

DISSERTATION

Zur Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Norbert Ostermann

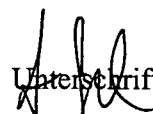
am
Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen
der
Technischen Universität Wien

von

Dipl.-Ing. Andreas Schöbel
E086/610 / 9626451

Felix-Dahn-Straße 41/5
1190 Wien

Wien, im März 2005


Unterschrift

Vorwort

Als im Oktober 2001 ein neues Dienstrecht über Österreichs Universitäten hereinbrach, hatte ich gerade meinen Studienabschluß des Bauingenieurwesens erreicht. Aufgrund der geänderten finanziellen Randbedingungen war eine Karriere an der Universität für einen frischgebackenen Absolventen nicht mehr so interessant. Wenn man noch studiert, glaubt man, Assistent werden nur, die die besonders intelligent, strebsam und hoch motiviert sind. Spätestens seit 2001 muß man aber sagen, daß nur noch die auf der Universität bleiben, die es sich leisten können oder wollen. Ursprünglich habe ich mich schon bei den Österreichischen Bundesbahnen beworben, aber aus diesem anfangs recht realistisch klingendem Angebot wurde leider nichts, weil eine Jahrhundertreform keinen Platz für Neuaufnahmen mehr zuließ. Auch auf der Universität begann das neue Dienstrecht zu wirken, da viele das sinkende Schiffen noch rechtzeitig zu verlassen suchten und damit wurden Planstellen zu neuen Verträgen ausgeschrieben - so auch am Institut für Eisenbahnwesen der TU Wien. Meine große Begeisterung für die Eisenbahn brachte mich also doch wieder zurück an die Universität, wo sie mich eigentlich schon einmal hingebracht hatte - nämlich zum Studium des Bauingenieurs, das doch den größten Anteil an eisenbahnspezifischen Lehrveranstaltungen anzubieten hat. Zeitgleich war auch der neue Institutsvorstand noch nicht berufen, so daß an meinem ersten Arbeitstag der bereits emeritierte Vorstand meine Begrüßung vornahm. Amüsanter Weise wurde ich mit dem Vergleich begrüßt, daß zu der Zeit, in der mein emeritierter Vorstand zu wirken begann, man gewußt hat, daß alles nur besser werden kann; und heute kann es eigentlich nur schlechter werden. Nach diesen Worten durfte ich nun eigenverantwortlich mehr als ein halbes Jahr arbeiten bis der neue Vorstand seinen Dienstantritt hatte. In dieser Zeit war es mir möglich, endlich die Bedienung einer Software zur Simulation von Eisenbahnbetrieb zu erlernen, die es mir später auch ermöglichen sollte, den Ausbildungsbeitrag eines Wissenschaftlichen Mitarbeiters in Ausbildung signifikant zu erhöhen. Bei der Größenordnung des Ausbildungsbeitrages darf es niemanden wundern, wenn so mancher Mitarbeiter bei 30 Grad im Schatten das Krapfenwaldlbad dem Karlplatz vorzieht. Besonders beschämend für die Erfinder des neuen Vertrages muß wohl die Tatsache sein, daß dieser schon wieder abgeschafft wurde. Mit Beginn der Amtszeit des neuen Vorstandes kam auch gleich das erste Projekt, die sog. „Checkpoints“. Da auch in diesem geförderten Projekt der Sparstift zugeschlagen hat, fiel die Ausbaustrategie selbiger vorläufig zum Opfer, bis ich die Idee äußerte, diese Überlegungen in meiner Dissertation zu bearbeiten.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die am Gelingen dieser Arbeit maßgeblich beteiligt waren. An erster Stelle möchte ich meinen Institutsvorstand Univ. Prof. DI Dr. techn. **Norbert Ostermann** nennen, der mir durch den äußerst großzügigen Freiraum, den er mir bei der Bearbeitung gewährt hat, einen wesentlichen Beitrag zur selbständigen Durchführung aller erforderlichen Teilaspekte geleistet hat. Ein weiterer Dank gebührt Hrn. o. Univ. Prof. Dr.-Ing. **Erich Kopp** für die Übernahme der Zweitbegutachtung der vorliegenden Arbeit.

Als Ansprechpartner für die Frage der Standortwahl von Zuglaufcheckpoints bei den Österreichischen Bundesbahnen darf ich mich bei Hrn. **Manfred Kunz** vom Geschäftsbereich Netz, Abteilung Netzplanung herzlich für sein unermüdliches Wirken danken. Im Zuge der Bearbeitung hat er mir durch die Zusammenstellung der Expertengruppe aus verschiedenen Geschäftsbereichen der Österreichischen Bundesbahnen und bei der Leitung der einzelnen Sitzungen maßgeblich geholfen, die theoretischen Vorgaben in der Praxis auch tatsächlich umzusetzen. Für die Vertiefung des theoretischen Wissens durch praktische Aspekte in oft stundenlangen Erörterungen sei Hr. DI **Johannes Stephanides** vom Geschäftsbereich Fahrweg der Österreichischen Bundesbahnen bedankt.

Weiters möchte ich mich auch bei unseren Konsortialpartner, stellvertretend für alle am Projekt Checkpoint Beteiligten möchte ich jene erwähnen, die mir im Zuge der Bearbeitung dieser Dissertation Anfragen immer rasch und kompetent beantwortet haben, dem Hrn. Mag. **Michael Sünder** von der Fa. Alcatel und dem Hrn. DI **Thomas Maly** vom Institut für elektrische Meß- und Schaltungstechnik danken.

Gerade im Eisenbahnwesen zeigt sich, daß der Blick über die Fakultätsgrenzen hinaus einen wertvollen Beitrag zur Entstehung einer Dissertation leisten kann. Daher möchte ich o. Univ. Prof. DI Dr. techn. **Reinhard Viertl** vom Institut für Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie für seine Gastfreundschaft beim Dissertantenseminar und Hrn. DI Dr. techn. **Dietmar Harreter** ebenfalls vom Institut für Statistik und Wahrscheinlichkeitstheorie für die fachliche Beratung danken. Auch Hrn. o. Univ. Prof. DI Dr. techn. **Gerhard-Helge Schildt** vom Institut für Rechnergestützte Automation sei für seine wertvolle Zeit gedankt.

Kurzfassung

Die moderne Sicherheitstechnik hat mit der Einführung des Risikobegriffes versucht, ein neues Fundament für die Sicherheitsproblematik zu schaffen. Als „Risiko“ werden dabei die zu erwartenden Schäden und Verluste infolge von Unfallereignissen in einem System, das sich gegenüber seiner Umgebung durch definierte Grenzen auszeichnet, bezeichnet. Wesentlich ist, daß dieses Risiko konsequent, systematisch und quantitativ aus einer Beurteilung aller möglichen Schadensereignisse hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und ihrer Auswirkungen ermittelt wird. Damit ist aber eine Meßgröße als Ausgangspunkt definiert, die eine geordnete, einheitliche und vergleichende Diskussion über Sicherheitsfragen ermöglicht.

Aus dem Fachgebiet der Elektrotechnik kommend, gibt es Europäische Normen, die sich mit dem Risiko bzw. der Sicherheit im Eisenbahnsystem beschäftigen:

- EN 50126: Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) [CEN99]
- EN 50128: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme [CEN02]
- EN 50129: Bahnanwendungen – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik [CEN00]

Diese wurden vom Europäischen Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) verabschiedet und sind für die gesamte Eisenbahntechnik gültig.

In der vorliegenden Arbeit wurde durch Anwendung der Risikomatrix aus der EN 50126 die Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen bearbeitet. Aus der Systemtheorie wurden die Risikomatrizen „Infrastruktur“, „Zug“ und „Umfeld“ abgeleitet, die dann durch die Expertenmeinung mit Elementen belegt wurden. Im Zuge des Verfahrens zeigte sich die Notwendigkeit, die risikoträchtigen Elemente der Infrastruktur durch Parameter zu charakterisieren. Aufgrund einer Untersuchung der Interaktionen zwischen dem Zug und der Infrastruktur konnten die Wirkungsweisen der Einzelkomponenten dargelegt werden. Aus diesem Ansatz ergibt sich ein mehrstufiges Ausbaukonzept für alle Sensorik-Komponenten, das sich durch eine Prioritätenreihung für die Standorte und die an diesen Orten eingesetzten Komponenten auszeichnet.

Abstract

Modern safety technology has introduced the terminus of risk to get a new base for safety-problematics. "Risk" is defined by the damages and losses caused by accidents in a system. For the calculation of risks it is necessary to estimate all possible accidents by their probability of occurrence and effects in a consequent, systematic and quantitative way. For this reason there is a measurand as base defined, which makes it possible, to discuss aspects of safety.

Coming from electric-engineering there are European standards for railway-system which deal with risk and safety:

- EN 50126: Railway applications - The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS)
- EN 50128: Railway applications - Communication, signalling and processing systems
- Software for railway control and protection systems
- EN 50129: Railway applications - Communication, signalling and processing systems
- Safety related electronic systems for signalling

This standards were introduced by the European Committee for Electrotechnical Standardization and are valid for whole railway-system.

In this work the risk-matrix from EN 50126 was applied to the question of positioning sensor technology for controlling passing trains. From Systems-engineering were risk-matrixes called "infrastructure", "train" and "environment" deduced, which were filled by experts-opinion with elements. The procedure showed the necessity to specify the risk-elements of infrastructure by parameters. An analysis of the interaction between train and infrastructure explained the modes of action of sensor-technology. As a consequence of this approach a expansion strategy for a railway-network arised where on the one hand a priority for the locations and on the other hand a sequence for sensor-technology can be given.

Zur Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	2
2.	Der Risikoansatz	4
2.1.	Der Risikoansatz in den CENELEC-Normen	7
2.2.	Risikoakzeptanzkriterien nach CENELEC	11
3.	Sicherheitstechnik und Sicherheitskultur	16
4.	Zur Zuglaufüberwachung	23
4.1.	Vorgaben aus TSI	25
4.2.	Patentschriften	27
4.3.	Fahrzeugseitige Überwachung	31
4.4.	Infrastrukturseitige Überwachung	33
4.5.	Kombinierte Anwendung	37
5.	Vorgangsweise bei der Standortwahl	39
5.1.	Expertenmeinung	42
5.2.	Systemtheorie zur Gefahrenbilderstellung	46
5.3.	Aspekte der Unfallforschung zur Risikoanalyse	47
5.4.	Anwendung der Risikomatrix aus EN 50126	50
5.5.	Risikoreduktion durch Checkpoint-Komponenten	59
5.6.	Wirkungsanalyse der Komponenten	63
5.7.	Detaillierung der Infrastruktur	66
5.8.	Prioritäten bei der Ausbaureihenfolge	71
6.	Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit	76
7.	Zusammenfassung	81
8.	Abbildungsverzeichnis	82
9.	Literaturverzeichnis	83
10.	Anhang	89

1. Einleitung

Gefahren und Risiken aller Art haben stets zu den Begleitern des Menschen gehört. Die Sicherheitsfrage hat dementsprechend die menschliche Gesellschaft seit jeher beschäftigt. Daraus könnte man schließen, daß ihre Problematik im Laufe der Zeit weitgehend bewältigt worden ist. Tatsächlich taucht sie jedoch in neuer Form immer wieder auf. Um dies zu verstehen, soll ein Blick auf die bisherige Entwicklung im Sicherheitswesen geworfen werden.

Bis heute ist die Bewältigung von Sicherheitsproblemen mehr oder weniger mit der laufenden Erfahrung bei der Benutzung technischer Systeme einhergegangen. Aufgrund der ständigen und systematischen Auseinandersetzung mit Störungen, Fehlern, den auftretenden Gefahren, aber auch durch die Phantasie der Fachleute gewann man Erkenntnisse, die laufend in Sicherheitsvorkehrungen umgesetzt wurden. Eine besondere Bedeutung erwuchs jenen Unfällen, die wesentliche Schritte zur Verbesserung der Sicherheit auslösten. Dieser kontinuierliche Prozeß – oft durch den Begriff „trial and error“ charakterisiert – führte über längere Zeit zu immer sichereren Systemen. Die Eisenbahn ist ein typisches Beispiel.

Trotz bestimmter Unausgewogenheiten und Mängel, welche das traditionelle Sicherheitsdenken mit sich bringt, wurde es offenbar doch im Großen und Ganzen gesellschaftlich als akzeptabel erachtet. Völlig neue Technologien in verschiedenen technischen Bereichen zwangen Betreiber, Hersteller und Behörden in jüngerer Zeit zu einer grundsätzlichen Auseinandersetzung mit dem Sicherheitsproblem. Die Entwicklung zu Systemen, die zwar nur selten versagen, dann aber schwerwiegende Schäden verursachen, stellt die empirische Lösung von Sicherheitsproblemen in ihrem Grundprinzip in Frage. Einerseits sind die Folgen eines Versagens so schwerwiegend, daß es nicht möglich ist, die ersten Versagensfälle abzuwarten und erst dann Verbesserungen und Korrekturen vorzunehmen. Andererseits ist der Lerneffekt aus seltenen Ereignissen relativ gering, da die wenigen Unfälle, die sich ereignen, meist nach völlig unterschiedlichen Schemata ablaufen.

Ein weiterer Grund für die Abwendung von empirischen Sicherheitsbetrachtungen rührt daher, daß die zur Verfügung stehenden Mittel immer knapper werden. Gleichzeitig werden aber höhere Sicherheitsansprüche gestellt. Dies bedingt, daß Kosten-Nutzen-Überlegungen bei Entscheiden über die Durchführung von Projekten eine immer größere Rolle spielen.

Auch im Bereich von Sicherheitsmaßnahmen müssen Entscheide deshalb vermehrt aufgrund von ökonomischen Grundsätzen gefällt werden, damit ein ausgewogener Einsatz der verfügbaren Mittel gewährleistet werden kann.

Die moderne Sicherheitstechnik hat mit der Einführung des Risikobegriffes versucht, ein neues Fundament für die Sicherheitsproblematik zu schaffen. Als „Risiko“ werden dabei die zu erwartenden Schäden und Verluste infolge von Unfallereignissen in einem System bezeichnet. Wesentlich ist, daß dieses Risiko konsequent, systematisch und quantitativ aus einer Beurteilung aller möglichen Schadensereignisse hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und ihrer Auswirkungen ermittelt wird. Damit ist eine Meßgröße als Ausgangspunkt definiert, die eine geordnete, einheitliche und vergleichende Diskussion über Sicherheitsfragen ermöglicht.

In der vorliegenden Arbeit wird ausgehend vom Risikoansatz der CENELEC-Normen und der darin „*informativ*“ enthaltenen Risikoakzeptanzkriterien (Kapitel 2) unter Berücksichtigung allgemeiner Aspekte der Sicherheitstechnik und Sicherheitskultur (Kapitel 3) für den Aspekt der Zuglaufüberwachung und die dabei vorhandenen Randbedingungen (Kapitel 4) eine Methodik entwickelt, um infrastrukturseitig installierte Sensoriksysteme im Netz eines Betreibers einerseits systemtheoretisch richtig (Kapitel 5) als auch andererseits im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit rentabel (Kapitel 6) zu positionieren.

2. Der Risikoansatz

Der Risikoansatz geht von der Definition einer zahlenmäßigen Meßgröße, dem Risiko aus. Dieses Risiko ist das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Auswirkungen. Diese Meßgröße soll die zu erwartenden Verluste und Schäden infolge von Unfallereignissen in einem System zum Ausdruck bringen. Bei einem technischen System wie beispielsweise der Eisenbahn können bezüglich der Sicherheitsfrage im wesentlichen drei verschiedene Standpunkte eingenommen werden: der Standpunkt des Individuums, der Gesellschaft und des Unternehmens [OBH98a].

Die Personengefährdung durch ein technisches System läßt sich folgender Maßen beschreiben: Die Gefahr jedes betroffenen Individuums ist vollumfänglich durch die Wahrscheinlichkeit beschrieben, infolge dieses Systems tödlich zu verunfallen. Unter Gefahr versteht die EN 50126 [CEN99] eine physikalische Situation, die potentiell einen Schaden für den Menschen beinhaltet. Dieses sogenannte individuelle Risiko r kann z.B. auf ein Jahr bezogen werden. Für die Sicherheit eines einzelnen ist es an sich irrelevant, wie viele andere Personen in welchem Maß gleichzeitig gefährdet sind. Das individuelle Risiko erfaßt somit den Blickwinkel des Individuums. Das individuelle Risiko erlaubt, die von unterschiedlichen Systemen ausgehenden Risiken miteinander zu vergleichen und eine Bewertung vorzunehmen. Systeme zeichnen sich durch Wechselwirkungen zwischen Elementen, die dieses bilden, aus. Auch die bereits erwähnten Grenzen eines Systems sind ein wesentlicher Bestandteil dieser Definition. Als Beispiel für ein System sei hier der menschliche Organismus genannt, da hier die Grenzen des Systems „Mensch“ durch die Begrenzung der Körperhülle leicht nachvollziehbar sind. Als Meßgröße r_i dient die Wahrscheinlichkeit W_j dafür, daß eine im System befindliche oder von diesem betroffene Person i in einem bestimmten Zeitraum oder auf eine bestimmte Streckenlänge infolge von Stör- oder Unfällen getötet wird:

$$r_i = \sum_j W_j \cdot V_{ij} \cdot \lambda_{ij} \quad (2.1.)$$

- mit W_j Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses j
 V_{ij} Anwesenheitswahrscheinlichkeit von Person i bei Ereignis j
 λ_{ij} Wahrscheinlichkeit, daß Person i getötet wird

Bei der Bewertung des individuellen Risikos ist es ausreichend, nur diejenigen technischen Systeme zu betrachten, denen das jeweilige Individuum zur Zeit ausgesetzt ist. Bei eisenbahnspezifischen Anwendungen sind bei Ermittlung des individuellen Risikos eines Reisenden nur die Stellwerke und Züge sowie andere bahntechnische Einrichtungen zu betrachten, andere Systeme wie etwa Kernkraftwerke neben einer Eisenbahnstrecke haben aber keinen Einfluß auf das individuelle Risiko. In der Risikoanalyse ist daher nur ein Ausschnitt des Gesamtsystems abzubilden.

Im Gegensatz zum individuellen Risiko definiert man das kollektive Risiko R , welches auf eine Fläche bezogen wird z.B. Einwohner einer Stadt, die durch die individuellen Risiken der in der Stadt lebenden Individuen gebildet wird. Damit werden die Konsequenzen für alle Personen und auch für die Umwelt in einer definierten Fläche wie der beispielsweise erwähnten Stadt miteinbezogen. Bei kleinen Systemen kann der Unterschied zwischen individuellem Risiko und kollektivem Risiko vernachlässigbar sein, da sich nur wenige Personen im Wirkungsbereich des betrachteten Systems befinden. Im Eisenbahnwesen wird i.a. der Unterschied zwischen den beiden Betrachtungsweisen signifikant sein, sodaß eine Unterscheidung gerechtfertigt erscheint. Das kollektive Risiko entspricht der erwarteten Anzahl der Todesopfer, beispielsweise pro Jahr, und gibt das Gesamtrisiko an, das ein System für die exponierte Personengruppe darstellt. Dadurch wird der Standpunkt der Gesellschaft erfaßt also auch Unfälle mit einer großen Anzahl von Toten und Verletzten.

Das kollektive Risiko kann aber auch als Summe der Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit der Schadensauswirkung berechnet werden. Das kollektive Risiko R_0 der Fahrgäste entspricht der jährlich zu erwartenden Anzahl der tödlich verunfallten Personen im betrachteten System bezogen auf die Transportleistung (z.B. Personenkilometer, Tonnenkilometer pro Zeiteinheit).

$$R_0 = \sum_j W_j \cdot A_j = \sum_j r_j \quad (2.2.)$$

mit W_j Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses j

A_j Anzahl der Todesopfer beim Ereignis j

Das empfundene (kollektive) Risiko R_e berücksichtigt zusätzlich noch eine Risikoaversion, die durch den Risikoaversionsfaktor $\varphi(A_j)$ beschrieben wird. Durch den Aversionsfaktor

werden Unfälle mit zunehmender Anzahl der Opfer stärker gewichtet. Dies spiegelt auch die mediale Beurteilung eines Katastrophenunfalls mit sehr vielen Todesopfern wieder. Gerade das empfundene (kollektive) Risiko ist für das Unternehmen von Bedeutung, da seltene Unfälle mit einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit und einem großen Schadensausmaß, Nachwirkungen in Form von Imageverlust oder verschärften Sicherheitsbestimmungen, die dann bei Neubauten zusätzliche Kosten verursachen können, haben können. Für die Angehörigen eines Todesopfers wird es in der subjektiven Wahrnehmung keinen Unterschied machen, welche Anzahl an Todesopfern bei dem Ereignis gesamt zu beklagen sind.

Der Risikoansatz wird noch ergänzt durch die Einteilung der Risiken in Risikokategorien, weil die Bereitschaft des Menschen Risiken auf sich zu nehmen, Unterschiede in Abhängigkeit der Selbst- bzw. Fremdbestimmung aufweist. In [OBH98a] werden vier Kategorien vorgeschlagen: freiwillig, große Selbstbestimmung, geringe Selbstbestimmung, unfreiwillig. Dadurch kann die unterschiedliche Risikoakzeptanz auch formal berücksichtigt werden, wobei dieses Element im Ansatz als qualitativ gelten darf. Zwei Aspekte werden abgebildet: das Verhältnis von Selbstbestimmung zu Fremdbestimmung und die Unmittelbarkeit der Nutzenempfindung. Die Akzeptanz des Risikos hängt also einerseits davon ab, inwieweit die betroffene Person über die gefährliche Situation selbst bestimmen kann und andererseits welchen Nutzen die betroffene Person aus der Situation zieht.

Ziel einer Risikoanalyse ist es, die objektiven Größen Unfallhäufigkeit und Schadensausmaß zu ermitteln. Dazu können Unfallstatistiken als Datengrundlage verwendet werden, sofern sie einigermaßen konsistent geführt wurden und auch eine entsprechende Anzahl an Ereignissen aufweisen. Die Einbeziehung von sogenannten „Ausreißern“ – einmaligen Ereignissen mit großen Schadenssummen – können mathematische Verfahren sehr leicht in den instabilen Bereich führen. Bei Sensitivitätsanalysen zeigt sich dann der Einfluß eines Einzelereignisses auf das Gesamtbild sehr rasch. Nur mit Hilfe von Experten, die den Ablauf des Einzelereignisses sowie die Wirkungsmechanismen kennen, kann entschieden werden, ob die Erkenntnisse aus diesem Ereignis allgemein gültig bzw. für andere Einschätzungen verwendbar sind.

2.1. Der Risikoansatz in den CENELEC-Normen

Aus dem Fachgebiet der Elektrotechnik kommend, gibt es Europäische Normen, die sich mit dem Risiko bzw. der Sicherheit im Eisenbahnsystem beschäftigen:

- EN 50126: Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) [CEN99]
- EN 50128: Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme [CEN02]
- EN 50129: Bahnanwendungen – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik [CEN00]

Diese wurden vom Europäischen Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC) verabschiedet und sind für die gesamte Eisenbahntechnik gültig.

Die EN 50126 [CEN99] definiert Sicherheit als „Nichtvorhandensein eines unzulässigen Schadensrisikos“. Durch diese Sicherheitsdefinition werden implizit schon zwei wesentliche Aspekte der Sicherheitsphilosophie deutlich gemacht. Zum einen werden Risikobetrachtungen notwendig, zum anderen müssen Risikoakzeptanzkriterien festgelegt werden. Außerdem wird keine absolute Sicherheit, die es nicht geben kann, gefordert, sondern sichere Systeme werden als solche definiert, wo die Risiken unter einem Grenzwert liegen.

Der Begriff „Risiko“ wird normgemäß als mittleres Risiko aufgefaßt. Dies entspricht auch dem praktischen Verständnis, da ein Risiko um einen scharfen Wert verteilt sein wird, weil statistische Unsicherheiten in den Eingangswerten vorliegen oder auch Expertenmeinungen mit Unsicherheiten behaftet sind. Hier bietet sich die mathematische Formulierung mittels Unschärfer Zahlen gerade zu an, um nicht mit unsicheren scharfen Werten rechnen zu müssen.

Die Verlässlichkeit als zentraler Oberbegriff umfaßt die Teilbereiche Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Instandhaltung und Sicherheit (RAMS). Die Umsetzung der meist sprachlich-begrifflich beschriebenen Sachverhalte in mathematisch formalisierte Algorithmen unterliegt zwangsläufig gewissen Interpretationsspielräumen, die durch die Anwendung von qualitativen und quantitativen Modellierungen in den Griff zu bekommen sind. Ein Vorschlag um die Verlässlichkeit eines Verkehrssystems graphisch darzustellen, ist das Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm von [Sch03]. Als Ansatz werden verlässlichkeitsbezogene Zustände

eines technischen Systems definiert, die durch mehr oder weniger komplexe Ursache-Wirkungsketten verbunden sind. Um die graphische Darstellung von Verfügbarkeit und Sicherheit in einem kartesischen Koordinatensystem zu erreichen, wird die Orthogonalität von Verfügbarkeit und Sicherheit über die Unterscheidung von wirtschaftlich und gesetzlich gerechtfertigt. Die unterschiedlichen Systemzustände können nun qualitativ in dieser Ebene plziert werden. Zur Quantifizierung der Zustände können noch die beiden Achsen skaliert werden.

Kurios erscheint die Forderung, daß zwar Risikoanalysen gefordert werden, aber in der EN 50126 [CEN99] keine genauen Vorgaben für die Risikoanalyse und deren Durchführung gemacht werden. Beispielhaft wird eine Risikomatrix dargestellt, sowie sie auch für die Risikoprofile Infrastruktur, Zug und Umfeld in dieser Arbeit verwendet wird, aber ohne Anwendungsregeln (die Vielfalt der mathematischen Algorithmen zur Auswertung von Matrizen ist groß) und ohne Vorschläge für die Skalierung der beiden Achsen (Eintrittswahrscheinlichkeit, Schadensausmaß). Aus dieser Darstellung läßt sich ein Problem bei der Anwendung sehr leicht ersehen, da für jeden Anwendungsfall diese Risikomatrix kalibriert werden muß. Dies kann bei der praktischen Anwendung zu unterschiedlichen Matrizen führen, die für unterschiedliche Anwendungsfälle konstruiert wurden. Wichtig ist daher die Dokumentation und Begründung für die Wahl der quantitativen Ausprägungen der einzelnen Stufen der Matrix. Für die Arbeit mit Expertenmeinungen ist die Matrix trotz der genannten Schwäche das einzige zur Zeit bekannte Verfahren [CDC98].

Häufigkeit von Gefahrenfällen	Risikostufen			
häufig				
wahrscheinlich				
gelegentlich				
selten				
unwahrscheinlich				
unvorstellbar				
	unbedeutend	marginal	kritisch	katastrophal
	Gefahrenstufen			

Abb. 2.1.1. „Häufigkeit – Konsequenz“ – Matrix aus [CEN99]

Einen Überblick über die Analysemethoden zur Identifizierung von Risiken gibt u.a. [Sch01]:

- Gefahrenanalyse zur systematischen Analyse von Gefahren

- Failure Modes, Effects and Criticality Analysis als induktive Methode zur Betrachtung aller Ausfallarten der untersuchten Komponente
- Fehlerbaumanalyse als deduktive Methode zur Untersuchung von Ausfall- und Ereigniskombinationen, die zu gefährlichen Ereignissen führen können
- Ereignisablaufanalysen zur systematischen Untersuchung und quantitativen Analyse von Ereignisabläufen
- Wartbarkeitsanalyse zu Untersuchung der Instandsetzungsstrategie und ihrer Auswirkung auf Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sowie Sicherheitsfunktionen
- Operating und Support Hazzard Analysis zur systematischen Analyse von Gefahren die bei Betrieb und Wartung auftreten können
- Interface Hazard Analysis, die auf systematische Weise die Gefahren untersucht, die sich an den Schnittstellen des Systems und den Subsystemen ergeben.

Ein ganz wichtiger Schritt der Risikoanalyse ist die Dokumentation der Ergebnisse, die in einem Gefahrenprotokoll festgehalten werden. Ein Anwendungsbeispiel der Fehler-Möglichkeiten-Einfluß-Analyse für das Teilsystem der Festen Fahrbahn kann in [Abl02] gefunden werden. Für die einzelnen Felder in der Matrix wird eine Zuordnung zu qualitativen Risikokategorien vorgeschlagen, wobei die Zuweisung der Begriffe zu den einzelnen Feldern jedem Anwendungsfall überlassen wird.

Risikokategorie	Anzuwendende Maßnahmen
intolerabel	muß ausgeschlossen werden
unerwünscht	darf nur akzeptiert werden, wenn eine Risikominderung praktisch nicht durchführbar ist und eine Zustimmung entweder des Bahnunternehmens oder der für die Sicherheit zuständigen Aufsichtsbehörde vorliegt
tolerabel	akzeptierbar bei geeigneter Überwachung und mit der Zustimmung des Bahnunternehmens
vemachlässigbar	akzeptierbar mit/ohne weitere Zustimmung des Bahnunternehmens

Abb.2.1.2. Qualitative Risikokategorien nach [CEN99]

Für Anwendungen in der Eisenbahnsignaltechnik ist ein systematischer Prozeß zur Ableitung von Sicherheitsanforderungen in der EN 50129 [CEN00] beschrieben. Auch hier werden keine expliziten Vorgaben gemacht, welche Methode zur Risikoanalyse verwendet werden soll, aber die Dokumentation der Ergebnisse ist normativ festgelegt.

Die grundlegenden Anforderungen an den Prozeß hat [Bra02] folgendermaßen zusammengefaßt:

- Der Ansatz muß risikoorientiert sein und
- die Vorgehensweise soll diskriminierungsfrei sein, d.h. die Definition von Sicherheitsanforderungen darf weder bestimmte technische Lösungen noch Hersteller bevorzugen.
- Die Vorgehensweise soll flexibel und offen für neue Technologien sein.
- Die Verantwortung der verschiedenen Beteiligten soll klar festgelegt werden.

Der Mittelpunkt des Prozesses ist eine Schnittstelle zwischen den betrieblichen Anforderungen und dem Sicherungssystem als der technischen Lösung. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen einer Risikoanalyse, die der Betreiber zu erstellen hat, und einer Gefährdungsanalyse, die der Hersteller verpflichtend durchführen muß.

Jeder Systemfunktion wird eine Stufe ausreichender Sicherheit, das sogenannte SIL-Niveau, zugeordnet, d.h. es sind bestimmte Maßnahmen in Design und Herstellung nachzuweisen. Die zweite Grenze ist die der tolerablen Rate des gefährlichen Versagens, die auch unterschritten werden muß. Darin zeigt sich auch die Tatsache, daß eine kleine Wahrscheinlichkeit für einen gefährlichen Ausfall akzeptiert wird, weil man davon ausgeht, daß sich derartige Unfälle nie ganz vermeiden lassen. Damit wird einem Erfahrungswert der Technik entsprochen, denn trotz aller Maßnahmen, die zur Verhinderung von Unfällen gesetzt werden, wird es doch immer Unfälle geben. Umgekehrt wird aber schon gefordert, daß diese Unfälle nur selten auftreten dürfen, also eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit aufweisen. In [CEN99] wird auch ein Beispiel für eine Risikomatrix angeführt, wobei diese Einteilung nicht als Vorgabe mißverstanden werden darf.

Häufigkeit eines Gefahrenfalls*)	Risikostufen			
	häufig	unerwünscht	intolerabel	intolerabel
wahrscheinlich	tolerabel	unerwünscht	intolerabel	intolerabel
gelegentlich	tolerabel	unerwünscht	unerwünscht	intolerabel
selten	vernachlässigbar	tolerabel	unerwünscht	unerwünscht
unwahrscheinlich	vernachlässigbar	vernachlässigbar	tolerabel	tolerabel
unvorstellbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar	vernachlässigbar
	unbedeutend	marginal	kritisch	katastrophal
	Gefahrenstufen			
*) Die quantitative Bewertung der Häufigkeit von Gefahrenfällen hängt von der jeweiligen Anwendung ab (4.6.2.2).				

Abb.2.1.3. Beispiel einer Risikobewertung nach [CEN99]

2.2. Risikoakzeptanzkriterien nach CENELEC

Es gibt generell drei mögliche Vorgehensweisen, das akzeptable Risiko eines Eisenbahnsystems zu bestimmen, die die Norm EN 50126 [CEN99] (Anhang D) kennt:

- As Low as Reasonably Practicable (ALARP)

Dieses Vorgehen kommt aus dem angelsächsischen Raum. Gegenstand der Betrachtung ist das kollektive Risiko, d.h. das Risiko, das insgesamt von einer bahntechnischen Anlage ausgeht. Hierbei wird für unterschiedliche Klassen von Unfällen jeweils eine maximale Eintrittswahrscheinlichkeit vorgegeben. Dieser Maximalwert darf auf keinen Fall überschritten werden. Es gibt jedoch noch eine zweite Grenze, die unter dieser liegt. Wenn die ermittelte Eintrittswahrscheinlichkeit über der unteren Grenze liegt, jedoch unter dem Maximalwert, sind Maßnahmen zur Risikoverminderung zu ergreifen, sofern das wirtschaftlich sinnvoll ist. In den Fällen, wo beide Grenzen unterschritten werden, sind keine Maßnahmen zur Risikoreduzierung erforderlich.

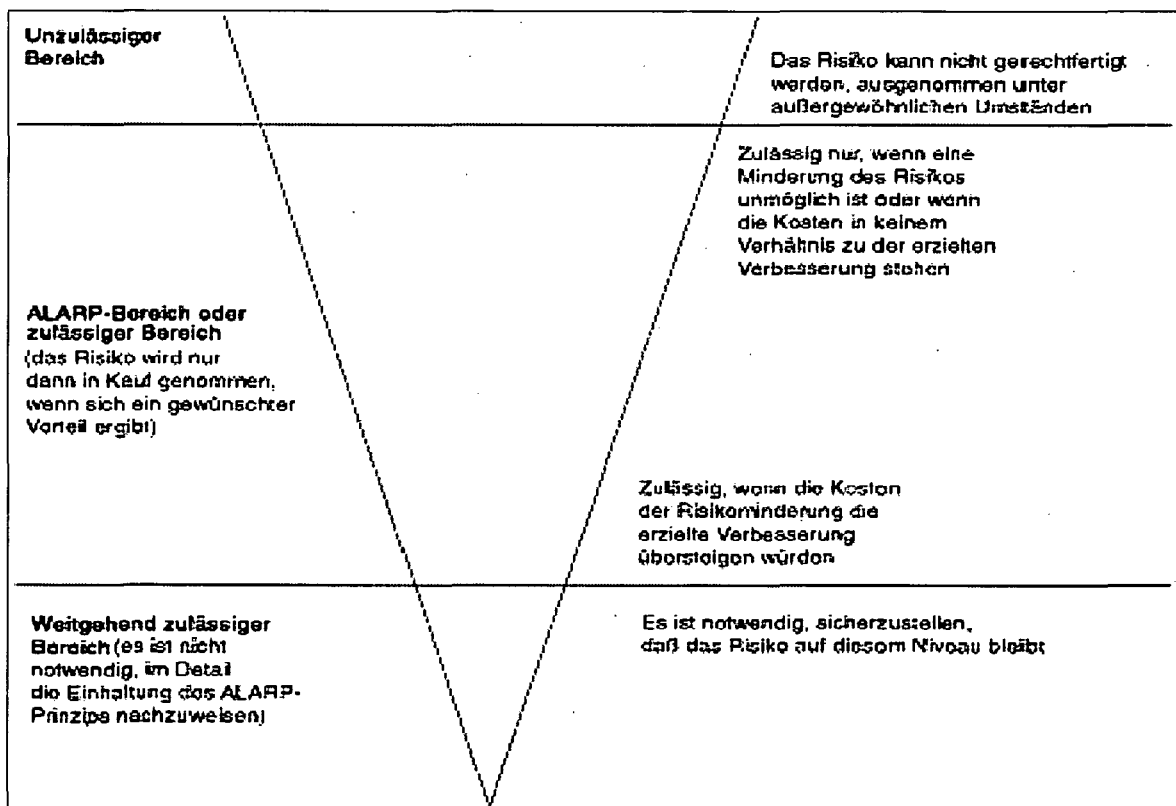


Abb.2.2.1. Diagramm zu ALARP aus [CEN99]

- Globally as least as good (GAMAB)

Diese Vorgehensweise kommt aus dem französischen Raum. Hierbei ist nachzuweisen, daß ein neuartiges System mindestens so gut ist, wie das bisher verwendete System. Dabei wird wiederum das kollektive Risiko betrachtet. In [CEN99] wird das Kriterium anhand eines Beispiels illustriert:

C = Beförderungskapazität eines Zuges (Fahrgäste/Zug)
 F = Zugfolge (Züge/Std)
 r = mittlerer Besetzungsgrad (Zug nicht komplett besetzt)
 n_0 = Anzahl der Toten bei einem Zusammenstoß in diesem neuen System
 D_m = Durchsatz (Fahrgäste/Std) = $r \times C \times F$

$$col = (\lambda_{c, req} / n_0) \times (\text{Zusammenstöße/Fahrgast})$$

$$\lambda_c \leq col \times D_m$$

$$= (\lambda_{c, req} / n_0) \times D_m$$

$$= \lambda_{c, req} \times (r \times C / n_0) \times F \text{ Zusammenstöße/Std.}$$

Die Bemerkungen zu diesem Beispiel weisen schon auf deutliche Schwächen für die praktische Anwendung hin:

- Es wird angenommen, daß der Anteil der Toten unter den Fahrgästen im gleichen Zug für das vorhandene System gleich hoch ist wie für das projektierte, d. h. $n_0 / r \times C = \text{konstant}$;
- λ_c kann eine hohe Anforderung bei einer schlechten Servicequalität bedeuten, besonders bei einem niedrigen Wert von F (Zugfrequenz);
- die Verbesserung wird durch das Zeichen \leq erzielt;
- der Konstrukteur/Lieferant ist frei bei der Aufteilung von λ_c zwischen den Strecken- und Fahrzeugausstattungen.

