



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Schlussbericht KOMPAS I



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter Schienenverkehr
(KOMPAS), Phase 1



Arbeitspakete 320, 330 Hinderniserkennung und Bahnsteigsicherung entwickeln	
Ersteller: Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden (FhG/IVI)	Förderkennzeichen: 19P 0041C
Stand: Version 1.1 22. April 2003	Dokumentnummer: IVI-FABF-230006-2003-04-01

Nachweis des Ausgabestandes					
Version	Kennzeichen	Ausgabedatum	Name des Erstellers	geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
1.0	K	19.02.01	Wolfgang Oertel	Anlage 1	Neuerstellung
1.1	K	25.06.01	Wolfgang Oertel	Anlage 2	Neuerstellung
1.0	K	23.11.02	Milan Rüder	Anlage 3	Neuerstellung
0.3	K	11.11.02	Tom Dimter	Anlage 4	Neuerstellung
1.0	K	19.12.02	Milan Rüder	Anlage 5	Neuerstellung
0.4	K	17.12.02	Tom Dimter	Anlage 6	Neuerstellung
1.1	K	22.04.03	Wolfgang Oertel	Anlage 7	Neuerstellung
1.0	E	11.04.03	Wolfgang Oertel	Hauptteil	Neuerstellung
1.1	K	22.04.03	Wolfgang Oertel	Hauptteil	Überarbeitung

K = Konzept

E = Entwurf

F = eingeführtes Dokument

Projektmitarbeiter:

Wolfgang Oertel

Tom Dimter

Milan Rüder

Daniel Szoska

Nikolaus Möhler

Uwe Schneider

Faruque Ahmed

Robert Risack

Christian Brock

André Naundorf

Wilfried Enkelmann (Projektantrag)

Dieses Dokument ist abgestimmt mit:

Vermerke des EBA:

Impressum

Bearbeitung /
Geschäftsführende Stelle /
Herausgebende Stelle:

Fraunhofer-Institut für
Verkehrs- und Infrastruktursysteme (FhG/IVI)
Fahrerassistenz und Betriebsführung (FABF)

Bearbeiter / Fachautor:

Wolfgang Oertel, Tom Dimter, Milan Rüder
Zeunerstraße 38
01069 Dresden
Telefon: 0351 / 4640 - 680
Fax: 0351 / 4640 - 803
E-Mail: Wolfgang.Oertel@ivi.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	6
Literaturverzeichnis	7
1 Kurze Darstellung zu	10
1.1 Aufgabenstellung	10
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde	11
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	12
1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand an dem angeknüpft wurde	13
1.4.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren, Schutzrechte	13
1.4.2 Angabe verwendeter Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste	14
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	14
2 Eingehende / umfassende Darstellung	15
2.1 der durchgeführten Arbeiten	15
2.2 der erzielten Ergebnisse	20
2.3 des voraussichtlichen Nutzens und der Verwertbarkeit der Ergebnisse	21
2.4 des bekannt gewordenen Fortschritts bei anderen Stellen	22
2.5 der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen	23

Anlagenverzeichnis

- [Anlage 1] Bericht Technische Konzeption Hinderniserkennung, AP 320
- [Anlage 2] Bericht Technische Konzeption Bahnsteigsicherung, AP 330
- [Anlage 3] Bericht Prototyp Hinderniserkennung Fahrweg, AP 320
- [Anlage 4] Bericht Prototyp stationäre Bahnsteigsicherung, AP 330
- [Anlage 5] Bericht Erprobung Hinderniserkennung Fahrweg, AP 320
- [Anlage 6] Bericht Test/Erprobung stationäre Bahnsteigsicherung, AP 330
- [Anlage 7] Erfolgskontrollbericht

Abkürzungsverzeichnis

AF	Automatisches Fahren
AF-S	Automatisches Fahren, stationärer Teil
AF-M	Automatisches Fahren, mobiler Teil
AZS	automatische Zugsteuerung
AZS-S	Automatische Zugsteuerung, stationärer Teil
AZS-M	Automatische Zugsteuerung, mobiler Teil
HiErk	Hinderniserkennung
BstgSi	Bahnsteigsicherung
FZL	Fahrzeugleitstelle
Tfz	Triebfahrzeug
Tf	Triebfahrzeugführer
zTf	zentraler Triebfahrzeugführer
ETCS	European Train Control System
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
BOStrab	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen
VDV399	Anforderungen an Einrichtungen zur Gewährleistung der Fahrgastsicherheit in Haltestellen bei Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer

Literaturverzeichnis

- [1] G.-D. Allmann, H. Stickler: *Komponenten des Lichtraumprofil-Meßzuges LIMEZ*. *EI-Eisenbahningenieur* 47:6 (1996) 58-74.
- [2] P. Aschwanden: *Experimenteller Vergleich von Korrelationskriterien in der Bildanalyse*. Hartung-Gorre, 1993
- [3] T. Bandlow, K. Donath, A. Huber, S. Huwer, M. Wolf: *Abschlussbericht zum Leitprojekt Intelligenter Bahnsteig*. Technischer Report WV-00-2, Erlangen, FORWISS, 2000
- [4] Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann: *Tracking and Data Association*. In: *Mathematics in science and engineering*. Academic Press, Orlando, Fl., 1988
- [5] Berliner Verkehrsbetriebe (Hrsg.): *Internationales Forum zum automatischen U-Bahn-Betrieb STAR 2000*, Tagungsband, Berlin, 2000
- [6] C. Claussen et al.: *Steuerung von Haltestellen beim automatischen U-Bahn-Betrieb, Erfahrungen mit der Haltestellen-Gefahren-Überwachung in Berlin*. In: *Der Nahverkehr 1-2/00*, pp. 14-17
- [7] L. Dooze, L. Khoudour, C. Vieren: *Obstacle detection in front of automatic trains by linear stereo vision*. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and Other Advanced Mass Transit Systems*, Lissabon, Portugal, 1998, pp. 83-92
- [8] W. Enkelmann: *Obstacle Detection by Evaluation of Optical Flow Fields from Image Sequences*. *Image and Vision Computing* 9 (1991) 160-168.
- [9] W. Enkelmann, V. Gengenbach, W. Krüger, S. Rössle, W. Tölle: *Hindernisdetektion durch Real-Zeit-Auswertung von optischen Fluss-Vektoren*. *Autonome Mobile Systeme 1994*, 10. Fachgespräch, Stuttgart, 13.-14. Oktober 1994, P. Levi, T. Bräunl (Hrsg.), *Informatik aktuell*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1994, 285-295.
- [10] W. Enkelmann, V. Gengenbach, W. Krüger, S. Rössle, W. Tölle: *Obstacle Detection by Real-Time Optical Flow Evaluation*. *Intelligent Vehicles '94 Symposium*, Paris, France, 1994, 97-102.
- [11] W. Enkelmann: *Entwicklung von Systemen zur Interpretation von Straßenverkehrsszenen durch Bildfolgenauswertung*. *Habilitation*, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH), 1996. Infix-Verlag, Sankt Augustin, 1997.
- [12] W. Enkelmann: *An Obstacle Detection System for Automatic Trains*. *WCRR '97*, 4th World Congress on Railway Research, Florence, Italy, 16-19 November 1997, Volume C, 411-417.
- [13] D. Gavrilu, J. Giebel: *Shape-based pedestrian detection and tracking*. In: *IEEE Intelligent Vehicle Symposium IV'2002*, Versailles France, 2002

-
- [14] V. Gengenbach, K.H. Schäfer, H.-H. Nagel, K. Fleischer, H. Leuck, F. Muth, A. Bachem, W. Enkelmann, F. Heimes, M. Tonko: *Sichtsystemgestütztes Andocken von Flugzeugen*. Mitteilungen aus dem Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung, IITB Karlsruhe, 1998, 31-35.
- [15] G. Grasemann: *SiteView, Video-based surveillance and more*. In: visIT international, Karlsruhe: Fraunhofer IITB, 2002, pp. 4-5
- [16] D. Koller: *Detektion, Verfolgung und Klassifikation bewegter Objekte in monokularen Bildfolgen am Beispiel von Straßenverkehrsszenen*. Dissertation, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH), 1992. Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz DISKI 13, Sankt Augustin, Infix 1992.
- [17] H. Kollnig: *Ermittlung von Verkehrsgeschehen durch Bildfolgenauswertung*. Dissertation, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH), 1995. Dissertationen zur Künstlichen Intelligenz DISKI 88, Sankt Augustin, Infix 1995.
- [18] B. Liesenkötter, N. Reiser, G. Struck, W. Enkelmann: *HERA – Hinderniserkennung und Raumüberwachung*. Studie im Auftrag der Deutschen Bahn AG, 1997.
- [19] B.D. Lucas and T. Kanade: *An iterative image registration technique with an application to stereo vision*. In : IJCAI81, 1981, pages 674–679
- [20] M. Mecarelli, B. Liesenkötter: *Durchführbarkeitsstudie für die Hinderniserkennung bei Schienenfahrzeugen mit Radar-Sensoren*. In: VDI-Berichte, Band 1530 Düsseldorf: VDI Verlag, 2000, pp. 957-962
- [21] H.-H. Nagel, W. Enkelmann, G. Struck: *FhG-Co-Driver: From Map-Guided Automatic Driving by Machine Vision to a Cooperative Driver Support*. Special Issue on Network, Control, Communication and Computing Technologies for Intelligent Transportation Systems, S.M. Amin, A. Garcia-Ortiz, J.R. Wootton (eds.), Mathematical and Computer Modelling 22:4-7 (1995) 185-212.
- [22] H.-H. Nagel (Hrsg.): *Sichtsystemgestützte Fahrzeugführung und Fahrer-Fahrzeug-Wechselwirkung*. Infix, Sankt Augustin, 1995.
- [23] M. Nösges: *U-Bahn sicher ohne Fahrer*. Der Nahverkehr 4 (1999) 42-44.
- [24] P. Pohl: *Der Hagener Video-Meßtriebswagen*. EI-Eisenbahningenieur 47:6 (1996) 24-38.
- [25] G. Presle, P. Waldhäusl, H. Mann: *Das neue Gleis- und Lichtraum-Meßfahrzeug der Österreichischen Bundesbahnen*. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie 75:4 (1987) 208-218.
- [26] R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, and W. Enkelmann: *Robust lane recognition embedded in a real-time driver assistance system*. In: Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium '98, Stuttgart, Germany, 1988, pages 35–40
- [27] R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, N. Möhler, W. Enkelmann: *Robuste Fahrspurverfolgung und Bewegungskompensation in einem videobasierten Echtzeitsystem*.

- Autonome Mobile Systeme 1998, 14. Fachgespräch, Karlsruhe, 30.11.-01.12.1998, H. Wörn, R. Dillmann, D. Henrich (Hrsg.), Informatik aktuell, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998, 27-36.
- [28] P. Suzan, P. Schürmans: *Gefahrenraumfreimeldung mit Radarscanner*. In: Signal + Draht 6/99, 1999, pp. 23-27
- [29] P. Waldhäusl, H. Mann, G. Presle: *The new rail and clearance measuring draisine of the Austrian Federal Railways*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXVII/B5 (1988) 600-610.
- [30] D. Willersinn, W. Enkelmann: *Robust obstacle detection and tracking by motion analysis*. In: IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems ITSC'97, Boston/MA, 1997 pp. 717-722
- [RLHAF] *Rahmenlastenheft Automatisches Fahren*. DB AG, FTZ München, 2001
- [LHAF 2] *Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 2, Hinderniserkennung Fahrweg*. DB AG, FTZ München, 2000
- [LHAF 3] *Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Stationäre Bahnsteigsicherung*. DB AG, FTZ München, 2001
- [LHAF 5] *Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 5, Schnittstellenspezifikation HiErk Rechner - AF-M Rechner*. FhG-IVI Dresden, 2001
- [LHAF 6] *Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Schnittstellenspezifikation BstgSi-Rechner - AZS-S-Rechner*. FhG-IVI Dresden, 2002
- [OER 1] Oertel, W.: New locomotive drivers - computers with eyes. In: Research News 9/2000. Fraunhofer-Gesellschaft, München, 2000, Topic 7
- [OER 2] Oertel, W.: Sehende Computer - die neuen Lokführer. In: Automatisierungstechnische Praxis (atp) 11/2000. Oldenbourg Verlag, München, 2000, S. 43
- [OER 3] W. Oertel: *Videobasierte Bahnsteigsicherung in KOMPAS*. In: IITB-Jahresbericht 2000, FhG-IITB Karlsruhe, 2001, pages 28-29
- [OER 4] W. Oertel: *Hinderniserkennung für Schienenfahrzeuge*. In: IITB Jahresbericht 2001, FhG IITB, Karlsruhe, 2002, pages 50-51
- [OER 5] W. Oertel, T. Dimter, and D. Szoska: *A videobased approach for stationary platform supervision*. In: Proc. of the IEEE Computer Conference on Intelligent Transportation Systems, Singapore, 2002, pages 892-897
- [RUE 1] M. Rüder, N. Möhler, F. Ahmed, T.: *An Obstacle Detection System for Automated Trains*. In: Proceedings of Intelligent Vehicles Symposium, Columbus, Ohio, USA, 2003

1 Kurze Darstellung zu

1.1 Aufgabenstellung

Um die Attraktivität und Wirtschaftlichkeit des Verkehrsmittels Eisenbahn erhöhen zu können, ist zukünftig eine Flexibilisierung des Angebotes in Verbindung mit weitgehender Automatisierung der Betriebsführung erforderlich. Seitens der Deutschen Bahn AG besteht ein großes Interesse, den bereits bei verschiedenen U-Bahnen und Stadtbahnen im Ausland eingeführten automatisierten Fahrbetrieb auch auf Eisenbahnstrecken anzuwenden.

Um die hierfür notwendigen Voraussetzungen zu schaffen, sollen laut Projektantrag im Vorhaben „Komponenten Automatisierter Schienenverkehr, Phase 1 (KOMPAS I)“ grundsätzliche Anforderungen an einen automatisierten Fahrbetrieb bei Eisenbahnen definiert, die erforderlichen Entwicklungen eingeleitet und auf der Basis erfolgversprechender Lösungsansätze die generelle Funktionsfähigkeit verschiedener Komponenten nachgewiesen werden. Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse wird am Ende des Vorhabens KOMPAS I entschieden, ob und in welchem Umfang die Entwicklung der technischen Komponenten in einem Anschlussvorhaben „Komponenten Automatisierter Schienenverkehr, Phase 2 (KOMPAS II)“ weitergeführt wird.

Die Ergebnisse des Vorhabens tragen zur generellen Bewertung von Wirtschaftlichkeit und Anwendbarkeit des automatisierten Fahrens auf unterschiedlichen Strecken bei. Alle Aktivitäten sollen danach ausgerichtet sein, die Übertragbarkeit auf verschiedene Anwendungsfälle (z. B. Strecken mit anderer Infrastruktur, anderer Topografie oder anderem Betriebsverfahren) zu sichern.

Ein entscheidendes zu lösendes Problem beim automatischen Fahren auf Strecken, die nicht durch gesonderte bauliche Maßnahmen, wie Zäune, Tunnel oder Aufständering, abgesichert sind, ist es, die Aufgaben zur Fahrwegüberwachung, die der Triebfahrzeugführer laut EBO besitzt, einem technischen System zu übertragen. Von diesem mobilen System zu Hinderniserkennung wird gefordert, dass es die Überwachung mit zumindest der gleichen Sicherheit bewältigt wie ein entsprechender menschlicher Triebfahrzeugführer.

Automatisches Fahren von Zügen erfordert darüber hinaus spezielle Maßnahmen zur Überwachung von Szenenbereichen, die ein erhöhtes Gefährdungspotential aufweisen. Dazu gehören insbesondere die Bahnsteigbereiche, in denen der Personenschutz, aber auch eine erhöhte Auftrittswahrscheinlichkeit von Hindernissen im Gleisbereich die Untersuchung besonderer Sicherungsmaßnahmen rechtfertigen. Als Lösungsvariante bietet sich hierzu eine stationäre Bahnsteigsicherung an.

Das FhG/IVI Dresden ist innerhalb des aufgezeichneten Projektrahmens für KOMPAS I mit der Bearbeitung zweier Aufgabenstellungen betraut. Die erste Aufgabe besteht darin, Komponenten zur mobilen Hinderniserkennung zu entwickeln, die den Fahrweg mit Hilfe von Sensoren erfassen und im Hinblick auf sicheres Fahren überprüfen. Hierbei sollen Verfahren, die Sensordaten aus einem fahrenden Zug heraus aufnehmen und auswerten, für eine vorausschauende kontinuierliche Überwachung des Fahrweges und des Lichtraumprofils konzipiert, entwickelt und unter Alltagsbedingungen erprobt werden. Die Auswertungsergebnisse werden an einer externen Schnittstelle im Fahrzeug bereitgestellt. Die Verfahren sollen zusätzlich auch die Überwachung der Bahnsteigkante bei Einfahrt des Zuges in Stationen einbeziehen.

Die zweite Aufgabe umfasst die Entwicklung von Komponenten zur automatischen Bahnsteigsicherung. Zu diesem Zweck sollen mehrere ortsfeste Kameras verwendet werden, die am Bahnsteig geeignet installiert werden und den Bahnsteiggleis- und Bahnsteigkantenbereich permanent, insbesondere vor und während der Zugeinfahrt, überwachen. Geeignete Bildverarbeitungsalgorithmen detektieren Objekte und kritische Situationen und stellen ent-

sprechende Meldungen an einer externen Schnittstelle bereit. Ein derartiges System ist zu konzipieren, zu entwickeln, zu installieren und unter Alltagsbedingungen zu erproben.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Die Entwicklung von bildauswertenden Systemen im Verkehr stieß in den letzten Jahren auf wachsendes Interesse, sowohl bei Industrie und Forschungsgruppen als auch bei öffentlichen Einrichtungen. Dies zeigt sich in verschiedenen Forschungsprogrammen. In Europa wurde z. B. im Rahmen des Forschungsprogramms PROMETHEUS u.a. angestrebt, die Sicherheit und Effizienz des Straßenverkehrs deutlich zu steigern. Dabei wurde eine Reihe von Algorithmen zur Analyse der Fahrzeugumgebung entwickelt und in Experimentierfahrzeugen erprobt [21, 22, 11].

Im Rahmen des BMBF-Leitprojektes „Elektronisches Auge“ wurden in mehreren Teilprojekten Verfahren zur Erfassung der Fahrzeugumgebung untersucht. Im Teilprojekt "Automatisierter Verkehr" lag ein Schwerpunkt auf der Entwicklung von Verfahren zur Objekterkennung durch Radar-, Farb- und Bewegungssehen. Es entstand ein Verfahren zur Detektion und Verfolgung von bewegten Objekten in Bildfolgen, welches die Position der detektierten Objekte relativ zum kameratragenden Fahrzeug in Echtzeit durch Bewegungssehen schätzt [8, 30]. Die Bildauswertung erforderte jedoch den Einsatz von Spezialelektronik [9, 10].

Im Teilprojekt „BASTA“, das im Rahmen des BMBF-Programms »Elektronisches Auge« durchgeführt wurde, wurde ein flexibles videobasiertes System zur Fahrerunterstützung und Verkehrserfassung erprobt. Das in mehrere Testfahrzeuge integrierte System bestand aus Komponenten zur Detektion, Verfolgung und Klassifikation mehrerer markierter und unmarkierter Fahrspurbegrenzungen sowie aus Komponenten zur Objektdetektion. Robustheit gegen Variationen der Umgebungsbedingungen wurde zum einen durch den Einsatz einer Kamera mit hochdynamischem Sensorchip erreicht. Zum anderen wurden modulinterne Zuverlässigkeitstests durchgeführt. Die Bildauswertungsalgorithmen konnten ohne Spezialelektronik auf kostengünstigen Standardrechnern ausgeführt werden [26, 27].

Für die Aufgabe der Bahnsteiggleissicherung werden in [23] mehrere Alternativen diskutiert, die über Lichtschranken einen Strahl im Raum oder über Laser-Scanner lediglich eine Sze-nenebene messtechnisch erfassen.

Ziel des Projektes „Intelligenter Bahnsteig“ [3] war die Entwicklung von Verfahren zur intelligenten Fahrgastabfertigung in U-Bahnhöfen. Dabei ging es im Wesentlichen um die Erkennung von Ein- und Aussteigevorgängen, d.h. um Vorgänge, die beim Halten des Zuges ablaufen.

Durch die historische Entwicklung von Methoden sind wichtige Systemansätze zur Szenenüberwachung bereits anhand von Straßenverkehrsszenen untersucht worden, die mit stationären Kameras aufgenommen wurden [16, 17]. Auf diesem Gebiet besitzt das FhG/IITB lang-jährige Erfahrungen aus theoretischen und experimentellen Untersuchungen. Darüber hinaus wurde vom FhG/IITB in Zusammenarbeit mit dem Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme das weltweit erste System entwickelt, welches durch Auswertung von Bildfolgen eine modellgestützte Objekterkennung realisiert, die im operativen Betrieb beim Andocken von Flugzeugen eingesetzt wird [14].

Im Vergleich zu den Arbeiten, die Bildfolgen von Straßenverkehrsszenen auswerten, werden im Bereich des Schienenverkehrs nur wenige bildauswertende Systemansätze beschrieben. In [1] wird der Messzug LIMEZ beschrieben. Dieser hat die Aufgabe, das Lichttraumprofil zu vermessen. Dabei werden insgesamt sechs Videokameras und zwei Fotoapparate eingesetzt. Die Vermessung erfolgte allerdings nicht in Echtzeit. Potentielle Engstellen müssen vom Dienstpersonal erkannt, manuell aufgenommen und dann später interaktiv ausgemessen wer-

den. Dabei handelt es sich weniger um ein System, das Hindernisse erkennt, sondern eher um ein System, das diese zu dokumentieren hilft.

Der in [24] vorgestellte Messtriebwagen hat die Aufgabe, die 15kV-Oberleitungen der Deutschen Bahn AG zu kontrollieren. Dazu ist er mit zwei Videokameras ausgestattet, die den Verlauf der Leitungen aufnehmen. Die Auswertung erfolgt später im Labor.

In Österreich wurde im Rahmen eines Projektes der Technischen Universität Wien ein Fahrzeug entwickelt, das mit Hilfe von einer stereophotogrammetrischen Messeinrichtung Lichtraumprofile entlang von Bahntrassen vermessen kann [25, 29]. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgt auch hier im Labor.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zu Beginn des Projektes KOMPAS keine einsetzbaren Systeme zur Hinderniserkennung aus einem fahrenden Zug heraus existieren, die die Anforderungen des automatisierten Schienenverkehrs erfüllen. Es wurden lediglich von verschiedenen Firmen oder Instituten entsprechende Voruntersuchungen durchgeführt [18]. Erste ermutigende Vorüberlegungen zur videobasierten Hindernisdetektion für Schienenfahrzeuge sind in [12] beschrieben. Auch für die in KOMPAS vorgesehenen Arbeiten zur Bahnsteigsicherung existieren derzeit keine käuflichen Systeme, die die Anforderungen des automatisierten Schienenverkehrs erfüllen.

Die diskutierten Aspekte sichtsystemgestützter Auswertungssysteme haben die Breite der bisher publizierten Ansätze aufgezeigt. Trotz respektablem Leistungen, die verdeutlichen, dass elementare Funktionen für die Straßenfahrzeugführung unter geeigneten Bedingungen automatisch ausgeführt werden können, sind jedoch erhebliche Anstrengungen erforderlich, um Erkennungsalgorithmen mit spezifizierter Performanz für den automatisierten Schienenverkehr zu entwickeln.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt KOMPAS war laut Antrag für eine Laufzeit von 2 Jahren und 8 Monaten mit Projektstart 01.08.1999 konzipiert. Die Projektplanung erfolgte in enger Abstimmung mit dem parallel beantragten Projekt intermobil Region Dresden. Die etwas verspätete Bewilligung ermöglichte schließlich den Projektstart zum 01.11.1999. Dies hatte gleichzeitig zur Folge, dass die Projektlaufzeit um 3 Monate reduziert wurde, um die erforderliche Synchronisation mit intermobil Region Dresden nicht zu gefährden.

Während der Laufzeit wurde das Projekt KOMPAS zweimal kostenneutral verlängert. Dies war die Reaktion auf einerseits zusätzlich zu erbringende Leistungen, wie z. B. fahrzeugseitige Bahnsteigüberwachung, und andererseits stärkere praktische Ausrichtung des Projektes, was umfangreichere Messkampagnen und Tests erforderlich machte. Die ursprüngliche Bindung des Projektes an das Projekt intermobil Region Dresden wurde während der Laufzeit aufgehoben, als entschieden war, dass der geplante Gesamtsystemdemonstrator einer automatischen S-Bahn nicht in Dresden aufgebaut werden würde.

Das Projekt umfasst inhaltlich seitens des FhG/IVI die Arbeitspakete

- ? Hinderniserkennung entwickeln und
- ? Bahnsteigsicherung entwickeln.

Die zur Erfüllung der Aufgabenstellung der beiden Arbeitspakete erforderlichen Arbeiten untergliedern sich in Anlehnung an den Projektantrag jeweils in die nachfolgend aufgeführten Arbeitsschritte zur Systementwicklung:

- ? Analyse des aktuellen Entwicklungsstandes auf den Gebieten automatisches Fahren, Gefahrraumüberwachung, Sensorik und Bildverarbeitung,
- ? Spezifikation von Anforderungen, Systemkomponenten und Schnittstellen in Form von Lastenheften,
- ? Entwurf von Systemkonzepten und Systemarchitekturen einschließlich interner und externer Schnittstellen für die zu entwickelnden Systeme,
- ? Beschaffung und Anpassung von verfügbaren Basiskomponenten,
- ? Implementation von Systemen und Komponenten zur automatischen Bereichsüberwachung und Objekterkennung,
- ? Integration der implementierten Systeme zu einem Gesamtsystem für Testzwecke,
- ? Einbettung der Testsysteme in das technische und betriebliche Umfeld des Bahnbetriebes,
- ? Beschaffung von Installations- und Betriebsgenehmigungen,
- ? Installation der Systeme im Triebfahrzeug oder am Bahnsteig,
- ? Betrieb und Wartung der installierten Anlagen,
- ? Durchführung von begleitenden Einzel- und Dauermesskampagnen zur systematischen Aufzeichnung von Sensordaten in unterschiedlichen Situationen,
- ? Verbesserung, Abstimmung, Einstellung und Weiterentwicklung der zugrundeliegenden Verfahren,
- ? Praktische Tests und Erprobungen der entwickelten Systeme unter ausgewählten gestellten sowie unter generellen alltäglichen Bedingungen,
- ? Speicherung und Protokollierung aller Daten zum Betrieb und Test der Anlagen,
- ? Erstellung von Abnahmeprozeduren zur Erprobung und Beurteilung der zu entwickelnden Verfahren,
- ? Bewertung der entwickelten Systeme hinsichtlich Sicherheit, Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Wartbarkeit und Kosten, sowie
- ? Erstellung von Dokumentationen und Berichten.

Die aufgeführten Entwicklungsarbeiten sind für jedes Arbeitspaket zeitlich in verschiedenen aufeinanderfolgenden Phasen organisiert. Die Phasen werden jeweils durch einen Meilenstein abgeschlossen.

Die Meilensteine des Projektes sind:

- ? Technische Konzeption,
- ? Prototyp,
- ? Erprobung sowie
- ? Projektabschluss.

Zu den ersten drei Meilensteinen existieren für jedes der beiden Arbeitspakete jeweils ein Bericht. Die Berichte sind im Anlagenteil enthalten. Zu Projektabschluss fasst ein Abschlussbericht alle durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse zusammen.

1.4 Wissenschaftlich-technischer Stand an dem angeknüpft wurde

1.4.1 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren, Schutzrechte

Ausgangspunkt des Projektes war der technische Entwicklungsstand auf den Gebieten Kameratechnik, Sensorik, Bildverarbeitung und Sensordatenverarbeitung sowie deren verkehrliche

Anwendung in fahrzeug- und streckenseitigen Systemen. Dabei kann unterschieden werden zwischen mobilen Anlagen zur Fahrspur- und Hinderniserkennung im Automotive-Bereich, traditionellen videobasierten Gebäude- oder Objektüberwachungsanlagen sowie stationären Anlagen zur Bahnsteig- und Bahnübergangsüberwachung im Schienenverkehr.

Bei den im Projekt durchgeführten Arbeiten zur Hinderniserkennung Fahrweg konnte auf die langjährigen Erfahrungen mit theoretischen und experimentellen Untersuchungen zur Hindernisdetektion im Straßenverkehr aufgebaut werden. Teilweise haben die dort entwickelten Systeme bereits Serienreife erreicht, wie im Falle von Spurhalte- und Abstandhaltesystemen im Automotive-Bereich. Die Systeme arbeiten auf der Basis von Videokameras, Radargeräten oder Laser-Scannern mit zugehörigen hardware- und softwaremäßig realisierten Auswerteeinheiten. Sie sind vorwiegend als Assistenzsysteme ausgelegt. Somit überwiegen optische, akustische und haptische Ausgaben als Warnungen an den Fahrer neben aktiven Eingriffen in die Längs- und Querführung des Fahrzeuges. Diese Konzepte und Verfahren müssen auf die Schienenverkehrsproblematik angepasst bzw. für sie geeignet weiterentwickelt oder ergänzt werden. Im Eisenbahnbereich selbst existieren derartige Systeme weder im Assistenz noch im Automatikbetrieb.

Als Grundlage für Arbeiten zu Bahnsteigsicherungssystemen konnten zwei Kategorien von Überwachungssystemen dienen, die gegenwärtig verfügbar sind und für die mehrjährige Erfahrungen und Anwendungsergebnisse vorliegen. Dies sind zum einen videobasierte Überwachungssysteme, wie sie für die Sicherung von Gebäuden, Anlagen und anderen Objekten zum Einsatz kommen. Im Rahmen von Forschungsprojekten wurden diese auch im U-Bahn-Bereich getestet, erwiesen sich jedoch als nicht ausreichend. Andererseits existieren Systeme zur Bahnsteiggleisüberwachung, die auf anderen technischen Verfahren aufbauen, wie z. B. mechanisch arbeitende Trittmatten, optisch arbeitende Lichtschranken oder optisch-mechanisch arbeitende Laser-Scanner. Für Laser-Scanner wurden im U-Bahn-Bereich ebenfalls Tests im Rahmen von Forschungsprojekten durchgeführt. Dagegen existieren für Trittmatten und Lichtschranken bereits für U-Bahnen im Einsatz befindliche Systeme. Alle verfügbaren Systeme zeichnen sich dadurch aus, dass sie hinsichtlich Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit Schwachstellen besitzen und die Kosten für Installation und Wartung sehr hoch sind. Für den Eisenbahnbereich hingegen fehlen im praktischen Einsatz befindliche Systeme. Auch die für Bahnübergänge entwickelten meist auf Radarbasis arbeitenden Überwachungsanlagen erwiesen sich als nicht unmittelbar auf die Problematik der Bahnsteigsicherung übertragbar.

1.4.2 Angabe verwendeter Fachliteratur, Informations- und Dokumentationsdienste

Sowohl im Vorfeld als auch während der Bearbeitung des Projektes wurde der aktuelle Entwicklungsstand auf dem Gebiet der stationären und mobilen Hindernis- oder Objekterkennung recherchiert und verfolgt. Dabei wurden vor allen Dingen Fachzeitschriften und Fachtagungen berücksichtigt. Einige wichtige Artikel sind im Literaturverzeichnis mit [1] bis [30] angegeben.

Die Recherchen lieferten wertvolle Hinweise, die sich positiv auf den Projektfortschritt, insbesondere im Hinblick auf die verwendeten Verfahren und Algorithmen, auswirkten. Gleichzeitig zeigte sich jedoch, dass keine umfassende praktikable Lösung für eines der anstehenden Probleme existiert.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im gesamten Vorhaben KOMPAS war die Bearbeitung von Themen aus unterschiedlichen Aufgabengebieten erforderlich. Dazu zählten allgemeine rechtliche und sicherheitstechnische

Grundlagen des automatisierten Fahrens, Leit- und Sicherungstechnik, Steuerungstechnik, Sensorik, Bildverarbeitung, Objekterkennung sowie Übertragungstechnik für Audio- und Videodaten. Es bedurfte daher der Einbeziehung kompetenter Partner aus Forschung und Industrie, die über das geeignete Know-how in den genannten Gebieten verfügen.

Folgende Kooperationspartner wirkten im Vorhaben mit:

- ✂ Alcatel SEL AG Stuttgart,
- ✂ DaimlerChrysler AG, Forschungszentrum Ulm,
- ✂ Deutsche Bahn AG, Forschungs- und Technologiezentrum (FTZ) München,
- ✂ Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI Dresden,
- ✂ s.m.s. smart microwave sensors GmbH Braunschweig,
- ✂ TU Hamburg-Harburg und
- ✂ Vitronic Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH Wiesbaden.

Bei der Spezifikation der Aufgabenstellung und Systemanforderungen sowie der Erstellung der Lastenhefte für das System zur Hinderniserkennung Fahrweg wurde intensiv mit dem FTZ München der DB AG, ALCATEL SEL AG Stuttgart sowie allen übrigen im Projekt verbundenen Partnern zusammengearbeitet. Die gleichen Voraussetzungen für das System zur stationären Bahnsteigsicherung wurden in Zusammenarbeit mit dem FTZ München der DB AG und ALCATEL SEL AG Stuttgart geschaffen.

Die Arbeiten zu den beiden am FhG/IVI entwickelten Systeme zur Hinderniserkennung Fahrweg und zur stationären Bahnsteigsicherung wurden ausschließlich am FhG/IVI Dresden selbst durchgeführt. Die Auswahl der Hardware und gerätetechnischen Komponenten erfolgte auf der Basis von Diskussionen mit und Angeboten von unterschiedlichen Firmen, insbesondere Firmen, die Kameras, Sensoren oder Computerkomponenten anbieten (z. B. Fa. Plettac Fürth / Leipzig). Die Software-Entwicklung erfolgte aufsetzend auf entsprechender Basissoftware am FhG/IVI Dresden.

Bei Fragen der bahntechnischen Realisierung und Integration wurde das FhG/IVI von unterschiedlichen Einrichtungen der DB AG, der BVG Berlin und der VAG Nürnberg unterstützt und beraten. Auf Bahnseite seien insbesondere das FTZ München und die DB-Regio Dresden genannt.

Die Erprobung der mobilen und stationären Anlagen erfolgte in Zusammenarbeit mit dem FTZ München, der DB Regio Dresden sowie der BVG Berlin. Es erfolgten zeitweise und permanente Installationen in Testfahrzeugen, Regelfahrzeugen und an Bahnsteigen.

Parallel zu den eigenen Entwicklungsarbeiten und unabhängig von diesen erfolgten Systementwicklungen zur Hinderniserkennung Fahrweg durch weitere Partner im Projekt KOMPAS.

2 Eingehende / umfassende Darstellung

2.1 der durchgeführten Arbeiten

Die Arbeiten des FhG/IVI untergliedern sich in die Arbeitspakete Hinderniserkennung und Bahnsteigsicherung. Für jedes dieser Arbeitspakete wurden eine technische Konzeption entworfen, ein Prototypsystem entwickelt und die Systemerprobung durchgeführt. Diese drei Projektbestandteile bauen inhaltlich und zeitlich jeweils aufeinander auf. In einigen Fällen war es jedoch erforderlich, aufgrund sich ändernder Anforderungen und Möglichkeiten von den erstellten Konzepten abzuweichen oder andere Komponenten einzusetzen.

Damit ergeben sich sechs Projektbestandteile, die nachfolgend im Überblick dargestellt werden. Eine ausführliche Beschreibung der durchgeführten Arbeiten befindet sich in den jeweils angegebenen Anlagen.

Technische Konzeption Hinderniserkennung:

Die durchgeführten Arbeiten zur technischen Konzeption Hinderniserkennung [Anlage 1] umfassen die folgenden Schritte:

- ? Spezifikation von Anforderungen, Systemkomponenten und Schnittstellen in Form von Lastenheften,
- ? Durchführung von begleitenden Einzelmesskampagnen zur systematischen Aufzeichnung von Sensordaten in unterschiedlichen Situationen,
- ? Entwicklung erster Algorithmen zur automatischen Hinderniserkennung sowie
- ? Entwurf eines Systemkonzeptes für die Hinderniserkennung mit Hardwarekomponenten, Softwarekomponenten und deren Interfaces.

Die Spezifikation der Anforderungen, Systemkomponenten und Schnittstellen erfolgte im Rahmen der Erstellung der Lastenhefte Hinderniserkennung Fahrweg und Schnittstelle HiErk Rechner – AF-M Rechner.

Es wurden erste Einzelmesskampagnen auf einem Testfahrzeug des DB AG FTZ München und auf Triebfahrzeugen der DB-Regio Dresden durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Witterungsbedingungen, Lichtverhältnisse sowie bestimmte gestellte Situationen mit Hindernissen und Personen berücksichtigt. Die aufgezeichneten Videodaten wurden archiviert und dienten als Szenarienhintergrund für die Entwicklung des Konzeptes, die Implementation von Systemkomponenten sowie zum Nachweis deren Funktionalität.

Die Entwicklung der Verfahren zur Hinderniserkennung wurde so weit vorangetrieben, dass die prinzipielle Funktionsfähigkeit erkennbar wurde. Sie umfassten die Schienenerkennung und die Hinderniserkennung mit einer Kamera. Ein aufgebautes Labormuster der Hinderniserkennungsanlage diente dabei als technische Basis.

Die in der ersten Phase durchgeführten Arbeiten mündeten in einem technischen Systemkonzept als vorläufiges Hauptergebnis. Der entscheidende Nutzen des Systemkonzeptes bestand in der Schaffung der Grundlagen für die systematische Implementation des zu entwickelnden Hinderniserkennungssystems für den im Projekt vorgesehenen Anwendungsfall. Gleichzeitig konnten die erzielten Ergebnisse und Erfahrungen verwendet werden für Rückwirkungen auf einzelne Bestandteile der zugrundeliegenden Lastenhefte.

Letztlich musste die Hinderniserkennung Fahrweg eng mit dem Konzept des Arbeitspaketes Videoüberwacher Fahrbetrieb (AP 350) abgestimmt werden. Dazu sollte einerseits die funktionale Kooperation, andererseits aber auch die Schaffung von Redundanz von Komponenten beider Systeme angestrebt werden.

Technische Konzeption Bahnsteigsicherung:

Die durchgeführten Arbeiten zur technischen Konzeption Bahnsteigsicherung [Anlage 2] umfassen die folgenden Schritte:

- ? Spezifikation von Anforderungen, Systemkomponenten und Schnittstellen in Form von Lastenheften,
- ? Durchführung von begleitenden Einzelmesskampagnen zur systematischen Aufzeichnung von Sensordaten in unterschiedlichen Situationen,
- ? Entwicklung erster Algorithmen zur automatischen Bahnsteigsicherung sowie

- ? Entwurf eines Systemkonzeptes für die Bahnsteigsicherung mit Hardwarekomponenten, Softwarekomponenten und deren Interfaces.

Die Spezifikation der Anforderungen, Systemkomponenten und Schnittstellen wurde im Rahmen der Erstellung des Lastenheftes zur stationären Bahnsteigsicherung durchgeführt.

Es wurden mehrere Einzelmesskampagnen auf Bahnsteigen im S-Bahn- und Fernbahnbereich Dresden durchgeführt. Dabei wurden unterschiedliche Witterungsbedingungen, Lichtverhältnisse sowie bestimmte gestellte Situationen mit Hindernissen und Personen berücksichtigt. Die aufgezeichneten Videodaten wurden archiviert und dienten als Szenarienhintergrund für die Entwicklung des Konzeptes und die Implementation von Systemkomponenten.

Ein vergleichbares Labormuster der Anlage zur Bahnsteigsicherung wurde auf dem Institutsgelände des FhG/IVI installiert und diente der Durchführung von Tests mit häufiger erforderlichen technischen Veränderungen.

Die Entwicklung der Verfahren zur Hinderniserkennung wurde so weit vorangetrieben, dass die prinzipielle Funktionsfähigkeit gezeigt werden konnte. Sie umfasste die Festlegung des zu überwachenden Raumes, die Erkennung von Hindernissen und die Ausblendung von Zügen mit einer Kamera.

Die durchgeführten Arbeiten mündeten in einem technischen Systemkonzept als Hauptergebnis. Der entscheidende Nutzen des entwickelten Systemkonzeptes bestand in der Schaffung der Grundlagen für die Implementation des zu entwickelnden Bahnsteigsicherungssystems für den im Projekt vorgesehenen Anwendungsfall. Gleichzeitig konnten die erzielten Ergebnisse und Erfahrungen verwendet werden für Rückwirkungen auf einzelne Bestandteile der zugrundeliegenden Lastenhefte.

Auch die Bahnsteigsicherung sollte in ein Konzept zur Fernbeobachtung eingebunden sein. Somit ergaben sich Querbezüge auch zum Arbeitspaket Videoüberwacher Fahrbetrieb (AP 350).

Prototyp Hinderniserkennung:

Die durchgeführten Arbeiten zur Erstellung des Prototyps Hinderniserkennung [Anlage 3] umfassen folgende Schritte:

- ? Beschaffung und Integration von Sensor- und Rechentechnik,
- ? Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Hinderniserkennung,
- ? Entwicklung einer automatischen Schienenerkennung,
- ? Fusion der einzelnen Datenquellen,
- ? Kommunikation mit dem Fahrzeugrechner und
- ? Aufbau des Prototypsystems.

Mit dem Prototypsystem zur Hinderniserkennung sollte die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems nachgewiesen werden. Das System besteht auf Sensorseite aus zwei Stereokameras für den Nahbereich, einer Fernkamera und einem Infrarotradar. Diese sind mit zwei Hinderniserkennungsrechnern verbunden, die wiederum über eine externe CAN-Bus-Schnittstelle zur Entgegennahme von Daten sowie zum Absetzen von Meldungen mit einem Fahrzeugrechner kommunizieren. Das System erkennt automatisch den Gleisverlauf vor dem Fahrzeug und detektiert Hindernisse im Lichtraumprofil. Hierfür werden Algorithmen zur Videoverarbeitung genutzt wie:

- ? Schienenerkennung,
- ? Stereobildverarbeitung,
- ? Kantenelementanalyse,

- ? Varianzanalyse,
- ? Texturanalyse und
- ? Bewegungsanalyse.

Alle Ergebnisse der Kameradatenverarbeitung und die Infrarotradardaten werden einer Datenfusion zugeführt. Über die definierte CAN-Bus-Schnittstelle werden die fusionierten Hindernismeldungen an den Fahrzeugrechner gesendet. Gleichzeitig erhält der Hinderniserkennungrechner Gleis-, Infrastruktur- und Fahrzeugdaten vom Fahrzeugrechner zur Unterstützung der Schienen- und Hinderniserkennung.

Prototyp Bahnsteigsicherung:

Die durchgeführten Arbeiten zur Erstellung des Prototyps Bahnsteigsicherung [Anlage 4] umfassen die folgenden Schritte:

- ? Beschaffung von Sensor- und Rechentechnik,
- ? Konfiguration der Sensor- und Verarbeitungseinheiten,
- ? Übertragungseinrichtungen zwischen Sensorik und Verarbeitung,
- ? Anpassung der standardisierten Kommunikationssysteme,
- ? Entwicklung eines Verfahrens zur automatischen Objekt- und Situationserkennung im Bahnsteigbereich,
- ? Implementation der Software-Module,
- ? Schaffung der technischen und organisatorischen Voraussetzungen für eine Installation und
- ? Installation der experimentellen Versuchsträger.

Als Kerntechnologie wird bei der Bahnsteigsicherungsanlage Videosensorik mit zugehöriger Auswerte- und Verarbeitungstechnik eingesetzt. Die installierte Kameratechnik wird jeweils paarweise für einen Überwachungsbereich angewendet, um neben Mono-Verfahren auch elementare Stereo-Verfahren zur Bildauswertung verwenden zu können sowie aus Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsgründen. Die Anlage besteht aus technischen Komponenten, die den aktuellen Stand der Technik widerspiegeln. Dies bezieht sich im Detail auf die Sensorik (Kameratechnik), die Verarbeitung (Rechentechnik) und die Kommunikation (Funk-LAN). Das System erkennt automatisch Objekte im Bahnsteiggleisbereich, im Bahnsteigkantenbereich, im Eindringbereich sowie auf dem restlichen einsehbaren Bahnsteig. Hierfür werden Algorithmen zur Videoverarbeitung genutzt wie:

- ? Festlegung der Überwachungsbereiche,
- ? Bildvorverarbeitung und Bildstabilisierung,
- ? Bewegungs- und Referenzbildanalyse,
- ? Stereobildverarbeitung,
- ? Segmentierung und Objektidentifikation,
- ? Zug- und Hinderniserkennung und
- ? Bilddiagnose.

Als ein wesentliches Ergebnis dieses Meilensteins wird angesehen, dass mit dem erstellten System ein umfangreiches Know-how (Verfahren, Algorithmen, Organisation, Technik, Hardware, Software) vorliegt, derartige prototypische Anlagen aufzubauen und zu betreiben.

Erprobung Hinderniserkennung:

Die durchgeführten Arbeiten zur Erprobung der Hinderniserkennung [Anlage 5] umfassen die folgenden Schritte:

- ? Festlegung von Rahmenbedingungen für Prüfscenarien,
- ? Planung der Messkampagnen,
- ? Durchführung von Einzel- und Dauermesskampagnen,
- ? Aufnahme von Beispielszenen zur Weiterentwicklung,
- ? Analyse der Detektionsergebnisse und
- ? Bewertung des Systems.

In den Lastenheften Hinderniserkennung Fahrweg und Schnittstelle Hinderniserkennungsrechner – Fahrzeugrechner sind Anforderungen an das Prototypsystem spezifiziert. In der Erprobung wurde das entwickelte Prototypsystem auf die in den Lastenheften festgelegten Eigenschaften und Parameter getestet und bewertet.

Das entwickelte Prototypsystem zur Hinderniserkennung wurde in verschiedenen Messkampagnen erprobt. Während der Messkampagnen wurden Sequenzen aufgezeichnet, die zur Weiterentwicklung im Labor dienen. Im September 2002 erfolgte im Rahmen einer Messkampagne eine Präsentation der Detektionsleistung. Bei den durchgeführten Einzeltests wurde das System in einem Testfahrzeug der DB AG installiert und es wurden Fahrten auf regulären und abgesperrten Strecken durchgeführt. Fahrten auf regulären Strecken dienen der Aufzeichnung von Videoszenen mit realer Situationsvielfalt. Die Fahrten auf abgesperrten Strecken erlaubten es, kritische Situationen vor dem Fahrzeug nachzubilden.

Parallel dazu erfolgte die Installation einer Dauererprobungsanlage des Prototyps Hinderniserkennung in einem im Regelbetrieb verkehrenden Steuerwagen der DB Regio Dresden.

Die Ergebnisse der Erprobung waren entscheidend für die Entwicklung und Optimierung des Prototypsystems Hinderniserkennung und für dessen Bewertung.

Erprobung Bahnsteigsicherung:

Die durchgeführten Arbeiten zur Erprobung der Bahnsteigsicherung [Anlage 6] umfassen die folgenden Arbeitsschritte:

- ? Festlegung von Rahmenbedingungen für Prüfscenarien,
- ? Wahl für Einsatzbedingungen der praktischen Versuchsträger,
- ? Gestaltung von Art und Weise der durchzuführenden Messkampagnen,
- ? Durchführung von permanenten und situationsbedingten Untersuchungen,
- ? Erfassung und Archivierung der Messdaten,
- ? Festlegung von repräsentativen Umgebungsbedingungen und
- ? Analyse und Bewertung der Messdaten.

Da kritische Situationen im normalen Betriebsablauf äußerst selten auftreten, wurden für die praktischen Untersuchungen zwei Methoden angewendet. Zum einen wurden permanente Untersuchungen durchgeführt, die alle auftretenden Ereignisse erfassen und protokollieren. Dabei wurden zyklisch und ereignisgesteuert Systemdaten, Detektionsergebnisse und Vergleichsbilder protokolliert für eine spätere manuelle Auswertung.

Die zweite Methode sind situationsbedingte Untersuchungen. Dabei wurde versucht, modellhaft mittels entsprechender Prüfkörper und Personen kritische Situationen nachzustellen, um das System auf korrekte Funktion und Arbeitsweise in diesen Fällen zu prüfen. Eine Situation

mit hoher Kritikalität stellt eine Gleisbeanspruchung in Kombination mit einer Zugeinfahrt dar.

Lastenhefte:

Die beschriebenen durchgeführten Entwicklungsarbeiten sind vorwiegend technischer und technologischer Natur. Sie bauen jedoch auf den Arbeiten zu den Lastenheften Hinderniserkennung Fahrweg [LHAF2] und stationäre Bahnsteigsicherung [LHAF3] auf. Diese legen die Anforderungen an die zu entwickelnden Systeme und die Systemreaktionen beim Auftritt von Hindernissen fest. Die Integration der entwickelten Systeme in ein Gesamtsystem zum automatischen Fahren wird in einem Rahmenlastenheft [RLHAF] dargestellt. Die für die Integration erforderlichen Schnittstellen zu den jeweils verantwortlichen Steuerrechnern sind in den Lastenheften [LHAF5] und [LHAF6] beschrieben.

Die genannten Lastenhefte wurden im Projekt KOMPAS parallel zu den eigentlichen Entwicklungsarbeiten erstellt. Mit Ausnahme des Rahmenlastenheftes war das FhG/IVI Dresden maßgeblich an deren Erstellung beteiligt.

Generell mussten für alle Arbeiten und Entwicklungen die geltenden Verordnungen, Vorschriften und Richtlinien beachtet werden. Dazu zählen vor allem die für den Eisenbahnbetrieb geltende EBO. Des Weiteren wurde in Ermangelung entsprechender Dokumente für den automatischen Eisenbahnbetrieb auf Verordnungen und Richtlinien, die für den Betrieb von U-Bahnen und Straßenbahnen entworfen wurden, zurückgegriffen. Dazu gehören die BOStrab und die VDV399.

2.2 der erzielten Ergebnisse

Im Projekt KOMPAS wurden mit der Zielstellung des Einsatzes unter den Bedingungen des automatischen Zugbetriebes Komponenten zur mobilen Hinderniserkennung und zur stationären Bahnsteigsicherung entwickelt. Beide Systeme wurden konzipiert, implementiert und getestet. Im Ergebnis liegen prinzipiell funktionsfähige Prototypen vor, mit denen der Nachweis erbracht wurde, dass die Aufgaben der Fahrwegüberwachung im Schienenverkehr einem technischen System übertragen werden können.

Dabei wurden neben Fragen der Erkennungsleistung der Systeme auch ansatzweise Problemstellungen der technischen Umsetzung im Fahrzeug und am Bahnsteig, der Berücksichtigung bahnspezifischer und betrieblicher Randbedingungen, der Alltagstauglichkeit und der Kosten berücksichtigt.

Das Hinderniserkennungssystem liegt als Konzept und als Prototyp mit Hardware und Software vor. Das Prototypensystem ist komplett aus handelsüblichen Hardware-Komponenten aufgebaut. Es kommt keine Spezielsensorik oder Auswertetechnik zum Einsatz. Hieraus ergibt sich ein Gesamtsystem, dessen Hardwarekosten sich nur aus zwei PC-Systemen zur Auswertung, drei Videokameras und einem Infrarotradar aus der Automobiltechnik zusammensetzen. Die Technik der Hinderniserkennung basiert somit nicht auf speziellen Geräten, sondern besteht zum Hauptteil aus in Algorithmen bzw. Programmen umgesetzten Verfahren. Damit ergeben sich eine Reihe von Vorteilen gegenüber anderen Systemen. Ein Austausch von Sensoren gegen Typen mit besserer Leistungsfähigkeit ist ohne Probleme möglich. Auch besteht keine Abhängigkeit von einem einzelnen Hardwarelieferanten oder -hersteller. Dies bringt Flexibilität in das System und ermöglicht die ständige Verbesserung der Leistung ohne aufwendige Neuentwicklung. Das Hinderniserkennungssystem profitiert damit direkt von aktuellen Entwicklungen der Kamera-, Sensor- und Rechentechnik. Eine hiermit einherge-

hende Reduzierung des Preises wirkt sich ohne zusätzlichen Aufwand direkt auf die Gesamtkosten aus.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil des entwickelten Systems besteht in der problemlosen Kombinierbarkeit mit Systemen zur videobasierten Fernbeobachtung und damit zum videobasierten Fahren.

Die Messkampagnen haben gezeigt, dass das Hinderniserkennungssystem bis zu einer Entfernung von 250 Metern eine Objektdetektion erlaubt. Dabei wurden Objekte mit einer sichtbaren Fläche von mindestens 0,4 m x 1,0 m verwendet. Einzelne Objekte mit hohem Kontrast zur Umgebung, wie zum Beispiel Gleisarbeiter mit Warnweste, oder größere Objekte wurden bis auf 300 Meter Entfernung erkannt. Voraussetzung ist, dass die Sichtbarkeit des Schienenverlaufes vor dem Zug nicht durch Kurven, Lichtverhältnisse oder Witterung eingeschränkt ist. In diesen Fällen reduziert sich die Erkennungsweite. Liegt die Geometrie des Streckenverlaufes vor dem Zug dem System in Form von Gleisdaten und Positionsdaten vor, so kann das Infrarotradar auch bei Nacht ohne Scheinwerfer Objekte detektieren.

In Dauermesskampagnen auf der S-Bahnstrecke Pirna-Dresden-Meißen soll nach Abschluss des Projektes das Verhalten des Hinderniserkennungssystems unter Regelbetriebsbedingungen erprobt werden. Durch diese Tests werden Aussagen zum Langzeitverhalten des Systems möglich, insbesondere werden gesicherte Aussagen zu den Wahrscheinlichkeiten von „falsch positiven“ und „falsch negativen“ Systemreaktionen erwartet, die für die Eigenschaften Sicherheit und Zuverlässigkeit eines späteren Systems von entscheidender Bedeutung sind.

Das System zur Bahnsteigsicherung liegt ebenfalls als Konzept und Prototyp vor bestehend aus Hardware und Software. Ein über der Bahnsteigkante angebrachtes Kamerapaar liefert Videodaten eines Bahnsteigsegmentes an einen Rechner, auf dem die Auswerteprogramme laufen. Die Auswerteprogramme verwenden Bildverarbeitungsverfahren, um kritische Situationen zu detektieren und Meldungen zur weiteren Behandlung an einer externen Schnittstelle abzulegen. In Abhängigkeit von Länge und Krümmung eines Bahnsteiges sind mehrere Überwachungssegmente entlang des Bahnsteiges erforderlich. Jeweils ein derartiger Prototyp wurde an einem offenen und einem geschlossenen Bahnsteig installiert - am Haltepunkt Dresden Strehlen und am Bahnhof Berlin Tierpark. Eine Anlage im U-Bahn-Bereich Nürnberg befindet sich im Aufbau. Die Systeme bestehen hardwaremäßig ausschließlich aus kommerziell verfügbaren Komponenten.

Die Ergebnisse der exemplarischen Tests und der Langzeituntersuchungen an den beiden Anlagen haben gezeigt, dass kritische Objekte bzw. Situationen in den relevanten Überwachungsbereichen, insbesondere im Gleisbereich und an der Bahnsteigkante, erkannt werden können. Ein Systemmodul mit einem Kamerapaar überwacht in der Regel sicher einen Bereich von 50 m entlang der Bahnsteigkante. Dabei werden Objekte ab 40 cm Durchmesser sichtbarer Fläche erkannt. Die Erkennung kleinerer Objekte ist ebenfalls möglich. Die entscheidende Aufgabe ist, diejenigen Fehldetektionen, bei denen Meldungen abgesetzt werden, obwohl keine Hindernisse vorliegen, so gering wie möglich zu halten. Die Fehldetektionsrate wird wesentlich von den Lichtverhältnissen am Bahnsteig bestimmt. Die modellhaft gestellten kritischen Szenen, welche zunächst noch keine statistische Analyse zulassen, demonstrierten die Erkennungsleistung des Systems bezüglich der Detektion bewegter und fester Objekte sowie der Objektpräsentation in Kombination mit einer Zugannäherung.

2.3 des voraussichtlichen Nutzens und der Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten lieferten wichtige Erkenntnisse für den Aufbau und die weitere Gestaltung von Systemen zur Fahrweg- und Bahnsteigüberwachung von Schienenfahrzeugen mit Ausrichtung auf den automatisierten Schienenverkehr.

Die entwickelten Prototypen können in einem Folgeprojekt KOMPAS II als Basistechnologie zum Aufbau von Demonstratorsystemen für einen automatischen Fahrbetrieb und zur weiteren Optimierung und Anpassung der Überwachungssysteme selbst verwendet werden. Offene Kriterien sind die Gesamtsystemintegration, die betriebliche Einbindung, die Alltagstauglichkeit, das weitere Verbessern der Detektionsleistung, die Optimierung der Systeme sowie das Erreichen und der Nachweis der erforderlichen Sicherheit, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wartbarkeit.

Unabhängig vom Fernziel automatisches Fahren ergeben sich mittelfristige Einsatzmöglichkeiten für die entwickelten Systeme bei der Unterstützung und Assistenz existierender manueller Betriebsformen im schienengebundenen Verkehr. Hier sind die notwendigen Kriterien leichter zu erreichen, da der Mensch noch in das System einbezogen ist. Ähnliches gilt für einen Einsatz unter restriktiveren Randbedingungen, wie z. B. geringerer Geschwindigkeit und damit erforderlicher geringerer Erkennungsweite.

Interessante Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich auch aus der Kombination automatischer Erkennungs- und Überwachungsverfahren mit manuellen Fernbeobachtungs- und Fernsteuerungssystemen.

Während der Arbeit am Projekt sind unabhängig vom Anwendungsfall Hardware- und Softwarekomponenten konfiguriert bzw. entwickelt worden, die auch für andere ähnlich gelagerte Anwendungsgebiete zum Einsatz kommen können. Dies betrifft den Automotive-Bereich, Straßenverkehrsüberwachungsaufgaben sowie generell die Gefahrenraumüberwachung.

Insgesamt kann, vom Standpunkt des FhG/IVI aus gesehen, das Projekt KOMPAS I hinsichtlich der durchgeführten Arbeiten, des erreichten Entwicklungsstandes und der vorliegenden Ergebnisse als Erfolg angesehen werden. Es kommt nun darauf an, einerseits mittelfristig einzelne Komponenten und Verfahren aus den entwickelten Systemen herauszulösen und nutzbringend für spezielle weniger anspruchsvolle Aufgaben im Schienenverkehr einzusetzen und andererseits langfristig das Ziel des automatischen Fahrens unter EBO im Auge zu behalten und als nächsten Schritt einen Demonstrator aufzubauen, der die entwickelten Systeme weiterentwickelt, optimiert, mit anderen Systemen integriert und das entstehende Gesamtsystem über einen längeren Zeitraum hinweg betreibt, an den Anwendungsfall anpasst und einer Gesamtbewertung zugänglich macht.

2.4 des bekannt gewordenen Fortschritts bei anderen Stellen

Spezifisch für das Projekt KOMPAS war, dass Hinderniserkennungssysteme Fahrweg parallel von verschiedenen Projektpartnern entwickelt wurden. Die entwickelten Systeme nutzen unterschiedliche Technologien und Verfahren und besitzen damit unterschiedliche Einsatzanforderungen, Funktionsweisen sowie Vor- und Nachteile. Innerhalb des Konsortiums fand auf den Konsortialversammlungen ein gegenseitiger Austausch über den erreichten Entwicklungsstand bei der Hinderniserkennung statt. Aufgrund der vorliegenden Informationen ist es denkbar, dass in Abhängigkeit von konkreten Einsatzbedingungen und –anforderungen für zukünftige Anwendungen unterschiedliche Verfahren einsetzbar sind oder sich eine Kombination aus diesen als sinnvoll erweist.

Zum Ende der Projektlaufzeit wurden weiterhin Systeme bekannt, die Lösungen für ähnlich gelagerte Problemstellungen mit anderen Technologien anbieten - sowohl im Hinderniserkennungs- als auch im Bahnsteigsicherungsbereich. So entwickelte Siemens das System Cargo-Mover mit einer Hinderniserkennung, die für den Güterverkehr auf Werksgeländen und Anschlussgleisen und damit für geringe Entfernungen und Geschwindigkeiten konzipiert wurde. Ein auf Radar-Basis arbeitendes System zur Bahnsteigsicherung wurde von Honeywell vorgestellt, das ähnlich zu dem auf Lichtschranken basierenden Verfahren für die Sicherung von Bahnsteiggleisen im U-Bahn-Bereich einsetzbar ist. Praktische Leistungsfähigkeit und Erpro-

bungsergebnisse dieser Systeme sind nicht bekannt. Beide Systeme sind jedoch für den in KOMPAS anvisierten Einsatzfall aus unterschiedlichen Gründen nicht anwendbar.

Durchgeführte Patentrecherchen haben ergeben, dass für Hinderniserkennung und Bahnsteigsicherung bereits Patente angemeldet sind, die sich jedoch von den im Projekt entwickelten Verfahren und Anlagen funktionell und strukturell unterscheiden. Es sind keine Informationen über deren Entwicklungs- und Erprobungsstand vorhanden.

Weitere Erkenntnisse über Entwicklungsfortschritte auf den genannten Gebieten liegen nicht vor.

2.5 der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen

Die Ergebnisse der beiden Arbeitspakete Hinderniserkennung und Bahnsteigsicherung des Projektes KOMPAS wurden jeweils in einem IITB-Jahresbericht [OER 3], [OER 4] und auf zwei internationalen Tagung [OER 5], [RUE 1] veröffentlicht. Mehrere kleinere Artikel wurden für Fachzeitschriften geschrieben, wie z. B. [OER 1], [OER 2]. Darüber hinaus wurden die beiden entwickelten Systeme während der Projektlaufzeit jährlich auf verschiedenen nationalen oder internationalen Messen oder Ausstellungen als Exponate präsentiert.

Geplant sind weiterhin eine Veröffentlichung auf dem 10th World Congress and Exhibition on Intelligent Transport Systems and Services sowie ein Exponat für eine Dauerausstellung im Heinz Nixdorf MuseumsForum Paderborn.

Anlage 1

Abschlussbericht KOMPAS

BMBF 19P0041 C

Bericht Technische Konzeption Hinderniserkennung

AP 320



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Zeunerstr. 38
01069 Dresden

Technische Konzeption Hinderniserkennung

Bericht zum Meilenstein #5b
Anlage



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter Schienenverkehr
(KOMPAS), Phase 1



Arbeitspaket 320

Hinderniserkennung entwickeln

Ersteller:

Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme
Dresden
(FhG-IVI)

Förderkennzeichen:

19P 0041C

Stand:

Version 1.0, 19.02.2001

Nachweis des Ausgabestandes					
Stand	Kennzeichen	Ausgabedatum	Name des Erstellers	geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
V. 0.1	K	30.01.2001	W. Oertel	alle	Neuerstellung
V.1.0	E	19.02.2001	W. Oertel	alle	Neuformatierung

K = Konzept

E = Entwurf

F = eingeführtes Lastenheft

Zeilen mit Textberichtigung gegenüber dem vorherigen Ausgabestand sind am Rand durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet.

Dieses technische Konzept ist abgestimmt mit:

Deutsche Bahn AG, Forschungs- und Technologiezentrum München (teilweise)

Vermerke des EBA:

Impressum

Geschäftsführende Stelle:

Fraunhofer Institut
Verkehrs- und Infrastruktursysteme
FAS
Fahrzeugführungs- / Fahrerassistenzsysteme

Fachautor:

Wolfgang Oertel
Zeunerstr. 38
01069 Dresden
Telefon: (0 351) 46 40 - 680
Fax: (0 351) 46 40 - 803
E-Mail: oertel@ivi.fhg.de

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 EINLEITUNG	8
1.1 Geltungsbereich	8
1.2 Grundsätzliches	8
2 ANFORDERUNGEN UND SPEZIFIKATION	9
2.1 Systemanforderungen	9
2.2 Verfügbare Technologien	9
2.3 Systemspezifikation	9
3 TECHNISCHE BESCHREIBUNG	10
3.1 Gesamtsystem	10
3.1.1 Systemkonzept	10
3.1.2 Montage / Anordnung	12
3.1.3 Funktionsweise	13
3.2 Technik und Verfahren	15
3.2.1 Sensoren	16
3.2.2 Auswerteeinrichtungen	18
3.2.3 Vernetzung und Schnittstellen	19
3.2.4 Software	19
3.3 Installation, Betrieb und Wartung	22
3.4 Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit	22
4 ARBEITSSCHRITTE	24
5 VORLIEGENDE PRAKTISCHE ERGEBNISSE	24
6 ERFÜLLUNG DER SYSTEMANFORDERUNGEN	26
7 WEITERE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN	26
8 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	26

Anlagenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

AF-M Rechner	Fahrzeugrechner für das automatische Fahren
HiErk Rechner	Hinderniserkennungsrechner
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

Literaturverzeichnis

- /1/ Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg, DB AG, FTZ München, 29.06.2000
- /2/ Lastenheft Bahnsteigsicherung, DB AG, FTZ München, 11.12.2000
- /3/ Lastenheft Schnittstelle HiErk Rechner - AF-M Rechner, FhG-IVI Dresden, 12.12.2000
- /4/ W. Enkelmann. Entwicklung von Systemen zur Interpretation von Straßenverkehrsszenen durch Bildfolgenauswertung. Habilitation, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH), Juli 1996. Infix-Verlag, Sankt Augustin, 1997.
- /5/ W. Enkelmann. An Obstacle Detection System for Automatic Trains. WCRR '97, 4th World Congress on Railway Research, Florence, Italy, 16-19 November 1997, Volume C, 411-417.
- /6/ R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, W. Enkelmann. Robust Lane Recognition Embedded in a Real-Time Driver Assistance System. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, Vol. 1, October 28-30, 1998, Stuttgart, Germany, 35-40.
- /7/ R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, N. Möhler, W. Enkelmann. Robuste Fahrspurverfolgung und Bewegungskompensation in einem videobasierten Echtzeitsystem. Autonome Mobile Systeme 1998, 14. Fachgespräch, Karlsruhe, 30.11.-01.12.1998, H. Wörn, R. Dillmann, D. Henrich (Hrsg.), Informatik aktuell, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998, 27-36.
- /8/ D. Willersinn, W. Enkelmann. Robust Obstacle Detection and Tracking by Motion Analysis. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems ITSC'97, Boston/MA, 9-12 November 1997, 717-722.

