Es soll kompatibel zu NAVSTAR-GPS sein, so daß die Verfügbarkeit einer ausreichenden Anzahl von Satelliten verbessert wird. Die Steuerung der Satelliten wird von einem eigenen zivilen Kontrollsegment übernommen. Derzeit beabsichtigt ist die Einrichtung eines „open access service“, einem frei verfügbaren Signal und auch einem „controlled access service“, einem

³⁹Neben finanziellen Schwierigkeiten zum Bau der Ersatzsatelliten haben auch rechtliche Schwierigkeiten der Nutzung des Raumfahrtzentrums Bajkonur in Kasachstan Raketenstarts für das GLONASS verhindert. Sechs fertiggestellte Satelliten konnten daher immer noch nicht gestartet werden

verschlüsselten Signal, das eine höhere Genauigkeit und Integrität für lizenzierte Nutzer ermöglicht. Angedacht ist ebenso eine von vornherein eingerichtete Steigerung der Genauigkeit durch Fehlerkorrektur in den Kontrollstationen (Funktionsprinzip D-GPS). Die ermittelten Korrektursignale sollen von geostationären Satelliten ausgesendet werden. Die Satellitenkonstellation besteht in diesem Fall nicht mehr nur aus den Navigationssatelliten, sondern zusätzlich aus bis zu 12 geostationären Satelliten. Das GALILEO-System soll mit einem Betrag von 2,2 Mrd €, davon sind 1,4 Mrd € von der EU und der europäischen Raumfahrtbehörde ESA, der Rest von Industrie, Banken und Spekulanten, bis zum Jahr 2008 aufgebaut werden.

4.5 Verbesserung der Satellitensysteme für den Einsatz als Ortungsplattform

Die bisher installierten Systeme besitzen entscheidende Nachteile für eine Nutzung als sicherheitsrelevantes Ortungssystem nicht nur bei der Eisenbahn. Zum einen ist dies die erreichbare Genauigkeit von bewegten Objekten, die beim NAVSTAR-GPS zudem noch künstlich verschlechtert wird. Zum anderen ist die Satellitenkonstellation schwankend, so daß Abschattungsgebiete nicht von vornherein erkannt werden können, was natürlich die Einsatzverfügbarkeit zumindest unsicher werden läßt. Ebenso bekommen Nutzer keine Integritätshinweise, bzw. keine Warnung, wenn das System ausfällt. Aus diesen Gründen ist ein Handlungsbedarf vorhanden, die Satellitensysteme dahingehend zu verbessern, um Anforderungen einer Ortungsplattform für Eisenbahnanwendungen zu erfüllen. Dabei kann ja die eisenbahnspezifische Ortung alleine schon von Nutzen sein. Eigentlich werden zur Positionsbestimmung von Zügen keine dreidimensionalen Koordinaten benötigt. Der Eisenbahn genügt eine eindimensionale Betrachtung der Strecke in der Dimension Streckenkilometer. In einem Projekt »SATNAB« an der Technischen Hochschule Braunschweig soll untersucht werden, inwieweit sich diese Reduktion des Datenaufwandes auf die Verfügbarkeit der nötigen Satelliten auswirkt. Es wird untersucht, ob nicht eine intelligente softwaregestützte Signalauswertung von einem bzw. zwei Satelliten (zum Uhrenabgleich) ausreicht, um die bahnspezifische Ortungsinformation zu liefern. Dies würde die Verfügbarkeit des Satellitensystems ohne zusätzlichen Aufwand erheblich erhöhen.

4.5.1 Verbesserung der Satellitensysteme durch GNSS-1

Ein Projekt zur Verbesserung der Genauigkeit, Verfügbarkeit und Integrität ist die Errichtung des sogenannten GNSS (global navigation satellite system). Zwar wollen sowohl Japan, Europa und die USA das bestehende Satellitennavigationssystem verbessern und haben auch bereits einen Weg mit der Definition des GNSS-1 gefunden, doch jeder verfolgt bei der Verwirklichung seine

eigenen Vorstellungen. In Europa soll dazu das Programm EGNOS (european geostationary navigation operating system) umgesetzt werden. Angedacht sind dabei die Entwicklung und der Einsatz von Empfängern, die sowohl NAVSTAR-GPS- als auch GLONASS-Signale empfangen können. Dies erhöht zum einen die Verfügbarkeit eines Systems, da bei Vollausbau mindestens acht Satelliten zur Ortung zur Verfügung stehen würden. Die Bereiche einer Signalabschattung, wenn nicht mehr genügend Signale empfangen werden, könnten auf diese Weise reduziert werden. Ebenso wird durch mehrere zusätzliche Satellitensignale die Integrität erhöht, da mit einem fünften Satellitensignal überprüft werden kann, ob die Satelliteninformation zuverlässig und glaubwürdig ist. Mit einem sechsten Signal kann schließlich ein Fehler nicht nur erkannt sondern auch korrigiert werden. [50] Um die Genauigkeit zu verbessern, ist bei EGNOS vorgesehen, ein weltweites Netzwerk von 40 Bodenstationen (die meisten jedoch in Europa) zu installieren. Diese Bodenstationen filtern die Signalfehler der Satelliten heraus und errechnen korrekte Daten. Diese Korrekturwerte werden dann über zwei geostationäre Satelliten INMARSAT (Position über Ostatlantik (AOR-E) und Indischem Ozean (IOR)) ausgestrahlt.

Das Projekt EGNOS hat ein Volumen von 330 Mio DM und soll bis 2003 verwirklicht sein. Mittlerweile sind Empfängergeräte entwickelt worden, die Integritätsdienste bei fünf gleichzeitig sichtbaren NAVSTAR-GPS Satelliten zur Verfügung stellen. Die Einbindung von GLONASS gestaltet sich dagegen wegen der genannten schlechten Verfügbarkeit derzeit schwierig und abzuwarten wird bleiben, welche Genauigkeit durch das Abstrahlen der Korrekturwerte über geostationäre Satelliten erreichbar ist.

4.5.2 Verbesserung der Genauigkeit durch D-GPS

Relativ hohe Genauigkeiten von ca. 1 bis 3 Metern sind auf dem Wege des differentiellen Messens und Auswertens von Satellitensignalen möglich. Das Grundprinzip beruht auf dem Vorhandensein einer genau vermessenen Referenzstation. Die Station empfängt die Satellitensignale und bestimmt damit ihre Position. Durch Vergleich mit der bekannten wahren Position kann eine Korrektur angegeben werden, die zum Ausgleich der aktuell vorhandenen Fehler im Satellitensignal verwendet wird. Die Korrektur kann dabei aus der bloßen gerichteten Differenz zwischen gemessener Position und wahrer Position bestehen, oder, was genauer ist und daher in der Regel angewendet wird, aus der Berechnung der wahren Satellitenentfernungen durch die Referenzstation mit Hilfe der Messung über die Trägermischphase. Mit den korrigierten Satellitenentfernungen kann der mobile Empfänger ebenfalls seine Position genauer bestimmen. Streng genommen gelten aber die Fehlereinflüsse nur für die Referenzstation. In entfernten Gebieten kann der gemessene Fehler bereits wieder andere Ursachen haben, so daß die Genauigkeit der Korrekturwerte mit wachsender Entfernung zur Referenzstation um einen

Betrag von etwa 1 Meter auf 250-300 km Entfernung abnimmt. Die Korrekturwerte sind dabei nur einen kurzen Zeitraum absolut gültig, da sich die Fehlereinflüsse relativ schnell mit der Zeit ändern (ab einem „Alter“ der Daten von ca. 5 - 10 sek. spürbare Genauigkeitsverluste), d.h. die Datenübertragung muß einerseits leistungsfähig sein und andererseits kontinuierlich mit hoher Taktrate erfolgen.

Zur Übertragung der Korrekturwerte für D-GPS wurde ein spezielles Datenformat definiert. Die RTCM (radio technical commission for maritime service) hat diesen Standard im Jahr 1990 als RTCM 2.0 veröffentlicht, der seit 1994 im erweiterten Format RTCM 2.1 zur Verfügung steht. In diesem Format können 63 Typen von Botschaften gesendet werden. Für die Übertragung von D-GPS-Korrekturwerten sind 8 Typen festgeschrieben. Dazu kommen noch bei der heute bereits möglichen Echtzeit-Auswertung der Trägermischphasen vier zusätzliche Typen (18, 19, 20, 21) zur Übertragung hinzu. Für die weitere Entwicklung ist angedacht, Typen für eine Übertragung von Differential-GLONASS-Korrekturwerten zu reservieren.

Message Type:	Inhalt:
1	Korrekturwerte für Pseudoentfernungen zu Satelliten. Tendaussage über weiteres
2	Delta DGPS-Korrekturwerte, wenn dem Empfänger nur „alte“ Bahndaten bekannt sind
3	Reference Station Parameters, Koordinaten der Referenzstation
5	von der Referenzstationen ermittelte Satellitenkonstellation
6	Null Frame: Headerdaten
7	Angaben über das Netz der Korrektursender, ermöglicht gezielte Auswahl des Senders
9	Korrekturwerte zu ausgesuchten Satelliten (wie 1)
16	beliebiger Text (ASCII - 90 Zeichen)
18	unkorrigierte Trägermischphase
19	unkorrigierte trägerphasengeglättete Auswertung des P-Code
20	Korrektur für Trägermischphase
21	Korrektur für Auswertung des P-Code

Datentypen des RTCM-Formates zur Übertragung der D-GPS Korrekturdaten [59]

Die Datenmenge ist von der Zahl der sichtbaren Satelliten abhängig (4 Satelliten: 270 Bit, 8 Satelliten: 480 Bit, 12 Satelliten: 660 Bit). Da die Datenübertragung zeitkritisch ist, sollte ein leistungsfähiges Medium benutzt werden. In Deutschland gibt es mittlerweile mehrere Dienste zur Übertragung der D-GPS Korrekturdaten.

- Accurate positioning by low frequency: ALF

Der D-GPS-Dienst von Deutscher Telekom und dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie hat eine Referenzstation in Mainflingen bei Frankfurt und in Potsdam und sendet über 123,7 kHz Langwelle am Sender Mainflingen kostenfreie unverschlüsselte Korrekturwerte mit einer Datenübertragungsrate von 300 bps. Der Sender hat eine Reichweite von etwa 600 km. Die erreichbare Genauigkeit liegt bei etwa 1 Meter (nahe an der Referenzstation) bis etwa 3 Meter in 600 km Entfernung. [59]

- Dienst der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung

In Europa wird ein System von Referenzstationen zur Abdeckung der Küstenbereiche geschaffen. Diese sollen Korrekturwerte für eine genaue Küstennavigation zur Verfügung stellen, wobei andere Nutzungen nicht ausgeschlossen werden. Der deutsche Küstenbereich wird von den zwei Referenzstationen Helgoland (Nordsee) und Wustrow (Ostsee) abgedeckt. Die Datenübertragung erfolgt im „Seefunkfeuerband“ bei Frequenzen um 300 kHz. Es werden nur die Nachrichtentypen 3, 7, 9, 16 mit einer Übertragungsrate von 200 bps gesendet. [59]

- Dienst der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder (AdV):
 SAPOS - Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung

Die AdV will mit einem flächendeckenden Netz von Referenzstationen deutschlandweit ein einheitliches Bezugssystem für D-GPS Korrekturdaten schaffen (siehe Anhang: SAPOS Referenzstationen). In technisch adäquater Form sollen damit alle Aufgabengebiete des Vermessungs- und Katasterwesens sowie Anwendungen weiterer Nutzerkreise abgedeckt werden. SAPOS stellt dafür vier Servicebereiche mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Verfügung.

- SAPOS EPS - Echtzeit Positionierungs-Service
- SAPOS HEPS - Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service
- SAPOS GPPS - Geodätischer präziser Positionierungs-Service
- SAPOS GHPS - Geodätischer hochpräziser Positionierungs-Service

Service-Bereiche	Verfügbarkeit	Übertragungs-medium	Nutzer gleichzeitig	Genauigkeit [m]	Taktrate [sek]	Schnittstellen
EPS	real time	UKW/LW (RDS) 2m-Band	unendlich	1 ... 3	3 ... 5 1	RTCM 2.0
HEPS	real time	2m-Band	unendlich	0,01 ... 0,05	1	RTCM 2.1
GPPS	near real time post processing	GSM Festnetz	<< unendlich unendlich	0,01	-	RINEX
GHPS	post processing	Festnetz	unendlich	< 0,01	-	RINEX

In ganz Deutschland realisiert ist derzeit der Echtzeit Positionierungs-Service RASANT über das Radio Data System RDS. Die Ausstrahlung der Korrekturdaten über die öffentlichen Rundfunksender ist wegen der geringen Kapazität von nur 1,5 RDS-Gruppen pro Sekunde (bei einer Nutzlast von 37 bit) besonders zeitkritisch. Eine verbesserte Lösung stellt das 2m-Band als Übertragungsmedium dar, welches bei Frequenzen um die 160 MHz eine Übertragungsrate von 2.400 bps gewährleistet. Wegen der verbesserten Aktualität durch den höheren Übertragungstakt ist der Genauigkeitsgrad eher bei einem als bei drei Metern angesiedelt. Die Datenverbreitung über das 2m-Band stellt bisher ein Versuchsfeld dar, die Frequenzen müssen für einen dauerhaften Betrieb erst noch genehmigt werden. Die hochfrequente Ausstrahlung ist

mit Einschränkungen bei der Sendereichweite behaftet, so daß derzeit wenige Gebiete in Deutschland versorgt sind. (siehe Anhang: 2m-Funkstationen)

Der hochpräzise Echtzeit Positionierungs-Service besteht aus der Bereitstellung der Trägerphasenkorrekturen. Die Verfügbarkeit dieses Services soll jedoch nicht kostenfrei erfolgen. Für die Auswertung der Daten wird ein eigener SAPOS - Decoder benötigt, über den auch die anfallenden Gebühren abgerechnet werden. Neben der Übertragung im 2m-Band ist beabsichtigt, die Korrekturdaten über die Datenkanäle des GSM abrufbar zur Verfügung zu stellen, was die flächendeckende Installation mit 2m-Funkstationen einsparen würde.

4.5.3 Verwendung hybrider Systeme für bessere Verfügbarkeit und Integrität

Trotz Verbesserungen hinsichtlich der Genauigkeit ist die Auswertung von Satellitensignalen zur Navigation für sicherheitsrelevante Anwendungen alleine nicht ausreichend. Die Verfügbarkeit und Integrität soll zwar durch das EGNOS-Projekt verbessert werden, doch da die Anforderungen bei Eisenbahnanwendungen bei nahezu 100% liegen dürften, wird alleine dies nicht ausreichen. Die Gründe liegen in den Signalabbrissen bei Abschattungen durch Bäume, Brücken, Gebäuden oder Tunnel. Nicht nur, daß das Signal bei der Vorbeifahrt nicht mehr empfangen werden kann, auch die Requisitionszeit, dh. die Zeit die benötigt wird, bis das Signal wieder ausgewertet werden kann, sorgt für eine zeitweise ungesteuerte Blindfahrt. Die Ausfallzeit und Requisitionszeit muß daher überbrückt werden, was bei einem Regelbetrieb jedoch nicht durch ständige Nothalte geschehen kann. Da man die streckenseitigen Informationsgeber ersetzen will, bleiben nur Zusatzsensoren am Fahrzeug, die diese Aufgabe übernehmen können. Die Sensoren arbeiten vor allem mit der Auswertung der Radumdrehungen (Odometer, Gyroskop) oder der Krafteinflüsse bei Beschleunigungen (Laserkreisel, Pendel-Beschleunigungsmesser). Ein fahrzeugseitig installiertes Sensorsystem kann das Satellitensystem bei der Ortung ergänzen, da es die Ausfallzeiten des Signalempfangs zu überbrücken vermag. Das Satellitensystem seinerseits zeichnet sich durch hervorragende Langzeiteigenschaften aus. Der Satellitenfehler ist im Grunde von der Betriebsdauer unabhängig. Bei Ausfällen kann dagegen das Sensorsystem kurzfristig relativ genaue Werte liefern, jedoch werden die Werte mit zunehmender Fahrdauer immer unsicherer. Die Sensorenfehler setzen sich dabei aus fehlerhaften Messungen bei Radumdrehungen, verursacht durch Schlupf aufgrund der geringen Reibung zwischen Rad/Schiene,⁴⁰ bzw. aus Driftfehlern der Beschleunigungsmesser zusammen. Die Sensoren bilden ein Inertialsystem, d.h. bei jedem neuen Start, bei jedem Signalabriß, wird ihr aktuelles Meßverhalten verwendet. Solange das Satellitensystem zuverlässig arbeitet kann mit einem

⁴⁰Der Anteil des Schlupfes bei Wegmessungen über die Radumdrehung kann bei ungünstiger Witterung (nasse Schienen) durchaus über 10% Abweichung zum wahren Wert verursachen

Fehlermodell dieses Meßverhalten bestimmt werden. Die Sensormessung wird dabei an der Satellitenposition abgeglichen. Das Fehlermodell kontrolliert auf diesem Weg sowohl das Sensorsystem als auch das Satellitensystem, d.h. sprunghafte Fehler, verursacht durch den Multipath-Effekt können damit nachgewiesen werden. Ein solches Mehrkomponentensystem steigert sowohl die Verfügbarkeit auf nahezu 100% als auch die Integrität, d.h. das System erkennt, wenn Meßergebnisse nicht mehr plausibel sind.