- Minimum Endogenous Mortality (MEM)

Das Verfahren der minimalen Todesrate kommt aus dem deutschsprachigen Raum. Die kleinste natürliche Sterberate, in MEM Minimale Endogene Mortalität genannt, dient als Vergleichsgröße für die Risiken der Technik. Der Ansatz geht von der Betrachtung einer Einzelperson aus, behandelt also das individuelle Risiko, im Unterschied zu den beiden anderen Verfahren. Man geht dabei von der minimalen endogenen Todesrate des menschlichen Individuums aus. Diese hat im Altersbereich vom 5. bis zum 15. Lebensjahr ein ausgeprägtes Minimum und beträgt für eine 15-jährige Person 2×10^{-4} pro Jahr. Dieser Wert ist in allen Industrieländern praktisch gleich groß. Aus der Forderung heraus, daß ein neues technisches System diese Todesrate nicht um mehr als 5 % erhöhen darf, leitet man ab, daß ein neues technisches System höchstens eine Todesrate von 10^{-5} pro Jahr haben darf. Interessanterweise ist festzustellen, daß diese Rate in etwa der Rate von 10^{-9} pro Stunde entspricht, die in der Luftfahrt für tödliche Unfälle als Grenzwert angegeben werden.

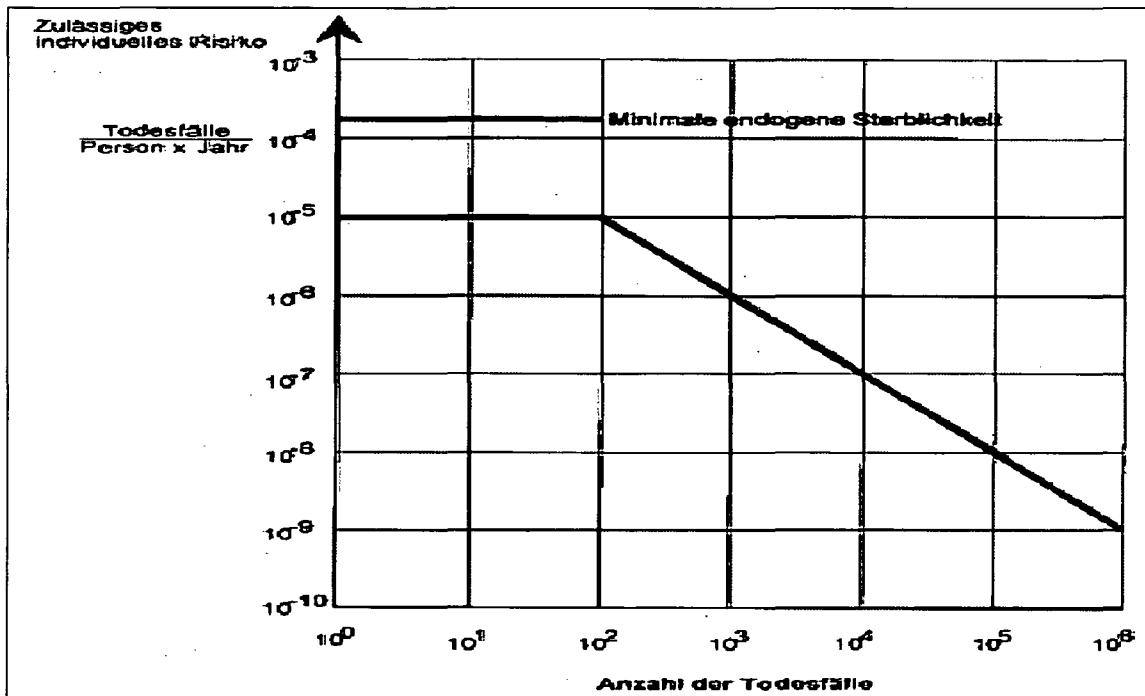


Abb.2.2.2. Darstellung des MEM-Kriteriums nach [CEN99]

Bei den meisten Projekten wird das jeweils anzuwendende Verfahren sowie die jeweiligen Grenzwerte von der zuständigen Behörde vorgegeben. Die Anwendung des Risikoakzeptanzkriteriums ALARP entspricht einer Kosten-Nutzen-Analyse, wobei der Nutzen in Form von potentiell verhinderten Unfallopfern gemessen wird. Um eine monetäre Vergleichbarkeit von Investitionen und Unfallfolgen zu ermöglichen, muß ein Menschenleben in einen Geldbetrag umgerechnet werden. Diese rationale Vorgehensweise findet außerhalb von Großbritannien nur wenig Zuspuch.

Das Risikoakzeptanzkriterium GAMAB setzt voraus, daß das heute erreichte Sicherheitsniveau der Eisenbahntechnik öffentlich akzeptiert ist. Wenn nun die Einführung einer neuen Technik angedacht wird, muß diese auf globalem Niveau mindestens so sicher sein, wie die bisher eingesetzte Technik. Der Vorteil der Nicht-Festlegung eines absoluten Niveaus zeigt sich in der Offenheit des Verfahrens für technische Verbesserungen.

Das Kriterium der Minimalen Endogenen Mortalität geht zurück auf das Buch von A. Kuhlmann „Einführung in die Sicherheitswissenschaft“ [Kuh81]. Eine grundlegende Schwäche des MEM - Kriteriums ist, daß es ein fester Risikoakzeptanzwert vorgegeben wird. Gesellschaftlich kann sich aber die Risikoakzeptanz sehr rasch durch unterschiedlichste

Einflüsse ändern, so daß sie eigentlich nicht als konstant angesehen werden darf. Die Herleitung enthält zwei Annahmen, die durchaus als willkürlich gelten können, nämlich das für eine Technik zulässige Gesamtrisiko sowie dessen Aufteilung. Die Unterstellung, daß auf einen Menschen höchstens 20 Gefahrenquellen wirken, erscheint aus Sicht der Wahrscheinlichkeitstheorie auch fragwürdig, da hier von kombinierten Wahrscheinlichkeiten ausgegangen wird, d.h. manche Gruppen von Menschen benachteiligt sein könnten. Eine allgemeine mathematische Beschreibung findet sich u.a. in [KLEF00].

Anhand von Fallbeispielen lassen sich Erfahrungswerte mit der Verwendung der CENELEC-konformen Risikoanalysen formulieren [Bra02], von denen hier einige wegen der Relevanz in der weiteren Bearbeitung erwähnt werden:

- es gibt bisher für die Eisenbahntechnik kein allgemeines, international anerkanntes Risikoakzeptanzkriterium
- Der Wert der Risikoanalyse besteht auch in dem Zwang, Entscheidungen bewußt zu treffen und sie nachvollziehbar zu dokumentieren.
- Der qualitative Teil der Analyse ist aufgrund der damit verbundenen intensiven Diskussion der wichtigste, hier sollten insbesondere alle Anwendungsexperten mit einbezogen werden.
- Der quantitative Teil der Analyse sollte nicht überschätzt werden, da er lediglich zur Bewertung der Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen sowie der Skalierung und Aufteilung der Sicherheitsanforderungen dient.

Die Eisenbahn gilt im Vergleich zum Individualverkehr als sicherer Verkehrsträger [Sac03]. Dieser Umstand kann durch die Unfallstatistik u.a. auch für Österreich belegt werden, obwohl singulären Ereignissen (z.B. Entgleisung in Himberg am 23.12.03) in der medialen Berichterstattung vergleichsweise viel Platz zugestanden wird. Der Vergleich zum Straßenverkehr zeigt, daß die Anzahl der pro Jahr Getöteten dort viel höher ausfällt, aber gesellschaftlich toleriert wird. Die subjektive Wahrnehmung Einzelereignisse mit vergleichsweise höher Opferzahl stärker zu bewerten als laufende und geringe Opfer, spiegelt sich auch in dem Risikoakzeptanzkriterium MEM der EN 50126 [CEN99] wieder. Dort findet sich als akzeptiertes Risiko für ein Ereignis von 0-100 Toten ein Wert für das zulässige individuelle Risiko von 10^{-5} . Zwischen 100 und 1,000,000 Toten nimmt dieser Wert für die Risikoakzeptanz von 10^{-5} auf 10^{-9} ab (siehe Abb. 2.2.2.). Durch den implizit enthaltenen Aversionsfaktor in dem Risikoakzeptanzkriterium MEM allein, läßt sich aber

dieses Phänomen der unterschiedlichen Intensität der Berichterstattung nicht erklären. Aus [Oet98b] läßt sich für den Aversionsfaktor ein Faktor 100 zwischen Selbstbestimmung und Fremdbestimmung angeben.

In der Sprache des Risikomanagements bedeutet dies, daß der gegenwärtige Zustand im Eisenbahnbetrieb unterhalb des tolerierten Grenzzrisikos liegt, auch wenn damit nicht ausgeschlossen werden kann, daß Einzelereignisse auftreten können. Wenn nun Eingriffe in das System „Eisenbahn“ vorgenommen werden, die das Betriebsgeschehen sowohl auf technischer als auch auf organisatorischer Ebene ändern, muß ein Vergleich zwischen dem heutigen Zustand und dem zukünftigen gezogen werden. Dieser Philosophie entspricht das in der CENELEC-Norm 50126 [CEN99] genannte Sicherheitskriterium GAMAB, durch dessen Anwendung sichergestellt werden soll, daß neue technische Systeme mindestens so sicher sind, wie ihr bisherigen. Die tatsächliche Sicherheitsberechnung nach diesem Kriterium erweist sich in der Praxis öfters als kompliziert, da Zahlenwerte zum Einsetzen in das Vergleichskriterium praktisch nicht erhältlich im Sinne einer Datenverfügbarkeit sind..

3. Sicherheitstechnik und Sicherheitskultur

Eine legitime Frage zur Sicherheitskultur ist die, ob es systemimmanente Unfälle z.B. mit einer (vorab rechnerisch ermittelten) Eintrittswahrscheinlichkeit kleiner 1 Mal in 10,000 Jahren und einem Schadensausmaß größer 1 Mio. € geben wird, gleichsam unvermeidbare Unfälle [Bra04]. In komplexen Systemen wie eben der Eisenbahn treten trotz eines hohen technischen und organisatorischen Aufwandes zur Unfallvermeidung immer wieder Unfälle auf, teilweise auch mit katastrophalen Folgen. Es stellt sich daher die Frage, ob Unfälle in komplexen Systemen überhaupt jemals vermeidbar sein werden, weil sie vielleicht eine systeminhärente Eigenschaft sein könnten.

Nach [Per84] lassen sich komplexe Systeme nach zwei Hauptmerkmalen klassifizieren:

- Art der Interaktion: lineare oder komplexe Interaktion
- Art der Kopplung: lose oder enge Kopplung.

Die Unvereinbarkeit der Forderung bei eng gekoppelten Systemen nach zentralen Steuerungs- und Organisationsstrukturen und der Forderung bei komplexer Interaktion nach dezentralen Steuerungs- und Organisationsstrukturen führt seiner Ansicht nach zu einem Verbot von komplex interagierenden, eng gekoppelten Technologien, da bei Anwendung solcher Technologien katastrophale Unfälle vorprogrammiert wären. Glücklicherweise zählt die Eisenbahn nicht zu dieser Kombination von Systemen: es gibt zwar Verbesserungspotential, aber kein Verwendungsverbot.

Es gibt aber auch eine andere Art der Beschreibung von komplexen Systemen, wie etwa [Sch01] zeigt. Einerseits können komplexe Systeme durch eine räumliche Ausdehnung und Diversität andererseits auch durch die Anwesenheit unterschiedlicher Technologien geprägt sein. Des Weiteren folgen zu den rein technisch geprägten Aspekten auch noch Belange der Ergonomie. Zweifelsohne ist das Bahnsystem durch die Aufteilung auf verschiedenste Fachdisziplinen nach dieser Definition ein komplexes System. Darin zeigt sich auch ein Spannungsfeld, wenn Spezialisten der unterschiedlichen Fachrichtungen (angefangen vom Bauingenieur, dem Elektrotechniker, dem Maschinenbauer, dem Informatiker bis hin zur Betriebslenkung) miteinander kommunizieren und kooperieren müssen. Aufgrund der Systemgröße werden einzelne Personen selten einen Überblick über das Gesamtsystem samt seinen Wirkungsmechanismen haben.

Zwei wesentliche Grundprinzipien der Sicherheitstechnik, die u.a. in der Eisenbahn Anwendung finden, können in [Ham72] gefunden werden:

- Das fail-safe-Prinzip: Die grundlegende Forderung dieses Prinzips ist, daß ein Ausfall nur zur sicheren Seite erfolgen darf. Damit im Systemzustand des Ausfalls überhaupt eine sichere Seite erreicht werden kann, muß diese logischer Weise auch existieren. Beispielsweise können im Eisenbahnbetrieb alle Züge angehalten werden, um diesen sicheren Zustand zu erreichen. Auch technische Systeme wie etwa die Druckluftbremse können bei Ausfall einen sicheren Zustand ermöglichen. Leider läßt dieses Prinzip nicht immer bis in letzter Konsequenz erfolgreich anwenden, so daß Redundanzen notwendig werden, um ein Sicherheitsniveau zu garantieren.
- Das safe-life-Prinzip: da es auch Systeme gibt, die einen sicheren Zustand nicht besitzen oder dieser nur nach einer gewissen Zeitspanne erreichbar ist. Für solche Systeme ist dieses Prinzip idealer Weise anwendbar, da es fordert, daß sicherheitsrelevante Funktionen so zu gestalten sind, das ein Ausfall nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit eintritt. In der praktischen Anwendung erfordert dieses Prinzip redundante und hochzuverlässige Systeme.

Die Ansätze der Sicherheitsplanung lassen sich nach [OBH98a] grob in drei Kategorien aufteilen: empirische, maßnahmenorientierte und risikoorientierte. Sowohl der empirische als auch der maßnahmenorientierte Ansatz zählen eher zu den traditionellen Sicherheitsplanungen. Gerade bei neuartigen oder komplexen Fragestellungen erweist sich der risikoorientierte Ansatz als überlegen.

Ausgehend von den Neubaustrecken in Österreich, die in den letzten 10 Jahren einerseits durch die Eisenbahnhochleistungsstrecken AG (HL-AG) und die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) errichtet und andererseits von den ÖBB betrieben werden, wurden grundsätzliche Fragen zur Sicherheit im Eisenbahnbetrieb aktuell. Die Beschäftigung mit solchen Fragestellungen zur Sicherheitsphilosophie wurden dabei u.a. durch den hohen Tunnelanteil an Neubaustrecken aufgeworfen. Bis vor einigen Jahren konnte in allen Ländern Europas festgestellt werden, daß die Sicherheit der bestehenden Tunnelanlagen als hinreichend bewertet wurde. Diese Ausgangslage hat sich heute aber vor allem aus folgenden Gründen verändert:

- die rasch wachsende Verkehrsdichte

- die veränderlichen Dimensionen der Gefahrguttransporte, insbesondere bezüglich Menge, Konzentration und Häufigkeit
- die deutlich erhöhte Geschwindigkeit im Reise- und Güterverkehr
- die zunehmende Aversion der Bevölkerung gegen Großereignisse
- die aus topographischen Gründen oder auf Druck des Umweltschutzes immer längeren Eisenbahntunnel in allen europäischen Ländern.

Die Notwendigkeit von ergänzenden Vorschriften ergibt sich vor allem bei Neubautunneln von Längen größer 1 km (aktueller Stand November 2004 in Österreich). Angesichts der Tatsache, daß die Eisenbahn als sicheres Verkehrsmittel gilt, war es bisher allgemeiner Standard, das Schwergewicht bei Neuanlagen darauf zu legen, daß die Risiken infolge neuer Bedürfnisse – wie z.B. erhöhter Geschwindigkeiten oder erhöhter Nutzung der Anlagen – so behandelt wurden, daß sich das Sicherheitsniveau der Bahn auf keinen Fall verschlechtert. Erst die in westeuropäischen Ländern eingeführten Störfallbetrachtungen brachten neue Gesichtspunkte, die zur Formulierung von festgeschriebenen Schutzzielen führten.

Für die Planung und Realisierung von Sicherheitsmaßnahmen für die Eisenbahn lassen sich nach [OBH98b] folgende Grundsätze ableiten:

- Das Sicherheitsniveau der Bahn soll in einem angemessenen Verhältnis zur Sicherheit anderer Verkehrsträger und zivilisatorischer Anlagen stehen (äußere Ausgewogenheit).
- Die Sicherheitsniveaus verschiedener Bahnbauten bzw. Tätigkeiten sollen in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen (innere Ausgewogenheit).
- Die Sicherheitsmaßnahmen sollen in den Bereich der festen Anlagen, des Rollmaterials, des Betriebes und der Organisation optimal aufeinander abgestimmt sein (technische Ausgewogenheit).
- Die finanziellen Mittel sollen so eingesetzt werden, daß die Effizienz der Maßnahmen möglichst hoch ist. Auf ineffiziente Maßnahmen soll bewußt verzichtet werden (Verhältnismäßigkeit).

Unter Wahrung dieser Grundsätze sollte es möglich sein, ein nach Kosten und Nutzen optimiertes Maß an Sicherheit für einen Infrastrukturbetreiber zu erzielen. Natürlich bedürfen diese allgemein formulierten Ziele einer Konkretisierung, um einer praktischen Verwendung tauglich zu sein. Zur systematischen Sicherheitsplanung müssen daher diese verbalisierten Ziele in quantifizierbare Beurteilungskriterien übergeführt werden.

Ein zentraler Punkt bei der Beurteilung von Sicherheitsfragen ist in Deutschland die dort geltende Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO) der mittlerweile in DB-AG umbenannten Eisenbahnverwaltung. Die dort angeführten Absätze 1 und 2 des §2 zeigen die grundsätzliche Anforderung unabhängig von den CENELEC-Normen 50126 [CEN99], 50128 [CEN02] und 50129 [CEN00].

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

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

Eine Ähnlichkeit der Philosophie zum Risikoakzeptanzkriterium GAMAB der EN 50126 [CEN99] Anhang D ist durchaus erkennbar, wie auch [Bra02] festgestellt, wobei es aber auch Unterschiede geben kann. Enthält nun die EBO ausdrückliche Vorschriften und entsprechen die Bahnanlagen und Fahrzeuge diesen Vorschriften, gelten die Anforderungen als erfüllt bzw. die Sicherheit als nachgewiesen. Finden sich in der EBO keine ausdrücklichen Vorschriften und entsprechen die Bahnanlagen und Fahrzeuge jedoch den anerkannten Regeln der Technik, gelten die Anforderungen ebenfalls als erfüllt. Unter dem Terminus der anerkannten Regeln verbergen sich jene Regeln und Vorschriften, die in entsprechenden Fachkreisen bekannt und auch als richtig anerkannt sind. Beispiele dafür sind etwa die DIN-Normen oder auch die UIC-Merkblätter.

Grundlage für die Darstellung und Bewertung von kollektiven Personenrisiken ist das Wahrscheinlichkeits-/Ausmaß-Diagramm. In dieses Diagramm werden die Risiken in Form einer Summenkurve eingetragen.

Limiten für das akzeptable Risiko, werden z.B. in der Schweiz in Form von Grenzlinien (Akzeptanzlinien) im W/A – Diagramm eingezeichnet. Das W/A – Diagramm wird so von der Akzeptanzlinie und der Unerheblichkeitslinie in drei Teile aufgeteilt. Über der Akzeptanzlinie müssen alle Risiken vermieden werden. Unterhalb der Unerheblichkeitslinie gelten Risiken als akzeptiert und werden nicht weiter bearbeitet.

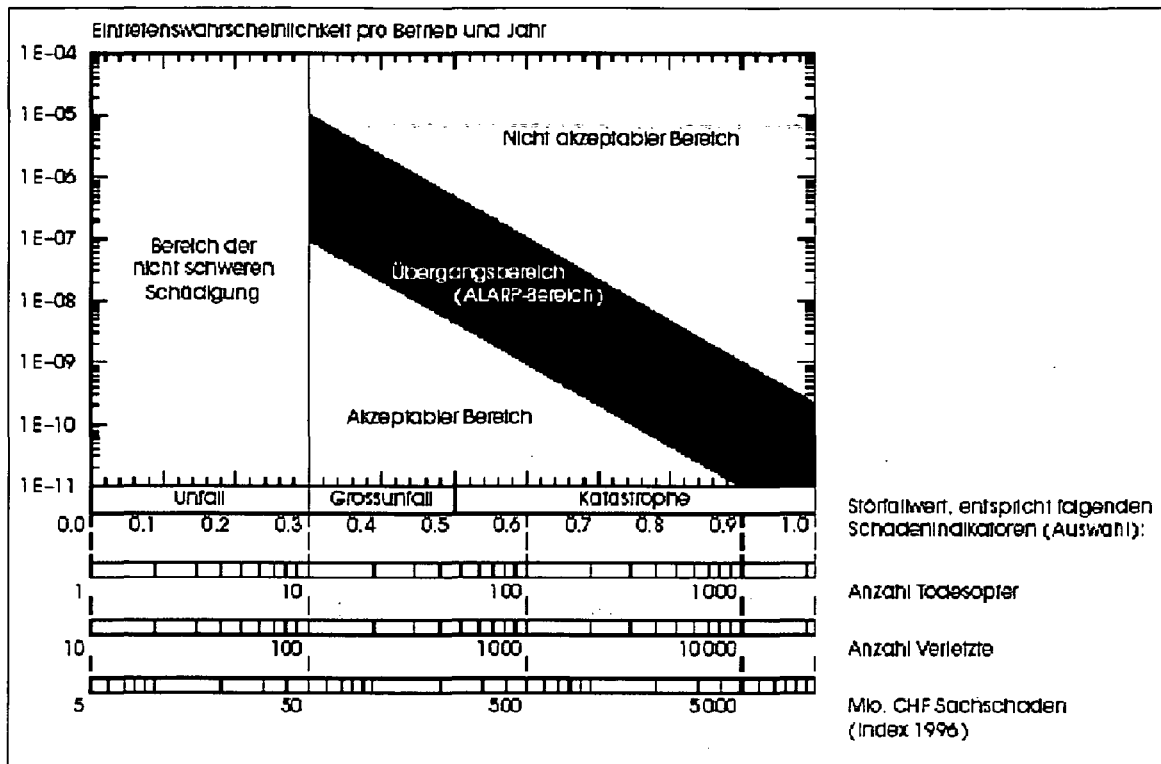


Abb.3.1. Wahrscheinlichkeits-Ausmaß-Diagramm nach [StF91]

Im Bereich zwischen den beiden Begrenzungslinien kann nun das bei verschiedenen europäischen Bahnen verwendete ALARP-Kriterium (As Low As Reasonably Practicable). Damit wird die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit für die Beurteilung von Maßnahmen bzw. deren Kosteneffizienz in die Überlegungen einbezogen. Das Risiko soll soweit reduziert werden, wie dies technisch / betrieblich möglich und verhältnismäßig ist.

Maßnahmen zur Risikoreduktion

Sind die Gefahren und ihre Folgen erkannt, so kann die Gefahrenreduktion überlegt werden. Dabei werden folgende Methoden nacheinander angewendet [Sch01]:

- Ausschluß oder Minderung des Gefahrenpotentials
- Vermeidung des Auslösers
- Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Folgeereignissen

Der dreistufige Ansatz zur Risikoreduktion zeigt einen ereignisorientierten Bezug auf. Zunächst wird geprüft, ob ein Gefahrenpotential nicht beseitigt oder reduziert werden kann. Gelingt es nicht, ist der nächste Ansatzpunkt der Auslöser. Entweder gelingt es den Auslöser zu vermeiden oder zumindest seine Eintrittswahrscheinlichkeit zu reduzieren. Das

verbleibende Gefahrenpotential kann nur noch über Maßnahmen zur Reduktion des Folgeereignisses reduziert werden.

Soll nun entschieden werden, welche Maßnahmen mit Mitteln für eine Risikoreduktion am sinnvollsten angeordnet werden, so müssen auch Aussagen über die Aufgliederung dieses Risikos auf verschiedene Teilrisiken gemacht werden können. Es ist wichtig zu sehen, daß die Qualität jeder Maßnahmenplanung eindeutig durch die Qualität der Risikostrukturierung bestimmt wird.

Eine solche Aufgliederung der möglichen Unfall- und Schadensereignisse ist mit sogenannten Ereignisabläufen möglich. Der Ablauf eines Unfalls oder einer Störung kann dabei zunächst in typische Phasen aufgeteilt werden. Vorerst muß eine primäre Ursache oder ein auslösendes Moment vorhanden sein. Daraus kann sich eine gefährliche Situation ergeben. Befinden sich während des Andauerns der gefährlichen Situation Züge im betroffenen Umfeld, kann eine erste Einwirkung auf einen oder mehrere Züge stattfinden. Diese Initialwirkung kann einen Unfall, das sogenannte Hauptereignis, auslösen. Dieses Hauptereignis kann letztlich zu verschiedenen Schadenwirkungen führen.

Versucht man nun für ein ganzes System, wie es die Eisenbahn nun einmal ist, die Gesamtheit aller möglichen Unfallabläufe von den primären Unfallursachen bis zu den verschiedenen möglichen Unfallfolgen darzustellen und zu analysieren, so erkennt man rasch, daß dies eine praktisch unlösbare Aufgabe ist. Selbst bei verhältnismäßig einfachen Vorgängen kann mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln eine genaue Simulation kaum durchgeführt werden. Die Zusammenhänge sind dazu im einzelnen viel zu komplex, und zudem würden die Daten fehlen, um solche Modelle zu speisen.

Maßnahmen bezwecken ja, das Risiko, also die Schadenserwartung in einem System abzumindern. Die Risikodefinition zeigt, daß dies auf zwei Arten möglich ist: entweder durch eine Verminderung der Eintretenswahrscheinlichkeit von Unfallereignissen oder durch eine Verminderung der Schadenwirkung im Ereignisfall. Viele Maßnahmen können in diesem Sinne nicht eindeutig zugeordnet werden. So wird z.B. die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit sowohl die Wahrscheinlichkeit einer Entgleisung verkleinern als auch die Schadenfolgen im Falle einer Entgleisung vermindern. Im Prinzip ist es für die Beurteilung einer Maßnahme nicht entscheidend, ob sie eine Reduktion des Risikos durch

eine Verkleinerung der Eintretenswahrscheinlichkeit oder der Schadensauswirkung verursacht.

Ein anderes wichtiges Unterscheidungsmerkmal für Sicherheitsmaßnahmen hängt mit ihrem Wirkungsbereich zusammen. In unserem Fall können konkret folgende Stufen unterschieden werden:

1. Maßnahmen, die nur in einem ganz beschränkten Bereich wirken, also z.B.: nur in einem Streckenabschnitt, aber auch nur an einzelnen Zügen bestimmter Gattungen
2. Maßnahmen, die an allen Strecken wirken. Als Beispiel für diese Gruppe von Maßnahmen kann die Einführung von Koordinierungsstellen für Sicherheitsfragen angeführt werden
3. Maßnahmen, die im gesamten Netz wirken. Dies gilt z.B. für die Erarbeitung von Verhaltensregeln bei Unfällen.

Die Maßnahmen der ersten Gruppe weisen tendenziell ein schlechtes Kosten/Nutzen-Verhältnis auf. Typischer Weise gehören die meisten baulichen Maßnahmen in diese Gruppe. Grundsätzlich wird eine Maßnahme umso effizienter, je größer deren Wirkungsbereich ist. Gerade bei sehr seltenen Unfällen mit unbekanntem Ereignisort weisen ortsgebundene Maßnahmen gegenüber beweglichen entscheidende Nachteile auf.

Weitere Unterschiede ergeben sich auch, wenn Maßnahmen in bauliche, apparative und organisatorische gegliedert werden. Maßgebend ist dabei vor allem die unterschiedliche Lebensdauer bzw. Flexibilität dieser drei Maßnahmenarten. Bauliche Maßnahmen sind durch hohe Investitionskosten bei langer Lebensdauer charakterisiert. Dabei werden die entsprechenden Geldmittel über lange Zeit gebunden, und es wird auch für lange Zeit ein bestimmter Stand der Technik festgelegt.

Organisatorische Maßnahmen sind dagegen fast laufend den neuesten Erkenntnissen anpaßbar, und die Mittel können laufend gesteuert werden. Technisch-apparative Maßnahmen nehmen je nach Lebensdauer der entsprechenden Geräte und Einrichtungen eine Zwischenstellung ein. Immerhin sei auch erwähnt, daß umgekehrt bei organisatorischen Maßnahmen die Gefahr besteht, daß sie im Laufe der Zeit nachlässig gehandhabt werden. Dies gilt insbesondere dort, wo es um Maßnahmen gegen sehr seltene Unfälle geht.

4. Zur Zuglaufüberwachung

Der geplante Rückzug der Fahrdienstleiter aus der Fläche bedeutet für das System der Eisenbahn einen Eingriff auf der organisatorischen und technischen Ebene. Die ursprüngliche Funktion der Fahrdienstleiter war die Sicherung der Zugsfahrten, d.h. das Stellen von Fahrstraßen. Für diese Aufgabe gab es seit Beginn der Eisenbahn Hilfsmittel: als erste Bauform eines Stellwerkes wurden mittels mechanischer Zwänge die Abhängigkeiten der Signale und Weichen wiedergegeben. Die Entwicklung führte über Drucktasten-Stellwerken bis hin zu den heute üblichen elektronischen Stellwerken. Die Beobachtung des Zuges erfolgte nicht nur von einer Seite (wie man aus der Abbildung folgern könnte), sondern von beiden Seiten abwechselnd, da die Stellwerke bzw. der Sitz der Fahrdienstleitung auf Bestandsstrecken (eher zufällig) alternierend verteilt wurden.

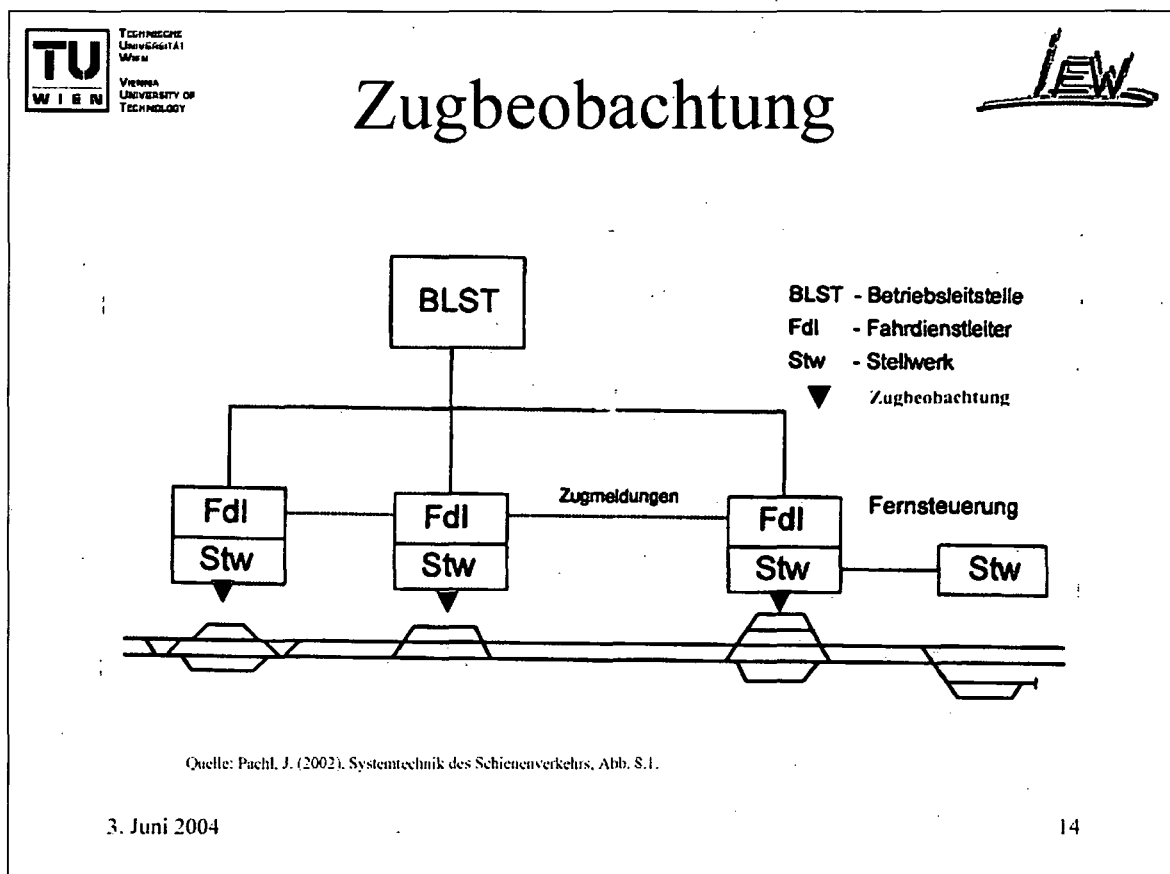


Abb.4.1. Zugbeobachtung nach [Sch04]

Im Lauf der Zeit kamen immer mehr Aufgaben für den Fahrdienstleiter dazu, die sogar bis zum Fahrkartenverkauf führten. Eine nicht unwesentliche Funktion war und ist dabei auch die Überwachung der vorbeifahrenden Züge. Während früher noch zahlreiches, anderes Personal

entlang der Strecken postiert war, wie z.B. Blockposten, Schrankenwärter und dergleichen mehr wurden diese Funktionen im Laufe der Zeit durch die Stellwerkstechnik ersetzt.

Primär wird bei der Durchfahrt eines Zuges das Vorhandensein der Zugschlußtafel geprüft, sowie augenscheinlich erkennbare Unregelmäßigkeiten, wie etwa heißgelaufene Achsen. Die Zugschlußprüfung kann bei Reisezügen auch entfallen, wie eine Risikoanalyse von [Bit04] für die Deutsche Bahn gezeigt hat. Besonders routinierte Fahrdienstleiter können auch am Klang der rollenden Räder Unrundheiten oder Flachstellen erkennen. Des Weiteren lassen sich auch lockere Planen, die das Fahrzeugumgrenzungsprofil überschreiten können, problemlos erkennen. Es gibt aber auch Zugseigenschaften, die sich einer optischen bzw. akustischen Prüfung entziehen. So wird es nur schwer möglich sein, Radlasten bzw. Raddrücke einzuschätzen. Erst massive Überbelastungen können zu sichtbaren Verformungen der Wagenkonstruktion führen. Ungünstige Beladungszustände können aber bereits vor ihrer sichtbaren Ausprägung zu Entgleisungen bzw. Zerreißen des Zugverbandes führen.

Wenn nun aufgrund der Umstrukturierung der Zugsicherung auch die Kontrolle der passierenden Züge in den Betriebsstellen entfällt, besteht Handlungsbedarf, da diese Funktionen nun von technischen Systemen übernommen werden müssen. Als pragmatischen Ansatz könnte man folgende Überlegung aufstellen, daß bei jedem besetzten Bahnhof, der in Zukunft ferngesteuert werden soll, ein technisches Äquivalent aufgestellt werden muß. Diese Strategie würde zweifelsohne dem Sicherheitsgedanken entsprechen, in der Praxis aber zu hohen Kosten führen, die einem nur schwer erkennbaren Nutzen gegenüber stehen würden.