1 Einleitung

1.1 Geltungsbereich

Der Geltungsbereich des vorliegenden Berichtes erstreckt sich auf das automatische Fahren von Zügen nach EBO im Rahmen des Projektes KOMPAS. Er beschreibt die technische Konzeption eines Systems zur Hinderniserkennung Fahrweg sowie die Vorgehensweise bei dessen Entwicklung und Erprobung. Grundlage ist das im Projekt KOMPAS erstellte Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg in Verbindung mit dem Lastenheft Schnittstelle HiErk Rechner – AF-M Rechner.

1.2 Grundsätzliches

Beim automatischen Fahren von Zügen besteht keine Möglichkeit mehr, den Fahrweg durch Personal im Führerraum beobachten zu lassen. Um das gleiche Sicherheitsniveau (Fahrgast- und Betriebssicherheit) wie beim herkömmlichen Fahren zu erreichen, sind zwingend geeignete Maßnahmen und technische Lösungen als Ersatz zu entwickeln, die eine vorausschauende kontinuierliche Überwachung des Fahrweges und des Lichtraumprofils ermöglichen. Dies umfasst das Fahren auf freier Strecke, das Überqueren von Kreuzungspunkten wie Bahnübergängen sowie das Einfahren in einen Bahnhof.

Das entwickelte Konzept beschreibt ein System zur multisensoriellen Hinderniserkennung aus dem fahrenden Zug heraus, das unter Alltagsbedingungen funktionstüchtig ist. Dabei werden sowohl Abstandsdaten als auch Bewegungsinformationen aus Bildfolgen hochdynamischer Kameras extrahiert und in Kombination mit Fahrzeug- und Streckeninformationen zur Beurteilung der aktuellen Situation verwendet.

2 Anforderungen und Spezifikation

2.1 Systemanforderungen

Aus den zur Hinderniserkennung Fahrweg vorliegenden Lastenheften ergeben sich die nachfolgenden technischen Anforderungen, die die wesentlichen Eigenschaften des zu entwickelnden Systems bestimmen:

- ? Überwachung des Gefahrenraumes vor dem Triebfahrzeug, entsprechend dem Normblickwinkel des Triebfahrzeugführers,
- ? Begrenzung des zu überwachenden Raumes longitudinal bis zu einer dem Betriebsbremsweg des Fahrzeuges entsprechenden Entfernung und lateral bis zur großen Grenzlinie des Lichtraumprofils,
- ? Einschränkung der Sicht bei Kurven, Dunkelheit und schlechter Sicht gemäß dem menschlichen Sehvermögen,
- ? optionale Überwachung der Bahnsteigkante bei Fahrten an Bahnsteigen,
- ? Detektion von Personen und Objekten mit einer Mindestgröße von 0,4 qm dem Triebfahrzeug zugewandter Fläche, die bodenfühlig sind und sich teilweise oder vollständig im zu überwachenden Raum befinden,
- ? Selbstüberwachung und Störungserkennung des Systems,
- ? Kommunikation mit dem Fahrzeugrechner über definierte Schnittstellen,
- ? Einbeziehung von Gleis- und Infrastrukturdaten der Fahrstrecke,
- ? sicheres und zuverlässiges Arbeiten unter Alltagsbedingungen,
- ? Geringer Installations-, Betriebs- und Wartungsaufwand,
- ? verfügbare Dokumentationen und Anleitungen.

Dabei soll ein System entwickelt werden, das insgesamt mindestens über eine gleich hohe Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit verfügt, wie ein menschlicher Triebfahrzeugführer.

2.2 Verfügbare Technologien

Aus gegenwärtiger Sicht stehen folgende Technologien zur Verfügung, die unmittelbar für die Lösung der anstehenden Aufgaben zur Fahrwegüberwachung und Hinderniserkennung eingesetzt werden können:

- ? Kameratechnik,
- ? Radartechnik,
- ? aktive optische Sensorik (Lidar-Technik, Laser-Scanner-Technik, ...).

Diese Technologien besitzen verfahrensinhärente Vor- und Nachteile bezüglich der Erfüllung der aufgezeigten Anforderungen. Im folgenden wird ein Ansatz verfolgt, der eine Technologie auswählt, die die Anforderungen weitestgehend abdeckt. Diese Technologie kann gegebenenfalls durch zusätzliche Technologien ergänzt werden, wenn weitere Forderungen erfüllt werden sollen. Die Zusatztechnologien werden im Rahmen dieses Berichtes nicht ausführlich behandelt, sondern an den entsprechenden Stellen lediglich als mögliche Erweiterungen aufgeführt.

2.3 Systemspezifikation

Die aufgestellten Systemanforderungen dienen unter Berücksichtigung der gegenwärtig verfügbaren Technologien als Grundlage für die Spezifikation eines Systems zur fahrzeugseitigen Fahrwegüberwachung und Hinderniserkennung. Unter den Aspekten der größtmöglichen Abdeckung der Anforderun-

gen und der generellen Orientierung des Systems an den Fähigkeiten des menschlichen Triebfahrzeugführers wird dieameratechnik als die systembestimmende Technologie ausgewählt, wodurch sich eine insgesamt videobasierte Arbeitsweise ergibt.

Für einen kamerabasierten Ansatz sprechen insbesondere die Möglichkeiten der Einschränkung des Raumes gemäß dem Sichtfeld und Sehvermögen des menschlichen Triebfahrzeugführers, der Erkennung von Objekten in unterschiedlichen Ebenen und Entfernungen, der Einbeziehung von Objekteigenschaften und Situationskontexten, der Fahrspurerkennung, der Selbstüberwachung sowie gegebenenfalls der Verwendung für eine manuelle Beobachtung.

Das konzipierte System verwendet mehrere jeweils an der Spitze und am Ende eines jeden Zuges angebrachte Kameras, um den Fahrweg in der jeweiligen Fahrtrichtung vor dem Zug sowie zusätzlich den Bahnsteigkantenbereich bei Ein-, Aus- und Durchfahrten des Zuges an Bahnsteigen vor dem Zug zu überwachen.

Die Auswertung der Kameradaten erfolgt auf im Zug untergebrachten Auswerterechnern. Diese setzen bild-/videoverarbeitende Techniken ein, um aus den mit den Kameras aufgezeichneten Bildfolgen Hindernisse, insbesondere Personen, in den zu überwachenden Gefahrenbereichen zu detektieren. Damit werden die Aufgaben der Hinderniserkennung Fahrweg und der Bahnsteigsicherung abgedeckt. Da die Auswerterechner für die Hinderniserkennung verantwortlich sind, werden diese auch als HiErk Rechner bezeichnet. Sie stehen über eine externe Schnittstelle mit einem AF-M Rechner, der fahrzeugseitig für das automatische Fahren verantwortlich ist, in Verbindung. Das konzipierte System beschränkt sich auf Einrichtungen, die lokal im Triebfahrzeug installiert sind bis zu der externen Schnittstelle. Einrichtungen des AF-M Rechners, der Fahrzeuggestelle oder der Kommunikation mit dieser sind nicht Bestandteil dieses Konzeptes. Die externe Schnittstelle zum AF-M Rechner ist im Lastenheft Schnittstelle HiErk Rechner - AF-M Rechner beschrieben. Über die Schnittstelle werden im Gefahrenfall Hindernismeldungen abgesetzt, auf deren Basis im AF-M Rechner ein Fahrzeugbefehl ermittelt und ausgelöst werden kann. Gleichzeitig werden dem HiErk Rechner vom AF-M Rechner Fahrzeugdaten, Gleis- und Infrastrukturdaten sowie Steuerbefehle zur eigenen Verwendung bereitgestellt.

Das Gesamtsystem besitzt einen modularen Aufbau, der für alle Züge für beide Fahrtrichtungen gleich ist.

Die Kameras können gegebenenfalls durch zusätzliche Sensoren ergänzt werden. Über einen gesonderten Übertragungskanal ist, falls erforderlich, eine externe Bedienung mit Übertragung von Steuerbefehlen und Daten möglich.

3 Technische Beschreibung

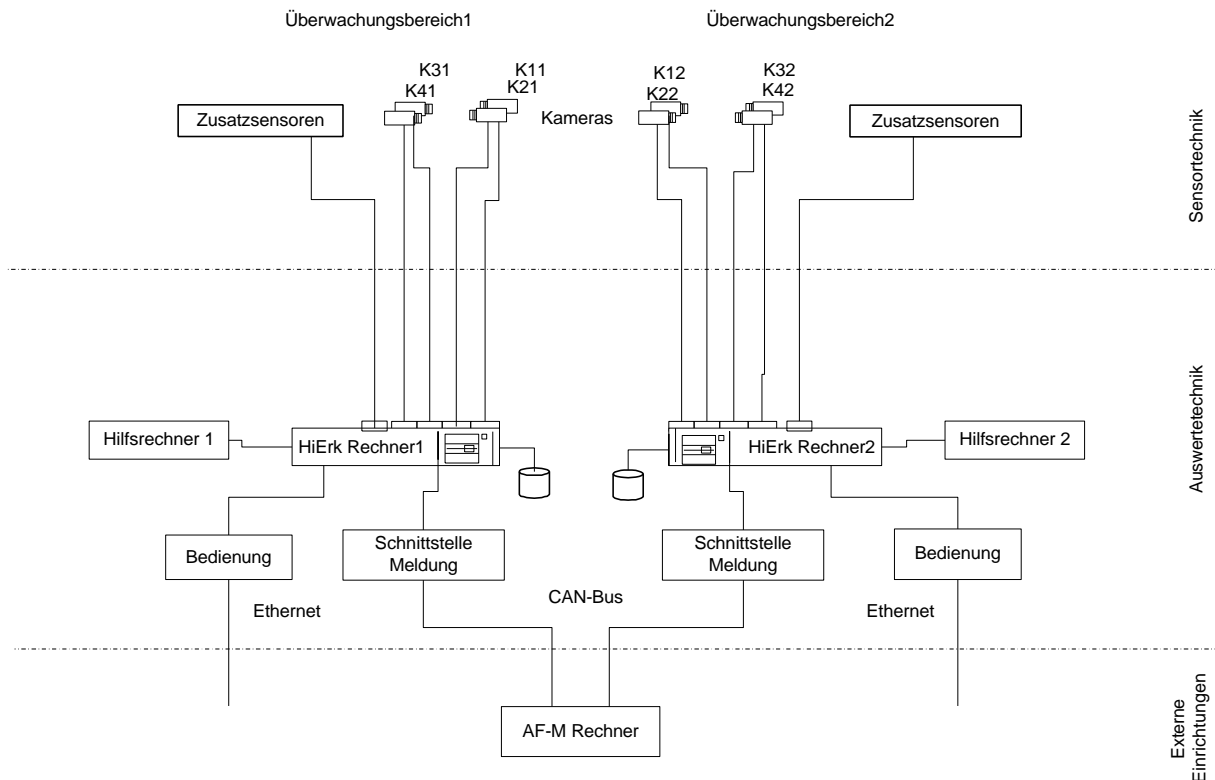
In diesem Abschnitt wird die technische Realisierung des Hinderniserkennungssystems beschrieben. Sie untergliedert sich in die Beschreibung des Gesamtsystems, die Beschreibung der verwendeten Technik und Verfahren sowie die Darstellung von Lösungen für die Aufgaben Sicherheit, Zuverlässigkeit, Installation, Bedienung und Wartung.

3.1 Gesamtsystem

Die Beschreibung des Gesamtsystems umfasst das eigentliche Systemkonzept, die Montage und Anordnung der Komponenten sowie deren Funktionsweise.

3.1.1 Systemkonzept

Das konzipierte System ist ein fahrzeugseitiges Überwachungssystem. Es besteht ausschließlich aus mobilen Einrichtungen im Triebfahrzeug oder im Steuerwagen an der Spitze bzw. am Ende des Zuges. Die folgende Graphik zeigt die wesentlichen Systemkomponenten und ihre Beziehungen zueinander.



Das System baut auf mehreren Kameras auf, die direkt im Zug montiert sind und Daten über die jeweiligen Gefahrenräume aufnehmen. Sie sind über Kabel mit Auswerterechnern, die jeweils in einem Rechnerschrank untergebracht sind, verbunden. Die bereitgestellten externen Schnittstellen, die sich physisch im Rechnerschrank befinden, dienen der Kommunikation mit dem AF-M Rechner und bieten gegebenenfalls Möglichkeiten zur externen Bedienung.

Die für das Fahrzeug vorgesehene Kameratechnik besteht pro Fahrtrichtung aus einem festen stereofähigen Videokamera paar für den mittleren Bereich und zwei beweglichen Kameras für den Fernbereich. Alle Kameras werden an der Spitze und am Ende des Zuges im Fahrzeugführerraum hinter der Windschutzscheibe montiert. Damit ergibt sich für das Gesamtsystem für jede Fahrtrichtung ein Überwachungsbereich. Gegebenenfalls können zusätzliche Sensoreinrichtungen, die für den Nah- oder Fernbereich exakte Abstands- oder Geschwindigkeitswerte liefern oder unzureichende Sichtverhältnisse kompensieren, in das Konzept eingebunden werden. Als Kameras werden HDRC-Kameras oder CCD-Kameras eingesetzt. Als Zusatzsensoren können z. B. Radarsensoren oder aktive optische Sensoren Verwendung finden.

Die Auswerterechner übernehmen die Analyse der eingehenden Kameradaten und entscheiden darüber, ob der zu überwachende Raum frei von Hindernissen ist. Die dazu erforderliche Software arbeitet in Echtzeit und nutzt Verfahren der Videoauswertung und Sensordatenfusion. Für jede Fahrtrichtung und damit für jeden Überwachungsbereich sind zwei Auswerterechner vorgesehen – ein HiErk Rechner sowie ein diesen unterstützender Hilfsrechner.

Pro HiErk Rechner existiert jeweils eine Schnittstelle Meldungen (Hindernis-, Fahrzeug-, Gleis- und Infrastrukturdatenübertragung) sowie eine Schnittstelle Bedienung (Steuerung und Datenübertragung). In einem vorgegebenen zeitlichen Takt werden über die als CAN-Bus realisierte Meldungsschnittstelle Hindernismeldungen abgesetzt, die von einem Fahrzeugrechner empfangen und dort zur Einleitung einer Zwangsbremmung, einer Betriebsbremmung, zum Absetzen eines Hupsignales, zur Protokollierung von Ereignissen oder zu Diagnosezwecken verwendet werden können. Gleichzeitig empfängt der

HiErk Rechner über diese Schnittstelle von dem AF-M Rechner dort vorliegende Fahrzeug-, Gleis- und Infrastrukturdaten zur eigenen Verwendung.

Die Kamera- und Auswertungsdaten werden im Auswerterechner zyklisch bis zu einer bestimmten Länge auf einem Speichermedium gespeichert und können später von dort über die externe Bedienungsschnittstelle, die als Ethernet ausgeführt ist, abgerufen werden.

3.1.2 Montage / Anordnung

Die Montage und Anordnung der Kameras des Systems ist so zu wählen, dass der Fahrweg vor dem Zug permanent überwacht werden kann. Das System wird dabei so ausgelegt, dass es den vom Führerstand aus einsehbaren Bereich des Fahrweges auf eine Entfernung bis zu 300 m erfassen kann. In diesem Bereich sind Objekte einer sichtbaren Größe von 0.4 m x 1.0 m (Normhindernis) zu erkennen. Eine Detektion größerer Hindernisse mit geringerer Wahrscheinlichkeit ist darüber hinaus möglich. Lateral, quer zum Gleis, wird eine Breite von 3.4 m angelehnt an das Lichtraumprofil für den gesamten Fahrweg und zusätzlich 0.5 m im Bahnsteigbereich überwacht. Gleis- und Bahnsteigbereich liegen in Ebenen mit vordefinierten Höhen.

Für die Überwachung des Fahrweges vom Fahrzeug aus werden eingesetzt:

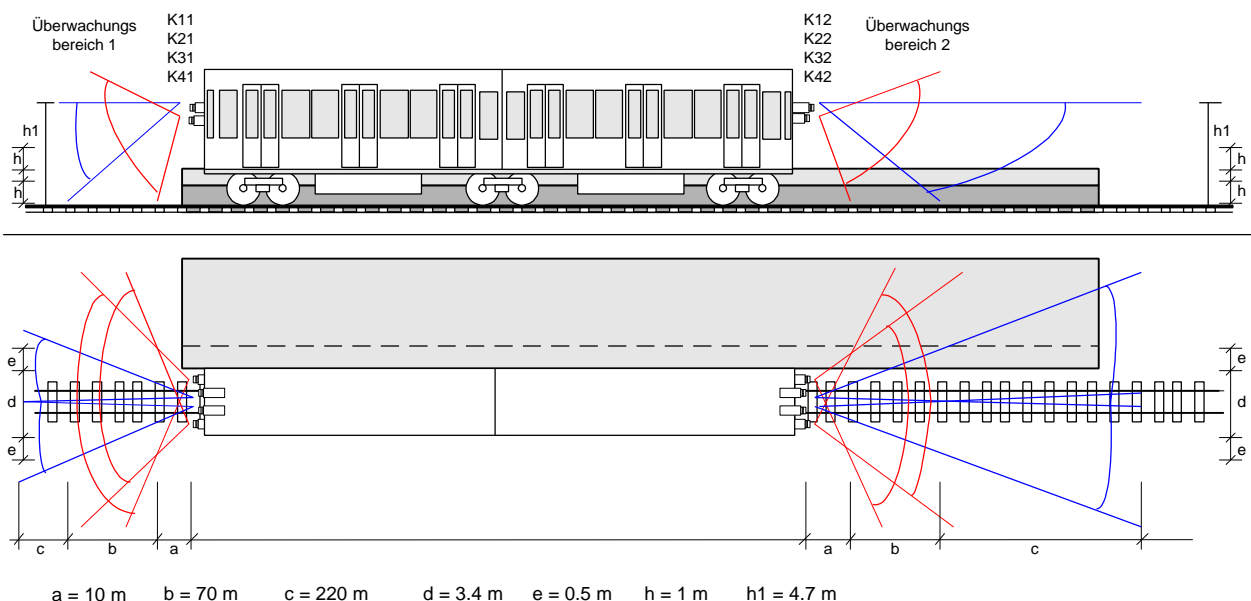
- ? zwei feste Stereokameras für den Mittelbereich (mittlere Entfernungen) (10 m – 80 m) und
- ? zwei horizontal bewegliche Kameras für den Fernbereich (80 m – 300 m).

Die Mittelbereichskameras sehen jeweils den gleichen räumlichen Bereich ein. Die Verwendung von zwei Fernbereichskameras dient der Erreichung eines größeren Öffnungswinkels. Sie überwachen unterschiedliche seitlich aneinander angrenzende Bereiche.

Bei entsprechenden zusätzlichen Anforderungen können optional eingebunden werden:

- ? ein zusätzlicher Sensor für den Nahbereich (0 m – 10 m),
- ? ein zusätzlicher Sensor für exakte Geschwindigkeits- und Entfernungsbestimmungen im Fernbereich sowie für unzureichende Sichtverhältnisse,
- ? ein Scheinwerfer für die Streckenbeleuchtung.

Die nachfolgende Abbildung zeigt schematisch den Zug mit den Positionen und Blickwinkeln der einzelnen fahrzeugseitigen Kameras aus zwei Perspektiven.



Die Kameras werden im Triebfahrzeug bzw. im Steuerwagen direkt hinter der Windschutzscheibe angebracht in etwa 3 – 4 m Höhe bezüglich Schienenoberkante. Vorzuziehen ist der untere Bereich der Windschutzscheibe, der im Bereich des Scheibenwischers liegt. Die Befestigung erfolgt mit einer speziellen Halterung auf dem Bedienpult oder an der Windschutzscheibe. In der Mitte befinden sich die beiden Fernbereichskameras, links und rechts daneben in einem Abstand von jeweils bis zu 0.5 m eine Stereokamera für den mittleren Bereich. Bei der Befestigung der Kameras ist darauf zu achten, dass sich Fahrzeugschütterungen nicht zu stark auf die Videoqualität auswirken. Das betrifft insbesondere die Fernbereichskameras.

Sämtliche Auswerteeinrichtungen eines Überwachungsbereiches sind in einem Rechnerschrank untergebracht, der so dimensioniert ist, dass er zwei 19"-PCs aufzunehmen vermag. Er ist im Fahrzeug geeignet zu befestigen. Ein Einsatz von Kompakt-PC-Technik zur Minimierung des erforderlichen Raumbedarfes ist möglich. Es empfiehlt sich die Aufstellung des Rechnerschanks in der Nähe der Kameras vorzunehmen, um die Länge der zu verlegenden Leitungen zu reduzieren. Der Rechnerschrank ist mit Strom zu versorgen sowie über CAN-Bus mit dem AF-M Rechner zu verbinden.

Kameras und Rechnerschrank sind mit einer entsprechenden Anzahl von Daten- und Stromversorgungsleitungen zu verbinden. Die Leitungen sind so zu verlegen, dass Beeinträchtigungen oder Beschädigungen ausgeschlossen sind.

Erforderlichenfalls zu verwendende zusätzliche Sensoren, wie Radargeräte, und Beleuchtungstechnik sind außen am Fahrzeug anzubringen.

3.1.3 Funktionsweise

Zur Überwachung des Fahrweges und zur Hinderniserkennung sind im Einzelnen folgende Aufgaben zu lösen:

- ? Detektion und Verfolgung der Gleise,
- ? Festlegung des zu überwachenden Raumes,
- ? Erkennen von Hindernissen,
- ? Einschätzung der eigenen Erkennungsfähigkeiten,
- ? Ansteuerung der schwenkbaren Kameras,
- ? Ermittlung aller Hindernisparameter,
- ? Einbeziehung von Fahrzeug-, Gleis- und Infrastrukturdaten und
- ? Absetzen von Meldungen.

Dabei sind unterschiedliche Hindernisentfernungen, Fahrzeuggeschwindigkeiten, Gleiskrümmungen, Infrastrukturelemente, Licht- und Witterungsverhältnisse zu berücksichtigen. Die konzipierte Technik trägt wie folgt zur kontinuierlichen Überwachung des Fahrweges bei.

Entfernung:

Die beiden Stereokameras decken den mittleren Entfernungsbereich zwischen 10 m und 80 m ab. Dabei ist bis zu 60 m ein Stereosehen möglich. Danach beginnt der Bereich des Monosehens. Die Fernbereichskameras decken die Entfernung zwischen 80 m und 300 m ab. Diese Angaben beziehen sich auf die Erkennung des Normhindernisses. Größere Hindernisse lassen sich mit dem System auch in entsprechend größeren Entfernungen detektieren. Für den Nahbereich ist erforderlichenfalls ein Zusatzsensor zu verwenden.

Geschwindigkeiten:

Die Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt die Zeit bis zum Erreichen eines Hindernisses und den erforderlichen Bremsweg. Es wird davon ausgegangen, dass bei Teilstrecken mit geringeren Geschwindigkeiten (Fahrten an Bahnsteigen und in stark gekrümmten Kurven) auch nur geringere Entfernungsbereiche zu überwachen sind. Bei mittleren und höheren Geschwindigkeiten können Bewegungstereodaten einer einzelnen Kamera zur Ortung von Hindernissen eingesetzt werden. Bei geringeren Geschwindigkeiten und im Stand werden diese Daten von dem Stereokamerapaar geliefert.

Krümmungen:

Die Stereokameras mit ihren relativ großen Öffnungswinkeln decken im mittleren Entfernungsbereich alle erlaubten horizontalen Krümmungen des Gleisverlaufes ab. Die Fernbereichskameras sind schwenkbar angeordnet, um aufgrund ihres geringen Öffnungswinkels Kurven mit einer möglichst großen Krümmung noch abzudecken. Da ein lückenloses Anschließen an den Bereich der Stereokameras zu gewährleisten ist, sind Einschränkungen bei Entfernungen oder maximalen Krümmungen hinzunehmen. Vertikale Krümmungen werden durch geeignete feste Nickwinkel der Kameras abgedeckt.

Infrastrukturelemente:

Ist der Gleisverlauf aufgrund der in Gleisnähe befindlichen Infrastruktur nicht einsehbar, kann in diesen Bereichen auch keine Überwachung mit dem System erfolgen. Das betrifft insbesondere horizontal gekrümmte Gleise. Verdeckende Infrastrukturelemente können sein: Masten, Signale, Gebäude, Bäume oder Sträucher. Aber auch am Bahnsteig stehende Fahrgäste können zu Verdeckungen von Gleisbereichen führen. Damit sind allen Detektionsverfahren prinzipielle Grenzen gesetzt. Für eine erfolgreiche Überwachung ist das kontinuierliche Einsehen des Schienenverlaufes vor dem Zug erforderlich.

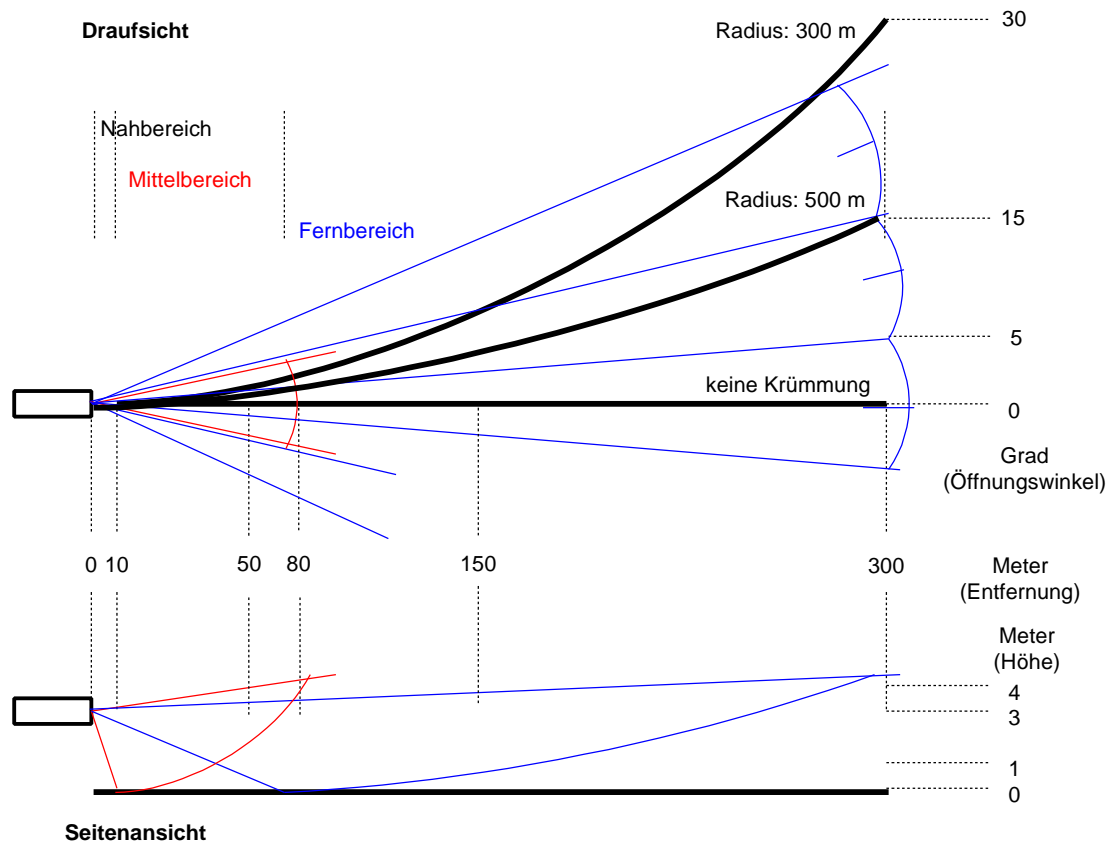
Lichtverhältnisse:

Das Überwachungssystem setzt Lichtverhältnisse voraus, unter denen auch ein Triebfahrzeugführer Hindernisse erkennen kann. Soll hingegen eine Nachsichttauglichkeit erreicht werden, sind entsprechende Scheinwerfer einzusetzen. Das Ein- und Ausschalten der benötigten Scheibenwischer an der Scheinwerfer ist vom AF-M Rechner auf eine entsprechende Meldung des HiErk-Rechners zu veranlassen. Eine Auswertung ist auch im Infrarotbereich möglich. Starke räumlich oder zeitlich beieinanderliegende Lichtunterschiede werden hingegen durch den Einsatz von HDRC-Kameras ausgeglichen.

Witterungsverhältnisse:

Witterungsverhältnisse wie Regen, Schneefall oder Nebel führen nicht zum Ausfall des Systems. Sie wirken sich lediglich insofern aus, dass die Entfernung des Überwachungsbereiches reduziert wird und in größeren Entfernungen die Erkennungswahrscheinlichkeit herabgesetzt wird. Das System wird mit softwaremäßigen Verfahren ausgestattet, die eine Sichtweitenbestimmung ermöglichen.

Die folgende Abbildung veranschaulicht typische räumliche Zusammenhänge zwischen Gleisverläufen mit unterschiedlichen Krümmungen und Überwachungsbereichen der einzelnen eingesetzten Kameras.



Das System ist so konzipiert, dass es Fahrzeug-, Gleis- und Infrastrukturdaten zur Festlegung des zu überwachenden Raumes verwendet. Gleichzeitig erfolgt eine Schienenerkennung durch das System selbst. Bei Wegfall eines der beiden Verfahren ist das System weiter funktionsfähig, wobei sich allerdings die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Erkennung reduzieren.

Die optionale Überwachung des Bahnsteigbereiches bei Ein- und Ausfahrt des Zuges untergliedert sich in zwei Teile. Der Bahnsteiggleisbereich wird durch die generelle Fahrwegüberwachung abgedeckt und bedarf keiner zusätzlichen Maßnahmen. Allerdings existieren die für die fahrzeugseitigen Verfahren gemachten Einschränkungen. Die Bahnsteigkantenüberwachung wird im fahrzeugseitigen System lediglich dann aktiviert, wenn die Sensoren auf einen Bahnsteiggleisbereich gerichtet sind. Dazu ist es erforderlich, dass der Beginn und das Ende eines Bahnsteiges erkannt werden, was durch vorliegende Gleis- und Infrastrukturdaten oder aber durch eine eindeutige optische streckenseitige Kennzeichnung erreicht werden kann. Eine lückenlose Überwachung des Bahnsteiggleisbereiches kann nur dann erreicht werden, wenn die optische Sicht nicht durch die Gleisführung oder Infrastruktur eingeschränkt ist.

3.2 Technik und Verfahren

Im Folgenden werden die für das Hinderniserkennungssystem zum Einsatz kommende Hardwaretechnik mit Sensoren, Auswertetechnik und Vernetzung sowie die zugehörigen softwaretechnischen Verfahren beschrieben. Die dabei angegebenen mit konkreten Parameterangaben versehenen Geräte stellen die Technik dar, wie sie zum gegenwärtigen Zeitpunkt für das Vorhaben zum Einsatz kommen soll. Sie kann durch später verfügbare leistungsfähigere oder alternative Technik ersetzt werden.

3.2.1 Sensoren

Die Sensorik umfaßt CCD-Kameras, HDRC-Kameras, gegebenenfalls Beleuchtungstechnik und Kameragehäuse.

3.2.1.1 CCD-Kameras

Es kommen digitale farbfähige CCD-Kameras mit hoher Lichtempfindlichkeit zum Einsatz, deren Sensorchips eine Vorverarbeitung des Bildsignals vornehmen können. Die Kameras können zu Paaren kombiniert werden, um Stereoeffekte auszunutzen. Sie besitzen folgende oder vergleichbare technische Daten:

? Sensor:	½" Interline, Hyper-HAD
? Pixel effektiv:	440000 (582(V) x 752(H))
? Zeilennorm:	625 Zeilen 50 Hz
? Abtastnorm:	CCIR-PAL mit Zeilensprung
? Horizontale Auflösung:	480 Zeilen
? Lichtempfindlichkeit:	(Obj. 1:0,95/3200K) 0,2 lx für Bild
? Empfindlichkeitssteigerung:	durch LSS x2 ... x500
? Spektralbereich:	400 nm ... 650 nm
? Shutter:	1/1000.000 - 10s
? Videoausgang:	(F)BAS 1V _{ss} / 75 Ohm
? Objektivanschluss:	C-/CS Mount
? Steuerschnittstelle:	RS 485

Die Kameras sind gekennzeichnet durch automatische Bildbewertung (Gamma-Korrektur), Smeareffektreduzierung und Spitzlichtauslastung. Durch den Einsatz von Zusatzfiltern ist ein Arbeiten auch im Infrarotbereich möglich. Erforderlichenfalls können infrarotspezifische Chips eingesetzt werden. Die Auswahl der Objektive hinsichtlich Brennweite und Öffnungswinkel erfolgt abhängig vom Überwachungsbereich und der zu detektierenden Objektgröße. Aus bisherigen Erfahrungen kommen Objektive mit Brennweiten von 12 mm bis 70 mm und Öffnungswinkeln von 5° bis 29° zum Einsatz. Die Lichtempfindlichkeit der CCD-Chips gestattet ein Arbeiten auch bei relativ ungünstigen Lichtverhältnissen.

CCD-Kameras sind kommerziell verfügbar. Sie lassen sich einsetzen für die Überwachung größerer räumlicher Bereiche, in denen relativ konstante, auch schwache, Lichtverhältnisse herrschen.

3.2.1.2 HDRC-Kameras

Es kommen digitale schwarz-weiß-fähige HDRC-Kameras zum Einsatz, die sich durch ihren sehr hohen Dynamikbereich und eine logarithmische Auslese auszeichnen. Die Kameras können paarweise montiert werden, um Stereoeffekte zu erreichen. Sie besitzen folgende oder vergleichbare technische Eigenschaften:

? Sensor:	0.35 µm CMOS
? Pixel effektiv:	307200(480(V) x 640(H))
? Abtastnorm:	Progressive Scan

? Lichtempfindlichkeit:	0,5 lx für auswertbares Bild
? Dynamikbereich:	120 dB
? Empfindlichkeitskennlinie:	logarithmisch
? Spektralbereich:	400 nm ... 650 nm
? Videoausgang:	LVDS (digital 10 bit)
? Objektivanschluss:	C-/CS Mount

Durch den sehr hohen Dynamikbereich und seine dem menschlichen Auge ähnliche logarithmische Pixel-Lichtintensitäts-Auslese benötigt der Sensor keine automatische Empfindlichkeitsanpassung und kommt mit extremen Helligkeitsunterschieden auch innerhalb eines Bildes zurecht. Es existieren auch Farbkameras.

Die Auswahl der Objektive hinsichtlich Brennweite und Öffnungswinkel erfolgt analog zu der von CCD-Kameras.

HDRC-Kameras sind kommerziell verfügbar. Sie lassen sich einsetzen für die Überwachung größerer räumlicher Bereiche, in denen die Lichtverhältnisse große Differenzen aufweisen oder sich zeitlich schnell verändern. Sie sind damit prädestiniert für das mobile System, da hier häufig mit sich schnell ändernden Lichtverhältnissen zu rechnen ist.

3.2.1.3 Beleuchtungstechnik

Der verwendete kamerabasierte Ansatz geht davon aus, dass die zu überwachenden bzw. zu beobachtenden Bereiche des Fahrweges ausreichend beleuchtet sind. Das ist am Tag auf der gesamten Strecke sowie nachts im Bahnsteigbereich der Fall. Für Nachtfahrten, Tunneldurchfahrten usw. kann zusätzliche Beleuchtung auf dem Fahrzeug eingesetzt werden. Es kommen Systeme zum Einsatz, die je nach Einsatzort folgende oder vergleichbare Parameter besitzen:

? Lampe:	230 V, 300 W
? Transmission:	> 90 %
? Entfernung:	50 – 100 m
? Filter:	715nm, 830 nm, ...
? Öffnungswinkel:	15 ° - 60 °

Beleuchtungen sind kommerziell verfügbar und kommen bei unzureichenden Lichtverhältnissen zum Einsatz.

3.2.1.4 Kameragehäuse

Die verwendeten Kameras werden ausschließlich im Innenraum des Führerraumes im Zug eingesetzt. Damit sind für Innenräume ausgelegte Kameragehäuse ausreichend. Allerdings sind auch hier extreme Temperaturbereiche zu berücksichtigen. Für die Fernbereichskameras sind dagegen Fragen der Schwenkbarkeit und Vibrationsfestigkeit von Bedeutung. Die Kameragehäuse inklusive Halterung und Schwenkeinrichtung besitzen folgende Parameter:

? Betriebstemperatur:	-35°C ... 55°C
-----------------------	----------------

- ? Vibrationsfestigkeit: 5g, f = 10 – 70 Hz, s = 0.5 mm
- ? Schutzart: IP66 (DIN 40050)

Kameragehäuse und Halterungen für den mobilen Einsatz sind nur in Teilen, nicht als Gesamtkonstruktion kommerziell verfügbar.

3.2.2 Auswerteeinrichtungen

Alle Auswerteeinrichtungen werden in 19“-Technik realisiert und in einem Rechnerschrank untergebracht. Dazu zählen Stromversorgung, Auswerterechner und Datenspeicher. Alle einzusetzenden Auswerteeinrichtungen sind kommerziell verfügbar. Eine spätere mit weniger Raumbedarf auskommende Ausführung in Kompakttechnik ist möglich.

3.2.2.1 Rechnerschrank

Der Rechnerschrank ist an geeigneter Stelle im Zug unterzubringen. Die Dimensionierung erfolgt so, dass die komplette Auswertetechnik untergebracht ist. Der Rechnerschrank kann bei Bedarf mit einer Heizung oder Lüftung ausgestattet werden, was in der Regel jedoch nicht erforderlich ist. Zum Einsatz kommen Rechnerschranke mit folgenden oder vergleichbaren Parametern:

- ? Kühlgerät, Heizung: bis 1000 W
- ? thermische Tests: nach IEC 68-2-1,2,56
- ? Vibrationstest: nach IEC 68-2-6
- ? Schutzgrad: IP 54 nach IEC 529

Die Art und Weise der Anbringung der Auswertetechnik im Fahrzeug ist mit dem Bereich Fahrzeugtechnik abzustimmen. Hier sind zusätzlich Fragen der Unterbringung, Raumeinsparung, Befestigung und Erschütterungen zu berücksichtigen.

3.2.2.2 Stromversorgung

Die Stromversorgung des Rechnerschrankes erfolgt mit 230 V, 50 Hz, 2 kW. Die Spannung ist aus einem vorhandenen TT-Netz mit USV (z.B. Stromversorgung der Leit- und Sicherungstechnik) zu entnehmen.

Als Anschlüsse für die Inneneinrichtungen werden folgende Komponenten vorgesehen:

- ? Steckdosenleiste 230V für Rechner und Peripherie mit 6 Steckdosen
- ? Anschlusskasten 230 V für Heizung, Lüftung etc.
- ? stabilisiertes Netzteil für Stromversorgung von Kameras und anderen Sensoren
- ? 1 leicht zugängliche Steckdose für Montage-, Reparatur- und Servicegeräte

3.2.2.3 Auswerterechner

Für die Verarbeitung der Daten der Kameras und Sensoren werden 19“-Industrie-PCs mit folgenden oder vergleichbaren Ausstattungsmerkmalen eingesetzt:

- ? ATX-Board mit Dual-Intel-Prozessor 800-1000 MHz

- ? 512 MB RAM
- ? ca. 30 GB Festplatte (SCSI)
- ? Videograbber-Karte für Anschluss von bis zu 6 Kamerasignalen
- ? Eingabeport und Multiplexer zur Anbindung der übrigen Sensoren
- ? Netzwerkkarten Ethernet 100 Mbit/s und CAN-Bus
- ? Grafikkarte, Anschluss Monitor und Tastatur für Kontrollzwecke

3.2.2.4 Datenspeicher

Zur Speicherung von Kamera- und Auswertungsdaten werden Festplattensysteme eingesetzt, die den Anforderungen entsprechend ausgelegt sein müssen. Das betrifft insbesondere die Speicherkapazität und die Zugriffszeit. Es werden Festplatten mit folgenden oder ähnlichen Parametern verwendet:

- ? Art: SCSI
- ? Speicherkapazität: 72 GByte
- ? Zugriffszeit: 4,9 ms

3.2.3 Vernetzung und Schnittstellen

Die eingesetzten Sensoren sind mit jeweils einem Signalkabel (z.B. Koaxialkabel) und einem Stromversorgungskabel mit dem zugehörigen Rechner und der Videoansteuerung verbunden. Alternativ können 2-Draht-Videoübertragungssysteme eingesetzt werden. Sie besitzen folgende oder vergleichbare Merkmale:

- ? Videoausgänge: 1 Vss (F)BAS-Signal, 75 Ohm
- ? Videobandbreite: 5 Mhz
- ? Betriebstemperatur: -35°C – 55°C

Die Rechner untereinander sind über ein LAN (z.B. Ethernet und CAN-Bus) gekoppelt. Jeweils ein Rechner an der Spitze und am Ende des Zuges dient als Master-Rechner, der gleichzeitig die externe Schnittstelle des Systems anbietet. Die externe Schnittstelle befindet sich im Rechnerschränk und wird in zwei Teilen ausgeführt:

- ? Schnittstelle Meldung (Hindernismeldungen, Fahrzeug-, Gleis- und Infrastrukturdaten) über CAN-Bus,
- ? Schnittstelle Bedienung (Steuerung und Datenübertragung) über Ethernet.

3.2.4 Software

Die verwendete Software baut auf einem Betriebssystem und bestimmter Basissoftware auf. Es wird unterschieden zwischen Software für Koordination, Videoauswertung, Sensorfusion, Datenspeicherung, Anwendungsmodellierung sowie die Schaffung einer Entwicklungsumgebung.

3.2.4.1 Betriebssystem und Basissoftware

Das Softwaresystem wird implementiert auf Basis des Betriebssystems Windows NT. Als Programmiersprache wird C/C++ verwendet einschließlich der Standardbibliotheken sowie zusätzlicher Bibliotheken zur Bild- und Videoverarbeitung.

Die Implementation kann gegebenenfalls auf eine andere Betriebssystemplattform, wie z.B. Linux, oder Unix übertragen werden.

3.2.4.2 Koordination

Das Softwaresystem besteht aus mehreren unterschiedlichen Komponenten, die in ihrer Arbeitsweise untereinander abzustimmen sind. Dazu gehören folgende Koordinationsaufgaben:

- ? Gesamtsteuerung des Systems,
- ? Ansteuerung der Kameras und Sensoren,
- ? Koordination der Video- und Sensordatenauswertung,
- ? Ansteuerung der Datenspeicherung,
- ? Aufbereitung der Auswertungsergebnisse,
- ? Generieren der Meldungen zur Übertragung an die externe Schnittstelle,
- ? Empfang und Verarbeitung von über die externe Schnittstelle eingehenden Meldungen,
- ? Überwachung der Funktionsfähigkeit der einzelnen Komponenten.

3.2.4.3 Videoauswertung

Die Videoauswertung ist die wichtigste Komponente im Softwaresystem. Für die Videoverarbeitung werden kalibrierte Kameras verwendet. Jede Kamera liefert einen aus Einzelbildern bestehenden permanenten Videostrom.

Die Kameras werden in ihren internen Parametern (Beziehung zwischen Chip und Optik), externen Parametern (Beziehung zur umgebenden Realität) und Stereoparametern (Beziehung zwischen zusammengehörigen Stereokameras) kalibriert. Dies ist die Voraussetzung dafür, um in den Kamerabilddern auftretende Effekte bestimmten Erscheinungen der Realität zuordnen zu können.

Zur Erkennung von Objekten werden folgende Verfahren eingesetzt:

- (1) Kalibrierung, Ebenen- und Raumfestlegung,
- (2) Mono: Differenzbildverfahren und Bewegungsdetektion,
- (3) Mono: Strukturunterbrechungserkennung,
- (4) Clusterung: räumlich und zeitlich,
- (5) Mono: Größen-, Orts-, Geschwindigkeitsmessung mit Ebenenannahmen,
- (6) Stereo: Differenzbildverfahren mit zwei Kameras oder Ausnutzung der Eigenbewegung,
- (7) Stereo: Größen-, Orts-, Geschwindigkeitsmessung über Triangulation,
- (8) Erkennung anhand von Objekteigenschaften (Größe, Form, Muster, Ort, Zeit, Bewegung),
- (9) Objektidentifikation und -verfolgung,
- (10) Fixierung oder Ausblendung fester und beweglicher Objekte.

Die Verfahren (1) bis (5) verwenden die Daten jeweils einer Kamera (Mono). Sie erlauben ein Detektieren aller Objekte in den zu überwachenden Bereichen unter der Voraussetzung, dass die Objekte sich von ihrem Hintergrund visuell abheben. Die Verfahren basieren auf der Annahme, dass sich zu erkennende Objekte ausschließlich in bestimmten Ebenen bewegen. So kann z. B. zwischen Objekten im Gleisbereich und auf dem Bahnsteig unterschieden werden.

Diese Detektionsergebnisse werden beeinträchtigt durch auftretende Objekte, die sich nicht in den angenommenen Ebenen bewegen (z. B. fliegende Vögel), Spiegelungen an glatten Flächen oder geworfene Schatten. Diese Objekte werden von einem Mono-System ebenfalls registriert.

Um die nicht zu detektierenden Objekte ausschließen zu können, werden Paare von Kameras, als Stereokameras angeordnet, eingesetzt. Bei Bewegung des Zuges werden Bewegungstereoeffekte einzelner Kameras ausgenutzt. Die dadurch möglichen Verfahren (6) und (7) erlauben ein räumliches Sehen und bewirken, dass die Erkennungsergebnisse zuverlässig sind.

Die Verfahren (8) und (9) gestatten es, Objekte (wie z.B. Gleise, Züge oder Strecken- und Bahnsteigaufbauten, Menschen) zu erkennen anhand ihrer spezifischen Merkmale. Dadurch können Objekte klassifiziert werden, was zu einer semantischen Differenzierung führt.

Für die Hinderniserkennung spezifisch zu lösende Aufgaben sind das Erkennen von Schienen sowie das Festlegen des zu überwachenden Raumes. Hierzu werden bahnspezifische Größen-, Positions- und Bewegungsinformationen sowie Objekteigenschaften als Hintergrundwissen verwendet. Gleichzeitig werden vom AF-M Rechner gelieferte Fahrzeugdaten sowie Strecken- und Infrastrukturdaten verwendet. Diese können die Schienenerkennung und das Ausschließen von Hindernissen unterstützen. Die Detektionsverfahren sind jedoch so ausgelegt, dass sie auch ohne diese Daten arbeitsfähig sind. Die erforderlichen Verfahren sind unter Punkt (10) zusammengefasst.

Im offenen Streckenbereich treten räumlich und zeitlich differenzierte Lichtverhältnisse auf. Dazu kommt die verminderte Sicht bei bestimmten Witterungslagen. Diese Probleme lassen sich teilweise reduzieren durch eine geeignete Kamera- und zusätzliche Beleuchtungstechnik.

Darüber hinaus muss die Software zur Videoauswertung den unterschiedlichen Überwachungsbedingungen gerecht werden. So kommen spezielle Bildverarbeitungstechniken zum Einsatz, die ein Detektieren auch bei Lichtunterschieden und Einschränkungen durch Schnee, Regen und Nebel bis zu einem bestimmten Grad erlauben. Der Grad der Detektion orientiert sich dabei an den optisch-visuellen Fähigkeiten des Menschen.

Die genannten Witterungserscheinungen führen nicht zu einem abrupten Abbruch der Systemfunktionalität, sondern zu einem kontinuierlichen Verrauschen des Bildes. Dieses Rauschen hebt sich von den übrigen Bildinformationen ab und kann über Filter ausgeblendet werden. Wichtig sind Komponenten, die die eigenen Erkennungsfähigkeiten einschätzen, z.B. anhand von Sichtweitenbestimmungen oder Kontrastbewertungen, und entscheiden, ob ein zuverlässiges Arbeiten unter den jeweiligen Bedingungen noch möglich ist.

3.2.4.4 Datenspeicherung

Die Speicherung der Kamera- und Auswertungsdaten wird auf den Festplatten der Auswerterechner vorgenommen. Sie erfolgt permanent in einem Ringspeicher. Im Fall einer Hinderniserkennung wird die Speicherung nur so weit fortgesetzt, dass die Sequenz lückenlos ab einem bestimmten Zeitpunkt vor der Beanspruchung erhalten bleibt. Diese Sequenz kann zur Kontrolle von außen über die externe Schnittstelle Bedienung abgerufen werden.

Die Länge der zyklischen Aufzeichnung kann als Parameter in bestimmten Grenzen festgelegt werden. Da vorab nicht klar ist, welche Kamera- oder Sensordaten zu einer Beanspruchung führen, sind bis zu einer Beanspruchung die Daten aller Kameras und Sensoren (bei Stereokamerapaaren jeweils nur einer Kamera) zyklisch aufzuzeichnen. Nach einer Beanspruchung ist situationsabhängig zu entscheiden, welche Aufzeichnung weiter fortgesetzt wird.

3.2.4.5 Sensordatenfusion

Sämtliche eingesetzte Sensoren (Kameras und Zusatzsensoren) benötigen ihre eigenen softwaremäßigen Auswerteeinheiten. Sie arbeiten zunächst parallel und unabhängig voneinander.

Entscheidend ist, dass die Auswertungsergebnisse für alle Sensordaten geeignet fusioniert und zu einem einheitlichen Umgebungsmodell zusammengefasst werden. Zum Einsatz kommen beispielsweise Kalman-Filter. So können Hindernisse kontinuierlich räumlich und zeitlich über mehrere Sensoren hinweg verfolgt werden.

3.2.4.6 Anwendungsmodellierung

Um die komplexen logischen Zusammenhänge des Anwendungsgebietes im System zu erfassen, wird softwaremäßig ein Anwendungsmodell erstellt. Dieses beschreibt die möglichen auftretenden Situationen (wie Zugfahrten, Hindernisse, ...), möglichen Handlungen (Fahrt, Betriebsbremsung, Zwangsbremsung, Hupsignal, ...) und deren funktionale Zusammenhänge.

3.2.4.7 Entwicklungsumgebung

Für die effektive Gestaltung der Prozesse der Erstellung, Installation, Anpassung und Wartung des Hinderniserkennungssystems wird ein Entwicklungssystem aufgebaut, das einerseits eine Bibliothek von Softwaremodulen für alle Aufgaben der Hinderniserkennung enthält und andererseits eine Generierungs- und Testumgebung bereitstellt, die den Aufbau konkreter Anwendungssysteme, deren Testung und Manipulation vereinfacht. So kann schnell auf Fehler oder sich ändernde Anforderungen reagiert werden.

3.3 Installation, Betrieb und Wartung

Für das beschriebene Gesamtsystem werden ein Installationsplan, eine Bedienungsanleitung und ein Wartungsplan erstellt. Sie orientieren sich an den im Lastenheft Hinderniserkennung geforderten Systemparametern.

Das System ist so konzipiert, dass der Aufwand für Installation, Betrieb und Wartung minimal ist. Die technischen Aufbauten werden im Führerraum des Zuges oder an geeigneten Stellen im Zug untergebracht. Damit sind sie vor extremen Witterungsbedingungen und Verschmutzungen geschützt. Ein manuelles Reinigen von Scheiben am Fahrzeug und an Kameragehäusen ist in bestimmten größeren Zeitintervallen erforderlich.

Bei der Systemkonzeption, der Installation, dem Betrieb und der Wartung sind Kostenabschätzungen zu berücksichtigen, die sich über den gesamten Lebenszyklus des entwickelten Systems erstrecken.

Die im Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg gemachten Aussagen zu Installation, Betrieb und Wartung gelten als erreichbar.

3.4 Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Für die einzelnen Systemkomponenten sowie für das angebotene Gesamtsystem ist vor einem Praxiseinsatz die geforderte Sicherheit nachzuweisen. Für alle zu realisierenden Hardwareeinrichtungen wird das SIL (safety integrity level) 1 gefordert. Die Entwicklung von Software hat nach den im Lastenheft angegebenen EU-Normen zu erfolgen. Für die Beschreibung von Hardware und Software werden teilweise formale Methoden eingesetzt (z.B. Methode B, Sprache UML), die den Prozess des System-Engineering unterstützen, systematisieren und teilweise Verifikationen erlauben. Bei der Systemreali-

sierung werden die Prozesse nach Cenelec zugrunde gelegt. Im übrigen sind die Sicherheitsbetrachtungen im Zusammenhang mit denen anderer Teilgewerke und der Systemrisikoanalyse zu betrachten. Die Erreichung der im Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg angegebenen Versagenswahrscheinlichkeiten für den Erkennungsmechanismus werden angestrebt. Sie setzen jedoch ideale Sichtbedingungen für den gesamten Gleisverlauf voraus. Sind diese nicht gegeben, steigt die Wahrscheinlichkeit je nach Situation unterschiedlich stark an. Ähnliches gilt für die mittleren Zeiten zwischen auftretenden Fehlern im Rahmen der Zuverlässigkeit.

Die Zuverlässigkeit des Systems ergibt sich aus verschiedenen Faktoren. Grundlegende Voraussetzung ist der Einsatz entsprechend zuverlässiger Hardwarekomponenten, wie Sensoren, Auswerteeinrichtungen und Vernetzungen. Teilweise werden Komponenten eingesetzt, die bereits im Bahnumfeld oder im Fahrzeugumfeld unter Alltagsbedingungen erprobt wurden.

Insbesondere werden die Kamerasysteme selbstüberwachend angelegt und separate softwaremäßige interne Überwachungssysteme so installiert, dass sie das Erkennen von Ausfällen von Systemkomponenten (z.B. Auswerteeinrichtungen, Sensoren, Vernetzungen), von Beeinträchtigungen von Kameras (z.B. Verschmutzung, Beschädigung) sowie von internen Systemzuständen (z.B. Initialisierungen) übernehmen.

Die Anordnung der Kameras im Führerraum des Zuges schützt diese vor schnellen oder starken Verschmutzungen und Beschädigungen. Der Einsatz von Stereokameras dient der direkten Erhöhung der Zuverlässigkeit auch dadurch, dass der Ausfall einer Kamera lediglich das Stereosehen betrifft. Das resultierende Monosystem ist weiter arbeitsfähig und reagiert zur sicheren Seite. Es erhöht sich lediglich die Anzahl der Fehlalarme. Der Ausfall einer Fernbereichskamera führt hingegen zur Verkleinerung des Gesamtöffnungswinkels, so dass lediglich in Kurven sich die Überwachungsentfernung verringert.

Der Einsatz von jeweils zwei Kameras für den mittleren und Fernbereich erhöht gleichzeitig die Verfügbarkeit des Hinderniserkennungssystems. Die betriebliche Gesamtverfügbarkeit hängt sowohl vom Hinderniserkennungssystem selbst als auch vom Zusammenspiel der verschiedenen Gewerke ab und muss deshalb frühzeitig mit den Losen Fahrzeugführung, Betriebsregeln, Betriebsarten, Fehlermanagement usw. abgestimmt werden. Insbesondere ist eine technisch-organisatorische Abstimmung mit dem System zum videobasierten Fahren vorzunehmen.

4 Arbeitsschritte

Die im Arbeitspaket Hinderniserkennung zur Schaffung entsprechender Systeme durchzuführenden Arbeiten lassen sich vom technischen Standpunkt aus in mehrere Arbeitsschritte zur Erbringung verschiedener Teilleistungen untergliedern, die zeitlich parallel oder nacheinander auszuführen sind. Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick:

- ? Organisation / Verwaltung (mit Beschaffung, Sicherung, Archivierung, ...),
- ? Anwendungsmodellierung (mit Recherche, Lastenheft, Abnahmeprozedur, Situations- und Handlungsklassifikation, ...),
- ? Systementwicklung (mit Spezifikation, Hardware- und Softwarearchitektur, Implementation von Anwendungs- und Entwicklungssystem, Installation, Wartung, ...),
- ? Praxiseinsatz (mit Mitfahrten, Inspektionen, Messkampagnen, Systemtests, ...),
- ? Dokumentation / Präsentation (mit Qualitätsmanagement, Veröffentlichungen, Ausstellungen, Systembeschreibung, Installations-, Betriebs- und Wartungsanleitung, ...).

Das eigentliche Ziel der Arbeiten besteht in der Entwicklung eines einsetzbaren Anwendungssystems zur Hinderniserkennung Fahrweg. Dieses System wird in drei Entwicklungsstufen vorliegen:

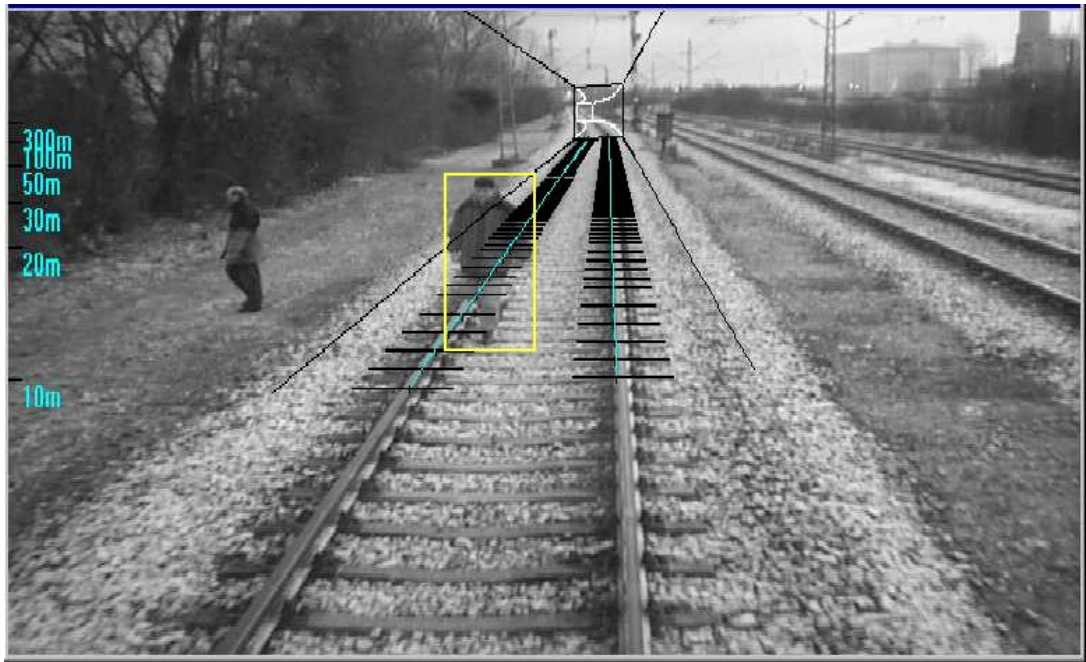
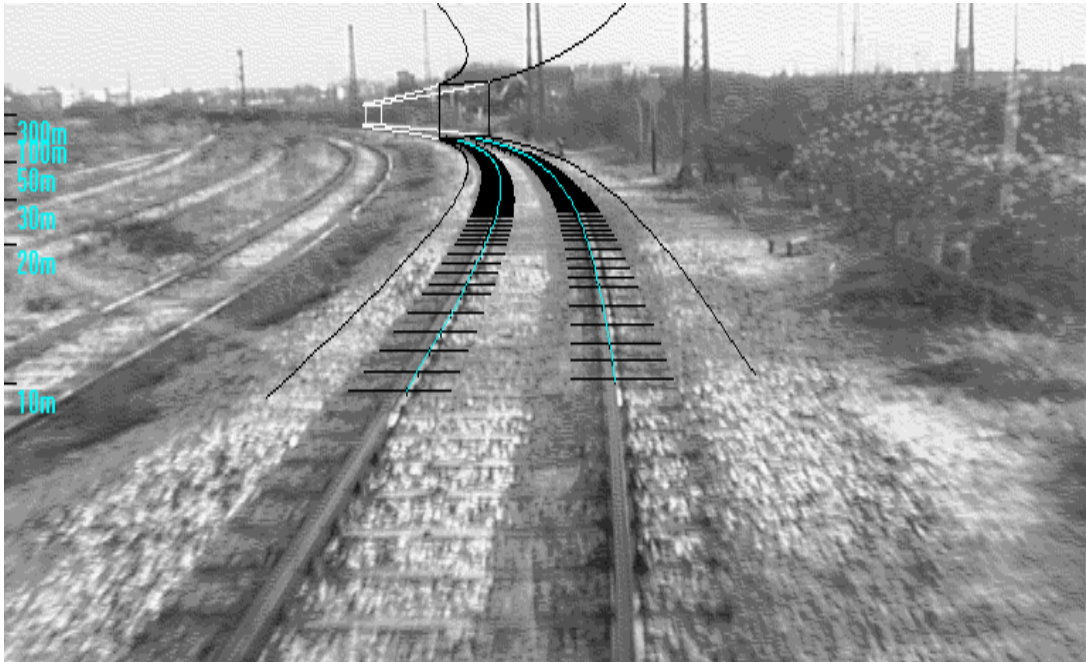
- ? Einzelsensorsystem,
- ? Multisensorsystem und
- ? komplettes echtzeitfähiges Prototypsystem.

Die praktischen Arbeiten hierzu untergliedern sich in nachfolgende Punkte:

- ? exemplarische Messkampagnen,
- ? systematische Messkampagnen,
- ? Dauermesskampagnen und
- ? praktischer Einsatz.

5 Vorliegende praktische Ergebnisse

Die nachfolgenden beiden Bilder demonstrieren erste praktische Ergebnisse bei der Überwachung des Fahrweges von einem fahrenden Zug aus. Das erste Bild zeigt die Schienenerkennung mit der Festlegung des zu überwachenden Raumes. Das zweite Bild zeigt die Detektion eines sich bewegenden Hindernisses im Gleisbereich vor dem Triebfahrzeug.



6 Erfüllung der Systemanforderungen

Im Rahmen dieses Berichtes wurde das Konzept eines Systems zur mobilen Hinderniserkennung für Schienenfahrzeuge vorgestellt, das unter der Zielstellung entwickelt wurde, die im Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg aufgestellten Anforderungen zu erfüllen.

Als Ergebnis kann eingeschätzt werden, dass der Aufbau eines derartigen Systems unter der Maßgabe der Erreichung einer mindestens gleich hohen Sicherheit wie beim Einsatz eines menschlichen Triebfahrzeugführers aus konzeptioneller Sicht möglich ist. Diese Aussage bedarf jedoch weiterhin der praktischen Überprüfung in Gesamtsystemerprobungen sowie in einem im realen Zugbetrieb stattfindenden Dauertest. Zur Nachweisführung machen sich außerdem an wenigen Stellen Präzisierung im zugrundeliegenden Lastenheft erforderlich.

Ein insgesamt sicheres und zuverlässiges Erkennen von Hindernissen im zu überwachenden Raum durch das konzipierte System ist nur dann möglich, wenn der Fahrweg lückenlos eingesehen werden kann. Dies ist im allgemeinen Fall wegen auftretenden Sichtbehinderungen und Verdeckungen durch Gleisführung, Infrastrukturelemente und Umgebung entlang der Strecke (insbesondere in Kurven) nur bis zu mittleren Entfernungen gegeben.

Die verwendeten Verfahren des Systems orientieren sich an den menschlichen optischen und teilweise mentalen Fähigkeiten bei der Überwachung des Fahrweges vor dem Zug. Damit erreichen sie bei Nebel, Dunkelheit oder schlechter Sicht ebenso ihre Grenzen. Hier bietet sich, wenn erforderlich, eine Kombination mit Zusatzsensorik an.

7 Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Der Einsatz mobiler Kameratechnik zur Überwachung des Fahrweges vor dem Zug bietet potentiell weitere für einen automatischen Fahrbetrieb nützliche Funktionen an. Diese sind nicht Bestandteil des vorliegenden Konzeptes, jedoch mit vertretbarem zusätzlichem Aufwand in das System integrierbar. Dazu zählen Prüffahrten und das Befahren besonderer Streckenbereiche.