4.6 Anwendungsmöglichkeiten der Satellitenortung für Bahnanwendungen

4.6.1 Satellitenortung als betriebliche Ortungsplattform - Versuch »RailOrt«

Die Möglichkeit, wie bei der Bahn ein sicherheitsrelevantes Ortungssystem auf Basis der Satellitennavigation zum Einsatz kommen könnte, wurde im Projekt »RailOrt« untersucht. Das Projekt war ein Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Durchgeführt wurde es von der Dornier System-Consult GmbH und dem TÜV Rheinland TSU in Zusammenarbeit mit den Instituten für Regelungs- und Automatisierungstechnik und Flugführung und Flugregelung an der Carolo-Wilhelmina- Universität Braunschweig. [46]

Folgende Projektschritte wurden abgearbeitet:

- Anforderungen an ein Ortungsmodul
- Systemarchitektur des Ortungsmoduls
- Sicherheitsanalyse des Ortungssystems
- Wirtschaftlichkeitsanalyse

Aufgrund der Anforderungen im Eisenbahnwesen an die Verfügbarkeit kam nur ein hybrides Meßsystem als Ortungsmodul in Frage, bestehend aus D-GPS-Empfänger, Laserkreisel als Beschleunigungsmesser, Drehratensensor als Wegimpulsgeber und als Abgleich der Weginformationen ein digitaler Streckenatlas.

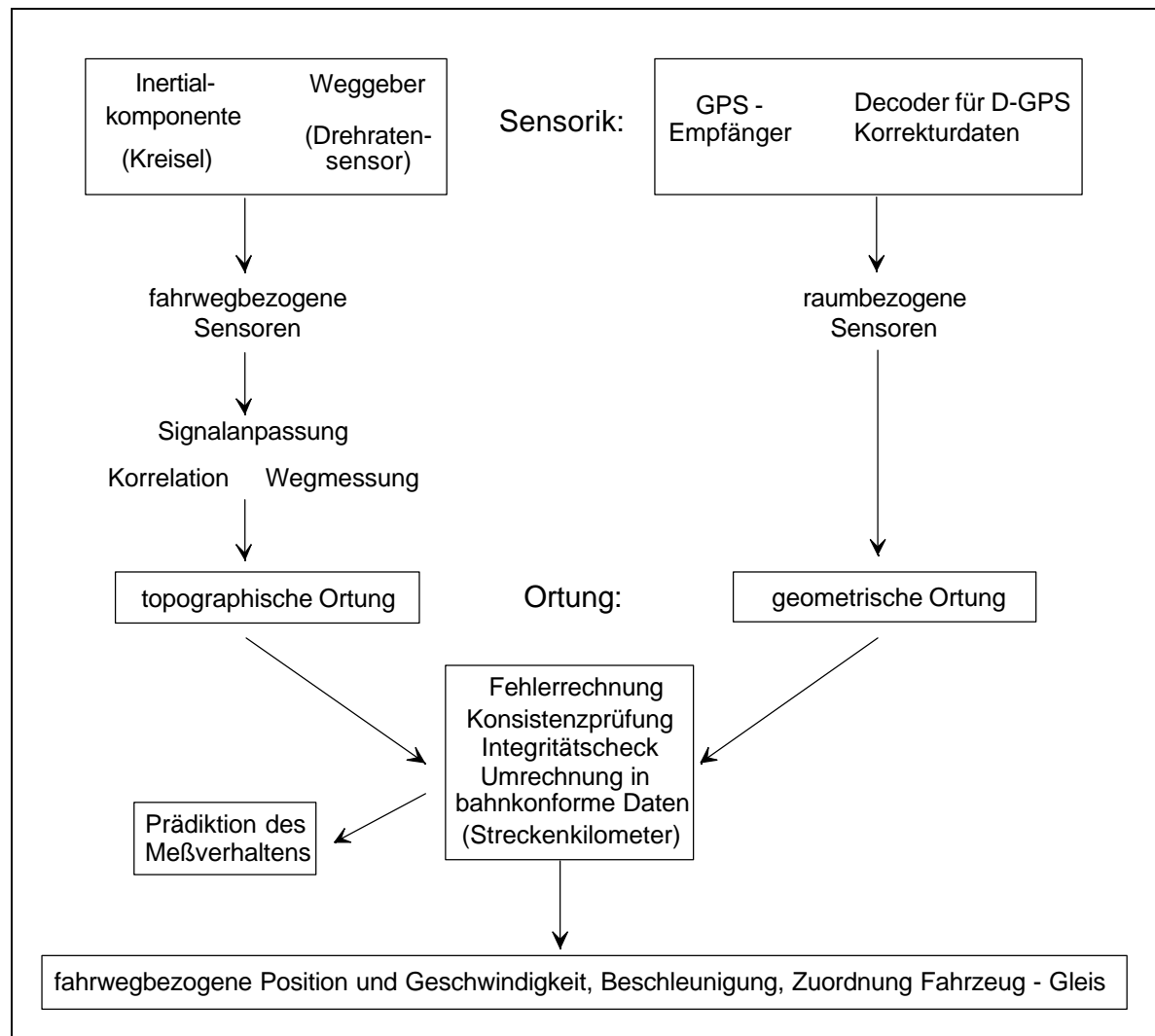


Abb.

10: Satellitengestütztes Ortungsmodul des »RailOrt«-Projektes

Aus der bahnspezifischen Reduktion der Wegfreiheiten beim spurgebundenen System auf einen eindimensionalen Wegevektor waren zur Abdeckung der benötigten Wegdaten nur ein Beschleunigungsmesser als Richtungsgeber und ein Drehratensensor als Wegimpulsgeber nötig. Bei ungebundenem Verkehr wie etwa bei Flugzeugen, wären jeweils drei Sensoren nötig gewesen, um eine genügende Genauigkeit in alle Richtungen zu gewährleisten.

Aus diesen Erkenntnissen wurden Prototypen entwickelt, mit denen Versuchsfahrten zur Überprüfung der Zuverlässigkeit und ausreichenden Sicherheit durchgeführt wurden. Bei den Prototypen wurden jeweils »low-cost«- bzw. »high-end«-Komponenten verwendet, um eventuelle Auswirkungen der Qualitätsunterschiede bemerken zu können. Auch bei der Übertragung der Korrekturwerte für D-GPS wurden sowohl die Werte des Langwellensenders Mainflingen als auch diejenigen der SAPOS-Referenzstation Braunschweig ausgewertet, um eventuelle Unterschiede festzumachen.

Als Ergebnis der Testfahrten stellte sich heraus, daß der GPS-Empfang zufriedenstellend war. An den eingesetzten GPS-Empfängergeräten konnten eindeutige Qualitäts- und somit Genauigkeitsunterschiede ausgemacht werden, ebenso bei der Reacquisition eines einmal abgerissenen Satellitensignals. Die erreichten Genauigkeiten genügen mit den hochwertigen Empfängern der Gleisselektivität, d.h. genauer als 2 Meter. Die D-GPS-Auswertung erreichte für sich alleine gesehen Genauigkeiten von 1 Meter. Dagegen war der Korrekturdatenempfang vor allem bei Verwendung der Langwelle kritisch. Die Unregelmäßigkeiten beim Korrekturdatenempfang über Langwelle waren dabei häufiger als die Signalabrisse des GPS-Empfängers, so daß als Ergebnis der Testfahrten gesagt werden kann, daß eine sichere Datenübertragung bei Bahnanwendungen erst ab einer Frequenz von 100 MHz stattfindet, also etwa im höheren UKW-Band. [29] Die Befürchtung, die Bahnoberleitung könnte aus ihrer elektromagnetischen Eigenschaft das Satellitensignal ähnlich der ionosphärischen Refraktion beeinflussen, bestätigten sich nicht. Durch ein immer weiter verbessertes Fehlermanagement bei der Meßdatenauswertung war es möglich, das Inertialsystem mit low-cost-Komponenten zu bestücken, ohne die geforderte Genauigkeit der Gleisselektivität zu verfehlen. Insgesamt war das Modul in der Lage, voll funktionsfähig seinen Dienst als Ortungsplattform zu verrichten.

Die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung basierte auf einem direkten Vergleich der Ausstattung einer Strecke mit Ortsbalisen als Weggeber und einer Odometerausrüstung im Fahrzeug gegenüber dem satellitengestützten Ortsmodul. Folgende Szenarien beim Einsatz des Satellitensystems sind denkbar:

- Szenario A: Satellitenortung als virtuelle Ortsbalise

Beim Szenario A ersetzt das Satellitensystem Balisen und das fahrzeugseitige Balisengerät dadurch, daß beim Empfang des Satellitensignals eine genaue Ortsinformation zur Verfügung steht, genauso, als wenn ein Zug eine Balise überfährt. Für die Zwischenräume, beim Satellitensystem wären dies die Ausfallzeiten, steht das fahrzeugseitige Odometer als Wegimpulsgeber zur Verfügung. Bei diesem Szenario wird auf ein zusätzliches Inertialsystem durch Sensoren verzichtet. Problematisch ist nur, daß Balisen an Orten, an denen eine hohe Genauigkeit verlangt wird, z.B. im Einschaltbereich von BÜ oder im Weichenbereich zur Erkennung der Gleislage, zweckmäßigerweise angebracht werden können. Bei der Verwendung des Satellitensystems ist in diesem Fall vorher zu prüfen, ob in kritischen Bereichen Signalabschattungen möglich sind. Wenn ja, dann ist bei den Einschaltpunkten mit größeren Sicherheitslängen zu arbeiten, da sich die Wegmessung dann auf das ungenauere Odometer stützt.

- Szenario B: Ortungsmodul ersetzt Odometerausrüstung im Fahrzeug

Setzt man hingegen das komplette Ortungsmodul ein (Szenario B), so kann das Odometer als kontinuierlicher Weggeber ebenfalls ersetzt werden. Die Kombination Odometer/Balise kann sich durch sinnvoll gewählte Positionen der Balisen sehr gut an die variablen Genauigkeitsanforderungen anpassen. Das satellitengestützte Ortungsmodul sollte jedoch wegen der Unwägbarkeiten beim Signalempfang in der Lage sein, die höchste Genauigkeitsanforderung jederzeit zu gewährleisten.

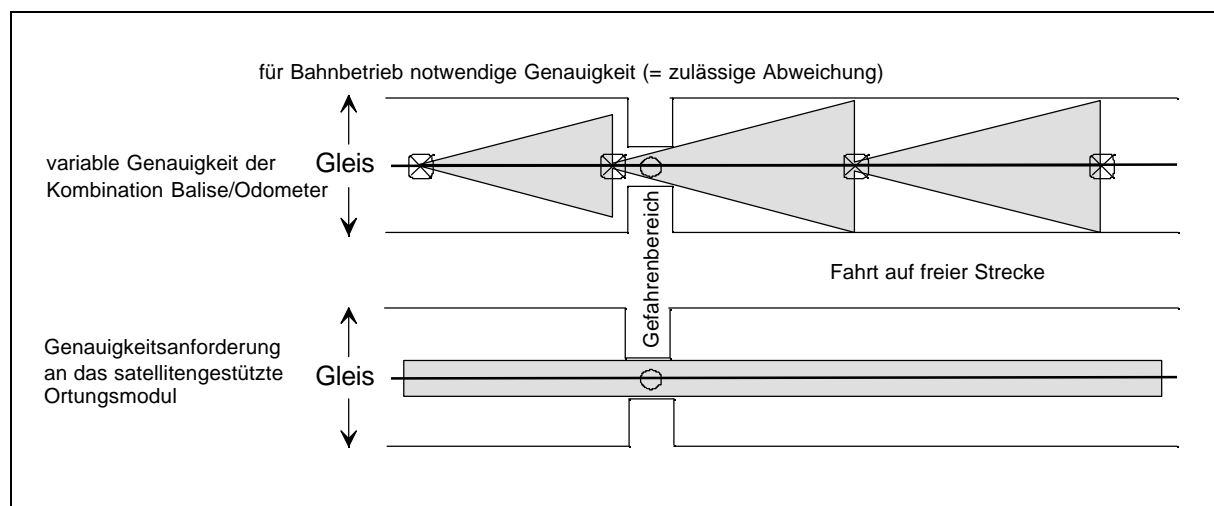


Abb. 11: Dem Einsatz anzupassende Genauigkeitsanforderungen für Ortungsmodule

In diesem Szenario erhält man eine verbesserte kontinuierliche Wegmessung, so daß eine höhere Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Ortungsplattform vorhanden ist. Die Einsparung besteht aus nicht benötigten Balisen, Balisengerät und Odometer. Angenommene Kosten sind etwa 25.000 DM pro Fahrzeug für das Balisenlesegerät, 20.000 DM für das fahrzeugseitige Odometer und je Streckenkilometer eine, pro Weiche zwei Balisen á 1.000 DM. Dies muß nun hochgerechnet werden auf die Streckenelemente und die Gesamtzahl der eingesetzten Fahrzeuge, so daß man eine Summe erhält, die angibt, wieviel ein Satellitenortungsmodul kosten darf, damit es günstiger als die Kombination Balise/Odometer einzusetzen ist. Beim RailOrt-Projekt wurde dies für die Gesamtstreckenlänge und alle eingesetzten Fahrzeuge in der Bundesrepublik errechnet. Als Ergebnis steht hier ein Preis von 77.000 DM pro Fahrzeug, wobei man annimmt, daß das im Projekt entwickelte Modul für etwa 50.000 DM realisierbar sei. [46] Der D-GPS-Empfänger stellt dabei einen der geringsten Anteile dar. Hohe Kosten verursachen die Qualitätsanforderungen an die Auswertesoftware sowohl für das Fehlermanagement der Sensoren als auch für die Umrechnung und den Abgleich der GPS-Koordinaten auf die Bahnstreckenkilometrierung.

4.6.2 Satellitengestützter Zugleitbetrieb - SatZB

Der in Kapitel 1.3 beschriebene Zugleitbetrieb vertraut bei der sicheren Durchführung des Betriebs ausschließlich auf das richtige Verhalten von Zugleiter und Fahrzeugführern. Da

menschliches Versagen aber eine häufige Unfallursache im Bahnwesen ist, soll versucht werden, durch technische Einrichtungen das Risiko zu verringern. Aus diesem Grund hat die Daimler-Chrysler Tochter Adtranz-Signal in Zusammenarbeit mit dem Forschungs- und Technologiezentrum der Deutschen Bahn AG eine Möglichkeit zur Verbesserung der Sicherheit auf den Zugleitbetriebsstrecken entwickelt, welche als Ortsinformationsgeber das D-GPS-Verfahren benutzt. Im Grunde wird beim SatZB der Zugleitbetrieb beibehalten, d.h. weiterhin gibt der Zugleiter Streckenabschnitte frei, die danach von den Triebzügen befahren werden. Das Satellitensystem ist jedoch als Sicherheitskomponente hinterlegt. Fährt ein Zug in einen Gleisabschnitt ein, erkennt er dies aufgrund der Ortsinformation von einem D-GPS-Empfänger und dem Abgleich mit der Streckenkarte. Der Zug meldet seine Einfahrt in den Streckenabschnitt an die Zugleitzentrale. Von einer zentralen Rechenanlage wird geprüft, ob der befahrene Streckenabschnitt frei war. Wenn ja, so wird er nun als belegt gekennzeichnet und dem Zugleiter als belegt angezeigt. Im anderen Fall, wenn er bereits als belegt gekennzeichnet war, so meldet die Zentrale an beide sich nun im selben Gleisabschnitt befindlichen Züge einen Nothaltbefehl zurück. Als Übertragungsmedium ist GSM bzw. auch GSM-Rail vorgesehen. Um SatZB zu verwirklichen sind Einrichtungen am SatZB-Fahrzeug (D-GPS-Empfänger, Funkempfänger, Streckenkarte, Fahrzeuganzeigergerät) und für eine SatZB-Zentrale (Fahrwegrechner, Anzeige für Zugleiter) notwendig, was von Adtranz-Signal in einer Kostenschätzung mit einem Installationsaufwand von 100.000 DM/km angegeben wird.

Derzeit ist die Einführung dieses Systems in Deutschland jedoch nicht vorgesehen, da kein dringender Handlungsbedarf zur zusätzlichen Zugsicherung auf Zugleitbetriebsstrecken besteht. [29] Der SatZB hat seine hauptsächlichen Anwendungsmöglichkeiten vor allem an langen eingleisigen Strecken, an denen keine konventionelle Signalausrüstung besteht oder diese aus Kostengründen ersetzt werden soll, und die von einem einzigen Zugleiter gesteuert werden soll.

In Österreich ist ein ähnliches System zur Verbesserung der Sicherheit an Zugleitstrecken durch den Einsatz der Positionsbestimmung mit Satelliten angedacht. Das System wird gegenüber dem SatZB dahingehend vereinfacht, daß keine Steuerungslogik im Fahrzeug implementiert werden muß, um einen Nothalt auszulösen. Bei Befahren eines belegten Streckenabschnitts wird der Fahrzeugführer lediglich durch ein Warnsignal am Führerstand gewarnt. [18]

In den USA sind Eisenbahnfirmen bei Betrieben auf eingleisigen Strecken nach mehreren Zugunglücken dazu verpflichtet worden, ein dem SatZB identisches System zu installieren. Das PTS-System (positive train separation) muß per Gesetz bis 2003 verwirklicht sein. Dazu hat die Regierung Clinton 50 Mrd Dollar zum Aufbau eines D-GPS-Netzes mit Referenzstationen zur Verfügung gestellt, deren Daten von den Eisenbahnunternehmen genutzt werden können. [29]

4.6.3 Nicht sicherheitsrelevante Anwendungen der Satellitennavigation

Neben der Zugsteuerung als Teil der Betriebsleittechnik gibt es im Eisenbahnwesen noch viele weitere Möglichkeiten für den Einsatz eines satellitengestützten Ortungsmoduls, die derzeit untersucht werden.