Da der technische Checkpoint mehrere Aufgaben gleichzeitig wahrnehmen kann (beide Seiten eines Zuges werden beobachtet, pro Gleis steht ein Checkpoint) ist er von der Untersuchungsgenauigkeit dem „menschlichen“ Checkpoint Fahrdienstleiter überlegen. Außerdem gibt es Fahrzeugeigenschaften, die optisch nicht wahrnehmbar sind, wie etwa Achsdrücke sowie deren Verteilung auf die einzelnen Achsen. Aus diesem Grund entsteht u.a. die Berechtigung für einen gezielteren Einsatz der knappen wirtschaftlichen Ressourcen. In einer ersten Ausbauphase von Checkpoints sind folgende Komponenten vorgesehen:

- Heißläufer-/ Festbremsortungsanlagen
- Flachstellenortungsanlagen
- Lichtraumprofilmeßanlagen
- Dynamische Radlastverwiegung

- Entgleisungssensoren
- Branderkennungseinrichtungen

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage der tolerierten Grenzwerte an den Checkpoints: zu restriktive Grenzwerte stellen Betriebsbehinderungen dar, da vermeintliche Fehlzustände durch Personal überprüft werden müssen und der Zug zwangsläufig eine Verspätung erleidet. Umgekehrt sind zu hohe Grenzwerte kontraproduktiv, da keine Alarmmeldungen generiert werden. Aus einem Feldtest können aber Erfahrungen mit neuen Sensoriken gesammelt werden, die dann als Basis einer dynamischen Grenzwertbildung dienen können.

4.1. Vorgaben aus TSI

Im Bezug auf Heißläuferortungsanlagen ist in der Technischen Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) des Teilsystems „Infrastruktur“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems gemäß Artikel 6 Absatz 1 der Richtlinie 96/48/EG [TSI02a] in den grundlegenden Anforderungen festgelegt, daß allfällig vorhandene Heißläuferortungsanlagen auf den interoperablen Strecken, die für den Verkehr der anderen Züge notwendig sind – bei den interoperablen Hochgeschwindigkeitsfahrzeugen findet eine fahrzeugseitige Überwachung statt - , keine Einschränkung ergeben oder den Verkehr der interoperablen Züge stören dürfen.

Die TSI „Fahrzeuge“ schreibt ein fahrzeugseitiges System zur Temperaturüberwachung der Radsatzlager vor (4.3.3.24.) in [TSI02b].

Wenn die Überwachungsanlagen jedoch streckenseitig installiert werden müssen, damit nicht ausgerüstete Züge oder andere Zugtypen, die auf der gleichen Strecke verkehren, überwacht werden können, müssen diese Detektoren mit den interoperablen Hochgeschwindigkeitszügen kompatibel sein oder kompatibel gemacht werden. Vor allem darf, wenn die interoperablen Züge solche Anlagen passieren, kein blinder Alarm ausgelöst werden, der die Hochgeschwindigkeitszüge zum Anhalten oder Abbremsen zwingen könnte.

Bezüglich der bereits in Betrieb befindlichen Infrastruktur (7.2.) wird die TSI „Infrastruktur“ [TSI02a] auf Komponenten angewendet, die von einer Erneuerung oder einem Ausbau betroffen sind. Bezüglich der Heißläuferortungsanlagen (7.2.6.) muß folgende Übergangsstrategie eingehalten werden:

- Vorübergehende Situation ohne validierte fahrzeugseitige Ortungssysteme

In dieser Phase muß die Überwachung der Radsatzlager vom Infrastrukturbetreiber über streckenseitige Anlagen erfolgen. Das Eisenbahnverkehrsunternehmen, das den Verkehr unter diesen Bedingungen (keine fahrzeugseitige Ortung) erbringen möchte, muß Kontakt mit dem Infrastrukturbetreiber aufnehmen um sicherzustellen, daß die vorhandenen ortsfesten Ortungsgeräte eine Überwachung der Radsatzlager seiner Züge ermöglichen und daß für den gewünschten Verkehr ausreichend häufig Kontrollen durchgeführt werden.

- Endgültige Situation mit fahrzeugseitigen Ortungssystemen für Hochgeschwindigkeitszüge, unter Beibehaltung der streckenseitigen Ortungssysteme zur Überwachung der Radsatzlager anderer Züge

Der Infrastrukturbetreiber der betroffenen Strecke muß das Überwachungssystem so anpassen, daß der Verkehr der interoperablen Züge, deren Radsatzlager durch fahrzeugseitige Geräte überwacht werden, nicht vom streckenseitigen System beeinflußt wird.

Zur Entgleisungsortung ist in der TSI „Fahrzeuge“ als Anforderung an die Leistungskennwerte festgelegt, daß neue Triebzugeinheiten mit Entgleisungsortungssystemen auszurüsten sind, sobald solche Systeme verfügbar und zugelassen sind (4.3.10.) in [TSI02b]

4.2. Patentschriften

Aus der Fülle der am österreichischen Patentamt in der Gruppe B 61 K und B 61 L vorhandenen Schriften sollen an dieser Stelle nur beispielhaft einige Patente, die sich mit der Zuglaufüberwachung beschäftigen, angeführt werden. Die Gruppen sind weltweit genormt und erleichtern dadurch eine gezielte Suche. In der Gruppe B 61 K ist die Untergruppe 9/00 Profillehren für Eisenbahnfahrzeuge; Nachweisen oder Anzeigen des Heißlaufens von Teilen; 9/04 Vorrichtungen an Lokomotiven oder Wagen zum Anzeigen von schlechten Gleisabschnitten; allgemeiner Aufbau von Fahrzeugen, die Gleismeßwerte aufzeichnen von besonderem Interesse. Einerseits wurde dabei nach aus der Branche bekannten Firmen sowie der ÖBB gesucht, andererseits wurden die in Papierform vorhandenen Schriftstücke gesichtet. Detaillösungen der Meßtechnik oder der Signalübertragung werden dabei aber nicht näher bedacht. Die in diesem Abschnitt zu jedem Patent angeführte Kurzbeschreibung entspricht den im Internet [WEB04] abrufbaren Kurzbeschreibungen. Dazu ist es lediglich erforderlich die angeführte Patentnummer in der Suchmaske einzugeben.

- DE 30 27 935 A 1: Es handelt sich hierbei um ein Verfahren und eine Anlage zur Erfassung heißer Achslagerbuchsen unabhängig von ggf. veränderbaren Umgebungsfaktoren. Heiße Achslagerbuchsen werden mittels einer Infrarotstrahlung oder dergleichen empfindlichen Detektoren zur Ermittlung der Temperatur erfaßt. Durch Anwendung von für Infrarotstrahlung empfindlichen Aufnahmeelementen mit einer gesteigerten Empfindlichkeit im interessierenden Wellenlängenbereich und durch Ausstattung dieser Elemente mit geeigneten Filtern, welche die Störung durch Sonneneinstrahlung eliminieren, erhält man ein für die in Frage stehende Anwendung befriedigendes Signal-Rauschverhältnis. Es sind Aufnahmeelemente unterschiedlicher Bauart verwendbar. Die am besten geeigneten Elemente sind photoelektronische Bauelemente, die eine der auftretenden Strahlung proportionale elektromotorische Kraft liefern. Kennzeichen der Erfindung ist, daß die den einzelnen Achslagerbuchsen jeder Seite entsprechenden Temperatursignale getrennt zur Bildung eines Wertes verarbeitet werden, daß jedes Temperatursignal mit diesem Mittelwert verglichen wird und daß ein Alarmsignal erzeugt, wenn ein Temperatursignal um einen oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegender Wert von dem Mittelwert abweicht. Eine Weiterentwicklung der Erfindung sieht vor, bei kurzen Zügen auch gespeicherte Temperatursignale als Vergleichsbasis zu verwenden.

- DT 25 34 123 A 1: In dieser Patentschrift wird ein Verfahren zur Früherkennung von Schäden an Radsatzlagern beschrieben. Die Grundlage ist die Überwachung der Temperatur der Radsatzlager mittels ständig erfassender Temperaturlaufnehmer direkt auf den Schienenfahrzeugen. Es wird vorgeschlagen, daß der Meßwert eines Temperaturlaufnehmers jedes Radsatzlagers erfaßt und entweder der Maximalwert aller Radsatzlager oder jeder Einzelwert angezeigt und bei Überschreiten bestimmter Temperaturgrenzen an mindestens einem Radsatzlager ein Signal ausgelöst wird. Es bietet sich an, ein Signal „Warnung“ auf dem Schienenfahrzeug bei Überschreitung einer Temperaturgrenze, die mit dem Schmiermittel in Zusammenhang steht, zu geben, und ein Signal „Alarm“ bei Überschreiten einer Temperaturgrenze, die mit der Wärmestabilisierung des Wälzlagerstahles zusammenhängt.
- DE 31 15 872 A 1: Die Erfindung bezieht sich auf einen selbstregelnden Radlager-Wärmesignal-Verarbeitungsschaltkreis, der veränderliche Mittel zum Verarbeiten des Wärmesignals enthält, das von einem Infrarot-Detektor erzeugt wurde, der eine Abtaststrecke entlang eines Gleisabschnittes überwacht. Das System enthält einen Einstell-Schaltkreis, der einen oder mehrere physikalische Zustände des Zuges bestimmt (wie die Radgeschwindigkeit oder die Temperatur des Wagenbodens). Diese Information wird zur Veränderung des Verarbeitungsschaltkreises verwendet.
- DE 41 07 649 A 1: Eine Einrichtung zum Überwachen der Lagertemperatur von Schienenfahrzeugrädern besteht im wesentlichen aus einem stationären Infrarotgerät und einem elektrisch aufheizbaren Infrarotgeber, der fahrzeugseitig an einer im Meßbereich des Infrarotgeräts liegenden Stelle, beispielsweise in der Nähe eines äußeren Lagers, angebracht ist. Um eine solche Einrichtung im Sinne einer höheren Zuverlässigkeit des Systems der Heißläuferortung und damit eines möglichst ungestörten Fahrbetriebes zu gestalten, ist der Infrarotgeber für eine Funktionskontrolle des stationären Infrarotgebers über einen manuell betätigbaren Schalter zu aktivieren.
- DE 32 26 275 A 1: Es wird ein Heißläufer-Überwachungssystem vorgeschlagen, bei dem Wärmesignale von Lagern, die sich innerhalb eines Gehäuses befinden, analysiert werden, um festzustellen, ob die abgetastete Oberfläche des Gehäuses eine innere Seitenwandfläche oder eine äußere Seitenwandfläche ist. Die Signale werden

normalisiert, um Differenzen in den wärmeabstrahlenden Eigenschaften der inneren und äußeren Seitenwände sowie Kühleffekte durch den Fahrtwind zu berücksichtigen.

- AT 408 214 B: Vorrichtung zum berührungslosen Messen der Temperatur von Lagern fahrender schienengebundener Fahrzeuge, insbesondere des Personen- und/oder Güterverkehrs mit einem Rechner, wobei am Gleis zumindest ein Achs- und/oder Radsensor in Fahrtrichtung gesehen vor einer Infrarotmeßeinrichtung mit mehreren Infrarotoptiken, die auf das zu messende Objekt gerichtet sind und deren Lager gerichteten Achsen unterschiedliche Winkel mit der Horizontalen einschließen, angeordnet ist, wobei zumindest zwei Infrarotoptiken an einer, insbesondere jeweils an beiden, Gleisaußenseite(n) angeordnet sind, welche voneinander unterschiedliche Normalabstände zur Schiene aufweisen, wobei jeder Infrarotoptik ein eigener Detektor zugeordnet ist und in den Strahlenwegen von dem zu messenden Lager bis zu den jeweiligen Detektoren, bezogen auf die Neigung der Achsen der Infrarotoptik, ausschließlich in nur einer Lage festgelegte Infrarotoptikelemente, insbesondere Spiegeln, Prismen od. dgl., angeordnet sind.
- DE 196 46 098 A 1: Die Erfindung betrifft eine Meßanordnung zur Bestimmung der Istgeometrie großer Bauteile; ihr Einsatz bietet sich besonders zur sicheren und kostengünstigen Überprüfung des Profils von Schienenfahrzeugen an. Ziel der Erfindung ist es, eine weitgehend universal einsetzbare Anlage vorzuschlagen, die sich bei Gewährleistung ausreichender Meßgenauigkeit und hoher Produktivität durch vergleichsweise geringen Aufwand auszeichnet. Erfindungsgemäß sind Laserstrahlebenen außerhalb der Prüflingskontur in Form eines den Prüfling in seiner Längsachse einhüllenden Systems definiert aufgespannt, über die die Ermittlung der Differenzmaße zur Sollgeometrie erfolgt. Die Laserstrahlebenen sind anhand maßgenau definierter Bezugspunkte fixiert; zur Maßermittlung werden bevorzugt Meßadapter mit Laserstrahlempfängern genutzt.
- DE 101 02 673 A 1: Bei einem Verfahren zur Bestimmung des Raddurchmessers und/oder Radprofils von Schienenfahrzeugrädern wird ein Meßschlitten parallel zu mindestens einem Rad eines über eine Meßstrecke bewegten Radsatzes bewegt. Vom Meßschlitten wird mindestens ein Meßstrahl auf die Radlauffläche des zu vermessenden Rades gerichtet, der reflektierte Meßstrahl erfaßt und daraus die Entfernung zur Radlauffläche des vermessenden Rades ermittelt. Aus einer erfaßten

und/oder berechneten Relativposition des zu messenden Rades und des Meßschlittens wird zumindest ein Teilradius des vermessenden Rades bestimmt.

- GB 2041608: A body mis-alignment detection system, e.g. a railway wagon derailment detection system, in which the lateral limits of a body's path are defined by a trip-wire arrangement in one embodiment and a photo-electric beam arrangement in an alternative embodiment, is disclosed. In the trip-wire arrangement, the trip-wires are connected to earth leakage current sensing means so that when a contact is made between the trip-wires and a mis-aligned body, the contact is detected and an alarm energized or other action triggered. In the photo-electric beam arrangement, beam continuity is sensed continuously by photo-electric detectors; thus, immediately upon beam interruption by a mis-aligned body similar action is initiated.
- DE 3537588: The rail contacting device for axle counting systems for railway safety technology consists of a laser transmitter whose radiation is divided in two with the aid of an optical beam divider. One part of the radiation is guided via a sensor glass fibre which is attached with a predetermined length to a rail in such a way that when one wheel of a vehicle passes a reversible change in length occurs. The other part of the radiation passes via a reference glass fibre which is not mechanically affected by the vehicle wheels to an optical beam combiner which is additionally connected to the sensor glass fibre. When vehicle wheels pass over it, an evaluation device which is connected to the beam combiner outputs the pulses necessary for the axle counting device.
- DE 4018999: The device bracketed to the web of a rail in e.g. a marshalling yard has a rectangular parallelepipedal housing secured by tongues to which an electric conductor is fastened mechanically to form a loop around the fixing holes. The conductor is connected in the link between an oscillator and a remote processing circuit, which link becomes broken if either tongue is torn from the housing. Another embodiment has the conductor in printed form. Mechanical damage to detector automatically renders it inoperative and is immediately recognisable by monitoring station.
- DE 3445115: The invention relates to a new arrangement for simplifying and improving safety of running trains on single-track and multi-track routes using axle counter devices. By means of the arrangement of an axle counter device in

conjunction with a display and signalling device and an associated display panel, immediate check for completeness of the train by the driver is possible even when travelling. By means of this arrangement, in conjunction with the central train control system via radio, costly cabling along the route and operating and maintenance personnel can be dispensed with and thus rational and safe utilisation of the railway network is achieved.

Die kurze Beschreibung der gefundenen Patentschriften soll zeigen, daß es sehr wohl Erfindungen für Einzelkomponenten gibt, daß aber die Idee einer Vernetzung und der sich daraus ergebenden Synergieeffekte nicht urheberrechtlich geschützt ist.

Als Zugänge für die Überwachung von Zugsfahrten stehen prinzipiell folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- fahrzeugseitig
- infrastrukturseitig
- Kombinationen aus infrastrukturseitig und fahrzeugseitig

4.3. Fahrzeugseitige Überwachung

Der fahrzeugseitige Ansatz wirkt von der Theorie her sehr verlockend, da mit dieser Überprüfung unabhängig vom Ort zu jedem Zeitpunkt Meßwerte vorliegen, die einen Aufschluß über Fehlzustände liefern können. In der Praxis scheitert der theoretisch wertvolle Ansatz für das gesamte Fahrzeugkollektiv aber u.a. an den verschiedenen Bahnverwaltungen, die in der UIC nur informell aber nicht operativ verbunden sind. Sehr wohl aber gibt es Beispiele aus der Literatur für sinnvolle und wirtschaftliche Anwendungen.

Die fahrzeugseitige Diagnose von Entgleisungen zählt zu den passiven Sicherheitsmaßnahmen, da präventive Maßnahmen nie vollständig eine Entgleisung verhindern werden können. Eine schnelle fahrzeugseitige Entgleisungsdetektion kann einen wertvollen Beitrag zur raschen Gefahrenerkennung liefern und somit das potentielle Schadensausmaß reduzieren. Als Indikatorwert für die Entgleisungserkennung schlägt [HS01] die Standardabweichung der Beschleunigungen am Fahrzeug vor. Als zusätzlichen Nutzen wird des weiteren vorgeschlagen, die Entgleisungsdetektoren an Güterwagen in Verbindung

mit Telematik anzuwenden. Auf dem Fahrzeug sollen die Meßdaten verarbeitet werden und im Entgleisungsfall automatisch an geeignete Empfänger gesendet werden.

Im Rahmen eines geförderten Forschungsvorhabens wurde an der TU Berlin ein zweistufiger Versuch über die Möglichkeit der Entgleisungsdetektion und der Ladegutüberwachung von Gefahrguttransporten auf der Schiene untersucht [HR02a]. Die Notwendigkeit dieser Forschungstätigkeit wurde aus mehreren Unfällen beim Eisenbahntransport von Gefahrgütern in den vergangenen Jahren abgeleitet. Ziel war es zu zeigen, daß durch den Einsatz von Telematik die Sicherheit beim Transport durch Überwachung der Fahrt von Güterwagen als auch des Ladegutzustands erhöht werden kann.

Gerade beim automatischen Fahren ist die fahrzeugseitige Überwachung des Fahrzeuges ein wesentlicher Punkt [HR02b]. Automatisches Fahren soll in diesem Zusammenhang bedeuten, daß der Betrieb weitestgehend ohne menschliche Bedienung abläuft. Fahrerlose Systeme gibt es heute nur in isolierten Netzen ohne Mischverkehr mit anderen Zügen und mit einer Fülle an behördlichen Auflagen [PB00]. Wesentliche Sensorikkomponenten, die fahrzeugseitig installiert werden, sind

- Entgleisungsdetektion: da im konventionellen Güterwagenverkehr die Entgleisung ein beachtliches Gefährdungspotential darstellt, müssen Fahrzeuge für den Automatischen Betrieb auf unbesetzten Strecken sinnvoller Weise damit ausgestattet werden.
- Bremsdiagnose: die bisher vor Beginn einer Zugsfahrt manuell durchgeführten Bremsproben müssen durch vollautomatische Bremsproben ersetzt werden.
- Gleisfreimeldung/Hinderniserkennung: diese Komponente ist sowohl für den Betrieb (Annähern, Kuppeln) als auch für die Sicherheit (Streckenfreimeldung) maßgeblich verantwortlich. Die Kosten dieser Komponente liegen zur Zeit noch in einem sehr hohen Bereich.
- Federung: diese korrespondiert mit dem Ladegutzustand. Für den Fall der Entgleisung wirkt eine gebrochene Feder begünstigend, da die Spurführung der Radsätze verschlechtert wird.
- Radsatzlager: einerseits müssen Heißläufer sicher erkannt werden, andererseits auch der Lagerverschleißzustand.

Ein weiterer Aspekt, der über die Sicherheit des Eisenbahnbetriebes hinausgeht, ist die Anwendung von Onboard-Fahrwerksdiagnose- und-überwachungssystemen zur Erhöhung der

Betriebssicherheit und Verfügbarkeit von Schienenfahrzeugen und zur Erzielung von Einsparungen bei der Instandhaltung. Der primäre Zweck solcher Einrichtungen liegt in der Auffindung des optimalen Zeitpunktes um Instandhaltungsmaßnahmen wirtschaftlich optimal zu setzen. Die Siemens SGP Verkehrstechnik hat ein solches System zur Fahrwerksdiagnose und -überwachung entwickelt, welches im Wesentlichen auf dem Prinzip der Schwingungsanalyse basiert [WS01]. Aus der Interpretation der Daten, die von Sensoren geliefert werden, können frühzeitig Verschleißerscheinungen sowie Schäden, die zu einer Entgleisung führen könnten, erkannt werden.

4.4. Infrastrukturseitige Maßnahmen

Eine seit den 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts im Einsatz befindliche und unter stetiger Verbesserung befindliche infrastrukturseitige Maßnahme ist die Heißläufer- und Festbremsortungsanlage. Die Problematik heiß gelaufener Radsatzlager und schadhafter Bremsen und der daraus resultierenden Unfälle ist schon seit längerem bekannt. Zur Detektion wird die starke Wärmeentwicklung, die mit einem Radsatzlager- oder Bremsschaden einhergeht, herangezogen. Durch die Verfügbarkeit von schnellen Infrarotdetektoren und den zunehmenden Möglichkeiten moderner Mikroprozessoren stieg die Präzision der Temperaturerfassung, so daß diese Anlagen heute zum Stand der Technik gehören [NL00]. Zur Anschauung sei an dieser Stelle auch ein Foto einer Heißläuferortungsanlage der ÖBB in Himberg gezeigt.

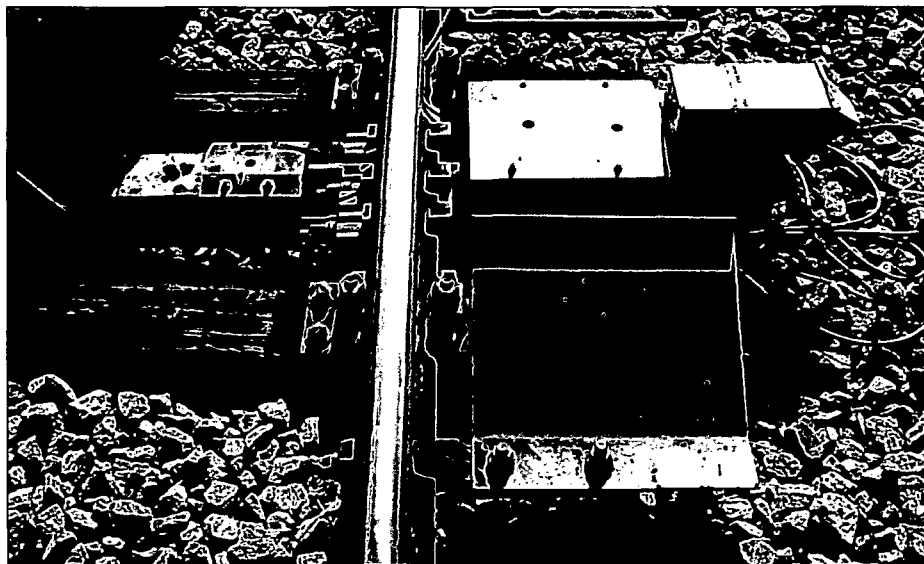


Abb..4.4.1. Heißläuferortungsanlage bei den ÖBB in Himberg aus [Sch04]

Durch den Einsatz von Radüberwachungssystemen konnten beispielsweise auch die Kosten bei der Instandhaltung und im Betrieb von S-Bahn-Fahrzeugen der Dänischen Staatsbahnen signifikant gesenkt werden [DR01]. Die durchschnittliche Lebensdauer der Räder konnte gesteigert werden, da die Räder auf Flachstellen untersucht wurden. Bei der neueren Entwicklung lassen sich auch Unrundheiten, Polygonisierungen und Riffelbildungen auffinden. Die Installation einer solchen Anlage erfolgt infrastrukturseitig und zwar dort, wo statistisch gesehen die häufigste Überföhrung stattfindet.

Der Rundlauf von Eisenbahnrädern weicht bei ungleichem Verschleiß von der Idealform des Kreises ab. Eine Klassifikation der Fehler kann nach [RJ01] folgendermaßen vorgenommen werden:

- singuläre Störstellen, wie Flachstellen und Abplattungen,
- polygonartige Unrundheiten,
- stochastische Unrundheiten.

Diese Radfehler bedingen eine Erhöhung der dynamischen Kräfte, die zwischen Fahrzeug und Fahrweg auftreten. Einerseits bewirken diese erhöhten Kräfte einen weiteren Verschleiß am Rad, andererseits auch eine Schädigung des Oberbaus. Ein Überblick über das Unrundwerden von Eisenbahnrädern aus werkstofftechnischer Sicht kann u.a. in [MO01] gefunden werden.

Nach [MM99] sind es im wesentlichen zwei Gründe, die das Entstehen von Unrunden Rädern bei Hochgeschwindigkeitszügen begünstigen:

- Aufgrund der höheren kinetischen Energie von Hochgeschwindigkeitszügen wird mehr Bremswirkung benötigt. Deshalb sind deren Radsätze mit mehr Bremsscheiben als gewöhnlich ausgestattet, typischer Weise mit vier statt mit zwei Scheiben.
- Da der Raddurchmesser von Hochgeschwindigkeitszügen mit dem von langsameren Zügen derselben Eisenbahngesellschaft vergleichbar ist, haben Hochgeschwindigkeitsradsätze eine wesentlich größere Winkelgeschwindigkeit als bisher üblich.

Durch die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten der Züge in einem Eisenbahnnetz ergeben sich meist auch höhere Anforderungen an das Gleisnetz und an das rollende Material. Beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge entsteht aufgrund der Wechselwirkung zwischen Rad und Schiene der größere Verschleiß am Rad. Dadurch kommt es in der Folge zu

Verschlechterungen bei der Radgeometrie, des Werkstoffzustandes und der Oberflächenqualität. In weiterer Konsequenz erhöhen sich die Beanspruchungen des Rad-Schiene-Systems und es kommt zu Minderungen im Fahrkomfort bis hin zu Beeinträchtigungen der Betriebssicherheit. Sofern nicht der Verschleiß am Rad und dessen Auswirkungen automatisch geprüft werden, wie in [HN00] beschrieben wird, fallen kostspielige manuelle Prüfungen an.

Der Checkpoint

Der Checkpoint zielt auf eine Vernetzung mehrerer Komponenten der Zuglaufüberwachung in einem einzigen Rechner ab. Aus den vorliegenden Daten sind Synergien zu erwarten, die eine zuverlässigere Aussagequalität ermöglichen sollen. Außerdem erfolgt eine Alarmmeldung an das zuständige Stellwerk, das wiederum auf ein zugeordnetes Hauptsignal einwirkt. In einer ersten Ausbauphase von Checkpoints sind folgende Komponenten vorgesehen:

- Heißläufer-/ Festbremsortungsanlagen
- Flachstellenortungsanlagen
- Lichtraumprofilmeßanlagen
- Dynamische Radlastverwiegung
- Entgleisungssensoren
- Branderkennungseinrichtungen

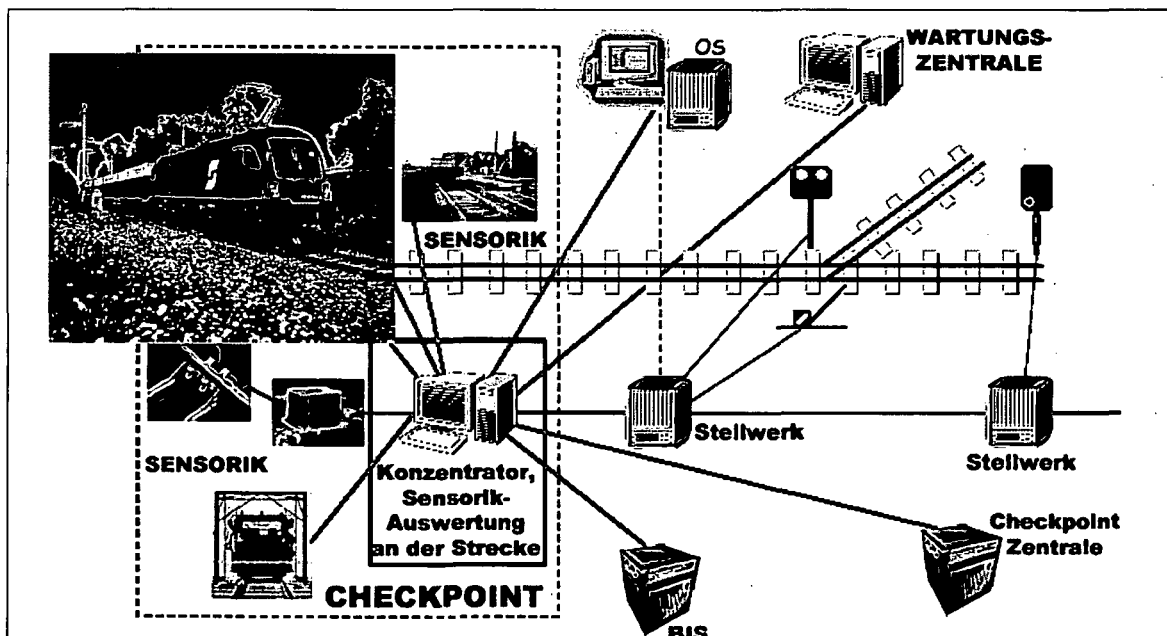


Abb.4.4.2. Schnittstellen und Funktionsweise eines Checkpoints [©Alcatel Austria]

Bis auf die Entgleisungssensoren sowie die Branderkennungseinrichtung sind marktreife Lösungen vorhanden, die in einem Feldtest geprüft werden. Die Ergebnisse dieses Feldtests werden Aufschluß über die Zuverlässigkeit sowie die Verfügbarkeit der Einzelkomponenten bieten.

Durch die Vernetzung der einzelnen Standorte soll es möglich sein, Daten über den Zuglauf hinweg an den einzelnen Standorten zur Diagnose des Zugzustandes zur Verfügung zu stellen. Durch den an sich modularen Aufbau des Checkpoints können die einzelnen Komponenten selektiv entsprechend ihrer Wirkungsweise an den Standorten plaziert werden. Gerade durch die Kombination der Informationen der Einzelkomponenten versucht man, die menschliche Fähigkeit der Kombinatorik aus unterschiedlichen Sinneswahrnehmungen nachzubilden.

Neben dem sicherheitsrelevanten Aspekt der rechtzeitigen Gefahrenerkennung steht auch die Möglichkeit offen, die an einem Standort gesammelten Daten einer Wartungszentrale zuzuführen, die dann wiederum eine Benachrichtigung an die Besitzer der vorbeifahrenden Triebfahrzeuge und Wagen verschicken kann, um die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten besser planen zu können.

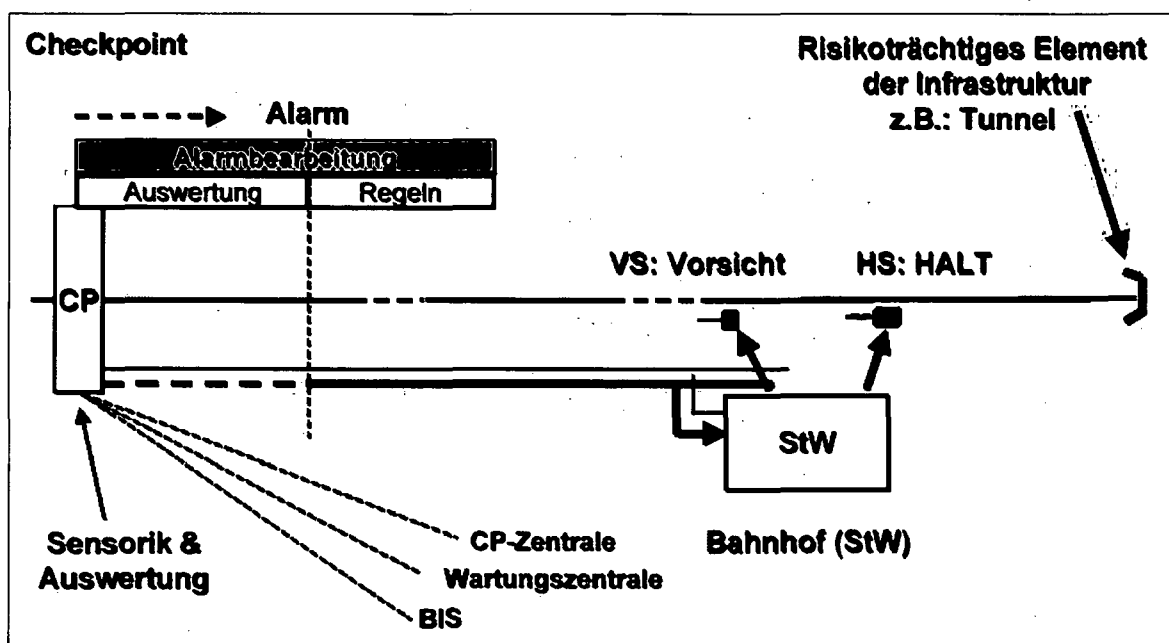


Abb.4.4.3. Standortbezogene Darstellung der Funktionsweise eines Checkpoints

4.5. Kombinierte Anwendung

Im Hochgeschwindigkeitsverkehr werden infrastruktureitige und fahrzeugseitige Maßnahmen gerne kombiniert, um die Optimierung von Instandhaltungsprozessen hinsichtlich der Kosten und der Verfügbarkeit der Fahrzeuge zu erzielen [MSK01]. Die Anwendung von Onboard-Systemen beschränkt sich meist nur auf die Diagnose von elektrischen Einrichtungen, jedoch selten nur mit Schadensfrüherkennungen. Bei der Deutschen Bahn AG wurde die Entwicklung eines Frühwarnsystems gestartet, mit dem eine Schadensfrüherkennung an Komponenten von Fahrwerken des Hochgeschwindigkeitsverkehrs unter Einsatz von fahrzeugintegrierter Sensorik erfolgen soll. Ergänzt werden diese Onboard-Systeme durch ortsfeste Diagnosesysteme wie z.B. Heißläufer-/Festbremsortungs- und Radsatzdiagnoseanlagen.

Einen guten Überblick über die Strategie der DB AG gibt [Hei01] sowie [BMKS02], wo sowohl stationäre Einrichtungen als auch Onboard-Systeme beschrieben werden. Bei den stationären Einrichtungen werden folgende Komponenten erwähnt:

- Bremsbelagdiagnoseanlage: für den ICE 1 werden innerhalb von 10 Minuten die Verschleißzustände der Bremsbeläge mittels Mustererkennungssoftware eingeordnet.
- Radsatzdiagnoseanlagen: alle 3800 km werden im ICE-System beim Überfahren das Radprofil und der Rundlauf kontrolliert, sowie Materialschäden unterhalb der Oberfläche der Laufflächen
- Automatischer Radsatzprüfstand: alle 240.000 km werden die Räder ausgebauter, reprofiliertes Radsätze auf Materialfehler geprüft.
- Unterflur-Prüfeinrichtung: alle 240.000 km können auch die Räder eingebauter, betriebsgelaufener Radsätze geprüft werden.
- Stromabnehmer-Anhubdiagnose: hier wird die dynamische Anpreßkraft von Stromabnehmern gemessen.
- Heißläufer-/Festbremsortungsanlagen: sind seit langem Stand der Technik.
- Lange Q-Kraft-Meßstelle: sind stationäre Detektionsanlagen für unrunde Räder.

Für die Onboard-Systeme bei der DB AG werden folgende Beispiele gebracht:

- Frühwarnsystem: für den ICE 2 wird in Abhängigkeit der Störgröße eine differenzierte Folgewirkung überlegt, angefangen von der reinen Meldung an die Instandhaltungsstelle bis hin zum direkten Eingriff in den Fahrbetrieb.

- Onboard-Diagnose im Güterzugverband: unter Einsatz von Achslagergeneratoren zur Energieerzeugung sollen vielseitige Anwendungen wie z.B. die Überwachung von Ladegut, Beladung, Zustand der Laufwerke und Zugdynamik realisiert werden.

Im Zuge der Liberalisierung des Zuganges zum Netz der Infrastrukturbetreiber wurde die Anzahl der EVUs noch größer. Verbindliche Vorschriften lassen sich nur in Form von Zulassungsbescheinigungen umsetzen, die aber vor dem Railregulator juristisch bekämpft werden können, da sie Barrieren zum Netzzugang darstellen. Daher läßt sich dieser Ansatz nur theoretisch weiterverfolgen oder nur für bestimmte Spezialarten von Wagenmaterial z.B. ROLA-Wagen. Die Rola-Wagen sind aufgrund ihres geringen Raddurchmessers besonderen Beanspruchungen ausgesetzt. Da es nur eine beschränkte Stückanzahl von diesen Wagen gibt, kann es wirtschaftlich günstiger sein, diesen speziellen Wagentyp fahrzeugseitig zu überwachen. Dadurch lassen sich auch die Anforderungen an die Sensorik genauer spezifizieren und gezielter erfassen. Ein anderes Beispiel für die Sinnhaftigkeit und Notwendigkeit von fahrzeugseitigen Überwachungsmaßnahmen sind Gefahrguttransporte [Bar03] oder sensible Güter [Bie01] bei denen z.B. die Temperatur nahezu konstant gehalten werden muß, um die Qualität der beförderten Güter zu sichern. Trotz hoher Eigensicherheit des Bahntransportes gibt es gerade für den Transport von Gefahrgütern auch noch Verbesserungspotentiale [Mül00]. Das darin gezeigte Sicherheitskonzept setzt beim Wagen an, wobei es aus vielen Einzelbausteinen besteht, denen man in Summe eine risikominimierende Eigenschaft zuspricht.