Die Prüffahrt kann mit der angegebenen fahrzeugseitigen Technik automatisiert werden. Die im Fahrzeug installierten Kameras können verwendet werden, um einmal pro Tag jede Strecke mit verminderter Geschwindigkeit zu befahren, um Hindernisse, die den normalen Zugverkehr beeinträchtigen oder gefährden können, frühzeitig zu erkennen. Seitens des Fahrzeuges wird dabei im Falle des Nachteinsatzes eine Beleuchtung des Fahrweges vor dem Fahrzeug benötigt. Für das ausschließliche Durchführen von Prüffahrten ist es bereits ausreichend, einzelne ausgewählte Fahrzeuge mit der erforderlichen Technik auszustatten.

Die installierte mobile Kameratechnik kann darüber hinaus eingesetzt werden, um den Fahrweg vor dem Zug zu überwachen beim Befahren von Streckenbereichen, in denen mit dem Auftreten von Bahnbediensteten und sonstigen Personen zu rechnen ist (z. B. von und zu Fahrzeugdepots, von und zu Waschanlagen oder an Baustellen).

Die genannten Anwendungen können sowohl für den automatischen als auch für den konventionellen Fahrbetrieb eingesetzt werden. Befinden sich noch Triebfahrzeugführer im Zug, dienen die installierten Systeme der Fahrerassistenz. Außerdem können sie als Grundlage für das videobasierte Fahren, eine Rückfallebene für das automatische Fahren, verwendet werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Bericht wurde ein System konzipiert, das der Hinderniserkennung Fahrweg aus einem fahrenden Zug heraus dient. Das Systemkonzept entspricht im wesentlichen den im Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg aufgestellten Anforderungen.

Das System befindet sich gegenwärtig in der Aufbauphase und wird nach der Fertigstellung sowohl in Einzeltests mit gestellten Situationen als auch in einem geplanten Dauerversuch praktisch erprobt.

Neben diesen praktischen Tests werden in Laborsimulationen vergleichende Untersuchungen zum Verhalten von Triebfahrzeugführern durchgeführt sowie theoretische Untersuchungen von Systemparametern ausgehend von Vorgaben einer Risikoanalyse gemacht.

Aus diesen Tests und Untersuchungen werden sich weitere Konkretisierungen, aber teilweise auch Änderungen ergeben, die in das Konzept bzw. letztlich zu realisierende System einzuarbeiten sind.

Anlage 2

Abschlussbericht KOMPAS

BMBF 19P0041 C

Bericht Technische Konzeption Bahnsteigsicherung

AP 330



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Zeunerstr. 38
01069 Dresden

Technische Konzeption Bahnsteigsicherung

Bericht zum Meilenstein #7b
Anlage



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter Schienenverkehr
(KOMPAS), Phase 1



Arbeitspaket 330

Bahnsteigsicherung entwickeln

Ersteller:

Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme
Dresden
(FhG-IVI)

Förderkennzeichen:

19P 0041C

Stand:

Version 1.1, 25.06.2001

Nachweis des Ausgabestandes					
Stand	Kennzeichen	Ausgabedatum	Name des Erstellers	Geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
V. 0.1	K	30.01.2001	Wolfgang Oertel	alle	Erstellung
V.1.0	E	19.02.2001	Wolfgang Oertel	alle	Formatierung
V.1.1	E	25.06.2001	Wolfgang Oertel	alle	Überarbeitung

K = Konzept

E = Entwurf

F = eingeführtes Lastenheft

Zeilen mit Textberichtigung gegenüber dem vorherigen Ausgabestand sind am Rand durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet.

Projektmitarbeiter:

Tom Dimter,
Nikolas Möhler,
Andre Naundorf,
Robert Risack,
Milan Rüder,
Uwe Schneider

Dieses technische Konzept ist abgestimmt mit:

Deutsche Bahn AG, Forschungs- und Technologiezentrum München (teilweise)

Vermerke des EBA:

Impressum

Geschäftsführende Stelle:

Fraunhofer Institut
Verkehrs- und Infrastruktursysteme
FBS
Fahrzeug- / Betriebsführungssysteme

Fachautor:

Wolfgang Oertel
Zeunerstr. 38
01069 Dresden
Telefon: (0 351) 46 40 - 680
Fax: (0 351) 46 40 - 803
E-Mail: oertel@ivi.fhg.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	8
1.1 Geltungsbereich	8
1.2 Grundsätzliches	8
2 ANFORDERUNGEN UND SPEZIFIKATION	9
2.1 Systemanforderungen	9
2.2 Verfügbare Technologien	9
2.3 Systemspezifikation	10
TECHNISCHE BESCHREIBUNG	12
2.4 Gesamtsystem	12
2.4.1 Systemkonzept	12
2.4.2 Montage / Anordnung	13
2.4.3 Funktionsweise	15
2.4.4 Randbedingungen	16
2.5 Technik und Verfahren	17
2.5.1 Sensoren	17
2.5.2 Auswerteeinrichtungen	20
2.5.3 Vernetzung und Schnittstellen	22
2.5.4 Software	22
2.6 Installation, Betrieb und Wartung	26
2.7 Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit	27
3 ARBEITSSCHRITTE	28
4 VORLIEGENDE PRAKTISCHE ERGEBNISSE	28
5 ERFÜLLUNG DER SYSTEMANFORDERUNGEN	36
6 WEITERE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN	36
7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	37

Anlagenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

AF-S Rechner	Leitstellenrechner für das automatische Fahren
BstgSi Rechner	Bahnsteigsicherungsrechner
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

Literaturverzeichnis

- /1/ Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 2, Hinderniserkennung Fahrweg. DB AG, FTZ München, 2000
- /2/ Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Stationäre Bahnsteigsicherung. DB AG, FTZ München, 2001
- /3/ Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 5, Schnittstellenspezifikation HiErk Rechner - AF-M Rechner. FhG-IVI Dresden, 2001
- /4/ W. Enkelmann. Entwicklung von Systemen zur Interpretation von Straßenverkehrsszenen durch Bildfolgenauswertung. Habilitation, Fakultät für Informatik, Universität Karlsruhe (TH), Juli 1996. Infix-Verlag, Sankt Augustin, 1997
- /5/ W. Enkelmann. An Obstacle Detection System for Automatic Trains. WCRR '97, 4th World Congress on Railway Research, Florence, Italy, 16-19 November 1997, Volume C, 411-417
- /6/ R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, W. Enkelmann. Robust Lane Recognition Embedded in a Real-Time Driver Assistance System. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, Vol. 1, October 28-30, 1998, Stuttgart, Germany, 35-40
- /7/ R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, N. Möhler, W. Enkelmann. Robuste Fahrspurverfolgung und Bewegungskompensation in einem videobasierten Echtzeitsystem. Autonome Mobile Systeme 1998, 14. Fachgespräch, Karlsruhe, 30.11.-01.12.1998, H. Wörn, R. Dillmann, D. Henrich (Hrsg.), Informatik aktuell, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998, 27-36
- /8/ D. Willersinn, W. Enkelmann. Robust Obstacle Detection and Tracking by Motion Analysis. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems ITSC'97, Boston/MA, 9-12 November 1997, 717-722
- /9/ W. Oertel. Videobasierte Bahnsteigsicherung in KOMPAS. In: IITB-Jahresbericht, FhG-IITB Karlsruhe, 2000
- /10/ T. Bandlow, K. Donath, A. Huber, S. Huwer, M. Wolf: Abschlußbericht zum Leitprojekt Intelligenter Bahnsteig. Technischer Report, FORWISS, Erlangen, 2000, WV-00-1

1 Einleitung

1.1 Geltungsbereich

Der Geltungsbereich des vorliegenden Berichtes erstreckt sich auf das automatische Fahren von Zügen nach EBO im Rahmen des Projektes KOMPAS. Er beschreibt die technische Konzeption eines Systems zur stationären Bahnsteigüberwachung sowie die Vorgehensweise bei dessen Entwicklung und Erprobung. Grundlage ist das ebenfalls im Projekt KOMPAS erstellte Lastenheft zur stationären Bahnsteigsicherung.

1.2 Grundsätzliches

Automatisiertes Fahren von Zügen erfordert Maßnahmen zur Überwachung von Szenenbereichen, die ein erhöhtes Gefährdungspotential aufweisen. Dazu gehören insbesondere die Bahnsteigbereiche, in denen der Personenschutz, aber auch eine erhöhte Auftrittswahrscheinlichkeit von Hindernissen im Gleisbereich die Verwendung besonderer Sicherungsmaßnahmen rechtfertigen. Da im Falle einer Gefährdungssituation in diesen Bereichen eine rechtzeitige Reaktion seitens des mobilen Systems nicht mehr erfolgen kann, machen sich stationäre Einrichtungen erforderlich, die bereits vor Einfahrt eines Zuges aktiv werden.

Das entwickelte Konzept beschreibt ein System zur Überwachung von Bahnsteigkanten und Bahnsteiggleisen, das unter Alltagsbedingungen funktionstüchtig ist. Es basiert auf der Auswertung von Daten einer geeigneten Anordnung von mehreren ortsfesten Kameras.

2 Anforderungen und Spezifikation

2.1 Systemanforderungen

Aus dem zur stationären Bahnsteigsicherung vorliegenden Lastenheft ergeben sich die nachfolgenden technischen Anforderungen:

- ? Überwachung des Bahnsteigbereiches bestehend aus Bahnsteiggleisbereich und Bahnsteigkantenbereich,
- ? Überwachung des Bahnsteiggleisbereiches lateral bis zur großen Grenzlinie des Lichtraumprofils bzw. bis zur Bahnsteigkante,
- ? optionale Überwachung des Bahnsteigkantenbereiches lateral bis zu einer Breite von minimal 0.30 m und maximal 0.85 m,
- ? Überwachung des gesamten Bahnsteigbereiches longitudinal einschließlich des Bereiches 2 m vor bzw. nach dem öffentlich zugänglichen Bereich,
- ? keine Einschränkung der Überwachung durch Gestaltung und Infrastruktur des Bahnsteiges,
- ? optionale Eindringüberwachung für den angrenzenden Streckenbereich,
- ? projektierbarer Ein- und Zweirichtungsbetrieb,
- ? Überwachung des gesamten Bahnsteigbereiches, wenn kein Zug im Bahnsteigbereich ist,
- ? Überwachung des Bahnsteigbereiches vor dem Zug ab einer Entfernung, die dem Normblickwinkel des Triebfahrzeugführers im Triebfahrzeug entspricht, wenn sich ein Zug im Bahnsteigbereich befindet,
- ? Detektion von Personen und Objekten mit einer Mindestgröße von 0,4 qm der der Kamera zugewandten Fläche, die bodenföhlig sind und sich teilweise oder vollständig im zu überwachenden Raum befinden,
- ? Ausblendung von Zügen, kleineren Objekten, Laub, Schnee, Nebel,
- ? Selbstüberwachung und Störungserkennung des Systems,
- ? Schnittstelle zur Kommunikation mit dem Leitstellenrechner,
- ? sicheres und zuverlässiges Arbeiten unter Alltagsbedingungen,
- ? Geringer Installations-, Betriebs- und Wartungsaufwand,
- ? verfügbare Dokumentationen und Anleitungen.

Diese Anforderungen gilt es in Eigenschaften des zu konzipierenden Systems umzusetzen. Dabei kann es erforderlich sein, dass sich aus technischer oder organisatorischer Sicht an einigen Stellen Einschränkungen erforderlich machen. Insgesamt soll ein System entwickelt werden, das mindestens über eine gleich hohe Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit verfügt, wie ein Verkehrssystem bei dem die Bahnsteigsicherung durch menschliche Triebfahrzeugführer bei Annäherung und Einfahrt der Züge an bzw. in einen Bahnsteig übernommen wird.

2.2 Verfügbare Technologien

Aus gegenwärtiger Sicht stehen folgende Technologien zur Verfügung, die für die Lösung der anstehenden Aufgaben zur Bahnsteigsicherung eingesetzt werden können:

- ? Trittmatten,
- ? Laser-Scanner,
- ? Lichtschranken,
- ? Videokameras.

Trittmatten, Laser-Scanner und Lichtschranken besitzen verfahrensinhärente Vor- und Nachteile bezüglich der Erfüllung der aufgezeigten Anforderungen. Die Nachteile der Verfahren liegen teilweise

begründet in den hohen Installations- und Wartungskosten, der unzureichenden Detektionssicherheit, Detektionszuverlässigkeit und Verfügbarkeit oder der fehlenden Möglichkeit im Beanspruchungsfall Zusatzinformationen zu beschaffen. Sie werden vor allen Dingen im U-Bahnbereich zum Einsatz gebracht. Die Nachteile dieser Verfahren kommen beim vorliegenden Anwendungsfall besonders zum Tragen, da es sich um Bahnsteige mit unterschiedlichen Merkmalen und Ausstattungen handelt, die teilweise im Mischbetrieb genutzt werden und größtenteils im Freien liegen.

Videobasierte Verfahren hingegen haben sich in der automatischen Überwachung von Bahnbereichen noch nicht etabliert. Sie werden vor allem im Gebäude- und Objektüberwachungsbereich eingesetzt, wo geringere Sicherheitsanforderungen gelten. Diese Systeme nutzen in der Regel lediglich zweidimensionale Orts-, Geschwindigkeits- und Größenangaben von Objekten für Detektionszwecke aus, was für ein sicheres und zuverlässiges Erkennen im Bahnsteigbereich nicht ausreichend ist.

Das im Rahmen dieses Dokumentes vorgestellte Verfahren kombiniert bild- und videoverarbeitende Techniken mit einem exakten vierdimensionalen raum-zeitlichen geometrischen Modell und einem semantischen Modell über die bahnspezifischen Zusammenhänge in Zuständen und Prozessen am Bahnsteig, wodurch insgesamt eine hohe Zuverlässigkeit und Sicherheit erreicht wird.

2.3 Systemspezifikation

Die aufgestellten Systemanforderungen dienen unter Berücksichtigung der gegenwärtig verfügbaren Technologien als Grundlage für die Spezifikation eines Systems zur stationären Bahnsteigsicherung. Unter den Aspekten der größtmöglichen Abdeckung der Anforderungen und der generellen Orientierung des Systems an den Fähigkeiten des menschlichen Triebfahrzeugführers wird die Kamertechnik als die systembestimmende Technologie ausgewählt, wodurch sich eine insgesamt videobasierte Arbeitsweise ergibt.

Für einen kamerabasierten Ansatz sprechen insbesondere die Möglichkeiten der Einschränkung des Raumes gemäß dem Sichtfeld und dem Sehvermögen des menschlichen Triebfahrzeugführers, der Erkennung von Objekten in unterschiedlichen Ebenen und Entfernungen, der Einbeziehung von Objekteigenschaften und Situationskontexten, der Schienenerkennung, der Selbstüberwachung sowie der Verwendung des Systems für eine manuelle Beobachtung.

Das konzipierte System nutzt als Sensorik stationär auf dem Bahnsteig angebrachte jeweils paarweise als Stereokameras fungierende Videokameras, die entgegen der Fahrtrichtung des Zuges blicken und die Gefahrenbereiche eines Bahnsteiges überwachen. Als Gefahrenbereiche gelten der Bahnsteiggleisbereich, der Bahnsteigkantenbereich sowie optional der Übergang zum Streckenbereich. Die Kameras können gegebenenfalls durch zusätzliche Sensoren, wie z. B. Lichtschranken, Kontakte oder Notshalter, ergänzt werden.

Die mit den Kameras aufgezeichneten Bildfolgen werden Auswerterechnern zugeführt, die bild-/videoverarbeitende Techniken einsetzen, um Personen und Hindernisse im Bahnsteigbereich zu detektieren.

Wird ein Hindernis in einem Überwachungsbereich festgestellt, so wird über eine externe Schnittstelle eine Bahnsteiggleismeldung, eine Bahnsteigkantenmeldung oder optional eine Eindringmeldung abgesetzt. Diese Meldung kann an einen Leitstellenrechner übertragen und dort zu einer Systemreaktion wie Warnung per Lautsprecher oder Hupsignal oder aber zur Betriebs- oder Zwangsbremmung von Zügen verwendet werden. Gleichzeitig können aktuelle oder aufgezeichnete Videoaufnahmen für eine Fernbeobachtung angeboten werden.

Da die Auswerterechner für die Bahnsteigsicherung verantwortlich sind, werden diese auch als BstgSi Rechner bezeichnet. Sie stehen über die externe Schnittstelle mit dem AF-S Rechner, der in einer Leitstelle streckenseitig für das automatische Fahren verantwortlich ist, in Verbindung. Das konzipierte stationäre System beschränkt sich auf Einrichtungen, die lokal auf dem Bahnsteig installiert werden bis zu der externen Schnittstelle. Einrichtungen des AF-S Rechners, der Leitstelle oder der Kommunikation mit dieser sind nicht Bestandteil dieses Konzeptes.

Das System besitzt insgesamt einen modularen Aufbau, der in den Grundzügen zunächst für alle Bahnsteige gleich ist. Er kann jedoch darüber hinaus an die örtlichen Besonderheiten angepasst werden.

Technische Beschreibung

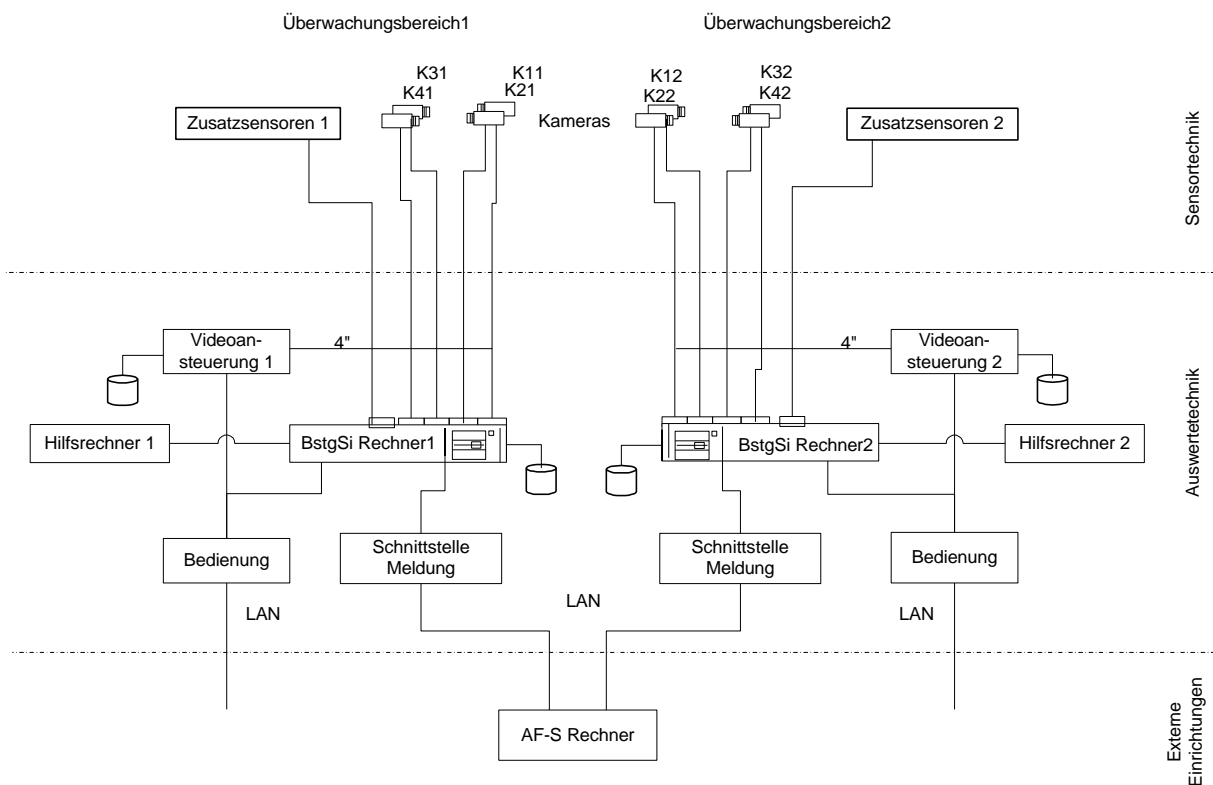
In diesem Abschnitt wird die technische Realisierung des Bahnsteigsicherungssystems beschrieben. Der Abschnitt untergliedert sich in die Beschreibung des Gesamtsystems, die Beschreibung der verwendeten Technik und Verfahren sowie die Darstellung von Lösungen für die Aufgaben Sicherheit, Zuverlässigkeit, Installation, Bedienung und Wartung.

2.4 Gesamtsystem

Die Beschreibung des Gesamtsystems umfasst das eigentliche Systemkonzept, die Montage und Anordnung der Komponenten, deren Funktionsweise sowie zu berücksichtigende Randbedingungen.

2.4.1 Systemkonzept

Das bahnsteigseitige Sicherungssystem besteht aus stationären Einrichtungen am Bahnsteig. Für den Systemaufbau wird davon ausgegangen, dass der Bahnsteig in Gleisrichtung in mehrere Überwachungsbereiche mit bestimmten Längen aufgeteilt ist. Jedem Überwachungsbereich ist eine bestimmte Überwachungseinrichtung, die aus mehreren Komponenten besteht, zugeordnet. Die Überwachungseinrichtung eines Überwachungsbereiches wird vom technischen Standpunkt aus als Modul bezeichnet. Die folgende Graphik zeigt die wesentlichen Systemkomponenten zweier Module des Bahnsteigsicherungssystems und deren Beziehungen zueinander.



Ein Modul ist ein unabhängiges, separat arbeitsfähiges System mit eigenen externen Schnittstellen. Es enthält zunächst bis zu vier Kameras und gegebenenfalls zusätzliche Sensoren, die direkt am Bahnsteig montiert sind und Daten über die jeweiligen Gefahrenbereiche aufnehmen. Die Kameras sind über Kabel mit dem BstgSi Rechner verbunden, der zusammen mit einem Hilfsrechner die Auswertung der Daten übernimmt. Erforderliche temporäre und permanente Daten können in einer dem BstgSi Rechner zugeordneten Speichereinheit abgelegt werden. Die Auswertungsergebnisse werden vom BstgSi Rechner verwendet, um gegebenenfalls Hindernismeldungen zu erzeugen und über die

externe Schnittstelle als Meldungen bereitzustellen. Über die Meldungsschnittstelle erfolgt die Kommunikation mit dem AF-S Rechner der Leitstelle. Hinsichtlich der zu überwachenden Bereiche wird zwischen Bahnsteigkanten- und Bahnsteiggleisbereich unterschieden. Optional ist eine Eindringüberwachung möglich. Entsprechend werden vom System unterschiedliche Meldungen abgesetzt.

Eine gesonderte Videoansteuerung gestattet es, unabhängig von den Auswerterechnern die Bilder einer jeden Kamera zur Beobachtung bereitzustellen. Gleichzeitig werden dort die Videos der Kameras zyklisch bis zu einer bestimmten Länge gespeichert. Die Auswertedaten und die Videodaten können von der Leitstelle über die Bedienungsschnittstelle abgerufen werden.

Pro Überwachungsbereich existieren somit eine Schnittstelle für Meldungen sowie eine Schnittstelle für die Bedienung. Die gesamte Auswertetechnik ist in einem Rechnerschrank untergebracht.

Als Kameras werden farbfähige CCD-Kameras mit hoher Lichtempfindlichkeit eingesetzt, wobei für die automatische Überwachung der Schwarz-Weiß-Anteil und für die Beobachtung das gesamte Farbbild verwendet wird. Um spezielle Anforderungen zu erfüllen, können in Einzelfällen diese Kameras durch HDRC-Kameras ersetzt werden. Zur Auswertung der Daten werden insbesondere die im Abschnitt Videoauswertung beschriebenen Verfahren verwendet. Es wird davon ausgegangen, dass die zu überwachenden Bereiche des Bahnsteiges beleuchtet sind. Ist dies für Teile des Bahnsteigbereiches nicht gegeben, sind Zusatzbeleuchtungen anzubringen.

2.4.2 Montage / Anordnung

Bei der Montage und Anordnung der eingesetzten Technik ist zwischen Sensortechnik und Auswertetechnik zu unterscheiden. Die Unterbringung der gesamten Auswertetechnik erfolgt in einem Rechnerschrank, der an einem geeigneten Ort auf dem Bahnsteig oder in einem zur Verfügung stehenden Raum aufzustellen und zu befestigen ist.

Die Anordnung der Sensortechnik, insbesondere der Kameras, erfolgt direkt am Bahnsteig in der Form, dass eine möglichst ungehinderte Überwachung der Bahnsteigbereiche gewährleistet werden kann.

Es wird zunächst von einem etwa 100 m langen geraden Bahnsteig ausgegangen, der in beiden Richtungen von Zügen befahren werden soll. Der Bahnsteig wird in zwei Überwachungsbereiche von jeweils 50 m Länge eingeteilt, denen die entsprechende Technik zugeordnet wird. Pro Überwachungsbereich und Fahrtrichtung kommen jeweils zwei Kameras zum Einsatz, die als Paar angeordnet Stereofunktionalität bereitstellen. Die Kamerapaare befinden sich an den Enden eines jeden Überwachungsbereiches und blicken entlang des Gleises bzw. Bahnsteiges gegeneinander. Jedes Kamerapaar erfasst den zugeordneten Überwachungsbereich, wenn keine Verdeckungen auftreten, vollständig.

Bei längeren Bahnsteigen ist die Zahl der Überwachungsbereiche entsprechend zu erhöhen. Soll der Bahnsteig dagegen nur in einer Richtung von Zügen durchfahren werden, kann die Anzahl der Kameras auf diejenigen reduziert werden, die für die jeweilige Fahrtrichtung vorgesehen sind. Bei starken Krümmungen des Bahnsteiges dagegen kann es im Einzelfall erforderlich sein, die Anzahl der Überwachungsbereiche zu erhöhen und damit deren Größe zu reduzieren. Der Einsatz zusätzlicher Kameras bzw. Sensoren ist auch angebracht, wenn gesonderte Bereiche überwacht werden sollen, die nicht von den vorgesehenen Kameras erreicht werden, z. B. Zwischenräume bei gekuppelten Fahrzeugen.

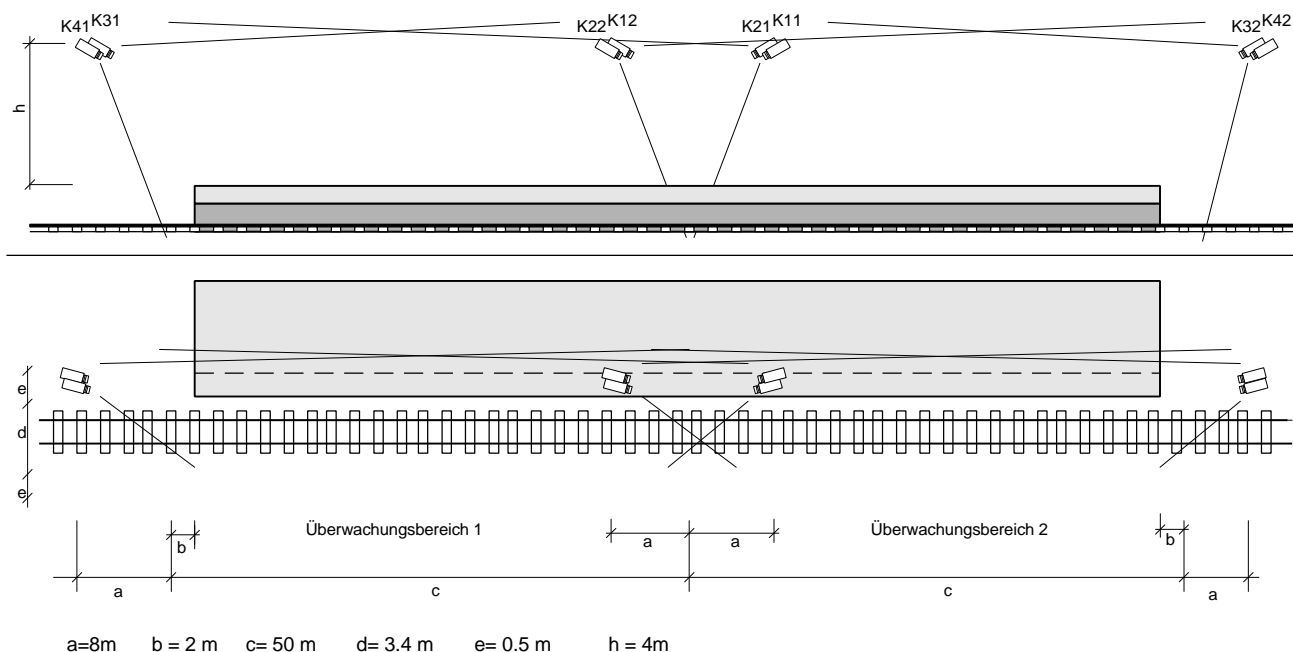
Die Kameras werden an existierenden Baulichkeiten oder an gesonderten Masten in einer Höhe von etwa 4 m in unmittelbarer Nähe des Lichtraumprofils angebracht. Generell darf das Lichtraumprofil dabei nicht verletzt werden. Da die Objektive der Kameras einen bestimmten Öffnungswinkel haben, ist eine Positionierung entlang der Bahnsteigkante etwa 8 m vor bzw. hinter der Überwachungsbereichsgrenze erforderlich. Um einen möglichst großen Bildbereich für die Überwachung des Bahnsteigbereiches ausnutzen zu können, werden die Kameras um einen Winkel von 90° um die Längsachse gedreht.

Die konkrete Anbringung der Kameras ist weiter abhängig von der Lage der Gleise, ihrer Krümmung, den Baulichkeiten und der Infrastruktur am Bahnsteig sowie der einzubeziehenden zusätzlichen Funktionalitäten (z. B. Bahnsteigbeobachtung, Bedarfsermittlung) und ist bahnsteigspezifisch festzulegen.

Hinsichtlich der lateralen Anordnung der Kameras werden zwei Grundvarianten unterschieden: eine bahnsteignahe und eine bahnsteigferne. Die bahnsteignahe Variante ordnet die Kamera Paare auf einer Seite des Bahnsteiggleisbereiches entlang der Bahnsteigkante an, die bahnsteigferne Variante auf der dem Bahnsteig gegenüberliegenden Seite des Bahnsteiggleisbereiches. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Kameraanordnungen der beiden Varianten in jeweils zwei Perspektiven.

Bahnsteignahe Anordnung:

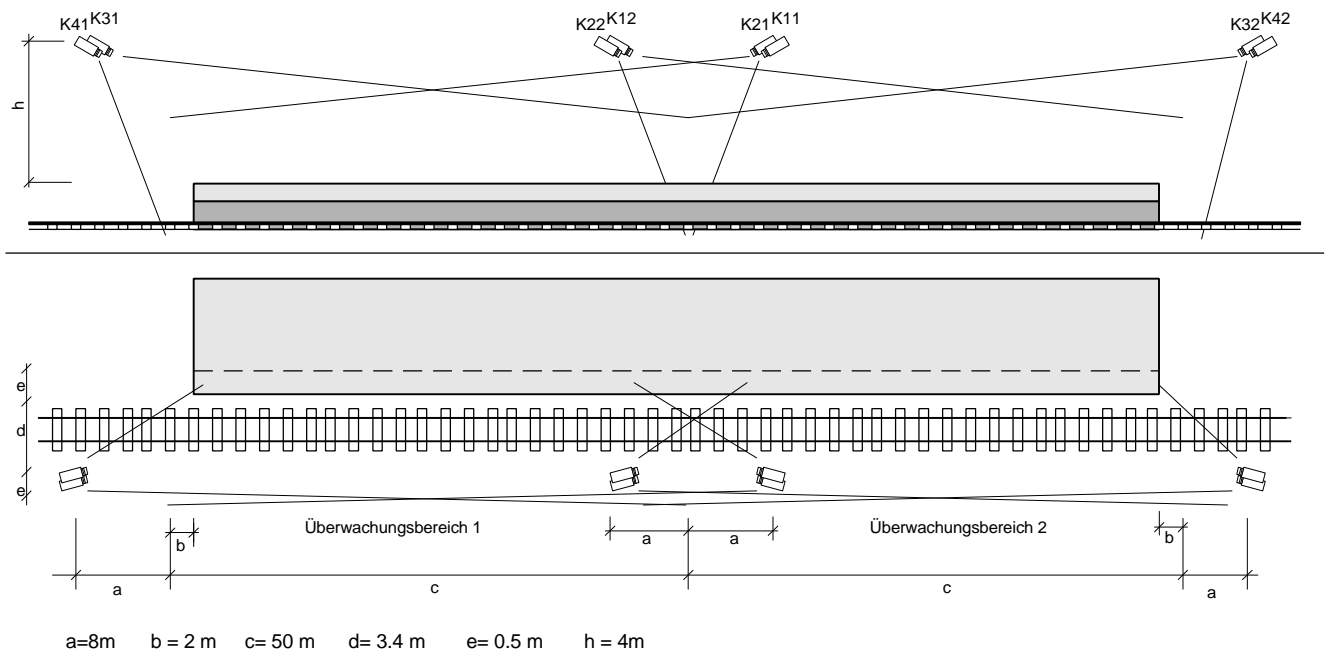
Die Kameras werden auf einer Seite des Bahnsteiggleisbereiches angebracht, pro Paar eine Kamera unmittelbar an der Bahnsteigkante bzw. Grenze des Lichtraumprofils, die andere Kamera etwa 50 cm daneben oder darunter.



Diese Anordnung ist aus Funktionalitäts- und Kostengründen als Vorzugsvariante anzusehen. Sie ist bei geraden, leicht gekrümmten und stark konkav gekrümmten Bahnsteigen einsetzbar. Zusätzliche Funktionalitäten können angebunden werden, da in der Regel auch Bahnsteigbereiche neben dem Zug eingesehen werden können. Kosteneinsparungen entstehen durch die komplette Installation auf dem Bahnsteig selbst.

Bahnsteigferne Anordnung:

Bei Verwendung der bahnsteignahen Anordnung können bei Auftreten von starken konvexen Krümmungen des Bahnsteiges Verdeckungen der zu überwachenden Bereiche durch am jeweiligen Bereichsrand befindliche Objekte oder Personen entstehen. In diesem Fall ist die bahnsteigferne Anordnung einzusetzen. Die Kameras werden dabei auf der dem Bahnsteig gegenüberliegenden Seite des Bahnsteiggleisbereiches angebracht, pro Paar eine Kamera unmittelbar an der Grenze des Lichtraumprofils, die andere jeweils etwa 50 cm daneben oder darunter.



Diese Anordnung verursacht höhere Kosten, da in der Regel Masten für die Anbringen der Kameras aufgestellt werden müssen.

Die Kameras können im Rahmen der bahnsteigfernen Anordnung auch direkt über dem Gleisbereich angebracht werden, falls eine Befestigungsmöglichkeit vorhanden ist. Beim Vorhandensein von Oberleitungen darf der Sicherheitsbereich der Oberleitung nicht verletzt werden.

2.4.3 Funktionsweise

Die Bahnsteigüberwachung wird pro Überwachungsbereich mit zwei Kamerapaares durchgeführt. Befindet sich kein Zug am Bahnsteig, wird lediglich ein Kamerapaar pro Überwachungsbereich benötigt. Das jeweils zweite Paar ist redundant.

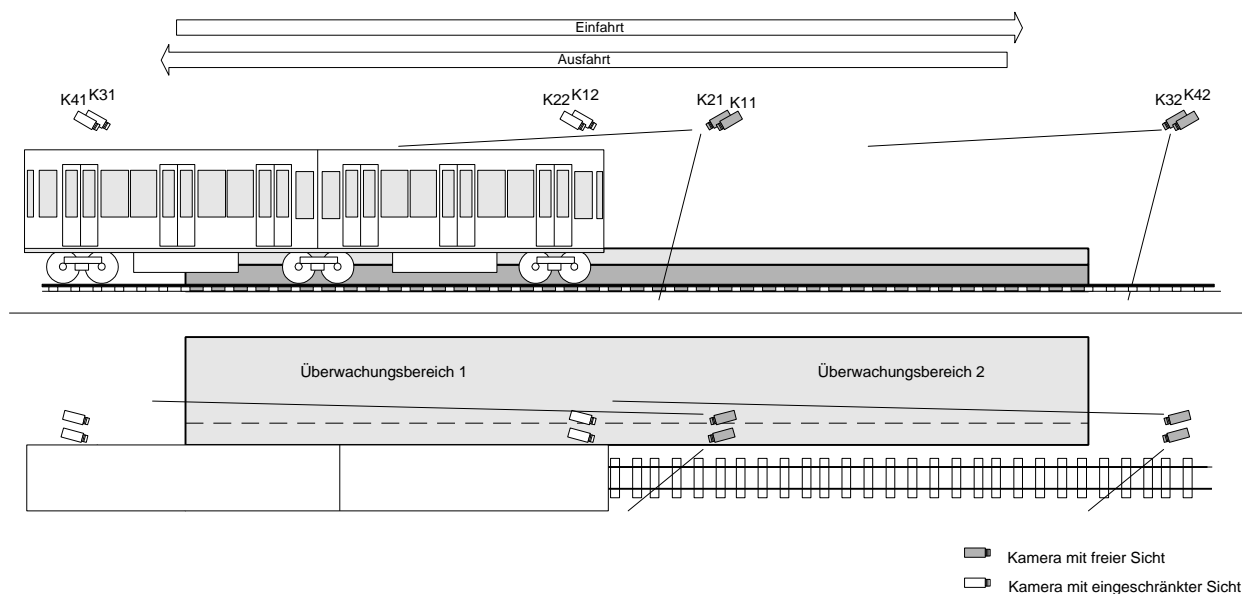
Befindet sich ein Zug am Bahnsteig, werden für bestimmte Kameras Teile des Überwachungsbereiches vor bzw. hinter dem Zug verdeckt. Um ein kontinuierliches Einsehen des Überwachungsbereiches vor dem Zug zu ermöglichen, müssen die Kameras, die vor dem Zug angebracht sind und ihm entgegenblicken die Überwachung übernehmen. Ändert sich die Fahrtrichtung, so ist das andere Kamerapaar zu aktivieren. Für einen Zugbetrieb in beiden Richtungen sind damit stets zwei Kamerapaares erforderlich.

Zwei Kamerapaares sind auch dann erforderlich, wenn eine permanente Überwachung des Überwachungsbereiches vor und hinter dem Zug garantiert werden soll.

Für die Realisierung einer Eindringüberwachung werden keine zusätzlichen Kameras oder Sensoren benötigt. Es ist ausreichend, dass an den Enden des Bahnsteiges jeweils ein Kamerapaar in Richtung Bahnsteig blickt, das auch bei Zügen im Bahnsteig den Übergangsbereich zur Strecke einsehen kann.

Die symmetrische Anordnung von zwei gegeneinanderblickenden Kamerapaares deckt somit alle für den Zugbetrieb am Bahnsteig typischen Situationen ab. Ausgenommen sind lediglich Kuppelfahrten, die am Bahnsteig stattfinden. Diese sind auf einen bestimmten räumlichen Bereich zu beschränken und gegebenenfalls durch eine Zusatzkamera abzusichern.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Unterscheidung zwischen Kameras mit freier Sicht und Kameras, die durch den Zug in ihrem Sichtfeld eingeschränkt sind, bei Einfahrt und Ausfahrt des Zuges.



Zur Überwachung des Bahnsteigbereiches und zur Hinderniserkennung sind im Einzelnen folgende Aufgaben zu lösen:

- ? Detektion der Gleise,
- ? Festlegung von Bahnsteiggleisbereich, Bahnsteigkantenbereich und Eindringbereich,
- ? Erkennen von Hindernissen,
- ? Erkennung von Zügen,
- ? Einschätzung der eigenen Erkennungsfähigkeiten,
- ? Ermittlung aller Hindernisparameter und
- ? Absetzen von Meldungen.

Diese Aufgaben werden von der auf den Auswerterechnern installierten Software übernommen. Im Mittelpunkt stehen dabei bild-/videobasierte Verfahren, die im Abschnitt Videoauswertung beschrieben werden.

2.4.4 Randbedingungen

Für die Bahnsteigbereichsüberwachung sind folgende Randbedingungen zu berücksichtigen: Hindernisentfernungen, Gleiskrümmungen, Infrastrukturelemente, Licht- und Witterungsverhältnisse. Diese haben auf die konzipierte Technik und die zugehörigen Verfahren Einfluss.

Hindernisentfernungen:

Die beiden Stereokameras decken einen Entfernungsbereich zwischen 8 m und 60 m ab. In diesem Bereich ist ein Stereosehen möglich und Objekte von der Größe eines Normhindernisses lassen sich problemlos detektieren. Größere Hindernisse lassen sich mit dem System auch in entsprechend größeren Entfernungen detektieren. So kann ein Zug bereits vor Einfahrt in den Überwachungsbereich von den jeweiligen Kameras erfasst und erkannt werden.

Gleiskrümmungen:

Die Kameras mit ihren relativ großen Öffnungswinkeln decken in den geforderten Entfernungen auch Krümmungen im Gleisverlauf ab. Probleme ergeben sich bei stark konvex gekrümmten Bahnsteigen durch Objekte an Bereichsgrenzen, die zu detektierende Objekte in den jeweils benachbarten Bereichen verdecken. Bei den verdeckenden Objekten kann es sich um Personen oder Infrastrukturelemente handeln. So kann beispielsweise eine Person, die an der Bahnsteigkante steht, bei einem konvex gekrümmten Bahnsteig den dahinter liegenden Gleisbereich verdecken.

Die Problematik lässt sich durch eine entsprechende Wahl der longitudinalen oder lateralen Kameraanordnungen, also die Verringerung der Überwachungsbereichslängen oder die Montage der Kameras nach der bahnsteigfernen Anordnung, umgehen.

Infrastrukturelemente:

Infrastrukturelemente stellen, sofern sie nicht zu Verdeckungen von zu überwachenden Bereichen führen, kein Problem für die Hindernisdetektion dar, da sie bei einer stationären Überwachung durch fest angebrachte Kameras eindeutig dem Hintergrund eines Bildes zugeordnet werden können.

Lichtverhältnisse:

Das Überwachungssystem setzt Lichtverhältnisse voraus, unter denen auch ein Triebfahrzeugführer bei Einfahrt in den Bahnsteig Hindernisse erkennen kann. So wird von einer ausreichenden Beleuchtung der zu überwachenden Bahnsteigbereiche ausgegangen. Diese ist in der Regel durch das Tageslicht und nachts durch die Bahnsteigbeleuchtung gegeben. Ist dies im Einzelfall nicht ausreichend, so sind Zusatzbeleuchtungen einzusetzen. Probleme können entstehen, wenn darüber hinaus in einem Überwachungsbereich große Helligkeitsunterschiede existieren. In diesen Fällen sind programmierbare CCD-Kameras, die in unterschiedlichen Bildbereichen zeitabhängig mit unterschiedlichen Intensitäten aufzeichnen, oder HDRC-Kameras, die die Unterschiede durch ihre logarithmische Kennlinie ausgleichen, einzusetzen.

Witterungsverhältnisse:

Witterungsverhältnisse wie Regen, Schneefall oder Nebel führen nicht zum Ausfall des Systems. Sie wirken sich lediglich insofern aus, dass die Sichtweite reduziert und in größeren Entfernungen die Erkennungswahrscheinlichkeit herabgesetzt wird. Das System wird mit softwaremäßigen Verfahren ausgestattet, die eine Sichtweitenbestimmung ermöglichen. Das System ist funktionsfähig, wenn eine Sichtweite von 60 m gegeben ist.

2.5 Technik und Verfahren

Im Folgenden werden die für das Bahnsteigsicherungssystem zum Einsatz kommende Hardwaretechnik mit Sensoren, Auswertetechnik und Vernetzung sowie die zugehörigen softwaretechnischen Verfahren beschrieben. Die dabei angegebenen mit konkreten Parameterangaben versehenen Geräte stellen die Technik dar, wie sie zum gegenwärtigen Zeitpunkt für das Vorhaben zum Einsatz kommen soll. Sie kann durch später verfügbare leistungsfähigere oder alternative Technik ersetzt werden.

2.5.1 Sensoren

Die Sensorik umfasst CCD-Kameras, HDRC-Kameras und gegebenenfalls Zusatzsensoren. Da sie direkt mit der Sensorik in Verbindung stehen, werden auch Beleuchtungstechnik, Kameragehäuse und Halterungen unter diese Rubrik geführt.

2.5.1.1 CCD-Kameras

Es kommen digitale farbfähige CCD-Kameras mit hoher Lichtempfindlichkeit zum Einsatz, deren nachgeschaltete Elektronik eine Vorverarbeitung des Bildsignals vornehmen kann. Die Kameras können zu Paaren kombiniert und synchronisiert werden, um Stereoeffekte auszunutzen. Sie besitzen folgende oder vergleichbare technische Daten:

? Sensor:	½" Interline, Hyper-HAD
? Pixel effektiv:	440000 (582(V) x 752(H))
? Zeilennorm:	625 Zeilen 50 Hz
? Abtastnorm:	CCIR-PAL mit Zeilensprung
? Horizontale Auflösung:	480 Zeilen
? Lichtempfindlichkeit:	(Obj. 1:0,95/3200K) 0,2 lx für Bild
? Empfindlichkeitssteigerung:	durch LSS x2 x500
? Spektralbereich:	400 nm ... 1050 nm
? Shutter:	1/1000.000 - 10s
? Videoausgang:	(F)BAS 1V _{SS} / 75 Ohm
? Objektivanschluss:	C-/CS Mount
? Steuerschnittstelle:	RS 485

Die Kameras sind gekennzeichnet durch automatische Bildbewertung (Gamma-Korrektur), Smearfektreduzierung und Spitzlichtauslastung. Durch den Einsatz von Zusatzfiltern ist ein Arbeiten auch im Infrarotbereich möglich. Erforderlichenfalls können infrarotspezifische Chips eingesetzt werden. Die Auswahl der Objektive hinsichtlich Brennweite und Öffnungswinkel erfolgt abhängig vom Überwachungsbereich und der zu detektierenden Objektgröße. Als Optimum wird aus bisherigen Erfahrungen ein Überwachungsbereich von ca. 50 m Tiefe angenommen, der mit einem Objektiv von 12 mm Brennweite und Öffnungswinkeln von 22° / 29° einsehbar ist. Die Lichtempfindlichkeit der CCD-Chips gestattet ein Arbeiten auch bei relativ ungünstigen Lichtverhältnissen. CCD-Kameras sind kommerziell verfügbar. Sie lassen sich einsetzen für die Überwachung größerer räumlicher Bereiche, in denen relativ konstante, auch schwache, Lichtverhältnisse herrschen. Sie dienen gleichzeitig als Überwachungs- und Beobachtungskameras.

2.5.1.2 HDRC-Kameras

Es kommen digitale schwarz-weiß-fähige HDRC-Kameras zum Einsatz, die sich durch ihren sehr hohen Dynamikbereich und eine logarithmische Auslese auszeichnen. Die Kameras können paarweise montiert werden, um Stereoeffekte zu erreichen. Sie besitzen folgende oder vergleichbare technische Eigenschaften:

? Sensor:	0.35 µm CMOS
? Pixel effektiv:	307200(480(V) x 640(H))
? Abtastnorm:	Progressive Scan
? Lichtempfindlichkeit:	0,5 lx für auswertbares Bild
? Dynamikbereich:	120 dB

? Empfindlichkeitskennlinie:	logarithmisch
? Spektralbereich:	400 nm ... 650 nm
? Videoausgang:	LVDS (digital 10 bit)
? Objektivanschluss:	C-/CS Mount

Durch den sehr hohen Dynamikbereich und seine dem menschlichen Auge ähnliche logarithmische Pixel-Lichtintensitäts-Auslese benötigt der Sensor keine automatische Empfindlichkeitsanpassung und kommt mit extremen Helligkeitsunterschieden auch innerhalb eines Bildes zurecht. Es existieren auch Farbkameras.

Die Auswahl der Objektive hinsichtlich Brennweite und Öffnungswinkel erfolgt analog zu der von CCD-Kameras.

HDRC-Kameras sind kommerziell verfügbar. Sie lassen sich einsetzen für die Überwachung größerer räumlicher Bereiche, in denen die Lichtverhältnisse große Differenzen aufweisen oder sich zeitlich schnell verändern. Sie werden mit diesen Eigenschaften für einzelne Bahnsteigbereiche angewendet, an denen extreme Lichtunterschiede auftreten, z.B. an Tunnelleingängen oder Bahnsteigen, die teilweise im Freien liegen.

2.5.1.3 Zusatzsensoren

Als Zusatzsensoren kommen je nach Bedarf manuell bedienbare Notschalter, Kontakte in Abschlusstüren, Lichtschranken als Absperrungen von Bereichen oder andere einfache technische Einrichtungen in Frage. Da es sich dabei in der Regel um handelsübliche Technik handelt und die Auswertung der bereitgestellten Daten trivial ist, wird diese Technik nicht näher beschrieben.

2.5.1.4 Beleuchtungstechnik

Der verwendete kamerabasierte Ansatz geht davon aus, dass die zu überwachenden bzw. zu beobachtenden Bereiche mit der für Bahnsteige üblichen Beleuchtung ausgestattet sind. Ist dies im Einzelfall nicht gegeben oder nicht ausreichend, so können sich Zusatzbeleuchtungen mit sichtbarem Licht oder auch Infrarotlicht erforderlich machen. Beleuchtungen sind kommerziell verfügbar.

2.5.1.5 Kameragehäuse

Die verwendeten Kameras werden für ihren Einsatz am Bahnsteig in Gehäusen montiert, die sie vor Witterungseinflüssen (Schnee, Regen), extremen Temperaturen, Feuchtigkeit, Verschmutzungen und Beschädigungen schützen. Die Kameragehäuse besitzen folgende Parameter:

? Betriebstemperatur:	-35°C ... 55°C
? Vibrationsfestigkeit:	5g, f = 10 – 70 Hz, s = 0.5 mm
? Schutzart:	IP66 (DIN 40050)

Kameragehäuse sind kommerziell verfügbar und kommen für alle Bahnsteige zum Einsatz. Es kann unterschieden werden zwischen dem Einsatz in Gebäuden und im Freien.

2.5.1.6 Halterungen

Alle Sensoren, insbesondere die Kameras, müssen am Bahnsteig befestigt werden. Dazu sind spezielle Halterungen erforderlich. Sie müssen den Sensoren einerseits ausreichende Festigkeit geben und andererseits Bewegungsspielraum für das Ausrichten, Justieren und Kalibrieren bereitstellen. Dazu kommt die erforderliche Anpassung an örtliche Gegebenheiten. Es bieten sich Halterungen aufbauend auf kommerziell verfügbaren Trägersystemen an.

Es wird davon ausgegangen, dass die Halterungen in der Regel an existierenden Baulichkeiten befestigt werden können. Ist dies nicht der Fall, sind gesonderte Masten aufzustellen.

2.5.2 Auswerteinrichtungen

Alle Auswerteinrichtungen werden in 19“-Technik realisiert und in einem Rechnerschrank untergebracht. Dazu zählen Stromversorgung, Auswerterechner und Datenspeicher. Alle einzusetzenden Auswerteinrichtungen sind kommerziell verfügbar.

2.5.2.1 Rechnerschrank

Der Rechnerschrank befindet sich in einem Betriebsraum oder in witterungs- und zugriffsgeschützter Ausführung im Außenbereich am Bahnsteig. Die Dimensionierung erfolgt so, dass die komplette Auswertetechnik untergebracht werden kann. Direkte permanente Sonneneinstrahlung ist durch Wahl des Aufstellungsortes zu vermeiden. In extremen Fällen kann es erforderlich sein, eine Klimatisierung (Heizung, Kühlung, Lüftung) im Schrank zu installieren.

Zum Einsatz kommen Rechnerschränke mit folgenden oder vergleichbaren Parametern:

- ? Größe: ca. 0.8 m x 0.8 m x 2.0 m
- ? thermische Tests: nach IEC 68-2-1,2,56
- ? Vibrationstest: nach IEC 68-2-6
- ? Schutzgrad: IP 54 nach IEC 529

Die Art und Weise der Unterbringung der Auswertetechnik auf dem Bahnsteig ist mit dem Betreiber der Bahnsteige abzustimmen. Hier sind zusätzlich Fragen der Unterbringung, Befestigung, Witterungseinflüsse und möglicher Beschädigungen durch Personen zu klären.

2.5.2.2 Stromversorgung

Die Stromversorgung des Rechnerschranks erfolgt mit 230 V, 50 Hz, 2 kW. Die Spannung ist aus einem vorhandenen TT-Netz mit USV (z.B. Stromversorgung der Leit- und Sicherungstechnik) zu entnehmen. Falls kein USV-gestütztes Netz zur Verfügung steht, ist eine USV mit im Rechnerschrank zu installieren.

Als Anschlüsse für die Inneneinrichtungen werden folgende Komponenten vorgesehen:

- ? Steckdosenleiste 230V für Rechner und Peripherie mit 6 Steckdosen
- ? Anschlusskasten 230 V für Zusatzgeräte etc.
- ? stabilisiertes Netzteil für Stromversorgung von Kameras und anderen Sensoren
- ? 1 leicht zugängliche Steckdose für Montage-, Reparatur- und Servicegeräte

2.5.2.3 Auswerterechner

Für die Verarbeitung der Daten der Kameras und Sensoren werden 19“-Industrie-PCs mit folgenden oder vergleichbaren Ausstattungsmerkmalen eingesetzt:

- ? ATX-Board mit Dual-Prozessor 1000 MHz
- ? 512 MB RAM
- ? ca. 30 GB Festplatte (SCSI)
- ? Videograbber-Karten für Anschluss von bis zu 4 Kamerasignalen
- ? Eingabeport und Multiplexer zur Anbindung der übrigen Sensoren
- ? Netzwerkkarten Ethernet 100 Mbit/s und CAN-Bus
- ? Grafikkarte, Anschluss Monitor und Tastatur für Kontrollzwecke

2.5.2.4 Datenspeicher

Zur Speicherung von Kamera- und Auswertungsdaten werden Festplattensysteme eingesetzt, die den Anforderungen entsprechend ausgelegt sein müssen. Das betrifft insbesondere die Speicherkapazität und die Zugriffszeit. Es werden Festplatten mit folgenden oder ähnlichen Parametern verwendet:

- ? Art: SCSI
- ? Speicherkapazität: 72 GByte
- ? Zugriffszeit: 4,9 ms

2.5.2.5 Videoansteuerung

Die Einrichtungen zur Umschaltung, Komprimierung, Speicherung und Übertragung der Kamerasignale werden aus Gründen der Verfügbarkeit unabhängig von der Auswerterechentechnik installiert mit eigener Schnittstelle zum LAN (Ethernet oder ATM-Netz).

Es werden Videoansteuerungen mit folgenden oder ähnlichen Parametern eingesetzt:

Videoswitch (bzw. -multiplexer):

- ? max. 4 Eingänge: (F)BAS 1V_{ss} / 75 Ohm
- ? 2 Ausgänge
- ? Zeit-/ Datumseinblendung
- ? Titelgenerator
- ? Einzelbild, Bildsequenz, Mehrfachbild wählbar
- ? Schnittstelle zur Fernsteuerung: RS 232

Videoencoder:

- ? Komprimierungsverfahren: MPEG
- ? Bildauflösung: 352 x 288 bei 25 Bilder/s
- ? Schnittstelle für Netzanbindung: RS 232 / RS485
- ? Datenrate: 64 kBit/s ... 2 Mbit/s

2.5.3 Vernetzung und Schnittstellen

Die eingesetzten Sensoren sind mit jeweils einem Signalkabel (z.B. Koaxialkabel) und einem Stromversorgungskabel mit dem zugehörigen Rechner und der Videoansteuerung verbunden. Alternativ können 2-Draht-Videoübertragungssysteme eingesetzt werden. Sie besitzen folgende oder vergleichbare Merkmale:

- ? Videoausgänge: 1 Vss (F)BAS-Signal, 75 Ohm
- ? Videobandbreite: 5 Mhz
- ? Betriebstemperatur: -35°C – 55°C

Die Rechner eines Moduls sind untereinander über ein LAN (z.B. Ethernet) gekoppelt. Einer der Rechner dient als Master-Rechner, der gleichzeitig die externe Schnittstelle des Systems anbietet. Jedes Modul besitzt seine eigene externe Schnittstelle. Die externe Schnittstelle befindet sich im Rechenschrank und wird in zwei Teilen ausgeführt:

- ? Schnittstelle Meldung (Hindernismeldungen, Fahrzeugdaten, Steuerbefehle),
- ? Schnittstelle Bedienung (Steuerung und Daten- und Videoübertragung).

Als externe Schnittstelle Meldung kann auf funktionaler Ebene ein Subset der im Lastenheft Schnittstelle HiErk Rechner - AF-M Rechner beschriebenen fahrzeugseitigen Schnittstelle verwendet werden, wobei lediglich die für den stationären Fall relevanten Datenelemente genutzt werden. Über die Schnittstelle werden in der einen Richtung Hindernismeldungen abgesetzt und in der anderen Richtung erforderlichenfalls Fahrzeugdaten oder Steuerbefehle übertragen.

2.5.4 Software

Die verwendete Software baut auf einem Betriebssystem und bestimmter Basissoftware auf. Es wird unterschieden zwischen Software für Koordination, Videoauswertung, Sensorfusion, Datenspeicherung, Videoübertragung und -speicherung, Anwendungsmodellierung sowie für die Entwicklungsumgebung.

2.5.4.1 Betriebssystem und Basissoftware

Das Softwaresystem wird implementiert auf Basis des Betriebssystems Windows NT. Als Programmiersprache wird C/C++ verwendet einschließlich der Standardbibliotheken sowie zusätzlicher Bibliotheken zur Bild- und Videoverarbeitung.

Die Implementation kann gegebenenfalls auf eine andere Betriebssystemplattform, wie z.B. Linux, oder Unix übertragen werden.

2.5.4.2 Koordination

Das Softwaresystem besteht aus mehreren unterschiedlichen Komponenten, die in ihrer Arbeitsweise untereinander abzustimmen sind. Dazu gehören folgende Koordinationsaufgaben:

- ? Gesamtsteuerung des Systems,
- ? Ansteuerung der Kameras und Sensoren,
- ? Koordination der Video- und Sensordatenauswertung,

- ? Ansteuerung der Datenspeicherung,
- ? Aufbereitung der Auswertungsergebnisse,
- ? Generieren der Meldungen zur Übertragung an die externe Schnittstelle,
- ? Empfang und Verarbeitung von über die externe Schnittstelle eingehenden Meldungen,
- ? Überwachung der Funktionsfähigkeit der einzelnen Komponenten.

2.5.4.3 Videoauswertung

Die Videoauswertung ist die wichtigste Komponente im Softwaresystem. Für die Videoverarbeitung werden kalibrierte Kameras verwendet. Jede Kamera liefert einen aus Einzelbildern bestehenden permanenten Videostrom.

Die Kameras werden in ihren internen Parametern (Beziehung zwischen Chip und Optik), externen Parametern (Beziehung zur umgebenden Realität) und Stereoparametern (Beziehung zwischen zusammengehörigen Stereokameras) kalibriert. Dies ist die Voraussetzung dafür, um in den Kamerabilddern auftretende Effekte bestimmten Erscheinungen der Realität zuordnen zu können.

Zur Erkennung von Objekten werden folgende Verfahren eingesetzt:

- (1) Kalibrierung, Ebenen- und Raumfestlegung,
- (2) Mono: Differenzbildverfahren und Bewegungsdetektion,
- (3) Mono: Strukturunterbrechungserkennung,
- (4) Clusterung: räumlich und zeitlich,
- (5) Mono: Größen-, Orts-, Geschwindigkeitsmessung mit Ebenenannahmen,
- (6) Stereo: Differenzbildverfahren mit zwei Kameras,
- (7) Stereo: Größen-, Orts-, Geschwindigkeitsmessung über Triangulation,
- (8) Erkennung anhand von Objekteigenschaften (Größe, Form, Muster, Ort, Zeit, Bewegung),
- (9) Objektidentifikation und –verfolgung,
- (10) Fixierung oder Ausblendung fester und beweglicher Objekte.

Die Verfahren (1) bis (5) verwenden die Daten einer Kamera (Mono). Sie erlauben ein Detektieren aller Objekte in den Gefahrenbereichen unter der Voraussetzung, dass die Objekte sich von ihrem Hintergrund visuell abheben. Die Verfahren basieren auf der Annahme, dass sich zu erkennende Objekte ausschließlich in bestimmten festzulegenden Ebenen bewegen. So kann zwischen Objekten im Gleisbereich und auf dem Bahnsteig unterschieden werden.

Diese Detektionsergebnisse werden beeinträchtigt durch auftretende Objekte, die sich nicht in den angenommenen Ebenen bewegen (z. B. fliegende Vögel), Spiegelungen an glatten Flächen oder geworfene Schatten. Diese Objekte werden zusätzlich zu den zu detektierenden Objekten von einem Monosystem registriert und können nicht in jedem Fall sicher als solche erkannt werden.

Um die nicht zu detektierenden Objekte sicher ausschließen zu können, werden Paare von Kameras, als Stereokameras angeordnet, eingesetzt. Die dadurch möglichen Verfahren (6) und (7) erlauben ein räumliches Sehen und bewirken, dass die Erkennungsergebnisse zuverlässig sind.

Die Verfahren (8) und (9) gestatten es, Objekte (wie z.B. Gleise, Züge oder Bahnsteigaufbauten, Menschen) zu erkennen anhand ihrer spezifischen Merkmale. Dadurch können Objekte klassifiziert werden, was zu einer semantischen Differenzierung führt.

Für die Bahnsteigüberwachung spezifisch zu lösende Aufgaben sind das Erkennen von verlegten Gleisen sowie das Erkennen von einfahrenden, stehenden und ausfahrenden Zügen. Hierzu werden bahnspezifische Größen-, Positions- und Bewegungsinformationen sowie Objekteigenschaften als Hintergrundwissen verwendet. Die Bereitstellung exakter Zugortungsdaten ist dagegen nicht erforderlich. Diese Verfahren sind unter Punkt (10) zusammengefasst.

Nachfolgend sind einige Teilgebiete der Bahnsteigsicherung aufgeführt, die einer softwaremäßigen Spezialbehandlung bedürfen.

Bahnsteiggleisüberwachung:

Die Überwachung des Bahnsteiggleises erfolgt über unterschiedliche Verfahren. Zunächst wird anhand von über den entsprechenden Bildbereich gelegte Rasterlinien ermittelt ob sich seit dem letzten Referenzbild Veränderungen ereignet haben. Ist dies der Fall werden über eine Ebenenannahme Objekte identifiziert und verfolgt. Dies kann für die Daten beider für den Bereich zuständigen Überwachungskameras getrennt erfolgen. Die Ergebnisse werden über eine logische Operation fusioniert. Letztlich erfolgt über den Stereoansatz eine exakte räumliche Zuordnung der Objekte. Bereits das als erster Schritt angewendete Rasterlinienverfahren stellt eine relativ sichere Methode dar, die je nach gewünschter Zuverlässigkeit durch die weiteren Schritte komplettiert werden kann.

Ein speziell zu lösendes Problem stellt die Wiederaufnahme der Überwachung nach Ausfahrt eines Zuges dar für den Fall, dass der Bereich hinter dem Zug nicht permanent überwacht wurde. Die Neuinitialisierung des Verfahrens hat hier durch eine spezielle Referenzbildbehandlung in Kombination mit dem Stereoverfahren zu erfolgen.

Bahnsteigkantenüberwachung:

Die Bahnsteigkantenüberwachung kann nach den gleichen Verfahrensschritten wie die Bahnsteiggleisüberwachung erfolgen. Da hier lediglich eine Warnung erfolgt, sind die an die Zuverlässigkeit gestellten Anforderungen jedoch geringer. Häufig ist es hier aufgrund des Passagieraufkommens nicht möglich einzelne Objekte zu identifizieren, sondern lediglich die Bereichsverletzung an sich festzustellen.

Ist der Bahnsteigkantenbereich neben einem Zug ebenfalls einsehbar, kann eine Detektion bei Zugein- und Zugausfahrt optional beibehalten werden.

Eindringüberwachung:

Für die Realisierung einer Eindringüberwachung sind keine gesonderten Verfahren erforderlich. Werden detektierte Objekte mit Position, Bewegungsrichtung verfolgt, so lässt sich ein Verlassen des Bahnsteigbereiches in Richtung Strecke leicht feststellen.

Zugbehandlung:

Entscheidend für den Erfolg eines Bahnsteigsicherungssystems ist die Behandlung von einfahrenden, im Bahnsteigbereich stehenden oder ausfahrenden Zügen. Diese dürfen nicht als Hindernisse eingestuft werden.

Züge werden zunächst als Objekte detektiert. Sie besitzen jedoch durch ihre Größe, Position, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Pixelmuster der Vorderfront eine typische Kombination von Merkmalswerten, die sie von übrigen Objekten klar unterscheidet. Fahrtinformationen von der Leitstelle können einbezogen werden, sind jedoch nicht zwingend erforderlich.