- Fahrgastinformation

Für die Nutzer des Bahnsystems ist es in vielen Fällen von Vorteil, genaue Ortsinformationen angezeigt zu bekommen. Die von der Satellitennavigation gelieferten Positionsdaten können von einem Rechnersystem einer Betriebsleitzentrale so aufbereitet werden, daß sie den Kunden als Displayanzeigen in den Fahrzeugen und auch an Haltestellen zur Verfügung gestellt werden können. [16] Die Anwendungsmöglichkeiten reichen hier von der Anzeige der Zugposition an einer hinterlegten Streckenkarte über die Berechnung der noch benötigten Fahrzeit zur nächsten Station oder der automatischen Ansage des nächsten Haltes mit Angaben über den Ankunftsbahnsteig und der Ausstiegseite bis hin zu Informationen über Besonderheiten an der Strecke wie etwa Sehenswürdigkeiten, Park&Ride-Plätze oder gar touristische Städteinformationen. Die Anwendung ist dabei nicht auf Schienenfahrzeuge beschränkt. Bei ÖPNV-Gesamtsystemen kann ebenso in Bussen ein solches Ortsinformationssystem eingebaut werden. Beispielsweise haben die Stadtwerke Mannheim in ihren Stadtbahnen und Bussen ein GPS-gestütztes Ortungssystem eingerichtet, das die Datengrundlage der Serviceanzeigen für Kunden ist.⁴¹

Da im Güterverkehr immer seltener große Mengen auf festgelegten Routen zu transportieren sind, sondern vielmehr flexibel auf differenzierte Kundenwünsche eingegangen werden muß, stellt die kontinuierliche Überwachung der Fahrzeuge und Waggonladungen – wie bereits erfolgreich beim LKW-Speditionswesen verwendet – verbesserte Bedingungen für eine effiziente Nutzung der vorhandenen Kapazitäten dar. Fahrzeuge können jeweils auf den schnellsten Wegen zu ihren Einsatzorten gelangen und es sollte der Vergangenheit angehören, daß Züge weite Leerfahrten unternehmen, um Ladung aufzunehmen.

- Betriebsinformation

Nicht allein für die Kunden ist es wichtig zu wissen, wo sich die Fahrzeuge befinden. Der Betreiber kann mit den zur Verfügung stehenden Ortsinformationen seinen Betrieb effizienter regeln, beispielsweise wie hoch der Zeitverlust ist, den Anschluß für einen verspäteten Zug zu gewährleisten. Im Gegenzug kann die Anschlußinformation auch den Kunden in den Fahrzeugen und an den Haltestellen aktuell zur Verfügung gestellt werden. Durch statistische Auswertung der

Pünktlichkeitsverfolgung können Rückschlüsse über zu knappe Fahrplanzeiten oder nicht benötigte Zeitpuffer gewonnen werden.

- Unterstützende Aufgaben im Fahrbetrieb

Beim Fahrbetrieb verlangen Zielbremsungen an Prellböcke oder knapp bemessene Bahnsteiglängen hohe Anforderungen an die Triebfahrzeugführer. Um Fehler zu vermeiden (Aufprall auf Prellbock), gehen die Fahrer oftmals kein Risiko ein und fahren sehr langsam an den Haltepunkt heran. Dabei wird jedoch meist viel Zeit verschwendet, was zu Verspätungen führt. Die Zielbremsung kann durch die genaue Positionierung mit Hilfe von D-GPS technisch unterstützt werden, so daß am Haltepunkt keine Zeitverluste mehr entstehen.

Ein weiterer Einsatz der Satellitenpositionierung zur rationelleren Betriebsabwicklung wäre die Anpassung der Fahrbewegung und der Beschleunigung an das topographische Gelände, um eine möglichst optimale Ausnutzung der Antriebsenergie zu erreichen. Dazu ist ein Betriebsprogramm zu entwickeln, das abhängig von der mit D-GPS-Empfängern bestimmten Fahrzeugposition den jeweils günstigsten Energieeinsatz bestimmt.

Große Schwierigkeiten verursacht derzeit noch die Entwicklung einer komfortablen Steuerung der Neigetechnik-Züge. Bisher ist die Steuerung auf Fliehkraftmesser angewiesen. Die Abstimmung des Auslösens der Wagenkastensteuerung durch eine wahre Kurvenfahrt oder einer kurzzeitigen Seitenbeschleunigung aufgrund von Gleisunregelmäßigkeiten führt bisweilen zu unkomfortablen Fahrverhältnissen. Die Satellitenpositionierung ermöglicht durch Abgleich der Position, der hinterlegten Strecke und der aktuellen Geschwindigkeit eine Neigesteuerung, die der wahren Streckengeometrie entspricht. Somit würden Stöße durch Gleisunregelmäßigkeiten nicht die Wagenkastensteuerung aktivieren, was den Komfort für die Fahrgäste steigern könnte.

- Wartung / Instandhaltung

In regelmäßigen Abständen überprüft die Bahn mit Reperatur- und Meßzügen den Zustand der Strecken. Oberbauschäden, Gleisschäden und auch die Funktion der Sensoren und Zählanlagen werden dabei überprüft. Die festgestellten Schäden müssen lokalisiert werden, was aber derzeit ohne technische Hilfsmittel alleine über den im Fahrzeug vorhandenen Kilometerzähler angegeben werden kann, welcher relativ ungenau arbeitet und daher mit Impulsgebern – verwendet werden dazu die Indusi-Magneten, deren Lage sehr genau bekannt ist – immer wieder

⁴¹In den Fahrzeugen der Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH befindet sich ein ähnlich wie im »RailOrt«-Projekt vorgestelltes Sensorsystem bestehend aus Kreisel und Drehratensensor. Damit werden im Innenstadtbereich Genauigkeiten von etwa 5 Metern erreicht. [16]

zurückgestellt werden muß. Ein Satellitennavigationssystem kann die Ortung automatisch und genau vornehmen, sogar während der Fahrt des Meßzuges. Auf diese Weise erhält man für die Ausbesserung der Streckenschäden bessere Informationen. Die Belegungszeit des Streckenabschnitts wird daher sowohl bei der Überprüfung als auch bei der Ausbesserung reduziert, was die Betriebsstörungen verringert. [39]

Weiterhin besteht die Möglichkeit, durch den Einsatz der Satellitenpositionierung auf den Reperaturzügen die sonst oft auftretenden Schäden an der Verkabelung oder den Sensoren zu vermeiden, da deren genaue Positionen in der Streckendatenbank als Schutz hinterlegt werden können.

5 Wirtschaftlichkeit des Nebenbahnverkehrs

5.1 Konventioneller Betrieb auf Nebenstrecken

Die technische Erneuerung der Bahn mit modernem Gerät soll natürlich neben der Verbesserung der Qualität, der Sicherheit und der Attraktivität des SPNV vor allem die Wirtschaftlichkeit des bisher stark defizitären und daher einem großen Kostendruck ausgesetzten Nahverkehrs erhöhen. Die Frage ist jetzt, inwieweit dies gelingen kann. Die Kostenstruktur für einen Bahnbetrieb setzt sich grob aus den verschiedenen Bereichen zusammen, in welche die ehemalige DB mit der Eisenbahnneuordnung aufgeteilt wurde.

Zum einen ist dies der Bereich Station&Service, d.h. die Unterhaltung der Haltestellen, der Fahrausweisautomaten, die Sauberkeit und Sicherheit der Bahnbereiche. In diesem Bereich steckt bisher sehr wenig Einsparpotential, da eine Reduzierung des Aufwandes eine für die Kunden in den meisten Fällen direkt spürbare Verringerung der Attraktivität wäre.⁴² Dies ist für ein erfolgreich zu betreibendes Dienstleistungsunternehmen kein gangbarer Weg. Bei attraktiverer Gestaltung des Betriebs kommen im Gegenteil eher noch weitere Kosten im Servicebereich auf die Bahnunternehmen zu, als daß Kosten verringert werden können.

Ein weiterer Kostenfaktor ist der Betrieb selbst. Fahrzeuge müssen gekauft und über ihre Nutzungsdauer abgeschrieben werden, sie müssen instandgehalten und gereinigt werden und benötigen Diesel-Kraftstoff oder elektrische Energie zur Fahrt. Dazu kommen noch direkte Personalkosten für Fahrzeugführer und Zugbegleiter. Zudem können geeignete Fahrzeuge nicht gerade als Massenartikel von der Stange gekauft werden. Erst die Entwicklung und der Einsatz von Triebwagen ermöglichte eine Reduktion der Personalkosten, da neben dem Fahrer kein weiterer Zugbegleiter benötigt wird. Nun obliegt es dem Willen des Betreibers, zusätzliche Zugbegleiter einzusetzen, z.B. als Servicekräfte für Fahrgastbetreuung oder für sporadische Fahrausweiskontrollen. Bis zur Einführung eines automatisch-fahrerlosen Betriebs können auf der Betriebsseite keine großen Einsparungen erwartet werden.

Zum Betrieb gehört schließlich noch das Schienennetz. Die Ausstattung des Fahrwegs mit Sicherheitseinrichtungen ist dabei von den betrieblichen Anforderungen (Zughäufigkeit, Fahrgeschwindigkeit) abhängig. Sowohl der funkgesteuerte Fahrbetrieb als auch der Einsatz der Satellitennavigation zielen auf Einsparungen in diesem Bereich der Kosten. Zusätzlich zu den Aufwendungen für die Sicherungstechnik gehören zu den Fahrwegkosten schließlich noch

⁴²Erinnert sei hier an die Einführung der Fahrausweisautomaten an vielen vorher mit Personal besetzten Bahnstationen im ländlichen Raum. Die Einführung brachte zwar den erwünschten Einspareffekt im personellen Bereich, doch wurden viele Fahrgäste durch zu komplizierte Bedienung abgeschreckt.

Unterhaltskosten für den Schienenoberbau, d.h. hauptsächlich für die Instandhaltung von Schotterbett, Gleisen und Schwellen.

Aus den bisher von der DB Regio AG veröffentlichten Zahlen kann man zuerst grob die Größenordnung der Kosten für den SPNV-Betrieb bestimmen. Im Geschäftsjahr 1997 erzielte die DB Regio AG einen Betriebsumsatz von 11 Mrd DM. Die Betriebsleistung dafür lag bei geleisteten 475 Mio Zug-km, was folglich einem Betrag von etwa 23,- DM/Zug-km entspricht. Dabei muß beachtet werden, daß die Umstrukturierung der DB-AG immer noch einen hohen organisatorischen Aufwand verursacht. Für die 475 Mio Zug-km wurden 7,8 Mrd DM an Regionalisierungsmitteln von den Ländern an die DB Regio AG bezahlt, folglich wird der Betrieb der DB Regio AG mit 16,42 DM/Zug-km unterstützt. Vergleicht man dazu den durchschnittlichen Mitteleinsatz für alle SPNV-Leistungen von 15,07 DM/Zug-km (siehe Kapitel 1.5) müßte die DB Regio AG folglich aus der Verbesserung der Organisationsstruktur Kosten einsparen können. Es bleibt festzuhalten, daß der Betrieb auf einem Kilometer Strecke Kosten von durchschnittlich mehr als 20,- DM verursacht.

Von diesen Kosten interessieren uns nun die Anteile der oben genannten Bereiche, vor allem der Anteil der Netzkosten, verursacht durch Leit- und Sicherungstechnik. Aufgrund des Preisbeispiels der DB Netz AG für ihr Trassenpreissystem (die Fahrt eines Interregio-Zuges auf der 416 km langen Strecke Rostock-Berlin-Chemnitz kostet 4537,- DM) ergibt sich ein durchschnittlicher Trassenpreis von etwa 11,- DM [54], d.h. von den gesamten Kosten im Eisenbahnbetrieb beträgt der Netzanteil ungefähr 50%. Erfahrungsgemäß ist dabei der Anteil für Leit- und Sicherungstechnik viel höher einzustufen als die Oberbauinstandhaltung, die beim Nebenbahnbetrieb wegen der geringen Beanspruchungen oft vernachlässigt wird. Die DB Netz AG hat den Aufwand für Leit- und Sicherungstechnik auf der FFB-Pilotstrecke Kaiserslautern - Lauterecken/Grumbach mit 2,6 Mio DM pro Jahr [55] für die jetzigen Betriebsverhältnisse angegeben. Auf dieser Strecke wird mit zwei Triebwagenpaaren, die im Stundentakt verkehren, derzeit eine Betriebsleistung von 273.500 Zug-km/Jahr [15] geleistet, so daß sich als Kosten 9,50 DM/Zug-km ergeben. Die derzeitige Infrastruktur der Leit- und Sicherungstechnik besteht auf dieser Strecke aus einer mechanisch über Drahtzüge betriebenen Weichensteuerung und Signalisierung der Blockabschnitte, örtlich besetzten Fahrdienstleitungen und Bahnhofsstellwerken sowie auch aus mechanischen Schranken als BÜ-Sicherung, die von eigenen Schrankenwärtern bedient werden müssen. Im Grunde ist dies eine typische Nebenbahnausstattung, die auf vielen mit dem Zugmeldeverfahren betriebenen Kilometern in Deutschland anzutreffen ist (vgl. Kap. 1.3).

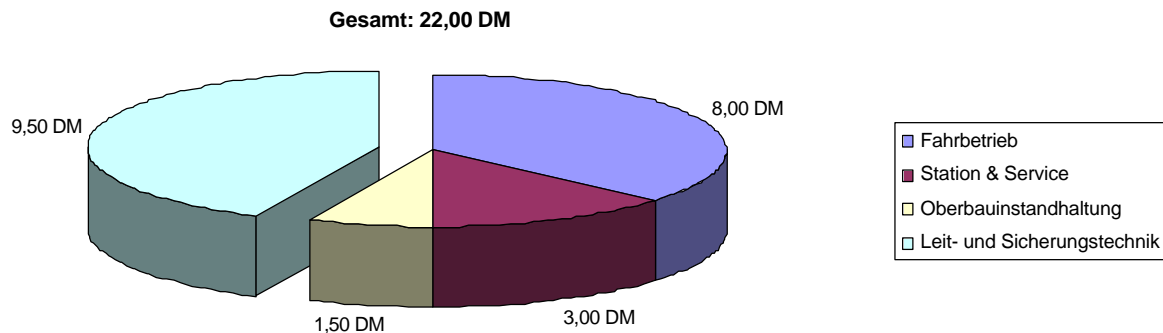


Abb. 12: Kostenaufteilung beim Nebenbahnbetrieb

Einschränkend muß gesagt werden, daß die Kosten für die Netzbenutzung, also Oberbaukosten, Kosten für Leit- und Sicherungstechnik und in gewissem Maße auch die Kosten für Station&Service eigentlich fixe Kosten darstellen und daher ihre Anteile an den Gesamtkosten direkt von der Betriebsleistung abhängen. Würde auf den Nebenstrecken mehr Zugverkehr stattfinden, wären die anteiligen Kosten dementsprechend niedriger. Das Trassenpreissystem der DB Netz AG ist in dieser Hinsicht jedoch anders aufgebaut. Auf Strecken mit nur schwachem Verkehr wird den Verkehrsbetreibern ein günstigerer Preis angeboten. [54] Die Kostendeckung für diese Strecken erreicht die DB Netz AG durch Überschuß auf den vielbefahrenen Strecken.

5.2 Kosteneinsparung durch Einführung des FFB

An dieser Stelle sollten eigentlich die Ergebnisse des Pilotbetriebs auf der FFB-Strecke »Alzeyer Y« dargestellt werden. Laut internen Planungen bei der DB-AG war die Umrüstung der Strecke und die Inbetriebnahme des FFB bereits für Anfang 1998 vorgesehen,⁴³ [48] doch einige bisher noch ungelöste Schwierigkeiten verhindern derzeit die Umsetzung des Konzeptes. Der FFB war auf der »Lautertalbahn« Kaiserslautern - Lauterecken/Grumbach sowie dem Alzeyer Y (bestehend aus den Strecken Gerresheim/Horrweiler - Alzey - Monsheim mit dem Abzweig Mainz - Alzey) als Pilotprojekt einzuführen. Die Ursachen für die Verzögerung liegen vor allem bei der Einrichtung des Funknetzes GSM-R und den bahnspezifischen Forderungen (siehe Kapitel 3.3.2). Weitere Schwierigkeiten bereiten die noch nicht serienreifen Komponenten für Weichen- bzw. Bahnübergangsteuerung sowie die Installation der FFB-Komponenten in den Fahrzeugen, die bei ihrer ursprünglichen Entwicklung nicht für die Aufnahme der nun benötigten Geräte ausgestattet wurden. Systembedingte Schwierigkeiten wie etwa die sichere Steuerung der

Streckenelemente auch bei kurzen Abständen von aufeinanderfolgenden Elementen, verursacht durch die sehr langen Verbindungsaufbauzeiten beim GSM-R, haben ebenfalls zu Verzögerungen geführt. Gelöst wird dies entweder durch die Installation von zwei unabhängig voneinander arbeitenden GSM-Sendern im Fahrzeug, mit intelligenter Steuerung an den Elementen (verzögerte Ausführung eines früher ausgesandten Stellbefehls [23]) oder auch durch zusammengefaßte Gruppensteuerung der eng aufeinanderfolgenden Streckenelemente. [30] Derzeit gibt die zuständige Niederlassung Südwest der DB Netz AG eine früheste Betriebsaufnahme zur Jahresmitte 2000 an, wobei dieser Termin aber eher nach hinten verschoben werden muß.