5. Vorgangsweise bei der Standortwahl

Infrastrukturseitige Maßnahmen sind gekennzeichnet dadurch, daß sie nie genau an allen Stellen im Netz stehen werden können, wo einmal ein Unfall passiert ist oder wo vielleicht einmal einer passieren wird. Im Nachhinein ist es immer leicht, für ein spezielles Ereignis die Konfiguration einer Zuglaufüberwachung zu entwerfen, die dann diesen speziellen Unfall verhindert hätte. Diese Vorgehensweise der Standortermittlung über die Historie eines Netzes ist von Haus aus wegen ihrer Unwirtschaftlichkeit zu verwerfen.

Grundsätzlich muß eine Unterscheidung zwischen streckenbezogener und netzorientierter Standortwahl getroffen werden: Bei der streckenbezogenen Standortwahl bedingt die Funktionsweise des Checkpoints aus Reaktionszeiten der Auswertung und Regelanwendung die Aufstellung örtlich vor einem risikoträchtigen Element der Infrastruktur. Diese Elemente wiederum lassen sich aber nur im gesamten Netz auf makroskopischer Ebene eines Infrastrukturbetreibers finden.

Die lokale Aufstellung der Sensorik erfolgt entsprechend der letzten Haltemöglichkeit vor dem risikoträchtigen Element, die mit Hilfe der Leittechnik, deren Anbindung an das Stellwerk und damit auf das zugeordnete Hauptsignal sichergestellt wird. Damit handelt es sich bei einem Checkpoint um ein für die Sicherungstechnik relevantes Element, daß für die sichere Betriebsabwicklung wichtige Informationen liefert (Abb. 5.1.).

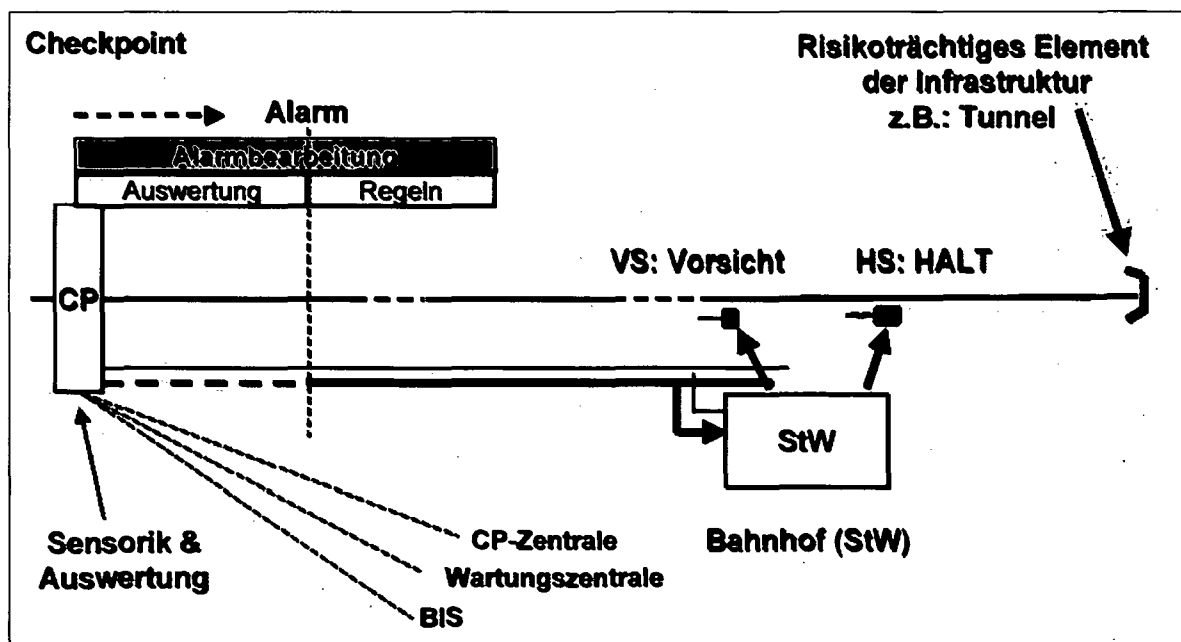


Abb.5.1. Lokale Situierung eines Checkpoints aus [Sch04]

Die lokale Aufstellung eines Checkpoints mit seinen unterschiedlichsten Komponenten läßt sich einfach aufgrund der Funktionsweise, die aus Abb. 6.1. ersichtlich ist, berechnen: Der Checkpoint ist einem Hauptsignal zugeordnet, d.h. im Falle einer Alarmmeldung wird über die Leittechnik das Haltstellen des zugehörigen Hauptsignals initiiert und vom Stellwerk exekutiert. Von diesem Signal läßt sich nun die lokale Standortwahl jeder Komponente errechnen, wobei vom Sichtpunkt des Vorsignals mit der Streckenhöchstgeschwindigkeit und der Reaktionszeit (Bearbeitungszeit: abhängig von der Zuglänge) der Komponente ausgegangen wird. Aufgrund der unterschiedlichen Verarbeitungszeiten der einzelnen Komponenten ergeben sich fast zwangsläufig auch unterschiedliche Standorte für diese einzelnen Komponenten. Von der Funktionsweise her ist trotz dieser lokalen Verteilung der Sensorik über die Strecke noch immer von einem Checkpoint zu sprechen.

Damit aber gewährleistet ist, daß die beschränkt vorhandenen Mittel zweckmäßig eingesetzt werden, ist es notwendig, ein Verfahren zu wählen, das den vorhandenen Randbedingungen genügt:

- Es muß auf den Umstand Rücksicht nehmen, daß infrastrukturseitige Maßnahmen den einzig real umsetzbaren Zugang für eine große Anzahl von unterschiedlichen Zügen verschiedenster EVUs darstellen, d.h. die Einflußgrößen der Infrastruktur müssen in dem Verfahren ein hohen Stellenwert einnehmen, da nur über sie eine Standortentscheidung zu rechtfertigen ist.
- Wenn infrastrukturseitig von ortsfesten Standorten der vorbeifahrende Zug untersucht wird, wird der Einfluß der Infrastruktur die Aufstellung der Überwachungssensorik bedingen. Dieser logische Zwang stellt die systemtheoretisch richtige Anwendung der Methodik sicher.

Den Entscheidungsträgern muß klar vor Augen geführt werden, daß diese Maßnahmen der technischen Zuglaufüberwachung einen Zuwachs an Sicherheit bedeuten, solange Fahrdienstleiter nicht abgezogen werden. Eine 100 % Sicherheit ist durch infrastrukturseitige Maßnahmen allein aber aus systemtheoretischer Sicht nicht erreichbar. Durch den systematischen Bezug zwischen eingesetzter Sensorik und Standortwahl kann aus technischer Sicht ein sinnvoller Einsatz der infrastrukturseitigen Maßnahmen erreicht werden. Besonders wichtig erscheint in diesem Zusammenhang auch die Anforderung, daß die Standortwahl fahrplanunabhängig formuliert werden muß, da sonst nach jedem Fahrplanwechsel die

optimale Lage der Zuglaufüberwachungskomponenten neu zu ermitteln wäre. Dieser Aspekt bezieht sich im wesentlichen auf die rechtzeitige Warnung von Gegenzügen, falls eine Lichtraumprofilüberschreitung an einem Zug oder eine entgleiste Achse detektiert wurde.

Da der Prototyp der Checkpointanlage im Besitz der ÖBB steht und sich daher für diesen Infrastrukturbetreiber als Ersten die Frage einer Ausbaustrategie stellt, wurde eine Expertengruppe der ÖBB aus unterschiedlichen Geschäftsbereichen zusammengestellt, die eine Einschätzung der Risiken bei Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung im Netz treffen soll. Die Einordnung der Elemente kann aber nicht vom Verfasser dieser Arbeit alleine vorgenommen werden, da ihm die Betriebserfahrung hierfür fehlt. Dabei werden nicht Einzelereignisse bis ins letzte Detail erforscht, sondern Abhängigkeiten der unterschiedlichsten Unfälle von der Infrastruktur, dem Zug und dem Umfeld herausgefiltert. Die Einordnung der Risiken im Eisenbahnbetrieb wurde der Zweckmäßigkeit halber in drei sogenannte Risikoprofile Infrastruktur, Zug und Umfeld vorgenommen. Somit werden die Elemente, die dann in die Risikoprofile eingeordnet werden, durch die Mitarbeiter der Expertengruppe aus deren jeweiligen Tätigkeitsfeldern bezeichnet.

Die Einteilung in diese drei Gruppen von Elementen hat den Sinn, die systembedingte Bindung an die Infrastruktur in der Risikoanalyse abzubilden. Im Allgemeinen beeinflusst das Risikoprofil Infrastruktur den Standort eines Checkpointes, sowie seine Ausrüstung mit Sensorikkomponenten. Als Beispiel für ein Element im Risikoprofil „Infrastruktur“ sei hier der „Tunnel“ angeführt. Das Risikoprofil Zug zeigt die möglichen bzw. bekannten Unregelmäßigkeiten, die an einem Zug auftreten können. Damit wird die Auswahl der Sensorikkomponenten erleichtert, da die Risikopotentiale der einzelnen Schadensbilder eingeschätzt werden. Auch für dieses Risikoprofil sei exemplarisch der „Heißläufer“ genannt. Darüber hinaus gibt es aber auch Faktoren, die sich nur bedingt dem Zug oder der Infrastruktur zuordnen lassen, da sie nicht primär mit der Eisenbahn in Verbindung stehen, aber doch Rahmenbedingungen schaffen wie etwa Naturgewalten in Form von Lawinen. Diese Gruppe wurde sinnvoller Weise auch berücksichtigt im Risikoprofil Umfeld.

In Form der Risikomatrix erfolgt die Einordnung der Einflußfaktoren nach ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß. Hier gilt es zwischen den Begriffen Risiko und Schaden klar zu differenzieren: Ein Schaden ist ein Realität gewordenes Risiko, umgekehrt ist nicht jedes potentielle Risiko auch ein Schaden in der Realität geworden. Es

darf also in der mathematischen Betrachtung eine Differenz zwischen diesen beiden Werten geben.

5.1. Expertenmeinung

Rein quantitative Modelle könnten nur die Risiken aufgrund der Schäden aus Unfallbilanzen extrapoliert wiedergeben, bei qualitativen Modellen hingegen, kann die Expertenmeinung dieses Manko kompensieren. Dafür ist die Verwendung der Expertenmeinung gewissen Zeitströmungen unterworfen, also als veränderliche Größe über die Zeit anzusehen. Bevor aber aufgrund einer sehr geringen Anzahl von Unfällen, Risiken nicht quantitativ seriös berechnet werden können, bietet sich die Kalibrierung der Risiken über die Expertenmeinung an.

Der Stellenwert der Expertenmeinung ist durchaus einer Statistik gleichwertig zu sehen, es gibt sogar Fälle, wo die Expertenmeinung eine objektiv nicht aussagekräftige Statistik „retten“ kann. In der Wahrscheinlichkeitstheorie findet sich dazu eine Fülle von Literatur, die sich mit der Verwendung der Expertenmeinung in der Risikoanalyse beschäftigt, wobei als Standardwerk [Gro72] gelten darf. Gerade in Risikoanalysen, die mit der Einordnung von Gefahrenbildern beschäftigt sind, die eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit aber doch ein hohes Schadensausmaß nach sich ziehen können, erweist sich die Expertenmeinung als einzige Datenquelle. Natürlich hat jeder Experte eine subjektiv geprägte Vorstellung über sein Teilsystem, daher ist die Auswahl der Experten sowie die Zusammensetzung der Gruppe von großer Bedeutung für das Verfahren.

Expertenmeinungen liefern wertvolle Informationen zur Vorhersage, zur Entscheidungsfindung oder zur Risikoanalyse. Die Anwendungspalette reicht von der Atomenergie, der Luftfahrt, der Vorhersage (wirtschaftlich, technisch, meteorologisch), im Militär und für das Umweltrisiko ausgehend von giftigen chemischen Stoffen. Das Tätigkeitsfeld der Expertenmeinung umfaßt nicht nur die Mathematik und Statistik sondern auch die Psychologie und die Entscheidungstheorie. Dementsprechend groß ist auch die Vielfalt an Bearbeitungsmöglichkeiten, die sich in der großen Anzahl von Verfahren zum Umgang mit Expertenmeinungen niederschlägt.

Eine Motivation zur Befragung einer Expertengruppe gegenüber der Befragung eines einzelnen Experten ist die Anzahl an Informationen, die durch eine Gruppe eingebracht werden kann. Letztlich muß aber für die zielgerichtete weitere Verarbeitung die Fülle an Informationen auch wieder zusammengefaßt, komprimiert und auch reduziert werden.

Um ein Gruppenergebnis einer Einordnung zuzuordnen sind verschiedene Techniken denkbar, so z.B. die Delphi-Methode [Coo91] oder die Nominal Group Method [DVG75]. Das Wesen der Delphi-Methode besteht darin, daß die Gruppe anonym und jeder Experte für sich die Bewertungen der anderen beurteilt. Jeder Experte hat danach die Möglichkeit aufgrund der Einschätzungen der anderen Experten noch einmal seine Einschätzung zu überdenken und ggf. abzuändern. Diese Iterationszyklen können öfters wiederholt werden, bis die Spannweite der Expertenmeinungen abgenommen hat. Bei der Nominal Group Method ist es auch erlaubt, daß die Experten über ihre Einschätzungen in einer definierten Weise diskutieren. Da es hier auch zu einer direkten Unterredung betreffend der Zuordnungen kommt, wird dieser Methode oft der Vorzug gegenüber der Delphi-Methode gegeben. Im Wesentlichen zielen diese beiden Methoden aber auf einen Gruppenkonsens ab, der nicht erreichbar sein wird.

Eine weitere Gefahr bei der Konsensfindung einer Gruppe ist, daß der interaktive Gruppenprozeß noch von weiteren Faktoren abhängig sein kann, wie z.B. der Einfluß von dominanten Persönlichkeiten oder der schwachen Teilnahme von Experten, die nur am Rande mit einer Thematik beschäftigt sind [MBA88]. Auch der unbeschränkte Dialog kann dazu führen, daß ein Thema aus den Augen verloren wird und nur ein Aspekt beleuchtet wird, der u. U. wichtigere Aspekt aber verloren geht. Noch viel dramatischer können Polarisierungen in einer Expertengruppe sein [Plo93], die mitunter sogar zum Scheitern einer solchen Expertengruppe führen können oder zumindest die Aussagekraft dramatisch reduzieren.

Mathematisch lassen sich diese Expertenmeinung in hauptsächlich drei unterschiedliche Verfahren einteilen [Ouc04]:

- Non-Bayesian Axiomatic Models
- Bayesian Models
- Psychological Scaling Methods

Bei den Non-Bayesian Axomatic Models werden Zusammenhänge oder bestimmte Eigenschaften und regulierende Bedingungen für die Kombination von Wahrscheinlichkeitsverteilungen festgelegt. Auf diesen basierend wird die Art der Kombinationsregeln abgeleitet. Der Ansatz geht davon aus, daß die Beziehung zwischen den Expertenmeinungen und der durch Konsens gefundenen Meinung einer bestimmten Anzahl von Gesetzmäßigkeiten genügt.

Bei den Bayesian Models verwendet der Entscheidungsträger die Einschätzungen der Experten um seine eigene Einschätzung zu verbessern.

Bei den Psychological Scaling Methods wird unterstellt, daß jeder Experte nur ein interne Bewertung verknüpft mit einer Anzahl von unterschiedlichen Interessen einbringen kann, so daß die einzelne Meinung nur ein qualitativer Input ist. Der Entscheidungsträger erfragt die Expertenmeinung durch paarweise Vergleiche. Der Ansatz kommt aus Studien zur Einschätzung unterschiedlicher physischer Reize, der später dann auch zur Untersuchung relativer Unterschiede - den sogenannten Reizschwellen - diente.

Alle drei mathematischen Verfahren haben sich in praktischen Anwendungen schon bewährt, wobei jedes Verfahren Vor- und Nachteile in sich birgt, die durch die dahinterliegende Modellbildung begründet sind. Es gibt keine Methode, die als die einzig sinnvolle oder als die beste bezeichnet werden kann, da jede Methode für bestimmte Anforderungen - sowie sie bei den einzelnen Verfahren erwähnt wurden - entwickelt wurden.

Im Anwendungsfall der Expertenmeinung zur Risikoanalyse betreffend der Standortwahl für Zuglaufüberwachungseinrichtungen kann die Beurteilung der Risiken hauptsächlich durch die Mitarbeiter, die einerseits mit der Betriebsabwicklung als auch andererseits mit der Unfallstatistik vertraut sind, erfolgen. Beim Brainstorming sollen sich alle technischen und organisatorischen Bereiche beteiligen, um damit maßgeblich die Bandbreite der Gefahren aufzeigen. Die nachfolgende Einordnung, also die Quantifizierung der Gefahren, kann im Einverständnis der Gruppe vom Mitarbeiter, der die Unfallstatistik betreut, vorgenommen werden, da dieser i.a. den besten Überblick über Schadensfälle hat. Die in einer Sitzung getroffene Einordnung soll bis zur folgenden Sitzung den Teilnehmern der Arbeitsgruppe zur Prüfung in ihrem Wirkungsbereich aufgetragen werden, da es durchaus vorkommen kann, daß Daten nicht innerhalb einer Sitzungsdauer beschafft werden können. Dadurch ist auch die

Einordnung nicht einer Tageslaune oder einem aktuellen Ereignis ausgesetzt, sondern doch relativ unabhängig von Singularitäten zu sehen.

Unabhängig vom durchgeführten Verfahren einer Risikoanalyse – ob rein quantitativ oder rein qualitativ oder wie hier beschrieben eine Mischung beider Ansätze – gibt es wesentliche Schritte zur Erstellung selbiger. In einem ersten Brainstorming müssen die Gefahrenbilder formuliert werden. In diesem Arbeitsschritt werden Erfahrung und Wissen der Expertengruppe von technischer und organisatorischer Seite her eingebunden. Vorteilhafter Weise ist die Sprache der Eisenbahn zumindest national genormt, so daß innerhalb der Arbeitsgruppe einheitlich Begriffe für ein und denselben Sachverhalt verwendet werden. Bei einer international besetzten Expertengruppe müßte diesem Aspekt besonders Rechnung getragen werden.

Danach erfolgt die Beurteilung der gesammelten Gefahrenbilder nach zwei Gesichtspunkten, die sich in einer Matrix abbilden lassen. Einerseits wird die Tragweite der Auswirkungen, also das Schadensausmaß, beurteilt, andererseits die Eintrittswahrscheinlichkeit. Bei der Einordnung muß beachtet werden, daß hier von einem Status-quo ausgegangen wird, d.h. die heutige Netzkonfiguration ist Ausgangszustand dieser Einordnung. Wenn sich in den Randbedingungen Änderungen ergeben, muß die Beurteilung neu überarbeitet werden. Neue Erkenntnisse in Wissenschaft, Technik und Recht müssen ebenso berücksichtigt werden. Nur wenn alle Einflüsse auf das Gesamtsystem abgebildet werden, kann auch die Bewertung der Risikoanteile qualitativ stimmen.

Als Anhaltspunkt für die qualitative Einordnung kann auch die Unfallstatistik mit ihrem - statistisch gesehen – geringen Umfang herangezogen werden. Die Problematik bei der Erstellung der Gefahrenbilder ist vielschichtig: absolute Werte, wie sie in der Mathematik gerne verwendet werden, sind nur selten oder wenn dann nur für Teilaspekte vorhanden. Für ausgefeilte Verfahren der Statistik ist die geringe Anzahl an Unfällen als Basis weiterer Untersuchungen ungeeignet. Durch Anwendung dieser Verfahren wird lediglich eine Scheingenauigkeit erzeugt, die auf nicht abgesicherten Zahlenwerten basiert. Außerdem ist eine Wirkungsanalyse der Unfälle erforderlich, um die Ursachen eines Schadens klar zu erkennen.

5.2. Systemtheorie zur Gefahrenbilderstellung

Zur Erstellung der Gefahrenbilder ist daher eine systemorientierte Betrachtungsweise zu wählen. Komplexe Systeme wie eben der Eisenbahnbetrieb können nicht mit eindimensionalen Betrachtungen und Darstellungen ausreichend erfaßt werden. Aus der Systemtheorie [Hab02] sind 4 Ansätze bekannt, nach denen eine Gliederung und Untersuchung eines Betrachtungsobjektes vorgenommen werden kann:

- systemorientiert
- ursachenorientiert
- lösungsorientiert
- zeit- bzw. zukunftsorientiert.

Die in der Risikoanalyse durch die Expertengruppe durchgeführte Methodik entspricht einer Mischung aus einem systemorientierten und einem ursachenorientierten Ansatz. Daher sollen diese beiden Ansätze kurz verdeutlicht werden, um das Wesen dieser unterschiedlichen Zugänge zu zeigen.

Beim systemorientierten Ansatz wird ein System sowie dessen Umgebung herausgearbeitet, wobei die nicht relevanten Bereiche sowie die Unterscheidung zwischen System und Umgebung definiert werden. So sind beispielsweise Umweltbedingungen entlang einer Eisenbahnstrecke für die Standortwahl von Checkpoints nicht relevant, auch wenn hochwasserführende Gewässer die Einstellung des Betriebes auf einer Strecke bewirken können. Für das System oder Teilsysteme werden Strukturmodelle erstellt, die durch eine aufbauorientierte Betrachtung ergänzt werden. Als Beispiel dieser Vorgehensweise kann die Wirkungsanalyse angeführt werden, wo von einer groben Sicht des Systems ausgegangen wird und damit ein rascher Einstieg in die Problemsituation ermöglicht wird. Das dahinterstehende Modell ist sehr einfach gehalten: es wird lediglich das Input sowie der Output betrachtet (Blackbox-Modell), aber nicht die innere Struktur analysiert. Als Beispiel für diese Vorgehensweise kann auch die in der Unfallforschung bekannte systematische Ursachenanalyse angeführt werden (siehe Kap. 5.3. sowie [Ste02]).

Der Gedanke des systemorientierten Ansatzes spiegelt sich in der Aufteilung des Risikos in die drei Risikoprofile Infrastruktur, Zug und Umfeld wieder. Zweifelsohne lassen sich diese

drei Gruppen nicht unabhängig voneinander im Gesamtsystem betrachten, doch gelingt der Überblick über die verschiedensten Risikopotentiale nur in einer systematischen Unterteilung. Für die Einschätzung des Risikos eines Elementes ist es auch nicht notwendig, alle bisherigen Unfälle detailliert zu erforschen. Es reicht die Expertenmeinung, die das Risikopotential einem Element zuordnet.

Der ursachenorientierte Ansatz zeigt mögliche Ursachen, Ursachen-Ketten und -Vernetzungen auf. Die Erfahrung aufgrund der Analyse der Unfallberichte kann eingebunden werden, da nur in seltenen Fällen Ursachen und Wirkungen ausschließlich linear und direkt zusammenhängen. Selbst bei vergleichsweise einfachen Sachverhalten können einige Wirkungen mehrere Ursachen haben, während auch einige Ursachen sich mehrfach auswirken können. Auch diese Betrachtungsweise wird dem Eisenbahnbetrieb noch nicht gerecht, da Ursachen meist selbst wieder nur Wirkung von Ursachen sind. Außerdem gibt es in einem hochgradig vernetzten System auch noch die Ebene der Rückkopplungen, die auch ganz wesentliche Wirkungsmechanismen darstellen.

Im Risikoprofil Zug wird grundsätzlich der ursachenorientierte Ansatz verfolgt, da hier die Unregelmäßigkeiten, die an Zügen auftreten können, ermittelt und eingeordnet werden. Das Wechselspiel zwischen Infrastruktur und Zug wird hier versucht anteilmäßig auf die Komponenten des Systems aufzuteilen. Ohne näher auf die oftmals komplizierten und aus wahrscheinlichkeitstheoretischer Sicht unwahrscheinlichen Kombinationen von Einzelereignissen bzw. Randbedingungen einzugehen, erfolgt eine Beurteilung der bekannten Gefahrenbilder im Eisenbahnbetrieb. Um diese kombinierten Eintrittswahrscheinlichkeiten zu ermitteln, fehlt einerseits die Datenbasis andererseits kann die Aufteilung der Risikoanteile zwischen Infrastruktur und Zug zu endlosen Diskussionen und Schuldzuweisungen führen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, diese Erkenntnis bei der Bearbeitung im Auge zu behalten, um ein Scheitern der Einordnung der Risiken durch eine Expertengruppe zu verhindern.

5.3. Aspekte der Unfallforschung zur Risikoanalyse

Aus der Praxis der Betriebsführung wird gerne eine Kombination von verschiedenen Einflußgrößen als Ursache eines konkreten Unfallereignisses angegeben. So gibt es nicht nur eine klare Grenzwertüberschreitung, die zu einem Unfall führt, sondern mehrere Parameter

eines Zuges und der befahrenen Infrastruktur befinden sich im noch tolerierbaren Bereich und trotzdem passiert ein Unfall. Es gilt mittlerweile auch als anerkannter Stand der Wissenschaft [Rea97], daß Unfälle selten einfache Ursachen haben. Will man nun die gesamte Schadenssumme eines Ereignisses den verschiedenen Komponenten des Systems zuschreiben, merkt man, daß diese nicht isoliert von einander betrachtet werden dürfen, weil es eben in der Kombination erst zu Risiken führt und nicht die Einzelkomponente allein Schuld an einem Schadensereignis trägt. Diese diffizile Sicht der Unfallereignisse erleichtert die mathematische Behandlung der Statistik keineswegs. Selbst wenn man die Schadensanteile klar zuweisen könnte, müßte man noch immer den Risikoanteil einschätzen.

Eine systematische Ursachenanalyse [Ste02] des Zugunglückes „Ladbroke Grove“ vom 5.10.99, das oberflächlich betrachtet nach „menschlichem Versagen“ aussieht, zeigt an die 30 Grundursachen für diesen Unfall auf. Dieser Unfall ist kein Einzelfall, was die Anzahl an Ursachen betrifft, sondern besitzt lediglich exemplarischen Charakter, wie auch andere Analysen des Zugunglückes bei Brühl [Bri03] gezeigt haben. Das Wesen eisenbahntechnischer Unfallberichte konzentriert sich eher auf eine pragmatische Sicht der Ereignisse, so werden häufig nur wenige und direkte Faktoren beschrieben, die dann in Medien veröffentlicht werden.

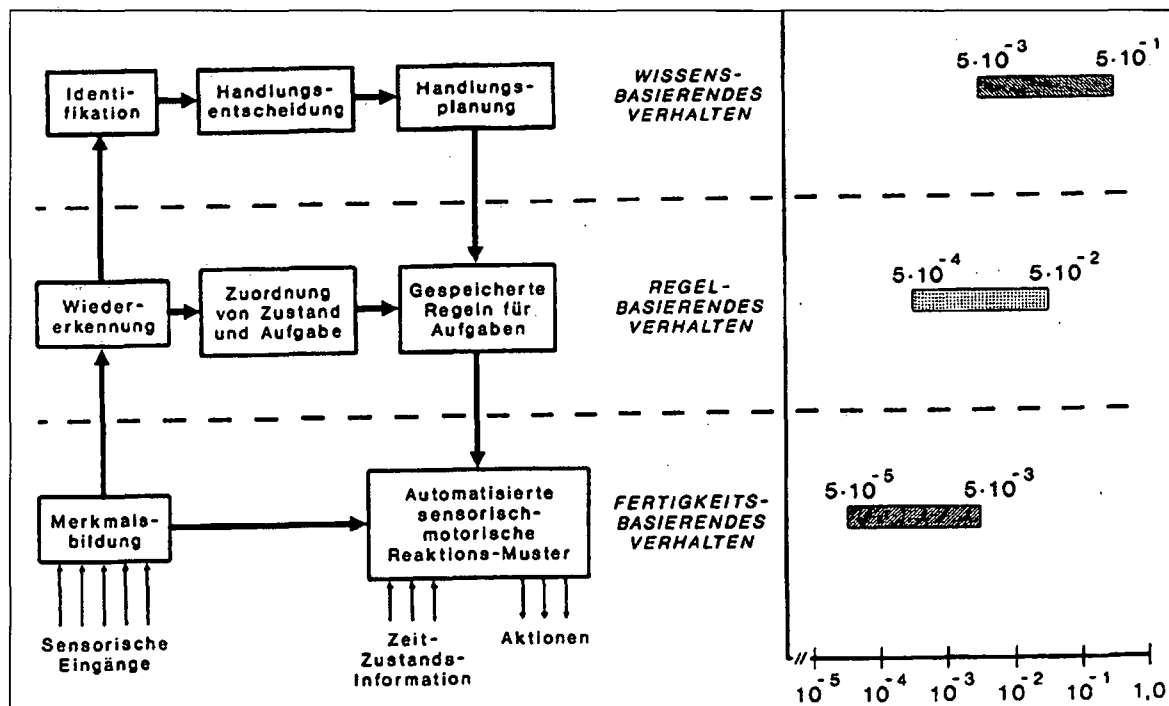


Abb. 5.3.1. Modell der menschlichen Informationsverarbeitung und Zuordnung der menschlichen Fehlerraten [vgl. Hin96]

Der Faktor „Mensch“ in der Bedienung sicherheitsrelevanter Prozesse wurde auch schon in anderen Disziplinen z.B. Kernkraftwerkstechnik untersucht. Für die Eisenbahn – und hier im Besonderen unter Beachtung des Mensch-Maschine-Systems – hat [Hin96] unter Verwendung des psychologischen Modells zur menschlichen Informationsverarbeitung nach [Ras79] und der umfangreichen Untersuchungen von [SG83] Werte für die menschliche Fehlerrate in einem sicherheitlichen Mensch-Maschine-System errechnet. Bei Betrachtung dieser Werte fällt auf, daß bei Streß durch Überforderung genau wie bei Unterforderung die Fehlerrate gleichermaßen ansteigt. Besonders signifikant wirken sich die Umweltbedingungen auf die Fehlerrate aus: unabhängig vom Schwierigkeitsgrad der Informationsverarbeitung liegt ein Faktor 5 zwischen günstigen und ungünstigen Umweltbedingungen bei der Fehlerrate. Der Ersatz des Menschen durch einen Automaten im Sinne einer Automatisierung erscheint aus dieser Perspektive als einzige Lösung.

Bei genauer Betrachtung von Unfallursachenberichten, zeigt sich, daß die Kategorie der indirekten Ursachen einen großen Stellenwert einnimmt. Diese sind aber nicht durch Automatisierung beherrschbar. Die drei wesentlichen Hauptkategorien der indirekten Ursachen können nach [Lev01] folgendermaßen benannt werden:

- Schwächen in der Sicherheitskultur: so z.B.: Selbstzufriedenheit, übermäßiges Vertrauen in Automatisierungstechnik
- ineffektive Organisationsstruktur und Kommunikation: z.B. ungeeignete Zuordnung von Verantwortung und Zuständigkeit
- ineffektive oder ungeeignete technische Maßnahmen: z.B. ungeeignete Spezifikationen.

In der Realität treten meist Kombinationen der oben genannten Faktoren auf, wobei bei Fehlen eines Faktors bereits ein Unfall nicht aufgetreten wäre. Aus dieser Überlegung lassen sich zwei Schlüsse ableiten [Bra04]:

- es ist nicht nötig, perfekt zu sein, d.h. bis zu einem gewissen Maß können Fehler toleriert werden. Es dürfen nur nicht zu viele unfallträchtige Faktoren zusammenkommen, und aus Fehlern muß gelernt werden.
- es ist nützlich zu wissen, welche Faktoren häufig vorkommen, da die Definition und Umsetzung von Gegenmaßnahmen bezüglich dieser Faktoren am wichtigsten ist.

Eine weitere systematische Unschärfe ist die Berücksichtigung von Beinahe-Unfällen, die größtenteils nicht in einer Unfallstatistik aufscheinen. Bei diesen Ereignissen zeigen sich zwar Risiken, die aber aufgrund spezieller Umstände nicht in ihrem vollen Ausmaß auftreten. Eine Abschätzung dieser Ereignisse hinsichtlich ihrer Häufigkeit und ihres potentiellen Schadensausmaßes gestaltet sich oftmals als sehr schwierig [RW00].

Soweit Zahlenwerte zur Tragweite der Auswirkungen und zur Eintrittswahrscheinlichkeit bekannt sind, sollen sie natürlich auch in das qualitative Verfahren miteinbezogen werden, nur sollen Ausreißer nicht ein falsches Bild der Sicherheit der Komponenten zeigen.

5.4. Anwendung der Risikomatrix aus EN 50126

In diesem Abschnitt soll nun die Risikomatrix aus der EN 50126 [CEN99], die in Abb. 6.4.1. dargestellt ist, aus der qualitativen Darstellung in eine quantitative übergeführt werden. Die grundsätzlichen Spezifikationen wurden dabei in Kap.2.1. gezeigt.

Häufigkeit von Gefahrenfällen	Risikostufen			
	häufig			
wahrscheinlich				
gelegentlich				
selten				
unwahrscheinlich				
unvorstellbar				
	unbedeutend	marginal	kritisch	katastrophal
	Gefahrenstufen			

Abb.5.4.1. „Häufigkeit – Konsequenz“ – Matrix aus [CEN99]

Risikomatrizen werden gerne von verschiedensten Organisationen verwendet, selbst in unterschiedlichen Unternehmensbereichen können verschiedenste Ausprägungen bei den Risikomatrizen auftreten. Die Frage nach einer einheitlichen Definition der Risikomatrix für ein Unternehmen drängt sich daher auf. Im Falle der Anwendung für die Österreichischen Bundesbahnen gibt es bis dato keine genormte Risikomatrix, die verbindlich für alle Geschäftsbereiche vorgeschrieben ist. Als Beispiel für eine Anwendung im Geschäftsbereich Technische Services bei den ÖBB darf [Lei03] gelten; auch bei der Bahnübergangs-Sicherungstechnik wurde bereits vor Inkrafttreten der CENELEC-Normen eine Risikomatrix

verwendet [HBP98]. Risikomatrizen können je nach Aufgabenstellung unterschiedlich angelegt sein. Für Entscheidungsträger wird es damit sehr schwer, da sie bei jeder Anwendung genau darauf achten müssen, wie nun die einzelnen Felder spezifiziert sind. Aus den Erfahrungen bei der Luftwaffe der U.S. Army hat [Swa03] drei aus seiner Sicht wesentliche Punkte für den Umgang mit Risikomatrizen formuliert:

- (1) Die Zellen sollen abgestimmt sein mit den Linien gleichen Risikos. Außerdem sollen zwecks Übersichtlichkeit für die Entscheidungsträger die Bereiche niedrigen, mittleren und hohen Risikos sofort erkennbar sein.
- (2) Wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit für katastrophale Ereignisse gering ist, muß es möglich sein, diesen ein geringes Risiko zuzuordnen.
- (3) Die Matrix sollte auch eine Risikozuordnung für bereits eliminierte Gefahren vorsehen.

Grundsätzliche Schwierigkeiten bei der Anwendung von Risikomatrizen werden auch in [Cle00] bzw. [CS01] in Zusammenhang mit der Beispielmatrix der U.S. Army [MIL00]. In der Neufassung der Matrix, die ab dem Jahr 2000 zur Verfügung steht, wurden die beiden Achsen des Schadensausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeit quantifiziert. Bei der neuen Quantifizierung ergaben sich Konsistenzprobleme zu alten Prioritätenreihungen, die auf der rein qualitativen Beschreibung der Matrixzellen beruhten. Durch die Quantifizierung war es nämlich möglich geworden, daß Risiko (oder den Bereich eines Risikos) als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß für jede Zelle der Matrix zu errechnen. Dabei hat sich gezeigt, daß es Unstimmigkeiten in der Zuordnung zu den Unfall-Risiko-Kategorien gibt. Die Spannweiten in den Zellen der Matrix betragen durch die Skalierung der beiden Achsen zwischen 50 und 20.000. Durch diese Spannweiten wird eine Überlappung zwischen verschiedenen Zellen begünstigt, die aber im Falle der Zuordnung zu den eben genannten Unfall-Risiko-Kategorien zu nicht eindeutigen Bereichsgrenzen führt. So zeigen sich bei der Auswertung der Zugehörigkeit der einzelnen Matrixfelder zu den Kategorien Überlappungen, d.h. Matrixzellen gleichen Risikos liegen nicht immer zwangsläufig auch in der gleichen Kategorie. Dieser Widerspruch kann aber nicht akzeptiert werden, da sonst die quantitative Aussage verloren geht.