Schatten und Reflexionen:

Schatten und Reflexionen können auftreten, wenn sich Objekte im Bahnsteigbereich oder in dessen unmittelbarer Nähe bewegen. Sie dürfen nicht als Hindernis detektiert werden. Reflexionen treten vor

allem als eng begrenzte Objekte auf der Schienenoberfläche auf. Schatten lassen sich als großflächige Helligkeitsunterschiede bei gleicher Bildstruktur identifizieren oder mit detektierten Objekten in Verbindung bringen. Weiter lassen sich räumliche Informationen der Stereokameras zur Erkennung verwenden.

Erschütterungen:

Erschütterungen sind im Bahnsteigumfeld nicht zu vermeiden und können nur teilweise durch entsprechende Halterungen ausgeglichen werden. Es ist zusätzlich eine softwaremäßige Stabilisierung der aufgezeichneten Videobilder erforderlich.

Sichtweitenbestimmung:

An Bahnsteigen in Gebäuden herrschen relativ konstante Sichtverhältnisse. Lediglich an Übergängen ins Freie oder in Tunneln existieren Beleuchtungsunterschiede, die gegebenenfalls durch zusätzliche Beleuchtungen oder spezielle Kameratechnik umgangen werden können. An Bahnsteigen im Freien dagegen treten räumlich und zeitlich differenzierte Lichtverhältnisse auf. Dazu kommt die verminderte Sicht bei bestimmten Witterungslagen. Diese Probleme lassen sich reduzieren durch eine stärkere räumliche Begrenzung der Überwachungsbereiche, geeignete Kamera- und Beleuchtungstechnik oder eine Überdachung.

Darüber hinaus muss die Software zur Videoauswertung den unterschiedlichen Überwachungsbedingungen gerecht werden. So kommen spezielle Bildverarbeitungstechniken zum Einsatz, die ein Detektieren auch bei Lichtunterschieden und Einschränkungen durch Schnee, Regen und Nebel bis zu einem bestimmten Grad erlauben. Der Grad orientiert sich an den optisch-visuellen Fähigkeiten des Menschen.

Die genannten Witterungserscheinungen führen nicht zu einem abrupten Abbruch der Systemfunktionalität, sondern zu einem kontinuierlichen Verrauschen des Bildes. Dieses Rauschen hebt sich von den übrigen Bildinformationen ab und kann über Filter ausgeblendet werden. Wichtig sind Komponenten, die die eigenen Erkennungsfähigkeiten einschätzen, z.B. anhand von Referenzbildern oder Kontrastbewertungen, und entscheiden, ob ein zuverlässiges Arbeiten unter den jeweiligen Bedingungen möglich ist.

2.5.4.4 Daten- und Videospeicherung

Die Speicherung der Auswertungsdaten wird auf den Festplatten der Auswerterechner, die der Kameradaten auf Datenträgern der Videoansteuerung vorgenommen. Beide erfolgen permanent jeweils in einem Ringspeicher. Im Fall einer Hinderniserkennung wird die Speicherung nur so weit fortgesetzt, dass die Sequenzen lückenlos ab einem bestimmten Zeitpunkt vor der Beanspruchung erhalten bleiben. Diese Sequenzen können zur Kontrolle von außen über die externe Schnittstelle Bedienung abgerufen werden.

Die Länge der zyklischen Aufzeichnung kann als Parameter in bestimmten Grenzen festgelegt werden. Da vorab nicht klar ist, welche Kamera- oder Sensordaten zu einer Beanspruchung führen, sind bis zu einer Beanspruchung die Daten aller Kameras und Sensoren (bei Stereokamera paaren jeweils nur einer Kamera) zyklisch aufzuzeichnen. Nach einer Beanspruchung ist situationsabhängig zu entscheiden, welche Aufzeichnung weiter fortgesetzt wird.

2.5.4.5 Videoübertragung

Für die Übermittlung der Bilder zur Bahnsteigbeobachtung werden die analogen (oder digitalen) Signale aller installierten Kameras auf einen Videoswitch geschaltet. Dieser Switch wird so ausgeführt, dass über das Netz jedes gewünschte Kamerabild in die Leitstelle übertragen werden kann. Mittels

Hardware-Videoencoder wird das Signal digitalisiert und komprimiert sowie in Echtzeit an der Schnittstelle zur Übertragung in die Leitstelle bereitgestellt.

Pro Bahnsteig werden zwei Kanäle vorgesehen, wodurch maximal zwei Bilder pro Bahnsteig gleichzeitig angeboten werden können. Für die Datenübertragung sind abhängig von der gewünschten Bildauflösung, -wiederholfrequenz und -kompression Raten von bis zu 10 Mbit/s erforderlich. Für die Videoübertragung werden kommerziell verfügbare Systeme eingesetzt.

2.5.4.6 Sensordatenfusion

Sämtliche eingesetzten Sensoren (Kameras und Zusatzsensoren) benötigen ihre eigenen softwaremäßigen Auswerteeinheiten. Sie arbeiten zunächst parallel und unabhängig voneinander.

Entscheidend ist, dass die Auswertungsergebnisse für alle Sensordaten eines Moduls (eines Überwachungsbereiches) geeignet fusioniert und zu einem einheitlichen Umgebungsmodell zusammengefasst werden. Dies kann z. B. über einen Kalman-Filter erfolgen. So können Hindernisse kontinuierlich räumlich und zeitlich über mehrere Sensoren hinweg verfolgt werden.

2.5.4.7 Anwendungsmodellierung

Um die komplexen logischen Zusammenhänge des Anwendungsgebietes im System zu erfassen, wird softwaremäßig ein Anwendungsmodell erstellt. Dieses beschreibt, soweit für die Systemfunktion von Bedeutung, die möglichen auftretenden Situationen (wie Zugfahrten, Hindernisse, Ein- und Aussteigevorgänge, Objektbewegungen, ...), möglichen Systemreaktionen (Fahrt, Betriebsbremsung, Zwangsbremsung, Hupsignal, Lautsprecherdurchsage, ...), deren funktionale Zusammenhänge und objektiven Restriktionen.

Durch den Aufbau dieser Anwendungsmodelle gelangt bahnspezifisches Hindergrundwissen direkt in das System und kann verwendet werden, um Detektionsprozesse zu begleiten, sicherer und zuverlässiger zu machen.

So kann beispielsweise nach dem Erkennen der Vorderfront eines Zuges davon ausgegangen werden, dass nach dem Erkennen der Zugforderfront bis zur Zugendetektion keine eigentlichen Hindernisse im Gleisbereich auftreten können, auch wenn sich z.B. bei Güterzügen mit offenen Wagen sich ein sehr heterogenes Bild teilweise mit Fahrzeugen, Geräten usw. ergibt.

2.5.4.8 Entwicklungsumgebung

Für die effektive Gestaltung der Prozesse der Erstellung, Installation, Anpassung und Wartung des Bahnsteigsicherungssystems wird ein Entwicklungssystem aufgebaut, das einerseits eine Bibliothek von Softwaremodulen für alle Aufgaben der Bahnsteigsicherung enthält und andererseits eine Generierungs- und Testumgebung bereitstellt, die den Aufbau konkreter Anwendungssysteme, deren Testung und Manipulation vereinfacht. Gleichzeitig wird dadurch der Prozess der Installation, Anpassung, Wartung, Pflege und erforderlichenfalls Fehlerbehebung unterstützt.

2.6 Installation, Betrieb und Wartung

Für das beschriebene Gesamtsystem werden ein Installationsplan, eine Bedienungsanleitung und ein Wartungsplan erstellt. Sie orientieren sich an den im Lastenheft Bahnsteigsicherung geforderten Systemparametern.

Das System ist so konzipiert, dass ein minimaler Installations- und Wartungsaufwand entsteht. Die technischen Aufbauten werden bis auf Einzelfälle nicht im Gleisbereich angebracht. In der Regel ist für Reparatur- und Wartungsarbeiten auch kein Betreten des Gleisbereiches bzw. Verletzung des Lichtraumprofils erforderlich. Ausnahmen können sich insbesondere bei der bahnteigfernen Anordnung ergeben.

Die verwendeten Kameragehäuse schützen die Kameras vor extremen Witterungsbedingungen und Verschmutzungen. Ein manuelles Reinigen von Scheiben an Kameragehäusen ist in bestimmten größeren Zeitintervallen erforderlich.

Das parallel entwickelte Softwareentwicklungssystem für die Bahnsteigsicherung unterstützt die Prozesse Installation, Betrieb und Wartung.

Bei der Systemkonzeption, der Installation, dem Betrieb und der Wartung sind Kostenabschätzungen zu berücksichtigen, die sich über den gesamten Lebenszyklus des entwickelten Systems erstrecken.

Die im Lastenheft Bahnsteigsicherung Fahrweg gemachten Aussagen zu Installation, Betrieb und Wartung gelten als erreichbar.

2.7 Sicherheit, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Für die einzelnen Systemkomponenten sowie für das angebotene Gesamtsystem ist vor einem Praxiseinsatz die geforderte Sicherheit nachzuweisen. Für alle zu realisierenden Hardwareeinrichtungen wird das SIL (safety integrity level) 1 gefordert. Die Entwicklung von Software hat nach den im Lastenheft angegebenen EU-Normen zu erfolgen. Für die Beschreibung von Hardware und Software werden teilweise formale Methoden eingesetzt (z.B. Methode B, Sprache UML), die den Prozess des System-Engineering unterstützen, systematisieren und teilweise Verifikationen erlauben. Bei der Systemrealisierung werden die Prozesse nach Cenelec zugrunde gelegt. Im übrigen sind die Sicherheitsbetrachtungen im Zusammenhang mit denen anderer Teilgewerke und der Systemrisikoanalyse zu betrachten. Die Erreichung der im Lastenheft Bahnsteigsicherung angegebenen Versagenswahrscheinlichkeiten für den Erkennungsmechanismus werden angestrebt.

Die Zuverlässigkeit des Systems ergibt sich aus verschiedenen Faktoren. Grundlegende Voraussetzung ist der Einsatz entsprechend zuverlässiger Hardwarekomponenten, wie Sensoren, Auswerteeinrichtungen und Vernetzungen. Teilweise werden Komponenten eingesetzt, die bereits im Bahnumfeld oder im Fahrzeugumfeld unter Alltagsbedingungen erprobt wurden.

Insbesondere werden die Kamerasysteme selbstüberwachend angelegt und separate softwaremäßige interne Überwachungssysteme so installiert, dass sie das Erkennen von Ausfällen von Systemkomponenten (z.B. Auswerteeinrichtungen, Sensoren, Vernetzungen), von Beeinträchtigungen von Kameras (z.B. Verschmutzung, Beschädigung) sowie von internen Systemzuständen (z.B. Initialisierungen) übernehmen.

Die relativ hohe Anordnung der Kameras schützt diese vor schnellen oder starken Verschmutzungen und Beschädigungen. Der Einsatz von Stereokameras dient der direkten Erhöhung der Zuverlässigkeit auch dadurch, dass der Ausfall einer Kamera lediglich das Stereosehen betrifft. Das resultierende Monosystem ist weiter arbeitsfähig und reagiert zur sicheren Seite. Es erhöht sich lediglich die Anzahl der Fehlalarme. Bei Ausfall der Auswerterechner ist die Videoansteuerung weiter funktionsfähig und kann zur Fernbeobachtung verwendet werden.

Die betriebliche Gesamtverfügbarkeit ist vom Zusammenspiel der verschiedenen Gewerke abhängig und muss deshalb frühzeitig mit den Losen Fahrzeugführung, ATC, Betriebsregeln und Betriebsarten bzw. Fehlermanagement abgestimmt werden.

Die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Bahnsteigsicherung orientieren sich insgesamt an der Sichtweise von Triebfahrzeugführern bei Fahrten im Bahnsteigbereich oder von Bahnbediensteten auf dem Bahnsteig.

3 Arbeitsschritte

Die im Arbeitspaket Bahnsteigsicherung zur Schaffung entsprechender Systeme durchzuführenden Arbeiten lassen sich vom technischen Standpunkt aus in mehrere Arbeitsschritte zur Erbringung verschiedener Teilleistungen untergliedern, die zeitlich parallel oder nacheinander auszuführen sind. Die nachfolgende Zusammenstellung gibt einen Überblick:

- ? Organisation / Verwaltung (mit Beschaffung, Sicherung, Archivierung, ...),
- ? Anwendungsmodellierung (mit Recherche, Lastenheft, Abnahmeprozedur, Situations- und Handlungsklassifikation, ...),
- ? Systementwicklung (mit Spezifikation, Hardware- und Softwarearchitektur, Implementation von Anwendungs- und Entwicklungssystem, Installation, Wartung, ...),
- ? Praxiseinsatz (mit Mitfahrten, Inspektionen, Messkampagnen, Systemtests, ...),
- ? Dokumentation / Präsentation (mit Qualitätsmanagement, Veröffentlichungen, Ausstellungen, Systembeschreibung, Installations-, Betriebs- und Wartungsanleitung, ...).

Das eigentliche Ziel der Arbeiten besteht in der Entwicklung eines einsetzbaren Anwendungssystems zur Bahnsteigsicherung. Dieses System wird in drei Entwicklungsstufen vorliegen:

- ? Einzelsensorsystem,
- ? Multisensorsystem und
- ? komplettes echtzeitfähiges Prototypsystem.

Die praktischen Arbeiten hierzu untergliedern sich in nachfolgende Punkte:

- ? praktischer Test im Laborbetrieb,
- ? exemplarische Messkampagnen,
- ? systematische Messkampagnen,
- ? Dauermesskampagnen und
- ? praktischer Einsatz im realen Bahnbetrieb.

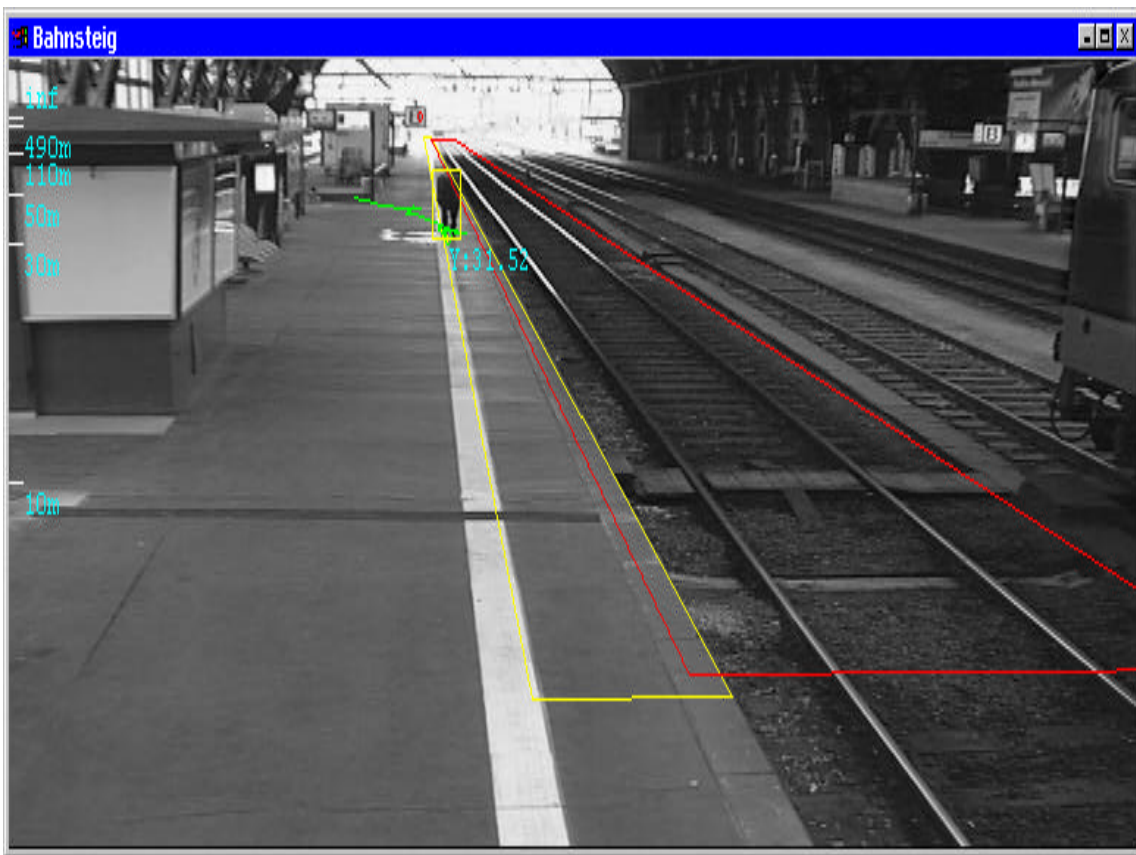
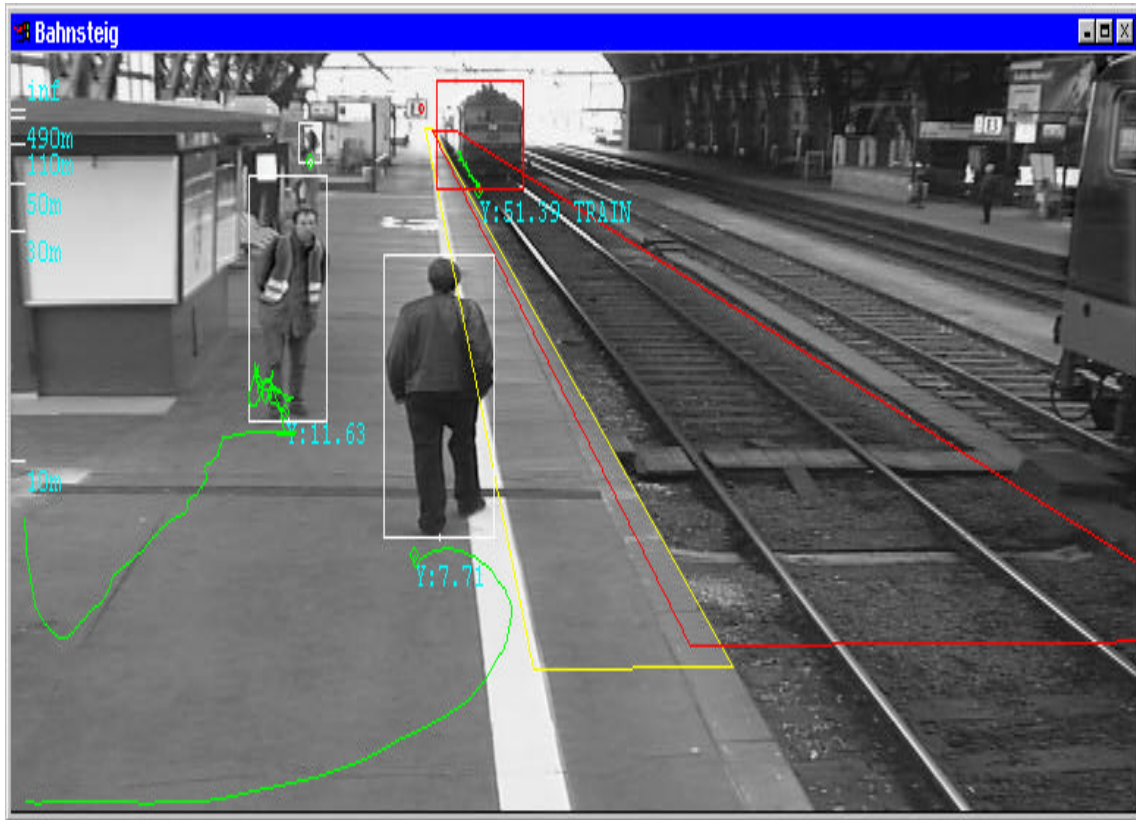
4 Vorliegende praktische Ergebnisse

Die nachfolgenden Bilder demonstrieren erste praktische Ergebnisse bei der stationären Überwachung von Bahnsteigbereichen.

Das erste Bild zeigt die Festlegung der beiden Bahnsteigbereiche (Bahnsteiggleisbereich rot und Bahnsteigkantenbereich gelb), den vom System erkannten einfahrenden Zug (rot) sowie die Detektion und Verfolgung zweier Objekte auf dem Bahnsteig (weiß).

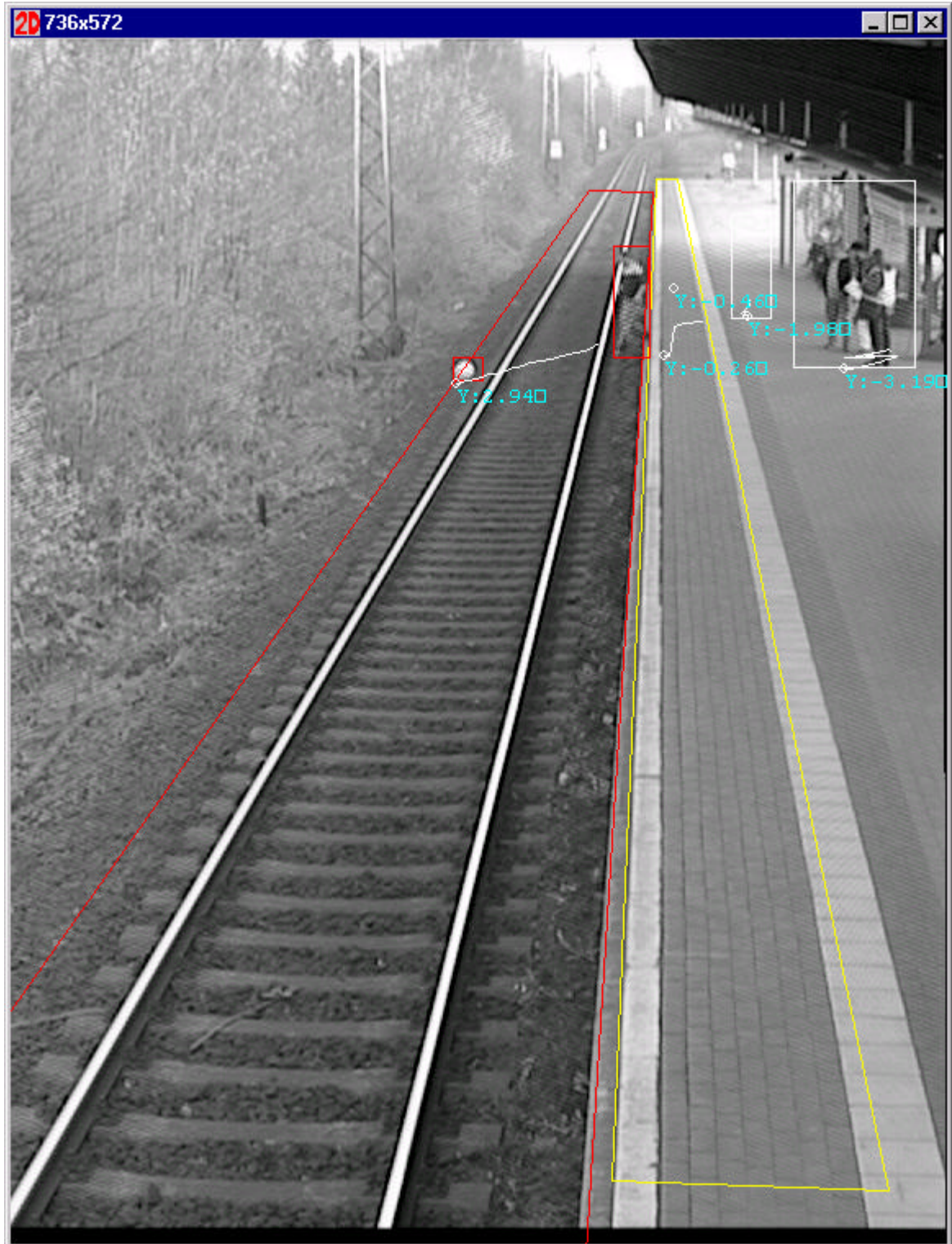
Das zweite Bild demonstriert die Detektion und Verfolgung eines Objektes im Bahnsteigkantenbereich (gelb).

Beide Bilder entstanden im S-Bahn-Bereich des Hauptbahnhofes Dresden.

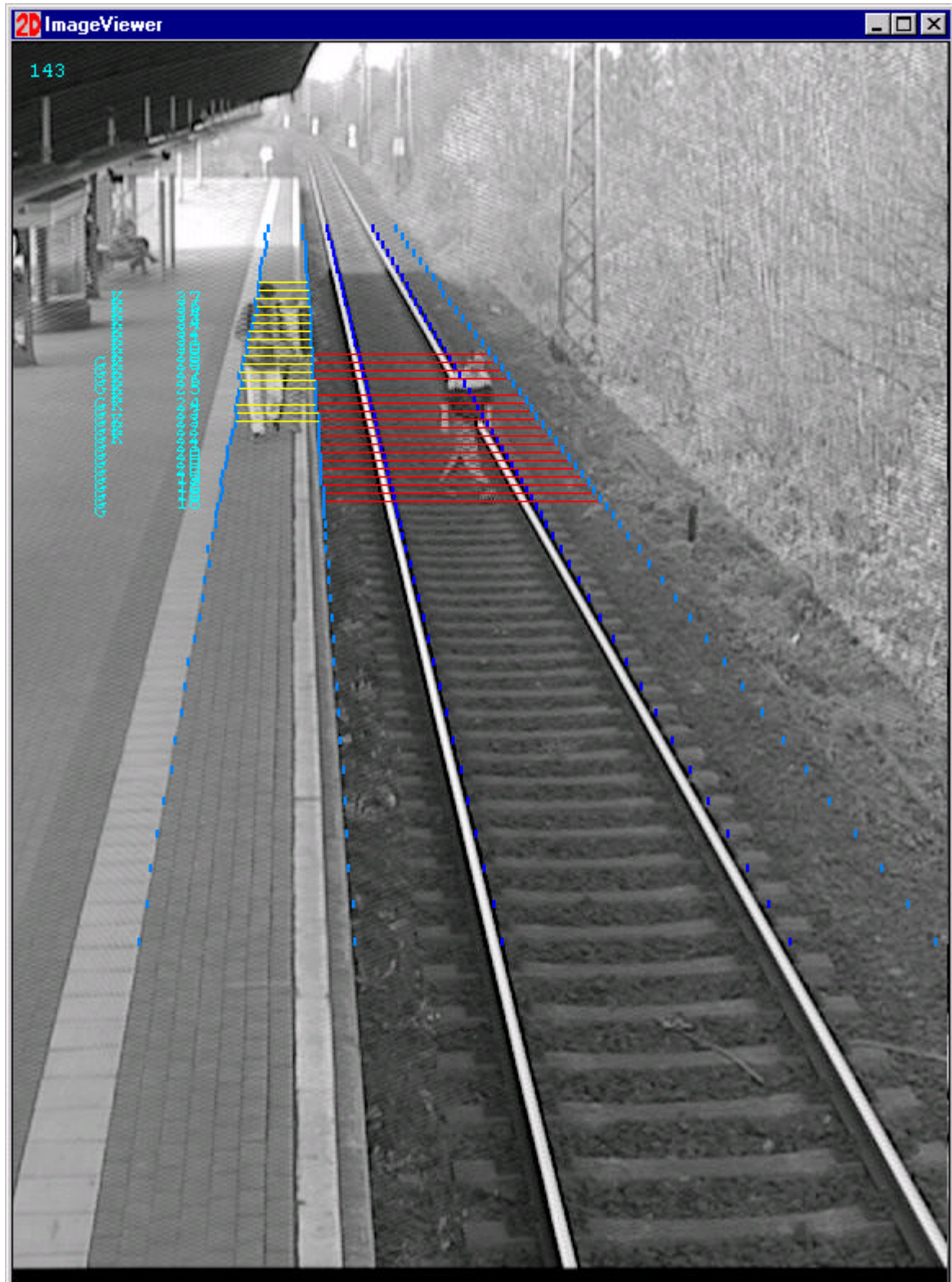


Das dritte Bild zeigt eine Detektionsszene an einem Bahnsteig des Haltepunktes Dresden-Strehlen, der von S-Bahnen angefahren und Fernbahnen passiert wird.

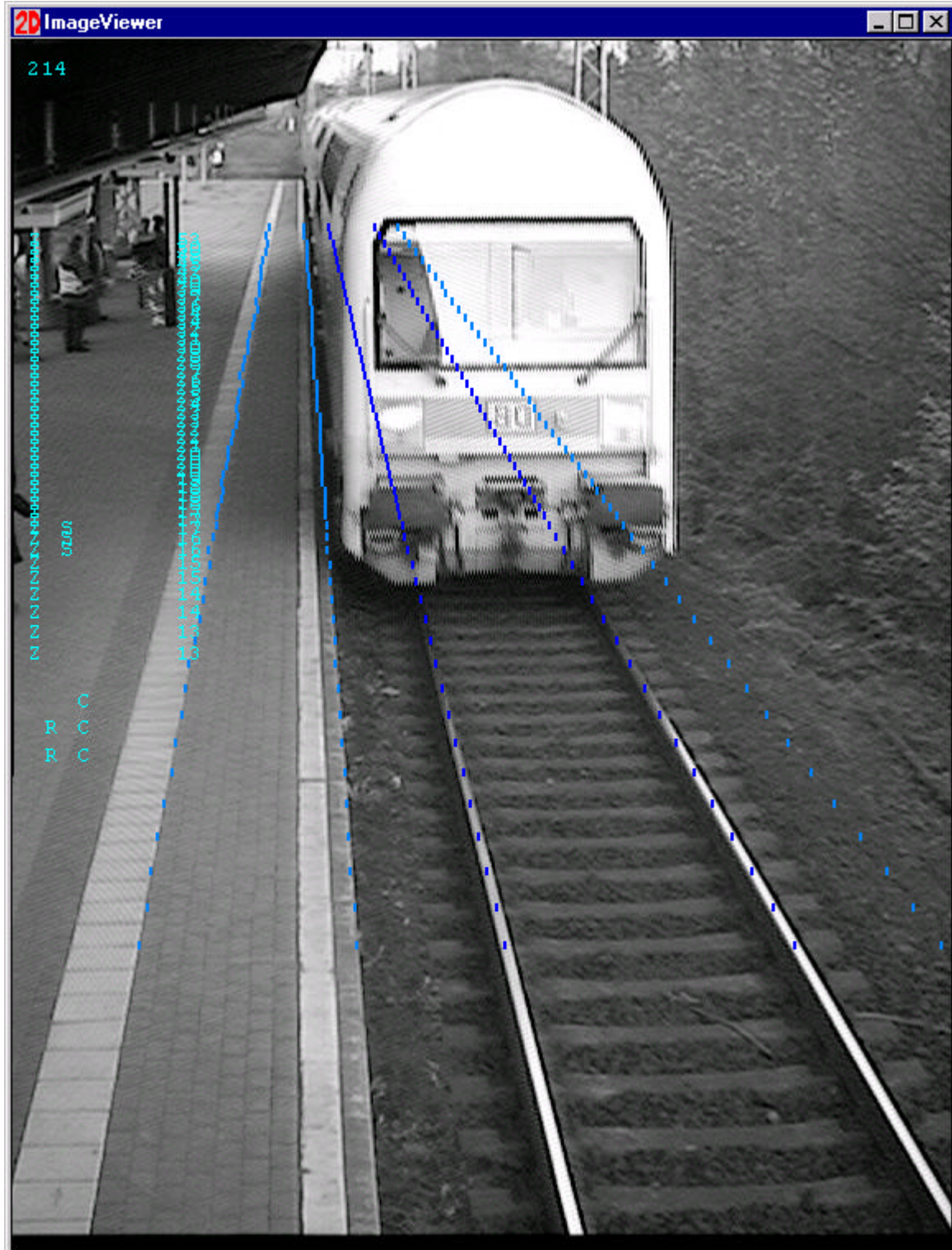
Ein Prüfkörper und eine Person werden im Bahnsteiggleisbereich detektiert (rot).



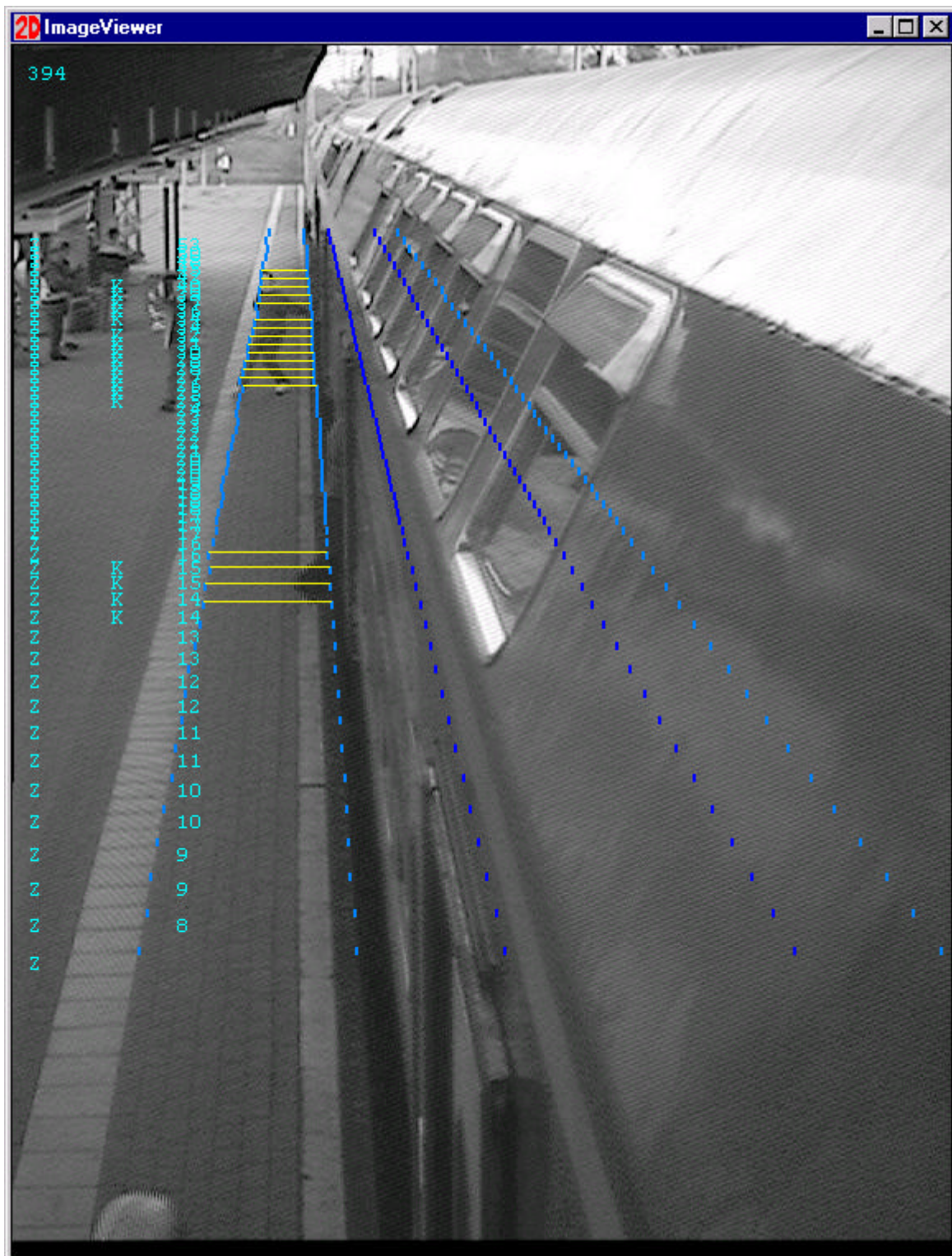
Das vierte Bild zeigt eine Detektionsszene im Bahnsteiggleisbereich und im Bahnsteigkantenbereich ebenfalls am Bahnsteig des Haltepunktes Dresden-Strehlen. Über das Rasterlinienverfahren wird die Verletzung der Bereiche durch Personen (rot und gelb) angezeigt.



Das fünfte Bild zeigt eine Szene ebenfalls am Bahnsteig des Haltepunktes Dresden-Strehlen. Es wird der einfahrende Zug erkannt und der entsprechende Abschnitt des Bahnsteiggleisbereich nicht für die Hinderniserkennung freigeschaltet. Zusätzlich werden auftretende Schatten und Reflexionen ausgefiltert.



Das sechste Bild zeigt schließlich die Überwachung des Ein- und Aussteigevorganges.



Die nachfolgenden Bilder zeigen die stationären Überwachungseinrichtungen am Haltepunkt Strehlen.



Abschließend zwei typische Szenen an Bahnsteigen im S-Bahn-Bereich Dresden-Hauptbahnhof und Dresden-Strehlen.



5 Erfüllung der Systemanforderungen

Im Rahmen dieses Berichtes wurde das Konzept eines Systems zur stationären Bahnsteigsicherung im Schienenverkehr vorgestellt, das unter der Zielstellung entwickelt wurde, die im Lastenheft stationäre Bahnsteigsicherung aufgestellten Anforderungen zu erfüllen.

Als Ergebnis kann eingeschätzt werden, dass der Aufbau eines derartigen Systems unter der Maßgabe der Erreichung einer mindestens gleich hohen Sicherheit wie beim Einsatz eines menschlichen Triebfahrzeugführers aus konzeptioneller Sicht möglich ist. Diese Aussage bedarf jedoch weiterhin der praktischen Überprüfung in Gesamtsystemerprobungen sowie in einem im realen Zugbetrieb stattfindenden Dauertest.

Die verwendeten Verfahren des Systems orientieren sich an den menschlichen optischen und teilweise mentalen Fähigkeiten bei der Überwachung des Bahnsteigbereiches. Ein insgesamt sicheres und zuverlässiges Erkennen von Hindernissen im zu überwachenden Raum durch das konzipierte System ist nur dann möglich, wenn der Bahnsteigbereich ausreichend beleuchtet und lückenlos eingesehen werden kann. Auch bei extremem Nebel oder extrem schlechter Sicht sind objektive Grenzen gesetzt. Dies ist bei der Wahl der Anordnung der Technik, insbesondere der Überwachungskameras, zu berücksichtigen. Exakte Parameter für Grenzwerte sind in den laufenden praktischen Tests noch zu ermitteln.

6 Weitere Anwendungsmöglichkeiten

Der Einsatz stationärer Kameratechnik zur Überwachung von Bahnsteigbereichen bietet potentiell weitere für einen automatischen Fahrbetrieb nützliche Funktionen. Eine mögliche Anwendung des konzipierten Systems ist die bahnsteigseitige Bedarfsermittlung auf dem Bahnsteig. Dazu wird mit den stationär auf dem Bahnsteig angebrachten Kameras für die Bahnsteiggleisüberwachung gleichzeitig der an das Gleis angrenzende Bereich des Bahnsteiges eingesehen und eine Schätzung des jeweils aktuellen Passagieraufkommens vorgenommen. Der Verlauf der ermittelten Werte wird über die Zeit verfolgt und statistisch ausgewertet. Dies erlangt insbesondere im Hinblick auf eine flexible Betriebsführung besondere Bedeutung.

Alle auf dem Bahnsteig eingesetzten Kameras können außerdem auf Anforderung hin ihre Daten an einer Schnittstelle bereitstellen, so dass von einem externen System ein Abrufen und Anzeigen auf einem Bildschirm der Leitstelle in Echtzeit möglich ist. Die Beobachtung umfasst die Bereiche des Bahnsteiggleises und der Bahnsteigkante, erforderlichenfalls auch der Bahnsteigkante neben dem im Bahnsteigbereich befindlichen Zug.

Im Beanspruchungsfall könnte die auslösende Kamera jeweils automatisch aufgeschaltet werden. Anschließend wäre ein Umschalten auf andere Kameras manuell aus der Leitstelle möglich. Da die Kameras feste Positionen und Einstellungen besitzen, ist eine Reaktion des Systems auf weitere Steuerungsparameter nicht erforderlich.

Das entwickelte Konzept ist so angelegt, dass es nicht nur für den automatischen Fahrbetrieb, sondern unterstützend auch für den konventionellen Fahrbetrieb eingesetzt werden kann, so z.B. zur Warnung bei Zugein- oder Zugdurchfahrten an Bahnsteigen. Auch eine Übertragung auf die Überwachung anderer Gefährdungsbereiche, wie z.B. Bahnübergänge, ist mit vertretbarem Aufwand möglich.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das im Rahmen dieses Berichtes vorgestellte Konzept zur stationären Bahnsteigsicherung erfüllt im wesentlichen die im Lastenheft Bahnsteigsicherung aufgestellten Anforderungen. Es zeichnet sich gegenüber anderen stationären Sicherungssystemen durch geringere Kosten sowie geringeren Installations- und Wartungsaufwand aus. Im Vergleich zur fahrzeugseitigen Bahnsteigsicherung ermöglicht die stationäre Sicherung Verfahren, die der jeweils konkreten Bahnsteiginfrastruktur angepasst sind und eine Überwachung unabhängig von einer Zugfahrt ermöglichen. Damit lassen sich die Systeme nicht nur für den automatischen Zugbetrieb, sondern zur generellen Bahnsteigsicherung auch im konventionellen Betrieb einsetzen.

Das System befindet sich gegenwärtig in praktischer Erprobung im Rahmen zweier Dauermesskampagnen einerseits unter Laborbedingungen und andererseits unter realen Bedingungen am Bahnsteig. Aus diesen Tests werden sich weitere Konkretisierungen, aber teilweise auch Änderungen ergeben, die in das Konzept bzw. letztlich zu realisierende System einzuarbeiten sind.

Anlage 3

Abschlussbericht KOMPAS

BMBF 19P0041 C

Bericht Prototyp Hinderniserkennung Fahrweg

AP 320



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Zeunerstr. 38
01069 Dresden

Prototyp Hinderniserkennung Fahrweg Bericht zum Meilenstein M9b



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter
Schienenverkehr (KOMPAS),
Phase 1



Arbeitspaket 320	
Hinderniserkennung entwickeln	
Ersteller: Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden (FhG-IVI)	Förderkennzeichen: 19P 0041C
Stand: Version 1.0	

Nachweis des Ausgabestandes					
Stand	Kennzeichen	Ausgabe-datum	Name des Erstellers	geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
V.1.0	E	23.11.2002	M.Rüder	alle	

E = Entwurf

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Ing. Faruque Ahmed
Dipl.-Ing. Tom Dimter
Dipl.-Ing. Nikolaus Möhler
Dr.-Ing. habil. Wolfgang Oertel
Dipl.-Inform. Milan Rüder
Dipl.-Ing. Uwe Schneider

Dieser Bericht ist abgestimmt mit:

Deutsche Bahn AG, Forschungs- und Technologiezentrum München (teilweise)

Vermerke des Eisenbahn-Bundesamtes:

Impressum

Geschäftsführende Stelle:

Fraunhofer Institut
Verkehrs- und Infrastruktursysteme
FABF
Fahrerassistenz und Betriebsführung

Fachautor:

Dipl.-Inform. Milan Rüder
Zeunerstr. 38
01069 Dresden
Telefon: (0 351) 46 40 – 684
Fax: (0 351) 46 40 – 803
E-Mail: rueder@ivi.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 ÜBERBLICK	7
1.1 Aufgabe	7
1.2 Sensorik	7
1.2.1 Videokameras	7
1.2.2 Infrarotradar	7
1.2.3 GPS-Empfänger	7
1.3 Auswerterechner	7
1.4 Algorithmen	8
1.5 Ausblick	8
2 AUFGABE	9
3 SYSTEMDESIGN	10
4 SENSORIK	11
4.1 Videokameras	11
4.2 Infrarot-Radar	12
4.3 GPS-Empfänger	13
5 RECHENTECHNIK	14
5.1 Rechner 1	16
5.1.1 Positionsbestimmung	16
5.1.2 Videoverarbeitung	16
5.1.3 Infrarotradar	17
5.1.4 Fusion	17
5.1.5 Kommunikation	17
5.2 Rechner 2	17
5.2.1 Videoverarbeitung	17
5.2.2 Kommunikation	17
6 ALGORITHMEN ZUR BILDVERARBEITUNG	18
6.1 Gleiserkennung	18
6.1.1 Zustandsvektor	18
6.1.2 Modellgleichungen	19
6.1.3 Merkmalsbestimmung	19
6.2 Hinderniserkennung durch Gleisunterbrechungen	23
6.3 Kantenelementanalyse	24

6.4	Varianzanalyse	27
6.5	Korrelationsanalyse	29
6.6	Bewegungsanalyse	31
6.7	Statistische Bildanalyse	33
6.8	Stereo Bildverarbeitung	36
7	DATENFUSION	40
7.1	Entwurf des Filters	40
7.2	Abstandsmaß	41
7.3	Fusion	41
7.4	Gleichungen des Kalmanfilters	42
8	KOMMUNIKATION	43
8.1	Rechner zu Rechner Kommunikation	43
8.2	Infrarotradar zur Hinderniserkennung	43
8.3	Hinderniserkennung zu Fahrzeugrechner	43
9	AUFBAU	44
9.1	Mechanischer Aufbau	44
9.2	Kalibrierung	45
9.2.1	Videokameras	45
9.2.2	Infrarotradar	45
9.2.3	GPS-Empfänger	45
10	MESSKAMPAGNEN	46
10.1	Testfahrzeug des FTZ	46
10.2	S-Bahn	47
10.3	Testfahrzeug IVI	48
11	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	49

Literaturverzeichnis

- [1] Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg, DB AG, FTZ München, 29.06.2000
- [2] Lastenheft Schnittstelle HiErk Rechner - AF-M Rechner, FhG-IVI Dresden, 12.12.2000
- [3] Technische Konzeption Hinderniserkennung Fahrweg, FhG-IVI Dresden, 12.12.2000
- [4] W. Enkelmann. An Obstacle Detection System for Automatic Trains. WCRR '97, 4th World Congress on Railway Research, Florence, Italy, 16-19 November 1997, Volume C, 411-417.
- [5] R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, W. Enkelmann. Robust Lane Recognition Embedded in a Real-Time Driver Assistance System. IEEE International Conference on Intelligent Vehicles, Vol. 1, October 28-30, 1998, Stuttgart, Germany, 35-40.
- [6] R. Risack, P. Klausmann, W. Krüger, N. Möhler, W. Enkelmann. Robuste Fahrspurverfolgung und Bewegungskompensation in einem videobasierten Echtzeitsystem. Autonome Mobile Systeme 1998, 14. Fachgespräch, Karlsruhe, 30.11.-01.12.1998, H. Wörn, R. Dillmann, D. Henrich (Hrsg.), Informatik aktuell, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1998, 27-36.
- [7] Y. Bar-Shalom, X.-R. Li. Estimation and Tracking, Artech House, Boston, London, 1993
- [8] Lucas, B. and Kanade T., " An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", in Proc. DARPA Image Understanding Workshop, 1981.
- [9] W.Oertel, Hinderniserkennung für Schienenfahrzeuge, in IITB Jahresbericht 2001, FhG IITB, Karlsruhe, 2001, 50-51.

1 Überblick

1.1 Aufgabe

Im Rahmen des Projektes KOMPAS sollen Komponenten für einen automatisierten Betrieb von Schienenfahrzeugen entwickelt und getestet werden. Im Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme wird ein Hinderniserkennungssystem zur Überwachung des Fahrweges vor einem Schienenfahrzeug entwickelt. Der Prototyp besteht aus Videokamera-, Infrarotradar- und PC-Systemen. Detektierte Objekte werden über CAN-Bus an einen Fahrzeugrechner gemeldet.

Im Folgenden wird der realisierte Prototyp vorgestellt.

1.2 Sensorik

Der Prototyp des Hinderniserkennungssystems verwendet 3 Arten von Sensoren:

1.2.1 Videokameras

Zur Überwachung des Gleisbereiches werden mehrere Videokameras eingesetzt. Diese sind hinter der Frontscheibe des Schienenfahrzeuges montiert.

Der Nahbereich vor dem Schienenfahrzeug bis zu einer Entfernung von etwa 50 Metern wird mit einem Stereokamerapaar beobachtet.

Der Fernbereich von ca. 50 m bis mindestens 150 m wird durch eine weitere Kamera überwacht.

1.2.2 Infrarotradar

An der Vorderseite des Schienenfahrzeuges ist außen ein Infrarotradar installiert. Dieser aktive Sensor strahlt Infrarotlicht aus und bestimmt aus dem Reflektionsmuster Hindernisse im Strahlengang. Die Reichweite beträgt bei schlecht reflektierenden Materialien etwa 150 m bei einem Öffnungswinkel von 10°. Die Radarstrahlen werden durch einen integrierten Gierratensensor in Kurven aktiv geschwenkt.

Erkannte Objekte werden über eine CAN-Schnittstelle zur weiteren Auswertung zur Verfügung gestellt.

1.2.3 GPS-Empfänger

Ein GPS-Empfänger (Global Positioning System) bestimmt mehrmals pro Sekunde die genaue Position und Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Die Ortungsdaten werden mit den vom Fahrzeugsteuerrechner gelieferten Daten fusioniert.

1.3 Auswerterechner

Die Auswertung der Sensormeldungen erfolgt auf PC-Systemen. Es kommen Rechner in 19"-Format zum Einsatz, die mit je zwei Intel Pentium III Prozessoren mit 1.0 Ghz Takt ausgestattet sind. Durch den modularen Aufbau aus Einzelkomponenten ist eine Verteilung der einzelnen Teilaufgaben auf verschiedene Rechnersysteme möglich.

In den PC's sind zusätzlich zu den Standardschnittstellen wie seriell, parallel und Ethernet mehrere Einsteckkarten eingebaut:

- Bildeinzugkarte *Eltec PC-EYE4*,
- CAN-Schnittstellenkarte *ESD PCI/331*,
- Messwerterfassungskarte *Meilhaus ME2600i*.

Über diese Karten und Schnittstellen wurden die Sensoren zur Umgebungserfassung angeschlossen, sowie die Kommunikation der Rechner untereinander durchgeführt.

Der erste Rechner im Prototypensystem ist für den Betrieb des Infrarot-Radars und für die Verarbeitung der Videodaten der Fernkamera zuständig. Des Weiteren findet die Datenfusion der verschiedenen Hindernismeldungen statt.

Am zweiten Rechner sind die Stereokameras angeschlossen. Auf diesem Rechner wird die Hinderniserkennung im Nahbereich berechnet.

1.4 Algorithmen

Der Gleisverlauf vor dem Fahrzeug wird durch einen Klothoidenschätzer bestimmt. Hierzu werden horizontale Übergänge der Helligkeit von dunkel nach hell und von hell nach dunkel gesucht. Diese Übergänge werden als Messwerte in einer nichtlinearen Optimierung für mehrere 3D-Schienenmodelle genutzt.

Eine Texturanalyse erfasst Veränderungen des Gleisbildes mit der Entfernung zum Fahrzeug. Hierdurch werden Objekte detektiert, die sich auf Grund ihrer Textur vom Gleisbild abheben.

Eine Bewegungsanalyse vergleicht die durch optischen Fluss bestimmten Bewegungen im Bild mit den auf Grund der Fahrzeuggeschwindigkeit erwarteten Bewegungen. Ergeben sich hierbei Differenzen, kann ein Objekt die Ursache sein.

In den Fernkamerabildern werden weiterhin Kantenelemente bestimmt. Eine Analyse der Struktur der Kanten zeigt, ob diese zum Gleis, zu den Schwellen, dem Schotter oder einem Hindernis gehören.

Die Detektion von Hindernissen im Nahbereich erfolgt durch einen Vergleich der beiden Stereobilder unter zu Hilfenahme der inversen perspektivischen Projektion. Hierbei wird Wissen über die Anordnung der Kameras zueinander sowie zur Gleisebene genutzt. Es werden durch diesen Algorithmus Objekte erkannt, die aus der Gleisebene herausragen.

1.5 Ausblick

Das IVI-Hinderniserkennungssystem besteht nur aus handelsüblichen Komponenten. Dazu zählen PC-Systeme, Videokameras und ein Infrarotradar. Dieser kostengünstige Ansatz trägt zu einer flexiblen Verbesserung und einer Unabhängigkeit gegenüber einem speziellen Gerätelieferanten bei.

Die Hinderniserkennung wurde bei der Abschlusspräsentation in München demonstriert und lieferte trotz leichten Regens Detektionsweiten bis zu 230 Metern. Die Rate an im Gleis falsch gemeldeten Hindernissen war sehr gering. Eine komplett falsch negative Systemreaktion war nie gegeben.

2 Aufgabe

Das Projekt KOMPAS stellt einen Rahmen für Entwicklungen von Komponenten des automatisierten Schienenverkehrs her. Ein Teilaspekt hierbei ist die Überwachung des Gleisbereiches vor dem Fahrzeug. Es sollen Hindernisse detektiert werden, die eine Gefährdung des Betriebes verursachen können.

Die Definition der Bedingungen für die Hinderniserkennung sind im Lastenheft zum Projekt KOMPAS festgelegt. In der Abbildung 1 ist ein großes Hindernis im Gleisbereich dargestellt, wie es bei den Versuchsfahrten verwendet wurde.



Abbildung 1 Blick auf das Gleis mit Testhindernis

Der im Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme entwickelte und aufgebaute Prototyp eines Hinderniserkennungssystems für den Fahrweg stellt eine mögliche Lösung dieser Aufgabe dar. Ein System von Videokameras, unterstützt von Infrarotradar und GPS-Empfänger, ermöglicht eine automatische Überwachung des Lichtraumprofils bis zu einer Entfernung von mindestens 150 Metern vor dem Schienenfahrzeug.

Es werden eine Kamera für den Fernbereich und ein Stereokamerapaar im Nahbereich eingesetzt. In den von den Videokameras gelieferten Bildern findet eine Einzelbild- und Bildfolgenauswertung statt. Die Auswertung ist auf PC-Systemen implementiert.

Ein Infrarotradar verbessert die Detektionsleistung durch direkte Entfernungsmessungen und ermöglicht auch einen Teilbetrieb bei Dunkelheit ohne zusätzliche Beleuchtung durch Scheinwerfer. Das Lichtraumprofil wird bei Dunkelheit auf Grund von Gleisdaten aus einer Datenbank festgelegt.

4 Sensorik

In den nachfolgenden Abschnitten werden die eingesetzten Sensorkomponenten beschrieben. Als Hauptkomponenten fungieren Videokameras, die in zwei Überwachungsbereiche eingeteilt, das Gleis beobachten. Zusätzlich kommt ein Infrarotradar zum Einsatz.

4.1 Videokameras

Es werden Kameras vom Typ M10 der Firma JAI eingesetzt (siehe Abbildung 3). Sie sind mit einem 2/3“ CCD-Sensorchip und eine Auflösung von 768x576 Pixel ausgestattet.



Abbildung 3 Videokamera vom Typ JAI M10

Die Kameras arbeiten mit einer „progressive Scan“ Technologie. Hierbei wird das Bild im Ganzen und nicht, wie bei normalen Videokameras üblich, in zwei zeitlich nacheinander aufgenommenen Halbbildern aufgebaut. Die gelieferten Bilder enthalten somit keine aus Bewegungen resultierenden Artefakte.

Für den Fernbereich wird ein Objektiv der Firma Schneider aus Kreuznach mit einer Brennweite von 35 mm eingesetzt. Das Objektiv wurde so gewählt, dass in einer Entfernung von 300 m ein Hindernis detektiert werden kann. Ein Objekt mit einer sichtbaren Fläche von 1x0.4 m wird mit ca. 20x10 Pixeln abgebildet.

Die Kameras für den Nahbereich besitzen eine 12 mm Optik. Hierdurch wird ein dreifaches Sichtfeld erreicht, das nötig ist um eine Überwachung direkt vor dem Triebfahrzeug zu erzielen. Die Nahkameras sind als Stereopaar ausgeführt. Als Basisbreite wurde etwa 0.35 m gewählt. In dieser Konfiguration ist ein Stereobildauswertung bis zu einer Entfernung von ca. 50 m möglich.

Alle eingesetzten Kameras lassen die Einstellung von verschiedenen Parametern im laufenden Betrieb zu. Über diese Funktion wurde eine synchrone Helligkeitsregelung der Kamerabilder durch einen

Zweipunktregler implementiert. Durch die nachgeführte Bildhelligkeit ist eine Auswertung über einen weiten Bereich von Umgebungsbedingungen möglich.

Ein Schwenken der Fernkameras ist nicht mehr vorgesehen. Es hat sich gezeigt, dass mit einer festen Kamera der nötige Bildöffnungswinkel erzielt werden kann. Hierbei hilft die Eigenschaft, dass enge Kurven nicht so schnell durchfahren werden und damit keine so weite Vorausschau nötig ist.

4.2 Infrarot-Radar

Ein Infrarot-Radar der Firma ADC (siehe Abbildung 4) unterstützt das System zur Hinderniserkennung.



Abbildung 4 Infrarot-Radar vom Typ ADC AIS100

Bei diesem aktiven Sensor handelt es sich um ein Gerät aus dem Automobilbau. Dort wird er eingesetzt um für ein abstandsregelndes Tempomatsystem Objekte vor dem Fahrzeug zu detektieren. In Abbildung 5 ist der Erfassungsbereich des Sensors dargestellt.

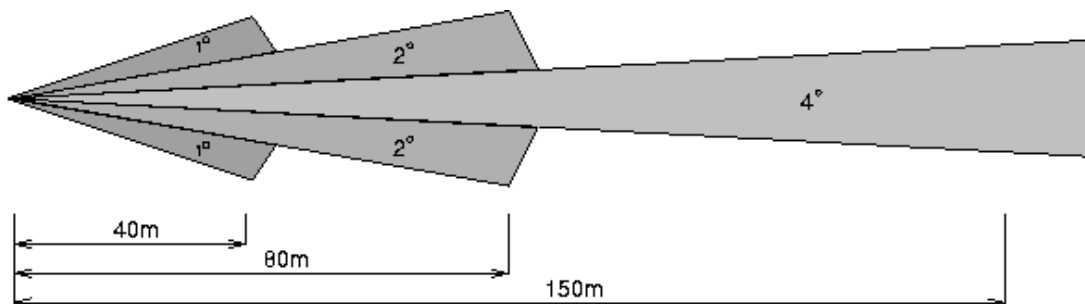


Abbildung 5 Erfassungsbereiche des Infrarotradars

Zur Messung strahlt der Radar in fünf Keulen Infrarotlicht aus und empfängt das von Objekten reflektierte Licht. Aus der Laufzeit des Lichtes wird die Objektentfernung bestimmt. Die Reichweite des System ist bei schlecht reflektierenden Gegenständen mit 150 m angegeben. Als Ausgabe werden bis zu fünf Objekte in den verschiedenen Strahlen mit Entfernungs- und Geschwindigkeitsangaben geliefert.

In das Radar ist ein Gierratensensor integriert. Mit Hilfe dieser Messwerte wird der Erfassungsbereich in Kurven geschwenkt, so dass der Hauptstrahl dem Streckenverlauf folgt. Auf diese Weise ist eine gute Überdeckung des Gleisverlaufes trotz des kleinen Öffnungswinkels von 10° möglich.

Eine Abhängigkeit der Detektionsrate von der Umgebungshelligkeit ist nicht gegeben. Bei einer Einschränkung der Sensorreichweite zum Beispiel durch dichten Nebel liefert das Gerät entsprechende

Diagnosemeldungen. Bei der Auswertung der Messungen kann somit eine verminderte Leistung berücksichtigt werden.

4.3 GPS-Empfänger

Ein Empfänger für das Global Positioning System bestimmt die Position und Geschwindigkeit des Fahrzeuges. Es werden Zeitsignale von bis zu 12 verschiedenen Satelliten empfangen. Aus deren Laufzeitdifferenzen und den bekannten Satellitenbahnen kann durch eine Triangulation die genaue Lage des Empfängers errechnet werden. Durch einen zeitlichen Vergleich der Positionsmesswerte wird die Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrtrichtung ermittelt.

Der GPS-Empfänger liefert über eine serielle Schnittstelle die Messwerte an einen Auswerterechner.

5 Rechentechnik

Die Auswertung erfolgt durch zwei Rechner mit jeweils 2 Intel Pentium III Prozessoren und einem Takt von 1 GHz. Beide Rechner sind in ein industrieeübliches 19"-Gehäuse eingebaut (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6 Rechnergehäuse der beiden Auswerterechner

Als Betriebssystem wird Microsoft Windows 2000 eingesetzt. Alle Programme und Algorithmen sind mit dem Compiler Metrowerks CodeWarrior 8 in ANSI C++ entwickelt worden. Einer Portierung auf andere Plattformen steht somit nichts im Wege.

In den PC's sind zusätzlich zu den Standardchnittstellen wie seriell, parallel und Ethernet mehrere Einsteckkarten eingebaut:

- Bildeinzugkarte *Eltec PC-EYE4* (Abbildung 7),
- CAN-Schnittstellenkarte *ESD PCI/331* (Abbildung 8),
- Messwerterfassungskarte *Meilhaus ME2600i* (Abbildung 9).

Über diese Karten und Schnittstellen wurden die Sensoren zur Umgebungserfassung angeschlossen sowie die Kommunikation der Rechner untereinander durchgeführt.

Im Prototypensystem wurde folgende Aufgabenverteilung auf zwei Rechner vorgenommen.