Mittlerweile hat deshalb die von Siemens Verkehrstechnik auszurüstende Strecke Bielefeld - Dissen/Bad Rothenfelde gute Chancen, als erste FFB-Strecke in Betrieb zu gehen. Diese Strecke soll ein Beitrag zum EXPO-2000 Themenkreis »Verkehrskonzepte für das nächste Jahrtausend« sein und daher zum Fahrplanwechsel im Juni 2000 den Betrieb aufnehmen.

Genauso ungelöst ist die derzeitige Situation, wer in den Genuß der erhofften Einsparungen kommt. Die DB Netz AG beabsichtigt, die reduzierten Netzkosten nicht an die Betreiber weiterzuleiten, mit der Begründung, die derzeitigen Trassenpreise seien ohnehin nicht kostendeckend gewesen. Dagegen müssen die Betreiber bei Nutzung einer für FFB ausgerüsteten Strecke ihre Fahrzeuge mit den FFB-Komponenten ausstatten, was nicht unerhebliche Kosten bei der Installation verursacht. Für die Betreiber von Schienenverkehren, allen voran für die DB Regio AG, wäre deshalb eine Reduzierung des Trassenpreises vorteilhaft für die Betriebsgestaltung. Die Verkehrsunternehmen wären in der Lage, ihre Verkehrsleistung kostengünstiger zu produzieren, was bei gleichem Geldmitteleinsatz mehr Verkehr ermöglichen würde und damit letztlich auch der DB Netz AG zugute kommen würde.

Für das Einsparpotential des FFB jedenfalls rechnet die DB Netz AG mit einem Anteil von gut 30% der gesamten Betriebskosten, was eine Einsparung von etwa 7,- DM/Zug-km bedeutet. Errechnet wurde dies auf einer Prognose der FFB-Kosten der Lautertalbahn. Beim bisherigen Betrieb machte die Leit- und Sicherungstechnik noch einen Anteil von 9,50 DM an den Betriebskosten aus (voriges Kapitel). Für die Betriebsleistung von 273.500 Zug-km im Jahr wird mit FFB-Kosten von nur 700 TDM/Jahr gerechnet [55], was dem um knapp 7,- DM/Zug-km geringeren Anteil von gerade 2,55 DM/Zug-km entspricht. Vor allem wird die Belastung des bisherigen Zugmeldebetriebs durch den hohen Personalbedarf reduziert:

⁴³Im Jahr 1997 wurde die Firma Adtranz beauftragt, die Umrüstung der Strecken in die Wege zu leiten. Bisher wurden nach Augenschein lediglich Bahnstationen punktuell modernisiert.

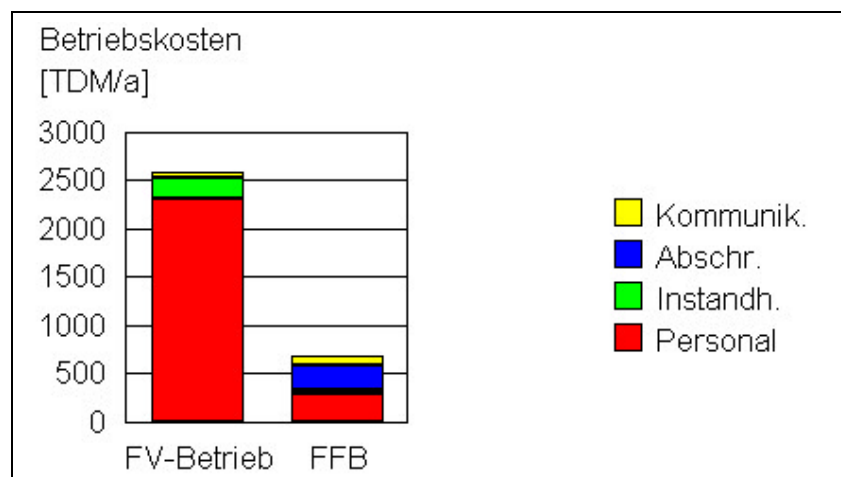


Abb. 13: Kostenverteilung bei den Betriebsweisen FV-Betrieb (Zugmeldebetrieb) und FFB [55]

Die nötigen Investitionen in die Umrüstung der Strecke für FFB sind abhängig vom derzeitigen Zustand und bewegen sich zwischen 130 und 250 TDM/km. Für die etwa 35 km lange Lautertalbahn betragen sie insgesamt 7 Mio DM, die sich wie folgt aufschlüsseln:

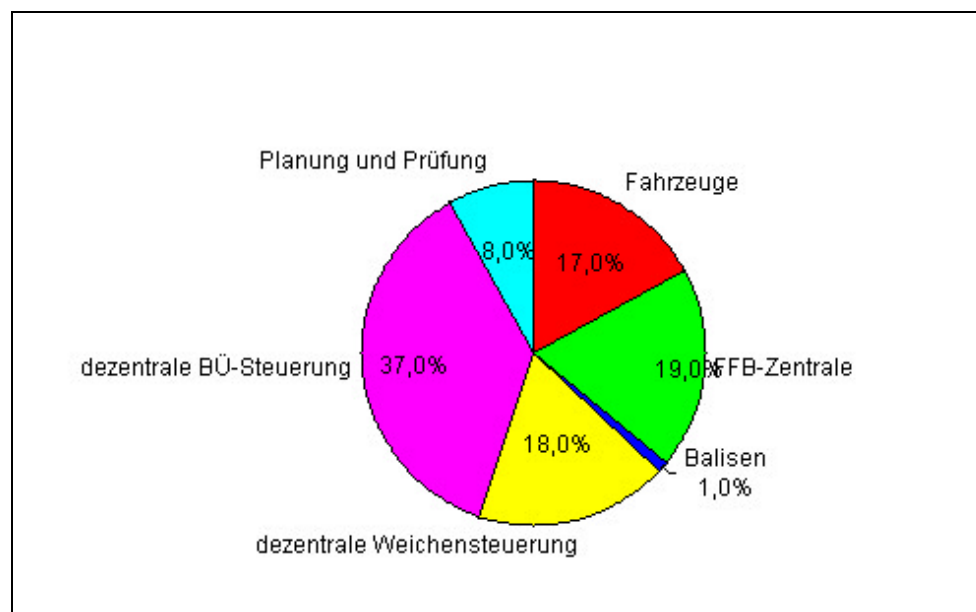


Abb. 14: Kostenaufschlüsselung bei Einrichtung des FFB [55]

Diese Kosten beziehen sich auf 4 verwendete Fahrzeuge, 9 funkgesteuerte BÜ, 10 funkgesteuerte Weichen sowie der Ersatz von 8 bisherigen Weichenanlagen durch den Einbau von Rückfallweichen. Die zulässige Streckengeschwindigkeit kann mit der Installierung der neuen Sicherheitseinrichtungen von 60 auf 80 km/h erhöht werden.

Die DB Netz AG hat weitere Möglichkeiten, die Kostensituation günstiger zu gestalten, erkannt. Die Konzeption „Netz 21“, die im Juli '99 von der DB-AG beschlossen wurde, enthält dazu wesentliche Ansatzpunkte:

- Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Schienenstrecken durch Entmischung des Verkehrs⁴⁴ bei gleichzeitiger Einsparung überflüssig gewordener Überholmöglichkeiten,
- Festlegung der Streckenstandards, um nur die benötigte Sicherungstechnik zu installieren,
- Einrichtung moderner Leit- und Sicherungstechnik

Zusammen mit der Einrichtung des FFB wird die Streckeninfrastruktur auf das Nötigste zurückgebaut. [44] Weichen und Gleisabschnitte werden ebenso entfernt wie Gleisanschlüsse für Stückgutverkehr, die an den meisten Bahnhöfen seit Jahren nicht mehr benutzt werden. Dies allein bewirkt bereits eine Reduzierung von Unterhaltskosten bei der DB Netz AG. Zusätzlich wird die Ausrüstung für den FFB einfacher, da nicht die komplette derzeitige Strecke mit Funksteuerung oder Balisen ausgestattet werden müsste bzw. in der Streckendatenbank erfasst werden müsste.

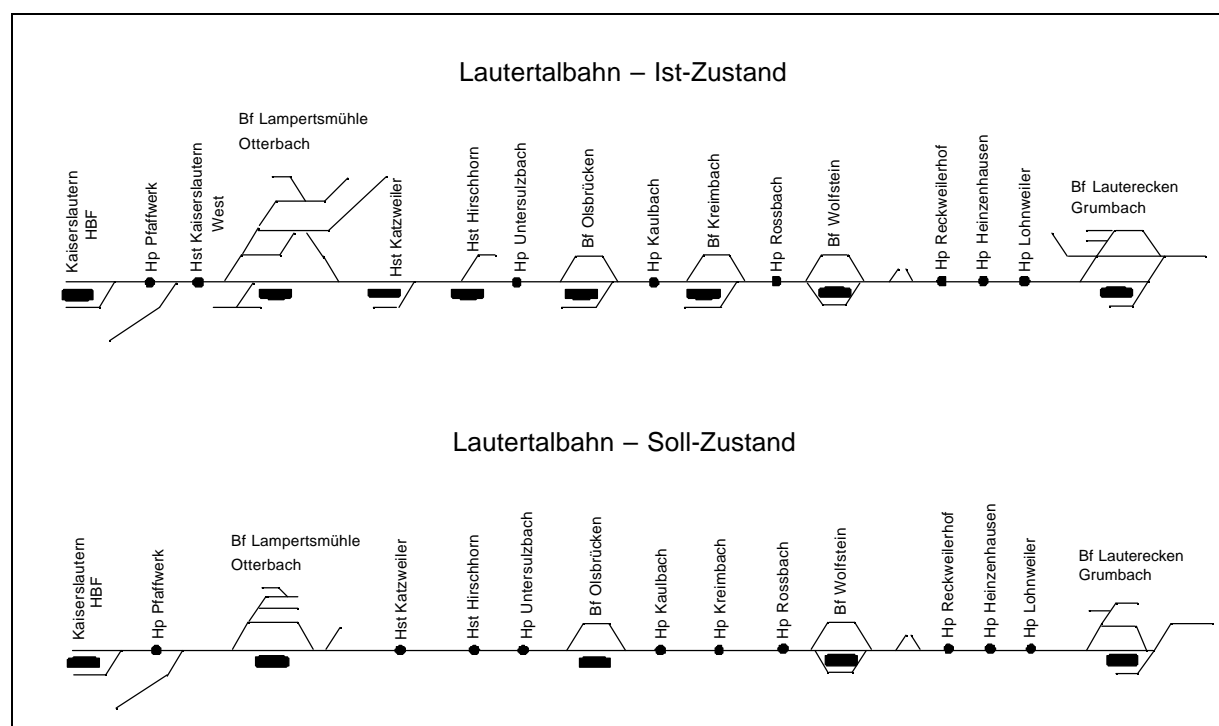


Abb. 15: Lautertalbahn - Rückbau von 10 Weichen und dazugehörigen Gleisanlagen [55]

Dazu kommen noch Kosten für die Modernisierung der Bahnanlagen. Die Einrichtung des FFB soll nicht nur den Ersatz der bisherigen Sicherungstechnik beinhalten, sondern wird zusammen mit einem Maßnahmenpaket zur attraktiveren Gestaltung des SPNV anhand einiger in Kapitel 2 beschriebener Kriterien als „Bahnsystem Regionalstrecke“ entworfen.

⁴⁴Auf dem „artreinen“ S-Bahnabschnitt Stgt.-HBF - Schwabstraße wird zur Hauptverkehrszeit eine Zugfolge von 2½ Minuten realisiert. Die minimale Zugfolge, die in der Regel auf Bahnstrecken vorzufinden ist, ist sonst nicht unter 5 Minuten vorzufinden.

6 Reaktivierung einer Schienennebenstrecke mit satellitengestütztem Funkfahrbetrieb

Die günstige Gestaltung des SPNV auf Schienennebenstrecken mit Hilfe von Funksteuerung der Streckenelemente und Entfall der streckenseitigen Sicherungstechnik durch die Betriebsform FFB wurde im Kapitel 5 grob dargelegt. Der FFB kann darüberhinaus noch günstiger betrieben werden, sollte die Ortungsplattform – bestehend aus streckenseitig installierten Balisen, Balisenlesegerät und Odometer – günstig ersetzt werden können durch eine dem »RailOrt«-Projekt (Kapitel 4.6.1) ähnliche satellitengestützte Ortungsplattform. Die Kombination aus FFB und Satellitenortung scheint die einzige sinnvolle Anwendung für die Satellitenortung zu sein. Denn nur wenn ein Gerät der FFB-Fahrzeugkomponenten (Kapitel 3.2.2) komplett ersetzt werden kann, führt eine Konzeptänderung am FFB zu tatsächlichen Einsparungen.

Bei der Wiederaufnahme eines stillgelegten Betriebs kommen auf das Bahnunternehmen jedoch weitere Ausgaben als die Einrichtung der FFB-Komponenten hinzu. Beispielhaft soll dies an der »Zabergäubahn« Lauffen/Neckar - Leonbronn erläutert werden.

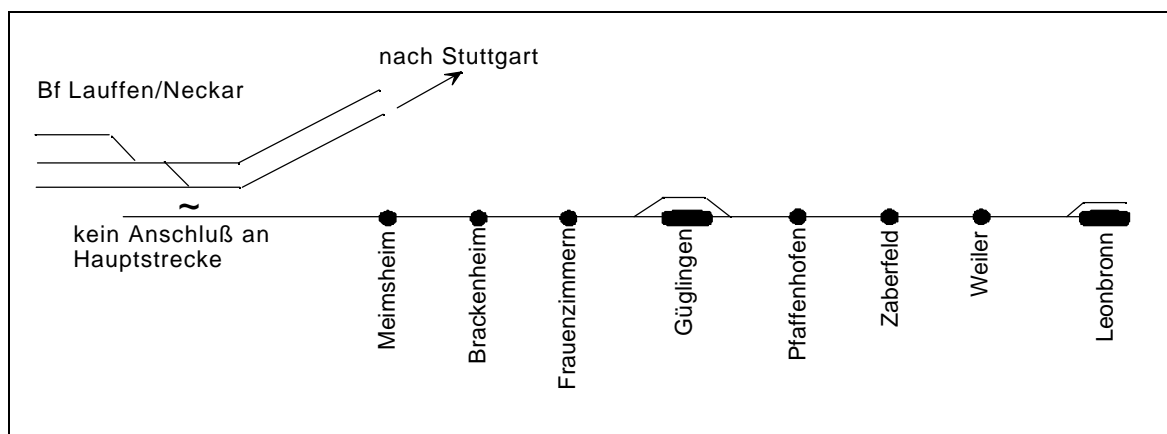


Abb. 16: Derzeitige Streckencharakteristik der Zabergäubahn

Die Kosten werden mit Erläuterungen am Beispiel der »Schönbuchbahn« (Anhang: »Schönbuchbahn«: Durchgeführte Baumaßnahmen) abgeschätzt. Zum einen sind dies bauliche Maßnahmen an der stillgelegten Strecke, um einen betriebsfähigen Gleis- und Oberbauzustand wiederherzustellen. Die Zabergäubahn muß für einen Betrieb komplett saniert werden, da sie ganz stillgelegt ist und auch nicht für gelegentliche Güterverkehre instandgehalten wird. Gleise sind abmontiert bzw. mit Containern und sonstigen Gegenständen belegt oder wegen zu starken Pflanzenbewuchses nicht mehr zugänglich. Die Sanierungskosten bei der Schönbuchbahn betragen knapp 3 Mio DM für die 17 km lange Strecke. Die Zabergäubahn ist insgesamt 20,3 km lang, so daß die etwas aufwendigere Sanierung mit höheren Kosten etwa 5 Mio DM ausmachen

dürfte. An der Bahn sind keine großen Kunstbauwerke wie Brücken, Viadukte an Hängen oder Tunnel vorhanden.

Dazu kommt noch der nötige Gleisanschluß an die Strecke Stuttgart - Heilbronn, der mit der damaligen Streckenstilllegung abgebaut wurde. Die Weichenanlage (150.000 DM) und das Einfahrsignal (250.000 DM) werden vom Streckenstellwerk aus gesteuert, da der funkgestützte Fahrbetrieb spätestens am Zusammenschluß der beiden Strecken endet.

Ebenso müssen die Haltestellen hergerichtet bzw. auch ganz neu eingerichtet werden. Die Ortschaften an der Bahn sind für eine direkte Erschließung durch die Bahn hervorragend angelegt, d.h. die bisherigen Haltestellen sind für die Einwohner gut erreichbar. Einzig die Ortschaft Güglingen ist stark entlang der Bahnlinie in westliche Richtung gewachsen, so daß ein zusätzlicher Haltepunkt „Güglingen - West“ sinnvoll erscheint. Wegen der etwas seltsamen Taktfolge der Züge von und nach Stuttgart bzw. Heilbronn am Bahnhof Lauffen (Anhang: Linienführung und Fahrplan Lauffen - Leonbronn) ist die bisherige Ausweichstelle Güglingen für den neuen Betrieb nicht optimal. An die Fahr- und Haltestellenzeit angepaßt ergibt sich der neue Ausweichbahnhof an der Haltestelle Pfaffenhofen. Dabei genügt es, Rückfallweichen einzusetzen, da keine Güterverkehre auf der Strecke stattfinden und daher keine Überholungen ermöglicht werden müssen. Der Endbahnhof Leonbronn wird ebenfalls zweigleisig ausgerüstet, jedoch ist hier ein ferngesteuertes Weichenpaar nötig.