Ein weiterer Kritikpunkt, ist die definierte und spezifizierte Aussetzungsdauer im untersuchten System. Die beiden Anteile des Risikos, Schadensausmaß und Eintrittswahrscheinlichkeit, dürfen nicht als voneinander unabhängige Größen interpretiert

werden. Bei der Einschätzung des Schadensmaßes haben Experten kaum Schwierigkeiten, da im Zweifelsfall gerne der Worst-Case herangezogen wird. Ein totaler Ausfall des zu untersuchenden Systems - der einer Katastrophe gleich kommt - läßt sich monetär durch die Gesamtinvestition in eine Neubeschaffung bewerten. Im Falle der Anwendung auf ein Eisenbahnnetz zeigt sich, daß dies nicht möglich ist, d.h. nur der Ausfall von Einzelkomponenten kann annähernd eingeschätzt werden. Schwieriger ist die Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit, die aus der Mathematik her nur einen Wert zwischen Null und Eins annehmen kann. Deswegen ist es besonders wichtig, die Aussetzungsdauer in einer quantifizierten Dimension anzugeben, da sonst die Eintrittswahrscheinlichkeit bedeutungslos wird. Der Zusammenhang zwischen der Aussetzungsdauer und der Eintrittswahrscheinlichkeit muß bei Risikoanalysen immer berücksichtigt werden. Sobald Menschen an dem Prozeß beteiligt sind und Schaden davon tragen könnten, ist als Bezugsgröße für die Aussetzungsdauer immer ein voller Lebenszyklus anzusetzen. Wichtig dabei ist, die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses nicht nur auf einen Tag zu beziehen, sondern eben auf das ganze Leben. Im Umgang mit Komponenten des Eisenbahnbetriebes werden die Risikoanalysen normgemäß für einen kompletten Lebenszyklus erstellt. Für die Auffindung der Risiken im Eisenbahnbetrieb sind die Interaktionen zwischen Infrastruktur und Fahrzeug als höchst komplex anzusehen. Durch geänderte Rahmenbedingungen (gesetzlicher Natur oder aber auch durch neue Fahrzeuge) variieren die Systemeigenschaften kontinuierlich. Ereignisse, die früher noch möglich waren, sind heute weitestgehend ausgeschlossen. Umgekehrt treten aber durch neue Strecken mit teilweise höheren Geschwindigkeitsniveaus neue Systembedingungen auf. Erfahrungswerte können hier nur von anderen Ländern, in denen bereits neue Systeme implementiert sind, bezogen werden. Statistisch abgesicherte Werte sind aber meistens nur für Teilaspekte vorhanden, nicht aber auf einer übergreifenden, netzbezogenen Sicht.

Besonders fragwürdig ist die Bezeichnung einer Zeile als „Unmöglich“, die den Entscheidungsträgern suggerieren soll, daß es theoretisch möglich sei, nach Setzung von Maßnahmen in diese Kategorie mit den Restrisiken zu fallen. Der Begriff „Unmöglich“ wird in der konkreten Anwendung der Matrix hier mit „einmal in hundert Jahren“ belegt.

Eine Fragestellung der Bearbeitung ist nun die Festlegung der Anzahl der Kategorien für die Tragweite der Auswirkungen und der Eintrittswahrscheinlichkeit. Wenn zu viele Kategorien festgelegt werden, leidet die Übersichtlichkeit massiv unter dieser feinen Gliederung.

Umgekehrt darf die Gliederung auch nicht zu grob ausfallen, so daß systematische Unterschiede nicht mehr erkennbar sind.

Ein praktikabler Wert für die Anzahl der Kategorien kann über die dahinter liegenden Begriffe ermittelt werden. Die zeitliche Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit für die Eisenbahn muß zwischen den Begriffen „täglich“ bis „einmal in hundert Jahren“ abdecken. Der Horizont „einmal in hundert Jahren“ ist für den menschlichen Sachbearbeiter nur schwer vorstellbar, aber aufgrund der Langlebigkeit der Infrastruktur durchaus gerechtfertigt. Die Schrittweite zwischen den einzelnen Feldern kann linear aber auch logarithmisch gewählt werden. Als brauchbare zeitliche Kategorien zeigen sich folgende Unterscheidungen: „täglich“, „monatlich“, „einmal im Quartal“, „jährlich“, „alle 10 Jahre“ und „alle 100 Jahre – bis jetzt nie“. Der scheinbare Nachteil der ungleichmäßigen Sprünge im Zeitbereich von „täglich“ bis „jährlich“ wird durch den Vorteil der Verwendung der Begriffe aus dem alltäglichen Sprachgebrauch bei der praktischen Anwendung mehr als nur ausgeglichen.

4 Kategorien		Schaden in Euro
- I:	katastrophal	10.000.000
- II:	kritisch	1000.000
- III:	klein	100.000
- IV:	unbedeutend	10.000

Abb.5.4.2. Beurteilung der Tragweite der Auswirkungen nach [ÖBB04]

Als qualitative Anhaltspunkte wurden die in [CEN99] verwendeten Begriffe für die einzelnen Kategorien der Häufigkeit von Gefahrenfällen (häufig, wahrscheinlich, gelegentlich, selten, unwahrscheinlich, unvorstellbar) verwendet.

Kategorie	Definition
häufig	Wird häufig auftreten. Die Gefahr ist ständig gegenwärtig.
wahrscheinlich	Wird mehrmals auftreten. Es ist zu erwarten, daß die Gefahr oft eintritt.
gelegentlich	Kann mehrmals auftreten. Es ist zu erwarten, daß die Gefahr mehrmals eintritt.
selten	Kann manchmal während des Lebenszyklusses auftreten. Es ist sinnvoll, mit dem Eintreten der Gefahr zu rechnen.
unwahrscheinlich	Das Auftreten ist unwahrscheinlich, aber möglich. Es darf angenommen werden, daß diese Gefahr nur in Ausnahmefällen eintritt.
unvorstellbar	Das Auftreten ist extrem unwahrscheinlich. Es darf angenommen werden, daß diese Gefahr nicht eintritt.

Abb.5.4.3. Häufigkeit von Gefahrenfällen nach [CEN99]

Daneben muß auch die Tragweite der Auswirkungen also das Schadensausmaß bewertet werden. Auch dafür werden in [CEN99] qualitative Ausprägungen für die Gefahrenstufen vorgeschlagen.

Gefahrenstufe	Konsequenzen für Personen oder Umwelt	Konsequenzen für die Betriebs- und Dienstleistung
katastrophal	Unfalltote und/oder zahlreiche Schwerverletzte und/oder schwere Umweltschäden	
kritisch	einzelner Unfalltoter und/oder Schwerverletzter und/oder nennenswerte Umweltschäden	Verlust eines wichtigen Systems
marginal	kleinere Verletzung und/oder nennenswerte Bedrohung der Umwelt	schwere Beschädigung des/der Systems/e
unbedeutend	mögliche, geringfügige Verletzung	geringfügige Beschädigung des Systems

Abb.5.4.4. Gefahrenstufen nach [CEN99]

Je nach nationaler Akzeptanz können hier verschiedene Größen zur Bewertung herangezogen werden. Nach dem in Deutschland gerne verwendeten MEM-Kriterium des Anhangs D der CENELEC Norm 50126 [CEN99] würde diese Einheit mit „Toten“ bezeichnet werden. Eine andere Form ist die monetäre Bewertung mit z.B. Euro, wobei ein Toter monetär bewertet werden muß. Der Wert hierfür ist im Verlauf des letzten Jahrzehnts ständig gestiegen, so kann man in eisenbahnrechtlichen Genehmigungsverfahren Anfang der 90-Jahre noch Werte um 1 Mio. € finden, die gegen Ende der 90er-Jahre schon auf 7 Mio. € angestiegen sind. Aus dieser Beobachtung muß man von einer steigenden Tendenz ausgehen und diese in mehrjährigen Projekten linear extrapolieren. Die Größenordnungen der für eine Kategorie maßgeblichen Beträge muß schon an den Dimensionen der Eisenbahn bemessen werden und nicht am Monatslohn eines Angestellten. Vernünftige Größenordnungen liegen in der Bandbreite von 10,000 bis 10,000,000 Euro. Auch hier kann eine lineare oder logarithmische Aufteilung der Kategorien vorgenommen werden, wobei der Übersichtlichkeit halber einer linearen Skalierung der Vorzug zu geben ist. In [HBP98] wird betont, daß die beschriebenen Begriffe wie „unbedeutend“, „marginal“, usw. im Prinzip willkürlich gewählt werden können. Wichtig erscheint den Verfassern lediglich der Hinweis, daß die Zunahme des Schadensausmaßes jeweils mit dem Faktor 10 abgeschätzt wird. Im Zuge der Einordnung durch die Expertengruppe hat sich dieser Hinweis als sehr nützlich erwiesen, da eine andere Wahl der Klassifizierung die Komplexität der Matrix noch erhöht hätte. Allein die Produktauswertung mit der vorliegenden Matrix zeigt schon, wie vorsichtig bei der Definition eines Schutzzieles vorgegangen werden muß. Bei der Konstruktion der Matrix und ihrer Grenzen zeigt sich i.a. erst bei der Produktbildung, welchen Wert das Risiko einer Zelle annimmt. Diese Erkenntnis

ist gerade im Umgang mit einer Expertengruppe und deren subjektiv geprägten Einflüssen ein wichtiger Aspekt, weil bei rein qualitativen Verfahren der Interpretationsspielraum v.a. bei den Begriffen im mittleren Wahrscheinlichkeitsfeld sehr groß sein kann.

6 Stufen		Zeitraum
- A:	häufig	täglich
- B:	oft	monatlich
- C:	gelegentlich	einmal im Quartal
- D:	selten	jährlich
- E:	sehr selten	alle 10 Jahre
- F:	nicht vorstellbar	bis jetzt nie / alle 100 Jahre

Abb.5.4.5. Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit in [ÖBB04]

Entsprechend der Einordnung der Elemente in den Risikoprofilen, kann damit die Ausbaureihenfolge der Checkpoints ermittelt werden. Aufgrund der Matrixanordnung der Elemente sind zwei prinzipielle Möglichkeiten der Priorisierung denkbar: entweder nach dem Schadensausmaß oder nach der Eintrittswahrscheinlichkeit. Beide Argumentationsketten weisen Vor und Nachteile auf: Wählt man das Schadensausmaß als Kriterium, müssen vorrangig Maßnahmen zur Risikoreduktion gesetzt werden, die kostenintensive Risiken bekämpfen, d.h. auch selten eingestufte Ereignisse müssen geschützt werden, sofern sie über dem Schutzziel liegen. Wenn alle Maßnahmen getroffen wurden, kann man davon ausgehen, daß nur noch geringere Schadenssummen auftreten werden. Die Risikoreduktion muß dann in der Praxis verifiziert werden. Daß eine absolute Sicherheit oder eine Reduktion der Risiken auf den „unmöglichen“ Bereich praktisch nicht erzielbar ist, muß Entscheidungsträgern immer vor Augen gehalten werden. Als sinnvoller erweist sich aber nahezu immer die Produktbildung in der Matrix, um dann eine Reihung nach den errechneten Risikoanteilen vorzunehmen. Trotz dieser Erkenntnis sollen die strikte Anwendung nach Schadensausmaß bzw. nach Eintrittswahrscheinlichkeit für rein qualitative Verfahren gezeigt werden.

A	4.1.	3.1.	2.1.	1.1.
B		3.2.	2.2.	1.2.
C			2.3.	1.3.
D			2.4.	1.4.
E				1.5.
F				
	IV	III	II	I

Abb. 5.4.6. Prioritäten nach Schadensausmaß aus [Sch04]

Wählt man die Eintrittswahrscheinlichkeit als wichtigeres Kriterium, müssen zuerst alle Elemente geschützt werden, die einer nahezu täglichen Bedrohung ausgesetzt sind. Systeme, die täglich Schäden aufweisen, haben i.a. vermutlich keine allzu hohe Lebenserwartung, also trifft dieser Ansatz bei der Eisenbahn nicht zu.

A	1.4.	1.3.	1.2.	1.1.
B		2.3.	2.2.	2.1.
C			3.2.	3.1.
D			4.2.	4.1.
E				5.1.
F				
	IV	III	II	I

Abb.5.4.7. Prioritäten nach Eintrittswahrscheinlichkeit

Ein kombiniertes Verfahren, um das Schutzziel zu definieren und Prioritäten für Maßnahmen zur Risikoreduktion abzuleiten, ist z.B. das Schutzziel monetär auf ein jährliches Risiko umzurechnen. Daraus lassen sich Bereiche in der Matrix identifizieren, die über bzw. unter einem Risikowert liegen. Die Angabe des Risikos kann je nach Anwendung in einer

sinnvollen Einheit erfolgen z.B. Millionen Euro pro Jahr. Der Expertengruppe wurde nach anfänglicher Einordnung in die Matrix auch die Bedeutung der Risikoanteile in Form des ausgewerteten Produktes gezeigt. Da es lediglich um eine Größenordnung bei den einzelnen Risikoanteilen geht, war es nicht notwendig, die Matrixfelder mit scharfen Grenzen zu belegen. Aus den Risikoanteilen lassen sich bereits Prioritäten ableiten, da die jeweils größeren Risikoanteile vorrangig zu behandeln sind. Die Definition eines Schutzzieles monetärer Natur gestaltet sich im Falle der unscharfen Grenzen relativ einfach, da je nach gewähltem Wert für das Schutzziel Matrixfelder eindeutig über oder unter dem Ziel zu liegen kommen. Es kann nicht passieren, daß Felder gleichen Risikos einmal unter und einmal über dem Schutzziel zu liegen kommen. Hätte man anfangs aufgrund der qualitativen Ausprägungen bereits die Bereiche festgelegt, die „unerwünscht“ bzw. „intolerabel“ sind, hätte dies bei der anschließenden Quantifizierung zu Konflikten führen können. Die Wahl der Stufen bei der Eintrittswahrscheinlichkeit im Bereich von „täglich“ bis „jährlich“ bewirkt beim Risikoanteil unterschiedliche Faktoren (C-D 4; B-C 3; A-B 30) zwischen den Zeilen gegenüber dem Faktor 10 zwischen Zeile D und E sowie E und F. Der Faktor 30 zwischen Zeile A und B könnte durch die Bezeichnung „wöchentlich“ auf einen Faktor 4 reduziert werden. Bei der praktischen Einordnung hat sich aber gezeigt, daß die Zeile A mit der Bezeichnung „täglich“ eine Berechtigung aus der Praxis erhält und damit benötigt wird. Also könnte eine weitere Zeile zwischen A und B eingefügt werden, um den Faktor 30 auf 4 mal 7 aufzuteilen. Wichtig erscheint in diesem Zusammenhang, einer Expertengruppe diese auf eine Basis bezogenen Werte zu zeigen, bevor ein Endbericht erstellt wird. Anhand der Risikoanteile der Felder und deren Vergleichbarkeit untereinander kann überprüft werden, ob die getroffenen Zuordnungen nun auch in Relation zueinander stimmig sind. Bei einer rein qualitativen Zuordnung kann diese Relation zwischen den einzelnen Risikopotentialen leicht verloren gehen, da die Sprache die mathematische Produktbildung nicht abbilden kann.

Risikoanalyse: Schutzziele 0,1 Mill€/a / 1,0 Mill€/a / 10 Mill€/a				
A täglich	3,65	36,5	365,0	3650,0
B monatlich	0,12	1,2	12,0	120,0
C 1 x im Quartal	0,04	0,4	4,0	40,0
D jährlich	0,01	0,1	1,0	10,0
E alle 10 Jahre	0,001	0,01	0,1	1,0
F alle 100 J.	0,0001	0,001	0,01	0,1
	IV 10.000 €	III 100.000 €	II 1.000.000 €	I 10.000.000 €

Abb.5.4.8. Monetäre Schutzziele in Risikomatrix

Trotz aller mathematischen Schwierigkeiten bei der Anwendung einer Risikomatrix, muß eines klar festgestellt werden: Wenn kein ausreichend abgesichertes Datenmaterial vorhanden ist, aber komplexe Systeme wie der Eisenbahnbetrieb einer Risikoanalyse unterzogen werden müssen, dann bietet die Risikomatrix mit Einordnungen der Elemente durch eine Expertengruppe das einzig zur Zeit bekannte Verfahren. Die gewählte Methodik hat mehrere Vorteile in dieser Anwendung gezeigt, weil es günstig war, das Wissen und die Erfahrungen von möglichst vielen am Betrieb beteiligten Unternehmensbereichen einzubinden und damit auch eine Akzeptanz für eine neue Art der flächendeckenden Zugbeobachtung zu schaffen. Im Nachhinein kann natürlich immer jemand als selbsternannter „Experte“ auftreten und versuchen, Einzelergebnisse anzugreifen oder gar das komplette Verfahren in Frage zu stellen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erscheint aber durch die Arbeit der Experten eine gut strukturierte Sichtweise auf die Einsatzmöglichkeit von Zuglaufüberwachungseinrichtungen gegeben. Die Konformität zu europäischen Normen kann von einer „benannten Stelle“ überprüft werden und ggf. auch zertifiziert werden. Selbst wenn dies nicht der Fall sein sollte, kann zumindest auf eine begründete und unterstützte Prioritätenreihung auf Basis einer Risikoanalyse durch Experten hingewiesen werden. Da es der erste Versuch ist, eine

Risikomatrix auf der Systemebene des Eisenbahnbetriebes mit all seinen komplexen Facetten zu situieren, gibt es natürlich auch Verbesserungspotential auf das auch noch u.a. in Kapitel 7 dieser Arbeit hingewiesen werden soll.

Die Ausbaustrategie kann auch mit der Streckenrangordnung kalibriert werden, d.h. die Anzahl der Zugfahrten pro Zeit gewichtet den Standort. Falls die Gewichtung noch nicht implizit über die Elemente erfolgt ist (z.B. Schnellfahrstrecke), kann sie über die üblichen Streckenklassen (Hauptnetz, Ergänzungsnetz) miteinbezogen werden.

5.5. Risikoreduktion durch Checkpoint-Komponenten

In Abhängigkeit der in der Risikoanalyse als Risikopotentiale identifizierten Elemente der Infrastruktur erfolgt auch die Sensorikauswahl. Um die Wirkungskette beginnend von einer Initialwirkung bis zum risikoträchtigen Schadensbild durch geeignete infrastrukturseitige Sensorik kontrollieren zu können, bedarf es einer Elementanalyse, die für jedes Risikopotential der Infrastruktur die entsprechende Gegenmaßnahme zur Risikoreduktion festlegt. Grundsätzlich können Maßnahmen zur Risikoreduktion in drei Gruppen eingeteilt werden:

- ereignisverhindernd (E)
- ausmaßmindernd (A)
- rettungsunterstützend

In einer ersten Ausbauphase von Checkpoints sind folgende Komponenten vorgesehen:

- Heißläufer-/ Festbremsortungsanlagen (E /A)
- Flachstellenortungsanlagen (A)
- Lichtraumprofilemeßanlagen (A)
- Dynamische Radlastverwiegung (E /A)
- Entgleisungssensoren (A)
- Branderkennungseinrichtungen (A).

Ordnet man diese Komponenten den oben angeführten Gruppen zu, so erkennt man, daß der Checkpoint im Wesentlichen ausmaßmindernd wirkt, da eine Form des Schadens oder Gebrechens bereits eingetreten sein muß, um überhaupt von einer Sensorik erkannt werden zu können. Ereignisverhindernde Anteile kann man nur der dynamische Radlastverwiegung

sowie der Heißläuferortungsanlage zu sprechen, da das eigentliche Ereignis – eine mögliche Entgleisung – erst folgen kann. Aufgrund dieser Zuordnung des Checkpoints zu den ausmaßmindernden Maßnahmen, läßt sich auch die Wirkung der Risikoreduktion in der Matrix zeigen. Während ereignisverhindernde Maßnahmen die Eintrittswahrscheinlichkeit reduzieren, also ein risikoträchtiges Element in der Spalte nach unten verschieben, reduzieren ausmaßmindernde Maßnahmen das Schadensausmaß, d.h. ein Element wird in der Zeile nach links verschoben (Abb. 5.4.9.).

Risikoanalyse: Schutzziele 0,1 Mill€/a / 1,0 Mill€/a / 10 Mill€/a				
A täglich	3,65	36,5	365,0	3650,0
B monatlich	0,12	1,2	12,0	120,0
C 1 x im Quartal	0,04	0,4	4,0	40,0
D jährlich	0,01	0,1	1,0	10,0
E alle 10 Jahre	0,001	0,01	0,1	1,0
F alle 100 J.	0,0001	0,001	0,01	0,1
	IV 10.000 €	III 100.000 €	II 1.000.000 €	I 10.000.000 €

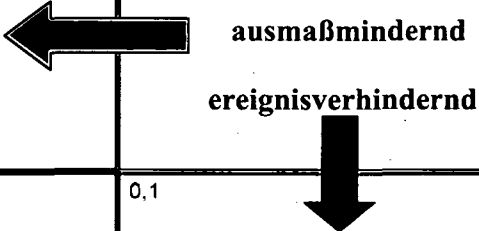


Abb.5.4.9. Wirkungsweise von Checkpoint-Komponenten in der Matrix

Diese Einteilung hat sich auch schon bei Untersuchungen betreffend der Tunnelsicherheit bewährt [Bru02]. Aus der Kombination bestimmter Einzelmaßnahmen läßt sich ein den Risikoakzeptanzkriterien genügendes Maßnahmenpaket aus ereignisverhindernden, ausmaßmindernden und rettungsunterstützenden Maßnahmen [VK00] entwerfen, so daß eine Betriebsgenehmigung erteilt wird [WSA01]. Auch bei Bestandstunneln kann sich aufgrund von Risikoanalysen ein Handlungsbedarf ableiten lassen, der sich durch risikominimierende Maßnahmen erfüllen läßt [Bru01]. Die Wirksamkeit der Risikoreduktion muß dabei auch von

einer Expertengruppe eingeschätzt werden, sofern nicht Systeme bereits längerfristig im Einsatz sind.

Ereignisverhindernde Maßnahmen haben zum Ziel, Ereignisse prinzipiell zu vermeiden. Durch Anwendung solcher Maßnahmen wird versucht, Risiken klein zu halten und unerwünschte oder gar kritische Zustände zu vermeiden. Die ereignisverhindernden Maßnahmen können sehr umfangreich werden und müssen daher aufeinander abgestimmt werden. Trotzdem bleibt aber ein Restrisiko, welches durch ereignisverhindernde Maßnahmen nicht mehr zu reduzieren ist.

Ausmaßmindernde Maßnahmen unterstützen die Prozesse, die dazu dienen, kritische Zustände zu beherrschen, eine Eskalation zu verhindern oder einfach den Schaden zu begrenzen. Erst wenn ein Schadensereignis abgelaufen ist, kommen die rettungsunterstützenden Maßnahmen zu tragen.

Die Sensorikkomponenten der ersten Checkpoint-Ausbauphase lassen sich auch in die drei Gruppen der Maßnahmen zur Risikoreduktion einordnen. Als ereignisverhindernd dürfen dynamische Radlastverwiegeeinrichtungen sowie Flachstellenortungsanlagen gelten. Aus der Radlast lassen sich Aussagen über den Beladungszustand eines Zuges treffen, die sogar die augenscheinliche Prüfung durch den Fahrdienstleiter an Aussagekraft übertreffen. Ungünstige Beladungen können im Zugverband zu dynamischen Längskräften führen, die eine Zugstrennung begünstigen. Aus Unfallberichten zeigt sich, daß meist eine Kombination aus Beladungszustand, Anteil von leeren und vollen Wagen in einem Zug und betriebliche Zwänge (Bremsung) zu einer unfreiwilligen Zugteilung oder sogar zu einer Entgleisung führen können.

Wenn ein Schadensereignis bereits eingetreten ist, kommen die ausmaßmindernden Maßnahmen zu tragen. Die in Österreich zur Zeit flächendeckend am Hauptnetz im Einsatz befindliche Kombination aus Heißläuferortungsanlage und Festbremsortungsanlage ist ein gutes Beispiel für diesen Typ von Maßnahmen. Heißgelaufene Achsen können verschiedenste Ursachen haben: zum einen können laufende Bremsungen zu einer Erhöhung der Achstemperatur führen, zum anderen müssen Lagerelemente Verschleiß aufweisen, so daß die Reibung der Achsen zu einer Temperaturerhöhung führt. Nicht jede heißgelaufene Achse bricht auch, aber aus Erfahrungswerten kann man mit jeder vierten Achse rechnen. Daraus

folgt aber, daß die Messung der Achstemperatur ein guter Indikator für potentielle Entgleisungen ist. Natürlich gibt es gelegentlich auch Achsen, die kalt brechen. Diese entziehen sich aber aufgrund ihrer Charakteristik momentan noch einer sensorischen Überwachung.

Wenn nun in einem Eisenbahnnetz an den Hauptabfuhrstrecken Heißläuferortungsanlagen implementiert sind, kann von einer nahezu flächenhaften Überwachung der Achslagertemperatur gesprochen werden. Verfolgt man einen Zug über mehrere Standorte hinweg, kann man die Entwicklung der Temperatur nachvollziehen. Der Heißläufer läßt sich zwar infrastrukturseitig nicht verhindernd, wohl aber läßt sich das Schadensausmaß mindern. Als Basis einer Ausbaustrategie kann die Güterzugsgeschwindigkeit auf einer Strecke dienen, mit der man eine Maschenweite der Anlagen festlegt. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung dieser Komponente erweist sich als nahe zu trivial im Sinne einer Kosten-Nutzen-Rechnung.

Eine weitere Komponente, die ausmaßmindernd wirkt, ist die Lichtraumprofilüberwachung. Hier geht man davon aus, daß ein Ladegut (Spezialfall Antenne am LKW eines ROLA-Wagens) das Lichtraumprofil überschreitet und dadurch bei Tunneln oder Bahnsteigkonstruktionen einen Aufprall verursachen kann. Außerdem kann auf 2-gleisigen oder mehrgleisigen Abschnitten auch das Lichtraumprofil eines benachbarten Gleises durch ein über das Lichtraumprofil hinausragendes Element verletzt werden. Die Detektion einer bereits entgleisten Achse wirkt ausmaßmindernd, wenn die entgleiste Achse rechtzeitig vor einer Weichenstraße oder einer Tunneleinfahrt erkannt wird. Bei der Branderkennung geht man von dem Szenario aus, daß ein Fahrzeug Feuer gefangen hat und vor Einfahrt in einen längeren Tunnel angehalten werden kann.

Im Wesentlichen gehen die ausmaßmindernden Maßnahmen davon aus, daß irgendein Initialereignis stattgefunden hat, welches nicht nur durch präventive Maßnahmen verhinderbar war.

Der Vollständigkeit halber sollen auch die rettungsunterstützenden Maßnahmen erwähnt werden, die aber beim Konzept der technischen Systeme zur Zuglaufüberwachung keine Rolle spielen. Im Einzelfall kann es durchaus möglich sein, daß ein über dem Schutzziel liegendes Element, durch Investition in eine rettungsunterstützende Maßnahme günstiger unter das Schutzziel zu bringen ist als über ereignisverhindernde oder ausmaßmindernde

Maßnahmen. Alle Risiken im Netz eines Eisenbahninfrastrukturbetreibers werden sich nicht durch technische Systeme zur Zuglaufüberwachung minimieren lassen, doch sollte der Stellenwert dieser Anlagen nicht gegen rettungsunterstützende Maßnahmen ausgespielt werden. Ziel einer Risikoanalyse sollte immer sein, alle Risiken zu identifizieren und adäquate Maßnahmen zur Risikoreduktion vorzuschlagen.

5.6. Wirkungsanalyse der Komponenten

Aufgrund der infrastrukturseitigen Aufstellung der Sensorikkomponenten bedarf es einer Detaillierung der risikoträchtigen Elemente der Infrastruktur, um die Wirkungskette transparent abbilden zu können. Die Auflistung der Elemente des Risikoprofils Infrastruktur zeigt die typischen Bestandteile eines Netzes: Brücken, Tunnel, Weichen, Gegenbögen, Gefällstrecken, Bögen und Übergänge der Oberbaukonstruktionen. Aus dieser Darstellung läßt sich natürlich noch kein Risikopotential oder gar eine Standortwahl ableiten. Es bedarf einer Wahl von Parametern, die jeweils das risikoträchtige Element ausreichend beschreiben. Verständlicher Weise ist z.B. nicht jeder Brücke im Netz das gleiche Risikopotential zuzuordnen.

Im Zuge des Brainstormings bei einer Sitzung der Expertengruppe wurde das Risikoprofil „Zug“ erstellt, daß alle bis dato bekannten Gefährdungen, die an einem Zug auftreten können, enthält. Aus dieser Liste wurden für die nachfolgende Bearbeitung nur jene Gefährdungen ausgewählt, die auch thematisch zum Checkpoint passen. Es hat sich gezeigt, daß es auch Gefährdungen gibt, die vom Zug ausgehen, aber nicht durch die Funktionsweise eines Checkpoints beherrschbar sind, weil es entweder keine geeignete Sensorik dafür gibt oder prinzipiell gar nicht die Möglichkeit besteht mit irgendeiner Sensorik diese Zugeigenschaften vor Erreichen eines kritischen Zustandes zu prüfen.

Bezeichnung des Elementes oder Sachverhaltes
Schnellzug m P
Güterzug
Federnbruch
Zwangsbremung mit nachfolgender Entgleisung
Scheibenbruch; Lose Radreifen
Ladungsmängel
Offene Türen

Nahverkehrszug ($V < 120 \text{ km/h}$)
Niederflurwagen
2 achsige Wagen
Brand / Fahrzeug
Sicherung der Beladung
Gefahrgutaustritt
Puffer: Überpufferung, Verlust des Puffers, Schmierzustand
Fahrgastwechsel: Bahnsteigspalt zu groß
Zugbildung: Kupplungszustand / Pufferstand
Beladen / Leer
Reihung
Dynamische Kräfte: Bremsstellung, Reihung
4 achsige Wagen, Drehgestelle
Funktion der Bremse trotz funktionierender Druckluftleitung
Lademaßüberschreitung
Ausdrehwiderstand der Drehgestelle
menschliches Versagen bei Bremsprobe, Mängel bei Berechnung der BH
Durchgängigkeit des Bremssystems
Heißläufer / Festbremsung (HOA-Ausbau berücksichtigt)
Seitenselektive Türöffnung
Zwangsbremung ohne weitere Auswirkung
Ladungsverlust
Flachstellen, unrunde Räder, Radsatzanomalien

Tab. 5.6.1. Elemente aus dem Risikoprofil „Zug“ aus [ÖBB04]

Bevor die Analyse der einzelnen Elemente im Hinblick auf die erforderliche Sensorik zur Risikoreduktion vorgenommen wird, macht es Sinn, eine grundlegende Unterscheidung zu treffen zwischen Zugseigenschaften, die am Ausgangszustand (zu Beginn einer Zugfahrt oder knapp nach Beginn einer Zugfahrt) oder während der Fahrt (nach einiger Entfernung vom Ausgangsbahnhof) erfaßt werden müssen. Diese scheinbare Verkomplizierung der Zuglaufüberwachung hat auch in der klassischen Betriebsabwicklung ein Pendant, nämlich die Beobachtung und Prüfung des Zuges durch Wagenmeister bzw. Fahrdienstleiter. Auch für die benötigte Sensorik zeichnet sich ein Kostensprung in den benötigten Elementen ab, wodurch es nötig wird, die zu prüfenden Eigenschaften im Ausgangszustand noch feiner zu unterscheiden. Im **Ausgangszustand** können prinzipielle Zugseigenschaften erfaßt werden, die sich im Lauf einer Fahrt nur unwesentlich ändern werden. Durch heute am Markt befindliche Sensorik können folgende Unregelmäßigkeiten detektiert werden:

- einseitige Beladung
- Ladungsverschiebung
- Flachstellen
- Offene Türen
- Achslast, Meterlast

Um diesen Unregelmäßigkeiten vorzubeugen, ist es sinnvoll, an Stellen im Netz Züge zu kontrollieren, wo viele Züge beginnen oder enden. Meist trifft dies auf große Knoten mit Vershubtätigkeit zu. Der Netzzutritt nach einer nationalen Grenze oder in Zukunft nach Wechsel des Infrastrukturbetreibers kann diese Art der Prüfung bedingen. Es gibt aber noch weitere Risikopotentiale, die durchaus bekannt sind, die aber zum heutigen Zeitpunkt nur unter großem technischen und finanziellen Aufwand erfaßt werden können:

- Verwindung der Wagen
- Wankeigenschaften
- Ausdrehmoment
- Instabilitäten
- Gleisverschiebungskräfte
- Radprofilgeometrie
- kinematische Begrenzung

Während des Zuglaufes müssen an den Betriebsmitteln (Lok, Wagen) folgende risikoträchtige Eigenschaften überprüft werden:

- Achslagerschäden
- Verschiebung der Ladung
- Entgleisungen (bereits entgleiste Achsen)
- Erwärmung des Radsatzes durch Bremse
- Temperatur der Achsen
- Flachstellen
- Gebrochene Tragfedern
- Achsbruch
- offene Türen
- Brand

Diese möglichen Unregelmäßigkeiten werden vor zu schützenden Elementen der Infrastruktur kontrolliert. Aufgrund der Zuordnung der Komponenten zu den Infrastrukturelementen wird sich eine Netzaufteilung für das Hauptnetz ergeben. Daraus läßt sich der Abstand zwischen den einzelnen Komponenten errechnen. Wenn durch den Netzzusammenhang benachbarte Elemente der Infrastruktur eine zu hohe Dichte einer Komponente erfordern würden, kann man eine Schutzweite unterstellen. Sollten aber längere Abschnitte ohne Sensorik auf einer Netzdarstellung entstehen, kann eine Verdichtung erwogen werden. Eine Strecke, die ohne Prüfung der vorbeifahrenden Züge durch Fahrdienstleiter auskommen soll, kann mit der Checkliste der risikoträchtigen Elemente während der Fahrt geprüft werden, ob auch alle diese Risikopotentiale abgedeckt werden.

5.7. Detaillierung der Infrastruktur

Im Zuge der Einordnung der Elemente in das Risikoprofil „Infrastruktur“ wurden von der Gruppe folgende Elemente einer Detaillierung zugeführt:

- Brücke
- Gegenbögen
- Weichen
- Gefällstrecken
- Tunnel
- bogenreiche Abschnitte
- Übergänge in der Oberbaukonstruktion

Um eine **Brücke** mittels Parameter zu beschreiben, bieten sich von Seite der Infrastruktur folgende physikalischen Größen an: Lichte Höhe und Länge der gesamten Tragwerkskonstruktion. Der Einfluß dieser beiden Größen auf das Risikopotential einer Brücke ist nachvollziehbar: je größer die lichte Höhe einer Brücke ist, desto tiefer kann ein entgleister Zug fallen. Je länger eine Konstruktion ist, desto größer wird der Brückenanteil an einer Strecke. Nun kann es aber Fälle geben, wo vergleichsweise kurze Brücken über tiefe Schluchten führen. Auch lange Brückenabschnitte (auf Gewölbe) können zwar niedrig sein, aber doch aufgrund ihrer Länge als nicht vernachlässigbar erscheinen. Hier bietet sich das Produkt aus Länge mal Höhe als aussagekräftigster Parameter an. Die Dimension dieses Produktes ist Quadratmeter aufgrund der Multiplikation von Meter mal Meter. Nun ist zu klären, wie fein die Unterscheidung der Brücken nach ihrem Produkt durchgeführt wird und

welche Grenzwerte gezogen werden. Als zweites Kriterium läßt sich noch die Fahrbahn einer Brücke anführen: Sofern ein durchgehendes Schotterbett vorhanden ist, wird der Einfluß der Brücke auf den fahrenden Zug sehr gering sein. Wenn aber Schienenauszüge mit einer offenen Fahrbahn auftreten, kann das Element Brücke schon auch die Fahrdynamik beeinflussen.

Damit eine Brücke, die über dem Schutzziel zu liegen kommt, unter das Schutzziel gebracht werden kann, lassen sich von Seiten der technischen Überwachung des Zuglaufes folgende Komponenten vorschlagen: einerseits die Lichtraumprofil-Überwachung, andererseits die Entgleisungsdetektion einer bereits entgleisten Achse. Die Berechtigung dieser Komponenten aus der Liste der möglichen ist leicht einzusehen: Bei Brückenkonstruktionen, die über SOK führen, besteht die Möglichkeit des Aufpralls von Ladegut an Konstruktionselementen. Die Entgleisung einer Achse kann bei ungünstigem Anfahren an die Führungsschienen zu einem Absturz von der Fahrbahn führen.