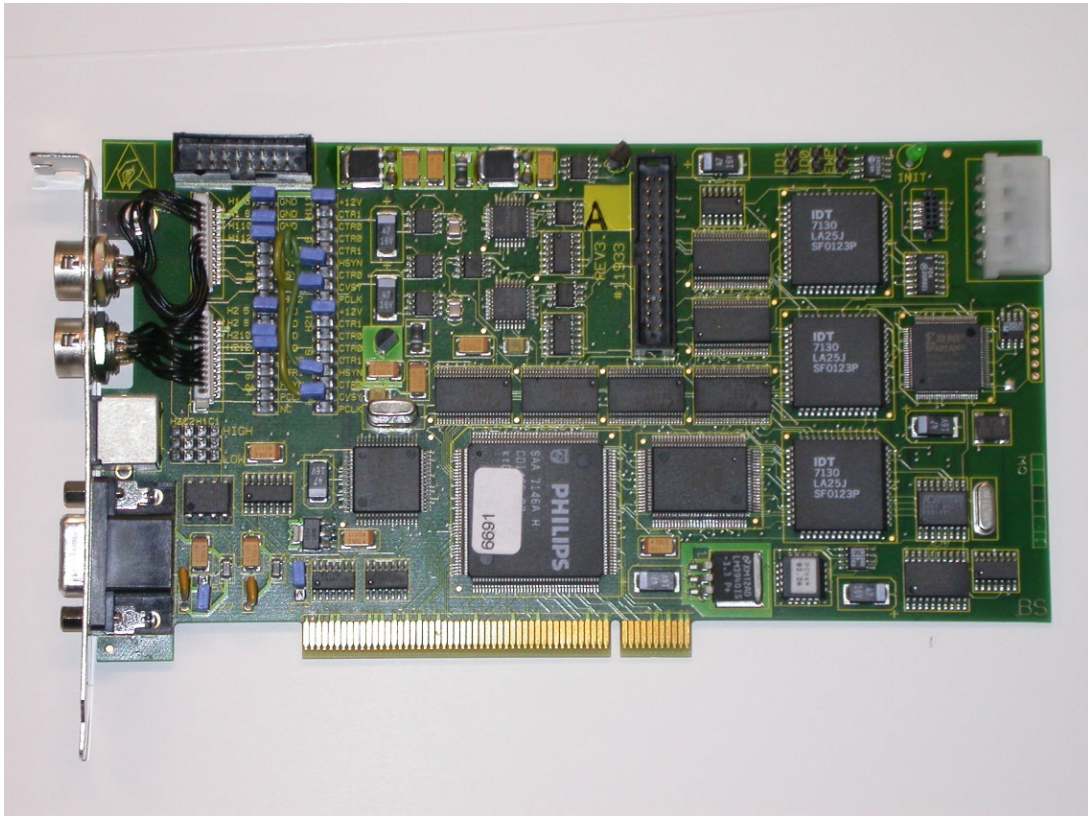


Abbildung 7 Bildeinzugkarte PC-EYE 4

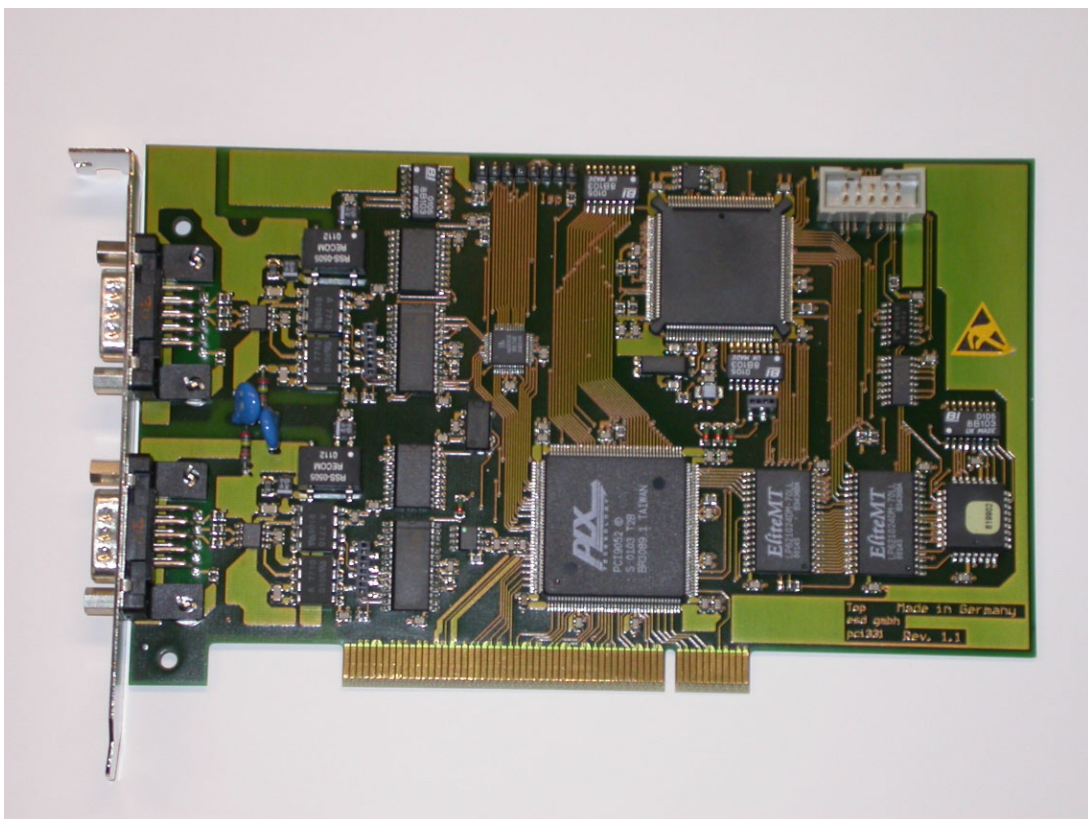


Abbildung 8 CAN-Schnittstellenkarte ESD PCI/331

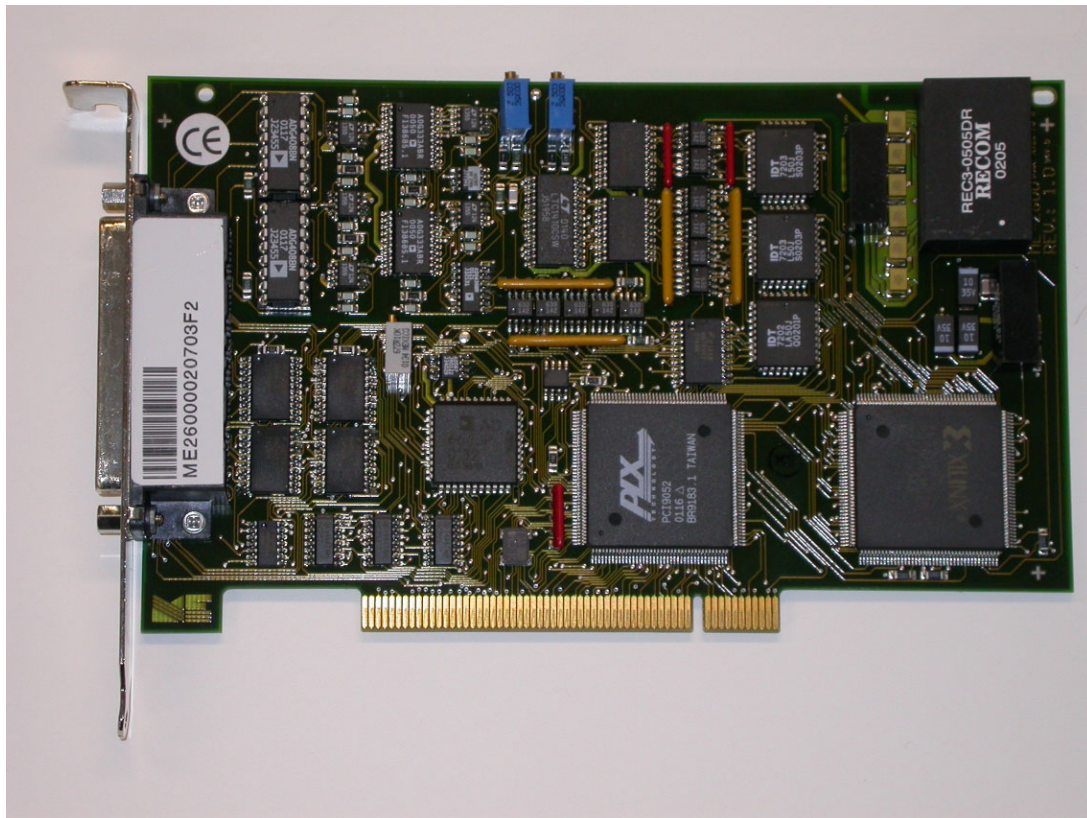


Abbildung 9 Analog/Digital Ein/Ausgabekarte Meilhaus ME2600

5.1 Rechner 1

Der erste Rechner ist mit einer CAN-Schnittstellenkarte (Controller Area Network) und einer Bildeinzugskarte ausgestattet. An diesem Rechner sind die Fernkamera und der GPS-Empfänger angeschlossen.

Die Aufgaben dieses Rechners sind:

- Positionsbestimmung des Fahrzeuges,
- Videoverarbeitung der Fernbereichskamera,
- Betrieb des Infrarotradars,
- Fusion der Hindernismeldungen und
- Kommunikation.

5.1.1 Positionsbestimmung

Die Position und Geschwindigkeit des Fahrzeuges wird mehrmals in der Sekunde mit Hilfe eines GPS-Empfängers bestimmt. Diese Daten werden mit den vom Fahrzeugrechner gelieferten Werten abgeglichen und den weiteren Auswertelgorithmen und dem zweiten Rechner zur Verfügung gestellt.

Diese Daten werden genutzt, um zum Beispiel bei Einfahrten in Bahnhofsbereiche den Detektionsbereich auf den Bahnsteig auszuweiten.

5.1.2 Videoverarbeitung

Die von der Fernkamera gelieferten Bildfolgen werden mit mehreren Auswertelgorithmen verarbeitet.

Alle Hindernisse werden an die Fusion gemeldet.

5.1.3 Infrarotradar

Die Kommunikation mit dem Infrarotradar läuft über einen CAN-Bus. Über diesen werden die zum Betrieb benötigten Informationen über die Fahrzeuggeschwindigkeit gesendet. In der Gegenrichtung werden die Meldungen über Hindernisse vom Radar geliefert.

Die Hindernismeldungen werden an die Fusionsschicht weitergeleitet.

5.1.4 Fusion

Die Fusion fasst die von den Videoverarbeitungsschritten, dem zweiten Rechner oder dem Infrarotradar gelieferten Hindernismeldungen zusammen. Hierbei werden die einzelnen Meldungen miteinander korreliert und durch einen Kalmanfilter über die Zeit verfolgt.

Die fusionierten Hindernismeldungen werden dann an die Kommunikationsschicht weitergeleitet.

5.1.5 Kommunikation

Die Kommunikationsschicht steht mit dem Fahrzeugrechner in Kontakt. Der Fahrzeugrechner liefert Informationen über Position und Geschwindigkeit des Fahrzeuges sowie Informationen über Infrastrukturdaten. In der Gegenrichtung werden die Ergebnisse der Hinderniserkennung übertragen.

Die zweite Kommunikation erfolgt über ein lokales TCP/IP-Netzwerk. Über dieses Netz werden die Hindernismeldungen des zweiten Rechners empfangen und der Fusion bereitgestellt. In die andere Richtung werden die Positions-, Geschwindigkeits- und Infrastrukturinformationen übertragen.

5.2 Rechner 2

Der zweite Rechner ist mit einer Stereobildeinzugskarte ausgerüstet. Hier sind die beiden Kameras des Stereopaars angeschlossen.

Die Aufgabe dieses Rechners sind:

- Videoverarbeitung der Stereokamerabilder und
- Kommunikation.

5.2.1 Videoverarbeitung

Aus den Bildfolgen der Stereokameras wird der Gleisverlauf bestimmt. Hierbei kommt das gleiche Modul wie bei der Fernkamera zum Einsatz.

Die Detektion von Hindernissen erfolgt durch einen Vergleich der beiden Stereobilder. Hierbei wird Wissen über die Anordnung der Kameras zueinander sowie zur Gleisebene genutzt. Es werden hierdurch Objekte erkannt, die aus der Gleisebene herausragen.

Als Option sind zusätzlich die Algorithmen anwendbar, die für den Einsatz im Fernbereich beschrieben wurden.

5.2.2 Kommunikation

Über das lokale TCP/IP-Netz besteht eine Verbindung zum ersten Rechner. Über diese Verbindung werden die Positions-, Geschwindigkeits- und Infrastrukturinformationen empfangen. Die Meldungen über detektierte Hindernisse werden in Gegenrichtung an die Hindernisfusion auf dem ersten Rechner gesendet.

6 Algorithmen zur Bildverarbeitung

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Verfahren beschrieben, die zum Einsatz kommen um aus den von den Sensoren gelieferten Daten Hindernismeldungen zu generieren.

6.1 Gleiserkennung

In diesem Abschnitt wird das zur Gleiserkennung verwendete Modul vorgestellt.

Die entwickelte Gleisdetektion stützt sich auf ein modelbasiertes Verfahren. Der Gleisverlauf wird durch ein mathematisches Model beschrieben. Gleistrassen werden aus einer Kombination von Geraden, Übergangsstücken und Kreisbögen gebaut. Klothoiden sind am besten geeignet, Geraden in Kreisbögen übergehen zu lassen. Sie besitzen die Eigenschaft, dass ihre Krümmung linear mit der Bogenlänge ab- bzw. zunimmt. Dies bewirkt ein für Passagiere komfortables Ein- und Ausfahren in eine nach diesem Prinzip gebaute Kurve. Man kann zeigen, dass sich dabei die auf die Passagiere wirkende Querkraft langsam (linear) bis auf einen Maximalwert im Kreisbogen steigert; Gleisverläufe bei denen Kreisbögen, auf Geradenstücke folgen, verursachen beim Durchfahren der Strecke hohe ruckartige Querkräfte. Da Kreisbögen und Geraden als Spezialfälle von Klothoiden dargestellt werden können, reicht das Klothoidenmodel zur Beschreibung des Gleisverlaufs aus. Das Klothoidenmodel ist im Hinblick auf die verwendeten Schätzalgorithmen sehr komplex und rechenintensiv. Deshalb wurde eine vereinfachte Form der Klothoide gewählt: Die ersten zwei Glieder ihrer Taylorreihe, eine Parabel zweiten Grades. Ein Klothoide allein reicht jedoch nicht aus, um den Gleisverlauf vor dem Fahrzeug zu modellieren. Aus diesem Grunde wird der relevante Bereich vor dem Fahrzeug in Abschnitte mit jeweils Klothoiden unterschiedlicher Parametersätze unterteilt.

6.1.1 Zustandsvektor

Der Gleisverlauf wird in einem festgelegten Weltkoordinatensystem (z -Achse in die Tiefe nach vorn, y -Achse nach rechts und x -Achse nach oben) durch eine Parabel zweiten Grades modelliert. Der Ursprung des Koordinatensystems liegt in der Mitte der Schiene auf Höhe der Gleisebene. Unabhängiger Parameter der Parabelfunktion ist die Szenentiefe (z -Achse), welche auf Gleispunkte in der y -Koordinate abgebildet wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Kamera mit bekannter Einbauhöhe h , Nickwinkel φ_2 (in der xz -Ebene, zwischen Kameraachse und Gleisebene), Gierwinkel φ_1 (in der yz -Ebene zwischen Kameraachse und Fahrzeuginnenachse) und der Wankwinkel φ_3 (in der xy -Ebene, entspricht einer Drehung der Kamera um die optische Achse), montiert ist. Als konstant werden die Breite b der Schiene, der Szenentiefen-Offset der Parabel und die Einbauhöhe der Kamera angenommen.

Der Zustandsvektor s zur Modellbeschreibung besteht aus insgesamt vier Elementen:

- φ_1 Gierwinkel zwischen Fahrzeuginnenachse und Tangente zum Gleis.
- φ_2 Nickwinkel der Kamera gegenüber dem Gleis.
- y_0 Querversatz des Fahrzeugs von der Gleismitte, Ablage.
- c_{ho} Horizontale Krümmung des Gleisverlaufes.

Dabei werden die einzelnen Zustandsgrößen in den folgenden Einheiten angegeben: Winkel in Radiant, Ablage in Metern und die Krümmung in $[1/m]$. Negative Nickwinkel entsprechen einer abwärts gegen die Gleisebene geneigten Kamera, positive Gierwinkel einer nach rechts geneigten Gleistangente und positive Krümmung eines nach rechts bzw. oben gekrümmten Gleisverlaufes.

Gute Ergebnisse für den Vorausschaubereich bis 250 Meter können bereits erzielt werden, wenn die Krümmungsänderung im Kalmanfilter als statistisches Rauschen angenommen wird.

6.1.2 Modellgleichungen

Die Bildkoordinaten eines Punktes auf dem Gleis mit der Szenentiefe l können mit den Gleichungen

$$x_b = \frac{f_x}{l} (y_i - y_0 + \varphi_1 l) + c_x$$

$$y_b = \frac{f_y}{l} (h + \varphi_2 l) + c_y$$

berechnet werden.

Dabei gilt für die y -Koordinate des Gleispunktes im Weltkoordinatensystem zu einer Entfernung l

$$y_l = \pm \frac{b}{2} + \frac{1}{2} c_{h0} l^2.$$

Das Pluszeichen (Minuszeichen) gilt hierbei für das rechte (linke) Gleis.

Die Parameter der internen Kamerakalibrierung werden als bekannt vorausgesetzt. Bei diesen Kalibrierungsparametern handelt es sich um die Bildweiten in horizontaler bzw. vertikaler Richtung (f_x bzw. f_y) und die Koordinaten des Hauptpunktes in horizontaler bzw. vertikaler Richtung (c_x bzw. c_y). Das Bildkoordinatensystem ist dabei wie üblich festgelegt, d.h. der Ursprung befindet sich in der linken oberen Ecke, und die x -Achse (y -Achse) verläuft horizontal nach rechts (vertikal nach unten).

6.1.3 Merkmalsbestimmung

Suchzeilen

Um die Auswahl von geeigneten Messpunkten zu erleichtern - und damit auch zu beschleunigen - werden Messpunkte nur in einem begrenzten Bereich des Bildes gesucht.

Dazu werden horizontale Suchzeilen im Bild entsprechend eines angenommenen Gleisverlaufs für jedes der beiden Gleise gesetzt, so dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit das jeweilige tatsächliche Gleis überdecken. Die vertikale Dichte der Suchzeilen im Bild hängt dabei von der entsprechenden Entfernung des Bildbereichs auf der Fahrspur ab. Im Nahbereich ist der Pixelabstand zwischen zwei Suchzeilen größer als im Fernbereich. In der Abbildung 12 sind die Suchzeilen dargestellt.

Detektion von Messpunkten

Zur Detektion von Gleis-Messpunkten wird auf den horizontalen Suchzeilen nach Kanten gesucht, deren Richtung tangential der angenommenen Schiene ist und eine Mindeststärke überschreitet. Von den verschiedenen Kantenoperatoren wird der NAG-Operator verwendet. Es wird durch Faltung mit der abgeleiteten Gaussfunktion in X- und Y-Richtung der Grauwertgradient berechnet. Aus den beiden Gradienten wird der Betrag und die Richtung der zweidimensionalen Ableitung des Grauwertbildes bestimmt. Überschreitet der Betrag des Grauwertgradienten in einem Bildpunkt einen eingestellten Schwellwert und weist in Gradientenrichtung ein lokales Maximum auf, so ist der Punkt Teil einer Kante (siehe Abbildung 10).

Um die Sicherheit, dass es sich um einen Punkt auf der Schiene handelt, zu erhöhen wird zusätzlich geprüft, ob sich der gefundene Kantenpunkt in Richtung der Schiene fortsetzt, also Teil eines kleinen Segmentes der Schiene ist (siehe Abbildung 11).



Abbildung 10 Durch den NAG-Operator berechnetes Kantenbild

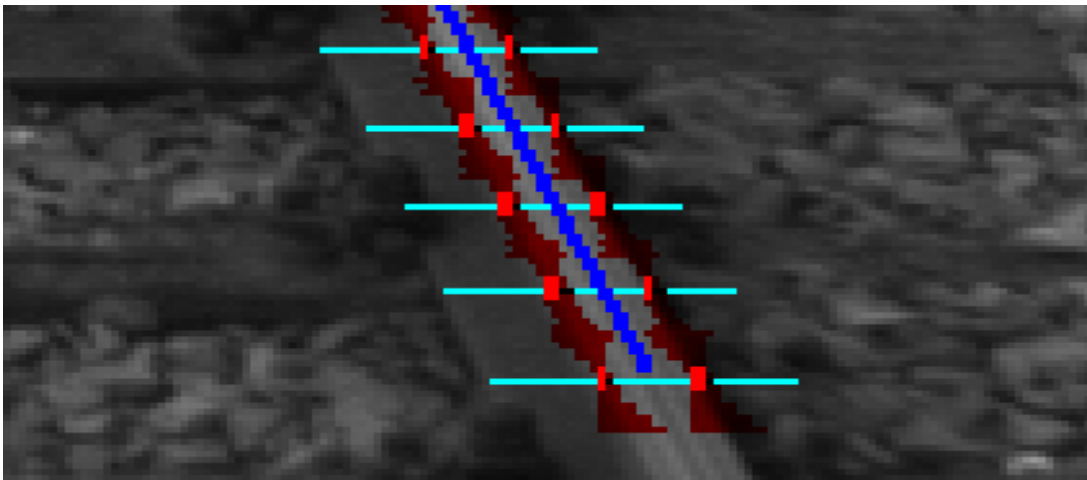


Abbildung 11 In den roten Dreiecken wird geprüft, ob ein Kantenelement in Gleisrichtung mit weiteren Kantenelementen verknüpfbar ist.

Messpunktselektion

Auf jeder Suchzeile werden parametrierbar viele Messpunkte selektiert. Der Abstand zum prädierten Gleisverlauf darf jedoch nicht zu groß sein.

Zur Selektion der richtigen Messwerte auch bei Annäherung an Weichen lässt sich die Auswahl auf eine bestimmte Richtung sensibilisieren.

In Abbildung 12 ist eine Beispielszene mit überlagert dargestellten Messpunkten abgebildet.

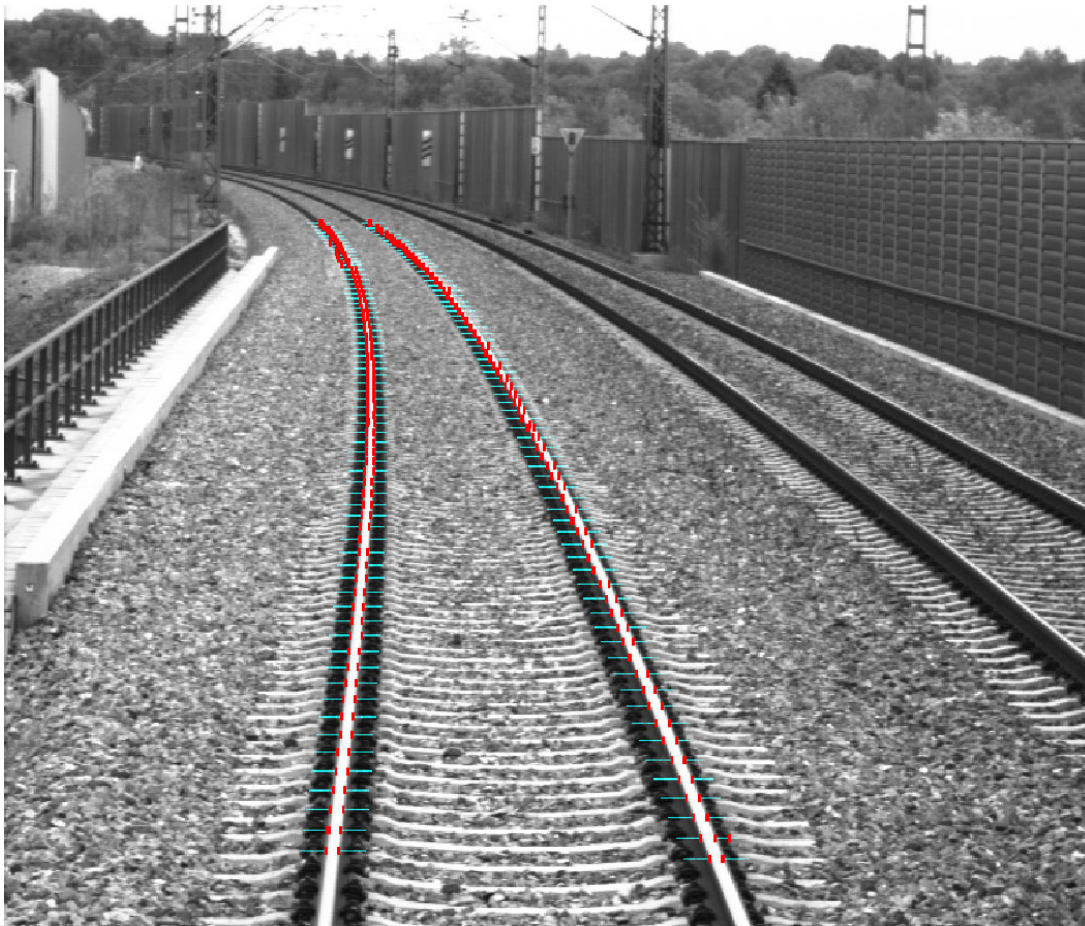


Abbildung 12 Gleisverlauf mit cyanfarbenen Suchzeilen und rotmarkierten Messpunkten

Zustandsschätzung

Der Zustandsvektor s wird durch Minimierung des quadratischen Anpassungsfehlers aus dem Vektor x der gemessenen horizontalen Bildkoordinaten von detektierten Gleispunkten geschätzt:

$$\hat{s} = \operatorname{argmin}_s \left[(x - g(s))^T R^{-1} (x - g(s)) + (s - s_0)^T P^{-1} (s - s_0) \right]$$

Da es sich bei

$$g(s) = \left(\frac{f_x}{l} (y_l - y_0 + \varphi_1 l) + c_x \right)_l$$

um eine nichtlineare Messfunktion handelt, erfolgt die Minimierung wie üblich durch Linearisierung und Iteration. Die verschiedenen Werte für l ergeben sich dabei aus den verschiedenen Bildschirmzeilen der gefundenen Messpunkte gemäß der Gleichung aus Abschnitt 6.1.2.

Die Kovarianzmatrix R des Messrauschens und die Kovarianzmatrix P des Anfangszustandes s werden dabei als Diagonalmatrizen angenommen.

Der Gleisverlauf entspricht wie schon erwähnt, speziell im Bereich von Weichen oder Bahnhöfen nicht immer dem einfachen Klothoidenmodell. Daher wird der gesamte Gleisverlauf vor dem Fahrzeug aus mehreren Parabelstücken zusammengesetzt beschrieben. Die zusammenhängenden Modelle werden so bestimmt, dass an den Übergangsstellen die jeweiligen Positionen und Richtungen übereinstimmen und einen kontinuierlichen Verlauf ergeben.

In Abbildung 13 ist der selben Szene wie in Abbildung 12 diesmal der geschätzte Gleisverlauf überlagert.



Abbildung 13 Gleisverlauf mit zwei geschätzten Modellen. Die Vorausschau beträgt hierbei etwa 200 Meter.

6.2 Hinderniserkennung durch Gleisunterbrechungen

Ein Hindernis, das auf dem Gleis liegt, verdeckt teilweise sichtbaren Verlauf der Schienen. Dieses bewirkt, dass die Gleiserkennung keine Messpunkte in dem entsprechenden Bereich findet. Ein Hindernis kann somit erkannt werden, wenn in mehreren aufeinander folgenden Suchzeilen keine Messpunkte gefunden werden. Mit der Anzahl der unterbrochenen Suchzeilen lässt sich auf die Größe der Hindernisse schließen. Durch diese Parametrierung ist die Empfindlichkeit der Detektion anpassbar. Es ist jedoch zu beachten, dass durch Licht und Schattenwirkung auch auf freien Gleisstücken Messwerte ausfallen können. Bei zu kleiner Anzahl von Suchzeilen steigt daher die Wahrscheinlichkeit der falsch positiven Meldungen, das heißt es werden Hindernisse gemeldet, wo keine sind. Bei einer Wahl von mindestens vier unterbrochenen Suchzeilen für ein Hindernis ließen sich keine Fehlmeldungen bei den Tests feststellen.

In Abbildung 14 liegt ein Balken über einem Gleis. In der Überlagerung ist die Detektion dieses Hindernisses durch die orange Farbe dargestellt.

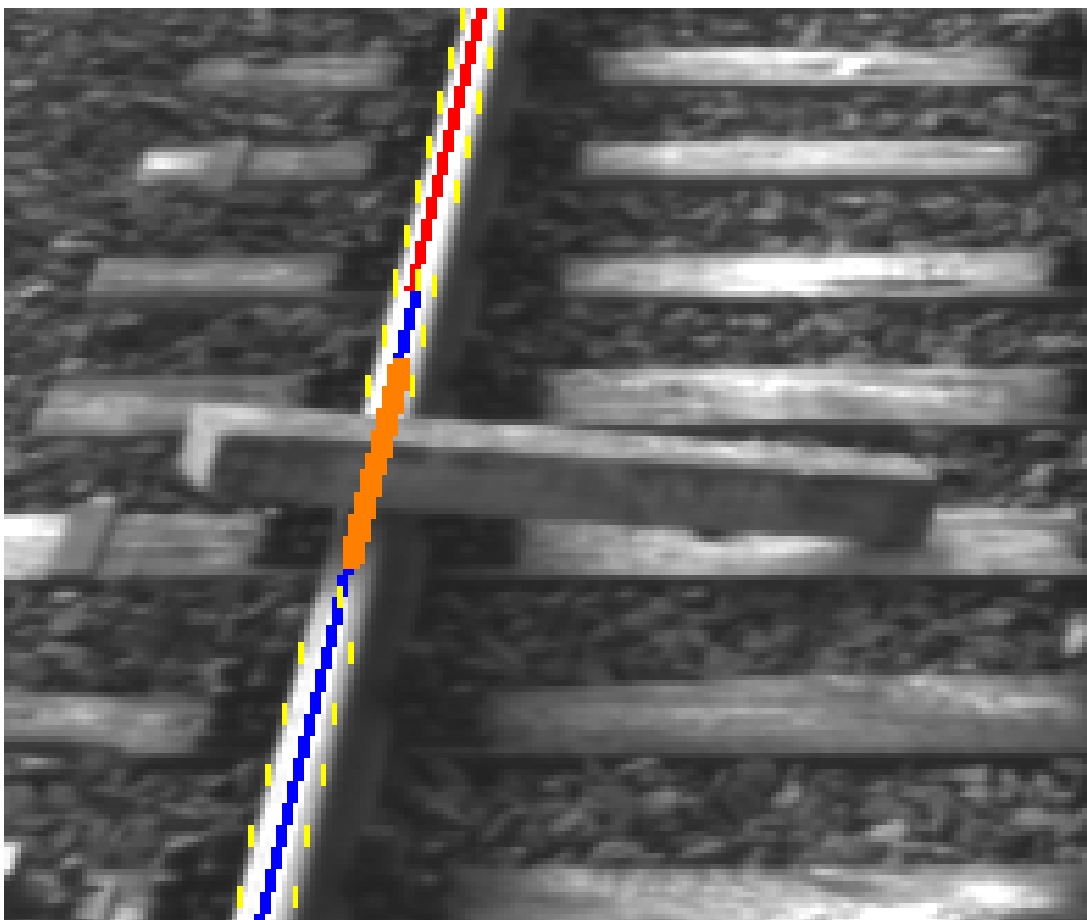


Abbildung 14 Detektion von Unterbrechungen des Gleisverlaufes. Gelb sind die Messpunkte, blau und rot zwei Gleismodelle und in orange das Hindernis dargestellt. Zur besseren Erkennbarkeit ist ein Ausschnitt vergrößert abgebildet.

Das Verfahren arbeitet ohne Wissen über das zu erkennende Objekt, sondern nutzt nur die Annahme Gleisverlaufsunterbrechung durch ein Hindernis aus. Es ist somit robust gegenüber der großen Varianz von möglichen Hindernissen. Mit diesem Algorithmus können auch Bereiche erkannt werden, in denen das Gleis nicht mehr vorhanden ist.

6.3 Kantenelementanalyse

Betrachtet man ein Kantensbild (vergleiche Abbildung 10) eines Gleisverlaufes, so stellt man fest, dass die überwiegende Anzahl von langen Kantensegmenten zu den Schwellen oder den Schienen gehören. Diese Kantestücke werden durch die Eigenschaften des Gleisbettes bedingt. Sie sind deshalb für die Hinderniserkennung irrelevant. Aus der Gleiserkennung ist die Lage des Gleises bekannt. Mit diesem Wissen lassen sich alle Kantensegmente ausblenden, die im Bereich der Schiene in deren Richtung zeigen, oder senkrecht zwischen den Schienen verlaufen.

Nach dieser Vorverarbeitung sind nur noch Kantenelemente übrig, die nicht von den Schienen oder den Schwellen erzeugt wurden. Für die verbleibenden Kantenelemente wird eine Verkettung mit den Nachbarelementen durchgeführt. Bei der Verkettung wird aus den Richtungen der Kantenelemente φ_i die lokale Krümmung k_i in jedem Pixel berechnet:

$$k_i = \varphi_{i+1} - \varphi_i \quad .$$

Enthält ein Kantensegment n Kantenelemente, so ergibt sich durch

$$\bar{k} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n k_i \quad \text{mit } k_i \text{ aus obiger Gleichung}$$

die mittlere Krümmung dieses Segmentes.

Betrachtet man nun alle Kantensegmente so stellt man fest, dass die mittlere Krümmung genau für alle die Kantensegmente groß ist, die durch Abbildungen der einzelnen Schottersteine erzeugt wurden. Filtert man alle diese Segmente durch einen Schwellwertvergleich $\bar{k} > \varepsilon$ heraus, so bleiben diejenigen Kanten bestehen, die nicht zum Schotter gehören.

Die verbleibenden Kanten entstehen durch Objekte, die nicht Schiene, Schwelle oder Schotter sind. Diese Kanten werden in lokale Gruppen zusammengefasst. Für jeden solchen Cluster wird die sichtbare Fläche in der Welt berechnet. Dieses ist durch die bekannte Kameraanordnung zur Gleisebene möglich, wenn man annimmt, dass die Objekte auf der Gleisebene stehen. Ist die Fläche der Cluster groß genug, ist dies ein Indiz für ein Hindernis.

Alle diese Berechnungen werden zur Steigerung der Geschwindigkeit nur in dem interessanten Gleisbereich durchgeführt. Die Abbildung 15 zeigt die Kantenelemente im Gleisbereich und die Abbildung 16 die zugehörigen Hindernisse. In der Abbildung 17 ist eine weitere Szene mit Ergebnissen der Hinderniserkennung dargestellt.

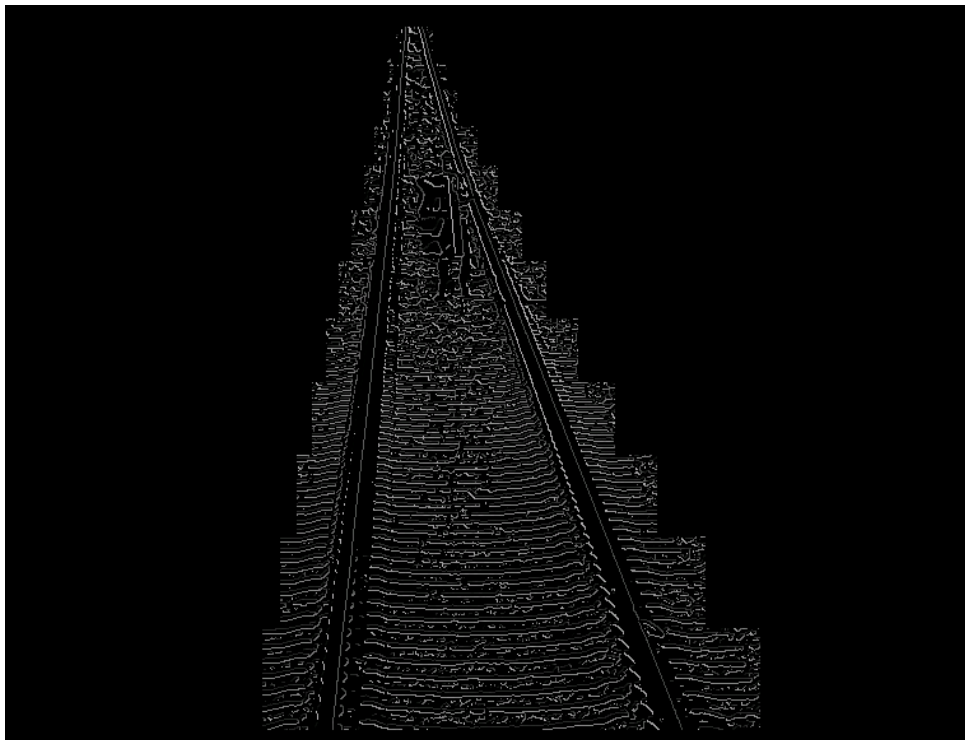


Abbildung 15 Kantenelemente im Gleisbereich vor dem Fahrzeug

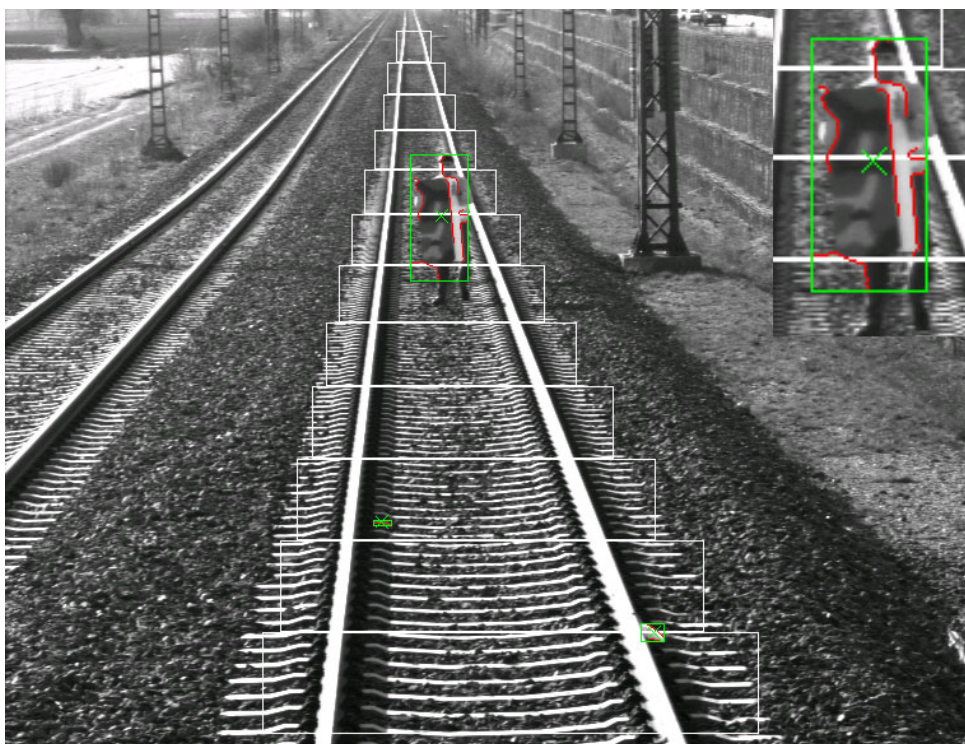


Abbildung 16 Durch Analyse der Kantenelemente detektierte Objekte. Dargestellt sind die Hinderniskanten und die sichtbare Clusterfläche. Die kleinen Objekte im Vordergrund sind hier noch nicht ausgeblendet. In der oberen rechten Ecke ist eine Vergrößerung des Hindernisses dargestellt.



Abbildung 17 Durch Analyse der Kantenelemente detektiertes entferntes Objekt.

6.4 Varianzanalyse

Eine weitere Eigenschaft des Gleisbereiches kann zur Hinderniserkennung genutzt werden. Die statistische Verteilung der Grauwerte im Abbild des Gleisbereiches besitzt eine charakteristische Struktur.

Um die Einflüsse der Perspektive zu minimieren wird vor einer Analyse das aktuelle Kamerabild in eine Vogelperspektive umgerechnet. Es wird hierfür angenommen, dass vor dem Fahrzeug eine ebene Fläche auf Höhe des Gleises liegt. Für jeden Punkt auf einem Raster in der virtuellen Ebene wird durch perspektivische Projektion der entsprechende Bildpunkt im Kamerabild berechnet. Der Grauwert dieses Bildpunktes wird an der korrespondierenden Stelle im Vogelperspektivenbild eingetragen. Die x -Achse dieses Bildes entspricht der rechtwinklig gemessenen Entfernung in der Welt, die y -Achse entspricht der rechtwinkligen Ablage. Es besteht nach dieser Abbildung ein direktes Verhältnis zwischen Entfernungen in der Welt und Abständen im Bild.

Betrachtet man in der Vogelperspektive nebeneinander liegende Rechtecke mit steigendem Abstand zum linken Bildrand, also der Position des Fahrzeuges, so stellt man fest, dass die Varianz der Grauwerte nur einer kleinen Änderungen unterworfen ist. Wenn allerdings ein Objekt im Gleisbereich vorhanden ist, so ergeben sich abrupte Sprünge der Varianz in aufeinander folgenden Rechtecken.

In der Abbildung 18 ist eine Vogelperspektive einer Szene mit einer Person im Gleis dargestellt. In der Abbildung 19 ist dieselbe Szene dargestellt, diesmal jedoch als Kamerabild einer der Nahkameras. Es wurden die Ergebnisse der Varianzanalyse, sowie zusätzlich der aus der Gleiserkennung bestimmte relevante Bereich überlagert. Die Person befindet sich etwa 25 Meter vor dem Fahrzeug.

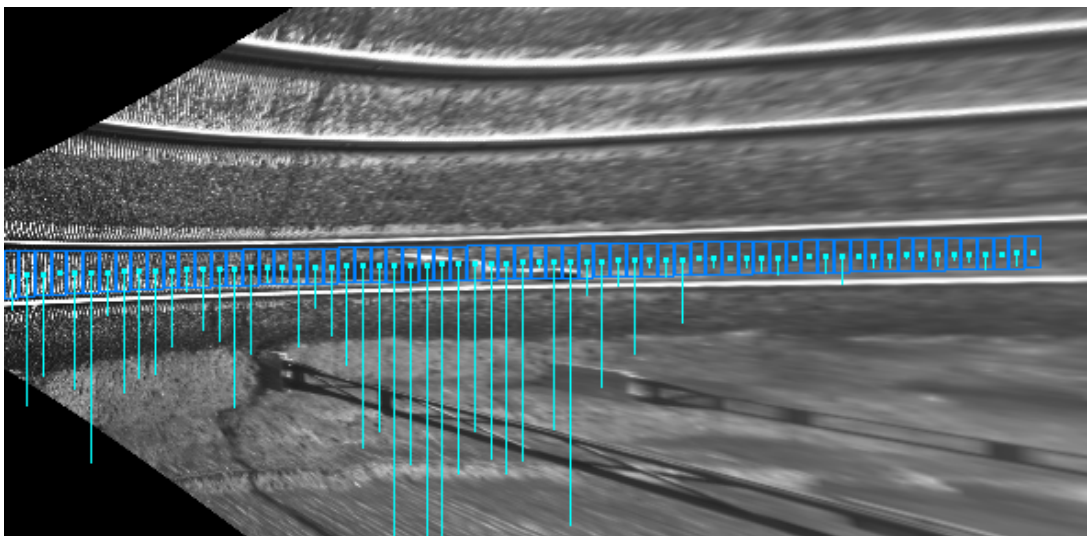


Abbildung 18 Vogelperspektive einer Szene mit einer Person vor dem Fahrzeug. In cyan sind die Varianzen des Grauwertverlaufes in den blauen Rechtecken dargestellt. Der abgebildete Bereich entspricht etwa 50 x 12 Metern.



Abbildung 19 Detektierte Objekte der Varianzanalyse. Es ist zusätzlich der Gleisverlauf und das zu überwachende Lichtraumprofil dargestellt.

Der Varianzanalysealgorithmus besitzt folgenden Ablauf. Nach Berechnung der Vogelperspektive wird der Bereich vor dem Fahrzeug in gleichgroße Rechtecke R_n der Größe $h*b$ unterteilt. Diese werden an den Stelle (c_{xn}, c_{yn}) positioniert, dass sie dem Gleisverlauf auch in Kurven folgen. Als nächster Schritt wird die Varianz \bar{v}_i der Grauwerte in jedem dieser Rechtecke berechnet. Sei hierfür g_{uv} der Grauwert des Punktes im Kamerabildes, der der Position (x,y) auf der virtuellen Ebene entspricht und \bar{g} der mittlere Grauwert in dem Rechteck.

$$\bar{v}_i = \frac{1}{hb} \sum_{x=c_{xi}}^{c_{xi}+h} \sum_{y=c_{yi}}^{c_{yi}+b} (g_{uv} - \bar{g})^2$$

Wir nehmen nun die Differenz der Varianzen von jeweils zwei benachbarten Rechtecken:

$$\Delta \bar{v}_i = \bar{v}_{i-1} - \bar{v}_i \quad \text{mit } \bar{v}_i \text{ aus obiger Gleichung.}$$

Übersteigt diese Differenz einen Schwellwert

$$\Delta \bar{v}_i > \varepsilon \quad ,$$

so deutet dies auf ein Objekt hin. Wird diese Bedingung in mehreren aufeinander folgenden Rechtecken erfüllt, kann ein Rückschluss auf die Größe getroffen werden.

6.5 Korrelationsanalyse

Das Gleisbett vor dem Fahrzeug ist jeweils abschnittsweise zu sich selbst ähnlich, das heißt, dass sich das Muster von Schwellen und Schotterbett ständig wiederholt. Befindet sich ein Gegenstand im Gleisbereich, so wird das regelmäßige Muster an dieser Stelle unterbrochen. Vergleicht man also das Muster des Gleisbettes jeweils miteinander, so kann man diese Unterbrechung erkennen.

Auch bei diesem Ansatz werden zuerst die perspektivischen Verzerrungen durch Transformation in die Vogelperspektive eliminiert. Der nächste Schritt ist, wie bei der Varianzanalyse aus dem vorherigen Abschnitt, die Platzierung von Rechtecken R_x in der Entfernung x . Für jede Entfernung x werden fünf Rechtecke genutzt: Eines in der Mitte zwischen den Schienen, eines jeweils auf den beiden Schienen und jeweils eines links und rechts der Schienen.

Jedes dieser Rechtecke wird um die Breite b verschoben und mit dem dortigen Rechteck, sowie den jeweils um einige Pixel weiter verschoben, verglichen. Der Vergleich geschieht mit einer intensitätsnormalisierten Kreuzkorrelation:

$$k_{kfmi}(u, v) = \frac{\sum_{r=-d_r}^{d_r} \sum_{s=-d_s}^{d_s} \Delta g_1(u, v) \Delta g_2(u, v)}{\sqrt{\sum_{r=-d_r}^{d_r} \sum_{s=-d_s}^{d_s} \Delta g_1(u, v)^2 \sum_{r=-d_r}^{d_r} \sum_{s=-d_s}^{d_s} \Delta g_2(u, v)^2}}$$

mit

$$\begin{aligned} \Delta g_1(u, v) &= g_1(u, v) - \overline{g_1} \\ \Delta g_2(u, v) &= g_2(u+r, v+s) - \overline{g_2(u, v)} \end{aligned}$$

Hierbei beschreibt (u, v) die Position im Bild. d_u und d_v geben die Größe des Korrelationsrechteckes in Richtung von u und v an. Die Funktionen g_1 und g_2 repräsentieren den Grauwertverlauf in den Rechtecken 1 und 2.

Wenn eine der Korrelationen für das Rechteck R_x mit R_{x+b+t} mit $t=0 \dots 5$ eine gute Übereinstimmung zeigt, so ist das Gleismuster wieder gefunden. Zeigen alle Korrelationen für R_x keine Ähnlichkeit, so deutet dies auf eine Unterbrechung des Gleismusters und ist damit ein Hinweis auf einen Gegenstand.

In der Abbildung 20 ist der Vogelperspektive die mittlere Rechteckreihe überlagert. Die gelben Vektoren geben die beste Korrelation an, je länger, desto besser die Übereinstimmung. Die Abbildung 21 zeigt die Überlagerung des Kamerabildes mit den detektierten Objekten.

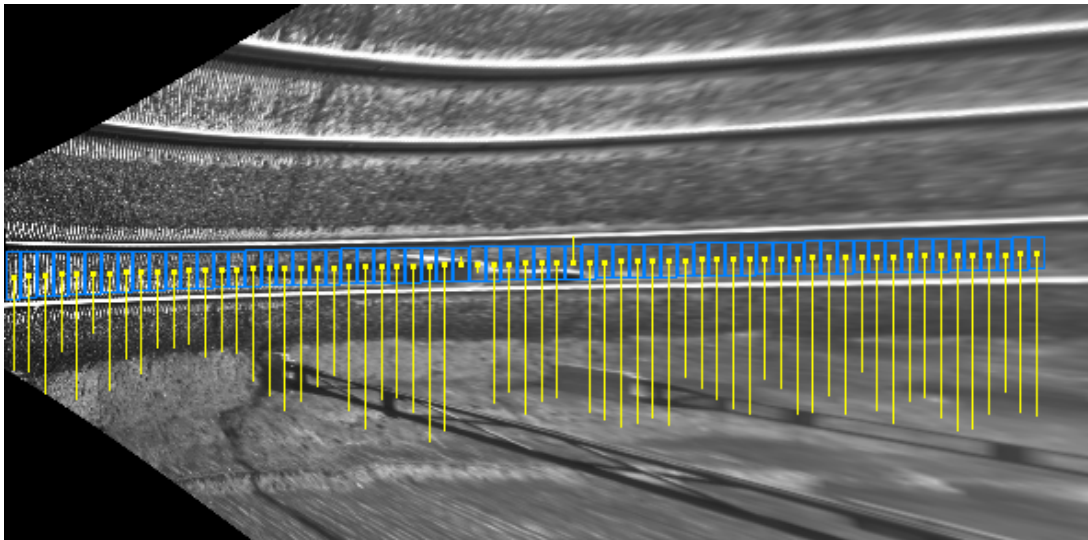


Abbildung 20 Korrelation von Rechtecken entlang des Gleises. Die gelben Vektoren geben die Korrelation der blauen Rechtecke zu einander an



Abbildung 21 Detektierte Objekte der Korrelationsanalyse werden mit roten Rahmen eingezeichnet. Rechts und links des Gleises ist der Rand des Lichtraumprofils dargestellt.

6.6 Bewegungsanalyse

Besitzt man Wissen über die Bewegung des Fahrzeuges, in dem eine Kamera installiert ist, so kann man die erwarteten Verschiebungen der Pixel in einer Bildsequenz berechnen. In der Kameraperspektive scheinen sich bei Fahrt in Blickrichtung alle Punkte vom Fluchtpunkt weg zu bewegen. In der Transformation in die Vogelperspektive scheinen sich alle Punkte des Gleisbettes gleichförmig entlang des Fahrtrichtungsvektors zu verschieben.

Die scheinbaren Verschiebungen in Bildfolgen sind unter dem Begriff optischer Fluss bekannt. Kann der optische Fluss berechnet werden, so läßt sich ein Vergleich mit den erwarteten Bewegungen durchführen. Hieraus lassen sich dann Bereiche bestimmen, die zum Beispiel den Annahmen über das Gleisbett widersprechen. In der Abbildung 22 ist eine Vogelperspektive einer Szene mit bewegter Person im Gleis dargestellt. Die Abbildung 23 zeigt dieselbe Situation aus der Kameraperspektive mit überlagertem Rahmen um die detektierte Person.

Es sind mehrere Algorithmen zur Bestimmung des optischen Flusses bekannt, jedoch ist allen ein hoher Rechenaufwand gemeinsam. Für die Hinderniserkennung ist die Berechnung in Echtzeit erforderlich. Es musste für das Prototypensystem daher eine Auswahl zu Gunsten der Geschwindigkeit und entgegen der Genauigkeit getroffen werden. Es wurde dabei ein Ansatz von Lukas und Kanade [8] gewählt. Hierbei handelt es sich um ein analytisches Verfahren, das aus räumlichen und zeitlichen Ableitungen unter Annahme einer konstanten Beleuchtung der Szene die Verschiebungen berechnet.

$$\begin{pmatrix} \sum w G_x^2 & \sum w G_x G_y \\ \sum w G_x G_y & \sum w G_y^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum w G_x G_t \\ \sum w G_y G_t \end{pmatrix}$$

Hierbei sind G_x , G_y und G_t die partiellen Ableitungen in räumlicher und zeitlicher Richtung, w ist eine Gewichtungsfunktion. Der gesuchte Flussvektor ist (v_x, v_y) .

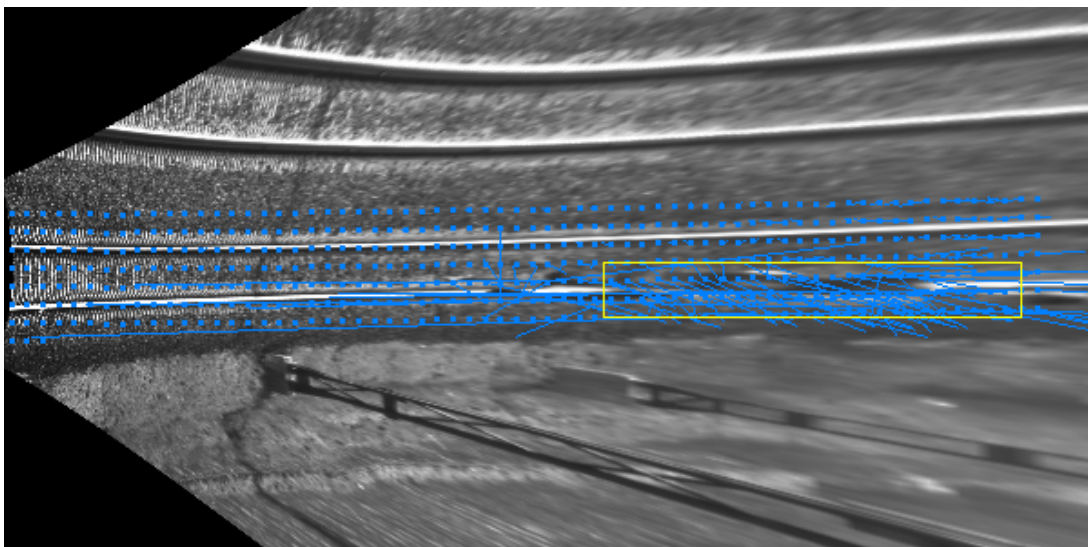


Abbildung 22 Optischer Fluß. In der Vogelperspektive sind in blau die n Fluß-Vektoren dargestellt. Der gelbe Rahmen umschließt einen Bereich von Vektoren, die den durch die Fahrzeugbewegung erwarteten Vektoren widersprechen

Die Hinderniserkennung erfolgt als erster Schritt durch die Berechnung des Flussvektorfeldes in der Vogelperspektive. Als nächster Schritt wird aus der Fahrzeuggeschwindigkeit und der bekannten Bewegung entlang des Gleises unter Annahme einer Gleisebene das erwartete Vektorfeld bestimmt.



Abbildung 23 Auf Grund von Bewegungen im Bild detektiertes Objekt

Im Folgenden wird das Differenzvektorfeld berechnet. Entsprechen alle Punkte den getroffenen Annahmen, so ergibt sich ein Feld aus Vektoren mit einem Betrag nahe Null.

Ergeben sich in dem Vektorfeld Bereiche, in denen der Betrag größer Null ist, so ist dies ein Hinweis auf einen Gegenstand. Der Algorithmus kann bei bewegtem Fahrzeug stehende und bewegte Objekte erkennen. Bei stehendem Fahrzeug werden bewegte Objekte erkannt. Aus der Länge der Vektoren könnte zusätzlich noch die Geschwindigkeit des Hindernisses errechnet werden. Auf diese Möglichkeit wurde jedoch zum jetzigen Zeitpunkt verzichtet.

Die momentane Implementierung ist für einen praktischen Einsatz noch nicht geeignet, da die optische Flussberechnung ohne dedizierte Spezialrechner noch entweder zu langsam oder nicht genau genug ist. Sie zeigt jedoch schon jetzt die Möglichkeit zur Hinderniserkennung. Eine Steigerung der Rechenleistung kann diesen Ansatz jedoch in den nächsten Jahren praktikabel machen.

6.7 Statistische Bildanalyse

Der Ansatz mit einer statistischen Analyse Hindernisse zu detektieren beruht auf der Annahme, dass sich ein Objekt von seiner direkten Umgebung in seiner Textur unterscheidet.

Über dem Bereich des Gleisbettes werden einzelne Rechtecke platziert. Dabei wird das Wissen über den Gleisverlauf, das aus der Gleiserkennung kommt, genutzt. Die Rechtecke überdecken dabei das Gleisbett im Bereich des Lichtraumprofils des Fahrzeuges.

Für jedes dieser Rechtecke wird im Ganzen die Varianz der Grauwerte wie in der Gleichung aus Abschnitt Varianzanalyse berechnet. Anschließend wird für jedes Pixel in den Rechtecken die Varianz in eine einstellbar großen Umgebung ermittelt. Ergeben sich bei einem Vergleich der Varianzen Unterschiede, die größer als ein Schwellwert sind, so wird in einem Binärbild das entsprechende Pixel gesetzt.

In einem weiteren Durchgang werden mit einer Erosion und nachgeschalteter Dilation einzelne Ausreißer aus dem Binärbild eliminiert. Die Erosion ist das Entfernen von gesetzten Pixeln, die nicht gesetzte Nachbarn besitzen. Der Rand der Masken im Binärbild wird dabei abgetragen. Einzelne Pixel verschwinden dabei. Die Dilation setzt Pixel im Binärbild, die im Originalbild gesetzte Nachbarn haben. Damit wird der Rand wieder auf die ursprüngliche Größe gebracht.

Da die Schienen eine andere statistische Verteilung der Graustufen besitzen als der restliche Gleisbereich, wird in einem weiteren Schritt der direkte Bereich der zwei Schienen betrachtet. Wenn die Gleiserkennung dort Messpunkte gefunden hat, liegt die Annahme nahe, dass dort kein Hindernis ist. Aus diesem Grund kann dort dann der direkte Schienenbereich aus dem Binärbild gelöscht werden.

Die danach noch vorhandenen gesetzten Pixel werden in Gruppen zusammengefasst. Für jedes dieser Gruppenrechtecke wird unter der Annahme, dass das Objekt den Boden berührt die Größe und Position in der Welt ausgerechnet. Zu kleine Objekte werden dann nicht mehr weiter betrachtet. Die verbliebenen Hindernisse werden an die Datenfusion gemeldet.

In den Abbildungen 24 und 25 ist jeweils das Kamerabild mit den platzierten Rechtecken und Hindernissen, sowie das binäre Hindernismaskenbild dargestellt.

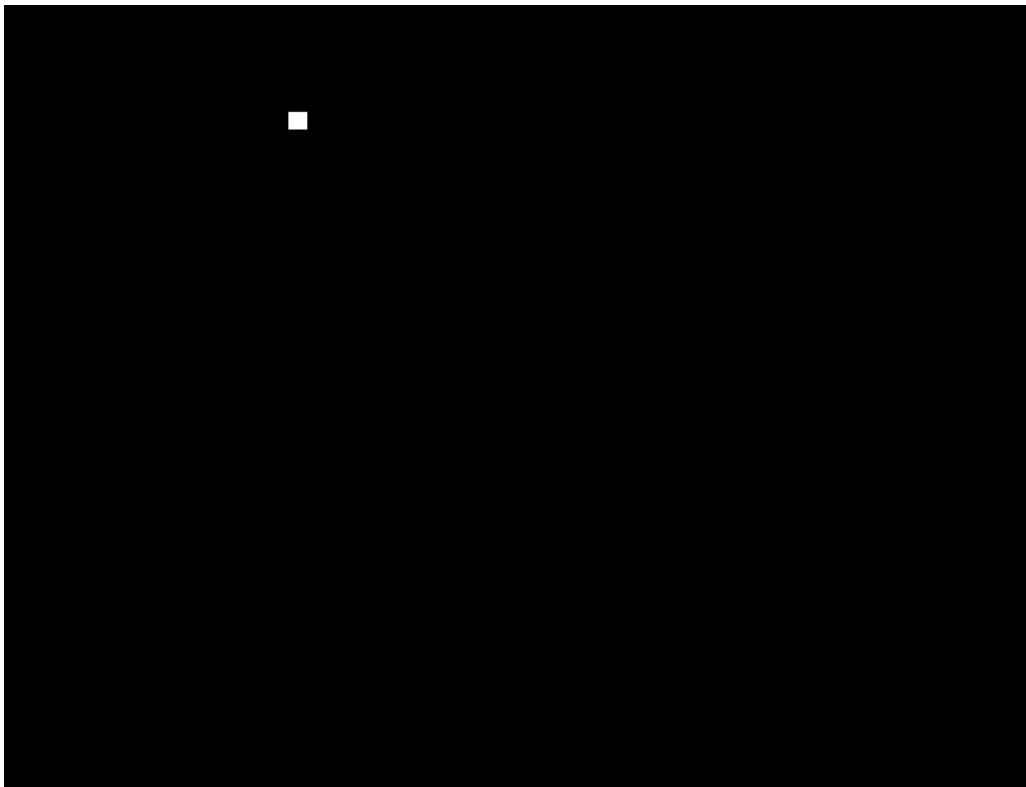
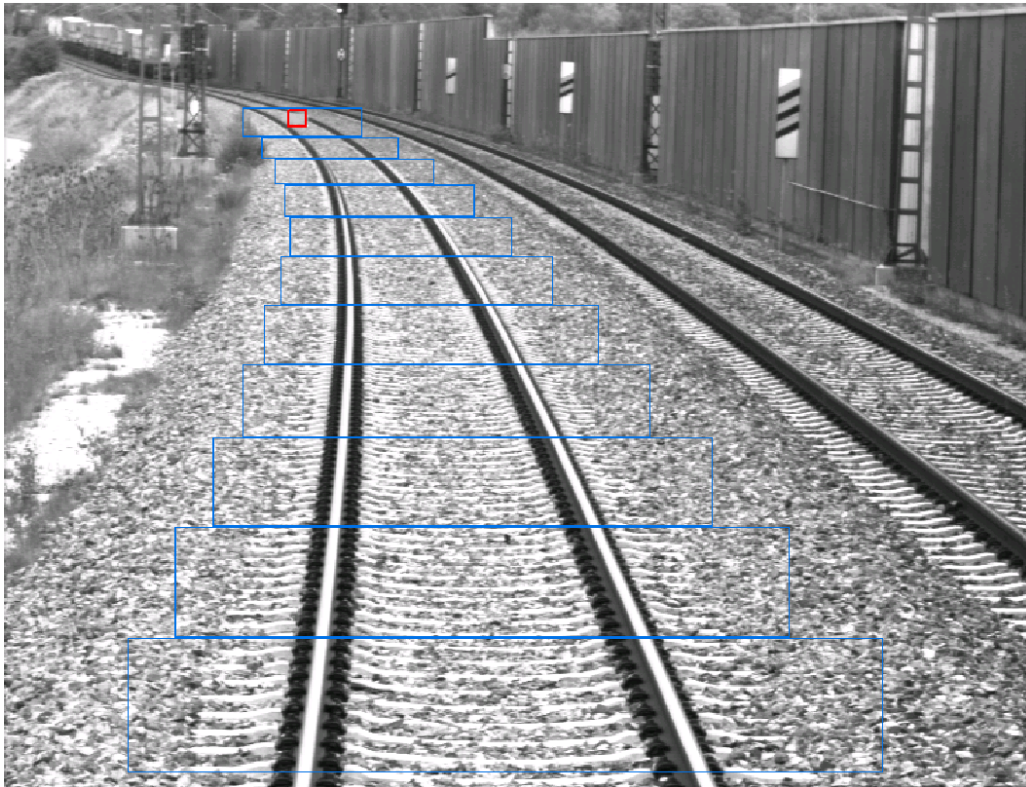


Abbildung 24 Statistische Analyse der Texturen. Im oberen Bild sind der Überwachungsbereich in blau und die Hindernisse in rot eingezeichnet. Das untere Bild stellt die binäre Hindernismaske dar. Das Hindernis ist etwa 220 Meter entfernt

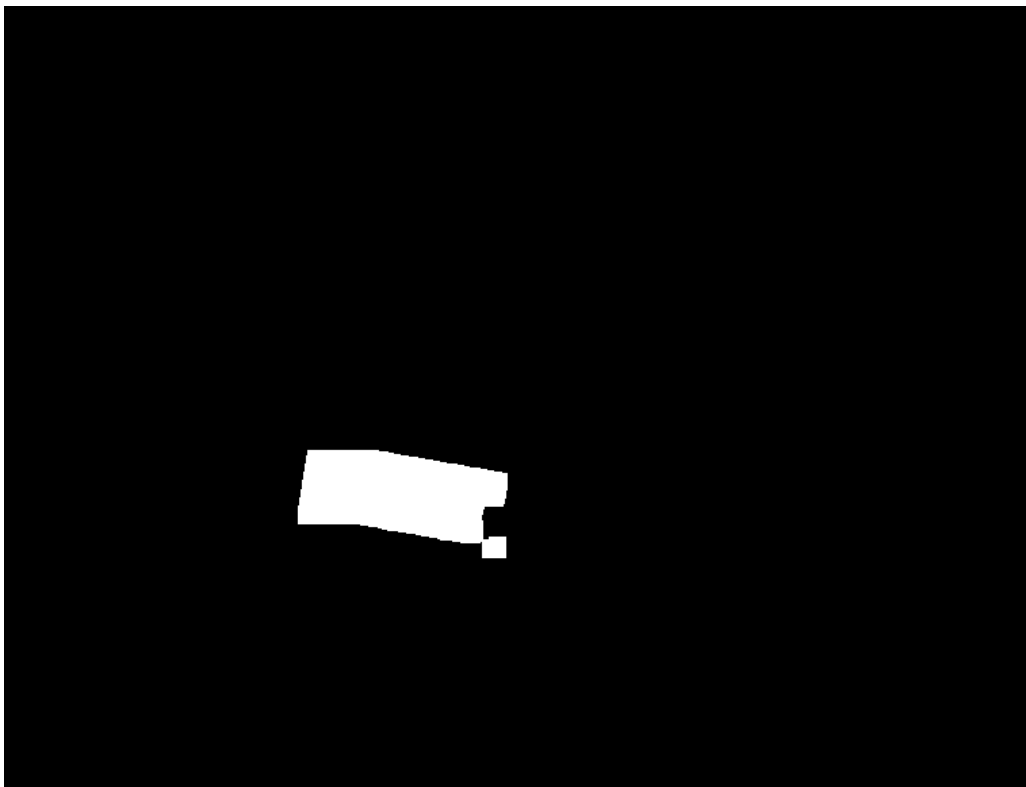
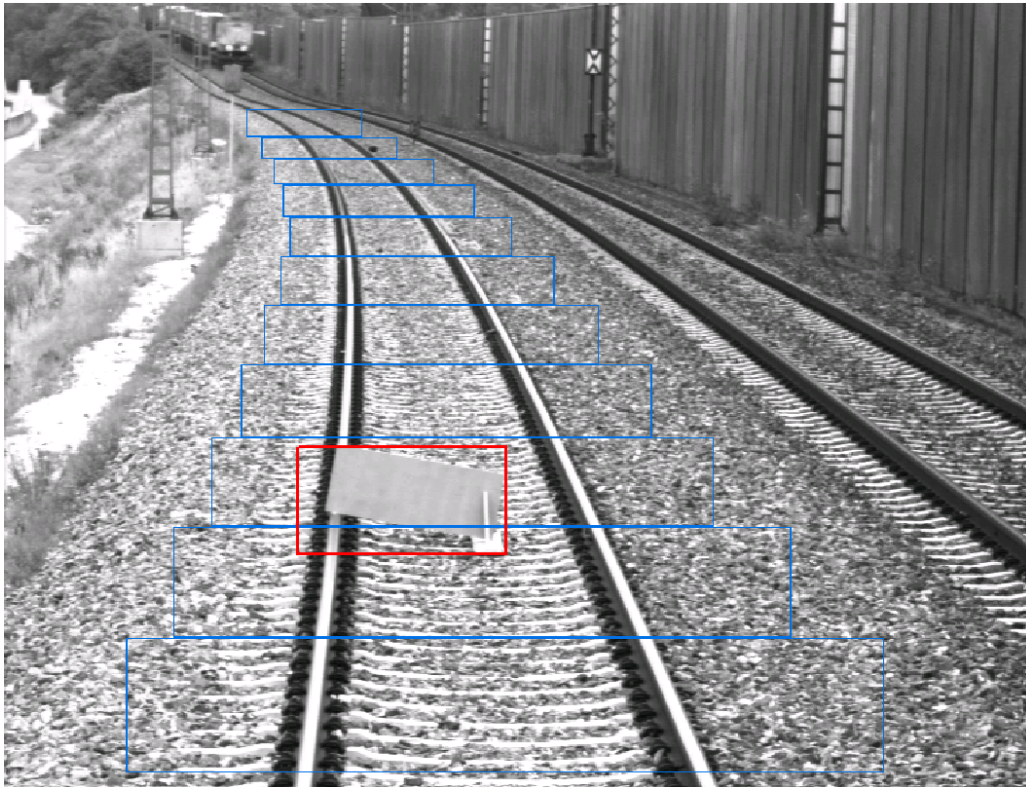


Abbildung 25 Statistische Analyse der Texturen. Gleiche Szene wie in Abbildung 24, jedoch nach Annäherung auf ca. 40 Meter an das Hindernis

6.8 Stereo Bildverarbeitung

Die bisher beschriebenen Verfahren setzten zur Hinderniserkennung bestimmte Annahmen voraus. Hierbei wurde die Bewegung des Fahrzeuges oder des Hindernisses vorausgesetzt, oder es wurden Bedingungen an die statistischen Beschaffenheiten der Hindernisse gestellt.