Am Endbahnhof Leonbronn wird eine Fahrzeug-Reperatur- und Wartungshalle errichtet, an die die FFB-Zentrale angeschlossen werden kann. Die DB Netz AG rechnet für eine FFB-Zentrale mit Kosten von etwa 1,3 Mio DM, dagegen hat die Fahrzeug- und Betriebshalle der Schönbuchbahn etwa 2 Mio DM gekostet, so daß die Betriebshalle in Leonbronn nicht mehr als 2,5 Mio DM ausmachen dürfte.

Schließlich kommt noch die FFB-Steuerung der Bahnübergänge hinzu. Die Übergänge sind mit elektrischer Steuerung, Lichtzeichen und Halbschranken auszurüsten. Die Installation der FFB-BÜ dürfte erheblich günstiger ausfallen als die herkömmliche Sicherung über Einschaltpunkt und Rückmeldeanlage über Signal und Ausschaltensor. Daher sollten 14 an der Strecke liegende BÜ etwa Kosten von je 300.000 DM verursachen. Zwei jeweils dicht auf einen weiteren BÜ folgende Übergänge können wahrscheinlich geschlossen werden und der Straßenverkehr auf den verbleibenden BÜ abgewickelt werden. Im Sinne einer weiteren Reduzierung der hohen Investitionskosten sollten im Einzelfall alle BÜ auf ihre absolute Notwendigkeit überprüft werden.

Als Fahrzeuge werden zwei Triebwagen und ein Reservefahrzeug benötigt, mit dem zur Spitzenzeit eine Doppeltraktion gefahren werden kann. Fällt ein Fahrzeug längerfristig aus, kann

der Betrieb dennoch aufrechterhalten werden. Die Bahnsteiglängen müssen nur an die mögliche Doppeltraktion angepaßt sein. Prinzipiell kommen alle Fahrzeuge in Betracht (Anhang: Nebenbahnfahrzeuge). Gewählt wird für den Betrieb daher das neueste Produkt, der Nebenbahntriebwagen der DB-Baureihe 640 von Alstom. Die Anschaffungskosten liegen bei etwa 3 Mio DM pro Fahrzeug.⁴⁵ Dazu kommt noch die nötige FFB-Ausrüstung, die von der DB Netz AG mit 300.000 DM pro Fahrzeug angegeben wird (Kapitel 5.2). Eingespart wird dabei die FFB-Ortungsplattform für geschätzte 77.000 DM. [46] Dagegen wird eine satellitengestützte Ortungsplattform eingebaut, bestehend aus GPS-Empfänger, 2m-Funk-Empfänger für Korrekturdatenempfang und dem Inertialsystem, bestehend aus Pendel-Beschleunigungsmesser und Drehratensensor. Hochwertige GPS-Empfänger sind bereits für unter 5.000 DM zu haben, der Funkempfänger macht zusätzlich 2.000 DM aus und das »RailOrt«-Projekt hat gezeigt, daß bereits »low-cost«-Sensoren für das Inertialsystem ausreichende Dienste leisten. Daher sollte das ganze Ortungsmodul nicht über 50.000 DM kosten, so daß knapp 30.000 DM an der FFB-Fahrzeugausrüstung eingespart werden können.

Maßnahmen:	Kosten:
Streckensanierung (20,3 km Strecke)	5.000.000 DM
Gleisanschluß an Hauptbahn Stuttgart - Heilbronn (Signal + Weiche)	400.000 DM
7 Zwischenhaltepunkte, Bahnsteigerneuerung (Einstiegshöhe, Doppeltraktion)	1.750.000 DM
Ausrüstung der Bahnsteige mit Fahrausweisautomaten	700.000 DM
Ausweichanschlußstelle Pfaffenhofen, Rückfallweichen, Mittelbahnsteig	700.000 DM
Endbahnhof Leonbronn, 2 funkgesteuerte Weichen, zweigleisig, Außenbahnsteige	700.000 DM
Betriebshalle und FFB-Zentrale	2.500.000 DM
14 BÜ-Sicherungen mit Lichtzeichen, Halbschranken und FFB-Steuerung	4.200.000 DM
3 Fahrzeuge Alstom BR 640	9.000.000 DM
FFB-Ausrüstung der Fahrzeuge	810.000 DM
Gesamtinvestitionen:	25.760.000 DM

Der einzurichtende Betrieb richtet sich nach den Fahrplangegebenheiten in Lauffen/Neckar. Die Fahrzeit von Lauffen nach Leonbronn wird idealisiert unter folgenden Annahmen errechnet:

- Triebwagenbeschleunigung von 0 auf 80 km/h in 45 Sekunden auf einer Fahrstrecke von 500 Metern
- Abbremsen an Haltestelle von 80 auf 0 km/h in 30 Sekunden auf einer Fahrstrecke von 400 Metern
- Fahrt zwischen den Haltestellen ohne Hinnahme von Langsamfahrstellen mit der Streckenhöchstgeschwindigkeit 80 km/h
- Haltestellenaufenthalte bis zu einer „runden“ Sekundenzeit (15, 30, 45, volle Minute), jedoch mindestens 20 Sekunden

⁴⁵Die Fahrzeugkosten für den Adtranz-RegioShuttle bei der Betriebseinführung der Schönbuchbahn waren etwa 1 Mio DM pro Fahrzeug günstiger. Der RegioShuttle ist aber keineswegs konkurrenzlos günstig, vielmehr gewährte Adtranz zur Einführung der Fahrzeugserie große Rabatte für die ersten Besteller.

Hinfahrt	Streckenlänge	Fahrzeit	Ankunft	Abfahrt	Rückfahrt	Streckenlänge	Fahrzeit	Ankunft	Abfahrt
Lauffen				0'00''	Leonbronn				0'00''
	5,2 km	270''				2,5 km	147''		
Meimsheim			4'30''	5'00''	Zaberfeld			2'27''	3'00''
	2,2 km	134''				2,0 km	125''		
Brackenheim			7'14''	7'45''	Weiler			5'05''	5'30''
	2,8 km	161''				1,4 km	98''		
Frauenzimmern			10'26''	11'00''	Pfaffenhofen			7'08''	7'30''
	1,6 km	107''				1,8 km	116''		
Güglingen			12'47''	13'15''	Güglingen - West			9'26''	10'00''
	0,8 km	75''				0,8 km	75''		
Güglingen - West			14'30''	15'00''	Güglingen			11'15''	11'45''
	1,8 km	116''				1,6 km	107''		
Pfaffenhofen			16'56''	17'30''	Frauenzimmern			13'32''	14'00''
	1,4 km	98''				2,8 km	161''		
Weiler			19'08''	19'30''	Brackenheim			16'41''	17'15''
	2,0 km	125''				2,2 km	134''		
Zaberfeld			21'35''	22'00''	Meimsheim			19'29''	20'00''
	2,5 km	147''				5,2 km	270''		
Leonbronn			24'27''		Lauffen			24'30''	

Tabelle: Fahrzeitenübersicht auf der Strecke Lauffen - Leonbronn

Die Fahrten auf dieser Strecke müssen an die Fahrplankonstellation in Lauffen angepaßt werden (siehe Anhang: Linienführung und Fahrplan Lauffen - Leonbronn). Damit kann ein sinnvolles Betriebsprogramm von 17 Fahrzeugumläufen pro Tag gefahren werden. Zu untersuchen ist, ob auch ein Wochenendverkehr von einer großen Zahl von Fahrgästen gewünscht wird, ansonsten kann das Betriebsprogramm auf Werktagen beschränkt werden. Bei 255 Werktagen im Jahr wird somit eine Betriebsleistung von 176.000 Zug-km pro Jahr erreicht.

Die Investitionen alleine sagen noch nichts über die Wirtschaftlichkeit des Betriebsprogramms bei der Reaktivierung der Strecke aus. Hierfür müssen noch die laufenden Betriebskosten abgeschätzt werden. Da sich bei Fahrzeugbetrieb, Gleis- und Haltestelleninstandhaltung auch beim beabsichtigten satellitengestütztem FFB gegenüber dem normalen Betrieb nichts ändert, können deren Kosten von etwa 12,50 DM/Zug-km (Kapitel 5.1) übernommen werden. Für die Leit- und Sicherungstechnik dagegen werden folgende Kosten angesetzt:

- Die Besetzung des Fahrdienstleiter-Arbeitsplatzes verursacht Personalkosten von 91.000 DM/a. [56]
- Der Kommunikationsumfang der Fahrzeuge mit den Streckenelementen bzw. der FFB-Zentrale (28 BÜ, 4 Weichen und 6 Positionsmeldungen pro Umlauf) beträgt (28 ·

$20 \text{ sek} + 10 \cdot 5 \text{ sek}$ ⁴⁶ · 34 Fahrten/Tag · 255 Tage = 88.145 Minuten pro Jahr.
 Angenommene Kommunikationskosten sind 0,20 DM/Minute.

- Die installierte Sicherungstechnik an den BÜ macht etwa 30% der Gesamtinvestitionskosten aus. BÜ werden auf 25 Jahre abgeschrieben. [56]
- Weichenanlagen sind nach 20 Jahren abgeschrieben, wobei ein Restwert von 38% bleibt. [56]
- Die Unterhaltskosten der BÜ-Sicherungstechnik belaufen sich auf 7% der Investitionskosten. [56]
- Der Unterhalt von Weichen beträgt 3,5% der Investitionskosten. [56]

Personalkosten		91.000 DM/Jahr
Kommunikationskosten	0,20 DM/Minute · 88.145 Minuten/Jahr	17.629 DM/Jahr
Abschreibung BÜ-Sicherung	30% · 4.200.000 DM / 25 Jahre	50.400 DM/Jahr
Unterhalt BÜ - Sicherung	30% · 4.200.000 DM · 7%/Jahr	88.200 DM/Jahr
Abschreibung Weichenanlagen	$(1 - 38\%) \cdot 650.000 \text{ DM}$ ⁴⁷ / 20 Jahre	20.150 DM/Jahr
Unterhalt Weichenanlagen	$(1 - 38\%) \cdot 650.000 \text{ DM} \cdot 3,5\%/Jahr$	14.105 DM/Jahr
Gesamtkosten:		281.484 DM/Jahr

Der einzige Kostenpunkt, der bisher nicht erwähnt wird, ist der Unterhalt sowie die Abschreibung der FFB-Zentrale. Sieht man die errechneten jährlichen Kosten in Bezug auf die Betriebsleistung, so erscheinen auch die 1,60 DM/Zug-km (281.484 DM / 176.000 Zug-km) im Vergleich mit den FFB-Kosten der Lautertalbahn von 2,55 DM/Zug-km sehr niedrig. Doch für die Kostenberechnung für die FFB-Zentrale gibt es derzeit noch keine ähnlich gültigen Kostensätze aus der standardisierten Bewertung für ÖPNV-Vorhaben. Nimmt man für die Betriebskosten der Leit- und Sicherungstechnik letztlich einmal einen Betrag von 2,50 DM/Zug-km an, so ergeben sich Gesamtbetriebskosten von insgesamt 15 DM/Zug-km bzw. 300 DM pro Fahrt. Eigenwirtschaftlich zu betreiben ist ein solcher Betrieb folglich, wenn bei einem durchschnittlichen Fahrpreiserlös von 2,50 DM pro Fahrgast⁴⁸ 120 Fahrgäste jedes Fahrtangebot nutzen. Täglich müssten damit mehr als 4.000 Fahrgäste befördert werden, was angesichts der geringen Größe der an der Bahnlinie liegenden Ortschaften eher unwahrscheinlich ist. Will man auf der Zabergäubahn aber nur den derzeit üblichen Kostendeckungsgrad der Verkehrsunternehmen von etwa 30% erreichen, so wären über 1.200 Fahrgäste täglich erforderlich.

Die Berechnung bzw. die Kostenabschätzung wurde von mir eher willkürlich an der Bahnverbindung Lauffen - Leonbronn durchgeführt. Prinzipiell gelten die Vergleichszahlen ungefähr für jeden anderen stillgelegten Streckenast ähnlich. Unabhängig von einer Verkehrsmengenprognose über Sinn oder Unsinn einer Reaktivierung der Zabergäubahn wäre

⁴⁶Bei Bahnübergängen wird die Verbindung solange aufrechterhalten, bis der Zug den BÜ verlassen hat und damit den Stellbefehl zum Öffnen des BÜ gibt. Wegen der langen Verbindungsaufbauzeiten lohnt es sich nicht, die Verbindung zu unterbrechen. Weichenstellbefehle und Positionsmeldungen sind nur kurze Datenprotokolle, so daß eine Verbindungszeit von rund 5 Sekunden großzügig angenommen wird.

⁴⁷Weichenanlagen: 2 Rückfallweichen á 100.000 DM. 3 elektrische Weichen á 150.000 DM

diese Strecke jedoch für einen Satelliteneinsatz hervorragend geeignet. Nur zu Beginn, am Abschnitt zwischen Lauffen und Meimsheim, durchquert die Bahn ein Waldgebiet, so daß dort mit Satellitensignalabschattungen zu rechnen ist. Dieser Bereich wird jedoch durch das Einfahrtsignal am Bahnhof Lauffen sowieso auf herkömmliche Weise gesichert. Gleichzeitig ist kein BÜ in diesem Zwischenbereich vorhanden. Der Satellitenbetrieb könnte somit erst ab dem ersten Zwischenhalt Meimsheim beginnen, von wo an die Bahn in offenem Gelände nach Leonbronn führt. Es werden keine Brücken unterfahren, tiefe Einschnitte durchquert oder Tunnels durchfahren, so daß von sehr guter Satellitenverfügbarkeit ausgegangen werden kann. Ebenso wäre der Betrieb aufwendig genug, um mit dem kombinierten Einsatz der Funksteuerung gegenüber der Stellwerksteuerung eine signifikante Einsparung an den Netzkosten zu erreichen.

⁴⁸Diese Annahme beruht auf den Anteilen der Dauerkartenbesitzer bzw. sonstiger Inanspruchnahme von Vergünstigungen.

7 Ausblick

Die prinzipielle Möglichkeit der Einführung des satellitengestützten Funkfahrbetriebs ist nach Ansicht des Forschungs- und Technologiezentrums der Bahn in München gegeben. [57] Durch die kontinuierliche hochgenaue Positionsbestimmung steht mit der Satellitenortung der bisher für den Einsatz des FFB geplanten Kombination Balise/Odometer ein in der Genauigkeit überlegenes System gegenüber. Dieser Vorteil würde beispielsweise die Abkehr von der festen Blockeinrichtung hin zum Fahren im wandernden Raumabstand ermöglichen. Da dies für einen Regionalverkehr aber nicht sonderlich relevant ist, spielt der Vorteil eine eher untergeordnete Rolle. Die Vorteile des Einsatzes der Satellitentechnik liegen in den günstigen Gerätekosten für die Signal- und Korrekturdatenempfänger und führen zu Einsparungen, je länger und verzweigter das Nebenbahnnetz ist, da die Zahl der Balisen sehr groß wird und auch je größer die gefahrene Betriebsleistung ist, d.h. je mehr Fahrzeuge angeschafft werden müssen. Einschränkungen müssen für die angestrebte Streckenhöchstgeschwindigkeit zugestanden werden, d.h. je größer die Fahrgeschwindigkeit, desto kritischer ist die Anwendung der Satellitenortung. Ein satellitengestützter FFB ist mit den heutigen technischen Möglichkeiten nur für den Betrieb auf Regionalstrecken bis zu Geschwindigkeiten von 120 km/h sinnvoll.

Mit dem Referenznetz SAPOS der Landesvermessungsverwaltungen steht ein Verfahren zur Verfügung, das sehr genaues Navigieren ermöglicht und die Genauigkeitsanforderungen eines Ortungssystems bei der Bahn erfüllen sollte. Mit zunehmender Entwicklung bei der Empfängergerätechnik wird es sogar möglich sein, die Auswertung der Trägermischphase in bewegten Fahrzeugen in Echtzeit nutzen zu können, was letztlich zu Genauigkeiten bis zum Zentimeterbereich führen kann. Die Verfügbarkeit der Satellitensysteme NAVSTAR-GPS und GLONASS sollen zudem verbessert werden, so daß die technischen Fähigkeiten noch lange nicht ausgereizt sind.