Das Element **Gegenbogen** der Infrastruktur bedarf auch einer feineren Detaillierung, da es bedingt durch Zwangspunkte v.a. bei gewachsenen Verschiebebahnhöfen viele Anordnungen gibt, die die Grenzen der Oberbauvorschriften ausnutzen. Zur Unterscheidung der schutzbedürftigen Gegenbögen von akzeptablen kann aus der Gegenbogenbedingung folgendes Kriterium abgeleitet werden: $R1 \cdot R2 / (R1 + R2) < 120$. Bei Analyse der Zugeigenschaften, die in Gegenbögen zu Unregelmäßigkeiten führen können, zeigt sich, daß diese bereits zu Beginn einer Zugfahrt im Ausgangszustand geprüft werden.

Weichen sind bei jedem spurgebundenen System das wichtigste Element, um die Netzbildung zu ermöglichen. Dementsprechend hoch ist auch die Anzahl von **Weichen** im Netz eines Infrastrukturbetreibers. Auf Neubaustrecken sind Weichen i.a. sehr schlanke Konstruktionen, die aber trotz der technischen Raffinesse immer noch die größten Störstellen im Gleis sind. Bei Bestandsstrecken stellt sich immer die Frage der betrieblichen Notwendigkeit gewisser Weichenverbindungen, da Weichen nicht nur Risikopotentiale darstellen, sondern auch laufende Kosten in der Erhaltung verursachen. Aufgrund der großen Anzahl und der verschiedensten Bauformen muß das Risikopotential, das Weichen zweifelsohne haben, feiner unterteilt werden. Besonders kritische Weichenbereiche bezüglich des Risikos können z.B. Überleitstellen auf Hochgeschwindigkeitsstrecken ($V_{max} > 160 \text{ km/h}$) sein. Des weiteren können umfangreiche Weichenstraßen vor Knotenbahnhöfen mit hohem Personenaufkommen

als Kategorie identifiziert werden. Die Spezifizierung dieser Kategorien soll das Risiko, das jeder Weiche grundsätzlich anhaftet, nicht nur auf diese beziehen, sondern eine Abstufung ermöglichen. Es wird nicht wirtschaftlich möglich sein, jede Weiche durch irgendeine Sensorik zu schützen. Gerade im Verschubbereich, wo es häufiger zu Flankenfahrten oder Entgleisungen im Weichenbereich kommen kann, kann nicht jede Weiche geschützt werden. Dies ist auch nicht sinnvoll, weil hier zum einen nur geringe Geschwindigkeiten auftreten, zum anderen auch andere Sicherheitsbestimmungen greifen sollen. Unmittelbar vor sensiblen Weichenbereichen, die als schutzbedürftig eingeordnet werden, empfiehlt sich eine Prüfung, ob ein Zug mit bereits entgleisten Achsen sich nähert. Außerdem beeinflussen Weichen auch die Standortwahl von Einrichtungen zur Zuglaufüberwachung auf mikroskopischer Ebene, da es möglich sein muß, im Falle einer Alarmmeldung auch einen Zug noch vor einer Weichenverbindung (die nicht primär als schutzbedürftig eingeordnet wurde) anzuhalten.

Der Stellenwert von **Gefällstrecken** erscheint gerade in Österreich nachvollziehbar. Wichtige Alpenquerende Verbindungen verlaufen nach einem ähnlichen Schema: beidseitige Anstiege in Hanglagen samt Scheiteltunnel. Diese Bauform half massiv, Baukosten zu sparen, da man versuchte, dem Gelände solange wie möglich zu folgen. Damit konnten die Scheiteltunnel jeweils verhältnismäßig kurz und damit kostengünstig für den Bau ausgeführt werden. Längere Gefällstrecken – eine Klassifikation erfolgt im Zuge der Detaillierung - führen aber unweigerlich zu einer höheren Beanspruchung der Bremsen. Bei Fahrzeugen, die sich nicht mehr in einem einwandfreien Zustand befinden, kann die Überfahrt über einen Alpenpaß die Verschleißteile an Lagerbauteilen sowie an Achsen und Tragfedern derart erwärmen, daß es zu einem Materialversagen der Bestandteile der Lager kommen kann. Selbstverständlich können Achsen in schlechtem Erhaltungszustand auch an anderen Stellen im Netz heißlaufen z.B. Schnellfahrstecken oder aber auch auf „unverdächtigen“ Abschnitten, doch liegt der kausale Zusammenhang hier auf der Hand. Daher wird nach längeren Abschnitten eine Kombination aus Heißläuferortungsanlage und Festbremsortungsanlage vorgeschlagen. Der Begriff der Gefällstrecken muß auch durch Parameter beschrieben werden, die naheliegender Weise durch die Steigung bzw. Gefälle in Promille sowie die Abschnittslänge, wo diese mittlere Steigung erreicht wird, beschrieben werden. Als Größenordnungen eignen sich folgende abstrahierte Gruppierungen:

- mittlere Steigung bzw. Gefälle > 20 ‰ auf 10 km Streckenlänge
- mittlere Steigung bzw. Gefälle > 15 ‰ auf 10 km Streckenlänge
- mittlere Steigung bzw. Gefälle > 10 ‰ auf 10 km Streckenlänge

Vor Beginn der großen Ausbauprojekte zahlreicher Bahnverwaltungen, war der **Tunnelanteil** am Gesamtnetz jeglicher Bahnverwaltungen sehr gering (wenige Prozent). Die öffentliche Sensibilität betreffend der Sicherheit in Tunnel (sowohl Straße als auch Schiene) ist durch mediales Interesse und singuläre Schadensereignisse gestiegen. Daher gilt diesem Element der Infrastruktur besonderes Interesse, wodurch auch schon seit Beginn der Bauprojekte Tunnelsicherheitskonzepte erstellt wurden. Diese Gutachten haben in einer Mischung aus quantitativer und qualitativer Risikoanalyse versucht, Ausgangsrisiken zu ermitteln, die dann durch Maßnahmenpakete reduziert werden sollten. Daher kann für die Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen auf vorhandene Gutachten zurückgegriffen werden, wobei manche Maßnahmen zur Risikoreduktion in ihrer Bewertung dem Stand der Technik gemäß neu überdacht werden müssen.

Vor einem Tunnel sind folgende Unregelmäßigkeiten eines nahenden Zuges zu prüfen: Achslagerschäden, feste bzw. heiße Bremsen, Ladungsverschiebungen, Entgleisungen (bereits entgleister Achsen), Brand im oder am Fahrzeug. Um den risikoträchtigen Tunnel vor diesen Einwirkungen zu schützen bedarf es einiger Sensorik: Heißläuferortungsanlagen, Lichtraumprofilüberwachung, Entgleisungsdetektion (bereits entgleister Achsen) und Branderkennung. Bei eingleisigen Tunnel kann die Ausrüstung reduziert werden auf die Heißläuferortungsanlagen und die Branderkennung. Für die Zuordnung der risikoträchtigen Tunnel in der Risikomatrix Infrastruktur müssen die relevanten Parameter in einer Formel kombiniert werden. Dieser mathematische Zusammenhang wird über bekannte Projekte hergestellt. Folgende Größen sollten dabei berücksichtigt werden: Anzahl der Gleise im Tunnel, Länge, Geschwindigkeit der Züge (Personenbefördernde Züge / nicht personenbefördernde Züge), Gefahrgutanteil und Reisendenfrequenz. Aus diesen Parametern läßt sich eine dimensionslose Kennzahl ableiten, die zur qualitativen Beurteilung der einzelnen Tunnel in einem Eisenbahnnetz verwendet werden kann.

Ein weiteres risikoträchtiges Element der Infrastruktur sind **bogenreiche Abschnitte**. Besonders hervorzuheben sind hier Strecken mit einem Bogenanteil von über 10 % der Bögen mit einem Radius kleiner 300 Meter. Folgende Meßgrößen sind nach bogenreichen Strecken aufgrund des Befahrens dieser Abschnitte als Indikatoren für Unregelmäßigkeiten zu nennen: Querkräfte (sowie Gleisverschiebungskräfte), Achslasten (Ladungen können sich innerhalb eines Wagens verschoben haben), Ausdrehmoment, Wankeigenschaften sowie das Radprofil

(Abnutzung in engen Radien). Diese Eigenschaften werden aber sinnvoller Weise wieder am Ausgangszustand (bei Knoten, Zentralverschiebebahnhöfe, Netzzutritt) überprüft und nicht während einer Zugfahrt. Nach einer bogenreichen Strecke, die der oben genannten Klassifizierung genügt, kann eine Lichtraumprofilüberwachung sinnvoll sein, um Ladegutverschiebungen rechtzeitig zu erkennen.

Übergänge in der Oberbaukonstruktionen stellen Unstetigkeiten in der Steifigkeit des Oberbaus dar. Diese können zu Schwingungen im darüberfahrenden Zugverband hervorrufen und bei instabilen Fahrzeugen zu Entgleisungen führen. Diese Übergänge treten meist mit den Elementen Brücke oder Tunnel der Infrastruktur auf. Instabilitäten werden aus Kostengründen im Ausgangszustand erfaßt, so daß für diese Übergänge keine gesonderte Sensorik erforderlich wird.

Vor Befahren einer **Schnellfahrstrecken** ($V > 160$ km/h) ist eine Prüfung der Züge auf Flachstellen sinnvoll. Bei Befahren (nach einer gewissen Zeit) ist die Temperatur der Achsen als Indikator für Heißläufer zu messen. Die Einführung der Schnellfahrstrecken als eigenes Element in der Risikoanalyse kann durch die Expertengruppe entschieden werden. Implizit bedingen Schnellfahrstrecken diverse ingenieurmäßige Kunstbauten, daher braucht man den Begriff eigentlich gar nicht gesondert einführen, da diese Strecken aufgrund der Trassierungsparameter risikoträchtige Elemente beinhalten.

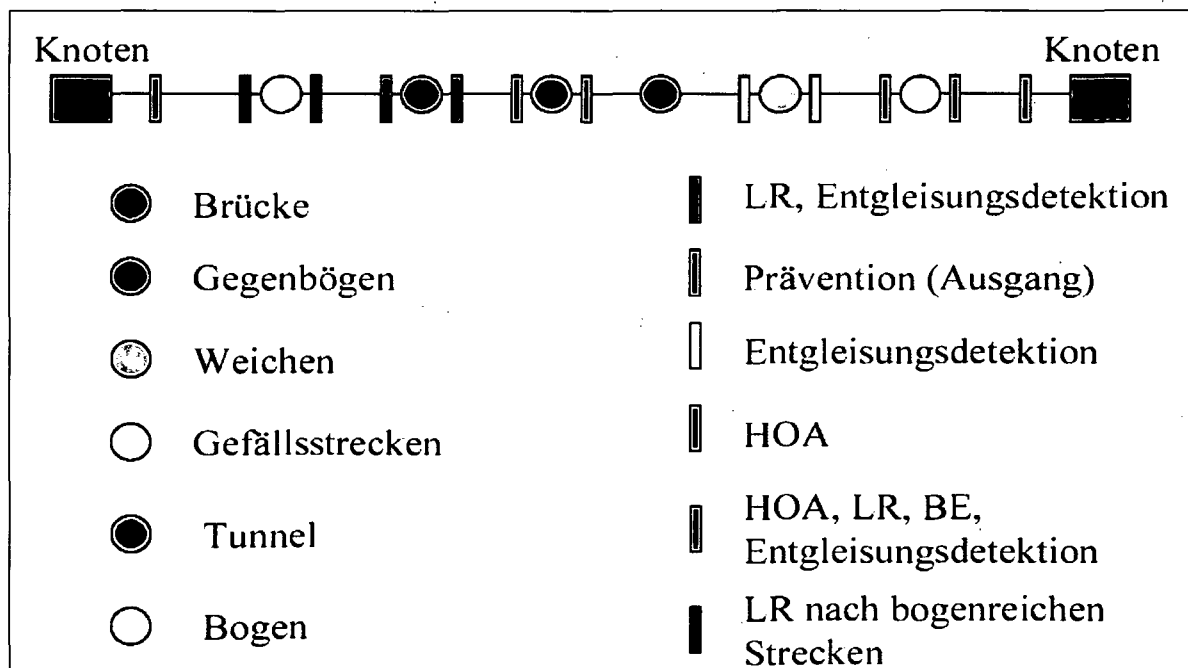


Abb.5.7.1. Standorte aus der Systemanalyse mit wirksamen Sensorikkomponenten [ÖBB04]

5.8. Prioritäten bei der Ausbaureihenfolge

Die Ausbaureihenfolge unterliegt verschiedensten Interessensblickwinkeln, angefangen von aktuellen Unfallereignissen bis hin zur Inbetriebnahme von Neubaustrecken, die Bahnhöfe mit Zugsbeobachtung umfahren. Aus der Matrix „Infrastruktur“ ergeben sich auf Basis der Einordnung durch die Expertengruppe die Prioritäten für die Standorte: aus den jährlichen Risikoanteilen kann eine Abschätzung der Anzahl der jeweiligen Sensorik unter Annahme eines Wertes für die Risikoreduktion einer Einzelanlage netzweit vorgenommen werden.

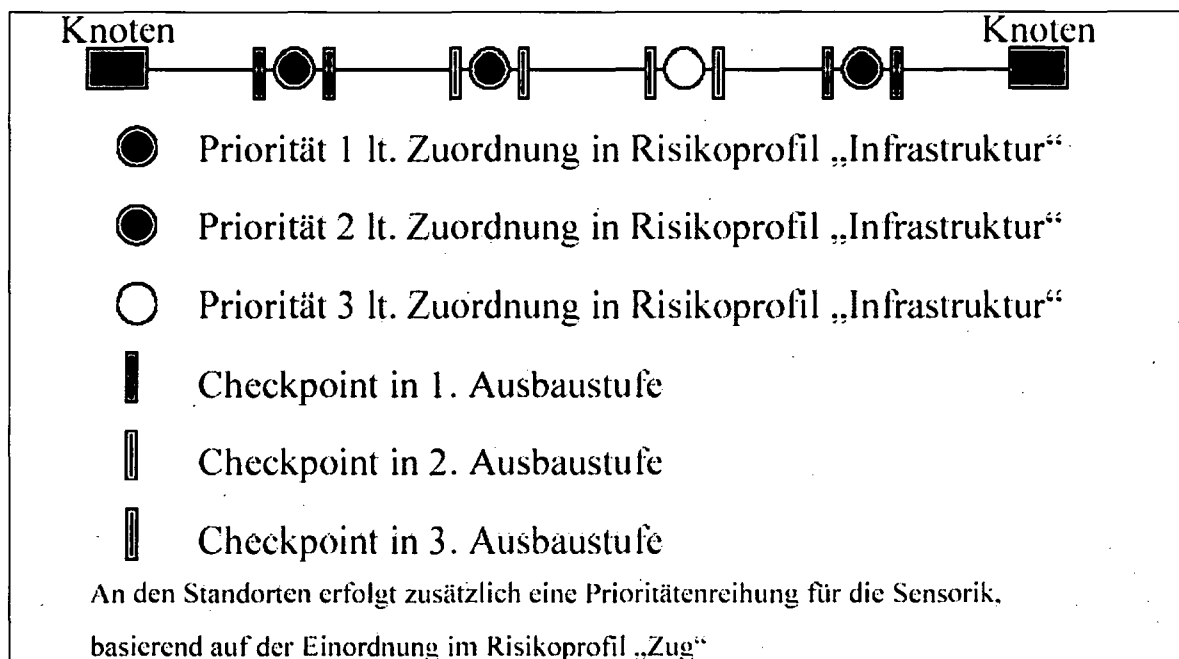


Abb.5.8.1. Prioritäten aus dem Risikoprofil Infrastruktur nach [KS04]

Die auf Einzelelemente bezogenen Risikoanteile können der Größe nach sortiert werden und stellen damit eine Reihenfolge der Ausbaufolge dar. Diese Liste kann nun noch mit der Streckenart (Kern- bzw. Ergänzungsnetz), dem Zugsmix (Personen/Güter), der Reisendenfrequenz, dem Gefahrgutanteil und einem Imagefaktor gewichtet werden. Höchste Priorität könnte dabei auch Strecken zugemessen werden, die automatisiert betrieben werden, d. h. wo Fahrdienstleiter aus der Fläche abgezogen werden und Elemente aus der Infrastruktur-Matrix im Risikopotential ansteigen würden weil die Risikoreduktion durch die augenscheinliche Zugprüfung entfällt.

Aus dem Risikoprofil „Zug“ lässt sich bei der Auswahl der Komponenten auch noch zusätzlich zur Standortreihenfolge eine Ausbaureihenfolge der Komponenten ermitteln, d.h.

obwohl ein Standort eine hohe Ausbaupriorität hat, müssen nicht alle vorgesehenen Komponenten auch gleich auf einmal installiert werden. Auch bei einem Checkpoint-Standort, der aufgrund der Einordnung in der Risikomatrix Infrastruktur in die 1. Ausbaustufe fällt, müssen nicht zwangsläufig alle aus der Systemanalyse denkbaren Komponenten eingebaut werden. Aus Sicht der Betriebsführung kann es aber günstiger sein, wenn schon eine Gleissperre zur Installation von Sensorkomponenten eingerichtet werden muß, gleich alle risikominimierenden Komponenten auf einmal einzubauen. Aus Synergiegründen können auch bei Bauarbeiten, die Gleissperren bedingen, Umreihungen in der zeitlichen Ausbaufolge sinnvoll und v.a. wirtschaftlich argumentierbar sein. Viele Standorte kommen auf Strecken des Kernnetzes zu liegen, da sie aufgrund der Zugdichte, der Reisendenfrequenz, des Gefahrgutanteils und der Kunstbauten (z.B. Tunnel) bei Entfall einer augenscheinlichen Zugbeobachtung über dem Schutzziel sind. Gleissperren verursachen daher gerade an diesen Standorten überproportional hohe Kosten in Form von Betriebserschwerern.

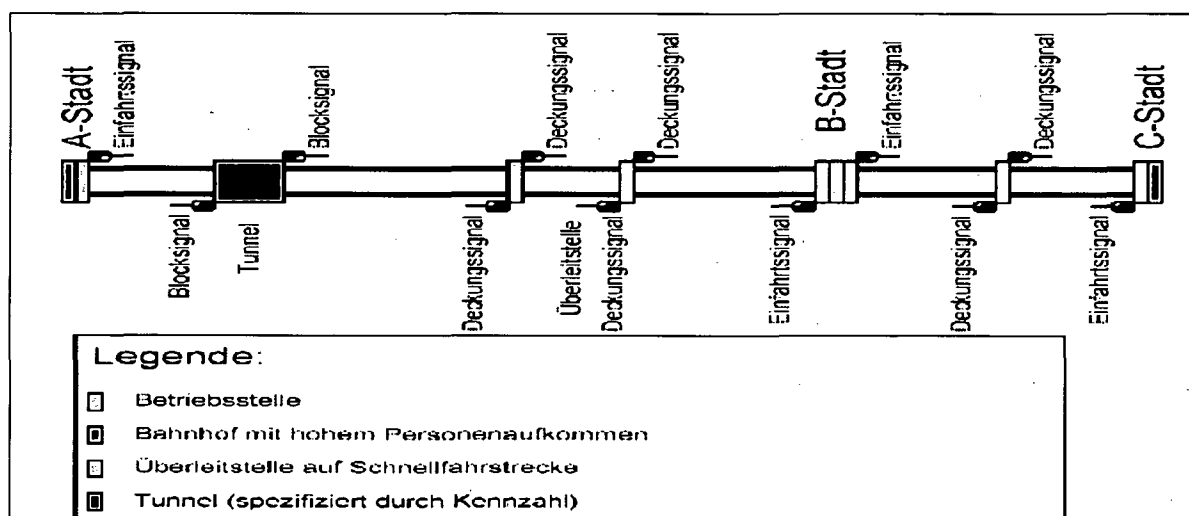


Abb. 5.8.2. Beispiel einer streckenbezogenen Auswertung

In Abb. 5.8.2. wird exemplarisch die an sich netzbezogene Auswertung der risikoträchtigen Elemente der Infrastruktur für eine fiktive Strecke gezeigt, an der sich ein Tunnel, mehrere Überleitstellen (auf Schnellfahrstrecken [$V > 160$ km/h]) sowie ein Bahnhof mit hohem Reisendenaufkommen befinden. Wäre diese fiktive Strecke keine Schnellfahrstrecke im Sinne der genannten Definition, würden die Überleitstellen nicht ein über dem Schutzziel liegendes Risiko aufweisen und hätten damit keine Checkpointkomponente zur Risikoreduktion nötig. Die Abbildung zeigt also im wesentlichen jene Elemente, die durch die Einordnung in der Matrix bei Entfall der Zugbeobachtung über dem Schutzziel liegen. Es können daher noch weitere Tunnel oder Weichenverbindungen auf dieser Strecke vorhanden sein, die aber nicht

als signifikant risikotrchtig qualifiziert wurden. Der risikoorientierte Ansatz bietet also nicht den absoluten Schutz vor Unfallereignissen auf dieser Strecke, sondern stellt lediglich die Einhaltung des Schutzzieles bei Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung sicher. In diesem Sinne werden die ausgewiesenen Elemente infrastrukturseitig geschützt, daß z.B. im Falle einer Entgleisung, diese vor der Überleitstelle erkannt wird und der Zug am zugeordneten Hauptsignal hält. Solang an dieser Strecke Personal zur Zugbeobachtung vorhanden ist, besteht im Sinne des GAMAB-Prinzips der EN 50126 kein Handlungsbedarf für die Stationierung von Checkpoint-Komponenten. Erst bei Entfall der Zugbeobachtung kommt der risikoorientierte Ansatz zur Anwendung, da er genau für dieses Szenario entwickelt wurde. Das Auffinden der als risikotrchtig klassifizierten Elemente richtet sich nach den Gegebenheiten der nationalen Infrastrukturdatenbanken und ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Erste Auswertungen für den heimischen Infrastrukturbetreiber (ÖBB) zeigen, daß bei Strecken mit 200 Zügen pro Tag und mehr die Standorte für Checkpoints den Erwartungen der Mitarbeiter entsprechen. Dieses Phänomen läßt sich durch die Detaillierung der Infrastruktur erklären, da die Mitarbeiter bei der Einordnung der Infrastrukturelemente im Hinblick auf ihre Risikoerhöhung bei Entfall der Zugbeobachtung mitgewirkt haben. Ein klarer Vorteil der Anwendung der Matrix ist die Möglichkeit zur Prioritätenreihung aufgrund der Risikoanteile in Mio. €/a, die rein aus der Praxis aber nicht argumentierbar ist. Die gewählte Vorgehensweise kann die pragmatischen Überlegungen aus der betrieblichen Praxis quantifiziert verwenden, in dem sie in den formalen Rahmen der Risikomatrix eingebracht werden und mit der Funktionalität der Matrix ausgewertet werden.

Diese mehrstufige Ausbaureihenfolge, die sowohl die Standorte als auch die Sensorikkomponenten umfaßt, ermöglicht eine den finanziellen Mitteln gerecht werdende Ausbaustrategie. Durch aktuelle Ereignisse kann es aber in der Praxis noch immer zu einer Umreihung kommen, die sich dann einer mathematischen Betrachtung weitestgehend entziehen. Der Grundsatz für die Wahl der Standorte liegt aber in den risikoträchtigen Elementen der Infrastruktur, die bei Entfall der Zugbeobachtung nach Meinung der Experten ein über dem akzeptierten Schutzziel ausgewiesenes Risiko aufweisen. Kenngrößen der Streckenbelastung in Form von Zugszahlen (Züge pro Tag) oder Reisendenfrequenzen dienen lediglich einer Verfeinerung der Ausbaureihenfolge, dürfen aber den risikoorientierten Ansatz nicht verfälschen, da die Vorgehensweise prinzipiell unabhängig vom Fahrplan ist. Bei fahrplanabhngigen Verfahren wäre es nämlich möglich, daß mit Änderungen im

Jahresfahrplan auch Korrekturen bei den Standorten für Zuglaufüberwachungseinrichtungen notwendig werden könnten.

Auf Basis der Risikomatrix „Infrastruktur“ und „Zug“ kann nun die Prioritätenreihung auch für die in Abb. 5.8.2. gezeigte Strecke exemplarisch gezeigt werden. Die Risikoanteile werden der Größe nach sortiert und z.B. in Mio. €/a angegeben (vgl. Tab. 5.8.1.).

Element aus Risikomatrix „Infrastruktur“	Risikopotential in Mio. €/a	Priorität
Bahnhof mit hohem Personenaufkommen	4,0	I
Überleitstelle auf Schnellfahrstrecke	1,2	II
Tunnel (spezifiziert durch Kennzahl)	1,0	III

Tab. 5.8.1. Exemplarische Auswertung der Risikomatrix „Infrastruktur“

Die Zuordnung der aus der Wirkungsanalyse als wirksam eingestuftes Sensorikkomponenten bewirkt, daß nicht alle denkbaren und prinzipiell verfügbaren Komponenten auch tatsächlich zur Risikoreduktion eingesetzt werden (siehe Abb. 5.7.1.). Für die Elemente aus der Risikomatrix „Infrastruktur“, die in Tab. 5.8.1. ausgewiesen sind, ist demnach für einen „Bahnhof mit hohem Personenaufkommen“ eine Anlage zur Detektion von bereits entgleisten Achsen vorzusehen. Da dieses risikoträchtige Element der Infrastruktur nur durch diese eine Komponente sinnvoll geschützt werden kann, erübrigt sich eine Prioritätenreihung für die Sensorik. Analog verhält es sich bei einer „Überleitstelle auf einer Schnellfahrstrecke“, weil auch dort aus der Wirkungsanalyse kommend nur die Detektion einer bereits entgleisten Achse die gewünschte Risikoreduktion bringen kann. Anders verhält es sich hingegen beim Element „Tunnel“, für das vier verschiedene Komponenten aus Abb. 5.7.1. folgen: hier ist eine Prioritätenreihung nun von Interesse. In Tab. 5.8.2. werden exemplarisch die Auswertung der Risikomatrix „Zug“ nach Risikoanteilen in Mio. €/a sowie die daraus resultierenden Prioritäten für die Risikoreduktion beim Element „Tunnel“ gezeigt. Mit der in Kapitel 5.5. gezeigten Wirkungsweise der Komponenten, läßt sich außerdem das Restrisiko abschätzen.

Bezeichnung Sensorikkomponente	Einordnung in Matrixfeld (Mio. €/a)	Prioritäten für Anwendung bei Tunnel	Wirkungsweise (E) ereignisverhindernd (A) ausmaßmindernd [aus Kap. 5.5.]	Restrisiko in Matrixfeld (Mio. €/a)
Heißläuferortungsanlage	C2 (4,0)	I	E / A	D3 (0,1)
Entgleisungsdetektion	B3 (1,2)	II	A	B4 (0,12)
Lichtraumprofilmeßanlage	D2 (1,0)	III	A	D3 (0,1)
Branderkennungseinrichtung	E1 (1,0)	III	A	E2 (0,1)

Tab. 5.8.2. Exemplarische Auswertung der Risikomatrix „Zug“

Auf eine Gefahr der Prioritätenreihung in der praktischen Anwendung sei an dieser Stelle noch hingewiesen: durch die Prioritätenvergabe bei den Sensorikkomponenten wird eine sequentielle Errichtung der Anlagen begünstigt, d.h. nicht alle Einrichtungen müssen zeitgleich bestellt werden, da es ja unterschiedlich bewertete Risikopotentiale aus der Risikomatrix „Zug“ gibt. Wenn nun die Anlagen bestellt wurden, denen das größere Risikopotential unterstellt wird, kann eine Diskussion aufkommen, ob die im Grenzbereich des Schutzziels liegenden Risikopotentiale mit vielleicht kostenintensiven Anlagen zur Risikoreduktion auch tatsächlich bestellt werden sollen. Diese Argumentationskette ist durchaus realistisch vorstellbar, entzieht sich aber aufgrund der Komplexität einer einfachen mathematischen Modellierung. Außerdem sind noch Auswirkungen auf die Preissituation zwischen dem Kaufpreis einer Einzelsensorik und einem Serienkauf – in Abhängigkeit von der Stückzahl - zu erwarten.

In der ersten Ausbauphase von Zuglaufcheckpoints ergibt sich aufgrund der im Lastenheft der ÖBB festgelegten und verfügbaren Komponenten lediglich ein technik-basierter Ersatz der menschlichen Beobachtungstätigkeit eines Fahrdienstleiters, der von einem Bahnhof abgezogen wird. In der zweiten Ausbauphase kann bei Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der geplanten Sensorik sogar eine weitere Zunahme der Sicherheit im Betrieb ermöglicht werden, da Zugeigenschaften überprüft werden, die sich den menschlichen Sinnen entziehen. Im Sinne der Systemtheorie sind diese beiden Phasen hinsichtlich der Auswirkungen auf das System also auch unterschiedlich zu beurteilen.

Ein weiterer Nutzen, der sich vermutlich erst im Zuge einer Netzwirkung von Checkpoint-Anlagen ergeben wird, ist die Weitergabe von Zugdaten an eine Checkpoint-Zentrale, um Entwicklungen von Unregelmäßigkeiten zu erforschen [MSR04]. Aus den dann verfügbaren Daten sollten sich Theorien und Gesetzmäßigkeiten zu den einzelnen Schadensmechanismen ableiten lassen, die wiederum Grundlage einer Optimierung der Standorte und deren Häufigkeit sein können.

6. Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit

Auf Basis der z.B. durch eine Expertengruppe gefundenen Risikobeurteilungen für die Infrastruktur und den Zug bei Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung, kann mittels aus eisenbahnrechtlichen Genehmigungsverfahren öffentlich aufgelegenen Sicherheitsgutachten die darin quantitativ enthaltene Risikoreduktion der Checkpoint-Komponenten einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zugeführt werden. Ausgangspunkt für diese Betrachtung ist wieder die Risikomatrix aus Kap. 5.4., wobei diese Darstellung in Abb.6.1. um die Faktoren zwischen den einzelnen Spalten und Zeilen ergänzt wurde.

Risikoanalyse Infrastruktur: Risikoanteile in Millionen€ pro Jahr und Schutzziel					
28	A täglich	3,65 unerwünscht	36,5 intolerabel	365,0 intolerabel	3650,0 intolerabel
	B monatlich	0,12 tolerabel	1,2 unerwünscht	12,0 intolerabel	120,0 intolerabel
3	C 1 x im Quartal	0,04 vernachlässigbar	0,4 tolerabel	4,0 unerwünscht	40,0 intolerabel
4	D jährlich	0,01 vernachlässigbar	0,1 toler	Risikoerhöhung bei Entfall der Zugbeobachtung Element X → Element X' ←	10,0 intolerabel
10	E alle 10 Jahre	0,001 vernachlässigbar	0,01 vernachlässigbar	tolerabel	1,0 unerwünscht
10	F alle 100 J.	0,0001 vernachlässigbar	0,001 vernachlässigbar	0,01 vernachlässigbar	0,1 tolerabel
		IV 10.000 €	III 100.000 €	II 1.000.000 €	I 10.000.000 €
		10	10	10	

Abb. 6.1. Risikomatrix mit Faktoren zwischen Zeilen und Spalten

Aus Abb.6.1. entnimmt man den Faktor „10“ zwischen den Spalten. Bei den Zeilen hingegen gibt es aufgrund der Anpassung an die sprachliche Begriffswelt bei der Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit unterschiedliche Faktoren. Lediglich im Bereich von „jährlich“ bis „alle 100 Jahre“ findet sich der Faktor „10“. Unter Berücksichtigung der Wirkungsweise der Checkpointkomponenten als ausmaßmindernd (vgl. Abb. 5.4.9.) stellt sich die Anforderung für ein Element der Zeilen B-F, welches bei Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung

über dem Schutzziel zu liegen kommt, daß es durch Checkpointkomponenten einer Risikoreduktion in der Größenordnung von einer Zehnerpotenz bedarf, um jenes Element unter das Schutzziel zu bringen. Nur bei Elementen, die in Spalte A zu liegen kommen, muß eine Sensorik eingesetzt werden, die auch ereignisverhindernd wirkt. Eine weitere Annahme muß den folgenden Ausführungen zugrunde gelegt werden: durch den Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung erhöht sich lediglich das Schadensmaß aber nicht die Eintrittswahrscheinlichkeit. Diese Annahme kann als gerechtfertigt angesehen werden, da Personal an Bahnstrecken bei Vorbeifahrt des Zuges keine Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten durchführt. Der Entfall der Zugbeobachtung durch Personal bewirkt also nur eine Verschiebung der Elemente in waagrechter Richtung (also ausmaßsteigernd) weil Unregelmäßigkeiten zeitlich gesehen erst später entdeckt werden, z.B. durch Triebfahrzeugführer eines Gegenzuges. Um den Einsatz einer Checkpoint-Komponente überhaupt wirtschaftlich argumentieren zu können, muß die Risikoerhöhung eines Elementes bei Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung signifikant im Sinne einer Erhöhung um eine Zehnerpotenz sein. Führt man diese theoretischen Überlegungen nun anhand eines beliebig gewählten Elementes X aus Abb.6.1. aus, so bewirkt die Risikoerhöhung eine Verlagerung des Elementes von DIII nach DII. Da zur Zeit noch keine Werte bzw. Einschätzungen über die Größenordnung der Risikoreduktion von Checkpoint-Komponenten bzw. deren vernetzte Wirkung vorliegen, kann zur Überprüfung des gewählten Faktors „10“ zwischen den Spalten nur die Risikoreduktion aus Gutachten, die in eisenbahnrechtlichen Genehmigungsverfahren aufgelegt sind, herangezogen werden. Die darin enthaltenen Werte stellen hinsichtlich der Wirksamkeit eine untere Schranke dar, da die neuen Komponenten eines Checkpoints und die Vernetzung selbiger aller Wahrscheinlichkeit nach höhere Risikoreduktionen bewirken werden als die bislang bekannten Sensoriken. Aus den Gutachten erhält man folgende Werte für die zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung bekannten Komponenten:

- Heißläuferortungsanlage: 0,013 Tote / Jahr
- Flachstellenortungsanlage: 0,011 Tote / Jahr
- Radlastmeßeinrichtung: 0,006 Tote / Jahr

Grundlage dieser Einschätzungen war auch hier eine Expertengruppe, die sich aber nicht mit den Mitgliedern der Expertengruppe zur Einschätzung der Risikoerhöhung bei Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung deckt. Die Bandbreite der Risikoreduktion liegt demnach also je nach Anlage in einer Größenordnung von 10^{-2} bis 10^{-3} Tote pro Jahr. Da die

Risikomatrix für den Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung aber monetär ausgeführt wurde, muß nun ein Ansatz für die monetarisierte Bewertung eines Toten gewählt werden. Da dieser Wert sich in einem ständigen Aufwärtstrend befindet und aufgrund der unscharfen Matrixgrenzen keine exakte Rechnung möglich ist, reicht es an dieser Stelle aus, exemplarisch einen Toten mit 10 Mio. € anzusetzen. Diese Annahme dient lediglich einer Vergleichbarkeit der in Gutachten angegebenen Werte mit der Vorgehensweise beim Entfall der augenscheinlichen Zugbeobachtung. Monetarisiert läßt sich damit die Risikoreduktion folgendermaßen darstellen:

- Heißläuferortungsanlagen: 130,000 €/a
- Flachstellenortungsanlage: 110,000 €/a
- Radlastmeßeinrichtung: 60,000 €/a

Aus diesen Werten folgt eine Größenordnung der Risikoreduktion für wirksame Anlagen mit 10^5 €/a bzw. für weniger wirksame mit 10^4 €/a. Die Abschätzung dieser Größenordnungen für Einzelkomponenten reicht aber wiederum für die unscharfe Matrix aus, um die Stückzahl für ein Netz angeben zu können. Gemäß dem Prinzip GAMAB der EN 50126 [CEN99] muß die Risikoreduktion durch Einsatz des neuen technischen Systems – in diesem Anwendungsfall Checkpoints – die gleiche Sicherheit oder umgekehrt formuliert das gleiche Risiko wie bisher sicherstellen. Für das aus Abb.6.1. bekannte Element X liefert nun eine aus der Systemtheorie für sinnvoll erachtete Risikoreduktion durch Heißläuferortungsanlagen bei Division der Risikoerhöhung durch die Risikoreduktion einer Anlage die Stückzahl für ein Netz. In diesem fiktiven Beispiel ergibt sich eine Anzahl von ca. 10 Einrichtungen für das Netz aus dem Risikoprofil „Infrastruktur“. Diese Sichtweise deckt nun die Risikoreduktion für ein Element der Infrastruktur ab. Damit aber nicht ein Risikopotential, das von einem Zug ausgeht, durch die Infrastruktur allein getragen werden muß, kann als weiteres Kriterium ein Kosten-Nutzen-Kriterium herangezogen werden. Beispielsweise sei in dieser Arbeit das Grenzkostenkriterium ausgewertet. Aus dem Risikoprofil „Zug“ ist das erhöhte Risikopotential bei Entfall der Zugbeobachtung zu nehmen. Als Grenzkostengerade wird eine Gerade definiert, bei der die Sensorikkosten für die Risikoreduktion gleich dem Risikopotential aus dem Risikoprofil „Zug“ sind. Wirtschaftliche Maßnahmen liegen nun unterhalb dieser Gerade, unwirtschaftliche über dieser. Auch hier wird das Maßnahmenpaket zur Risikoreduktion aus den drei bekannten Anteilen (ereignisverhindernd, ausmaßmindernd, rettungsunterstützend) zusammengesetzt. Da aber der Checkpoint hauptsächlich im ausmaßmindernden Bereich wirkt, dürfen nicht alle Risikoanteile in Sensorikkosten für den

Checkpoint investiert werden. Das Restrisiko ist dabei das Ausgangsrisiko vor Entfall der Zugbeobachtung. Für eine optimierte Maßnahmenplanung bedarf es einer Abstimmung der drei Maßnahmenanteile, da bei isolierter Sicht systemtheoretische Zusammenhänge verloren gehen können. Praktisch wird sich vermutlich auch eine weitere Schwierigkeit stellen, da abgesehen von der sortenreinen Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu einer Maßnahmenart, noch die Bewertung der Maßnahmen eines Experten oder einer Gruppe bedarf. Unter der Annahme, daß alle drei Maßnahmenpakete als gleichwertig zu betrachten sind, kann man ein Drittel der Risikoerhöhung für die Maßnahmenreduktion durch eine Checkpoint-Komponente ansehen. Somit ergibt sich aus dem Risikoprofil „Zug“ eine weitere Schranke für den Einsatz von Checkpoint-Komponenten, wenn dieses Drittel der Risikoreduktion durch die Risikoreduktion der Einzelanlage dividiert wird.