Für den Fernbereich können die Annahmen über die Bewegung erfüllt werden, da dort nur Hindernisse interessant sind, wenn sie zu einer Gefährdung führen. Ein stehendes Hindernis in 200 Metern vor einem stehenden Fahrzeug zum Beispiel ist nicht problematisch.

Ist allerdings ein Hindernis in 20 Metern vor dem Fahrzeug, das gerade eine Haltstelle verlassen soll, so ist dieses eine Gefahrensituation. Im Nahbereich vor dem Fahrzeug muss daher eine Hinderniserkennung auch bei stehendem Fahrzeug und stationären Hindernissen funktionieren. Verfahren zur statistischen Analyse arbeiten auch in diesen Fällen, jedoch sind die grundlegenden Bedingungen nicht immer von den Hindernissen erfüllt.

Der Bereich bis etwa 50 Meter vor dem Fahrzeug wird deshalb mit einem Stereokamerasystem und entsprechender Auswertung überwacht. Ein klassischer Ansatz zur Stereobildauswertung besteht in der Suche von Korrespondenzen zwischen den beiden Bildern. Es wird versucht, eine Struktur aus einem Bild in dem zweiten wieder zu finden. Dieses ist jedoch mit einem sehr großen Rechenaufwand verbunden, der kaum in Echtzeit realisierbar ist. In der Abbildung 26 sind die zwei Kamerabilder dargestellt.

Statt dessen wurde die Eigenschaft genutzt, dass vor dem Fahrzeug das Gleisbett eine freie Ebene bildet. Unter dieser Annahme kann man aus der Anordnung der Kameras zueinander und zur Ebene die direkte Pixelkorrespondenz bestimmen.

Für jedes Pixel der einen Kamera wird ausgerechnet, wo dieser Punkt der Ebene in der Welt in die zweite Kamera abgebildet wird. Da die Kameras zur Ebene und zueinander fest installiert sind, ist diese Berechnung nur einmal durchzuführen. Die Korrespondenzen werden in eine Tabelle gespeichert. Zur Detektionszeit ist somit immer nur ein schneller Tabellennachschlag nötig.

Stimmt die Annahme über die Gleisebene, also ist kein Objekt, das aus dem Gleisbereich ragt, im Bild, so ist die Differenz der beiden Pixel sehr klein. Ragt ein Objekt aus der Ebene heraus, so sieht eine Kamera an diesem vorbei auf die Ebene, für die andere ist der Punkt auf der Ebene jedoch verdeckt. Es ergibt sich eine Differenz der Grauwerte der beiden Pixel.

Auf dieses Differenzbild wird dann eine Binarisierung mit einem einstellbaren Schwellwert angewendet. Nach der Binarisierung wird ein Nachbarschaftsfilter genutzt. Hierbei bleiben alle die gesetzten Pixel im Binärbild bestehen, in deren einstellbarer quadratischer Nachbarschaft eine Mindestanzahl an Pixeln gesetzt ist. Hiermit werden Ausreißer eliminiert. In der Abbildung 27 ist ein Differenzbild dargestellt und das entsprechende Maskenbild dargestellt.

Anschließend werden Gruppen um die bestehenden Pixel gebildet. Dabei wird die Gruppierung im 3D-Raum vorgenommen. Es werden also umschreibende Quader um die Objekte bestimmt. Auf Grund der sichtbaren Fläche werden dann zu kleine Objekte entfernt. Die übrigen werden an die Datenfusion gemeldet. In der Abbildung 28 sind dem linken Kamerabild die detektierten Objekte überlagert.



Abbildung 26 Bild der linken und rechten Stereokameras. Die Person befindet sich in etwa 40 Meter Entfernung

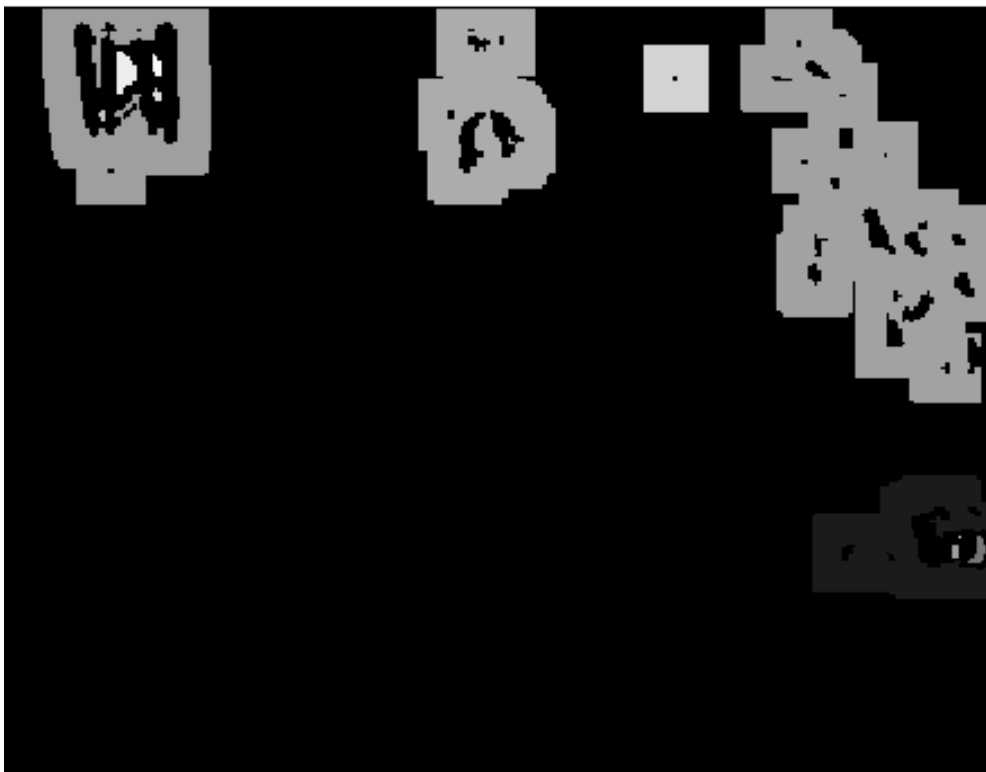


Abbildung 27 Oben ist eine inverse perspektivische Projektion der beiden Kamerabilder mit anschließender Differenzbildung. Unten ist die binäre Hindernismaske dargestellt

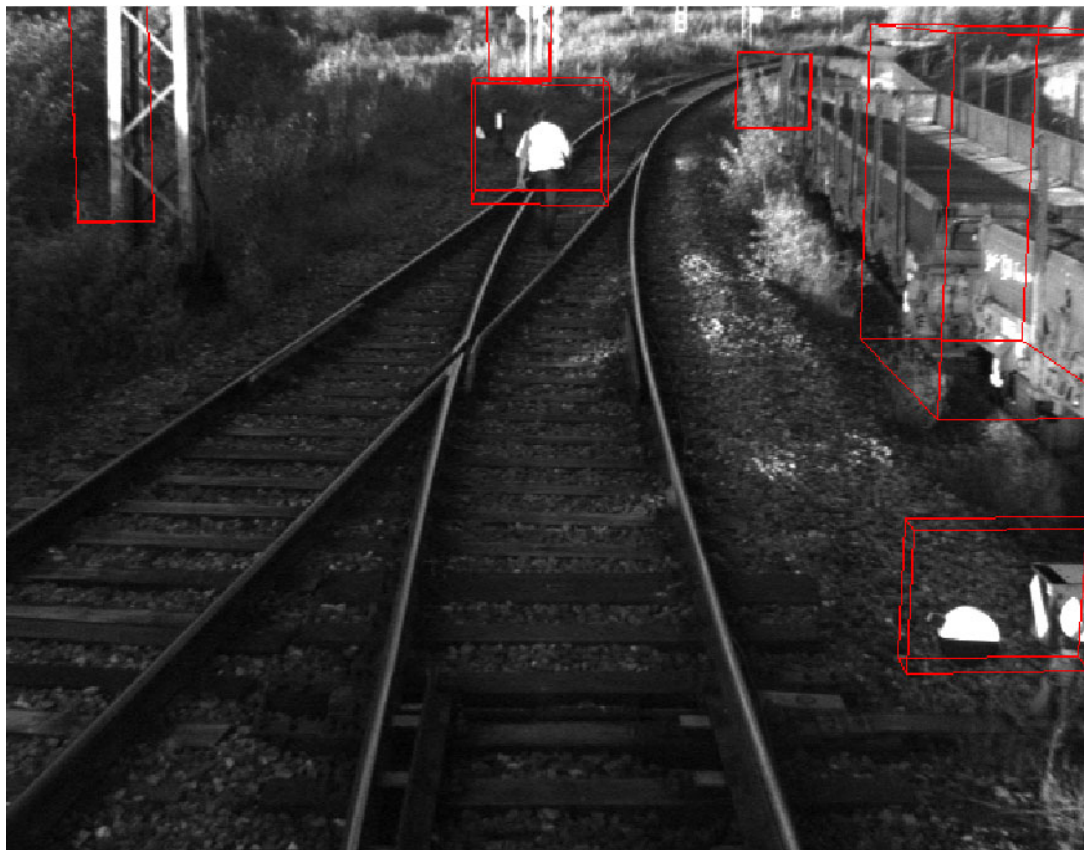


Abbildung 28 Bild der linken Stereokamera mit überlagerten Hindernissen

7 Datenfusion

Im Folgenden wird die Fusion der Daten der verschiedenen Sensoren und Bildverarbeitungsalgorithmen beschrieben.

Ein Kalmanfilter wird zur Fusion und zur Verfolgung von Objekten über die Grenzen der einzelnen Sensoren und Algorithmen hinaus eingesetzt. Im Kalmanfilter wird nach X- und Y-Richtung getrennt für jedes Objekt die Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung geschätzt. Diese Fusion läuft als ein Task auf einem Auswerterechner. Alle Sensoren und Hinderniserkennungsalgorithmen liefern direkt oder per TCP/IP-Kommunikation Objektlisten an die Fusion. In der Abbildung 29 ist ein Blick auf die Visualisierung der Datenfusion dargestellt.

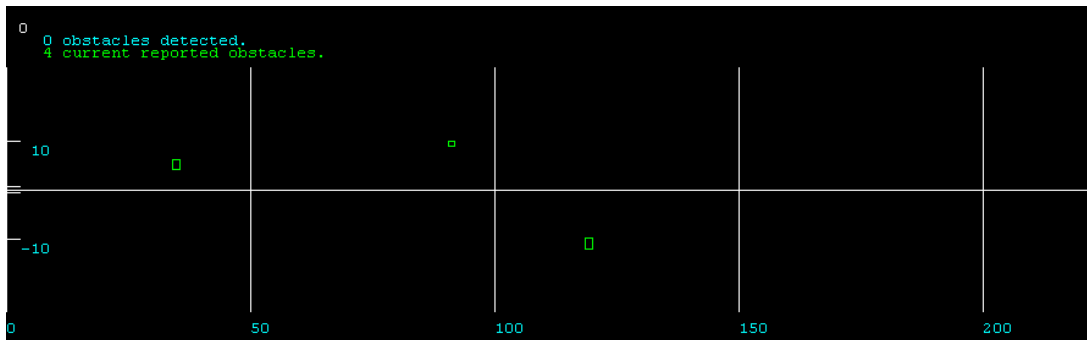


Abbildung 29 Visualisierung der Datenfusion. Die grünen Rechtecke geben die Position und Größe der Hindernisse an. Die Zahlen an den Koordinatenachsen entsprechen den Entfernungen in Metern. Das Fahrzeug befindet sich links, die Fahrtrichtung ist nach rechts

7.1 Entwurf des Filters

Für alle detektierten Objekte soll eine Verfolgung über die Zeit realisiert werden. Unter der Annahme, dass die Objekte nur Bewegungen durchführen, die in X- und Y-Richtung voneinander unabhängig sind, lassen sich diese durch zwei separate Kalmanfilter schätzen. In jedem dieser beiden Filter werden die drei Zustandsgrößen Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung geschätzt. Von diesen drei Größen wird nur Position ausgewertet. Die anderen Schätzwerte werden für die zeitliche Verfolgung genutzt.

Der Schätzprozess läuft zyklisch ab. Die von den Sensoren und Algorithmen gelieferten Messwerte, die Sensorobjekte (SO), werden mit den durch die Kalmanfilter verfolgten Objekte, im Folgenden Filterobjekte (FO) genannt, identifiziert. Dazu werden Abstandsmaße zwischen dem prädierten Filterobjekt und den Sensorobjekten bestimmt und aus jedem Sensor das Objekt mit dem kleinsten Abstand ausgewählt.

Zu allen nicht einem Filterobjekt zugeordneten Sensorobjekten werden neue Filterobjekte erzeugt. Die Kalmanfilter werden hierbei mit den Messwerten aus den Sensorobjekten initialisiert. Die Varianzen des Schätzfehlers werden mit einstellbaren Werten vorbelegt.

Wird zu einem Filterobjekt ein korrespondierendes Sensorobjekt gefunden, so werden die Kalmanfilter mit diesen Messwerten aktualisiert. Bei dieser Innovation wird die Differenz zwischen Messwert und der Prädiktion des Zustandes berechnet. Diese Differenz wird mit dem Kalmanverstärkungsfaktor gewichtet, um einen Korrekturterm zu bestimmen. Mit diesem wird der prädierte Zustand in den aktuellen Zustand überführt.

Filterobjekte ohne passende Sensorobjekte werden über eine einstellbare Anzahl von Auswertezyklen weiter durch das Bewegungsmodell verfolgt. Die aktuellen Zustände der Kalmanfilter aller Filterobjekte werden der Warnfunktion zugeführt. Ein neuer Auswertezyklus beginnt dann mit der Prädiktion der

Zustände der Filterobjekte für den neuen Zeitpunkt. Der gesamte Zyklus ist in Abbildung 30 dargestellt. Die Gleichungen für den Kalmanfilter sind im Abschnitt 7.4 aufgeführt.

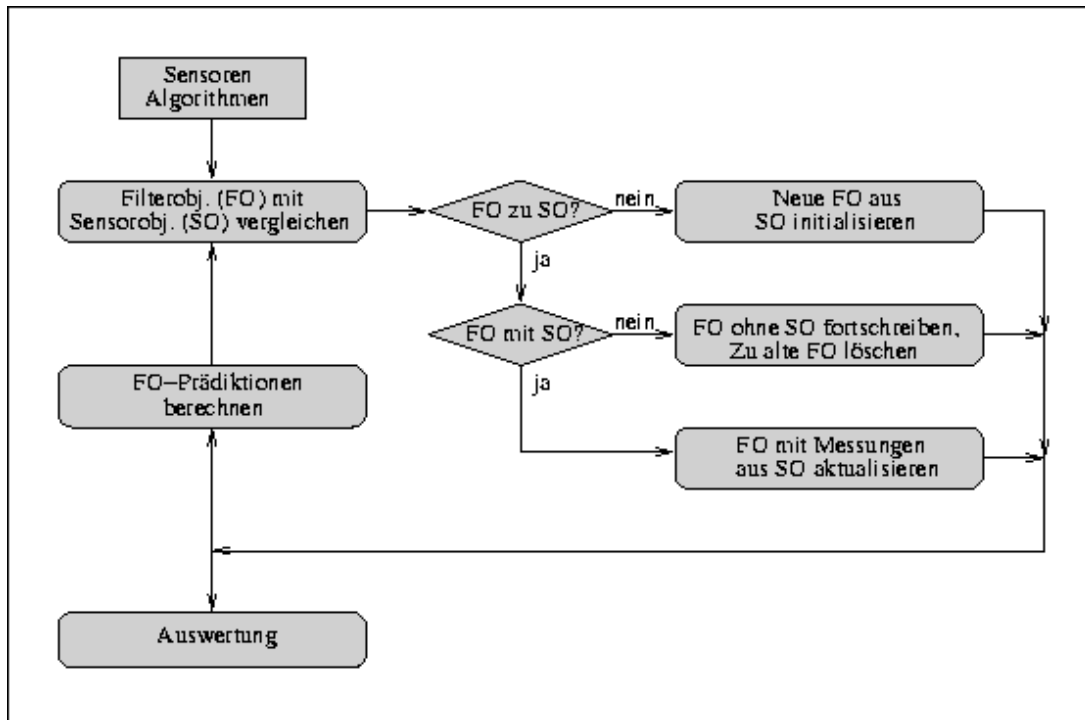


Abbildung 30 Zyklus des Kalmanfilter zur Datenfusion und Objektverfolgung

Als Messwerte für die Kalmanfilter werden Positionsmessungen in X- und Y-Richtung genutzt.

7.2 Abstandsmaß

Bei der Suche nach Messungen, die ein prädiertes Filterobjekt unterstützen, werden alle Sensorobjekte der Reihe nach überprüft. Es wird aus jedem Sensor das Objekt ausgewählt, das den kleinsten Abstand zum prädierten Filterobjekt besitzt und einen vorgegebenen Maximalabstand nicht überschreitet.

In die Formel zur Berechnung des Abstandes a gehen die Differenzen der Positionen in der XY-Ebene Δs_x und Δs_y ein. Die einzelnen Komponenten werden mit Konstanten c_1 und c_2 gewichtet:

$$a = \sqrt{c_1 \Delta s_x^2 + c_2 \Delta s_y^2} .$$

7.3 Fusion

Der Kalmanfilter wird mit einer festen Zykluszeit von 100 Millisekunden für einen kompletten Zyklus betrieben. Alle während dieser Zeit an die Fusion gemeldeten Sensorobjekte werden gesammelt. Für die Innovation werden alle Sensorobjekte genutzt, die dem Abstandsmaßkriterium für ein Filterobjekt entsprechen.

Die Filterobjekte werden dann an die Kommunikationsschicht zur Meldung an den Fahrzeugrechner weitergereicht. Dabei wird für jedes Objekt auf Grund der Daten der Gleisschätzung entschieden, ob es sich im Lichtraumprofil des Fahrzeuges oder neben dem Gleis befindet. Bei gemeldeten Bahnsteigen wird der relevante Bereich in die entsprechende Richtung erweitert.

7.4 Gleichungen des Kalmanfilters

Zur Schätzung des Systemzustandes wird ein erweiterter Kalmanfilter genutzt. Die Gleichungen hierzu lauten (vergleiche [7]):

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_{k+1} &= \mathbf{f}_k(\mathbf{x}_k) + \mathbf{g}_k u_k + \mathbf{v}_k \\ \mathbf{y}_{k+1} &= \mathbf{h}_{k+1}(\mathbf{x}_{k+1}) + \mathbf{w}_{k+1}\end{aligned}$$

Hierbei stehen die Indizes k und $k+1$ für aufeinander folgende Abtastzeitpunkte. Der Vektor \mathbf{x} fasst die Zustandsgrößen, der Vektor \mathbf{y} die Messgrößen zusammen. Die vektorwertige nichtlineare Eingangsfunktion wird mit \mathbf{f} und die Ausgangsfunktion mit \mathbf{h} bezeichnet. Die Vektoren \mathbf{v}_k und \mathbf{w}_{k+1} modellieren das System- und das Messrauschen.

Da die System- und auch die Messgleichung nichtlinear sind, werden im erweiterten Kalmanfilter die Jakobimatrizen $\mathbf{F}(\mathbf{x})$ und $\mathbf{H}(\mathbf{x})$ benötigt. Diese ergeben sich zu:

$$\begin{aligned}\mathbf{F}(\mathbf{x}) &= \left. \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\hat{\mathbf{x}}_k} \quad \text{und} \\ \mathbf{H}(\mathbf{x}) &= \left. \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}} \right|_{\hat{\mathbf{x}}_k} .\end{aligned}$$

Die rekursive Zustandsschätzung startet mit der Kovarianzmatrix des Schätzfehlers \mathbf{P}_0 und dem aus der Messung \mathbf{y}_0 abgeleiteten Systemzustand \mathbf{x}_0 . Die Rekursionsgleichungen zur Schätzung des Systemzustandes lauten:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{v}}_{k+1}^* &= \mathbf{f}_k(\hat{\mathbf{x}}_k) + \mathbf{g}_k u_k , \\ \mathbf{y}_{k+1} &= \mathbf{h}_{k+1}(\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^*) , \\ \mathbf{P}_{k+1}^* &= \mathbf{f}_k \mathbf{P}_k \mathbf{f}_k^T + \mathbf{Q}_k .\end{aligned}$$

Aus dem Schätzwert des Systemzustandes $\hat{\mathbf{x}}_k$ zum Zeitpunkt k wird die Prädiktion des Systemzustandes $\hat{\mathbf{x}}_{k+1}^*$ berechnet und daraus der Messvektor \mathbf{y}_{k+1} bestimmt. Weiterhin wird die Kovarianzmatrix des Schätzfehlers \mathbf{P}_{k+1}^* prädiert. Mit den Messwerten $\mathbf{y}_{\text{Mess}, k+1}$ zum Zeitpunkt $k+1$ wird der Systemzustand \mathbf{x} und der Schätzfehler \mathbf{P} korrigiert:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_{k+1} &= \hat{\mathbf{x}}_{k+1}^* + \mathbf{K}_{k+1} (\mathbf{y}_{\text{Mess}, k+1} - \mathbf{y}_{k+1}) , \\ \mathbf{S}_{k+1} &= \mathbf{h}_{k+1} \mathbf{P}_{k+1}^* \mathbf{h}_{k+1}^T + \mathbf{R}_k , \\ \mathbf{K}_{k+1} &= \mathbf{P}_{k+1}^* \mathbf{h}_{k+1}^T \mathbf{S}_{k+1}^{-1} , \\ \mathbf{P}_{k+1} &= \mathbf{P}_{k+1}^* - \mathbf{K}_{k+1} \mathbf{S}_{k+1} \mathbf{K}_{k+1}^T .\end{aligned}$$

Hierbei ist \mathbf{R}_k die konstante Kovarianzmatrix des Messrauschens \mathbf{w} .

8 Kommunikation

Dieser Abschnitt erläutert die Kommunikation zwischen den verschiedenen Teilen des Hinderniserkennungssystems.

8.1 Rechner zu Rechner Kommunikation

Die Kommunikation der beiden Auswerterechner im Hinderniserkennungssystem wird über eine Ethernet-Verbindung mit TCP/IP abgewickelt. Auf einem der Rechner, auf dem auch die Datenfusion berechnet wird, läuft ein Serverprogramm. Bei diesem Server können sich alle Hinderniserkennungsalgorithmen als Client anmelden. Das Protokoll bildet dabei auf der TCP/IP-Ebene die Schnittstelle nach, wie sie für die Kommunikation zwischen Hinderniserkennung und Fahrzeugrechner auf dem CAN-Bus definiert ist.

Für die einzelnen Algorithmen ist es dabei unerheblich, ob sie lokal oder über Netzwerk an die Fusion angebunden sind, da sie jeweils immer nur über das Client/Serverprotokoll ihre Meldungen absetzen.

8.2 Infrarotradar zur Hinderniserkennung

Der Infrarotradar AIS100 ist über einen eigenen CAN-Bus am Hinderniserkennungssystem angeschlossen. Auf einem der Auswerterechner läuft ein Task, der die Botschaften des Radars empfängt und über die Client/Server-Schnittstelle an die Datenfusion weitermeldet.

8.3 Hinderniserkennung zu Fahrzeugrechner

Die Kommunikation des Prototyps des IVI-Hinderniserkennungssystems mit dem Fahrzeugrechner erfolgt über einen CAN-Bus wie sie im Lastenheft Schnittstelle [2] festgelegt wurde.

In Richtung Hinderniserkennung werden Daten über den Gleisverlauf, die Infrastruktur und die Position entlang der Strecke übertragen. Sie unterstützen die Berechnung des Lichtraumprofils und des erweiterten Überwachungsbereiches am Bahnsteig.

Die Hinderniserkennung liefert Informationen über die detektierten Objekte an den Fahrzeugrechner. Das Fusionsmodul stellt hierfür die notwendigen Daten bereit. An den Fahrzeugrechner werden für jedes erkannte Objekt die Entfernung und Ablage in Metern, die Größenklasse, sowie die Lage zum Gleis gemeldet.

9 Aufbau

Dieser Abschnitt beschreibt den Aufbau des Hinderniserkennungssystems.

9.1 Mechanischer Aufbau

Alle Videokameras sind auf einem Träger aus Aluprofilen montiert. Dabei ergibt sich für die Stereokameraanordnung eine Basisbreite von etwa 35cm (siehe Abbildung 31).

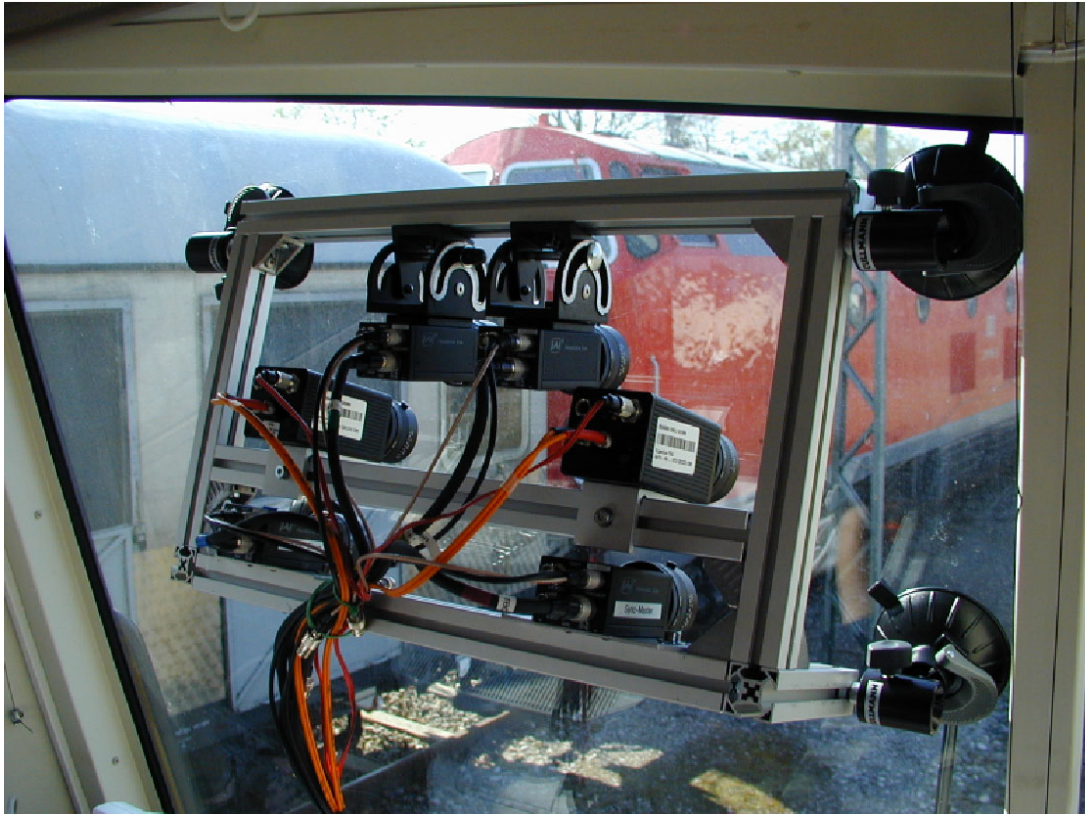


Abbildung 31 Träger für Videokameras. Das Bild zeigt verschiedene testweise untersuchte Kameras. Im endgültigen System sind auf dem Aluträger nur drei Kameras montiert.

Der Kameraträger wird mit Saugstativen der Firma Cullmann an der Frontscheibe befestigt. Es wurden an den Objektiven Bälge aus schwarzen Gummi montiert, um Reflektionen und Spiegelungen in der Glasscheibe zu minimieren.

Die Ausrichtung erfolgte so, dass für jede Kamera am Ende des vorgesehenen Erfassungsbereiches Objekte bis zu einer Höhe von 3 Metern abgebildet werden. Die installierten Kameras wurden dann gegen ein Fahrzeugkoordinatensystem kalibriert.

Der Infrarotradar AIS100 wurde an der Vorderseite des Fahrzeuges unterhalb der Kupplung auf einer Konstruktion aus Aluminium in etwa 0.60 Metern über dem Gleis montiert. Er wurde mit einer Wasserwaage horizontal und vertikal ausgerichtet und blickt in Fahrtrichtung gerade nach vorne. Abbildung 32 zeigt einen Blick auf die Halterung.

Die Antenne des GPS-Empfänger wird mit einem Magnetfuß auf den Dach des Fahrzeuges befestigt und mit einem Draht gesichert.

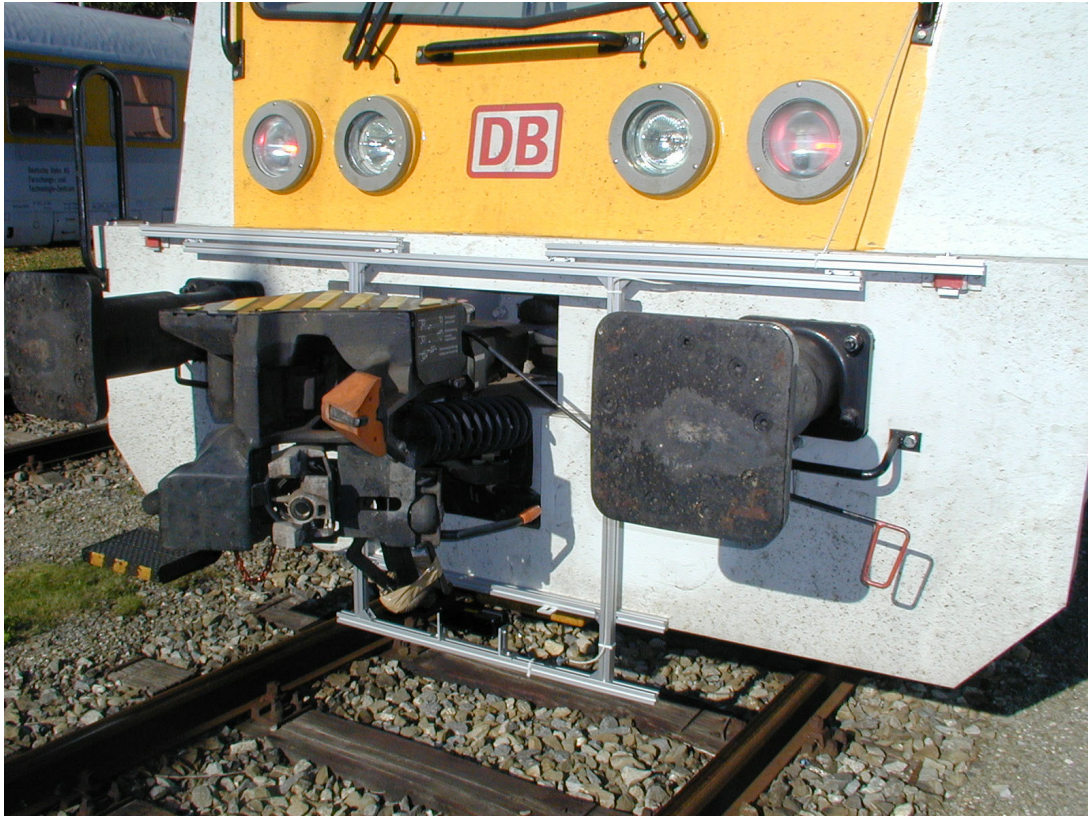


Abbildung 32 Halterung des Infrarot-Radars an der Fahrzeugvorderseite

9.2 Kalibrierung

Nachdem alle Komponenten installiert sind, müssen die Sensoren des Hinderniserkennungssystems kalibriert werden.

9.2.1 Videokameras

Die Kalibrierung der Videokameras erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt ist die interne Kalibrierung, bei der Kameraparameter wie Brennweite, Bildhauptpunkt und Linsenverzerrungen berechnet werden. Diese muss für jede Kamera mit dem montierten Objektiv einmal vorgenommen werden und wird im Labor durchgeführt. Ein genau vermessener Körper mit Markierungen wird aus mehreren Positionen aufgenommen und dann in einer nichtlinearen Minimierung mit Hilfe von Punktkorrespondenzen die Parameter geschätzt.

Der zweite Kalibrierungsschritt ist die Schätzung der externen Parameter. Diese sind die Einbauposition in X-, Y- und Z-Richtung, sowie die Rotationen der Kameras um die Koordinatenachsen. Hierfür wird auf einem freien Bereich vor den Kameras ein Kalibrierkörper in verschiedenen Entfernungen platziert und aufgenommen. Die Positionen werden entsprechend vermessen. Aus diesen Daten lässt sich dann die Einbaulage berechnen.

9.2.2 Infrarotradar

Der Infrarotradar benötigt außer der Ausrichtung in Fahrtrichtung keine weitere Kalibrierung, da diese fest werksseitig vorgenommen wird. Es muss nur der Einbauoffset ausgemessen werden.

9.2.3 GPS-Empfänger

Der GPS-Empfänger benötigt keinerlei Kalibrierung.

10 Messkampagnen

Mit dem vorgestellten System wurden bisher mehrere Messkampagnen durchgeführt.

10.1 Testfahrzeug des FTZ

Zum einen sind dies Versuchsfahrten mit dem Testfahrzeug der Bahn auf den Nordring München. Im Rahmen dieser Fahrten wurden Hindernisse im Gleisbereich platziert. So können unter bekannten Bedingungen Testszenen aufgenommen werden, die eine Weiterentwicklung und Beurteilung der Hindernisdetektion erlauben. Die Abbildung 33 zeigt den im Testfahrzeug eingebauten Kameraträger.



Abbildung 33 Einbau der Hinderniserkennung im Testfahrzeug

10.2 S-Bahn

Zum anderen wurde eine Anlage in ein Triebfahrzeug der S-Bahn auf der Strecke Dresden-Pirna eingebaut. Mit diesem Einbau wird der Dauereinsatz der Hinderniserkennung unter realen Bedingungen überprüft.



Abbildung 34 Kameraträger in einem S-Bahn Steuerwagen

10.3 Testfahrzeug IVI

Ein weiteres Hinderniserkennungssystem befindet sich gerade in einem Straßenfahrzeug des FhG IVI im Aufbau. Der Vorteil dieses Einbaues wird der rasche Zugriff und die flexible Nutzung ohne Nebenbedingungen sein. Auch sind Einsätze zum Test von weiteren Sensoren an diesem Fahrzeug geplant.



Abbildung 35 Versuchsfahrzeug des FhG IVI

11 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel der Entwicklung war eine möglichst robuste Detektion bei gleichzeitig niedriger Rate an falsch positiven Alarmen. Die Optimierung erfolgte in Richtung Minimierung der Fehlerrate, auch wenn dazu eine Reduzierung der Empfindlichkeit und damit der möglichen Detektionsweite einher ging.

Das Prototypensystem ist komplett aus handelsüblichen Komponenten aufgebaut. Es kommt keine Spezi­alsensorik zum Einsatz. Hieraus ergibt sich ein Gesamtsystem, dessen Hardwarekosten sich nur aus zwei PC-Systemen zur Auswertung, drei Videokameras und einem Infrarotradar aus der Automobiltechnik zusammensetzen. Die Technik der Hinderniserkennung basiert somit nicht auf speziellen Geräten, sondern besteht zum Hauptteil aus Algorithmen. Dieses ergibt einen Vorteil gegenüber anderen Systemen. Ein Austausch von Sensoren gegen Typen mit besserer Leistungsfähigkeit ist ohne Probleme möglich. Auch besteht keine Abhängigkeit von einem einzelnen Hardwarelieferanten. Dieses bringt eine Flexibilität in das System und ermöglicht eine ständige Verbesserung der Leistung ohne aufwendige Neuentwicklung. Das IVI-Hinderniserkennungssystem profitiert damit direkt von aktuellen Entwicklungen der Kamera-, Sensor- und Rechentechnik. Eine damit einhergehende Reduzierung des Preises wirkt sich ohne zusätzlichen Aufwand direkt auf die Gesamtkosten aus.

Das System wird auch durch den leichten Regen nicht in der Funktion gestört, auch wenn die Reichweite reduziert war. Auch mit dem Einsatz der kostengünstigen Sensorik konnte eine Hinderniserkennung realisiert werden, die im Entfernungsbereich bis etwa 250 Metern robuste Ergebnisse liefert. Eine Person mit Warnweste im Gleis wird bis zu 300 Meter weit detektiert. Die gemeldeten Entfernungen unterlagen am Rand des Detektionsbereiches Schwankungen von 25 Metern. Bei Dunkelheit ist eine eingeschränkte Detektionsleistung vorhanden.

Es wurden im Gleisbereich fast keine Hindernisse gemeldet, wenn nicht real ein Objekt dort positioniert war. Fehllarme auf Grund von Gras, kleinen Ästen oder anderen nicht den Betrieb gefährdenden Objekten gab es nicht, wenn diese kleiner als vorgegebene Objektgrößen sind. Falsch negative Systemreaktionen traten nicht auf.

In Dauermesskampagnen auf der S-Bahnstrecke Pirna-Dresden-Meißen wird im weiteren das Verhalten des Hinderniserkennungssystems im Altagsbetrieb erprobt. Eine Aussage zum Langzeitverhalten ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht möglich.

Anlage 4

Abschlussbericht KOMPAS

BMBF 19P0041 C

Bericht Prototyp stationäre Bahnsteigsicherung

AP 330



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Prototyp stationäre Bahnsteigsicherung

Bericht zum Meilenstein M 9c

Anlage



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter Schienenverkehr
(KOMPAS), Phase 1



Arbeitspaket 330 Bahnsteigsicherung entwickeln	
Ersteller: Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden (FhG-IVI)	Förderkennzeichen: 19P 0041C
Stand: Version 0.3, 11.11.2002	Dokumentnummer:

Nachweis des Ausgabestandes					
Version	Kennzeichen	Ausgabedatum	Name des Erstellers	geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
0.1	K	25.10.2002	T. Dimter	Alle	Neuerstellung
0.2	K	07.11.2002	T. Dimter	3.14, 5.2, 6, 7	Änderungen, Ergänzungen
0.3	K	11.11.2002	T. Dimter	3.14, 7	Ergänzungen

K = Konzept

E = Entwurf

F = eingeführtes Dokument

Zeilen mit Textberichtigung gegenüber dem vorherigen Ausgabestand sind am Rand durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet.

Projektmitarbeiter:

Dr. Wolfgang Oertel

Daniel Szoska

Nikolaus Möhler

Tom Dimter

Dieses Dokument ist abgestimmt mit:

den Partnern Alcatel SEL AG und Deutsche Bahn AG FTZ des Projektes KOMPAS.

Vermerke des EBA:**Impressum**

Bearbeitung /
Geschäftsführende Stelle /
Herausgebende Stelle:

Fraunhofer Institut
Verkehrs- und Infrastruktursysteme
FABF
Fahrerassistenz und Betriebsführung

Bearbeiter / Fachautor:

Tom Dimter
Zeunerstraße 38
01069 Dresden
Telefon: 0351 / 4640 - 783
Fax: 0351 / 4640 - 803
E-Mail: dimter@ivi.fhg.de

Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis	5
Literaturverzeichnis	7
1 Einleitung und Problemstellung	8
2 Funktionale Systemanforderungen	9
2.1 Überwachungsbereiche	9
2.1.1 Bahnsteiggleisbereich	9
2.1.2 Bahnsteigkantenbereich	9
2.1.3 Eindringüberwachung	9
2.2 Eigenschaften der Hindernisse	10
2.2.1 Abmessungen	10
2.2.2 Nachweis der Funktionsfähigkeit	10
2.3 Meldungsaufbau	10
3 Technische Beschreibung der prototypischen Anlage	11
3.1 Globale Systemstruktur für das Gesamtsystem	11
3.1.1 Technische Konzeption	11
3.1.2 Lokale Verteilung der Systemkomponenten	13
3.1.3 Wirkungsweise der Anlage	15
3.1.4 Potentielle Einflussgrößen der Anlage	16
3.2 Systemtechnische Beschreibung der Anlage	18
3.2.1 Sensoreinheiten	18
3.2.1.1 CCD-Kameratechnik	18
3.2.1.2 HDRC-Kameratechnik	20
3.2.1.3 Kameragehäuse und mechanische Halterung	22
3.2.2 Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit	22
3.2.2.1 Rechentechnik zur Verarbeitung der Bilddaten	22
3.2.2.2 Weitere Rechentechnik für Diagnose und Protokollierung	23
3.2.2.3 Technische Einrichtung zur Steuerung und Übertragung von Videodaten	24
3.2.2.4 Eigenschaften Rechnerschrank	26
3.2.3 Übertragungstechnik für abgesetzte Sensoren	27
3.2.4 Energieversorgung der Anlage	28
4 Funktionale Schnittstelle	28
5 Softwarekomponenten	29
5.1 Basissoftware	29
5.2 Bildverarbeitungssoftware und Auswertung	29
5.3 Protokollierungssoftware	32
5.4 Kommunikationssoftware	32
6 Anlage Berlin Bahnhof Tierpark	34
7 Zusammenfassung und Ausblick	35
Anlage 1: Zeichnung HP-Strehlen	36
Anlage 2: Elektrischer Anschlussplan FAC 838 [Plettac]	37
Anlage 3: Kameragehäuse [Plettac]	38
Anlage 4: Rechnerschrank	39
Anlage 5: Blockschaltbild LEV 86 [Plettac]	40
Anlage 6: Anschlussplan LEV 86 [Plettac]	40

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Zeichnung HP-Strehlen

Anlage 2: Elektrischer Anschlussplan FAC 838 [Plettac]

Anlage 3: Kameragehäuse [Plettac]

Anlage 4: Rechnerschränk

Anlage 5: Blockschaltbild LEV 86 [Plettac]

Anlage 6: Anschlussplan LEV 86 [Plettac]

Abkürzungsverzeichnis

AF	Automatisches Fahren
HiErk Rechner	Hinderniserkennungsrechner
BstgSi Rechner	Bahnsteigsicherungsrechner
AZS	automatische Zugsteuerung
AZS-S Rechner	Automatische Zugsteuerung, stationärer Teil
AZS-M Rechner	Automatische Zugsteuerung, mobiler Teil (Fahrzeug)
FZL	Fahrzeugleitstelle
Tfz	Triebfahrzeug
Tf	Triebfahrzeugführer
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
ETCS	European Train Control System
zTf	zentraler Triebfahrzeugführer

Literaturverzeichnis

- [LH AF 2] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 2, Hinderniserkennung Fahrweg. DB AG, FTZ München, 2000.
- [LH AF 3] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Stationäre Bahnsteigsicherung. DB AG, FTZ München, 2001.
- [LH AF 5] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 5, Schnittstellenspezifikation HiErk Rechner - AF-M Rechner. FhG-IVI Dresden, 2001.
- [LH AF 2] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Schnittstellenspezifikation BstgSi-Rechner -AZS-S-Rechner. FhG-IVI Dresden, 2002
- [OER 00] W. Oertel. Videobasierte Bahnsteigsicherung in KOMPAS.
In: IITB-Jahresbericht, FhG-IITB Karlsruhe, 2000.
- [OER 02] W. Oertel, T. Dimter, D. Szoska: A Video-Based Approach for Stationary Platform Supervision.
ITSC, Singapore, 2002.
- [BaDo 00] T. Bandlow, K. Donath, A. Huber, S. Huwer, M. Wolf: Abschlußbericht zum Leitprojekt.
Intelligenter Bahnsteig. Technischer Report, FORWISS, Erlangen, 2000, WV-00-1.
- [KoBstgSi] Technische Konzeption Bahnsteigsicherung, Bericht zum Meilenstein 7b.
FhG-IVI Dresden, 2001.

1 Einleitung und Problemstellung

Beim Forschungsprojekt KOMPAS soll das automatisch führerlose Fahren auf Bahnen der Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung bezüglich technischer Komponenten untersucht werden. Dabei müssen die zu entwickelnden technischen Einrichtungen eine mindesten gleiche Sicherheit aufweisen wie sie der menschliche Triebfahrzeugführer erreicht.

Der Triebfahrzeugführer hat neben anderen Aufgaben die Streckenbeobachtung während der Fahrt durchzuführen. Dabei achtet er hauptsächlich auf Gegenstände und Personen, die sich im Gleisbereich oder Bahnsteigbereich aufhalten. Seine Pflicht ist es, möglichst potentielle Gefahren abzuwenden und nichtvermeidbaren Schaden zu minimieren.

Beim automatisch führerlosen Fahren soll die Aufgabe der menschlichen Hinderniserkennung im Bereich freie Strecke und Bahnsteigbereich an eine technische Einrichtung übergeben werden. Dabei wird zum einen in eine mobile und zum anderen in eine stationäre Einrichtung unterschieden. Diese stationäre Einrichtung befindet sich fest installiert im Bahnsteigbereich und ist für die Hinderniserkennung mit entsprechender Meldung zuständig. Diese generierte Meldung wird dann zum Zweck von weiteren Maßnahmen an eine übergeordnete Leitstelle gesendet bzw. von ihr abgefragt.

In diesem Dokument wird eine Anlage mit prototypischem Charakter vorgestellt, welche eine automatische Gefahrraumprüfung im Bahnsteigkantenbereich und Gleisbereich durchführt. Diese Anlage wurde in der Projektlaufzeit von KOMPAS installiert und prototypisch betrieben. Zur automatischen Detektion wird primär ein videobasierter Ansatz mit entsprechenden Algorithmen verwendet.

Im Kapitel 2 werden zunächst wesentliche funktionale Systemanforderungen dargelegt, welche in einem Lastenheft zur „Stationären Bahnsteigsicherung“ ausführlich beschrieben sind. Dabei werden wichtige Themen wie Überwachungsbereiche, Eigenschaften der Hindernisse, Meldungsaufbau, Schnittstellen und physikalische Umweltbedingungen näher beleuchtet.

Das Kapitel 3 ist eine detaillierte technische Beschreibung einer konkreten Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen. Darin wird ausgehend von einer technischen Konzeption die Anlage über verschiedene Funktionsebenen zerlegt bis hin zu Einzelkomponenten. Die wesentlichsten Einzelkomponenten werden mit ihren charakteristischen Eigenschaften angegeben. Weiterhin werden mögliche leistungsmindernde Einflussgrößen für die videobasierte Detektion analysiert und entsprechende Kompensationsmöglichkeiten aufgezeigt. Außerdem wird eine drahtlose Kommunikation vorgestellt, die prinzipiell hohe Datenraten übertragen kann und für Fernsteuerung, Dateitransfer und Life-Bildschaltung eingesetzt wird.

Danach wird im Kapitel 4 die funktionale Schnittstelle mit ihren Meldungsinhalten vorgestellt und beschrieben. Die einheitliche Schnittstelle ist für die Kommunikation mit einem Diagnosesystem und der Leitstelle notwendig. Detaillierte Ausführungen zum Thema Schnittstelle zwischen Bahnsteigsicherungssystem und automatischer Zugsteuerung befinden sich in einem gesonderten Lastenheft.

Im Kapitel 5 werden die wesentlichen Softwarekomponenten mit ihren Eigenschaften beschrieben. Dabei wird in Basissoftware, Software für Bildverarbeitung/Auswertung und in Protokollierungssoftware unterschieden.

2 Funktionale Systemanforderungen

2.1 Überwachungsbereiche

2.1.1 Bahnsteiggleisbereich

Der räumliche Bahnsteiggleisbereich erstreckt sich symmetrisch um den Gleiskörper und wird lateral durch die in der EBO 92 §9, Anlage 1 festgelegte große Grenzlinie umrissen. Der zu überwachende Raum in Längsrichtung erstreckt sich über den gesamten öffentlich zugänglichen Bereich zuzüglich jeweils 2 m an den beiden Bahnsteigenden. Die korrekte Überwachung des Bahnsteiggleises muss unabhängig von der Gestaltung und der Infrastruktur des Bahnsteiges erfolgen.

2.1.2 Bahnsteigkantenbereich

Der Bahnsteigkantenbereich schließt sich lückenlos an den Bahnsteiggleisbereich in Höhe der Bahnsteigebene an. Hierbei wird das Profil der großen Grenzlinie im Bereich der Bahnsteigkante lateral von minimal 300 mm bis maximal 850 mm aufgeweitet. Die Höhe des zu überwachenden Kantenbereiches, gemessen von der Bahnsteigebene, beträgt 1000 mm. Die folgende Abbildung veranschaulicht den Querschnitt der Überwachungsbereiche für Gleis- und Kantenbereich.

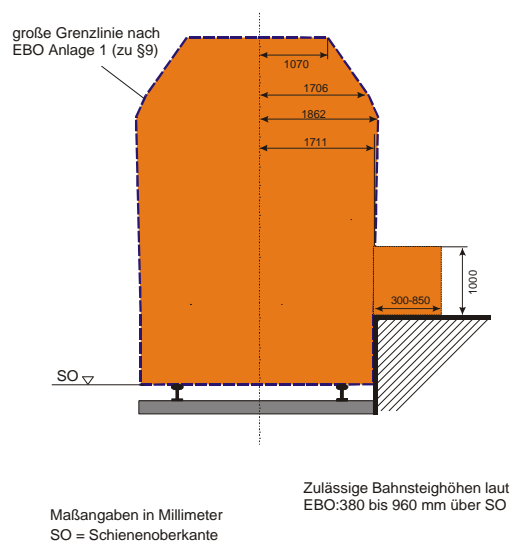


Abbildung: Überwachungsbereiche für Gleis- und Kantenbereich [LH AF 3]

2.1.3 Eindringüberwachung

Bei der Eindringüberwachung ist eine Detektion von Personen, die sich über den Gleisbereich in Richtung angrenzende Strecke bewegen, zu realisieren. Diese Funktionalität muss projektiertbar gestaltet werden. In Abhängigkeit von den baulichen Gegebenheiten macht sich eine Eindringüberwachung dann erforderlich, wenn z. B. Tunnelbauwerke oder Lärmschutzwände die Strecke begrenzen.

2.2 Eigenschaften der Hindernisse

2.2.1 Abmessungen

Die als Hindernisse zu bewertenden Objekte müssen eine minimale sichtbare Fläche von $0,4 \text{ m}^2$ ($0,4 \times 1 \text{ m}$) besitzen. Diese Objekte müssen sich teilweise bzw. vollständig im zu überwachenden Raumbereich befinden. Dabei sind folgende Hindernisse ausgeschlossen: einfahrende bzw. stehende Züge im Bahnhof oder bauliche Anlagen. Weiterhin darf es keine Hindernismeldung für Vögel, herabfallendes Laub, Regen, Nebel, Schnee, Getränkedosen, Zeitungspapier oder ähnliche Gegenstände geben.

2.2.2 Nachweis der Funktionsfähigkeit

Für den Nachweis der Funktionsfähigkeit wird ein Prüfkörper verwendet, der sich vollständig oder teilweise in dem oben aufgeführten Gefahrenraum befindet. Der Prüfkörper wird auf dem Boden in unterschiedlichen Ausrichtungen platziert. Mögliche Aufenthaltsorte der Prüfkörper für den Nachweis werden in folgender Abbildung gezeigt.

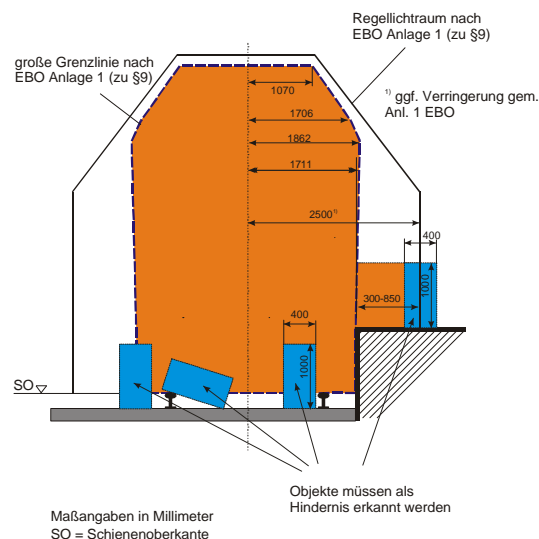


Abbildung: Nachweis der Funktionsfähigkeit mittels Prüfkörper [LH AF 3]

2.3 Meldungsaufbau

Die erzeugten Meldungen der Bahnsteigsicherungsanlage müssen eindeutig die Beanspruchungsart (Gleis, Kante, Eindringüberwachung) und den Aufenthaltsort für erkannte Hindernisse wiedergeben. Weiterhin ist diese Meldung innerhalb von 0,5 Sekunden ab Auftreten des Objektes an der Schnittstelle bereitzustellen. Sollte nach einer Gleisbeanspruchung die Eindringüberwachung ausgelöst werden, so ist diese innerhalb von höchstens 0,1 Sekunde mit entsprechender Angabe des Streckenteils zu melden.

Neben den Hindernismeldungen sind auch Diagnose und Störungsmeldungen über die Schnittstelle mitzuteilen. Dabei sollen z.B. Störungen der Einzelkomponenten, bevorstehendes Funktionsversagen, Verschmutzungsgrad der optischen Sensorik o.ä. unverzüglich an der Schnittstelle angezeigt werden. Weiterhin soll die Möglichkeit bestehen, Einzelbilder der Anlage zu übertragen. Dafür muss eine entsprechende Steuermeldung existieren, die die Übertragung zur Leitstelle aktivieren bzw. deaktivieren kann.

3 Technische Beschreibung der prototypischen Anlage

In diesem Kapitel soll eine konkrete Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen vorgestellt werden, welche sich seit Januar 2001 im Dauerbetrieb befindet. Diese Anlage wurde im Laufe der Zeit dahingehend modifiziert, dass eine optimierte Konfiguration für eine stationäre Bahnsteigsicherung, d.h. mit prototypischem Charakter, entstanden ist. Die systemtechnische Zerlegung erfolgt in die Bereiche Sensortechnik, Verbindungstechnik zwischen Sensorik und Auswertung, Kommunikations- und Verarbeitungstechnik und einer Schnittstelle zu peripheren bzw. übergeordneten Systemen.

3.1 Globale Systemstruktur für das Gesamtsystem

Zunächst werden die wesentlichen strukturellen Ebenen für das Gesamtsystem vorgestellt und allgemeine Randbedingungen sowie geometrische Verhältnisse der konkreten Anlage aufgezeigt. Weiterhin wird die prinzipielle Wirkungsweise der Anlage an Hand von verschiedenen Detektionsbereichen beschrieben und Einflussgrößen zur potentiellen Leistungsminderung genannt.

3.1.1 Technische Konzeption

Das Gesamtsystem lässt sich in 2 wesentliche Funktionsebenen gliedern. Dabei werden zunächst periphere oder übergeordnete Systeme nicht berücksichtigt. Die folgende Abbildung zeigt die Gliederung der Funktionsebenen auf.

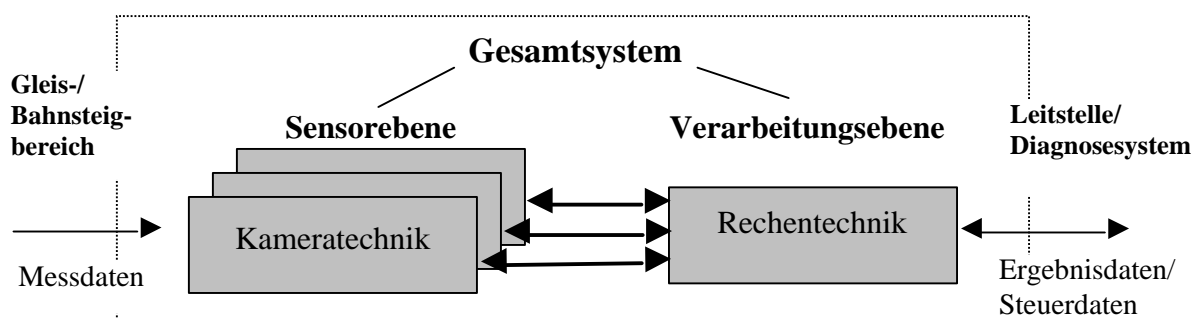


Abbildung: Funktionsebenen für Gesamtsystem

Die Sensorebene lässt sich weiter untergliedern in 3 eigenständige Module, welche für 3 Detektionsbereiche am Bahnsteig konfiguriert sind. Diese Bereiche sind so ausgelegt, dass ein geringer Überlappungsbereich existiert und eine lückenlose Detektion möglich ist. Ein Modul beinhaltet jeweils 2 Kameras mit entsprechenden Objektiven, Netzteil, Gehäuseheizung, Kameragehäuse und einer mechanischen Halterung zur möglichen Befestigung an einem Infrastrukturelement.

Diese Sensorebene mit ihren 3 Modulen ist elektrisch (energetisch und signaltechnisch) mit der Verarbeitungsebene verbunden. Sie lässt sich weiter untergliedern in Auswertetechnik für Bilddaten und Technik zur drahtlosen Kommunikation mit externen Einrichtungen, wie z.B. einer zentralen Leitstelle oder einem Diagnosesystem. Weiterhin gehören zur Verarbeitungsebene Geräte zur Steuerung und Analyse der Systemeigenschaften. Alle technischen Geräte sind untereinander mit einem Netzwerk verknüpft.

Eine detaillierte Darstellung wird in folgender Abbildung gezeigt.

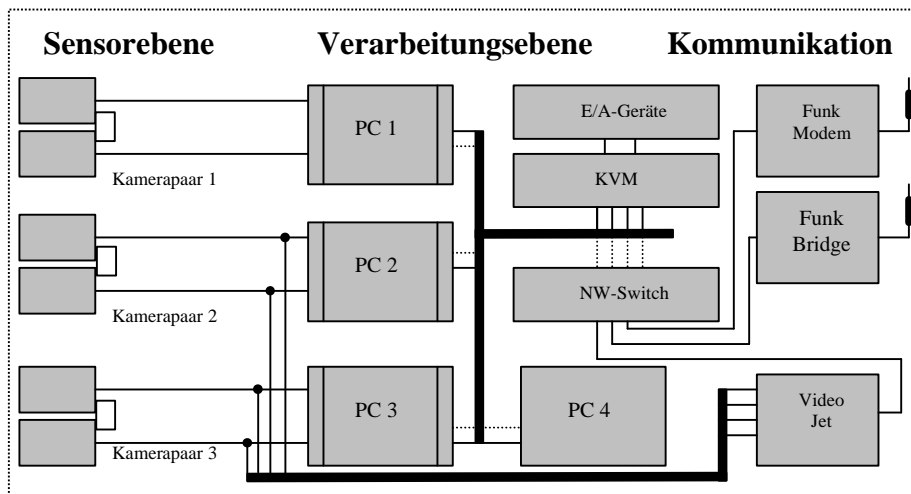


Abbildung: Detaillierte Funktionsebenen für das Gesamtsystem

Die Sensorebene besteht wie bereits erwähnt aus 3 Kamerapaaren, welche für jeweils ein Überwachungssegment von 50 m zuständig sind. Dies bedeutet, dass die Entfernung zwischen jedem Kamerapaar ca. 50 m beträgt. Alle Komponenten der Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit befinden sich zentralisiert in einem Industrierechnerschrank, der quasi am Standort des Kamerapaars 1 aufgestellt ist.

Wesentliche Komponenten der Verarbeitungsebene sind die Industrierechner 1 bis 3 zur Bildauswertung und Speicherung. Der Rechner 4 ist für administrative Aufgaben, wie Protokollierung und Diagnose, zuständig. Weiterhin dient er zur Steuerung der externen Kommunikation und für den Datenaustausch zwischen übergeordneten Systemen. Ein Netzwerk-Switch (NW-Switch) verbindet alle relevanten Einheiten miteinander und ermöglicht damit die Kommunikation der Rechentechnik untereinander.

Der eingesetzte Video Jet übernimmt das Einlesen der Rohvideodaten aus Kamerapaar 2 bis 3 und ist in der Lage durch ein externes Signal das Aufnehmen und Speichern von Videodaten zu steuern. Außerdem kann der Video Jet ausgewählte komprimierte Videosignale zu Fernbeobachtung oder zur Übertragung bereitstellen.

Zur direkten drahtlosen Übertragung werden ein Funk Modem im GSM-Band und eine Funk Bridge im ISM-Band eingesetzt. Das Funk Modem ist durch seine limitierende Technologie gegenüber der Funk Bridge nur bedingt zur Videodatenübertragung einsetzbar. Weiterhin ist für die Übertragung noch spezielle Antennentechnik notwendig, welche entsprechend im Bereich der Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit montiert ist.

3.1.2 Lokale Verteilung der Systemkomponenten

In diesem Kapitel wird die konkrete Anordnung der technischen Komponenten für Kamera-technik und Industrierechnerschrank am Haltepunkt Dresden Strehlen dargestellt. Weiterhin werden quantitativ die potentiellen Detektionsbereiche angegeben.

Beim Haltepunkt Dresden Strehlen handelt es sich um einen teilweise überdachten Inselbahnsteig, welcher primär im Einrichtungsbetrieb befahren wird. Er besitzt eine Bahnsteigkantenlänge, d.h. einen öffentlich zugänglichen Bereich von ca. 150 m. Dieser Bahnsteig wird von der Deutschen Bahn betrieben und unterhalten. Die folgende Abbildung zeigt den betreffenden Bahnsteig mit Blickrichtung entgegen der Fahrtrichtung.



Abbildung: Haltepunkt Dresden Strehlen

Am Bahnsteigdach außerhalb des Regellichttraumes sind die Kamera- paare mit einer mechanischen Halterung verbunden. Die Kameras können individuell justiert werden und mittels einer Befestigungsschiene auch gemeinsam geneigt und geschwenkt werden. Die folgende Abbildung zeigt die verwendete mechanische Halterung.



Abbildung: Mechanische Halterung für ein Kamera- paar

Die Kamera- paare sind jeweils mit elektrischen Leitungen entlang des Bahnhofsdaches mit dem Rechnerschrank am Anfang des Bahnsteiges verbunden.

Der Rechnerschrank befindet sich außerhalb des öffentlich zugänglichen Bereiches am Anfang des Bahnsteiges. Die folgende Abbildung zeigt den konfigurierten Rechnerschrank.



Abbildung: Rechnerschrank am Haltepunkt Strehlen

Der Bahnsteig wird lateral in drei unterschiedliche Bereiche eingeteilt: In den Gleisbereich, den Kantenbereich und den Bahnsteigbereich. Längs des Gleises gibt es 3 Überwachungsbe-
reiche innerhalb des öffentlich zugänglichen Bereiches von je 50 m. An den Enden des Gleis-
bereiches wird in Richtung offenes Gleis weiterhin ein Bereich von 2 m überwacht. Er dient
als Eindringüberwachung. Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen Positionsdaten der
Sensortechnik. Eine technische Zeichnung befindet sich im Anhang.