Für die Einführung eines satellitengestützten FFB ist es zuallererst jedoch erforderlich, daß Hersteller ein Ortungsmodul entwickeln, welches tatsächlich um einiges günstiger ist als die derzeit geplante FFB-Ortung über Balisenlesegerät und Odometer, die zudem keine Schwierigkeiten hinsichtlich der zulässigen Fahrgeschwindigkeit aufweist.⁴⁹ Sollte sich bis zur Betriebsaufnahme der ersten FFB-Strecken kein entscheidender Durchbruch auf dem Gebiet der Entwicklung von Satellitenmodulen ergeben, so wird wohl der Weg in Richtung Balise als Ortungsplattform bei der Bahn endgültig eingeschlagen sein. Das Marktpotential der FFB-Technik von 15.000 km Strecke, die umgerüstet werden könnten bzw. 7.500 km Strecke, die reaktiviert

⁴⁹Zur Messe Transport '99 in München präsentierte die Firma Tiefenbach ein satellitengestütztes Modul »Alois« (automat. Lokortungs- und Informationssystem) zu einem Preis von 100.000 DM.

werden könnten, dürfte dann zu einem großen Teil für die Satellitenortung verloren sein, da mit der Ausrüstung größerer Netze Synergieeffekte auftreten, die der zuerst eingesetzten Technik wahrscheinlich zu einem uneinholbaren Vorsprung verhelfen würden (gemeinsame Fahrzeugwartung, günstigere Gerätekosten durch Großserien).

Die Genehmigung des Ortungsmoduls als zulässigen sicherheitsrelevanten Baustein im Systemkonzept FFB beim Eisenbahn-Bundesamt bzw. bei den Landesverkehrsbehörden stellt derzeit die größte Hürde für die Einführung der Satellitentechnik dar. Alle bisher durchgeführten Forschungsarbeiten zielen auf eine generelle Lösung der Frage nach der Einsatzfähigkeit eines solchen Systems. Das Forschungs- und Technologiezentrum München arbeitet an der Erstellung eines funktionalen Lastenheftes für die Spezifikation eines sicheren, satellitengestützten Ortungssystems. [17] Da die Lage der Strecke einen großen Einfluß auf die Verfügbarkeit des Satellitensystems hat (Zahl und Häufigkeit der Signalabrisse), macht es aber vielmehr Sinn, für einzelne Strecken zu prüfen, ob das Ortungsmodul den Anforderungen für einen sicheren Betrieb genügt. Daher kann von vornherein die Eignung einer Strecke für satellitengestützten Betrieb nicht ohne weiteres angegeben werden. Zwar ist dies ein durchaus unübliches Verfahren – sicherheitsrelevante Systeme werden in der Regel nur zugelassen, wenn sie unabhängig von den Einsatzbedingungen zuverlässig funktionieren – doch das eigentliche Problem besteht derzeit darin, daß keine genauen Angaben über die Anforderungen an ein Ortungsmodul bekannt sind, sondern nur prinzipielle Angaben, etwa daß das Ortungsmodul jederzeit sicher und zuverlässig seine Aufgaben erfüllen muß. Da aber sowohl die Entwicklung des Moduls mit all seinen Komponenten als auch das Zulassungsverfahren große Mühen und Kosten verursacht und zudem noch mit Unsicherheiten wegen der unklaren Zulassungsverhältnisse belastet ist, schreckt die Eisenbahnindustrie bisher davor zurück, ein zu großes Wagnis bei der Weiterentwicklung der Satellitenortung im Eisenbahnwesen einzugehen. Die DB-AG selbst ist laut eigenen Aussagen derzeit nicht bereit, Sicherheitsverantwortung auf die Satellitennavigation zu übertragen. [57]

Ob mit der Einführung des FFB sowie eines eventuellen satellitengestützten FFB auch die erwarteten Einsparungen bei den Netzkosten erreicht werden, muß bis zur Auswertung der ersten FFB-Ergebnisse abgewartet werden. Vieles hängt von den derzeitigen Gegebenheiten an den Strecken ab. Bei Strecken mit modernen Signalanlagen ist zu prüfen, wann sich die Streckenumrüstung für FFB lohnt. Wenn die Gesamtbetriebskosten aber tatsächlich auf etwa 15,- DM/Zug-km gesenkt werden können – dieser Betrag entspricht alleine dem derzeitigen Zuschuß aus den Regionalisierungsmitteln – so würde dies dem SPNV neue Möglichkeiten eröffnen. Mit den gleichen Geldmitteln könnten viele weitere Zug-Kilometer von den Aufgabenträgern bestellt werden. Ein erweitertes Angebot steigert darüber hinaus in gewissem

Maße auch die Fahrgastzahlen und die Fahrgeldeinnahmen.⁵⁰ Dann werden sogar Wiederinbetriebnahmen von stillgelegten Strecken interessant. Bei Reaktivierungen steht jedoch eine ziemlich hohe und oft zu hohe Anfangsinvestition der Einführung des SPNV im Wege. Schließlich muß noch geprüft werden, ob die Ausweitung des Schienenverkehrs überhaupt die sinnvollste Bedienungsart für den ÖPNV ist. Züge, in denen nur Fahrzeugführer und Zugbegleiter fahren, sind nicht die idealen Verwendungszwecke für öffentliche Gelder.

Neben den zu erwartenden Einsparungen bei den Betriebskosten führt der FFB zu einer Erhöhung des Sicherheitsstandards im SPNV. Dies ist mit der kontinuierlichen Positions- und Geschwindigkeitsüberwachung zu erklären, die gegenüber der bisherigen punktförmigen Zugbeeinflussung und Überwachung durch den Fahrzeugführer weniger Gefahrenbereiche übrig läßt. [48] Die technische Unterstützung des Fahrzeugführers kann sogar mit wenigen notwendigen Zusatzeinrichtungen (Einklemmschutz an Türen, gesicherte Bahnsteigzugänge, eventuelle Absicherung des Fahrwegs) zu einem automatischen und fahrerlosen Betrieb ausgebaut werden. Der Fahrzeugführer hat dann nur mehr die Funktion eines Zugbegleiters, steht den Fahrgästen vermehrt für Serviceleistungen zur Verfügung und stellt auch eine Rückfallebene für den Fall eines Defekts dar. Gerade der spurgebundene Schienenverkehr bietet in dieser Richtung hohe Automatisierungsmöglichkeiten. Einige verwirklichte Projekte (»VAL«/Lille, »Météor«/ Paris, »Dockland Light Rail«/London, »Sky Train«/Vancouver) eines automatischen Fahrbetriebs haben die Realisierbarkeit bereits bewiesen. [52]

Insgesamt steht zum Jahrtausendwechsel eine neue Eisenbahntechnik in den Startlöchern, den Eisenbahnbetrieb zu revolutionieren. Alleine der Startschuß ist noch immer nicht gegeben. Die Abkehr von der herkömmlichen Leit- und Sicherungstechnik über Signale und Stellwerke durch funkgestützte Betriebssteuerung aus Fahrzeugen heraus soll den finanziell defizitären Eisenbahnverkehren zu verbesserter Wirtschaftlichkeit verhelfen. Da aber die Einführung der neuen Techniken derzeit große Schwierigkeiten bereitet und noch ungelöste Probleme aus dem Weg geräumt werden müssen, bleibt vorerst nur abzuwarten, bis die geplanten Projekte umgesetzt werden. In der Zwischenzeit sollte die bisweilen rasante Entwicklung bei den neuen Technologieträgern GSM und auch der Satellitennavigation nicht außer acht gelassen werden und deren Verbesserungen in die aktuellen Planungen mit einbezogen werden.⁵¹

⁵⁰Im Jahr 1996 wurde mit den erstmals ausgezahlten Regionalisierungsmitteln das Angebot um 13% gesteigert. In ähnlichem Umfang stiegen auch die Fahrgastzahlen.

⁵¹Das Europäische Eisenbahnforschungsinstitut ERRI (european railroad research institute) hat seit der Aussage von 1993, die Satellitentechnik sei zu ungenau und zu unsicher verfügbar, keine weiteren Anstrengungen auf diesem Forschungsgebiet unternommen. Daß sich mittlerweile vor allem hinsichtlich der Genauigkeit einiges bewegt hat, wurde (noch) nicht zur Kenntnis genommen.

Anhang

Übersicht stillgelegter Strecken in Deutschland

(Voraussichtlicher Stand zum Fahrplanwechsel Mai1999)

Baden - Württemberg	438,2 km
Bayern	1.160,9 km
Brandenburg	715,9 km
Hessen	549,6 km
Mecklenburg - Vorpommern	304,0 km
Niedersachsen	1.404,3 km
Nordrhein - Westfalen	822,0 km
Rheinland - Pfalz und Saarland	602,6 km
Sachsen	464,4 km
Sachsen - Anhalt	499,3 km
Schleswig - Holstein	212,6 km
Thüringen	335,0 km

Die Zahlen geben die Streckenlänge für den Personenverkehr stillgelegter Strecken an, die noch dem Verkehr gewidmet sind. Es sind nur solche Streckenabschnitte berücksichtigt, die mehr als 5 km Streckenlänge aufweisen. Der Stand bezieht sich auf Angaben der Quellen [13] und [15].

Auflistung stillgelegter Strecken in Baden – Württemberg

Streckenverlauf von:	nach:	Streckenlänge [km]
Walldürn	Hardheim	9,7
Bad Friedrichshall	Ohrnberg	22,6
Möcksmühl	Dörzbach	39,1
Lauffen	Leonbronn	20,3
Rudersberg	Welzheim	12,9
Blaufelden	Langenburg	12,0
Bühl	Stollhofen	11,6
Eyach	Hechingen	27,9
Balingen	Schönberg	12,9
Sindelfingen	Renningen	12,0
Göppingen	Boll	12,2
Gammertingen	Schelklingen	62,7
Biberach	Ochsenhausen	19,0
Schopfheim	Bad Säckingen	15,0
Weila / Rhein	Kander	12,9
Lauchringen	Blumberg - Immendingen	60,0
Stockach	Mengen	39,4
Roßberg	Bad Wurzach	11,0
Altshausen	Pfullendorf	25,0

Übersicht bisher reaktivierter Strecken oder begonnener Wiederinbetriebnahmen

Die aufgelisteten Strecken waren mindestens zwei Jahre ohne Bahnbetrieb, d.h. es fand keine direkte Fortführung eines aufgegebenen DB-Betriebs statt. Die geplanten Inbetriebnahmen sind nach Stand Januar 1999 beschlossene konkrete Projekte.

Streckenverlauf von:	nach:	Streckenlänge [km]	Jahr der Inbetriebnahme
Karlsruhe Nordweststadt	Neureut	2	1986
Friedrichsdorf	Grävenwiesbach	29	1992
Hesedorf	Buxtehude	35	1993
Monsheim	Grünstadt / Ramsen	19	1994 / 95
Weidenberg	Warmensteinach	9	1995
Bretzdorf	Daaden	10	1995
Winden	Bad Bergzabern	10	1995
Oschatz	Kemmlitz	17	1995
Stahringen	Stockach	11	1996
Böblingen	Dettenhausen	17	1996
Roth	Hilpoltstein	11	1997
Winden	Wissembourg (Fkr.)	13	1997
Hinterweidenthal	Bundenthal	15	1997
Volkmarsen	Korbach	25	1998
Kaiserslautern	Enkenbach	13	1998
Entringen	Herrenberg	9	1999
Bad Urach	Metzingen	10	1999
Alzey	Kirchheimbolanden	11	1999
Neumünster	Bad Segeberg	26	1999
Grävenwiesbach	Brandoberndorf	8	2000
Etzenhofen	Lebach	13	2001
Kassell	Hessisch-Lichtenau	24	steht nicht fest

Gesamtsumme der bisher reaktivierten Strecken: 337 km

Angedachte Reaktivierungen in Baden-Württemberg

Vorplanungen von Reaktivierungsprojekten bei Kommunen auf Initiative der Kommunen bzw. Landratsämter. [5]

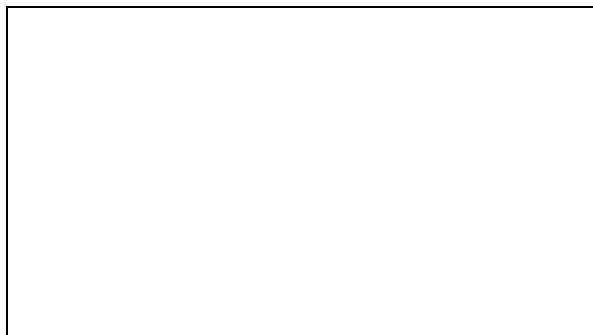
Strecke:	Länge [km]	Infrastrukturträger:
Sindelfingen - Renningen	14	DB-AG
Ludwigsburg - Markgröningen	8	DB-AG
Weil der Stadt - Calw	23	Landratsamt
Rudersberg - Welzheim	13	DB-AG
Müllheim - Mühlhausen (Fkr.)	22	DB-AG / SNCF
Göppingen - Bad Boll	12	DB-AG

Nebenbahnfahrzeuge

Nach Bekanntgabe der beabsichtigten Eisenbahnneuordnung Anfang der 90er und der daraus resultierenden Einführung eines Wettbewerbs im Schienenverkehr erließ der VDV im Jahr 1992 eine Aufforderung an die Schienenfahrzeughersteller, Dieselleichttriebwagen zu entwickeln, die bestimmten Anforderungen genügen sollten, um die in die Jahre gekommenen lokbespannten Züge zu ersetzen, bzw. um einen Fahrzeug-Wettbewerb mit den DB-Fahrzeugentwicklungen (DB-Baureihe 628/928) zu schaffen.

- 70 bis 80 Sitzplätze und 80 bis 100 Stehplätze (4 Personen / m²)
- Gestaltung als Zweirichtungsfahrzeug mit der Möglichkeit, bis zu drei Fahrzeuge mit Einmannbedienung im Verband zu fahren
- eine mittlere Beschleunigung von 0,8 bis 1,0 m/s² möglichst bis 50 km/h
- eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h
- gute Laufeigenschaften wie Stadtbahnwagen auf Eisenbahngleisen mit gut bis mittelmäßig instandgehaltenem Oberbau
- ein möglichst niedriges Gewicht
- eine reduzierte max. statische Prüfkraft in Fahrzeuginnenrichtung von 600 kN
- eine für Stadtbahnwagen geforderte max. Bremsleistung von 2,73 m/s²
- Dieselmotoren, die die (für Eisenbahntriebfahrzeuge nicht geforderten) Emissionsgrenzwerte gemäß den Normen Euro I und Euro II einhalten.
- niedrige Einstiegshöhen, um bestmögliche Anpassung an die niedrige Bahnsteighöhe an Nebenbahnen zu gewährleisten
- behindertengerechte Einstiegsraum- und Fahrgastraumgestaltung
- deutlich niedrigere Kosten für Beschaffung, Betrieb, Wartung und Instandhaltung

Bisher von der DB verwendete Fahrzeugtypen:



DB Baureihe 212 mit Wagenzug

Baujahr ab 1962



DB Dieseltriebwagen BR 628

Baujahr ab 1985 (erste Serie, mittlerweile ist bereits die vierte Serie in Dienst)

Neue Fahrzeugentwicklungen:



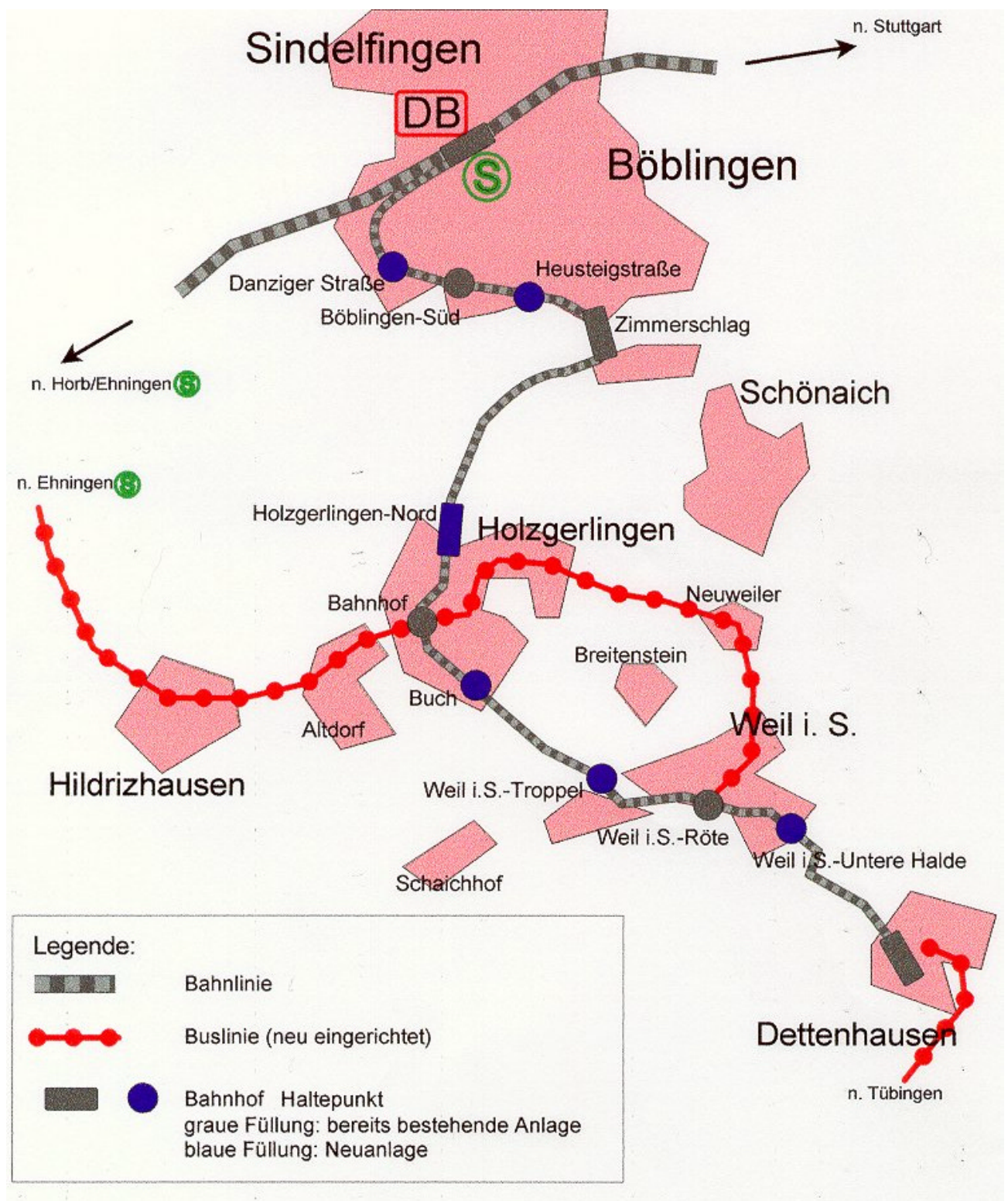
Hersteller:	Siemens - Duewag	Hersteller:	Adtranz - ABB/Henschel
Typ:	RegioSprinter	Typ:	RegioShuttle RS 1
Achsfolge:	A'2'A	Achsfolge:	B'B
Länge:	24.800 mm	Länge [mm]:	24.460 mm
Breite:	2.970 mm	Breite [mm]:	2.900 mm
Gewicht:	31,5 t	Gewicht [t]:	37,7 t
max. Geschwindigkeit:	100 km/h	max. Geschwindigkeit:	120 km/h
Leistung:	2 x 198 kW	Leistung:	2 x 228 kW
max. Beschleunigung:	ca. 1,1 m/s ²	max. Beschleunigung:	ca. 1,05 m/s ²
Sitzplätze:	74	Sitzplätze:	76
davon Klappsitze:	10	davon Klappsitze:	8
Stehplätze:	100	Stehplätze:	105