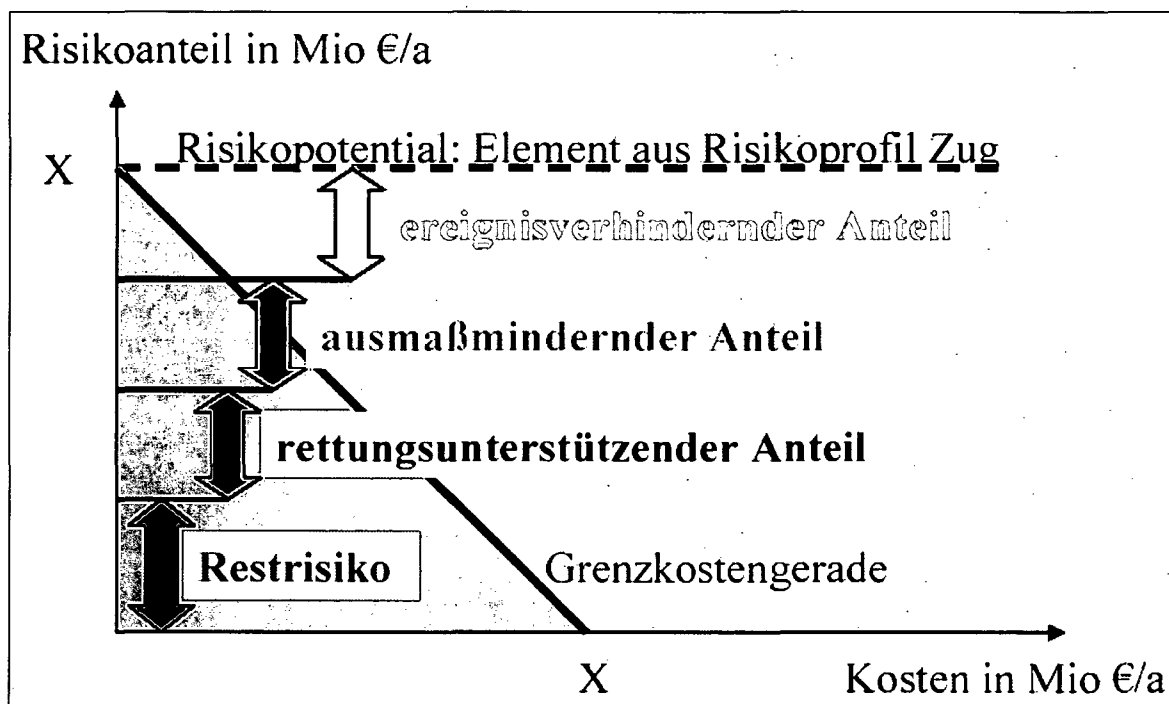


Abb.6.2. Risikoreduktionsanteile für Elemente aus dem Risikoprofil „Zug“

Damit liegen zwei Schranken aus der Risikobetrachtung für die Anzahl von vermutlich sinnvoll einsetzbaren Checkpoint-Komponenten vor: eine aus dem Risikoprofil „Infrastruktur“ und eine aus dem Risikoprofil „Zug“. Somit gibt es erstmalig risikoorientierte Wirtschaftlichkeitsgrenzen für den Einsatz von Zuglaufüberwachungseinrichtungen, die bei ausreichender Signifikanz sowohl einem Infrastrukturbetreiber bei der Abschätzung des Auftragsvolumens für die Bestellung von Sensorikkomponenten helfen als auch einer

Aufsichtsbehörde in ihrer Funktion als oberste Kontrollinstanz für den Betrieb und dessen Sicherheit vorgelegt werden können.

Sofern Einschätzungen zur Risikoreduktion von Checkpoint-Komponenten vorliegen, können diese auch im Verhältnis zu deren Kosten betrachtet werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt lassen sich diesbezüglich nur Vermutungen aufstellen, bis auf die Heißläuferortungseinrichtungen. Bedient man sich wieder der in eisenbahnrechtlichen Genehmigungsverfahren genannten Kosten für Sensoriken, kann man diese zu ihrer Risikoreduktion in ein Verhältnis setzen:

- Heißläuferortungsanlagen 14 (als ungünstig klassifiziert)
- Flachstellenortungsanlagen 23 (als ungünstig klassifiziert)
- Radlastmeßeinrichtungen 250 (als ungünstig klassifiziert)

Gemäß diesen Gutachten, die Anfang der 80er-Jahre des 20. Jahrhunderts erstellt wurden, sind alle damals bekannten Checkpoint-Komponenten als ungünstig zu klassifizieren. Hierzu ist folgendes zu bemerken: da sich die Technologie bei den erwähnten Einrichtungen damals noch in einem Prototyp-Zustand befand, kann die Gültigkeit der pessimistischen Verhältniszahlen als nicht mehr gegeben betrachtet werden. Ein weitere Effekt, der sich bei den Kosten für Einzelanlage auswirkt, ist die Serienproduktion bzw. die Serienreife. Dadurch sinkt der Stückpreis i.a. auch wenn die Gesamtstückzahl für ein Eisenbahnnetz einer nationalen Bahnverwaltung gering sein mag. Läßt sich aber eine Sensorikkomponente international verkaufen, kann eine Senkung bei den Kosten erwartet werden. Diese verbessert wiederum das Verhältnis von Kosten und Nutzen. Technische Verbesserungen können den Nutzen und damit die Risikoreduktion erhöhen, auch dies verbessert das eben angesprochene Verhältnis.

7. Zusammenfassung

Die Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen kann durch Einbeziehung von Systemtheorie und Risikoanalyse auf ein wissenschaftliches Fundament gestellt werden, das dem Stand der Technik und des Wissens entspricht. Die grundlegende Schwierigkeit der Datenverfügbarkeit der Situation bei Entfall der Zugbeobachtung durch Personal kann durch Heranziehen einer Expertengruppe gelöst werden. Das in dieser Arbeit gezeigte Verfahren weist einen grundlegend neuen Zugang zur Betrachtung des Risikos in einem Eisenbahnnetz auf: nicht die Optimierung eines Teilaspektes wird angestrebt, sondern ein Weg zu einer gemäß den analysierten Risiken entsprechenden Sicherheitsinvestition. Durch den im wesentlichen zweistufigen Ansatz der Analyse in Infrastruktur und Zug bietet sich sogar die Möglichkeit, nicht nur die Standorte nach Prioritäten zu reihen, sondern auch die Komponenten der Zuglaufüberwachung nach ihrer Dringlichkeit zur Risikoreduktion zu bewerten. Einerseits können mit der nun vorliegenden Methode bestehende Ausbaukonzepte für bereits auf dem Markt erhältliche Sensorikkomponenten (z.B. Heißläuferortungsanlagen) überprüft werden, sowie für neue, erst in Entwicklung oder im Prototyp-Stadium befindliche Anlagen, Abschätzungen für die benötigte Stückzahl vorgenommen werden. Möglich wird dies, durch die funktionale Analyse einer jeden Komponente (Kapitel 5.6), ob sie Eigenschaften eines Zuges prüft, die zu Beginn einer Zugsfahrt meßbar sind und über den Zuglauf als nahezu konstant angesehen werden können (z.B. Achslast: sofern keine Be- oder Entladung bei Verkehrshalten erfolgt, wird sich diese nicht ändern) oder ob diese Eigenschaften signifikant durch die Fahrt eines Zuges zu Risikopotentialen führen können (z.B. Lagertemperaturen, die erst durch den Betrieb eines Fahrbetriebsmittels ansteigen). Unter Verwendung der konservativen Werte der Risikoreduktion einzelner Komponenten und einer Einschätzung des Risikos bei Entfall der Zugbeobachtung durch Personal lassen sich auch Aussagen zum wirtschaftlich argumentierbaren Einsatz von Anlagen zur Zuglaufüberwachung machen, d.h. es läßt sich eine Größenordnung für die Gesamtkosten (Life-Cycle-Costs) einer Sensorik ableiten.

Sobald Daten aus der flächendeckenden Zugüberwachung vorhanden sind, bietet der Ansatz noch Optimierungspotentiale an, die dann durch eine geeignete mathematische Formulierung leicht zu finden sind. Den Infrastrukturbetreibern steht eine Methodik zur Verfügung ihren Betrieb zu analysieren, um entsprechend den rechtlichen Gegebenheiten ihrer Sorgfaltspflicht nachzukommen.

8. Abbildungsverzeichnis

- Abb.2.1.1. „Häufigkeit – Konsequenz“ – Matrix aus [CEN99]
- Abb.2.1.2. Qualitative Risikokategorien nach [CEN99]
- Abb.2.1.3. Beispiel einer Risikobewertung nach [CEN99]
- Abb.2.2.1. Diagramm zu ALARP aus [CEN99]
- Abb.2.2.2. Darstellung des MEM-Kriteriums nach [CEN99]
- Abb.3.1. Wahrscheinlichkeits-Ausmaß-Diagramm nach [StF91]
- Abb.4.1. Zugbeobachtung nach [Sch04]
- Abb.4.2.1. Heißläuferortungsanlage bei den ÖBB in Himberg aus [Sch04]
- Abb.4.2.2. Schnittstellen und Funktionsweise eines Checkpoints [Alc04]
- Abb.4.4.3. Standortbezogene Darstellung der Funktionsweise eines Checkpoints
- Abb.5.1. Lokale Situierung eines Checkpoints aus [Sch04]
- Abb.5.3.1. Modell der menschlichen Informationsverarbeitung und Zuordnung der menschlichen Fehlerraten [vgl. Hin96]
- Abb.5.4.1. „Häufigkeit – Konsequenz“ – Matrix aus [CEN99]
- Abb.5.4.2. Beurteilung der Tragweite der Auswirkungen nach [ÖBB04]
- Abb.5.4.3. Häufigkeit von Gefahrenfällen nach [CEN99]
- Abb.5.4.4. Gefahrenstufen nach [CEN99]
- Abb.5.4.5. Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit in [ÖBB04]
- Abb.5.4.6. Prioritäten nach Schadensausmaß aus [Sch04]
- Abb.5.4.7. Prioritäten nach Eintrittswahrscheinlichkeit
- Abb.5.4.8. Monetäre Schutzziele in Risikomatrix
- Abb.5.4.9. Wirkungsweise von Checkpoint-Komponenten in der Matrix
- Abb.5.7.1. Standorte aus der Systemanalyse mit wirksamen Sensorikkomponenten [ÖBB04]
- Abb.5.8.1. Prioritäten aus dem Risikoprofil Infrastruktur nach [Sch04]
- Abb. 6.1. Risikomatrix mit Faktoren zwischen Zeilen und Spalten
- Abb.6.2. Risikoreduktionsanteile für Elemente aus dem Risikoprofil „Zug“
- Abb.A.1. Beschreibung des Elementes „Brücke“ aus [Sch04]
- Abb.A.2. Unscharfe Größen zur Beschreibung der Länge einer Brücke nach [Sch04]

9. Literaturverzeichnis

- [Abl02] Ablinger, P. *Methoden der Risikoanalyse*. Eisenbahningenieur (53), 7/02, S. 37-39, Tezloff Verlag, Hamburg, 2002
- [Bar03] Baranek, M. *Transportkonzepte mit Sicherheit*. Eisenbahningenieur (54), 5/03, S. 88-93, Tezloff Verlag, Hamburg, 2003
- [Bie01] Bielmeier, S. Überwachung und Fernsteuerung von Kühltransporten durch Telekommunikationssysteme. Eisenbahningenieur (52), 10/01, S. 54-55, Tezloff Verlag, Hamburg, 2001
- [Bit04] Bitter, S. *Risikoanalyse für Betriebsverfahren angelehnt an die CENELEC*. Innovative sicherungstechnische Konzepte in Theorie und Praxis. Rail Automation 2004, S.5-23, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig, 2004
- [Bot93] Bothe, HH. *Fuzzy Logic*. Springer, Berlin Heidelberg New York, 1993
- [BMKS02] Bannasch, M., Maly, H., Klose, C., Säglitz, M. *Intelligente und Flexible Zuginspektion im Hochgeschwindigkeitsverkehr*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 51 (2002) Heft 1-2, S. 24-29, Hestra-Verlag, Hamburg, 2002
- [Bra02] Braband, J. *Erfahrungen mit Risikoanalysen in der Eisenbahnsicherungstechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 51 (2002) Heft 9, S. 575-582, Hestra-Verlag, Hamburg, 2002.
- [Bra04] Braband, J. *Die Bedeutung der Sicherheitskultur in der Eisenbahnsignaltechnik*. Signal + Draht, 96 (2004) Heft 5, S. 6-10, 2004
- [Bri03] Brinkmann, C. *Anwendung von STAMP auf den Eisenbahnunfall bei Brühl*. Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig, 2003
- [Bru01] Brux, G. *Tunnelsicherheit bei der Furka Oberalp Bahn*. Eisenbahningenieur (52), 11/01, S. 36-38, Tezloff Verlag, Hamburg, 2001
- [Bru02] Brux, G. *Brand- und Katastrophenschutz in Tunneln der Neubaustrecke Köln-Rhein/Main*. Eisenbahningenieur (53), 4/02, S. 40-42, Tezloff Verlag, Hamburg, 2002
- [CDC98] Centers for Disease Control and Prevention. *System Safety and Risk Management*. NIOSH Instructional Module. U.S. Department of Health and Human Services, 1998

- [CEN99] CENELEC: *Bahnanwendungen – Spezifikation und Nachweis der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS)*, EN 50126, 1999
- [CEN00] CENELEC: *Bahnanwendungen – Sicherheitsrelevante elektronische Systeme für Signaltechnik*, EN 50129, 2000
- [CEN02] CENELEC: *Bahnanwendungen – Telekommunikationstechnik, Signaltechnik und Datenverarbeitungssysteme*, EN 50128, 2002
- [Cle00] Clemens, P.L. *Comments on the MIL-STD-882D Example Risk Assessment Matrix*. Journal of System Safety, 36 (2000) vol. 2., S. 20-24, 2000
- [CS01] Clemens, P.L., Simmons, R.J. *The Risk Exposure Interval – Too Often an Analyst's Trap*. Journal of System Safety, 37 (2001) vol. 1., S. 8-11, 2001
- [Coo91] Cooke, R.M. *Experts in Uncertainty: Opinion and Subjektive Probability in Science*. Oxford University Press, Oxford, 1991
- [DR01] Danneskiold, U., Ramkow-Pedersen, O. *Neues System mit Diagnosefunktionen zur Online-Überwachung von Laufflächenschäden*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 429-433, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [DVG75] Delbecq, A., Van de Ven, A., and Gusstafson, D. *Group Techniques for Program Planing*. Glenview, III, Scott-Foresman, 1975
- [Ham72] Hammer, W. *Handbook of System and Product Safety*. Prentice-Hall, 1972
- [HBP98] Heilmann, A., Braband, J., Peters H. *Sicherheitsanalyse nach CENELEC*. Signal + Draht, 90 (1998) Heft 7+8, S. 10-15, 1998
- [Hin96] Hinzen, A. *Der Einfluß des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 45 (1996) Heft 10, S. 623-630, Hestra-Verlag, Hamburg, 1996.
- [HN00] Hauschild, G., Neumann, P. *Automatische Zustandsdiagnose von Eisenbahnradern mit dem System ARGUS*. ZEV Glasers Annalen 124 (2000) S. 615-625, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2000
- [HS01] Hecht, M., Schirmer, A. *Versuche zur Diagnose von Entgleisungen*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 279-289, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [HR02a] Hecht, M., Rieckenberg, T. *Überwachung von Eisenbahngüterwagen mittels Telematik*. ZEV Glasers Annalen 126 (2002) S. 312-322, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2002

- [HR02b] Hecht, M., Rieckenberg, T. *Die Fahrzeugtechnik individuell fahrender Güterwagen – Eine Machbarkeitsstudie*. ZEV Glasers Annalen 126 (2002) S. 540-549, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2002
- [Hei01] Heinisch, R. *Diagnosesysteme zur Überwachung der Dynamik von Fahrweg und Fahrzeugen*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 321-326, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [KLEF00] Krebs, H., Le Troung, B., El Kursi, E.M., Firpo, P. *Minimale Endogene Mortalität – ein universelles Sicherheitskriterium*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 49 (2000) Heft 12, S. 816-821, Hestra-Verlag, Hamburg, 2000.
- [KS04] Kunz, M., Schöbel, A. *Theorie und Praxis der Risikoanalyse am Beispiel der Zuglaufüberwachung bei den ÖBB*. Workshop „Systems Engineering“: Risikoanalyse und Unfall-Ursachen-Analyse, TU Braunschweig, 2004
- [Kuh81] Kuhlmann, A. *Einführung in die Sicherheitstechnik (Introduction into Safety Technology)*. Fiedr. Vieweg & Sohn, Verlag TÜV Rheinland, 1981
- [Lev01] Leveson, N. *Evaluating Accident Models using Recent Aerospace Accidents*. MIT/NASA, 2001
- [Lei03] Leitenberger, F. *Sicherheitsbetrachtung der Fahrzeugsteuerung*. Intelligenz im Schienenverkehr: Sicherheitsstandards und effiziente Kapazitätsnutzung, TU Wien, Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen, 2003
- [MB04] Möller, B., Beer, M. *Fuzzy Randomness*. Springer Berlin Heidelberg New York, 2004
- [MBA88] Mosleh, A., Bier, V.M., and Apostolakis, G. *A Critique of Current Practice for the Use of Expert Opinions in Probabilistic Risk Assessment*. Reliability Engineering and System Safety, Volume 20, S. 63-85, 1988
- [MIL00] *Standard Practice for System Safety. MIL-STD-882D*. 2000. (verfügbar unter www.afmc.wpafb.af.mil/organizations/HQ-AFMC/SE/ssd.htm)
- [MM99] Meinke, P., Morys, B. *Randunrundheiten*. Eisenbahningenieur (50), 2/99, S. 44-51, Tezloff Verlag, Hamburg, 1999
- [MO01] Mombrei, W., Ottlinger, P. *Das Unrundwerden von Eisenbahnrädern aus werkstofftechnischer Sicht – ein Überblick*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 59-65, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [MSK01] Maly, H., Säglitz, M., Klose, C., Ullrich, D., Kolbasseff, A. *Neue Onboard- und stationäre Diagnosesysteme für Schienenfahrzeuge des*

- Hochgeschwindigkeitsverkehrs*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 421-428, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [MSR04] Maly, T., Schweinzer, H., Rimpler, M. *Advances in train monitoring by networked Checkpoints*. 5th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, TU Wien, Institut für Rechnergestützte Automation, 2004
- [Mül00] Müller, C. *Gefahrgut auf der Schiene noch sicher?* Eisenbahningenieur (51), 7/00, S. 36-37, Tezloff Verlag, Hamburg, 2000s
- [NL00] Nayer, W., Lorenz, G. *Neue Heißläufer- und Festbrems-Ortungsanlage nach dem Scanningprinzip*. ZEV Glasers Annalen 124 (2000) S. 627-629, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2000
- [ÖBB04] Österreichische Bundesbahnen. *Endbericht - Risikoanalyse zur Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen*. Geschäftsbereich Netz, Abteilung Netzplanung. nicht veröffentlicht, 2004
- [OBH98a] Oettli, T.; Bohnenblust, H.; Hübner, P. *Risikoorientierte Sicherheitsnachweise im Eisenbahnbetrieb*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 47 (1998) Heft 8-9, S. 526-534, Hestra-Verlag, Hamburg, 1998.
- [OBH98b] Oettli, T.; Bohnenblust, H.; Hübner, P. *Sicherheitsplanung mit der Methode der Kosten/Wirksamkeits-Untersuchungen*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 47 (1998) Heft 10, S. 634-638, Hestra-Verlag, Hamburg, 1998
- [Ouc04] Ouchi, F. A Literature Review on the Use of Expert Opinion in Probabilistic Risk Analysis. World Bank Policy Research Working Paper 3201, 2004
- [Plo93] Plous, S. *The Psychology of Judgement and Decision Making*. New York, McGraw-Hill, 1993
- [PB00] Polz, J., Beck, R. *Automatisches Fahren nach EBO*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 49 (2000) Heft 10, S. 680-686, Hestra-Verlag, Hamburg, 2000.
- [Ras79] Rasmussen, J. *What Can Be Learned From Human Error Reports? Changes in Working Life – Proceedings of an International Conference on Changes in the Nature and Quality of Working Life*, Thessaloniki, Greece, August 20th-24th, 1979
- [Rea97] Reason, J. *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate 1997

- [RJ01] Reinecke, J.M., Jelinski, M. *Anlagen zur Erkennung unrunder Eisenbahnräder*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 551-555, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [RW00] Rauh, H.J., Wilfert, B. Erfassung und Auswertung von Beinahe-Unfällen bei Arbeiten im Gleisbereich. Eisenbahningenieur (51), 8/00, S. 63-65, Tezloff Verlag, Hamburg, 2000
- [Sac03] Sacher, H. *Risikoanalyse, Risikowahrnehmung und Risikoakzeptanz*. Eisenbahningenieur (54), 7/03, S. 24-28, Tezloff Verlag, Hamburg, 2003
- [SG83] Swain, A.D., Guttman, H.E. *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, Final Report*. U.S. Nuclear Regulatory Commission NUREG/CR-1278, August 1983.
- [SK98] Schildt, G.H., Kastner, W. *Prozeßautomatisierung*. Springer Wien New York, 1998
- [Sch01] Schäbe, H.; *Neue Ansätze zur Systemsicherheit in der Bahntechnik*. Eisenbahntechnische Rundschau (ETR), 50 (2001) Heft 4, S. 185-191, Hestra-Verlag, Hamburg, 2001
- [Sch03] Schnieder, E. *Verlässlichkeit von Verkehrssystemen im Verfügbarkeits-Sicherheits-Diagramm*. Signal + Draht, 95 (2003) Heft 10, S. 6-9, 2003
- [Sch04] Schöbel, A. *Risikoanalyse zur Frage der Standortwahl für Zuglaufüberwachungseinrichtungen*. Innovative sicherungstechnische Konzepte in Theorie und Praxis. Rail Automation 2004, S.85-96, Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig, 2004
- [Ste02] de Stefano, E. *Anwendung der Why-Because-Analyse als Methode zur Ursachenanalyse von Eisenbahnunfällen*. Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung, TU Braunschweig, 2002
- [StF91] StFV. *Verordnung vom 27. Februar 1991 über den Schutz vor Störfällen (Störfallverordnung, StFV)*. SR 814.012
- [Swa03] Swallow, D.W. *Developing a Common Risk Assessment Matrix for U. S. Army Aviation*. S. 717-726, Proc. ISSC21, 2003
- [TSI02a] Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften. *Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Infrastruktur“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 2002

- [TSI02b] Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften. *Technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge“ des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 2002
- [VK00] Vetsch, H.P., Kauer, C. Sicherheit in Eisenbahntunneln. Eisenbahningenieur (51), 9/00, S. 138-144, Tezloff Verlag, Hamburg, 2000
- [WS01] Wiesenhofer, K., Schmeja, M. *Erhöhung der Betriebssicherheit und Verfügbarkeit von Schienenfahrzeugen durch Fahrwerksdiagnose und -überwachung*. ZEV Glasers Annalen 125 (2001) S. 441-448, Georg Siemens Verlagsbuchhandlung, 2001
- [WEB04] <http://ep.espacenet.com>
- [WSA01] Wehr, H., Schmid, K., Ablinger, P. Tunnelsicherheitsmaßnahmen für den Wolfgrubentunnel. Eisenbahningenieur (52), 9/01, S. 32-37, Tezloff Verlag, Hamburg, 2001

11. Anhang

Anhang A:	Modellierung mit unscharfen Zahlen (Fuzzy-Größen)	90
Anhang B:	Präsentation vom 21. Jänner 2004 (Auszug)	95
Anhang C:	Präsentation vom 30. März 2004 (Auszug)	101
Anhang D:	Präsentation vom 26. Mai 2004 (Auszug)	105
Anhang E:	Endbericht der Expertengruppe, Juni 2004 (Auszug)	107
Anhang F:	Projektpräsentation „Checkpoint“ der Fa. Alcatel vom 15.4.2004	117

Anhang A:

Modellierung mit unscharfen Zahlen (Fuzzy-Größen)

Im Zuge der Detaillierung der Infrastruktur stellt sich das Problem der scharfen Grenzen. Anhand eines einfachen Beispiels ist die Problematik leicht einsehbar: trifft man bei der Zuordnung des Elementes Brücke eine Unterscheidung nach der Länge, so kann es leicht passieren, daß es Grenzfälle gibt. Brücken mit einer Länge nahe dem Grenzwert können rasch Diskussionen in der Expertengruppe über die Zuordnung im Risikoprofil Infrastruktur auslösen. Die Frage der Zuordnung ist tatsächlich nicht trivial, da das Risikopotential nicht sprunghaft zunimmt, nur weil eine scharfe Grenze überschritten wird. Es kann natürlich auch der günstige Fall auftreten, daß bei Durchsicht aller Brücken nach dem Kriterium der Länge sich die Grenzen zwischen den einzelnen Brückenkategorien schon förmlich aufdrängen. Die prinzipielle Notwendigkeit einer Differenzierung der Brücken im Netz ist unumgänglich, da man einer kurzen Brücke über einen kleinen Bach nicht dasselbe Risikopotential zubilligen wird, wie einer weiten Brücken über einen tiefen Graben. Wenn nun aber keine scharfen Grenzen in der Differenzierung zu rechtfertigen sind, muß die Frage nach einer anderen Möglichkeit der Zuordnung beantwortet werden.

- **Wahl von Parametern zur Beschreibung**
- **Lichte Höhe**
- **Gesamtlänge der Konstruktion**
- **Streckenhöchstgeschwindigkeit**

Abb.A.1. Beschreibung des Elementes „Brücke“ aus [Sch04]

Die Problematik der Unschärfe begegnet allen Wissenschaftlern, die sich mit der Erfassung der Natur beschäftigen. Nahezu alle Vorgänge weisen gewisse Arten der Unschärfe auf, auch die Meßvorgänge sind mit Unschärfen belegt. Das Phänomen der Unschärfe kann nicht durch die Wahrscheinlichkeitstheorie alleine beschrieben werden. Sowohl Daten als auch Modelle weisen in den Naturwissenschaften und im Ingenieurwesen einen mehr oder weniger großen Grad der Unschärfe auf. Als ersten Ansatz kann man mit Intervallrechnungen versuchen, die Daten aus der Natur besser abzubilden, um eine Bandbreite von Ergebnissen zu erhalten.

Trotzdem gibt es Beschreibungen, die sich einerseits der rein deterministischen als auch andererseits der rein stochastischen Sichtweise entziehen.

Neben der Unschärfe von Daten gibt es auch noch die Unschärfe von Modellen zu erwähnen, die sich durch Algorithmen und Modellannahmen zieht. Dieser Typ von Unschärfen ist meist noch schwerer erfaßbar als die Unschärfe bei den Daten. Die Modellunschärfe zeigt sich im Prozeß der Modellbildung bei der Abstraktion, dessen Endergebnis das Modell selbst ist.

Um den Begriff der Unschärfe zu definieren, lassen sich drei Arten der Unschärfe unterscheiden [Bot93]:

- stochastische
- informelle
- lexikalisch

Die stochastische Unschärfe meint den Zufall der auftritt, wenn ein Experiment unter den gleichen Randbedingungen unterschiedliche Ausgänge haben kann. Dies kann auch mit den Mitteln der Wahrscheinlichkeitstheorie beschrieben werden. Die informelle Unschärfe resultiert aus einem Informationsdefizit, weil nur eine kleine Anzahl von Beobachtungen verfügbar ist oder die Randbedingungen sich unvorhersehbar ändern oder auch der Überblick über ein System nicht gegeben ist. Die lexikalische Unschärfe wird durch sogenannte linguistische Variablen beschrieben. Damit diese in der nachfolgenden Berechnung verwendet werden können, müssen sie einer Transformation unterzogen werden.

Aus der klassischen Mathematik und hier im speziellen der Mengenlehre gibt es den Begriff der Zugehörigkeitsfunktion, der im wesentlichen nichts anderes besagt, ob ein Element zu einer Menge dazu gehört oder eben nicht. Diese Zugehörigkeitsfunktion kann daher bei einer Auswertung nur den Wert „0“ oder „1“ liefern. Da sich aber bei Beobachtung der Natur und auch in der Technik nicht alle Vorgänge nur durch Null und Eins charakterisieren lassen, entstand schon vor ca. 30 Jahren die sogenannte Fuzzy-Logik. Eine Übersetzung des Wortes fuzzy liefert die Begriffe „undeutlich“, „verschwommen“ oder „fusselig“.

Der Ursprung dieser damals neuen Theorien wurde auch in der Informatik begründet, wenn es galt, unvollständige oder nicht exakte Datensätze mathematisch zu beschreiben und elektronisch verarbeiten zu können. Beispiele für die Verwendung der Fuzzy-Logik können

auch im Bereich des Bauingenieurwesens gefunden werden, so. z.B. in der Statik, wo sowohl die Eingangsgrößen für Lastfälle als auch die Materialkennwerte als unscharfe Größen formuliert werden können. Diese Betrachtung in der Modellierung bildet die Realität besser ab als Verteilungen über die verschiedensten Größen, beispielhaft wurde dies von u.a. [MB04] gezeigt.

Das vermeintlich unsympathische an Computern, daß sie nur ja und nein sagen können, aber nicht vielleicht, kann durch die Fuzzy-Modellierung gemildert werden. Bis sich die Fuzzy-Logik durchgesetzt hat, hat es freilich etwas länger gedauert, da man in vielen Bereichen von der klassischen zweiwertigen Logik ausging, d.h. etwas ist wahr oder falsch. Auch in der Prozeßautomatisierung wird die Fuzzy-Logik gerne verwendet [SK98].

Eine scharfe Menge kann nun dadurch beschrieben werden, daß alle Elemente, die zu dieser Menge gehören, einfach aufgelistet werden, oder aber mit den Mitteln der Mengentheorie definiert werden. Um diese Zugehörigkeit mathematisch zu formulieren, kann die Zugehörigkeitsfunktion verwendet werden. Wenn man nun für die Zugehörigkeitsfunktion nicht nur die Werte 0 und 1 zuläßt, sondern auch beliebige Werte zwischen 0 und 1, erhält man eine unscharfe Menge. Dadurch lassen sich Übergänge zwischen der scharfen Unterscheidung, ob ein Element dazugehört oder nicht, abbilden.

Der Verlauf einer solchen Zugehörigkeitsfunktion kann nun beliebig gewählt werden, für eine weitere Verarbeitung empfiehlt sich aber ein abschnittsweise linearer Verlauf. Unstetigkeiten an manchen Stellen der Funktion sind aber für die elektronische Verarbeitung keine Herausforderung, kompliziertere Kurvenverläufe hingegen schon. Die Frage ist, ob der mathematische Mehraufwand durch die Verwendung von hochgradigen Polynomen und dgl. mehr wirklich zu rechtfertigen ist gegenüber der einfachen Handhabung der abschnittsweise linearen Funktion.

Eine weitere Funktionalität der sog. Fuzzy-Sets ist die Möglichkeit der Abbildung von Kategorien. Der Stellenwert dieser Kategorien liegt darin begründet, daß auch die menschliche Wahrnehmung sich auf die Bewertung eines Eindruckes in Form von Kategorien bezieht. Als Beispiel hierfür kann die Temperaturwahrnehmung angeführt werden. Diese Zuordnung des Temperaturempfindens zu den unterschiedlichen Kategorien ist subjektiv geprägt, so daß diese Kategorien von Mensch zu Mensch unterschiedlich verbalisiert werden.

Wichtig an den Fuzzy-Sets ist aber die Möglichkeit für jede dieser gewählten Kategorien Zugehörigkeitsfunktionen angeben zu können. Diese Funktionen der einzelnen Kategorien sollen durchaus einen überlappenden Bereich haben, so kann ein scharfer Wert mindestens einer Kategorie (i.a. sogar zwei) zugeordnet werden. Die Festlegung der Funktionen in Dreiecksform hat auch für den Rechner einen Vorteil, da nur drei Wertepaare zu speichern sind, die die Eckpunkte des jeweiligen Dreiecks festlegen.

Der große Vorteil des Ansatzes der Fuzzy-Sets ist die Einbindung von Erfahrung und praxiserprobten Regeln, obwohl kein exaktes Prozeßmodell benötigt wird oder vorliegen muß. Damit kann auch der menschliche Entscheidungsprozeß im Rechner abgebildet werden. Es gibt aber Unterschiede zwischen den Fuzzy-Sets und den sog. Expertensystemen auf die hier nicht näher eingegangen werden soll.

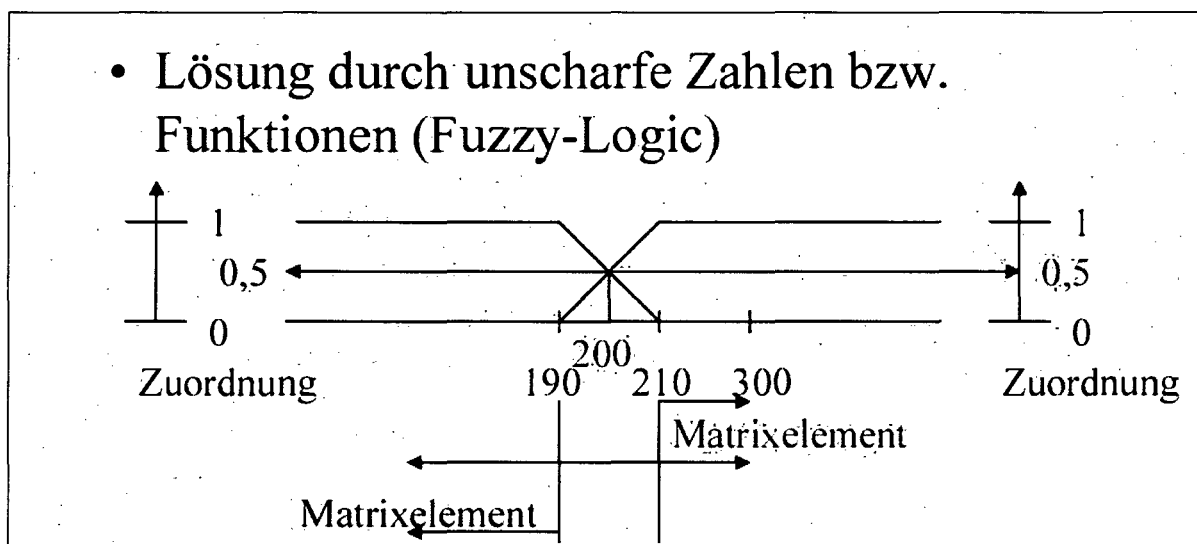


Abb.A.2. Unscharfe Größen zur Beschreibung der Länge einer Brücke nach [Sch04]

Für das eingangs erwähnte Beispiel der Parametrisierung einer Brücke kann eine Vorgehensweise der Zuordnung darin bestehen, einen Übergangsbereich zwischen zwei Matrixfeldzuordnungen zu definieren. Die Übersichtlichkeit einer einfachen Zuordnung leidet unter einer feineren Modellierung – so wäre es natürlich denkbar für jeden Parameter und für jede Grenze diese Übergänge zu modellieren – so daß in der praktischen Anwendung zwecks Nachvollziehbarkeit einer scharfen Modellierung der Grenzen der Vorzug gegeben wurde.