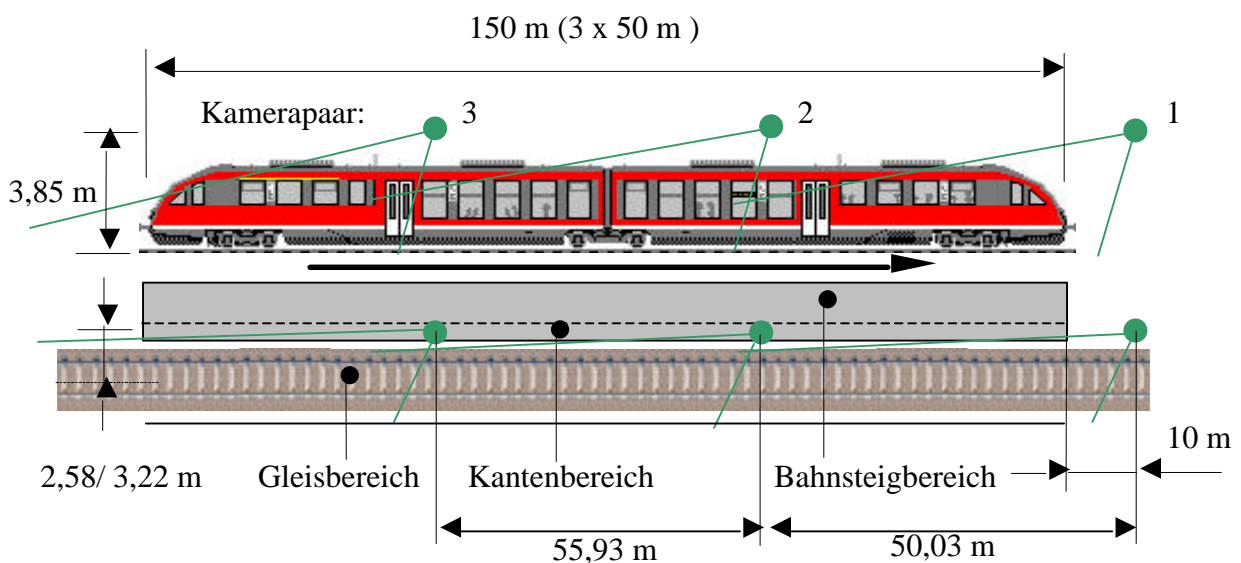


Abbildung: Anordnung der Sensortechnik am Bahnsteig

Die lateralen Ausdehnungen richten sich zum einen nach dem Regellichtraumprofil (Gleisbereich) nach EBO und zum anderen nach projektierbaren Vorgaben für den Kantenbereich und den Bahnsteigbereich.

3.1.3 Wirkungsweise der Anlage

Bei der eingesetzten bahnsteignahen Variante (Kameratechnik entlang der Bahnsteigkante) für die Bahnsteigsicherung am Haltepunkt Dresden Strehlen sind zunächst jeweils nur ein Kamerapaar für einen Überwachungsbereich im Einsatz, d.h. es wird Einrichtungsbetrieb vorausgesetzt. Die Blickrichtungen der Kameras sind also immer entgegen der Fahrtrichtung des Zuges angeordnet.

Die Hauptaufgabe dieser Anlage ist es, kritische Situationen möglichst frühzeitig zu erkennen und optimale Maßnahmen zu ergreifen, um gegebenenfalls Schaden abzuwenden oder zu minimieren. Hierfür wird primär mittels eines videobasierten Ansatzes und entsprechender Kameratechnik bzw. Rechentechnik ein definierter Bereich überwacht und automatisch nach kritischen Objekten untersucht.

Jedes Kamerapaar mit Rechereinheit arbeitet für seinen Überwachungsbereich autark und leitet die Ergebnisse an eine Zentraleinheit zur Situationsbeurteilung weiter. Dabei stellt sich die Anlage nach außen immer nur mit einer Meldung pro Bahnsteigkante dar. Diese Meldung wird im Betriebszustand der Anlage permanent oder im Bedarfsfall von übergeordneten Systemen, wie z.B. eine zentrale Betriebsleitstelle, empfangen und entsprechend ausgewertet.

Die wesentlichen Funktionen der Anlage können in drei Phasen eingeteilt werden. Zunächst müssen bahnsteigspezifische Daten, wie Infrastruktur- und Geometriedaten, im Bahnsteigsicherungssystem in Form von Konfigurationsdaten eingebunden werden. Hier wird von der **Initialisierungsphase** gesprochen. Diese Phase ist notwendig, um eine hohe Flexibilität bezüglich Portierbarkeit der Anlage zu ermöglichen. Eine weitere Phase ist die **Detektionsphase**, zu ihr gehören das Erkennen der Gleise und Infrastrukturelemente bzw. kritische (z.B. Hindernisse) und unkritische (z.B. einfahrender Zug) Objekte im Gleis und/oder im Kantbereich. Weiterhin wird eine Eindringüberwachung in Richtung freier Strecke realisiert. Die dritte Phase wird als **Meldungsphase** bezeichnet und beinhaltet alle Informationen zur Erkennungsquantität und -qualität sowie Diagnose- und Systemzustandsinformationen. Die folgende Abbildung zeigt den Ablauf für die einzelnen Phasen.

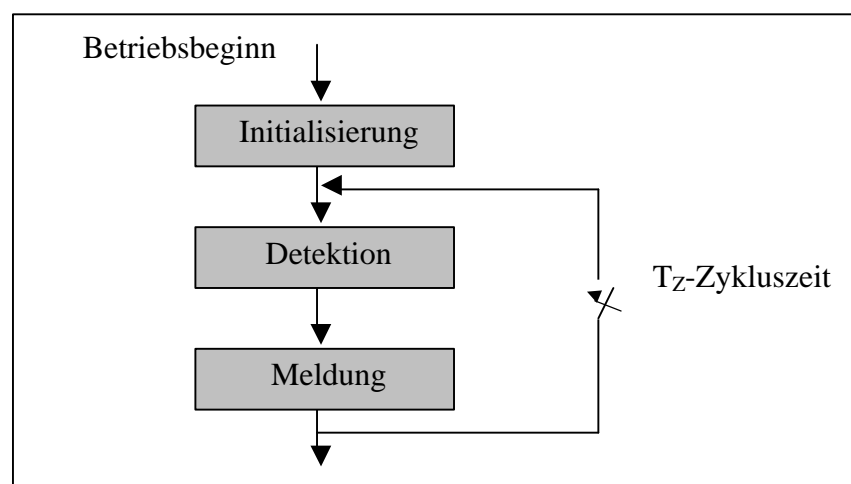


Abbildung: Funktionsphasen für Bahnsteigsicherung

3.1.4 Potentielle Einflussgrößen der Anlage

Das Bahnsteigsicherungssystem besitzt aufgrund der verwendeten videobasierten Technologie Faktoren, die die Leistungsfähigkeit mindern können. Eine wesentliche Einflussgröße ist die Änderung der **Umgebungsbeleuchtung** in weiten Grenzen. Beim Einsatz im Außenbereich ist erfahrungsgemäß eine mindestens zweistufige automatische Blendeneinstellung am Objektiv erforderlich. Weiterhin stellen stark partielle Helligkeitsunterschiede (z.B. tief stehende Sonne) im Bild ebenfalls eine Schwierigkeit für die Erkennung mit einer klassischen CCD-Kamera dar. Die **Witterungsverhältnisse** haben auch einen maßgeblichen Anteil für eine korrekte Detektion im Gleisbereich. So kann z.B. starker Schneefall im Bereich der Sensorik die Sicht erheblich beeinflussen. Weitere Einflussfaktoren sind **mechanische Erschütterungen**, welche durch übermäßige Windlasten und/oder durch den Zugbetrieb hervorgerufen werden können. Auch **infrastrukturelle Gegebenheiten** können sich leistungsmindernd auf die Anlage auswirken. Hier wären zum einen die Geometrie des Bahnsteiges und zum anderen bauliche Objekte im Bahnsteigbereich zu nennen. Bei gekrümmten Bahnsteigen kann es z.B. zur längenmäßigen Reduktion des Überwachungsbereiches und zu Verdeckungsproblemen kommen. Ergänzend können noch weitere **partielle Störgrößen**, wie z.B. großflächige Spiegelungen, Wärmeflimmern, Reflexionen und sich schnell ändernde Schlagschatten eine Rolle bei der sicheren Erkennung von kritischen Situationen spielen. Folgende Abbildung verdeutlicht noch mal die gruppierten äußeren Einflüsse auf die Bahnsteigsicherungsanlage.

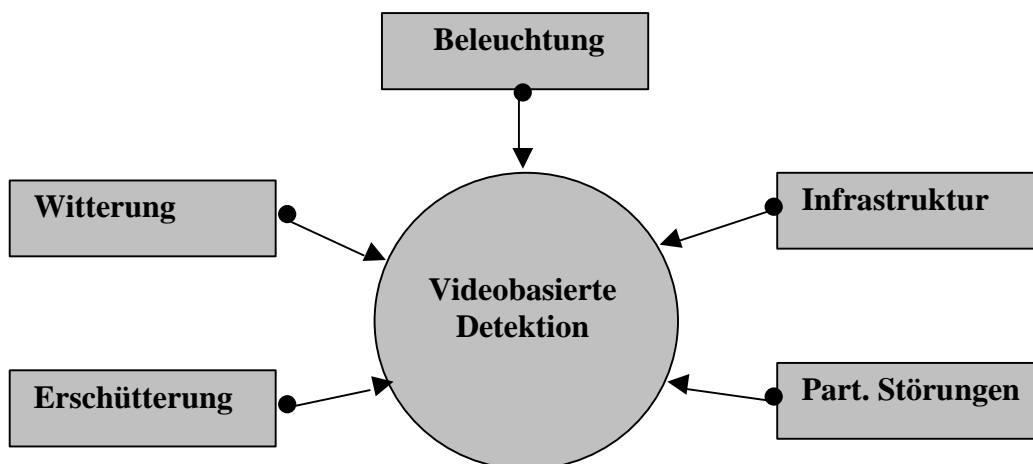


Abbildung: Mögliche Einflussgrößen auf die videobasierte Detektion

Bei den aufgeführten Einflussgrößen zur möglichen Leistungsminderung sind systembedingte Faktoren wie Sensorausfälle bzw. Verschmutzung oder Komponentenstörungen nicht mit berücksichtigt worden. Maßnahmen zur Minimierung bzw. Beseitigung der oben aufgeführten Einflussgrößen können nicht in jedem Fall mit softwaretechnischen Änderungen realisiert werden. Deshalb sollen hier einige Maßnahmen für jede der fünf Größen aus oben aufgezeigter Abbildung aufgeführt werden.

Bei der sich stark ändernden Umgebungsbeleuchtung kann man zum einen **hochdynamische Kamerasysteme** einsetzen (wurde im Prototyp zusätzlich realisiert) und zum anderen mit erheblichen Aufwand die Infrastruktur verändern. Dies könnte z.B. eine Überdachung des Gleisbereiches oder die Installation einer speziellen künstlichen Beleuchtung bedeuten. Eine weitere Möglichkeit, welche ebenfalls im Prototyp umgesetzt wurde, sind **veränderliche Objektiv** bezüglich der Blendeneinstellung und ein **softwaremäßiges Nachstellen** der Bildhelligkeit.

Die Bildverarbeitungssoftware kann globale Änderungen der Umgebungsbeleuchtung erkennen und ausgleichen. Dabei wird eine bestimmte Mindesthelligkeit vorausgesetzt. In der Regel ist die normale Bahnsteigbeleuchtung ausreichend. In bestimmten Fällen kann sich jedoch eine Zusatzbeleuchtung für Abschnitte des Gleisbereiches erforderlich machen.

Bei Witterungseinflüssen gilt Ähnliches wie bei der Umgebungsbeleuchtung. Sie können den Kontrast im Bild verringern und setzen die Erkennungsleistung entsprechend dem menschlichen Sehvermögen herab. Es ist schwierig bei extremen Bedingungen, wie z.B. dichter Nebel, sehr starker Regen oder starkes Schneetreiben, entsprechende Maßnahmen zu finden. Ein möglicher Lösungsansatz wäre hier eine Zusatzsensorik, welche technologiebedingt die eingeschränkten Sichtverhältnisse kompensieren könnte. In der prototypischen Anlage wurde zunächst auf erweiterte Sensortechnik verzichtet, da das bestehende Bahnsteigdach für die Kamertechnik eine Schutzfunktion ausübt.

Den mechanischen Erschütterungen durch hohe Windlasten kann man durch geeignete Kameraträgerkonstruktionen mit speziellen Dämpfungseigenschaften sehr wirkungsvoll entgegenen. Außerdem ist der Einsatz **schwingungsarmer Materialien** mit kurzen Anlenkpunkten sinnvoll, um die Angriffsmomente möglichst minimal zu halten. Geringe Auslenkungen aus der Normposition wirken sich global im Bild aus und können durch die Bildverarbeitungssoftware erkannt und automatisch durch **Bildstabilisation** korrigiert bzw. kompensiert werden. Die hier aufgezeigten Maßnahmen wurden im Prototypen realisiert.

Auf infrastrukturelle Gegebenheiten, wie z.B. Kantenkrümmungen bzw. Verdeckungen, kann in der Regel mit geringfügigen Maßnahmen reagiert werden. Es handelt sich lediglich um softwaretechnische Einstellungen, welche gegebenenfalls den Überwachungsbereich verringern können. Beim Prototypen am Haltepunkt Dresden Strehlen existiert eine gerade Bahnsteigkante, d.h. der Detektionsbereich wird lediglich durch das gewählte Objektiv und die Kameraposition bestimmt. Weiterhin gibt es keine Verdeckungen durch Stützen für das Bahnsteigdach, die den relevanten Bereich einschränken.

Weitere Störgrößen, wie z.B. Schatten und Reflexionen, werden durch spezielle Bildverarbeitungssoftware und durch Hinzunahme von Bewegungs-, Größen-, Struktur- und Stereoinformationen in bestimmten Grenzen ausgeglichen. Nähere Informationen dazu befinden sich im Kapitel „Software-Komponenten“.

3.2 Systemtechnische Beschreibung der Anlage

In diesem Kapitel werden zunächst die konkreten Sensoreinheiten vorgestellt und durch ihre Kenngrößen beschrieben. Dabei werden die Spezifikationsdaten der verwendeten Kamertechnik angegeben und Einsatzbereiche diskutiert. Danach wird die Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit mit ihrer speziellen Rechentechnik für Bildverarbeitung und Kommunikation anhand von konkreten Kenndaten für Leistungsparameter und Abmessungen aufgezeigt. Abschließend werden Aussagen zur energetischen Versorgung der Anlage gemacht.

3.2.1 Sensoreinheiten

Bei der Bahnsteigsicherungsanlage Strehlen werden zwei unterschiedliche Kameratechnologien parallel eingesetzt und auf ihre Detektionseigenschaften untersucht. Zum einen handelt es sich um CCD-Kameras mit hoher Lichtempfindlichkeit und zum anderen werden HDRC-Kameras eingesetzt, welche hochdynamische Eigenschaften besitzen. Da die Sensoreinheiten im Außenbereich montiert sind, ist ein entsprechendes schutzgradklassifiziertes Kameragehäuse notwendig.

3.2.1.1 CCD-Kameratechnik

Die bei der Bahnsteigsicherungsanlage am Haltepunkt Dresden Strehlen eingesetzten CCD-Kameras besitzen einen 1/2 Zoll CCD-Farbsensor mit einer Auflösung von 440000 Pixel effektiv. Diese eingesetzte digitale Hochleistungskamera vom Typ FAC 838 i von der Firma plettac-electronics hat weiterhin einen ASIC-Chip (programmierbarer Baustein) und einen DSP (digitaler Signalprozessor) implementiert, um Funktionen wie automatische Bildoptimierung, digitaler Bildspeicher, Smeareffektreduzierung, Schrifteinblendung, Schwarzwertanhebung, Weißabgleich, automatische Aperturabschaltung sowie Fernkonfiguration über RS 485 zu realisieren.

Die folgende Abbildung zeigt die eingesetzte Kamera mit Springblendenobjektiv.



Abbildung: Hochleistungskamera FAC 838i

Die Kamera FAC 838 i besitzt eine volldigitale 10-bit-Videosignalverarbeitung und wird charakterisiert durch folgende **technische Daten**:

?	Sensor	1/2 Zoll Interline, Hyper HAD,
?	Pixel total	470000=596(v) x 795(h),
?	Pixel effektiv	440000=582(v) x 752(h),
?	Zeilenorm	625 Zeilen, 50 Hz,

? Abtastnorm	CCIR-Pal mit Zeilensprung,
? Hor. Auflösung	480 Zeilen (6 MHz),
? Lichtempf.	0,2 lx für auswertbares Bild,
? Spektralbereich	400 nm ... 650 nm,
? Shutter	1/1000.000 – 10s

und folgende **elektrische Daten:**

? Videoausgang (F)BAS	1 Vss/75 Ohm,
? Videoausgang +(F)BAS	1 Vss/75 Ohm,
? Videoausgang -(F)BAS	1 Vss/75 Ohm,
? Y/C	1 Vss/75 Ohm,
? Versorgungsspannung	11 V DC ... 32 V DC,
? Leistungsaufnahme	13 W mit Heizung,
? Steuerschnittstelle	RS 485

und folgende **mechanische Daten:**

? Ausgang Video	Systemstecker,
? Objektivanschluss	C-/CS Mount,
? Schutzart	IP 66,
? Lagertemperatur	-40 °C ... +70 °C,
? Betriebstemperatur	-25 °C ... +55 °C,
? Masse	2,4 kg,
? Abmessungen [mm]	300 x 126 x 83 (L x B x H).

Für die CCD-Kameratechnik kommen spezielle Objektive zum Einsatz, welche den weiten Helligkeitsbereichen im Außenbereich annähernd gerecht werden. Hierbei handelt es sich um sogenannte Objektive mit Springblende vom Typ G1214 MXL (H.XE 12-08). Diese sind in der Lage zwei Zustände anzufahren. Zum einen bei geschlossener Blende mit einem Blendenwert von ca. 8 und zum anderen bei offener Blende. Die Steuerung der Objektive erfolgt ausschließlich durch die Kamera über eine Verbindung mit SCS. Die Objektive sind erfahrungsgemäß gut geeignet für den Einsatz im Außenbereich und stellen eine kostengünstige bzw. funktionale Helligkeitssteuerung mit großer Genauigkeit bereit. Das Einbrennen und der mögliche Smeareffekt werden durch die automatische Blendenumschaltung gegenüber manueller Blende erheblich verbessert. Als nachteilig hat sich herausgestellt, dass es im Bereich des Umschaltens zu kurzem Einschwingverhalten kommen kann. Weiterhin sind Zustandsänderungen der Blende bei nächtlichen Scheinwerferstrahlungen möglich. Hier könnte die optische Spitzenlichtaustastung der Kamera Abhilfe schaffen.

Folgende konkrete Spezifikationsdaten besitzt das Springblendenobjektiv G1214 MXL (H.XE 12-08):

? Mount	CS,
? F/f [mm]	F 1,4 / 12 mm,
? 1. Blendenwert	Blende 8,0 ? 0,5 (offener Anschluss oder GND),
? 2. Blendenwert	Blende vollständig geöffnet (+5 V, < 20 mA),
? Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C.

Ein konkreter elektrischer Anschlussplan und eine Abgleichanleitung für Springblendenobjektive befindet sich im Anhang.

3.2.1.2 HDRC-Kameratechnik

Neben den CCD-Kameras werden für ein Bahnsteigsegment (Länge = 50 m) auch HDRC-Digitalkameras vom Typ INOCAM EA 20x der Firma INO Vison paarweise eingesetzt. Diese Kameratechnik ist charakterisiert durch ihre logarithmische Kennlinie und kann deshalb starke Helligkeitsunterschiede in der Szene im Bild kompensieren. Das sogenannte „Ausbluten“ wie es bei CCD-Kameras bekannt ist, existiert bei dieser Kameratechnologie nicht. Die folgende Abbildung zeigt eine der eingesetzten HDRC-Kamera mit Standard-Objektiv.



Abbildung: Digitalkamera INOCAM EA 20x

Die Videosignale werden vom einem hochdynamischen monochromen CMOS-Sensor über das optische Dateninterface an den PCI Frame Grabber mit einer 10 bit Auflösung übertragen. Die Weiterverarbeitung der Bilddaten erfolgt im Auswerterechner. Die Parametrierung und Steuerung des Kamerakopfes ist vom Auswerterechner aus über den Frame Grabber möglich. Die Steuermeldungen werden über ein serielles optisches Datenkabel übertragen. Bei Unterbrechung der Übertragung führt die Kamera einen eigenständigen Reset durch.

Im Normbetrieb erfolgt eine Bildwiedergabe mit kleiner gleich 8 Mpixel/s bzw. 10 bit Datenbreite. Es ist eine Bildwiederholrate von ca. 26 Frames pro Sekunde erreichbar. Je nach Reduzierung der Frame-Größe kann eine entsprechend höhere Rate erzielt werden.

Die eingesetzte HDRC-Kamera der Firma INO Vison wird durch folgende **technische Daten** charakterisiert:

? Sensor	½ Zoll HDRC,
? Anzahl der Pixel	640 (h) x 480 (v),
? Empfindlichkeit	0,1 Lux,
? Dynamik	max. 120 dB,
? Füllfaktor	0,40,
? Verstärkung	einstellbar,
? Offset	einstellbar,
? Pixelrate	MHz,
? Bildrate	> 26 Bilder / s,
? Bildausschnitt	frei wählbar

und folgende **elektrische Daten**:

? Ausgang Digital-Video	10 bit seriell, 160 Mbit / s,
? Video/Control	Fiber Optic ST-Duplex, 62,5 / 125 ?m,
? Betriebsspannung	24 VDC (18 .. 36 VDC),
? ON/OFF-Control	ON: 13 VDC, OFF: 0 .. 0,8 VDC,
? Stromaufnahme bei 24 V	< 180 mA

und folgende **mechanische Daten**:

? Spannungsversorgung	Buchse 3-polig,
? Trigger in	Buchse 4-polig,
? Objektiv	CS-Mount,
? Gehäuse	Strangguss, Aluminium, (114 x 54 x 54),
? Befestigung	Nutensteine.

Bei den HDRC-Kameras kommen Objektive mit manueller Blende der Firma Schneider zum Einsatz. Folgende Spezifikationsdaten können für die **Objektive** angegeben werden:

? Typ	CNG 1,4 / 12 – 0302,
? Ausführung	CM 120,
? F/f [mm]	F 1,4 / 12 mm,
? Temperaturbereich	-20 °C bis +50 °C .

Der elektrische Anschlussplan und ein Strukturbild für das HDRC-Kamerasystem befindet sich im Anhang.

3.2.1.3 Kameragehäuse und mechanische Halterung

Alle verwendeten Kamerasysteme (CCD- bzw. HDRC-Technologie) befinden sich in speziellen wetterfesten Kameragehäusen, welche für überdurchschnittliche Beanspruchungen bezüglich Witterungsverhältnissen ausgelegt sind. Das installierte **Systemgehäuse** vom Typ RS 830 CW der Firma plettac electronics besitzt ein integriertes Netzteil und bietet eine thermostatgesteuerte Scheibenheizung. Weiterhin ist ein Überspannungsschutz der Kabeleingänge vorhanden. Weitere Kenngrößen werden wie folgt angegeben:

- ? Schutzart IP 66 nach DIN 40050,
- ? Vibrationsfestigkeit 5g, f = 10 – 70 Hz, s = 0,5 mm,
- ? Temperaturbereich -35 °C ... 55 °C.

Die beschriebenen Kameragehäuse sind jeweils paarweise mit einem Gelenk an einer speziellen C-Schienenkonstruktion montiert, die dann am Dachträger mit bahnspezifischen Klemmen befestigt ist. Die Gelenke erlauben es die Kamerablickwinkel entsprechend einzustellen. Die folgende Abbildung zeigt die demontierte **Kamerahalterung** mit C-Schienen und entsprechenden Gushalteklammern.



Abbildung: Demontierte Halterung für ein Kamerapaar

Ein technische Zeichnung der verwendeten Kameragehäuse und der mechanischen Halterung befindet sich im Anhang.

3.2.2 Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit

In diesem Kapitel werden Ausführungen zur rechentechnischen Konfiguration, zu Geräten der Bildübertragung und zu den Eigenschaften des Rechnerschrankes der Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit gemacht.

3.2.2.1 Rechentechnik zur Verarbeitung der Bilddaten

Wie aus der Abbildung "Detaillierte Funktionsebenen für das Gesamtsystem" hervorgeht, lässt sich die Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit weiter zerlegen in sogenannte Verarbeitungsmodulare, welche je nach infrastruktureller Gegebenheit in ihrer Anzahl variieren können. Bei der konkreten Anlage handelt es sich, wie bereits erwähnt, um eine Bahnsteiglänge von 150 Metern, d.h. es werden drei Auswerteeinheiten eingesetzt. Diese Auswerteeinheiten bestehen gerätetechnisch aus industrieller Rechentechnik (IPC) mit genormten Gehäuseformen in 19 Zoll-Technik. Wesentliche Merkmale dieser eingesetzten Rechentechnik sind die Bildeinzugskarte (Grabber) zum Einlesen der Sensordaten, eine Netzwerkkarte zur Kom-

munikation innerhalb der Einheit, Doppelprozessorsystem zur effizienten Verteilung der Bildverarbeitungsfunktionen und schnelle Speichermedien (Zugriffszeiten von ca. 5 ms) in SCSI-Technologie für das Handling des hohen Datenvolumens der anfallenden Bilddaten. Es sollen hier nur auszugsweise Spezifikationsdaten der **Rechentechnik** angegeben werden, da im Anhang eine detaillierte Liste aller Komponenten vorhanden ist.

Wesentliche Rechnerdaten sind:

? Motherboard	MB ASUS CUVAX-DLS,
? Prozessor	CPU Intel Pentium III 1 GHz FCPGA,
? Arbeitsspeicher	RAM 512 MB SDRAM ECC reg.,
? Festplatte	36,4 GB HDD IBM DDYS 36950LVD2,
? Gehäuse	19 Zoll 4 HE,
? Netzteil	P = 300 W,
? Bildeinzug	Grabber PCEYE – 4,
? Netzwerkkarte	NIC 3COM 3C905C TXM 10/100 PCI.

Weitere Geräte zur internen Kommunikation (Netzwerk-Switch, Konsolenumschalter), Visualisierung (Bildschirm) und Beeinflussung (Tastatur, Maus) und ihre elektrischen Verbindungen (z.B. Patchkabel) sind ebenfalls in 19 Zoll-Technik ausgeführt und in der Verarbeitung- und Kommunikationseinheit installiert. Die folgende Abbildung zeigt die installierten Komponenten. Die technischen Daten befinden sich im Anhang.



Abbildung: Hardware der Verarbeitungseinheit

3.2.2.2 Weitere Rechentechnik für Diagnose und Protokollierung

Für administrative Aufgaben wird ein weiterer Rechner pro Bahnsteigkante und unabhängig von der existierenden Länge eingesetzt. Dieser Rechner übernimmt die Diagnose und Protokollierung. Primär besitzt dieser Rechner die Möglichkeit große Datenmengen zu speichern und zu verwalten. Weiterhin werden Langzeitsystemdaten, wie Störungsmeldungen, Diagnosemeldungen und Ereignismeldungen auf diesem Rechner zentralisiert. Dieser Rechner ist ebenfalls ein IPC in 19 Zoll-Technik und es existieren alle notwendigen physikalischen Schnittstellen zur internen Kommunikation, wie z.B. Ethernet und RS232. Um den schnellen Wechsel von Speichermedien vor Ort zu gewährleisten, kommen spezielle Wechselrahmen vom Typ Vipower VP – 10LSF und Festplatten mit einer hohen Speicherkapazität (80 GB) vom Typ Maxtor 98196H8 IDE zum Einsatz. Weitere technische Parameter sind aus Gründen der Portabilität vergleichbar mit den Angaben der oben beschriebenen Auswerterechnern.

3.2.2.3 Technische Einrichtung zur Steuerung und Übertragung von Videodaten

Neben der Variante die Bahnsteigsicherungsanlage vor Ort zu bedienen, gibt es außerdem die Möglichkeit einer drahtlosen Fernsteuerung bzw. Fernbeobachtung. Dabei können auf der Basis von Funktechnologien ausgewählte Daten entsprechend empfangen und gesendet werden. Zum Einsatz kommen ein Funk-Modem für das konventionelle GSM-Band mit einer maximalen Übertragungsrate von 14,4 kBit / s (up- und down-link) und ein Funk-LAN-System mit zwei Bridges mit einer maximalen Bruttoreate von bis zu 11 Mbit / s. Erfahrungsgemäß lässt sich eine Nettoübertragungsrate von 5 Mbit / s angeben, welche sich für den Transfer von Videosequenzen und einer komprimierten Live-Bild-Schaltung eignet.

Primär wird das Funk-LAN System für alle notwendigen Service-Arbeiten eingesetzt. Das Funk-Modem dient als Rückfallebene, um die grundlegende Funktionalität der Anlage aufrecht zu erhalten.

Zur Aufbereitung der analogen Videodaten (CCD-Kameras) wird ein weiteres Gerät vom Typ **VideoJet 400** eingesetzt, welches im Wesentlichen die Komprimierung, die Speicherung und die Weiterleitung der komprimierten Videodaten an den Ethernet-LAN-Anschluss übernimmt. Weitere Eigenschaften des installierten Gerätes sind:

- ? 4 analoge Videoeingänge (F)BAS 1 Vss / 75 Ohm,
- ? Schnittstelle RS 232 / RS 485 zur Fernsteuerung,
- ? Zeit und Datumseinblendung bzw. Titelgenerator,
- ? LAN-Anschluss zur Verbindung mit Ether-Net,
- ? eine Speichereinheit für Videodaten,
- ? Abruf von Einzelbild, Bildsequenz und Mehrfachbild,
- ? Standard MPEG Komprimierung,
- ? Bildauflösung: 352 x 288 x bei 25 Bilder / s und
- ? Datenraten von 2 Mbit / s bis 64 kBit / s.

Folgende Abbildung zeigt den Wirkungsplan der Funk-LAN-Strecke mit VideoJet 400 bis hin zum Fraunhofer Institut:

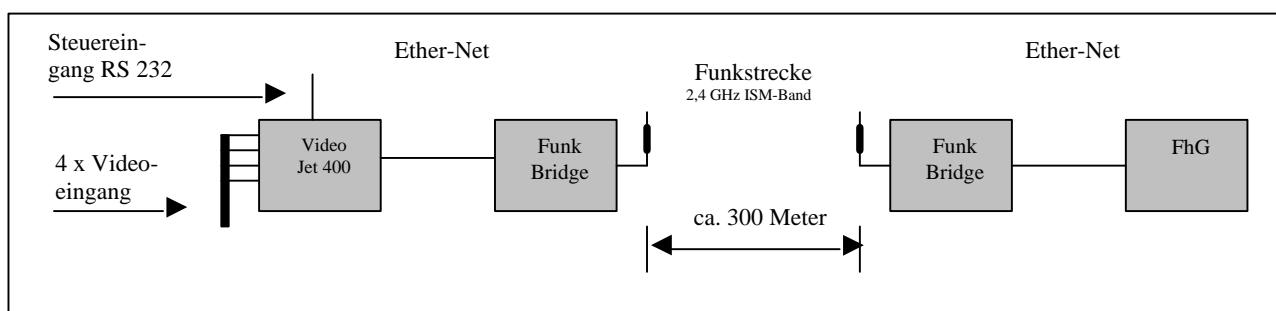


Abbildung: Struktur der Videoübertragung mit Funk-LAN

Wie aus der obigen Abbildung hervorgeht, gehört zur Vollständigkeit der Übertragungsstrecke zu jeder Funk-Bridge jeweils noch eine Antenne. Diese Antennen sind in quasi Sichtkontakt zueinander über eine Entfernung von 300 m angeordnet. Die weitere Verbindung bis hin zum Fraunhofer Institut verläuft über ein Ether-Net.

Die folgenden Abbildungen zeigen die bahnsteigseitigen Komponenten (VideoJet 400, Funk-Bridge und Antenne) für die drahtlose Kommunikation mit einem Funk-LAN-System.



Abbildung: Bahnsteigseitige Komponenten der Funk-LAN-Strecke

Die installierte bahnsteigseitige **Funk-Bridge** vom Typ AIR-BRI341 der Firma CISCO besitzt folgende technische Kenngrößen:

? Unterstützte Datenraten	1, 2, 5.5 und 11 Mbit / s,
? Netzwerkstandard	IEEE 802.3,
? Frequenzband	2400 bis 2483,4 MHz,
? Reichweite	1000 m (bei Sichtverbindung),
? Konfiguration	serielle Schnittstelle – EIA-232,
? Remotekonfiguration	HTTP, Telnet, FTP, SNMP,
? Autokonfiguration	BOOTP, DHCP,
? LED-Anzeigen	Systemstatus, Aktivität im Netzwerk,
? Stromversorgung	Uni-Power-Pack: 90 – 264 VAC, P = 20 W,
? Zertifikate	FCC Teil 15, Teil B, Klasse B, FCC Teil 15.247, UL, RSS-139-1, CSA, AS/NZS3548, VCCI,
? Temperaturbereich	- 20 °C bis 50 °C,
? Luftfeuchtigkeit	10 bis 90 %,
? Abmessungen	20 x 15 x 5 cm,
? Gewicht	0,7 kg.

Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass die angegebenen Reichweiten und Übertragungsraten stark von der eingesetzten Antennencharakteristik abhängen. Am Haltepunkt Dresden Strehlen wurden zwei Antennentypen installiert. Zum einen kam eine **Yagi-Antenne** vom Typ AIR ANT 1949 zum Einsatz. Ein deutlich besseres Verhalten gegenüber der Yagi-Antenne zeigte eine installierte **Planar-Antenne** vom Typ PA-13R der Firma Wimo.

Die technischen Daten der beiden vorgestellten Antennen werden wie folgt beschrieben:

Typ	Freq. Bereich MHz	Gewinn dBi	Bandbreite 1.5:1	Öffnungswinkel horizontal	Öffnungswinkel vertikal
AIR ANT 1949	2400-2500	13.5	100	30°	25°
PA-13R	2300-2450	18	150	13°	15°

Tabelle : Technische Daten der verwendeten Antennentechnik

Aus Gründen des günstigeren Störverhaltens und der stabilen Funkübertragung wurde die Planar-Antenne vom Typ PA-13R für den dauerhaften Betrieb ausgewählt, welche in folgender Abbildung dargestellt ist.



Abbildung: Planar-Antenne vom Typ PA-13R

3.2.2.4 Eigenschaften Rechnerschrank

Wie aus den bisherigen Ausführungen bzw. Abbildungen ersichtlich ist, sind alle Komponenten der Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit in einem 19 Zoll Standschrank installiert und auf einem Schwenkrahmen montiert. Dieser **Rechnerschrank** vom Typ PS 4808 (4000) der Firma Rittal befindet sich im Außenbereich und besitzt deshalb einen entsprechenden Witterungsschutz. Der installierte Schrank ist mit einer Temperaturregeleinrichtung versehen und kann bei niedrigen Außentemperaturen das innere Luftvolumen auf eine gewünschte Solltemperatur von ca. 18 °C regeln.

Der installierte Rechnerschrank besitzt folgende technische Daten:

? Abmessungen (B x H x T)	800 x 200 x 800 mm,
? Gewicht inkl. Tür	155.0 kg,
? Schutzgrad	IP 55 nach IEC 529,
? Lüftung	2 Lüfter a 18 W a 140 m ³ / h,
? Temperaturregler	SK 3110,
? Thermische Tests	nach IEC 68-2-1,2,56,
? Vibrationstest	nach IEC 68-2-26.

Neben den rechentechnischen Komponenten befindet sich außerdem ein 19 Zoll Baugruppenträger im Rechnerschrank, welcher zur Aufnahme von 3 Empfängerbausteinen für das 2-Draht-Videoübertragungssystem dient. Die näheren Erläuterungen dieser Übertragungskomponente werden im folgenden Kapitel ausgeführt.

3.2.3 Übertragungstechnik für abgesetzte Sensoren

Die Sensordaten werden mittels einer störungsunempfindlichen Übertragungseinrichtung zur Auswerteeinheit gesendet. Dabei handelt es sich um ein **2-Draht-Videoübertragungssystem** mit einem Empfängerbaustein vom Typ LE 86 der Firma plettac electronics. Dieser Empfängerbaustein befindet sich in einem Baugruppenträger, welcher wiederum im 19 Zoll Rechner-schrank installiert ist. Die folgende Abbildung zeigt den demontierten Empfängerbaustein LE 86.



Abbildung: Empfängerbaustein LE 86

Insgesamt werden pro Kamera paar ein Empfängerbaustein eingesetzt. Alle Bausteine besitzen einen implementierten Entzerrungsverstärker und arbeiten mit einer Bandbreite von 5 MHz, um die hohe Bildqualität in Realtime darzustellen. Weiterhin ist eine Diagnosefunktion installiert, die im Störfall (z. B. Signalausfall) automatisch über Kontrollleuchten oder über den potentialfreien Alarmkontakt eine Meldung abgibt.

Folgende **technische Daten** können für das 2-Draht-Videoübertragungssystem vom Typ LE 86 angegeben werden:

? Entzerrung	einstellbar von 0 dB ... 16 dB (5 MHz),
? Videobandbreite	> 5 MHz abhängig vom Kabeltyp,
? Diff. Gain	< 3 % bei 0 dB Entzerrung,
? Diff. Phase	< 3 ° bei 0 dB Entzerrung,
? Störabstand	< 60 dB bei 0 dB Entzerrung,
? Kontrollelemente	Spannung, Signalqualität, Entzerrung, Testausgang,
? Temperaturbereich	0 °C ... +40 °C (im 19 Zoll Träger),
? EMV	CE konform.

Weitere **elektrische Eigenschaften** sind:

? Videoeingänge	2 x 1 Vss, (F)Bas asym. auf 75 Ohm,
? Sym. Eingänge	2 x (2 x 1 Vss), (F)Bas sym. Auf 124 Ohm,
? Videoausgänge	2 x 1 Vss pos. (F)Bas an 75 Ohm, manuell / automatisch,
? Betriebsspannung	15 VDC ... 30 VDC,
? Stromaufnahme	150 mA (ein Ausgang abgeschlossen mit 75 Ohm),
? Überspannung	< 500 Veff (symmetrischer Eingang)

und weitere **mechanische Eigenschaften** sind:

- | | |
|--------------------|---|
| ? Masse | 0,2 kg, |
| ? Abmessungen [mm] | 100 – 160 mm Europakarte für 19 Zoll,
3 HE / 7 TE. |

Die Verbindung der Sendeeinheit (CCD-Kamera vom Typ FAC 838) mit dem Empfängerbaustein besteht aus einer verdrehten 2-Drahtleitung vom Typ „2-Draht 0,6 PVC“ und besitzt je nach Entfernung der Kamera Paare unterschiedliche Kabellängen. Bei der maximalen Kabellänge handelt es sich um ca. 130 m. Ein entsprechender Verdrahtungsplan befindet sich im Anhang.

3.2.4 Energieversorgung der Anlage

Die Stromversorgung der Anlage erfolgt über ein eigens errichteten Zäuhlerschrank mit Drehstromzähler aus dem DB Netz. Davon werden zwei Phasen a 230 V / 16 A mittels speziellen Kabelschutzrohr zum 3 m entfernten Rechnerschrank geführt. Im Rechnerschrank erfolgt eine Aufteilung der Energie über Stromverteilerleisten. Es wird dabei unterschieden in:

- ? Versorgung der Rechentechnik (IPC, Netzwerk-Switch, E/A-Einheiten, KVM),
- ? Versorgung der Sensortechnik (CCD- und HDRC-Kameratechnik),
- ? Versorgung der Kommunikationstechnik (Funk Modem, Funk LAN, VideoJet),
- ? Versorgung zusätzlicher Geräte (Testmonitor, Messgeräte, Notebook).

Die Versorgung der Rechentechnik und Sensortechnik erfolgt über einen separaten Energiestrang. Alle weiteren Geräte, welche sicherheitstechnisch gesehen eine untergeordnete Rolle spielen, erhalten ihre Energie aus dem zweiten Strang.

4 Funktionale Schnittstelle

Die Bahnsteigsicherung am Haltepunkt Dresden Strehlen ist in der Lage durch eine definierte Schnittstelle mit übergeordneten Systemen (Leitstelle, Diagnoserechner) zu kommunizieren. Hierbei werden Informationen über definierte Meldungen ausgetauscht. Diese Meldungen werden wie folgt aufgeteilt:

- ? Gesamthindernismeldung,
- ? Einzelhindernismeldung und
- ? Steuermeldung.

Die **Gesamthindernismeldung** beinhaltet allgemeine Informationen zur Rechneridentifikation, zum aktuellen Systemzustand und zur Anzahl der detektierten Einzelhindernisse. Weiterhin wird die aktuelle Zeit mittels dieser Meldung an das periphere System übermittelt. Zur Sicherung der korrekten Übertragung wird eine Prüfsummenbildung angewendet.

Bei der Detektion von Hindernissen werden neben der Gesamthindernismeldung noch weitere **Einzelhindernismeldungen** generiert. Diese Einzelhindernismeldungen geben Auskunft über die Eigenschaften und den Aufenthaltsort der Hindernisse. Konkret werden in der Einzelhindernismeldung die Hindernisidentifikation, die Erkennungsgüte, die Hindernisklasse, die Objektgröße und die longitudinale bzw. laterale Entfernung bezogen auf Gleismittelachse übermittelt. Die Einzelhindernismeldung wird ebenfalls durch eine Prüfsummenbildung auf ihre Korrektheit geprüft.

Neben der Gesamt- und Einzelhindernismeldung, welche primär an den übergeordneten Steuerrechner geschickt werden, gibt es noch eine **Steuermeldung**. Diese Steuermeldung dient zur externen Beeinflussung der Bahnsteigsicherungsanlage, d.h. es können Service-Funktionen, wie Initialisierung, Systemneustart oder Systemparametrierung durchgeführt werden. Der Inhalt dieser Meldung sind ein Rechneridentifikator, eine Klasse von Service-Funktionen und eine Prüfsumme. Zwei weitere wesentliche Service-Funktionen sind die Einzelbildübertragung und die Videodatenspeicherung. Hierdurch kann eine manuelle Situationsanalyse und eine Speicherung der aktuellen Szene von der Leitstelle aus erfolgen.

Der Dialog der Bahnsteigsicherungsanlage mit der Leitstelle erfolgt entweder im **Taktprinzip** oder im Anforderungsprinzip. Beim Taktprinzip werden die Meldungen im Zeitraster von 100 ms ausgetauscht. Dies bedeutet, dass die Hindernismeldungen quasi permanent an den Leitreechner gesendet werden und die Steuermeldung gelesen wird. Der Empfang einer Hindernismeldung (korrekt oder fehlerhaft) wird durch den Leitreechner nach 3-5 fehlerfreien Meldungszyklen als sicher eingeschätzt. Der Empfang einer Steuermeldung (korrekt oder fehlerhaft) wird durch den Bahnsteigsicherungsrechner zum nächsten Taktzeitpunkt in der Hindernismeldung indirekt bestätigt. Die indirekte Bestätigung bzw. lückenlose Übertragung dient zur Information des Leitrechners über den aktuellen Zustand der Bahnsteigsicherungsanlage. Das mehrmalige Senden einer Meldung erfolgt nicht. Im Fehlerfall wird die Sendung der Steuermeldung durch den Leitreechner wiederholt.

5 Softwarekomponenten

In diesem Kapitel werden die softwaretechnischen Komponenten, welche für den funktionellen Betrieb der Bahnsteigsicherungsanlage notwendig sind, näher beschrieben. Hier erfolgt eine Einteilung in die Basissoftware zum Betreiben der Rechentechnik, in die Bildverarbeitungs- und Auswertesoftware als Kernstück der Hinderniserkennung, in die Protokollierungssoftware zum Nachweis von Beanspruchungsarten und Zugererkennung und in die Kommunikationssoftware für den internen und externen Informationsaustausch.

5.1 Basissoftware

Zur Basissoftware gehören alle die Komponenten, die zur Gesamtfunktion der Hinderniserkennung notwendig sind und als kommerzielle Produkte zur Verfügung stehen. Hierzu zählt das Betriebssystem Windows 2000 und die Programmiersprache C/C++ mit seinen Standardbibliotheken sowie zusätzlicher Bibliotheken für Bildverarbeitung.

5.2 Bildverarbeitungssoftware und Auswertung

Die Bildverarbeitung stellt den Kern der Bahnsteigsicherungsanlage dar und besteht aus mehreren Verarbeitungsschritten, welche teilweise seriell oder parallel ablaufen. Die Voraussetzung für eine Stereobildauswertung sind ein kalibriertes Kamerasystem und zwei Videostreams mit unterschiedlicher Perspektive der Szene. Weiterhin dient die korrekte Synchronisation der Kamerabilder zur Detektion von räumlichen Objekten. In diesem Kapitel sollen aufgrund der komplexen Softwarestruktur lediglich die wesentlichen Software-Komponenten genannt und wesentliche Eigenschaften vorgestellt werden.

Die **Kalibrierung** erfolgt durch die Ermittlung von kameratechnischen Parametern und geometrischen Verhältnissen zur umgebenden Realität. Dabei handelt es sich um die **internen Parameter** der Kamera, die sich durch die Beziehung zwischen Chip und Optik widerspie-

geln. Weitere Parameter sind die geometrischen Beziehungen des Kamerasystems im Weltkoordinatensystem. Diese werden als **externe Parameter** bezeichnet. Außerdem müssen die sogenannten **Stereoparameter** ermittelt werden. Sie geben ebenfalls Auskunft über geometrische Beziehungen zwischen den zusammengehörigen Stereokameras. Neben der Kalibrierung müssen spezielle Ebenen- und Raumannahmen festgelegt werden. Für die Kalibrierung existiert ein entsprechendes Software-Tool. Die Berechnung erfolgt Offline vor der eigentlichen Betriebsphase der Anlage.

Die grundlegenden Funktionsphasen zur Hinderniserkennung sind die Initialisierungsphase, die Detektionsphase und die Meldungsphase. Die folgende Abbildung zeigt die sequentielle Abarbeitung der einzelnen Funktionsmodule für die Bildverarbeitung.

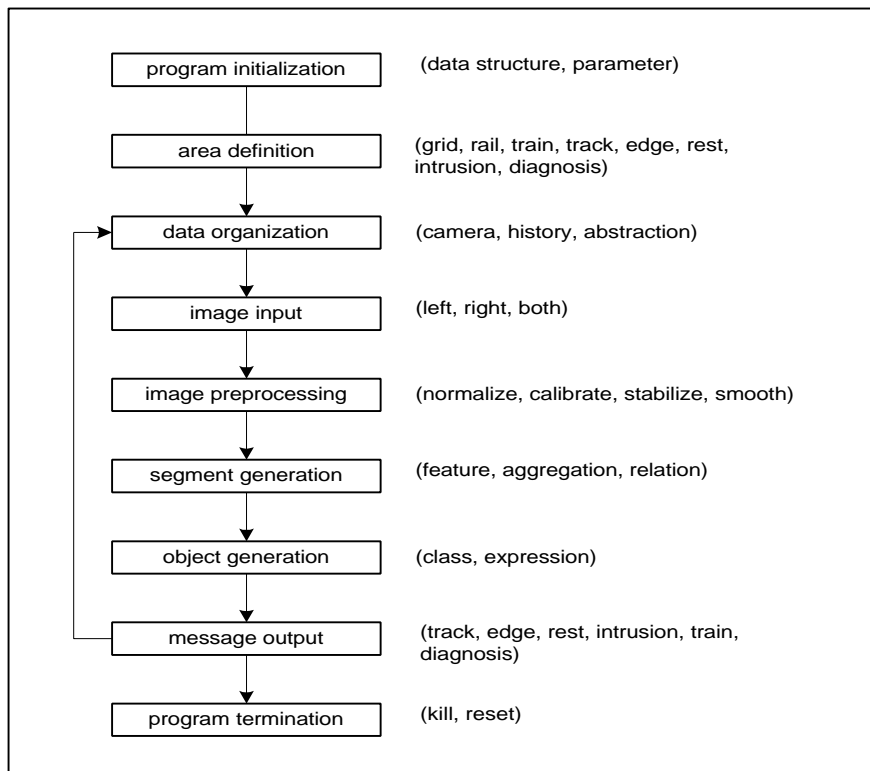


Abbildung: Struktur der Funktionsmodule für die Bildverarbeitung [OER 02]

Die **Initialisierung** kann weiter in das Modul Bereichsdefinition (Gleislage, Rasterbreite) und in das Modul Datenbereitstellung (aktuelle bzw. zurückliegende Daten, Referenzdaten) unterteilt werden. Den wesentlichsten Teil bildet die **Bildverarbeitung** mit ihren Komponenten der Bildvorverarbeitung (Bildnormierung, Kalibrierung, Bildstabilisierung, Filterung), der Segmentbildung (Helligkeitsunterschiede, Bewegungen, Kanten, Bereiche) und der Objekterzeugung für mono und stereo (Bilddiagnose, Gleiserkennung, Zugererkennung, Erkennen von Spiegelungen und Schatten, Hinderniserkennung). Zur Ausgabe von Daten dient die Funktion **Meldung**, welche sich in die Meldungserzeugung und in den Meldungsangang zerlegen lässt. Die Meldungserzeugung enthält die Diagnosemeldung, die Gleismeldung, die Zugmeldung, die Eindringmeldung, die Kantenmeldung und die Bahnsteigmeldung. Der Meldungsangang ist direkt mit einer definierten Schnittstelle verbunden.

Folgende Abbildungen zeigen die Meldungen am Kontrollmonitor.

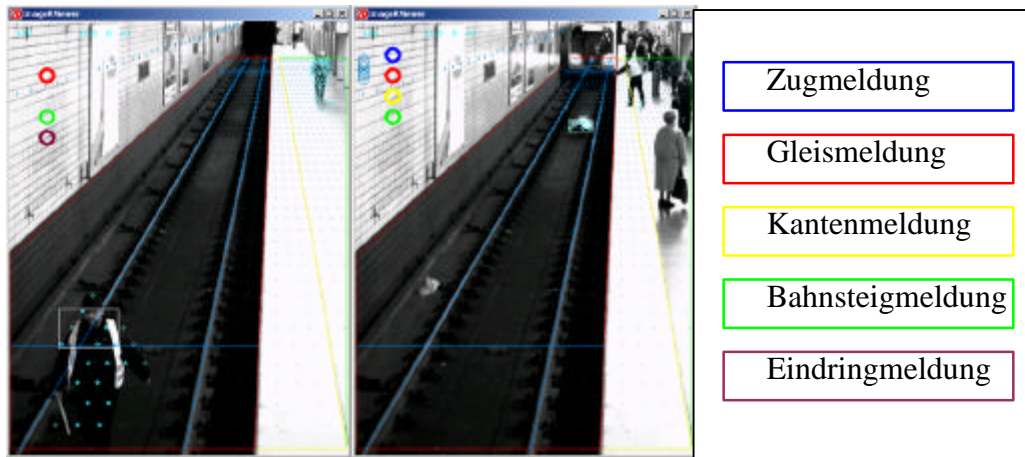


Abbildung: Darstellung von Beanspruchungen am Kontrollmonitor

Die **Diagnosemeldung** dient zur frühzeitigen Beurteilung von partiellen Systemausfällen. Sie beinhaltet unter anderem Informationen, wie Kamerastörungen (defekte oder verschmutzte Objektive, Stromausfall, Steuer- und Videosignalunterbrechung) und Störungen der Verarbeitungs- und Kommunikationseinheit (Hard- und Software-Störungen).

In der **Gleismeldung** werden Hindernisse im Bahnsteiggleis mittels unterschiedlicher Verfahren erfasst und mit ihren Eigenschaften und Positionen dargestellt. Grundlage für die Bildauswertung mittels mono oder stereo bilden die entsprechend festgelegten Bereiche im Bild. Beim Mono-Verfahren werden definierte Rasterlinien über den relevanten Bildbereich gelegt und durch den Vergleich mit einem zeitlich veränderlichen Referenzbild Differenzen ermittelt. Mittels dieser Bilddifferenzen kann dann über bestimmte Ebenenannahmen eine Objektidentifikation erfolgen. Weiterhin ist eine Objektverfolgung möglich, die einen Bewegungspfad repräsentiert. Durch den Vergleich zweier Ergebnisse aus dem Mono-Verfahren wird die Erkennungswahrscheinlichkeit wesentlich gesteigert. Parallel dazu läuft das Stereo-Verfahren, welches eine quasi exakte räumliche Zuordnung der Objekte durchführen kann. Mit dem Einsatz verschiedener Algorithmen wird eine möglichst hohe Erkennungswahrscheinlichkeit angestrebt und man kann den Einfluss von nichträumlichen Störgrößen, wie z.B. Schatten besser behandeln.

Gleiche Methoden und Algorithmen, wie bei der Gleismeldung, werden bei der **Kantenmeldung** angewendet. Hierbei handelt es sich ebenfalls um einen definierten Bereich zwischen Bahnsteigkante und Aufmerksamkeitslinie. Da es in diesem Bereich oft zu einer hohen Anzahl von gleichzeitigen Beanspruchungen kommt und die Kritikalität im Vergleich zur Gleisbeanspruchung wesentlich geringer ist, wird im Kantenbereich lediglich eine Clusterung der erkannten Objekte durchgeführt und gemeldet. Im Bedarfsfall kann bei Zugannäherung und gleichzeitiger Kantenbeanspruchung neben der visuellen Meldung eine akustische Warnung am Bahnsteig erfolgen.

Bei der **Eindringmeldung** wird ebenfalls ein Bereich mit den vorher beschriebenen Algorithmen auf kritische Objekte untersucht, mit der Ausnahme, dass zusätzlich die Bewegungsrichtung ausgewertet wird. Diese Eindringüberwachung ist vorrangig für den Einsatz im U-Bahn-Bereich (Überwachung Tunnelmund) vorgesehen, kann aber auch bei oberirdischen Bahnsteigen (Haltepunkt Dresden Strehlen) angewendet werden.

Das Erkennen eines einfahrenden Zuges ist ein sehr wesentlicher Faktor und muss in jedem Fall als unkritisches Objekt eingestuft werden. Dieser Zustand wird durch die **Zugmeldung** widergespiegelt. Die Zugmeldung dient in erster Linie der Systementwicklung und Optimierung, sie kann aber auch als Aufmerksamkeitssignal für Passagiere am Bahnsteig verwendet werden.

5.3 Protokollierungssoftware

Zur nachträglichen Analyse des Systemverhaltens und zur Rekonstruktion eines kritischen Zustandes dient ein Softwaremodul (Protokollierung), welches relevante Systeminformationen und Beanspruchungsmeldungen aus den verschiedenen Algorithmen sammelt und in einer Protokollierungsumgebung (File-Struktur) archiviert. Dabei werden neben chronologischen Daten (Datum, Uhrzeit) auch lokale Informationen über Bereiche und Systemkomponenten protokolliert. Diese textuellen Protokollierungsdaten bilden die Grundlage für die nachträgliche statistische Analyse. Zur besseren Auswertung werden zusätzlich entsprechende Bilddaten mit kritischen Ereignissen abgespeichert.

Die Protokollierung erfolgt nach zwei Prinzipien. Zum einen ist eine permanente Protokollierung implementiert, welche über das mögliche Nichterkennen von Objekten der Anlage Aufschluss geben soll. Hierbei wird zyklisch ein Datensatz mit zugehörigem Referenzbild gespeichert. Im Gegensatz zur permanenten Protokollierung stellt die ereignisgesteuerte Protokollierung eine Untermenge dar und gibt Auskunft über die korrekte Detektion beim Auftreten von kritischen Objekten in den Überwachungsbereichen. Die folgende Abbildung zeigt die generelle Struktur der Protokollierung. Die beiden Trigger-Elemente T (definierte Zykluszeit) und E (kritische Beanspruchung) steuern die jeweiligen Protokollierungsarten.

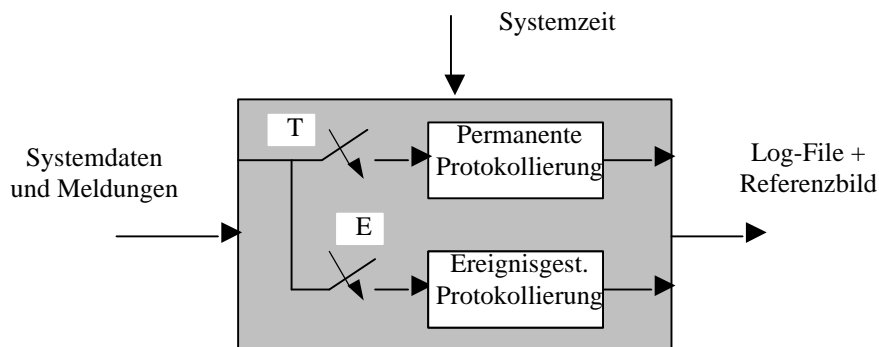


Abbildung: Struktur der Protokollierung

5.4 Kommunikationssoftware

Für den Datenaustausch zwischen der Bahnsteigsicherungsanlage am Haltepunkt Dresden Strehlen und einem Leitreechner im Fraunhofer Institut werden zwei kommerzielle Software-Produkte verwendet. Es handelt sich hierbei um die Software **NetOp Remote Control** der Firma Danware Data und die Software **PROVILook** der Firma ACS AG.

Die Software NetOp dient in erster Linie zur Übertragung von Parametersätzen, Protokolldateien und Videodaten. Weiterhin kann mit ihr die Fernsteuerung der einzelnen Segmentrechner und des Zentralrechners realisiert werden. Hierfür wird die Oberfläche des angewählten Rechners auf den Leitstellenrechner übertragen und dient somit zur Kontrolle oder Steuerung

der Anlage. Auf beiden Systemen (Bahnsteigsicherung, Leitstelle) ist diese Software installiert und unterstützt folgende Übertragungsprotokolle:

- ? Infrarot (IrDA),
- ? RS232,
- ? TCP/IP (TCP),
- ? ISDN (CAPI) und
- ? NetBIOS.

Dabei werden beim Einsatz für das Funk-LAN entsprechend TCP/IP und für das Funk-Modem RS232 als Protokoll verwendet.

Die zweite kommerzielle Softwarekomponente dient zur Darstellung, Aufzeichnung und Archivierung von Videoquellen. Sie wird primär dazu verwendet ein Live-Bild in der Leitstelle aufzuschalten und manuell zu betrachten. Die erforderliche Decoder-Software erfüllt die Richtlinien der Standards nach ITU-T (H 320, H323) und ist in der Lage die Datenkommunikation über LAN oder GSM zu gewährleisten. Die Bilddarstellung auf dem Leitrechner kann mit folgenden Auflösungen:

- ? 704 x 576 (HI-Res.),
- ? 352 x 288 (CIF) und
- ? 176 x 144 (QCIF)

realisiert werden. Weiterhin kann die Bildwiederholfrequenz bis zu 25 Bilder pro Sekunde im PAL-Format betragen. Mit dieser Software ist es möglich bis zu 4 Videoquellen gleichzeitig zu verwalten und zu steuern.

6 Anlage Berlin Bahnhof Tierpark

Da für die videobasierte Detektion die Änderung der Umgebungsbeleuchtung (z.B. Anlage im Außenbereich) eine erhöhte Anforderung darstellt, ist eine weitere Anlage im U-Bahnbereich der BVG unter quasi konstanten Beleuchtungsbedingungen zu Testzwecken installiert worden. Die Installation der Anlage am Bahnhof Tierpark stellt in ihrem Umfang eine Untermenge vom Prototypen am Haltepunkt Dresden Strehlen dar. Sie wurde durch die Firma Siemens und die Berliner Verkehrsbetriebe ermöglicht.

Bei der eingesetzten CCD-Kameratechnik für die Bahnsteigsicherung am Bahnhof Berlin Tierpark ist nur ein Kamerapaar für einen Überwachungsbereich von ca. 60 m im Einsatz, d.h., es wird Einrichtungsbetrieb vorausgesetzt und nicht die gesamte Bahnsteiglänge berücksichtigt. Die Blickrichtungen der Kameras sind entgegen der Fahrtrichtung des Zuges angeordnet und überwachen den Gleisbereich, den Kantenbereich und den angrenzenden Bahnsteigbereich. Außerdem ist eine beidseitige Eindringüberwachung implementiert. Die folgenden Abbildungen zeigen die installierte Kameratechnik und den Rechnerschrank am Bahnhof Berlin Tierpark.



Abbildung: Kameratechnik und Rechnerschrank am Bahnhof Berlin Tierpark

Das installierte Kamerapaar mit Rechereinheit arbeitet für den ausgewählten Überwachungsbereich autark und leitet die Ergebnisse an eine Zentraleinheit zur Situationsbeurteilung weiter. Dabei stellt sich die Anlage unabhängig von der Anzahl der eingesetzten Kamerapaare nach außen immer nur mit einer Meldung pro Bahnsteigkante dar. Diese Meldung wird im nominalen Betriebszustand der Anlage permanent oder im Bedarfsfall von übergeordneten Systemen, wie z.B. einer zentralen Betriebsleitstelle, empfangen und entsprechend ausgewertet.

Die Sensorebene ist elektrisch (energetisch und signaltechnisch) mit der Verarbeitungsebene verbunden. Letztere lässt sich weiter untergliedern in Auswertetechnik für Bilddaten und Technik zur Kommunikation mit externen Einrichtungen, wie z.B. einer zentralen Leitstelle oder einem Diagnosesystem. Weiterhin gehören zur Verarbeitungsebene Geräte zur Steuerung und Analyse der Systemeigenschaften. Alle technischen Geräte sind untereinander über ein Netzwerk verknüpft.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Prototypbeschreibung wird eine Bahnsteigsicherungsanlage vorgestellt, welche als prototypisches System im Bahnumfeld installiert ist und dauerhaft betrieben wird. Hierbei besitzt diese Anlage passiven Charakter, dies bedeutet es wird nicht aktiv in den Bahnbetrieb eingegriffen. Bei der installierten Anlage werden lediglich entsprechende interne Meldungen generiert, die für weitere Maßnahmen verwendbar sind.

Als primäre Technologie wird bei der aktuellen Version der Bahnsteigsicherungsanlage Videosensorik mit zugehöriger Auswerte- und Verarbeitungstechnik eingesetzt. Die installierte Kameratechnik wird jeweils paarweise für einen Überwachungsbereich angewendet, da neben Mono- auch Stereo-Verfahren zur Bildauswertung herangezogen werden. Die Anlage besteht aus technischen Komponenten, die den aktuellen Stand der Technik widerspiegeln. Dies bezieht sich im Detail auf die Sensorik (Kameratechnik), die Verarbeitung (Rechentechnik) und die Kommunikation (Funk-LAN).

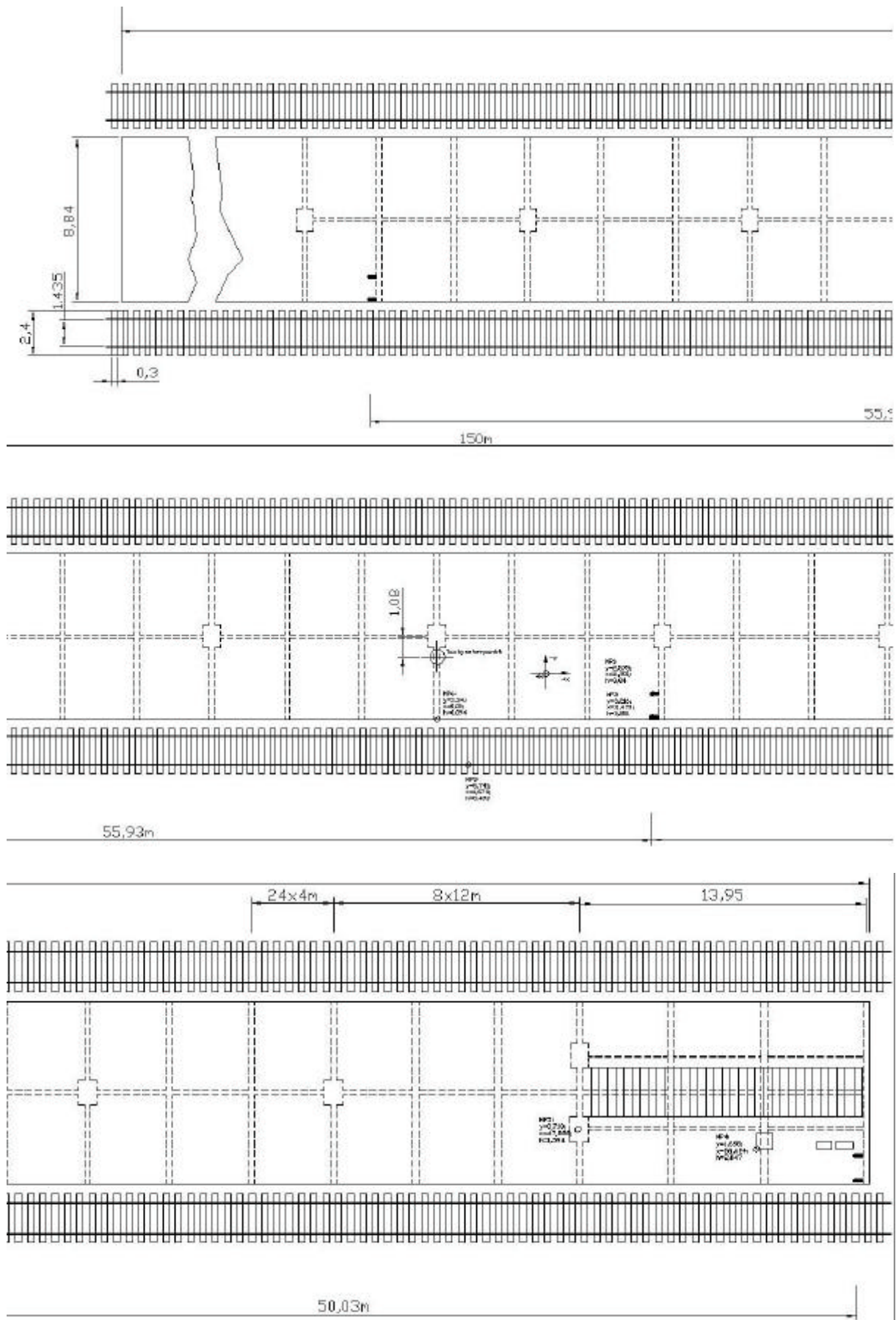
Zur Beurteilung der Leistungseigenschaften wurden neben dem permanenten Betrieb auch spezielle Messungen mit gestellten Szenarien durchgeführt. Hierbei kamen definierte Objekte, wie z.B. Personen bzw. Personengruppen, das Normhindernis nach [LH AF 3] oder andere übliche Prüfkörper (Kugel 30 cm) zum Einsatz, um die parametrierbaren Systemeigenschaften nachzuweisen. Dabei wurden die Objekte an verschiedenen Orten platziert oder über vordefinierte Bewegungspfade durch den Gefahrenraum geführt. Ein weiteres Kriterium war die Variation der Objektfarbe. Hierbei wurde gezielt auf verschiedene Kontraststufen Wert gelegt. Die Ergebnisse der Messungen und deren Auswertungen sind in einem gesonderten Dokument „Erprobungsbericht“ dargelegt.