Hersteller:	GEC - Alstom
Typ:	DB-BR 640
Achsfolge:	B'2
Länge:	27.260 mm
Breite:	2.750 mm
Gewicht:	40,2 t
max. Geschwindigkeit:	120 km/h
Leistung:	315 kW
max. Beschleunigung:	keine Angaben
Sitzplätze:	73
davon Klappsitze:	13
Stehplätze:	79

Hersteller:	Bombardier - Talbot
Typ:	Talent
Achsfolge:	B'2'B
Länge [mm]:	30.710 mm
Breite [mm]:	2.925 mm
Gewicht [t]:	41,0 t
max. Geschwindigkeit:	150 km/h
Leistung:	2 x 257 kW
max. Beschleunigung:	ca. 0,95 m/s ²
Sitzplätze:	84
davon Klappsitze:	16
Stehplätze:	121

»Schönbuchbahn« - Streckenverlauf



Diplomarbeit Werner Lenz

»Schönbuchbahn« - durchgeführte Baumaßnahmen

Bahn - KM	Maßnahmen	Planung	Kosten [DM]
	Streckenausbau / Sanierung		
	Streckensanierung mit Ausbau von 50 km/h auf 80km/h zzgl. Gleiserneuerung	#	2.936.000
	Einrichtung Zugleitfunk	#	45.000
1.305	Fuß- und Radwegunterführung, LW 5,20 m	Sanierung	35.000
1.383	Fußgängerunterführung „Steidach-Leere Wasen“. LW 3,00 m	Sanierung	42.000
2.591	Anschlußgleis der Stadt Böblingen (Fa. Pfinder/Ruckgaberle)	#	0
2.885	Bahnbrücke über „Schönbuchstraße“. LW 13,50 m	Sanierung	90.000
3.493	Bahnbrücke über „Heusteigstraße“. LW 4,50 m	Sanierung	90.000
4.322	Gleisanschluß Fa. Schill&Seilacher	#	0
8.000	Durchlaß Kanalisation in offener Bauweise (Gemeindeangelegenheit)	#	0
8.003	Errichtung Antennenmast mit Richtanlage für Funkanlage	Planzustimmung	21.500
8.796	Unterführung „Turmstraße“. Fuß-, Rad-, Bewirtschaftungsweg	Planfeststellung	921.000
9.904	Straßenunterführung „Südanschluß“ (GVFG-Straße)	Bebauungsplan	0
12.220	Durchlaß herstellen in offener Bauweise (Gemeindeangelegenheit)	#	0
13.324	Straßenbrücke über Bahnlinie (Straßenbauasträger)	#	0
13.600	Leitplanke auf 150 m zur Straßenseite anbringen	#	8.000
14.101	Brücke über Feldweg, LW 5,30 m	Sanierung	115.000
14.190	Brücke über „Schulsteige K 1058“	Planfeststellung	700.000
16.131	Gewölbebrücke über Feldweg und Schaidbach	Sanierung	3.000
16.409	Gleisanschluß Fa. Nau: Rückbau der Weiche	#	0
	Bahnübergangssicherung		
1.082	LZA „Herrenberger Straße B 464“	Plangenehmigung	425.000
1.835	LZA „Maurener Weg“	Plangenehmigung	317.000
2.352	LZA „Tübinger Straße B 464“	Plangenehmigung	332.000
3.308	Fußweg mit Drehkreuz, Umlaufsperr herstellen	Planfeststellung	8.000
4.486	LZA „Im Zimmerschlag“	Plangenehmigung	368.000
4.888	Waldweg, Rückbau auf Fuß-/Radweg, Umlaufsperr	Planfeststellung	15.000
5.557	Wald-Wanderweg, Umlaufsperr nachrüsten	Planfeststellung	15.000
6.000	Forstweg (3,50 m), Schließung	Planfeststellung	17.000
6.735	LZA „Forstweg“ (3,50 m), Zusammenlegung mit Bahn-KM 6.000	Plangenehmigung	312.000
7.516	Feldweg, Fuß-/Radweg mit Umlaufsperr	Planfeststellung	18.000
8.027	LZA „Böblinger Straße K 1001“	Plangenehmigung	672.000
8.674	„Alemannenstraße“, Vollschißung	Planfeststellung	20.000
9.203	LZA „Altdorfer Straße K 1074“	Plangenehmigung	361.000
9.623	Ortsstraße, Vollschißung	Planfeststellung	17.000
10.215	Feldweg, geteert, Vollschißung	Planfeststellung	7.000
10.535	LZA „Tübinger Straße“	Plangenehmigung	362.000
11.935	LZA „Bäumlesweg“	Plangenehmigung	295.000
12.523	LZA „Arthur-Hecker-Straße/Schaichhofstraße K 1062“	Plangenehmigung	363.000
13.675	Fußweg, Umlaufsperr ergänzen	Planfeststellung	15.000
15.148	LZA „Gänsweideweg“	Plangenehmigung	327.000
16.758	„Kuchenäcker-/Bahnhofstraße“, Vollschißung	Plangenehmigung	23.000
16.830	LZA „Brückenstraße“	Plangenehmigung	359.000
	Haltestellen		
	Ausstattung mit Fahrkartenautomaten	#	1.015.000
1.348	Hp. „Danziger Straße“, Anbindung über 2 Fußgängerunterführungen	Planfeststellung	214.000
2.303	Hp. „Südbahnhof“	Planfeststellung	138.000
3.493	Hp. „Heusteigstraße“	Planfeststellung	245.000
4.443	Bhf. „Zimmerschlag“, Bedarfskreuzung und ein Außenbahnsteig	Planfeststellung	354.000
7.874	Bhf. „Holzgerlingen-Nord“, Kreuzungsbahnhof mit Mittelbahnsteig	Planfeststellung	648.000
9.092	Bhf. „Holzgerlingen-Bahnhof“, Rückbau Gütergleis und Außenbahnsteig	Plangenehmigung	267.000
10.900	Hp. „Holzgerlingen-Buch“	Planfeststellung	165.000
12.453	Hp. „Weil im Schönbuch-Tropfel“	Planfeststellung	440.000
13.011	Bhf. „Weil im Schönbuch-Röte“, Rückbau Gütergleis	Plangenehmigung	331.000
13.985	Hp. „Weil im Schönbuch-untere Halde“	Planfeststellung	167.000
16.978	Bhf. „Dettenhausen“, Gütergleis, Gleisanschluß an Werkhalle	Plangenehmigung	493.000
17.171	VT-Halle mit Werkstatt und Betriebsleitung	Planfeststellung	2.200.000

GSM-Services

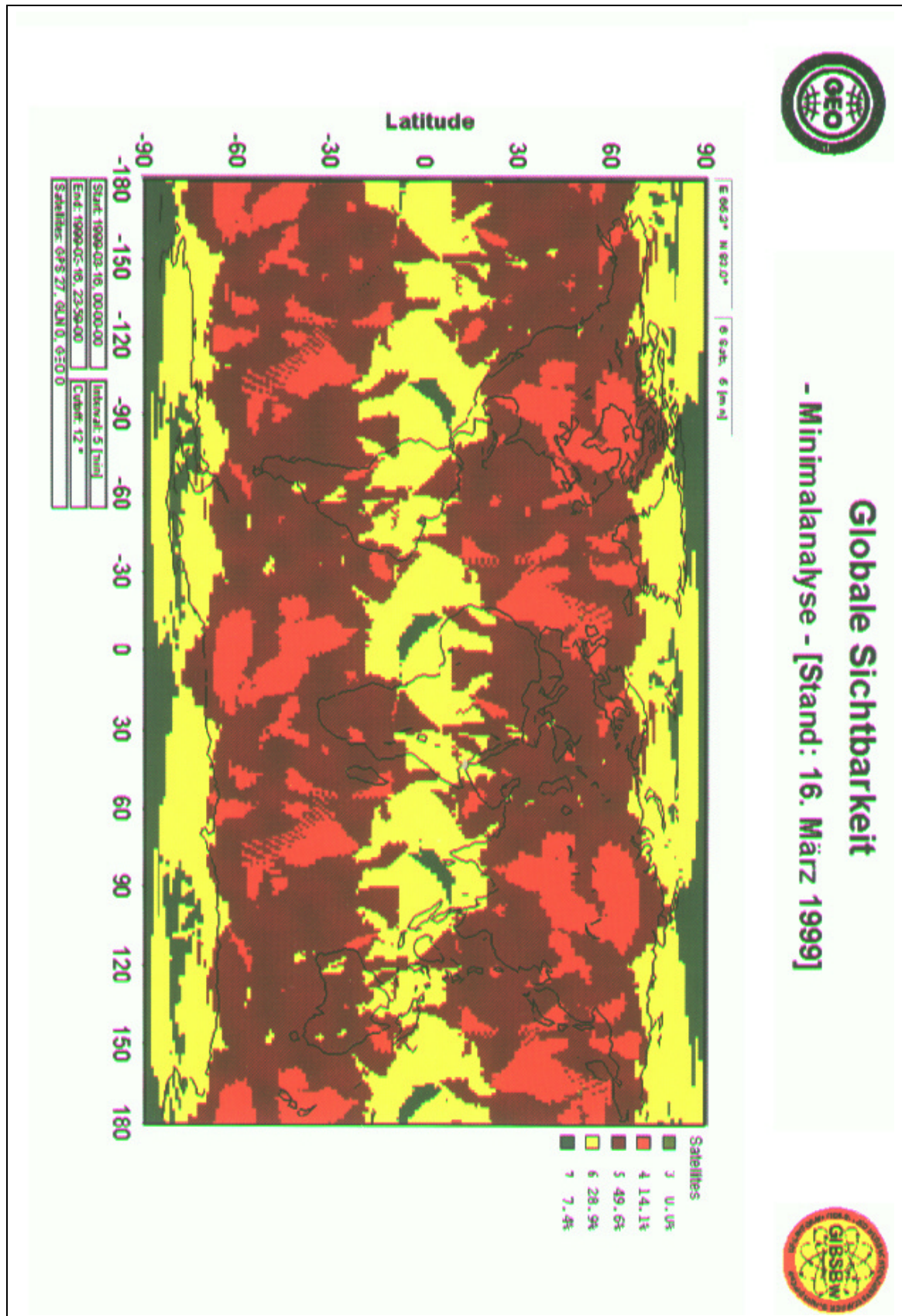
Phase 1:

- Teleservices:
 - Telefon (Sprachübertragung) mit einer Übertragungsrate von 13 kbps (full rate)
 - Notrufe (gebührenfrei)
 - SMS (short message service): Übertragung alphanumerischer Daten
 - Telefax
- Bearer Services (Datenübertragung):
 - asynchronous data (Daten werden als Gesamtpaket verschickt und später Empfangen)
 - synchronous data (Daten werden verschickt und gleichzeitig Empfangen)
 - asynchronous PAD (packet assembler/disassembler)
 - alternate speech and data (während einer Verbindung sowohl Datenübertragung als auch Sprachübertragung im Wechsel möglich)
 - Datenübertragungsrate (full rate) 300 - 9.600 bps
- Supplementary Services (Zusatzdienste):
 - call forwarding (Wahlabbruch bei nicht erreichbarem Empfänger)
 - call barring (Anruf verhindern)

Phase 2:

- Teleservices:
 - Telefon (Sprachübertragung) mit einer Übertragungsrate 6,5 kbps (half rate)
- Bearer Services (Datenübertragung):
 - synchronous dedicated packet data access
 - zur Verfügung stehende Datenkanäle mit Übertragungsraten 2.400 / 4.800 / 9.600 bps (full und half rate)
- Supplementary Services (Zusatzdienste):
 - calling (Anzeige der Freischaltung bzw. Restriktion/nicht Erreichbarkeit)
 - call waiting (während bestehender Verbindung wird zweiter eingehender Anruf registriert)
 - call hold (Anruf kann unterbrochen werden, Verbindung bleibt bestehen)
 - multiparty communication (Gruppenrufe, mehrere Teilnehmer können miteinander kommunizieren)
 - limited access multiparty communication (Gruppenrufe nur für autorisierte Nutzer)