Die Anwendung der Fuzzy-Logik auf die Frage der Standortwahl kann nur als Ergänzung zu den bereits systemtheoretisch hergestellten Zusammenhängen gesehen werden. Die Notwendigkeit der Modellierung mit unscharfen Größen zur Beschreibung der Kategorien der

Elemente der Risikoprofile der Infrastruktur scheint aber nicht gegeben, da die scharfen Grenzen der Parameter schon zu einer eindeutigen Zuordnung führen, bzw. ein höhere Anforderung an die Genauigkeit der Ergebnisse zum gegenwärtigen Wissensstand nicht sinnvoll erscheint. Letztlich muß die Frage der Ausführung eines Standortes doch wieder eine scharfe sein, da es bei einzelnen Sensorikkomponenten keine Abstufungen im Ausbaugrad gibt, sondern nur eine kausale Rechtfertigung über die zu erwartenden Unregelmäßigkeiten. Sehr wohl macht es aber Sinn, die Grenzfälle der scharfen Abgrenzungen mitzubetrachten, um durch die Kombination von bahnspezifischen Größen (Zugdichte, Gefahregutanteil) eine Aufwertung mancher Standort im Ausbaukonzept vorzunehmen.

Anhang B:



Expertenrunde

„Risikoanalyse im Eisenbahnnetz“

Andreas Schöbel

21. Jänner 2004

RA-EB



Tagesordnung

1. Vorstellungsrunde der Mitarbeiter
2. Präsentation der Methodik
3. Brainstorming der Gefahrenbilder

21. Jänner 2004

RA-EB

2

2. Präsentation der Methodik

- Erstellen von Gefahrenbildern
- Beurteilung der Tragweite der Auswirkungen
- Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeiten
- Definition eines Schutzzieles
- Prioritäten
- Maßnahmenkatalog

21. Jänner 2004

RA-EB

4

Erstellen von Gefahrenbildern

- Problematik:
 - Absolute Werte selten oder nur für Teilbereiche vorhanden
 - Für zuverlässige Statistik fehlt meist die notwendige Anzahl an Fällen
 - „Scheingenauigkeiten“ durch nicht abgesicherte Zahlenwerte
- Soweit Zahlenwerte bekannt sind, sollen sie natürlich auch berücksichtigt werden!!!

21. Jänner 2004

RA-EB

5

Qualitative Risikoanalyse

- Soweit Zahlenwerte bekannt sind, können Sie berücksichtigt werden!
- Falls aber keine bekannt sind, schätzt die Expertengruppe die Risiken ein!
- Beurteilung der
 - Tragweite der Auswirkungen
 - Eintrittswahrscheinlichkeit

21. Jänner 2004

RA-EB

6

Beurteilung der Tragweite der Auswirkungen

- | • Vorschlag: 4 Kategorien | Schaden in Euro |
|---------------------------|-----------------|
| - I: katastrophal | 1.000.000 |
| - II: kritisch | 100.000 |
| - III: klein | 10.000 |
| - IV: unbedeutend | 1.000 |

21. Jänner 2004

RA-EB

7

Beurteilung der Eintrittswahrscheinlichkeit

- Vorschlag: 6 Stufen
- | | | | |
|------|-------------------|----------|-------------------|
| - A: | häufig | Zeitraum | täglich |
| - B: | oft | | monatlich |
| - C: | gelegentlich | | einmal im Quartal |
| - D: | selten | | jährlich |
| - E: | sehr selten | | alle 10 Jahre |
| - F: | nicht vorstellbar | | bis jetzt nie |

21. Jänner 2004

RA-EB

8

Definition des Schutzzieles

A				
B				
C				
D				
E				
F				
	IV	III	II	I

21. Jänner 2004

RA-EB

10

Maßnahmenkatalog

- alle nicht akzeptierbaren Risiken, werden mit ihrer Priorität im Maßnahmenkatalog aufgelistet
- risikomindernde Maßnahmen werden überlegt

Ziel: durch Realisierung der Maßnahmen sollten alle Restrisiken unterhalb des Schutzzieles liegen!

21. Jänner 2004

RA-EB

12

3. Brainstorming der Gefahrenbilder

Ziel der Arbeitsgruppe:

1. Gefahrenpotentiale erkennen & einordnen
2. Einflußfaktoren parametrisieren

Daraus folgt die Ableitung der erforderlichen Standorte für Zuglaufcheckpoints!

21. Jänner 2004

RA-EB

13

Brainstorming



Aufteilung in 3 Risikoprofile

jeweils ein Risikoprofil für

- Infrastruktur (Oberbau)
- Umfeld
- Zug

⇒ zuerst möglichst abstrahieren, dann für
(ausgewählte) Netzteile kalibrieren!

21. Jänner 2004

RA-EB

14

Ziel der heutigen Sitzung



- Brainstorming auf Karteikarten
- Einordnen in die Risikoprofile

-> Bis zur nächsten Sitzung prüfen der
Einordnung

-> Nachjustieren bei Bedarf in der nächsten
Sitzung

21. Jänner 2004

RA-EB

18

Tagesordnung

1. Ziel der Risikoanalyse
2. Detaillierung der CP-relevanten Elemente
3. Ergebnis der Detaillierung
4. Definition des Schutzzieles
5. Ausblick auf optionale Möglichkeiten

30. März 2004

RA-EB

2

1. Ziel der Risikoanalyse



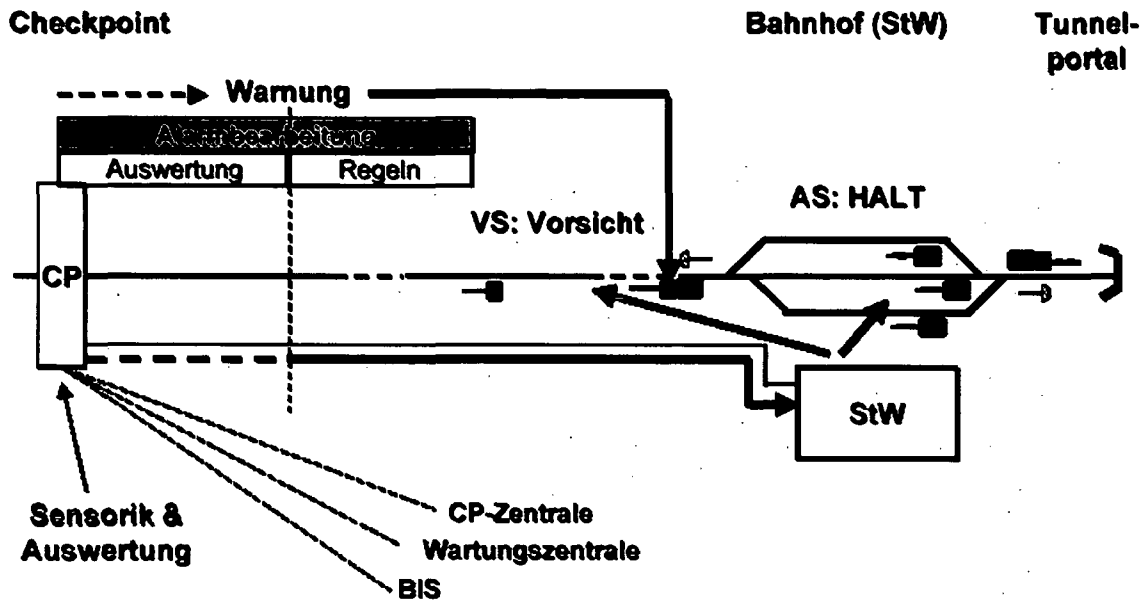
- Priorität 1 lt. Zuordnung in Risikoprofil
- Priorität 2 lt. Zuordnung in Risikoprofil
- Priorität 3 lt. Zuordnung in Risikoprofil
- ▮ Checkpoint in 1. Ausbaustufe
- ▮ Checkpoint in 2. Ausbaustufe
- ▮ Checkpoint in 3. Ausbaustufe

30. März 2004

RA-EB

3

Lokale Situierung eines Checkpoints



30. März 2004

RA-EB

4

2. Detaillierung der CP-relevanten Elemente

- Problem der Einordnung:
Welches konkrete Bild steht hinter der Einordnung?
- Bei genauer Betrachtung Zuordnung zu mehreren Feldern möglich!

30. März 2004

RA-EB

5

3. Ergebnis der Detaillierung

Für folgende Elemente wurden Parameter zur Charakterisierung gesucht:

- Brücke
- Gegenbögen
- Weichen
- Steigungs – bzw. Gefällestrecke
- Tunnel
- Bögen
- Übergang der Oberbaukonstruktionen

30. März 2004

RA-EB

8

5. Ausblick auf optionale Möglichkeiten

- Kalibrieren bzw. Überprüfung der qualitativen Einordnung

⇒ Mathematische Modellierung mit unscharfen Zahlen

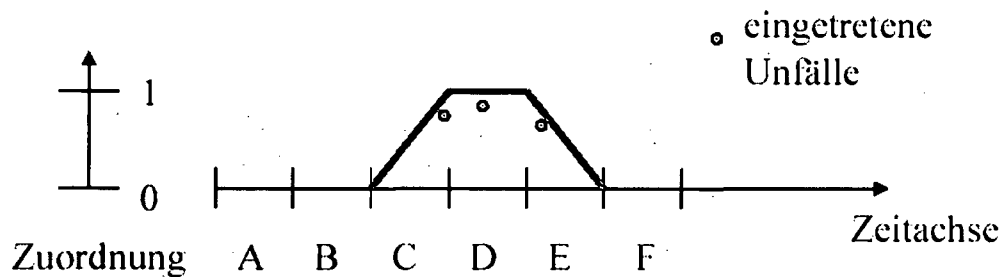
30. März 2004

RA-EB

22

Beispiel Tunnel (1)

- Wahl einer Funktion für die Eintrittswahrscheinlichkeit



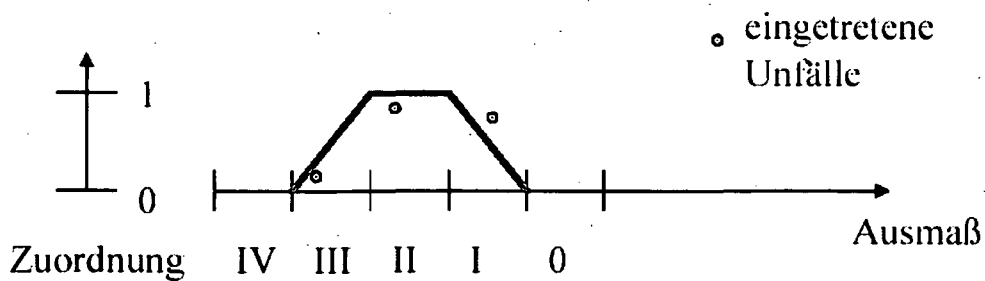
30. März 2004

RA-EB

23

Beispiel Tunnel (2)

- Wahl einer Funktion für das Schadensausmaß



30. März 2004

RA-EB

24

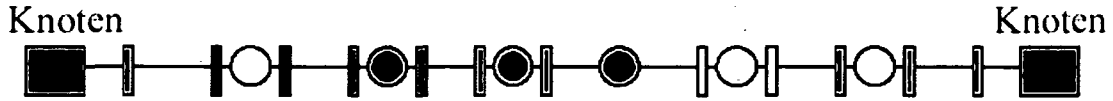
Tagesordnung

1. Resümee der letzten Sitzung vom 30.3.
2. Detaillierung der Infrastruktur
3. Definition des Schutzzieles Infrastruktur
4. Definition des Schutzzieles Zug
5. Definition des Schutzzieles Umfeld

1. Resümee

- Gemäß Beschluß der letzten Sitzung wurde eine Detaillierung für Infrastrukturelemente durchgeführt.
- Dabei wird von einer Überprüfung des Zuges zu Beginn einer Zugfahrt ausgegangen.
- Der Bezug zwischen Ursache und Auswirkung auf das Risikopotential für ein Element soll hergestellt werden.

Standorte



- Brücke
- LR, Entgleisungsdetektion
- Gegenbögen
- Prävention (Ausgang)
- Weichen
- Entgleisungsdetektion
- Gefällsstrecken
- HOA
- Tunnel
- HOA, LR, BE, Entgleisungsdetektion
- Bogen
- LR nach bogenreichen Strecken

26. Mai 2004

RA-EB

4

Risikoanalyse: Schutzziele 0,1 Mill€/a / 1,0 Mill€/a / 10 Mill€/a

A täglich	3,65	36,5	365,0	3650,0
B monatlich	0,12	1,2	12,0	120,0
C 1 x im Quartal	0,04	0,4	4,0	40,0
D jährlich	0,01	0,1	1,0	10,0
E alle 10 Jahre	0,001	0,01	0,1	1,0
F alle 100 J.	0,0001	0,001	0,01	0,1
	IV 10.000 €	III 100.000 €	II 1.000.000 €	I 10.000.000 €

Anhang E:



Gliederung

1. Einleitung, Motivation
2. Methodik der Risikoanalyse
3. Systemanalyse
4. Einordnung der Expertengruppe
5. Zusammenfassung

Juni 2004

2



Motivation



- Zur Frage der Standortwahl von Zuglaufüberwachungseinrichtungen wird eine Arbeitsgruppe einberufen, die die Risikopotentiale im Netz nach deren Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß einordnen soll.
- Die Einordnung ist Basis für die Standortwahl der einzelnen Komponenten.

Juni 2004

4

2. Methodik der Risikoanalyse

- Problematik bei Risikoanalysen:
 - Absolute Werte selten oder nur für Teilbereiche vorhanden
 - Für zuverlässige Statistik fehlt meist die notwendige Anzahl an Fällen
 - „Scheingenauigkeiten“ durch nicht abgesicherte Zahlenwerte
- Da sich die Risiken im Netz nicht aus der Unfallstatistik ableiten lassen, gilt die Expertenmeinung als Datenquelle.

Juni 2004

5

Risikoprofile

Zur systemtheoretischen Analyse der Risiken erfolgt eine Aufteilung in 3 Risikoprofile.

Jeweils ein Risikoprofil für

- Infrastruktur
- Umfeld
- Zug

werden erstellt.

Juni 2004

10

Unterscheidung



- **Ausgangszustand:** gleich nach Beginn einer Zugfahrt können prinzipielle Eigenschaften des Zuges durch Sensorik geprüft werden, die sich im Lauf der Fahrt nicht erheblich ändern!
- **während der Fahrt:** mit zunehmender Fahrtweite über das Netz können sich Unregelmäßigkeiten ergeben!

Juni 2004

12

Ausgangszustand



1. Durch heute am Markt befindliche Sensoriken können folgende Unregelmäßigkeiten detektiert, bzw. auf diese Unregelmäßigkeiten geschlossen werden:
 - einseitige Beladung
 - Ladungsverschiebung
 - Flachstellen
 - Offene Türen
 - Achslast, Meterlast
2. Folgende Unregelmäßigkeiten werden als mögliches Risikopotential geortet, können jedoch zum heutigen Zeitpunkt nur unter großem technischen und finanziellen Aufwand erfasst werden:

Juni 2004

13

- Verwindung der Wagen (Weichen)
- Wankeigenschaften (Bogen)
- Ausdrehmoment (Bogen)
- Instabilitäten (SFS)
- Gleisverschiebungskräfte (Weichen, Bogen)
- Radprofilgeometrie (Weichen, Bogen)
- kinematische Begrenzung (Bogen)

Diese Eigenschaften werden zur Zeit in der Ausbaustrategie für Checkpoints sekundär betrachtet. D.h. es erfolgt eine Gesamtbetrachtung aller Risikofaktoren, als ersten Ansatz werden jedoch ausschließlich die Risikopotentiale von Ausgangszustand (1) abgedeckt.

Juni 2004

14

Während der Fahrt

Während des Zuglaufes müssen an den Betriebsmitteln (Lok, Wagen, ...) folgende risikoträchtige Eigenschaften überprüft werden:

- Achslagerschäden
- Verschiebung der Ladung
- Entgleisungen (bereits entgleister Zug)
- Erwärmung des Radsatzes durch Bremse
- Temperatur der Achse
- Flachstellen
- Gebrochene Tragfedern
- Achsbruch
- offene Türen
- Brand

Diese möglichen Unregelmäßigkeiten werden vor zu schützenden Elementen der Infrastruktur geprüft.

Juni 2004

15

Elemente



- Für die über dem Schutzziel eingeordneten Elemente werden die lokal unmittelbar vor dem Element erforderlichen Komponenten aufgelistet.
- Dabei wird von einer Prävention im Ausgangszustand ausgegangen.
- Damit wird der Bezug zwischen Ursache und Auswirkung auf das Risikopotential für ein Element gewahrt.

Juni 2004

16

Standorte



- | | | | |
|---|-----------------|--|---------------------------------------|
| ● | Brücke | | LR, Entgleisungsdetektion |
| ● | Gegenbögen | | Prävention (Ausgang) |
| ● | Weichen | | Entgleisungsdetektion |
| ○ | Gefällsstrecken | | HOA |
| ● | Tunnel | | HOA, LR, BE,
Entgleisungsdetektion |
| ○ | Bogen | | LR nach bogenreichen
Strecken |

Juni 2004

17

Standortverteilung



- Aufgrund der Zuordnung der Komponenten zu den Infrastrukturelementen ergibt sich eine Netzaufteilung.
- Der Abstand zwischen den einzelnen Checkpoint-Komponenten wird errechnet.
- Bei „weißen Flecken“ wird eine sinnvolle Verdichtung der Standorte überlegt.
- Umgekehrt kann bei einer zu dichten Anhäufung von Sensorik-Komponenten eine Schutzweite unterstellt werden.
- Die elementbedingten Standorte werden mit der Checkliste „Während der Fahrt“ (Folie 15) überprüft, ob auch alle Komponenten vorhanden sind.

Juni 2004

18

Brücke



Brücken werden folgendermaßen zugeordnet:

Produkt aus Länge mal Höhe größer 10.000 -> X

Produkt aus Länge mal Höhe kleiner 10.000 -> Y

Maßnahmen:

Unmittelbar vor einer Brücke sind in Abhängigkeit der Bauart folgende Komponenten anzudenken:

- Lichtraumprofil-Überwachung
- Entgleisungs-Detektion (für bereits entgleiste Züge)

Juni 2004

19

Gegenbögen



Gegenbögen werden nach folgendem Kriterium definiert:

$$\frac{R1 * R2}{R1 + R2} < 120 \rightarrow X$$
$$> 120 \rightarrow Y$$

Die Zugseigenschaften, die in Gegenbögen zu Unregelmäßigkeiten führen können, werden gleich zu Beginn einer Zugfahrt geprüft.

Juni 2004

20

Weichen



Weichen werden folgendermaßen definiert:

- Überleitstellen und Verknüpfungen auf Schnellfahrstrecken (X)
- große definierte Weichenbereiche – Weichenstraßen vor Bf mit großem Fahrgastaufkommen (Y)
- Sonstige Weichen, die nicht in X oder Y einzuordnen sind -> Z

Unmittelbar vor Weichen müssen ergänzend zu den präventiven Maßnahmen folgende Eigenschaften geprüft werden:

- Entgleisung

Darüber hinaus beeinflussen Weichen auch die lokale Standortwahl von Sensorik-Komponenten, damit es möglich ist, Züge vor diesen Gefahrenpunkten anzuhalten.

Juni 2004

21

Gefällstrecken



Gefällstrecken werden folgendermaßen definiert:
 $s > 20 \text{ ‰}$ (X) / $s > 15 \text{ ‰}$ (Y) / $s > 10 \text{ ‰}$ (Z) auf 10 km

Folgende Gefahren können nach längeren und/oder steileren Strecken auftreten:

- Erwärmung des Radsatzes durch Bremse
- Erwärmung der Achse (Heißläufer)

Anm.: Achsen können selbstverständlich auch außerhalb von Gefällstrecken heiß laufen!

Daher wird folgende Sensorik **nach und in** diesen Abschnitten benötigt:

- Heißläuferortungsanlage (HOA)

Juni 2004

22

Tunnel



Folgende Kriterien wurden in Abstimmung mit Hrn. Sommerlechner u.a. folgende Einflußkriterien gewählt:

- Anzahl der Gleise
- Länge
- Geschwindigkeit der Züge (PV/GV)
- Gefahrgutanteil
- Reisendenfrequenz

Kennzahl: größer 1500 X
 kleiner 1500 Y

Anm.: Für Tunnel < 1000 m mit hohem Risikopotential aufgrund des Betriebsprogramms (hohe Geschwindigkeit, hoher Gefahrgutanteil, hohe Reisendenfrequenz) können analoge Detektionsanlagen erforderlich werden.

Juni 2004

23

Tunnel



Vor dem Tunnel in X sind folgende Unregelmäßigkeiten zu prüfen:

- Achslagerschäden, feste bzw. heiße Bremsen
- Ladungsverschiebung
- Entgleisung (bereits entgleister Zug)
- Brand im/am Fahrzeug

Dazu werden unmittelbar vor dem 2-gleisigen Tunnel folgende Sensorikkomponenten benötigt:

- HOA
- Lichtraumprofilüberwachung
- Entgleisungsdetektion (für bereits entgleiste Züge)
- Branderkennung

Juni 2004

24



Beim 1-gleisigen Tunnel werden nur folgende Sensorikkomponenten benötigt:

- HOA
- Branderkennung

Juni 2004

25

Bogen < 300 m



Folgendes Kriterium wurde für Bogen festgelegt:

Bogenanteil Radius $R < 300$ m auf 30 km > 10 % X

Bogenanteil Radius $R < 300$ m auf 30 km < 10 % Y

Für bogenreiche Strecken ($R < 300$ m) können folgende Messgrößen
Aufschluss über mögliche Unregelmäßigkeiten liefern:

- Querkräfte, Gleisverschiebungskräfte
- Achslast
- Ausdrehmoment
- Wankeigenschaften
- Radprofil

Diese Eigenschaften werden im Ausgangszustand überprüft.

Juni 2004

26

Übergang der Oberbaukonstruktion



Folgende Kriterien werden festgelegt:

- Übergang Schotter – Feste Fahrbahn

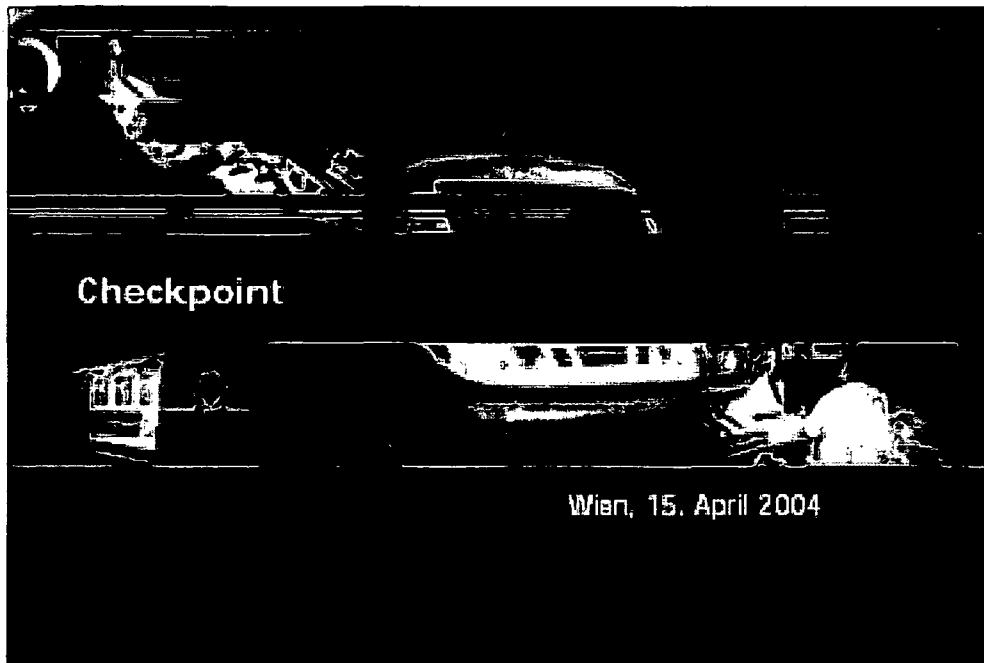
Diese Übergänge treten mit den Elementen „Brücke“ oder
„Tunnel“ auf Neubaustrecken gemeinsam auf.

Instabilitäten werden sinnvoller Weise im Ausgangszustand
erfasst, die u.a. an diesen Stellen im Netz zu Entgleisungen
führen könnten.

Juni 2004

27

Anhang E:



© Rumpel & Sönder

ALCATED

Definition

- > „Check“
 - Präventiv
 - Technische Einrichtungen
 - Zustand des rollenden Materials
 - Zuglauf
- > „Point“
 - Örtlich festgelegte Punkte



Ist-Zustand

- > Ausgangslage
 - Zugbeobachtung durch Augenschein (DV V3)
 - Betriebsführung von wenigen besetzten Betriebsstellen
 - Rückzug von Mitarbeitern in der Fläche
- > Stand der Technik (Sensorik)
 - Vielzahl rudimentärer Einzelsysteme
 - Geringe Nutzung im Eisenbahnbereich
 - Keine Integration in ein Gesamtsystem
 - Kein Einsatz für sicherheitskritische Anwendungen
- > Lösung (GB Netz)



Konsortium

- > Alcatel Austria AG (Konsortialführer)
- > ÖBB
 - Signal- und Systemtechnik
 - Netz
 - Telekom
- > TU Wien, Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen
- > TU Wien, Institut für Elektrische Mess- und Schaltungstechnik



Projekt

- > Impulsprogramm: „Innovatives System Bahn“
 - BMVIT Abteilung I 7 (Frau Grassegger)
- > Abgabe des Antrages (09/02)
 - Projektitel: „Sicherheitssystemintegrierte Checkpoint Anlagen für automatische Zugüberwachung“
 - Kategorie: F&E-Projekt
- > Förderungszusage (12/02)
 - 52 Anträge
 - 15 Zusagen
- > Projektstart (02/03)
 - Kick-off-Meeting



Ablauf

- > Phase 1 (02 – 05/03)
 - Anforderungen des Betreibers (D110)
 - Functional Requirements (D120)
 - Senscrik (D130)
- > Phase 2 (05/03 – 05/04)
 - Sub-System Requirements Specification (D210)
 - Architectural Design Document (D220)
 - Safety-Management-Bericht (D230)
 - Umsetzung, Implementierung (inkl. Testspezifikation) (D240)
 - Test-Report (D250)
- > Phase 3 (05 – 08/04, Erweiterung)
 - Feldtest (D310)

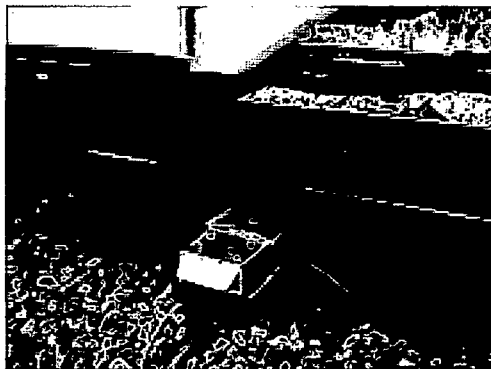


Anforderungen des Betreibers

- > Zugbeobachtung durch Augenschein
- > Zusätzliche Gefahrenpotenziale
- > Technischer Aufbau – Module
 - Heißläuferortung
 - Dynamische Radlastmessung
 - Flachstellenortung
 - Lichtraumprofilmessung
 - Brandmeldung
 - Entgleisungsdetektion



Heißläuferortung

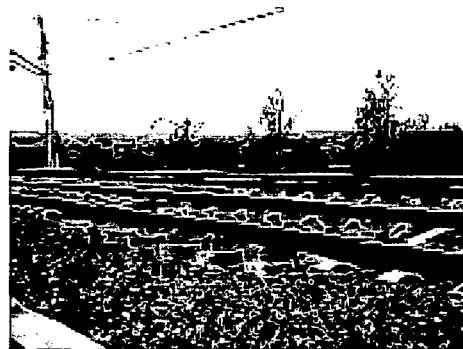


- > Partner: GB Telekom
- > Über 100 Anlagen
- > Überwachung von Radlager-,
Bremscheiben- und
Radtemperatur (FOA, SOA)
- > IR-Temperaturmessung
- > 6 CMT-Sensoren
- > Genauigkeit: $-\pm 2 \dots \pm 5^\circ$
- > Auswertedauer: < 1s
- > Integration: 10/2004



Dynamische Radlastmessung

- > Partner: Fa. Schenck
- > In Spanien im Einsatz
- > Flachstellenentwurf
- > Waggonunterscheidung
- > Gewichtsabhängige Verformung der Wagebalken (DMS)
- > 7 Wagebalken zur Erfassung des kompletten Radumfangs
- > Genauigkeit: $\pm 1,5\%$... $\pm 5\%$
- > Auswertedauer: ca. 60 ... 120 s
- > Integration: 10/2004



cp_Mag_0404 — 9

All rights reserved © 2004, Alcatel

ALCATEL



Flachstellenentwurf



- > Partner: GB Telekom
- > Prototyp in Himberg
- > Flachstellenentwurf durch Messung der Dauer des Abhebens eines Rades
- > Auswertedauer: – 2s
- > Integration: 1. Quartal 2005

cp_Mag_0404 — 10

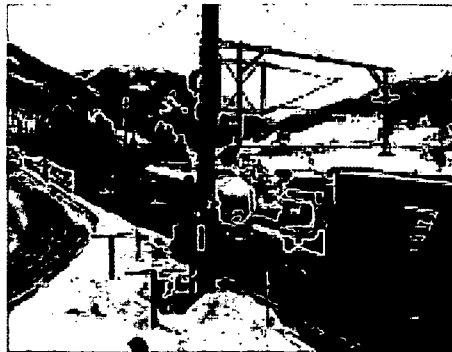
All rights reserved © 2004, Alcatel

ALCATEL



Lichtraumprofilmessung

- > Partner: Fa. ASE, GB Energie
- > Antennenerkennung am Brenner
- > Erweiterung auf Überwachung des gesamten LRP
 - Lose Ladegurte
 - Lose Abdeckplanen
 - Veränderungen des Ladegutes
- > Detektion basierend auf optischen Messungen
- > Integration: 1. Quartal 2005



Sonstige Systeme (1)

- > Pufferhöhenerkennung
 - Partner: Fa. Witt
 - ÖBB: Technische Services
 - Erkennung von Aufpufferneigung
 - Waggonunterscheidung
 - Pufferhöhenbestimmung durch Messung von Abschattung
 - Gekreuzte IR-Lichtschranken
 - Messgenauigkeit: ± 2 mm
 - Integration: Noch offen
- > Dynamische Radlastmessung
 - Partner: Fa. HBM
 - ÖBB: Fahrweg
 - Blisadona-Tunnel
 - Entwicklung einer marktreifen und kostengünstigen Lösung
 - Flachstellenortung
 - Waggonunterscheidung
 - Messung durch gewichtsabhängige Verformung der Schiene (DMS)
 - Integration: Noch offen

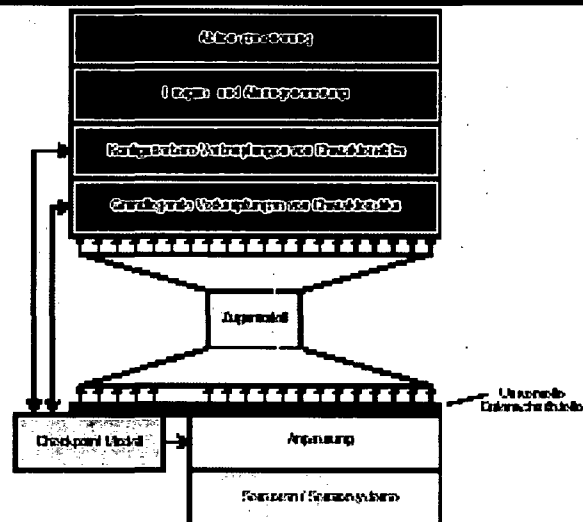


Sonstige Systeme (2)

- > Offene Punkte
 - Brandmeldung
 - Entgleisungsdetektion
- > Keine Lösungen am Markt verfügbar
- > I2-Antrag: Entwicklung (GB Telekom, TU Wien)
- > Entscheidung: 2. Quartal 2004



Softwarearchitektur





Schnittstellen (1)

- > Sensoren (Universelle Datenschnittstelle)
 - Anbindung von verschiedenen Sensorsystemen und Einzelsensoren
 - Einfache Erweiterbarkeit
 - Messdatenvorverarbeitung und Verdichtung
- > Benutzeroberfläche (HMI)
- > Zugdaten – dzt. RZÜ
- > ESDIS (Elektronisches Störungs- und Diagnosesystem)
- > Sicherungsanlage



Schnittstelle (2)

- > Projekttitle
 - „Sicherheitssystemintegrierte Checkpoint Anlagen für automatische Zugsicherung“
 - Checkpoint
 - Zugnummer: Nicht signaltechnisch sicher
 - Sensorik: Nicht signaltechnisch sicher
 - Sicherungsanlage
 - Innenanlage: Signaltechnisch sicher
 - Schnittstelle – Realisierungsvarianten
 - Keine technische Schnittstelle Richtung Leit- bzw. Stellwerkstechnik
 - Direkte Anbindung mit Anzeige im BIS
 - Indirekte Anbindung (Leittechnik – dzt. GRAULI)



Keine technische Schnittstelle

- > Keine technische Schnittstelle Richtung Leit- bzw. Stellwerkstechnik
 - Eisenbahnverkehrsunternehmen
 - Wartungszentrale (Rollendes Material)
 - Einhebung des Infrastrukturbenutzungsentgelts (IBE)



Direkte Anbindung mit Anzeige im BIS

- > Keine technische Schnittstelle Richtung Leit- bzw. Stellwerkstechnik
 - Eisenbahnverkehrsunternehmen
 - Wartungszentrale (Rollendes Material)
 - Einhebung des Infrastrukturbenutzungsentgelts (IBE)
- > Direkte Anbindung mit Anzeige im BIS
 - Anzeige von Alarmmeldungen am Bildschirm
 - Setzen der Bedienhandlungen durch den Fahrdienstleiter

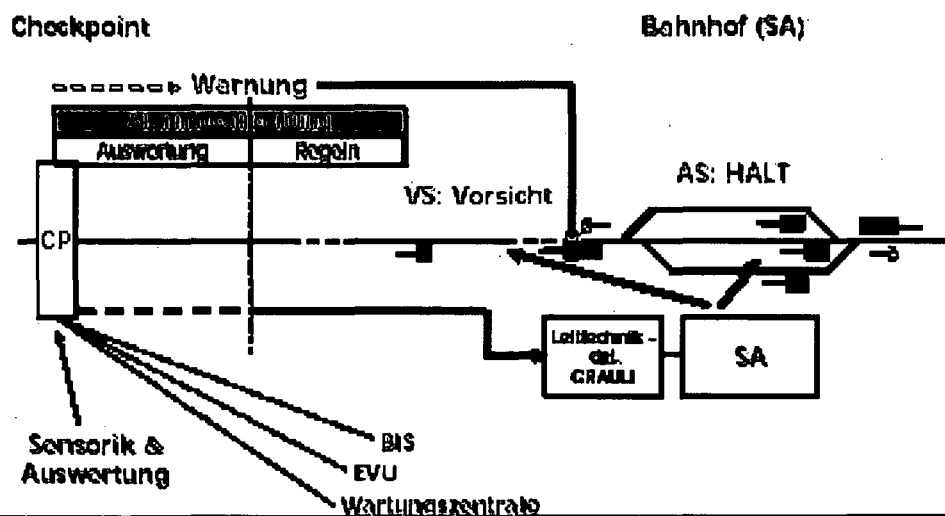


Indirekte Anbindung (Leittechnik – dzt. GRAULI)

- > Keine technische Schnittstelle Richtung Leit- bzw. Stellwerkstechnik
 - Eisenbahnverkehrsunternehmen
 - Wartungszentrale (Rollendes Material)
 - Einhebung des Infrastrukturbenutzungsentgelts (IBE)
- > Direkte Anbindung mit Anzeige im BIS
 - Anzeige von Alarmmeldungen am Bildschirm
 - Setzen der Bedienhandlungen durch den Fahrdienstleiter
- > Indirekte Anbindung (Leittechnik – dzt. GRAULI)
 - Nutzung einer bestehenden Schnittstelle
 - Erweiterung einer bestehenden Schnittstelle



Indirekte Anbindung (Leittechnik – dzt. GRAULI)





Realisierung – Phase 3

- > Feldtest (Ostbahn)
 - Direkte Anbindung mit Anzeige im BIS
 - Sammeln von Erfahrungswerten (Sensorik)
- > Labortest
 - Sensorkisimulator
 - GRAULI
 - Stark vereinfachter Ablauf
- > Entwicklung
 - Indirekte Anbindung (Leittechnik – dzt. GRAULI)
 - Erweiterung der bestehenden Schnittstelle