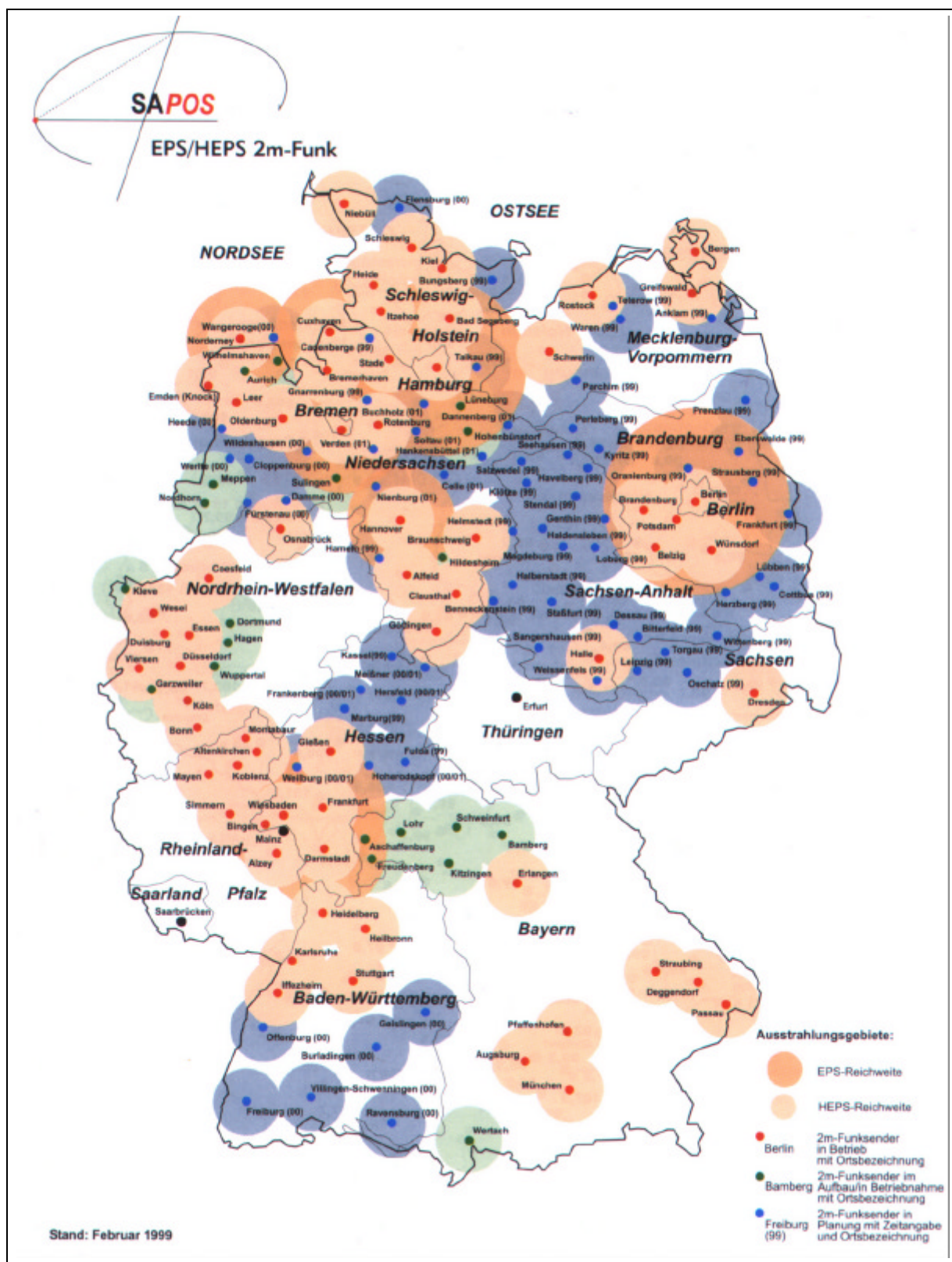
GPS-Verfügbarkeit



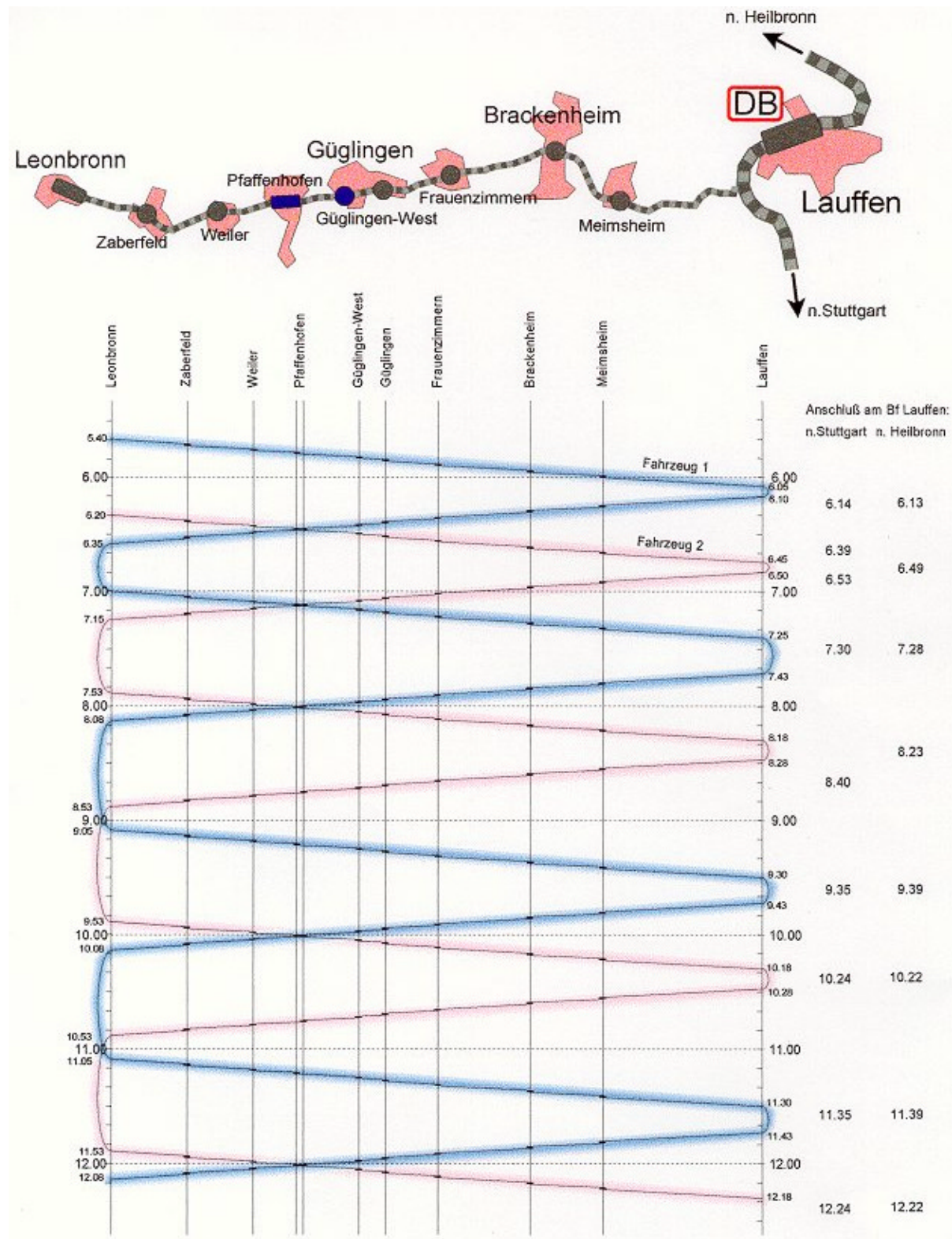
SAPOS - Referenzstationen in Deutschland



SAPOS - 2m-Band - Funkstationen in Deutschland



Linienführung und Fahrplan Lauffen - Leonbronn



Literaturverzeichnis

Buchveröffentlichungen:

- [1] Bauer, Manfred
Vermessung und Ortung mit Satelliten: NAVSTAR-GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme; eine Einführung in die Praxis.
Wichmann Verlag Heidelberg, 1997
ISBN: 3-87907-309-0
- [2] Bennemann, Stefan
Die Bahnreform – Anspruch und Wirklichkeit
Verlagskontor Peter Raulfs, Hannover-Linden, 1994
ISBN: 3-9803262-1-7
- [3] Fenner, Wolfgang und Naumann, Peter
Verkehrssicherungstechnik – Steuern, Sichern und Überwachen von Fahrwegen und Fahrgeschwindigkeiten im Schienenverkehr
Siemens AG Berlin/München (Hrsg.)
Publicis MCD Verlag Erlangen, 1998
ISBN: 3-89578-047-2
- [4] Fiedler, Joachim
Bahnwesen – Planung, Bau und Betrieb von Eisenbahnen, S-, U-, Stadt- und Straßenbahnen.
4. neubearbeitete und erweiterte Auflage
Werner Ingenieur Texte Düsseldorf, 1999
ISBN: 3-8041-1593-4
- [5] Herrmann, M., Schade, D., Schwarzmann, R., Steierwald, M., Steinecke, E., Wienhöfer, E.
Reaktivierungen im Schienenpersonennahverkehr.
Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg (Hrsg.)
Hestra Verlag Darmstadt 1997
ISBN: 3-7771-0276-8
- [6] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Collins, J.
GPS - Theory and Practice
Springer Verlag Wien, 1993
ISBN: 3-211-82477-4
- [7] Liebl, T., Stoffels, W., Krummheuer, E., Eiermann, R., Ruscheweyh, W., Henkel, D., Klippel, S., Lübke, D., Stein, B.
Offizieller Jubiläumsband der Deutschen Bundesbahn 150 Jahre Deutsche Eisenbahn
Eisenbahn-Lehrbuch Verlags-GmbH München, 1985
ISBN: 3-923967-03-9
- [8] Mathes, Andreas
GPS und GLONASS als Teil eines hybriden Meßsystems in der Geodäsie am Beispiel des Systems HIGGINS. Dissertation.
Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayrischen Akademie der Wissenschaften
Verlag der Bayrischen Akademie der Wissenschaften, München, 1998
ISBN: 3-7696-9539-9
- [9] Pacht, Jörn
Systemtechnik des Schienenverkehrs
B.G. Teubner Stuttgart Leipzig, 1999
ISBN: 3-519-06383-2

Diplomarbeit Werner Lenz

-
- [10] Redl, S., Weber, M., Oliphant, M.
An Introduction To GSM
Artech House, Inc. Norwood, Massachusettes, 1995
ISBN: 0-89006-785-6
- [11] Thoma, A., Pätzold, F., Wittenberg, K.-D.
Kommentar zur Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) vom 08. Mai 1967
3. überarbeitete Auflage
Hestra Verlag Darmstadt, 1996
ISBN: 3-7771-0628-7
- [12] Wachinger, Lorenz und Wittemann, Martin
Regionalisierung des ÖPNV – Der rechtliche Rahmen in Bund und Ländern nach der
Bahnreform
Schriftenreihe für Verkehr und Technik, Band 82
Erich Schmidt Verlag GmbH, Bielefeld, 1996
ISBN: 3-503-03560-5
- [13] o. Verf.
Eisenbahnatlas Deutschland
Verlag Schweers und Wall GmbH, Aachen, 1994
ISBN: 3-921679-13-3
- [14] o. Verf.
Jahrbuch des Bahnwesens – Nah- und Fernverkehr Folge 46
Förderkreis des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen, Köln. Verband der
Deutschen Bahnindustrie, Frankfurt/Main (Hrsg.)
Hestra Verlag Darmstadt, 1996
ISBN: 3-7771-0267-9
- [15] o. Verf.
Kursbuch 1999/2000
DB Reise&Touristik AG (Hrsg.)
Stephensonstraße 1, 60326 Frankfurt/Main

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften:

SIGNAL + DRAHT (S+D)

Internationale Fachzeitschrift für Signal- und Betriebsleittechnik, Telekommunikation,
Informations- und Verlaufstechnik im Schienenverkehr

Tetzlaff Verlag GmbH, Hamburg

- [16] Karsten Klatt
Möglichkeiten der GPS-Nutzung für die Betriebsüberwachung und Fahrgastinformation. In
S+D 3/98
- [17] Dirk Leinhos, Franz Klier
Satellitengestützte Ortung bei der Deutsche Bahn AG. In S+D 6/98
- [18] Wolf-Helmut Rahn
Satellitengestützte Leittechnik für einfache Betriebsverhältnisse. In S+D 9/98
- [19] Marko Antscher
GSM-Rail – Eine länderübergreifende Lösung für Bahnkommunikation. In S+D 10/98
- [20] Klaus Mindel
Neuer Ansatz zur Wegmessung bei Schienenfahrzeugen. In S+D 10/98

Diplomarbeit Werner Lenz

-
- [21] Alan Knight, Rainer Klenn
Neue Generation von Mehrabschnitts-Achszählern. In S+D 10/98
 - [22] Joachim Winter
Satellitengestützter Zugleitbetrieb. In S+D 12/98
 - [23] Steffen Henning
Funktionalität von Bahnübergängen im FFB-Netz. In S+D 12/98
 - [24] Klaus Wittmann
GSM-R – Die Einführung digitaler Mobilkommunikation bei den Bahnen. In S+D 12/98
 - [25] Jürgen Haas
GPRS, UMTS, IMT-2000 – Neue Entwicklungen im Mobilfunk. In S+D 12/98
 - [26] Rainer Lasch
GSM-R-Endgeräte für die Bahnen. In S+D 12/98
 - [27] Holm Hofestädt, Reinhard Kraftschik, Peter Sträubler
SIMIS FFB – FunkFahrBetrieb von Siemens für die Deutsche Bahn. In S+D 4/99
 - [28] Jörg Eberitsch, Uwe Stöppel
GSM-R-Terminals. In S+D 4/99
 - [29] Joachim Winter
Satellitengestützte Zugortung – ein Statusbericht. In S+D 6/99
 - [30] Holm Hofestädt, Günter Watzlawik
Kommunikation im FunkFahrBetrieb mit SIMIS FFB. In S+D 6/99
 - [31] Philippe Suzan, Peter Schürmans
Gefahrenraumfreimeldung mit Radarscanner. In S+D 6/99

DER EISENBAHNINGENIEUR (EI)

Internationale Fachzeitschrift für Schienenverkehr & Technik.
Verband Deutscher Eisenbahn-Ingenieure VDEI (Hrsg.)

Tetzlaff Verlag GmbH, Hamburg

- [32] Rainer Knewitz
DIBMOF – Das zukünftige Mobilfunksystem der Bahn. In EI 8/93
- [33] Rainer Knewitz
Führerstandssignalisierung – Das neue Signalsystem der Bahn. In EI 6/95
- [34] Hermann Caesperlein
EIRENE – Integrierendes Funknetz der europäischen Bahnen. In EI 6/95
- [35] Bernhard Ptok
ETCS – Kern des „Europäischen Eisenbahn Verkehrs-Management Systems“. In EI 3/96
- [36] Hans Jacoby
Datenerfassung und -migration für das DB-GIS. In EI 1/97
- [37] Jan-Christian Arms
Dezentrale Intelligenz für Leit- und Sicherheitstechnik – Voraussetzung für funkbasierte Betriebskonzepte. In EI 6/97
- [38] Johann Polz
Möglichkeiten für innovative Lösungen auf Strecken mit einfachen Betriebsverhältnissen. In EI 3/98
- [39] Bernhard Wilms, Werner Krötz

Diplomarbeit Werner Lenz

GPS steuert Schienenpflegesystem. In EI 8/98

EISENBAHNTECHNISCHE RUNDSCHAU (ETR)

Zeitschrift für die gesamte Eisenbahntechnik

Organ der VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik

Hestra Verlag, Darmstadt

- [40] Helmut Uebel
SIG L 90 – Sicherungs- und Steuerungssystem mit intergrierter Gleisfreimeldung. In ETR 7-8/89
- [41] Hans Fricke, Helmut Schuck, Helmut Uebel
Vergrößerung der Wirklänge isolierstoßloser Gleisstromkreise. In ETR 3/90
- [42] Günter Poppe
Einsatzbereich des neuen Mikrorechner-Zählpunktes Zp30C. In ETR 7-8/92
- [43] Michael Zeilhöfer, Karl Schweigstetter
DIBMOF – ein Quantensprung in der Betriebsleittechnik? In ETR 3/96
- [44] Artur Stempel
Kostensenkende Standards für Nahverkehrsstrecken – ein Demonstrationsbeispiel. In ETR 9/96
- [45] Horst Ernst
EURO-Balise S 21 – Meilenstein für das ETCS. In ETR 10/96
- [46] ohne Verf.
RailOrt – Ortung im spurgebundenen Verkehr auf der Basis von Satelliten-Navigation. Herausgegeben von den Projektträgern Dornier SystemConsult GmbH, TÜV Rheinland TSU. In ETR 10/96, 2-3/98, 4/98
- [47] Klaus-Dieter Masur
Mobilfunkgestützte Datenübertragung für European Train Control System. In ETR 12/96
- [48] Ulrich Oser, Jan-Christian Arms, Helmut Wegel
FunkFahrBetrieb(FFB) zum wirtschaftlichen Einsatz auf Regionalstrecken. In ETR 6/97
- [49] Bernhard Ptok, Erich Nitschke
ERTMS – Einführung moderner Betriebsleit- und Steuertechnik bei der DB AG. In ETR 10/97
- [50] Peter Waldinger
Satellitennavigation und Perspektiven für den Verkehr. In ETR 11/97
- [51] Peter Schäfer, Margret Gatz
30 Jahre Gemeinde-Verkehrs-Finanzierung – Ein Gesetz im Wandel der Zeit. In ETR 12/97
- [52] Rainer Kehl
Fahrerloser Betrieb in Nahverkehrssystemen. In ETR 4/99

Sonstige Quellen:

- [53] DB Netz AG:
FunkFahrBetrieb - Betriebliches und Technisches Lastenheft vom 25.06.1997

Diplomarbeit Werner Lenz

-
- [54] DB Netz AG:
Das neue Trassenpreissystem TPS '98
- [55] Ulrich Oser, Jan-Christian Arms (unveröffentlicht)
FunkFahrBetrieb (FFB) - eine attraktive Lösung für die Regionalstrecken
DB Netz AG 1997
- [56] ohne Verf.
Standardisierte Bewertung von Verkehrswegeinvestitionen des öffentlichen Personen-
nahverkehrs. Preisstand 1993
Vorlesungsunterlagen des Instituts für Eisenbahn- und Verkehrswesen
- [57] ohne Verf.
SAPOS 2000 – Ihr Standpunkt
Vorträge des 2. SAPOS - Symposiums vom 9. - 11. Mai 1999 in Berlin
Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Berlin
- [58] Reinhart D. Kühne, Wilhelm Burg
Automatisierung im Schienenverkehr zur (Re-)Aktivierung von Nebenstrecken
Steierwald Schönharting und Partner GmbH

Internetadressen:

- [59] Informationen über GPS / D-GPS / GLONASS / SAPOS
<http://gibs.leipzig.ifag.de>
- [60] GPS und Anwendungen bei den Bahnen
<http://www.xpoint.user.at/grueller/>
- [61] RailOrt und SATNAB
<http://www.ifra.ing.tu-bs.de/bikker/>

Bildergalerie



Vergleich zwischen Bahnhof Weil im Schönbuch vor der Reaktivierung (Bild oben, 1985) und nach der Reaktivierung mit Rückbau des Gütergleises und der Neuerstellung des Bahnsteigs (Bild unten)



Herkömmliche Streckensicherungstechnik:



Manuell zu betätigende Handweiche am Bahnhof Oberdachstetten.



Drahtverbindung zur Weichensteuerung von einem mechanischen Stellwerk an der Lautertalbahn



Gleissensor zur Auslösung aller möglichen Steuerbefehle im Bahnbetrieb



Leiterschleife als BÜ-Einschaltpunkt an der Schönbuchbahn



Linkes Bild:

Lichtzeichen für die Rückmeldung der BÜ-Sicherung an den Fahrzeugführer. Das Signal ist im Bremswegabstand vor dem BÜ aufgestellt. Nur wenn beim Annähern des Zuges das Signal blinkt, ist die Weiterfahrt für den Zug erlaubt. Andernfalls ist der BÜ noch nicht gesichert.

Rechtes Bild:

Mechanisch über Stelldrähte gesteuertes Form-Hauptsignal zur Zugfolgesicherung an der Lautertalbahn



Achsanzahlanlage am Bahnhof Lauffen / Neckar



Einleitung eines Gleisstromkreises am Bahnhof Oberdachstetten

Stillgelegte Strecke zwischen Lauffen und Leonbronn:



Die nicht mehr unterhaltene Strecke zwischen Lauffen und Leonbronn ist an mehreren Stellen für die Eisenbahn unpassierbar geworden: die Strecke dient als Abstellplatz (Bild oben) bzw. dem Kfz-Verkehr wurde eine komfortable Querung der Bahn ermöglicht (Bild unten).