Um die Robustheitseigenschaften der Anlage zu verbessern werden verschiedene weiterführende Arbeiten angedacht. Hierbei soll neben der Früherkennung von Systemausfällen auch der Einfluss von externen Störgrößen weiter minimiert werden. Eine Möglichkeit bei ausschließlicher Videodetektion wäre den Gleisbereich mit einem speziellen Beleuchtungssystem auszustatten, um im Dämmerungs- bzw. Dunkelbereich die Detektionsleistung zu erhöhen. Hierbei gibt es vor allem im U-Bahn-Bereich die Möglichkeit im Sicherheitsraum ein entsprechendes Leuchtband zu installieren.

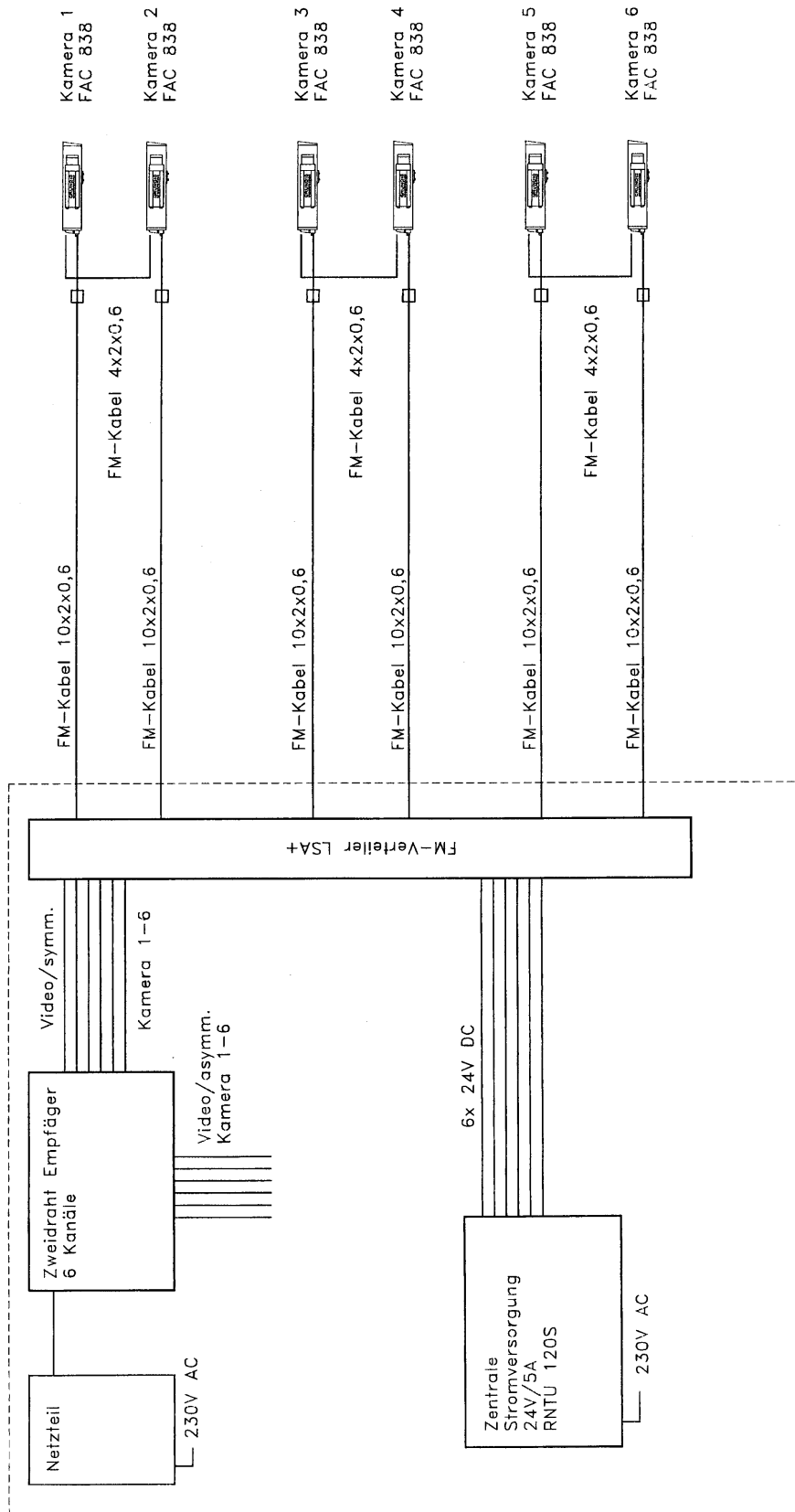
Ein weiterer Punkt ist der multisensorielle Ansatz, welcher eine Reduktion der Kameraanzahl zur Folge hat und die fehlende räumliche Information über andere Sensortechnologien zugänglich macht. Hier werden Untersuchungen mit verschiedener Sensortechnik (z.B. Laser-Scanner oder Radartechnik) als mögliche Kombination bzw. Ergänzung angedacht. Eine weitere Optimierungsmöglichkeit stellt die mechanische Anbindung der Kameras an die Infrastruktur dar. Hierfür soll das vorhandene Trägersystem konstruktiv überarbeitet werden, um die Eigenschwingungen der Kameras möglichst zu minimieren.

Um weitere praktische Erfahrungen zum Thema Bahnsteigsicherung zu sammeln, ist geplant, eine weitere Anlage im U-Bahn-Bereich zu installieren. Dabei werden erstmalig die Kameras zur Überwachung des gesamten Bahnsteiges auf einer Achse symmetrisch um die Gleismittelachse positioniert. Damit wird erreicht, dass der zeitliche und materielle Installationsaufwand drastisch verringert wird. Weiterhin sind Verdeckungen, z.B. hervorgerufen durch die Bahnsteigkante, im Gleisbereich weitestgehend ausgeschlossen. Um eine optimale Einstellung der Bildbereiche zu realisieren, werden fixierbare Zoom-Objektive mit variablem Öffnungswinkel eingesetzt.

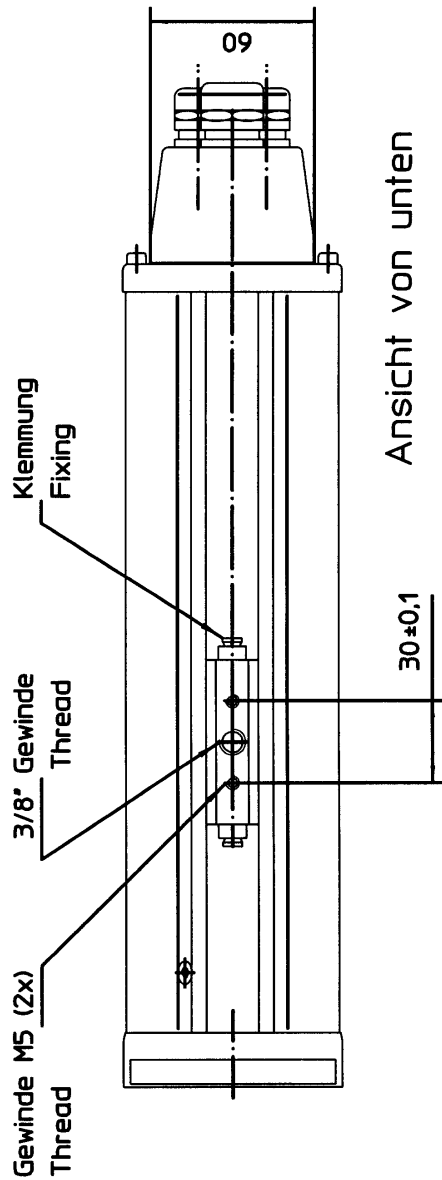
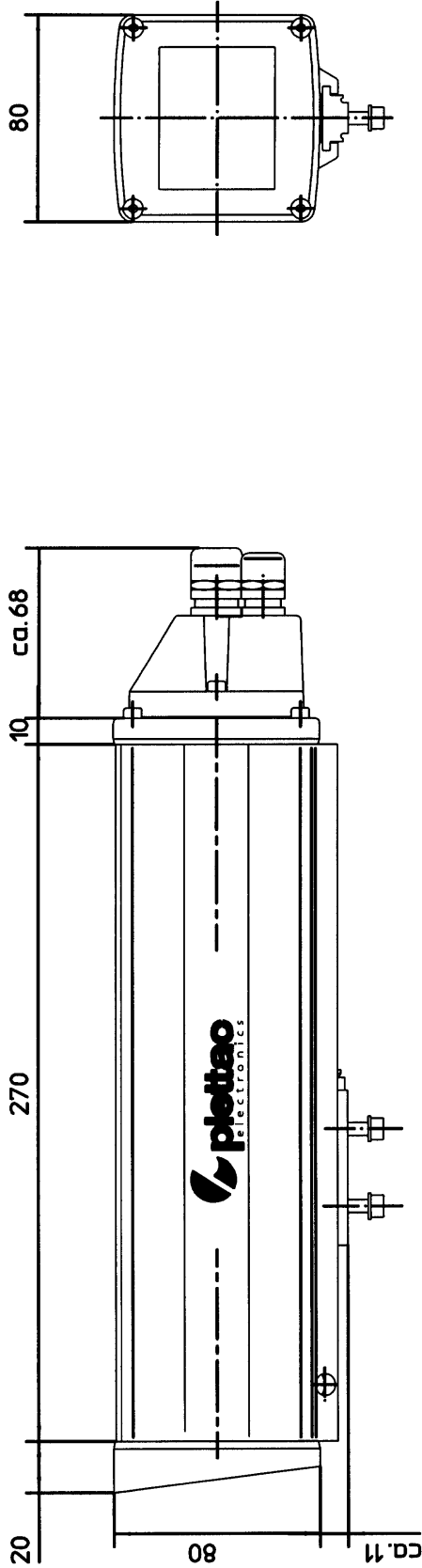
Anlage 1: Zeichnung HP-Strehlen



Anlage 2: Elektrischer Anschlussplan FAC 838 [Plettac]



Anlage 3: Kameragehäuse [Plettac]

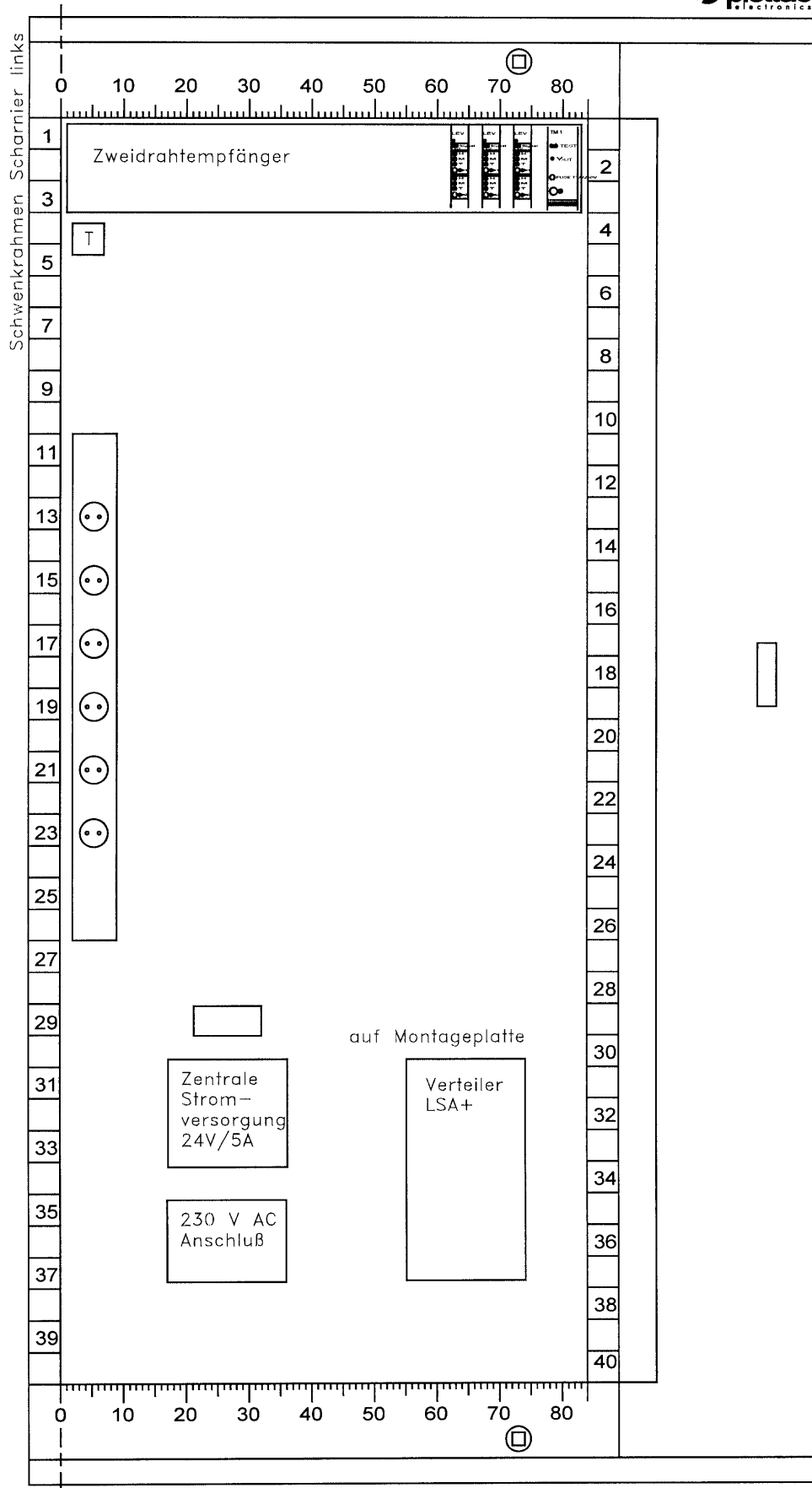


max. Objektivlänge 65mm
 Objektiv- ø max. 56mm
 Schutzart IP 66 DIN 40050

Gewicht ca. 1,4 kg
 (ohne Kamera)
 Farbe RAL 7032

G.XB 50-05 System-Kameragehäuse CWS

Anlage 4: Rechnerschrank



Anlage 5

Abschlussbericht KOMPAS

BMBF 19P0041 C

Bericht Erprobung Hinderniserkennung Fahrweg

AP 320



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Zeunerstr. 38
01069 Dresden

Erprobung Hinderniserkennung Fahrweg Bericht zum Meilenstein M10b



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter
Schienenverkehr (KOMPAS),
Phase 1



Arbeitspaket 320	
Hinderniserkennung entwickeln	
Ersteller: Fraunhofer Institut Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden (FhG-IV)	Förderkennzeichen: 19P 0041C
Stand: Version 1.0	

Nachweis des Ausgabestandes					
Stand	Kennzeichen	Ausgabedatum	Name des Erstellers	geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
V.1.0	E	19.12.2002	M.Rüder	alle	

E = Entwurf

Projektmitarbeiter:

Dipl.-Ing. Faruque Ahmed

Dipl.-Ing. Tom Dimter

Dipl.-Ing. Nikolaus Möhler

Dr.-Ing. habil. Wolfgang Oertel

Dipl.-Inform. Milan Rüder

Dipl.-Ing. Uwe Schneider

Dieser Bericht ist abgestimmt mit:

Deutsche Bahn AG, Forschungs- und Technologiezentrum München (teilweise)

Vermerke des Eisenbahn-Bundesamtes:

Impressum

Geschäftsführende Stelle:

Fraunhofer Institut
Verkehrs- und Infrastruktursysteme
FABF
Fahrerassistenz und Betriebsführung

Fachautor:

Dipl.-Inform. Milan Rüder
Zeunerstr. 38
01069 Dresden
Telefon: (0 351) 46 40 – 684
Fax: (0 351) 46 40 – 803
E-Mail: rueder@ivi.fraunhofer.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 EINLEITUNG	6
1.1 Hinderniserkennungssystem	6
1.2 Testverfahren	6
1.2.1 Sensortests	6
1.2.2 Versuche mit Hindernissen	6
1.2.3 Dauerversuche	6
1.3 Fehlerkategorien	6
1.4 Messkampagnen	6
2 TESTFAHRZEUG IVI DRESDEN	7
2.1 Kameratests	7
2.1.1 Jai M10	7
2.1.2 Sony XC55	8
2.1.3 Camcorder Sony	9
2.1.4 Inovision HDRC	10
2.2 Infrarot-Radar	11
3 TESTFAHRZEUGE DEUTSCHE BAHN AG	13
3.1 Versuche vom 14.12.1999	13
3.2 Versuche vom 10.10.2001 und 18.3.2002	14
3.3 Abschlussdemonstration vom 9.10.2002 – 10.10.2002	16
4 S-BAHN DRESDEN	18
5 ZUSAMMENFASSUNG	19

Literaturverzeichnis

- [1] Lastenheft Hinderniserkennung Fahrweg, DB AG, FTZ München, 29.06.2000
- [2] Lastenheft Schnittstelle HiErk Rechner - AF-M Rechner,
FhG-IVI Dresden, 12.12.2000
- [3] Technische Konzeption Hinderniserkennung Fahrweg, FhG-IVI Dresden, 12.12.2000
- [2] Bericht Prototyp Hinderniserkennung Fahrweg,
FhG-IVI Dresden, November.2002

1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes Kompass wurde am Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) in Dresden ein Prototypsystem zur Erkennung von Hindernissen im Gleisbereich vor einem Triebfahrzeug entwickelt. In diesem Bericht werden die verschiedenen Messkampagnen und Versuche zur Erprobung beschrieben.

1.1 Hinderniserkennungssystem

Das Hinderniserkennungssystem des IVI besteht im Wesentlichen aus zwei Sensortypen und einer gemeinsamen Auswertetechnik. Die Hauptsensorik besteht aus Videokameras, unterteilt in zwei Nahbereichskameras und eine Fernbereichskamera. Zusätzlich wird ein Infrarotradar eingesetzt. Eine genaue Beschreibung des Systems findet sich im Prototypenbericht.

1.2 Testverfahren

Die Tests, die im Rahmen der Messkampagnen durchgeführt wurden, gliedern sich in zwei Bereiche. Zum einen sind hier gezielte Versuche mit im Gleisbereich platzierten Hindernissen zu nennen, zum anderen Dauermesskampagnen.

1.2.1 Sensortests

Weitere Tests fanden statt, um eine optimierte Auswahl der verschiedenen Sensoren treffen zu können. Hierbei wurden die unterschiedlichen Sensoren im IVI-Testfahrzeug eingebaut und auf ihre Eignung geprüft.

1.2.2 Versuche mit Hindernissen

In den Versuchen mit Hindernissen soll geklärt werden, wie sich die Detektionsleistung verhält. Weiterhin werden Aufnahmen der Versuche zur Auswertung und Weiterentwicklung im Labor genutzt.

1.2.3 Dauerversuche

Im Rahmen von Dauerversuchen steht die Untersuchung des Verhaltens im normalen Bahnbetrieb im Vordergrund. Von Interesse ist hierbei in erster Linie die Anzahl der Fehlalarme. Nur bei langfristiger Beobachtung kann hierüber eine Aussage getroffen werden.

1.3 Fehlerkategorien

Die Erprobung des Hinderniserkennungssystems soll Aufschluss über die Detektionsleistung bringen. Hierbei stehen die beiden Fehlerklassen „Falsch Positiv“, das heißt Hindernismeldung ohne reales Objekt, und „Falsch Negativ“, keine Hindernismeldung obwohl ein Objekt vorhanden ist, im Vordergrund.

1.4 Messkampagnen

Es wurden im Projektverlauf mehrere Messkampagnen durchgeführt. Diese fanden mit unterschiedlichen Fahrzeugen auf mehreren Strecken statt. Im Weiteren erfolgt eine Auflistung und Auswertung der Messfahrten.

2 Testfahrzeug IVI Dresden

Bei dem Testfahrzeug des IVI handelt es sich um einen Kleinlastwagen vom Typ Mercedes-Benz MB609D. In diesem Fahrzeug sind verschiedene Sensoren und Auswerterechner eingebaut. Die Fahrzeugsensorik umfasst Messwertgeber für Fahrzeuggeschwindigkeit, Lenkwinkel sowie Gas- und Bremspedalstellung. Zusätzlich sind Kameras und Radar eingebaut.

[FOTO: MB609]

Mit diesem Fahrzeug ist es dem IVI möglich, schnell und ohne großen Aufwand Sensoren im Verkehr zu testen.

2.1 Kameratests

Es wurden verschiedene Kameratypen von unterschiedlichen Herstellern untersucht. Dabei wurden die Kameras hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit, Dynamik und Steuerbarkeit verglichen.

2.1.1 Jai M10

Die Kamera Jai M10 ist eine Industrie Schwarz-/Weiß-CCD-Kamera in „progressive Scan“-Technologie. „Progressive Scan“ bedeutet hierbei, dass die Kamera synchron Vollbilder aufnimmt, und nicht wie bei Videokameras sonst üblich zwei Halbbilder. Hierdurch werden Artefakte bei Bewegungen im Bild vermieden, die sonst eine automatische Auswertung stark erschweren.

Die Kamera bietet die Möglichkeit, über eine serielle RS232-Schnittstelle Parameter im laufenden Betrieb zu konfigurieren. Hiervon wird im IVI-Prototyp hauptsächlich zur Steuerung der Belichtungszeit gebrauch gemacht. Ein Regler versucht, die durchschnittliche Helligkeit im relevanten Bildbereich zwischen zwei Schwellwerten zu halten. Die Dynamik liegt auf CCD-typischem Niveau und ist damit für eine Anwendung im Außenbereich eigentlich zu gering.

Der Anschluss an den Auswerterechner erfolgt über eine analoge Standardvideoleitung mit Hirose-Steckern.



Abbildung 1 Videokamera Jai M10

Die Vor- und Nachteile dieser Kamera sind im folgenden aufgelistet.

- | | |
|----------|---|
| Positiv: | Progressive Scan,
Regelbare Kameraparameter,
Rauscharm. |
| Negativ: | Lichtunempfindlich,
Blendanfällig,
Geringe Dynamik. |

2.1.2 Sony XC55

Bei der CCD-Kamera XC55 von Sony handelt es sich ebenfalls um eine Industriekamera für Bildverarbeitungsanwendungen mit „progressive Scan“. Sie bietet manuelle Einstellmöglichkeiten für Belichtungszeiten, aber keine automatischen Eingriffe. Die Sonykamera ist im Vergleich zur Jai-Kamera etwas lichtempfindlicher, jedoch ist der Dynamikbereich nicht besser. Die Kamera ist für eine Außenanwendung weniger gut geeignet, da keine Helligkeitsregelung möglich ist.

Der Anschluss an den Auswerterechner erfolgt über eine analoge Standardvideoleitung mit Hirose-Steckern.



Abbildung 2 Videokamera Sony XC55

- Positiv: Progressive Scan,
Lichtempfindlicher,
Rauscharm.
- Negativ: Blendanfällig,
Geringe Dynamik,
Keine Helligkeitsregelung.

2.1.3 Camcorder Sony

Als weitere Kamera wurde ein Camcorder von Sony getestet. Dieser bietet eine hohe Lichtempfindlichkeit. Auch bei fast vollständiger Dunkelheit ist noch ein Bild zu erkennen. Erkauft wird dieser Vorteil jedoch mit einem hohen Rauschen. Außerdem wird zur Helligkeitsregelung nicht nur die Verstärkung und Belichtungszeit geändert, sondern zusätzlich auch die Blende des Objektivs verstellt. Hierdurch ist der Strahlengang des Lichtes durch das Objektiv nicht mehr konstant und damit kaum kalibrierbar. Eine genaue Kalibrierung ist jedoch Voraussetzung für unsere automatische Bildauswertung. Außerdem erfolgt die Aufnahme in zwei zeitversetzten Halbbildern, wodurch Bewegungsartefakte und Kammeffekte entstehen.

Der Anschluss an einen PC erfolgt über normale BNC-Videokabel.



Abbildung 3 Camcorder SONY DCR-TRV900E

Positiv: Lichtempfindlich.
 Negativ: Blendanfällig,
 Geringe Dynamik,
 Rauschanfällig,
 Optik wird verstellt,
 Keine gezielte Helligkeitsregelung.

2.1.4 Inovision HDRC

Bei der HDRC-Kamera von Inovision handelt es sich um eine in CMOS-Technik gefertigte Industriekamera. Im Gegensatz zur CCD-Technik ist der Dynamikumfang erheblich verbessert, so dass auf eine Helligkeitsregelung vollständig verzichtet werden kann. Ein Überstrahlen von hellen Objekten (Blooming oder Smearing) wie bei CCD-Kameras tritt nicht auf. Ein Nachteil ist die geringere Lichtempfindlichkeit, sowie gegenüber CCD-Industriekameras ein höheres Rauschen.

Der Anschluss an den Auswerterechner erfolgt digital über Lichtwellenleiter. Gegenüber einem analogen Anschluss entfällt hierbei eine zweimalige Wandlung zwischen Digital und Analog, was der Bildqualität und Bildsynchronisierung zugute kommt.



Abbildung 4 HDRC-Kamera INOCAM EN200

- Positiv: Wahlfreies Bildauslesen,
 Regelbare Kameraparameter,
 Hohe Dynamik,
 keine Blendung/Übersteuerung,
 Digitale Ansteuerung.
- Negativ: Lichtunempfindlich,
 Rauschen.

Aus den in diesem Abschnitt genannten Kameras wurde für das Prototypensystem die Kamera Jai M10 gewählt. Von den getesteten Kameratypen besitzt sie die am wenigsten schwerwiegenden Nachteile. Die HDRC-Technik verspricht zwar auf längere Sicht starke Verbesserungen, jedoch ist zum jetzigen Zeitpunkt der Einsatz noch nicht vollständig praktikabel. Mit einer Weiterentwicklung der CMOS-Kameratechnik wird diese dann zur bevorzugten Variante.

2.2 Infrarot-Radar

In Versuchen auf dem Hofgelände des IVI zeigte der Infrarotradar AIS100 eine Detektionsreichweite für ein 0.4 m² großes Objekt von ca. 100 Metern. Eine längere Messstrecke war nicht gegeben. In den Tests ließ sich der Sensor nicht durch Sonne oder andere Witterungseinflüsse beeinflussen.

Der Sensor verarbeitet das rohe Infrarot-Reflektionsmuster und liefert als Ausgabe nur Objektmeldungen. Es besteht von außen kein Zugriff auf die Rohdaten.

Angeschlossen wird der Sensor über einen CAN-Bus.



Abbildung 5 Infrarotradar AIS 100

- Positiv: Aktiver Sensor,
unabhängig von Beleuchtung,
genaue Entfernungsmessung,
Objektmeldungen.
- Negativ: kaum Eingriffsmöglichkeiten,
ungenauere laterale Position.

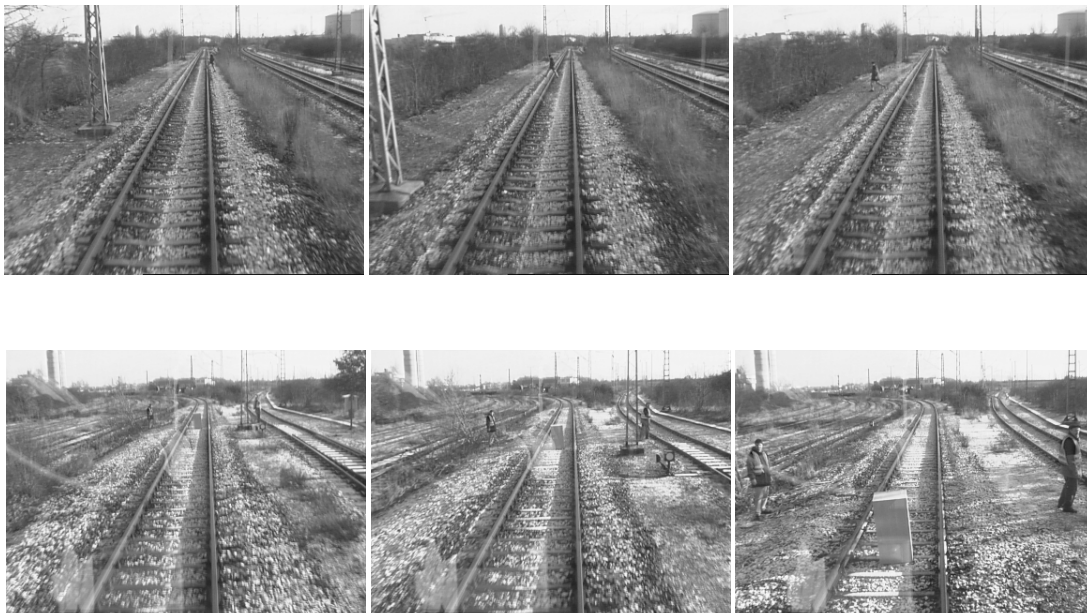
3 Testfahrzeuge Deutsche Bahn AG

Mit Testfahrzeugen der Deutschen Bahn AG wurden auf Strecken im Bereich München, hauptsächlich auf dem Nordring, verschiedene Messkampagnen durchgeführt. Bei diesen Fahrten wurde ein großer Teil der Testsequenzen aufgenommen, mit denen die Entwicklung der Hinderniserkennung vorgenommen wurde.



3.1 Versuche vom 14.12.1999

Eine erste Messkampagne wurde im Dezember 1999 mit einer Kleinlok im Bereich des FTZ München durchgeführt. Bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen wurden auf geraden und gekrümmten Strecken Szenen mit Hindernissen und Personen im Gleis gestellt und aufgezeichnet. Es kam hierbei eine einzelne Monokamera mit einem Objektiv für den Nahbereich zum Einsatz. Mit den Bildsequenzen wurde die Entwicklung der Schienen- und Hinderniserkennung vorangetrieben.



3.2 Versuche vom 10.10.2001 und 18.3.2002

In diesen Messkampagnen wurden Testfahrten mit einem Hindernis der Größe $1 \times 0,4 \times 0,4 \text{ m}^3$ und Pappkartons in verschiedenen Formaten durchgeführt. Weiterhin wurden Aufnahmen an einem Neubaugleis mit Bahnsteig vorgenommen.

An dem Bahnsteig wurden gezielte Aufnahmen mit Personen und Gegenständen auf der Plattform und im Gleis gestellt. Diese Szenen wurden zum Test der Algorithmen im Bahnhofsbereich genutzt.

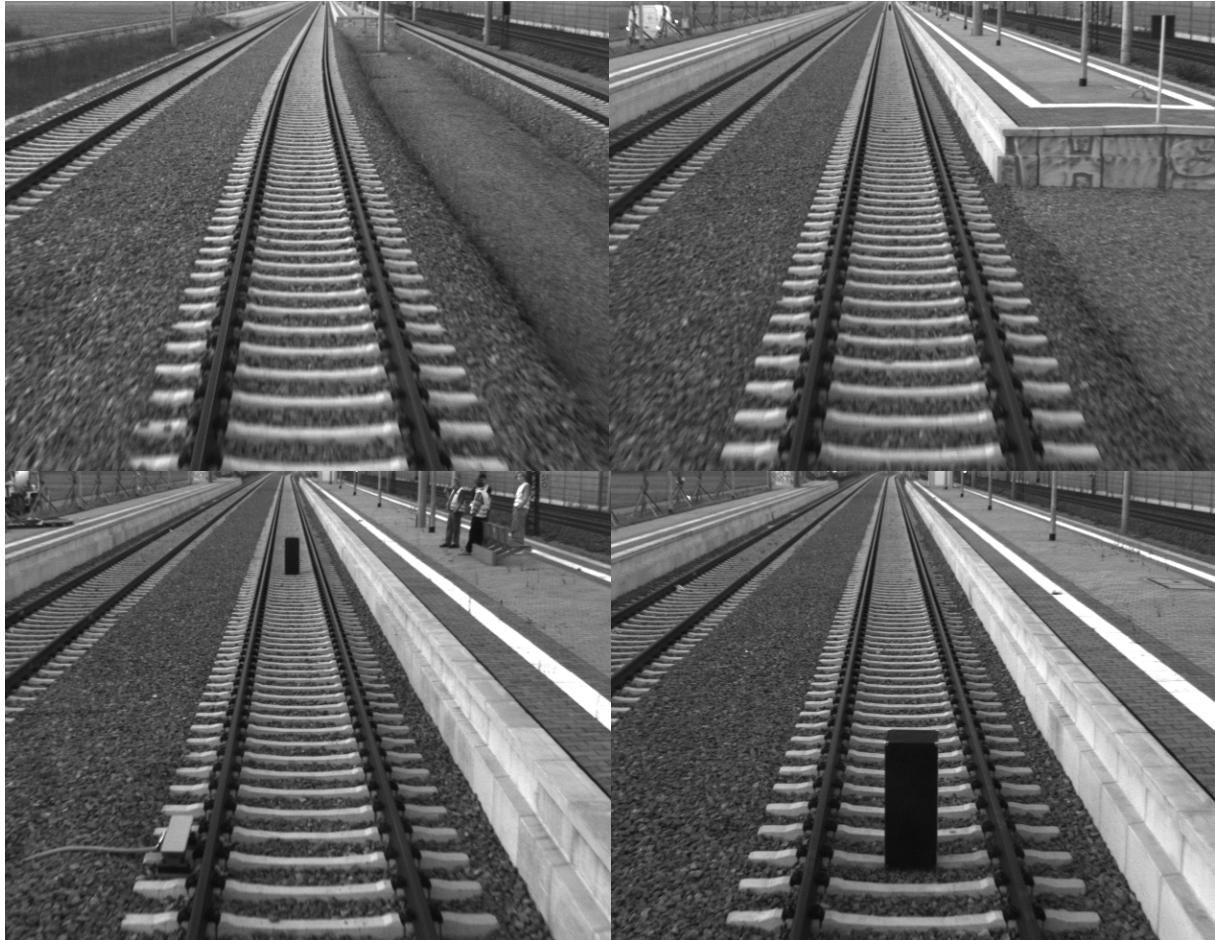


Abbildung 9 Testfahrt an einem Bahnsteig

Zum Test wurden nicht nur Aufnahmen im freien Gleisbereich des Nordringes gemacht, sondern auch auf den Rangiergleisen zwischen FTZ und dem Rangierbahnhof Nord. Dieses Szenario ist deutlich schwieriger zu handhaben. Als Beispiel für eine solche Szene ist der Blick vor das Fahrzeug aus Sicht der Stereokameras dargestellt.



Abbildung 10 Bildsequenz der jeweils linken und rechten Bilder der Stereokameras

Die verschiedenen Aufnahmen wurden im Labor zur Entwicklung der Hinderniserkennung genutzt. Eine Auswertung bezüglich der Detektionsreichweite oder statistische Auswertungen zur Erkennungswahrscheinlichkeit erfolgten für diese Messkampagnen nicht.

3.3 Abschlussdemonstration vom 9.10.2002 – 10.10.2002

Am 9. und 10.10.2002 fanden auf dem Nordring in München Fahrten zur Abschlussdemonstration statt. Der 9.10. wurde zum Aufbau und zur Kalibrierung des Systems, sowie für erste Tests genutzt. Am 10.10 wurde bei leichtem Regen ein Programm von Fahrten auf Hindernisse im Gleis und auf einem Pseudobahnsteig abgearbeitet.

Es kamen zwei unterschiedlich große Hindernisse in zwei Farben zum Einsatz. Das kleine Hindernis besitzt eine sichtbare Fläche von $1 \times 0,4 \text{ m}^2$, das große Hindernis $2 \times 1 \text{ m}^2$. Die eine Seite ist jeweils in leuchtend Orange, die andere in Grau gefärbt.

Die Messungen erfolgten zum einen auf gerader, zum anderen in einer links gekrümmten Strecke. Für Versuche am Bahnsteig wurde ein Holzgerüst genutzt, das an einem Oberleitungsmast befestigt war. Der Testkörper wurde im Gleis liegend und stehend, sowie auf dem $1 \times 2 \text{ m}^2$ großen Pseudobahnsteig stehend, platziert. Aus fester Entfernung wurde auf das Ziel zugefahren und davor gebremst. Das Hindernis auf dem Pseudobahnsteig wurde erkannt, der leere Bahnsteig als solcher wurde nicht gemeldet.



Abbildung 11 Fahrt auf einen Pseudobahnsteig mit Hindernis

Das kleine Hindernis wurde bei den Versuchen ab einer Entfernung von etwa 230 Metern erkannt. Die Detektion ist dabei invariant gegenüber der Lage und Position des Hindernisses und der Krümmung der Strecke. Es ist kaum ein Unterschied zwischen dem leuchtorange und dem grauen Hindernis bezüglich der Reichweite festzustellen. Da die Hinderniserkennung mit Schwarz-/Weiss-Kameras arbeitet, die beide Farben ähnlich abbilden, ist dies auch leicht einzusehen. Es ist nur ein geringer Einfluss der Witterungsbedingungen festzustellen.



Abbildung 12 Fahrt auf ein kleines Hindernis in einer Kurve bei leichtem Regen



Abbildung 13 Fahrt auf ein kleines Hindernis auf gerader Strecke bei Sonnenschein

Das große Hindernis wurde ab etwa 250 Metern erkannt. Mit einigen weiteren Tests und einer etwas anderen Parametrierung sollte sich diese Reichweite aber noch erhöhen lassen.



Abbildung 14 Fahrt auf ein großes Hindernis in der Kurve bei Nieselregen

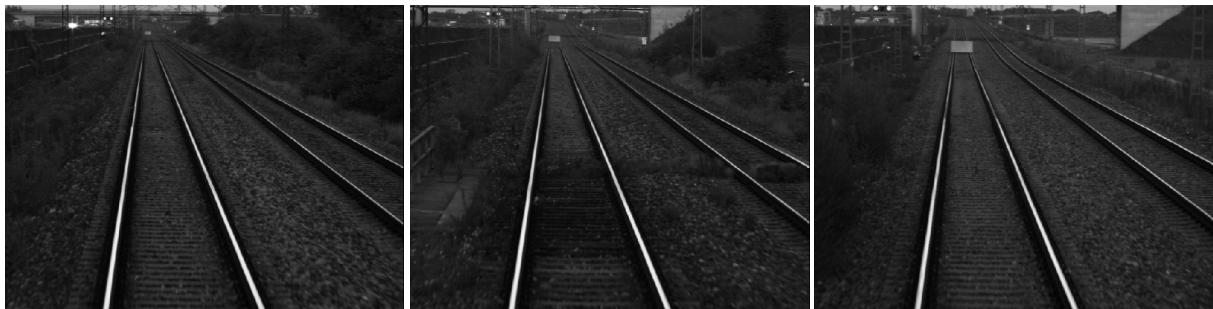


Abbildung 15 Fahrt auf ein großes Hindernis auf gerader Strecke in der Dämmerung

Eine Person im Gleis wurde mit Warnweste bis etwa 300 Metern erkannt. Ohne Warnweste war die Reichweite auf etwa 230 Meter beschränkt.

Die Messgenauigkeit des Systems liegt bei etwa 10% der Entfernung. Das heißt, dass ein Objekt, das zum Beispiel in 200 Metern Entfernung gemessen wird, zwischen 180 und 220 Meter entfernt steht. Für die Definition einer Systemreaktion ist diese Genauigkeit ausreichend. Ob ein Hindernis 20 Meter weiter vorne oder hinten steht, spielt bei der Trägheit des Fahrzeuges keine Rolle. Bei einem Hindernis im Gleis ist in jedem Fall eine Warnung und Notbremsung zu veranlassen.

Es wurden nur dann Hindernisse gemeldet, wenn auch tatsächlich sich ein Objekt im Gleis befand. Ein Hindernis wurde oftmals nicht nur als einzelnes, sondern als Gruppe gemeldet. Auch dieses bewirkt keine Änderung der Systemreaktion. Auf ein einzelnes, entsprechend großes Hindernis muss genau wie auf eine Gruppe reagiert werden. Durch eine Optimierung der Datenfusion kann diese Gruppenbildung weiter eingeschränkt werden.

4 S-Bahn Dresden

In einen Steuerwagen der S-Bahnstrecke Dresden-Pirna wurde ein Hinderniserkennungssystem eingebaut. Bei diesem Einbau wurde auf den Infrarotradar verzichtet, da ein dauerhafter Anbau von Sensoren außerhalb des Wagens derzeit nicht möglich ist.



Abbildung 16 S-Bahnsteuerwagen mit Kameraträger hinter der Scheibe

Der Steuerwagen verkehrt im Regelbetrieb. Während der Fahrten ist das Hinderniserkennungssystem aktiv. Zwar werden keine Systemreaktionen generiert, jedoch wird jede Fahrt zeit- und ereignisgesteuert protokolliert. Hierbei werden jeweils kurze Bildsequenzen aufgenommen und auf Festplatte gespeichert. Im Labor findet dann eine Auswertung der Detektionen statt.

Die Dauermesskampagne ist zwar gestartet, jedoch ist für eine zuverlässige statistische Auswertung noch nicht genügend Datenmaterial gesammelt worden.

5 Zusammenfassung

Die Messkampagnen haben gezeigt, dass das Hinderniserkennungssystem bis zu einer Entfernung von 250 Metern eine Objektdetektion erlaubt. Einzelne Objekte mit hohem Kontrast zur Umgebung, wie zum Beispiel ein Mensch mit Warnweste wurde bis auf 300 Meter Entfernung erkannt.

Leichter Regen, wie zum Beispiel bei der Abschlussdemonstration reduzierte nur die Erkennungsreichweite, störte die Funktion jedoch nicht. Auch unter diesen Bedingungen wurden Objekte bis auf 230 Meter Entfernung erkannt. Die erreichte Messgenauigkeit ist zur Definition einer Systemreaktion des Fahrzeugrechners ausreichend.

Bei Dunkelheit hat die eingesetzte Kameratechnik noch Schwächen, die mit weiteren Innovationszyklen jedoch behoben werden können. Im aktuellen System ist die Detektion bei Dunkelheit auf 150 Meter beschränkt, da der Infrarotradar das Sichtfeld nicht weiter ausleuchten kann. Das zu überwachende Lichtraumprofil wird dabei aus den Gleisdaten des Fahrzeugrechners bestimmt.

In Dauermesskampagnen auf der S-Bahnstrecke Pirna-Dresden-Meißen wird im Weiteren das Verhalten des Hinderniserkennungssystems im Alltagsbetrieb erprobt. Eine Aussage zum Langzeitverhalten ist zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht möglich. Daher ist auch noch keine genaue Aussage zu den Wahrscheinlichkeiten von „falsch positiven“ und „falsch negativen“ Systemreaktionen zu treffen.

Anlage 6

Abschlussbericht KOMPAS

BMBF 19P0041 C

Bericht Test/Erprobung stationäre Bahnsteigsicherung

AP 330



Fraunhofer Institut
Verkehrs- und
Infrastruktursysteme

Test/Erprobung stationäre Bahnsteigsicherung
Bericht zum Meilenstein M 10c
Anlage



Forschungsvorhaben
Komponenten Automatisierter Schienenverkehr
(KOMPAS), Phase 1



Arbeitspaket 330 Bahnsteigsicherung entwickeln	
Ersteller: Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden (FhG-IVI)	Förderkennzeichen: 19P 0041C
Stand: Version 0.4, 17.12.2002	Dokumentnummer:

Nachweis des Ausgabestandes					
Version	Kennzeichen	Ausgabedatum	Name des Erstellers	geänderte Abschnitte	Änderungsgrund
0.1	K	15.11.2002	T. Dimter	Alle	Neuerstellung
0.2	K	02.12.2002	T. Dimter	Kap.: 1,5,6,7	Änderung, Ergänzung
0.3	K	06.12.2002	T. Dimter	Kap.: 5	Ergänzung
0.4	K	17.12.2002	W. Oertel	Kap.: 5	Änderung, Ergänzung

K = Konzept

E = Entwurf

F = eingeführtes Dokument

Zeilen mit Textberichtigung gegenüber dem vorherigen Ausgabestand sind am Rand durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet.

Projektmitarbeiter:

Dr. Wolfgang Oertel

Daniel Szoska

Nikolaus Möhler

Tom Dimter

Christian Brock

Dieses Dokument ist abgestimmt mit:

den Partnern Alcatel SEL AG und Deutsche Bahn AG FTZ des Projektes KOMPAS.

Vermerke des EBA:

Impressum

Bearbeitung /
Geschäftsführende Stelle /
Herausgebende Stelle:

Fraunhofer-Institut für
Verkehrs- und Infrastruktursysteme
FABF
Fahrerassistenz und Betriebsführung

Bearbeiter / Fachautor:

Tom Dimter
Zeunerstraße 38
01069 Dresden
Telefon: 0351 / 4640 - 783
Fax: 0351 / 4640 - 803
E-Mail: dimter@ivi.fhg.de

Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis	5
Literaturverzeichnis	7
1 Einleitung und Problemstellung	8
2 Rahmenbedingungen für Prüfscenarien	9
2.1 Objektdetektion in definierten Raumbereichen	9
2.2 Zugerennung	10
2.3 Eigenschaften der Prüfkörper nach [LH AF3]	11
2.3.1 Abmessungen und Eigenschaften der Hindernisse	11
2.3.2 Ausschluss von Hindernissen	12
2.3.2 Nachweis der Funktionsfähigkeit der stationären Bahnsteigsicherung	12
3 Praktische Versuchsträger	13
3.1 Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen	13
3.2 Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark	14
4 Durchgeführte Messkampagnen	15
4.1 Permanente Untersuchungen	15
4.2 Situationsbedingte Untersuchungen	16
5 Statistische Auswertung der Messkampagnen	18
5.1 Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen	18
5.1.1 Permanente Untersuchungen	18
5.1.1.1 Tageslicht und Dunkelheit mit künstlicher Beleuchtung	18
5.1.1.2 Tageslicht und keine Niederschläge	19
5.1.1.3 Tageslicht und ungünstige Witterungsbedingungen	20
5.1.2 Situationsbedingte Untersuchungen	21
5.2 Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark	22
5.2.1 Permanente Untersuchungen	22
5.2.2 Situationsbedingte Untersuchungen	23
6 Resultierende Aussagen und Ergebnisinterpretation	24
6.1 Auswertung der Tabellen für die experimentellen Untersuchungen	24
6.2 Beispielrechnung zur Fehlerquote des Algorithmus'	25
7 Zusammenfassung und Ausblick	27
Anlage 1: Archivierungsstruktur der Messkampagnen	28
Anlage 2: Struktur der Protokollierungsdatei	29
Anlage 3: Struktur der Datenbank für Messdatenauswertung	30
Anlage 4: Tabellen der Messdatenbank	31
Anlage 5: Mathematische Grundlagen für Stichprobentheorie	33
Anlage 6: Auswertung mit Konfidenzintervallen	35

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Archivierungsstruktur der Messkampagnen

Anlage 2: Struktur der Protokollierungsdatei

Anlage 3: Struktur der Datenbank für Messdatenauswertung

Anlage 4: Tabellen der Messdatenbank

Anlage 5: Mathematische Grundlagen für Stichprobentheorie

Anlage 6: Auswertung mit Konfidenzintervallen

Abkürzungsverzeichnis

AF	Automatisches Fahren
HiErk Rechner	Hinderniserkennungsrechner
BstgSi Rechner	Bahnsteigsicherungsrechner
AZS	automatische Zugsteuerung
AZS-S Rechner	Automatische Zugsteuerung, stationärer Teil
AZS-M Rechner	Automatische Zugsteuerung, mobiler Teil (Fahrzeug)
FZL	Fahrzeugleitstelle
Tfz	Triebfahrzeug
Tf	Triebfahrzeugführer
EBO	Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung
ETCS	European Train Control System
zTf	zentraler Triebfahrzeugführer

Literaturverzeichnis

- [LH AF 2] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 2, Hinderniserkennung Fahrweg. DB AG, FTZ München, 2000.
- [LH AF 3] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Stationäre Bahnsteigsicherung. DB AG, FTZ München, 2001.
- [LH AF 5] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 5, Schnittstellenspezifikation HiErk Rechner - AF-M Rechner. FhG-IVI Dresden, 2001.
- [LH AF 2] Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft AF 3, Schnittstellenspezifikation BstgSi-Rechner -AZS-S-Rechner. FhG-IVI Dresden, 2002
- [OER 00] W. Oertel. Videobasierte Bahnsteigsicherung in KOMPAS.
In: IITB-Jahresbericht, FhG-IITB Karlsruhe, 2000.
- [OER 02] W. Oertel, T. Dimter, D. Szoska: A Video-Based Approach for Stationary Platform Supervision.
ITSC, Singapore, 2002.
- [BaDo 00] T. Bandlow, K. Donath, A. Huber, S. Huwer, M. Wolf: Abschlußbericht zum Leitprojekt.
Intelligenter Bahnsteig. Technischer Report, FORWISS, Erlangen, 2000, WV-00-1.
- [KoBstgSi] Technische Konzeption Bahnsteigsicherung, Bericht zum Meilenstein 7b.
FhG-IVI Dresden, 2001.
- [EBO 92] Eisenbahn- Bau- und Betriebsordnung (EBO), Deutsche Bahn AG,
Ausgabe 1992.

1 Einleitung und Problemstellung

Die installierten Versuchsträger am Haltepunkt Dresden Strehlen und die Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark bilden die Grundlage für experimentelle Untersuchungen bezüglich Detektionsleistung und Fehlerwahrscheinlichkeit. Dabei werden Messdaten und Systemdaten über lange Zeiträume (Januar 2001 bis November 2002) gesammelt und einer anschließenden Analyse und Bewertung unterzogen. Das Ziel ist es, Aussagen zur Detektionsleistung, zur Kompensation von Störgrößen, zu Fehlerraten und zu Robustheitseigenschaften in Form von prozentualen Größen zu geben.

Da kritische Situationen im normalen Betriebslauf äußerst selten auftreten, werden für die praktischen Untersuchungen zwei Methoden angewendet. Zum einen werden permanente Untersuchungen durchgeführt, die alle auftretenden Ereignisse erfassen und protokollieren. Dabei wird unterschieden in zyklische und ereignisgesteuerte Protokollierung. Bei der zyklischen Protokollierung werden in einem einstellbaren Takt Systemdaten und Vergleichsbilder gespeichert, welche zur nachträglichen Analyse und Bewertung dienen. Bei der ereignisgesteuerten Protokollierung werden in Abhängigkeit von entsprechenden Beanspruchungsarten Daten textuell und bildhaft gespeichert. Die zweite Methode sind situationsbedingte Untersuchungen. Dabei wird versucht, modellhaft mittels entsprechender Prüfkörper kritische Situationen nachzustellen, um das System auf korrekte Funktion und Arbeitsweise zu prüfen. Eine Situation mit hoher Kritikalität stellt eine Gleisbeanspruchung in Kombination mit einer Zügeinfahrt dar. Auch dieser kritische Fall wird bei den situationsbedingten Untersuchungen analysiert. Um möglichst gut die Realität abzubilden, werden auch Personen, die unterschiedlich gekleidet sind, in dem zu untersuchenden Raumbereich präsentiert.

Zunächst werden im Kapitel 2 die Rahmenbedingungen für Prüfscenarien in Anlehnung an das existierende Lastenheft [LH AF3] beschrieben und diskutiert. Dabei kommen die relevanten Raumbereiche, wie Bahnsteiggleisbereich, Kantenbereich, Eindringbereich sowie der Bahnsteigbereich bezüglich ihrer geometrischen Eigenschaften zur Ausführung. Weiterhin wird die Zügeinfahrt als kritisches Szenario behandelt und mit der entsprechenden Zugmeldung vorgestellt. Anschließend werden verschiedene Prüfkörper mit ihren farblichen und geometrischen Eigenschaften beschrieben. Außerdem wird eine Definition für den Ausschluss von Hindernissen festgelegt und ein Nachweis für die Funktionsfähigkeit der stationären Bahnsteigsicherung ebenfalls in Anlehnung an das Lastenheft [LH AF3] vorgeschlagen.

In Kapitel 3 kommen die zwei installierten Versuchsträger am Haltepunkt Dresden Strehlen und die Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark zur Vorstellung. Wobei nur die wesentlichen Eigenschaften und die bahntypische Charakteristik (Bahnen nach EBO und nach BOStrab) diskutiert werden. Detaillierte Ausführungen dieser beiden Anlagen befinden sich im Dokument „Prototyp stationäre Bahnsteigsicherung“.

Das Kapitel 4 beschreibt die Art und Weise der durchgeführten Messkampagnen. Dabei werden die permanenten und situationsbedingten Untersuchungen erläutert und ihre Rahmenbedingungen diskutiert.

In den Kapiteln 6 und 7 erfolgen zunächst die tabellarischen Auflistungen der Messergebnisse und der unkritischen Fehlermeldungen für jede einzelne Untersuchungsart unter verschiedenen Umgebungsbedingungen. Danach folgen Aussagen zur Bewertung und Interpretation der Messergebnisse. Abschließend erfolgt eine Beispielrechnung zur Ermittlung der Fehlerquote für den Algorithmus.

2 Rahmenbedingungen für Prüfszenarien

In diesem Kapitel werden grundsätzliche Anforderungen dargestellt, die für einen praktischen Nachweis der Leistungsfähigkeit notwendig sind. Dabei spielt die Reproduzierbarkeit der Testbedingungen eine dominierende Rolle. Zunächst werden die kritischen Raumbereiche mit ihren geometrischen Eigenschaften vorgestellt. Im zweiten Unterpunkt wird die Zugeinfahrt in den Bahnhof als wesentliche Einflussgröße für eine kritische Situation beschrieben. Abschließend erfolgt die Beschreibung der gewählten Prüfkörper mit den vordefinierten Eigenschaften, wie z.B. Größe, Gestalt und Farbe.

2.1 Objektdetektion in definierten Raumbereichen

Primär wird sich bezüglich der Raumbereiche und Anforderungen an dem Lastenheft Automatisches Fahren, Teilheft „Stationäre Bahnsteigsicherung“ [LH AF3] orientiert. Um ein möglichst breites Anwendungsfeld abzudecken, werden weiterhin die Anforderungen nach [VDV 399] (Anforderungen an Einrichtungen zur Gewährleistung der Fahrgastsicherheit in Haltestellen bei Fahrbetrieb ohne Fahrzeugführer) einbezogen. Neben den definierten Bereichen nach [LH AF3] und [VDV 399] wird ein weiterer Bereich der sogenannte Bahnsteigbereich eingeführt. Die folgende Abbildung zeigt die relevanten Raumbereiche.

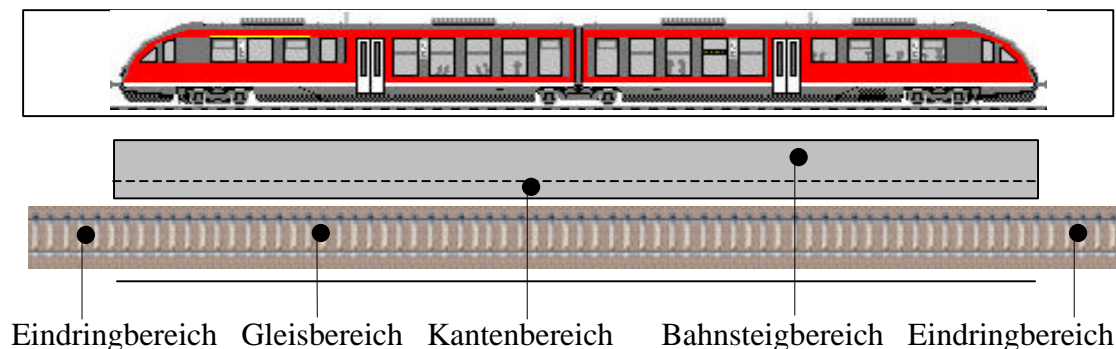


Abbildung: Relevante Raumbereiche für Prüfszenario angelehnt an [LH AF3]

Der räumliche **Bahnsteiggleisbereich** erstreckt sich symmetrisch um den Gleiskörper und wird lateral durch die in der EBO 92 §9, Anlage 1 festgelegte große Grenzlinie umrissen. Der zu überwachende Raum in Längsrichtung erstreckt sich über den gesamten öffentlich zugänglichen Bereich zuzüglich jeweils 2 m an den beiden Bahnsteigenden. Die korrekte Überwachung des Bahnsteiggleises erfolgt unabhängig von der Gestaltung und der Infrastruktur des Bahnsteiges. Lateral auf Bahnsteigseite durch Bahnsteigkante begrenzt.

Der **Eindringbereich** dient zur Detektion von Personen, welche sich aus dem Gleisbereich in Richtung angrenzende Strecke bewegen. Er schließt sich in Längsrichtung beidseitig an den Gleisbereich an und ist projektierbar gestaltet. In Abhängigkeit von den baulichen Gegebenheiten macht sich eine Eindringüberwachung dann erforderlich, wenn z. B. Tunnelbauwerke oder Lärmschutzwände die Strecke begrenzen.

Der **Bahnsteigkantenbereich** schließt sich in lateraler Richtung an den Bahnsteiggleisbereich in Höhe der Bahnsteigebene an. Hierbei wird das Profil der großen Grenzlinie im Bereich der Bahnsteigkante einseitig von minimal 300 mm bis maximal 850 mm aufgeweitet. Die Höhe des zu überwachenden Kantenbereiches, gemessen von der Bahnsteigebene, beträgt 1000 mm.

Der **Bahnsteigbereich** schließt sich ebenfalls in lateraler Richtung an den Bahnsteigkantenbereich an und wird durch den verfügbaren Bildausschnitt begrenzt. Die Bahnsteigmeldung kann z.B. zur Beurteilung des aktuellen Passagieraufkommens herangezogen werden. Die folgenden Abbildungen zeigen die gekennzeichneten Überwachungsbereiche im jeweiligen Videobild.

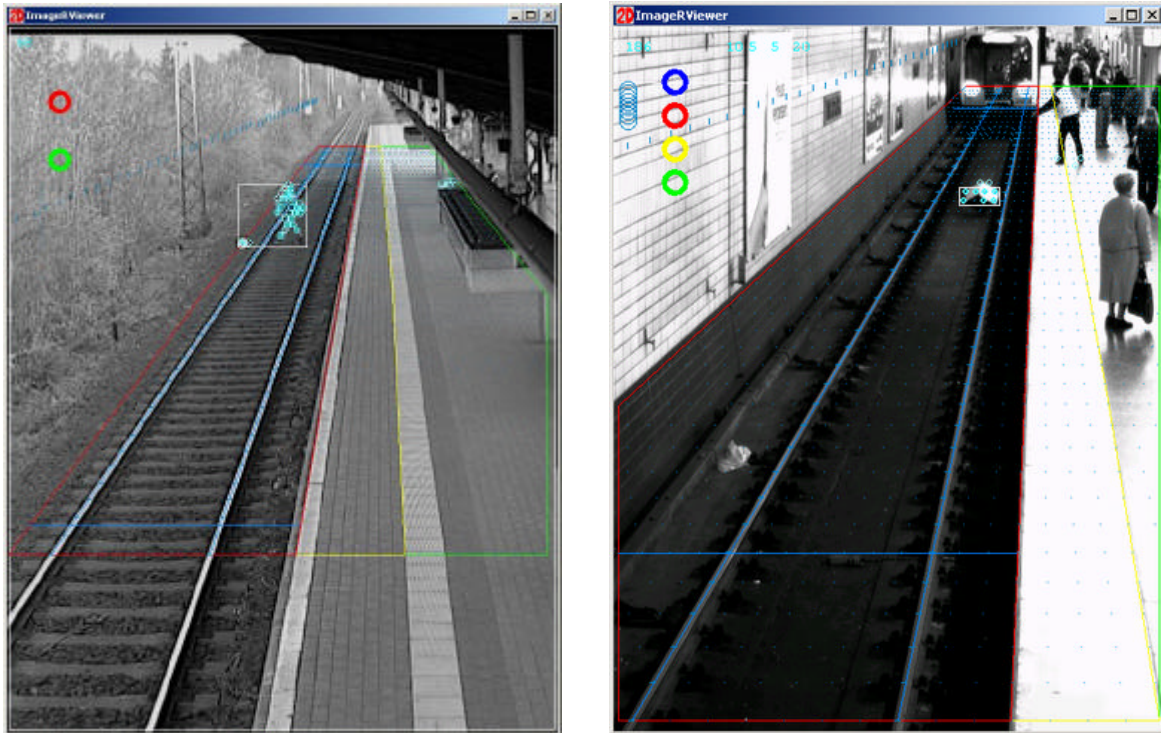


Abbildung: Parametrierbare Überwachungsbereiche für S-Bahn und U-Bahn

2.2 Zugerkennung

Das Kapitel 2.1 zeigt potentielle Aufenthaltsbereiche für zu detektierende Objekte auf. Dabei muss unterschieden werden zwischen kritischen und unkritischen Objekten. Zu der Klasse der kritischen Objekte zählen Objekte die nach [LH AF3] oder nach [VDV 399] in Größe und Gestalt definiert sind. Zum anderen existiert die Klasse der unkritischen Objekte. Dazu zählen Objekte, die z.B. definierte sichtbare Grenzflächen unterschreiten oder der einfahrende Zug.

Der einfahrende Zug stellt in Kombination mit einem Objekt im Gleisbereich eine kritische Situation dar. Daher gilt es den Zug in jedem Fall, den Zug zu erkennen, als unkritisch einzustufen und über den Bahnsteiggleisbereich zu verfolgen. Eine erhöhte Anforderung besteht darin, wenn eine bildhafte Überdeckung von Zug und kritischem Objekt zustande kommt. Um diesen Fall zu simulieren, werden Prüfkörper vor den einfahrenden Zug in den Gleisbereich gestoßen und ca. 5 m vor der Zugfront wieder aus dem Gleisbereich entfernt.

Die korrekte Zugerkennung wird mittels der Zugmeldung signalisiert. Die Zugmeldung dient in erster Linie der Systementwicklung und Optimierung, sie kann aber auch als Aufmerksamkeitssignal für Passagiere am Bahnsteig verwendet werden.

Für die experimentellen Untersuchungen kamen eine Vielzahl an Zugvariationen zum Einsatz. Dabei handelte es sich im speziellen Fall um lokbespannte Zugarnituren (Personen- und Güterverkehr) und Triebzüge. Es wurden weiterhin die Szenarien Durchfahrt, Einfahrt, Zughalt und Ausfahrt analysiert und protokolliert.

Folgende Abbildungen zeigen Güterverkehr und S-Bahn auf dem relevanten Bahnsteiggleisbereich im Videobild.



Abbildung: Güterverkehr und S-Bahn auf Bahnsteiggleisbereich

Nachfolgende Abbildungen zeigen Zugvarianten für den Fernverkehr auf dem relevanten Bahnsteigbereich im Videobild.



Abbildung: Fernverkehr auf Bahnsteiggleisbereich

2.3 Eigenschaften der Prüfkörper nach [LH AF3]

Grundsätzlich werden nach [LH AF3] zum einen die Abmessungen und Eigenschaften der kritischen Hindernisse und zum anderen der Ausschluss von Hindernissen dargelegt. Als dritter Punkt wird der Nachweis der Funktionsfähigkeit der stationären Bahnsteigsicherung diskutiert und durch Annahmen definiert.

2.3.1 Abmessungen und Eigenschaften der Hindernisse

Die zu erkennenden Objekte können aus den Materialien Metall, Holz, Stein und Beton sein. Es muss eine Bewertung als Hindernis erfolgen, wenn eine sichtbare Mindestfläche von $0,4 \text{ m}^2$ vollständig oder teilweise im definierten Raumbereich vorhanden ist. Weiterhin sind Personen, welche den definierten Raumbereich verletzen, ebenfalls als Hindernis zu detektieren.

2.3.2 Ausschluss von Hindernissen

Neben den baulichen Anlagen und Infrastrukturelementen dürfen witterungsbedingte Einflüsse nicht zur Meldung von Hindernissen führen. Diese Witterungseinflüsse können z.B. Regen, Nebel oder Schnee sein. Außerdem dürfen herabfallendes Laub oder durch die Vegetation bedingte Ursachen, wie z.B. Graswuchs an den Gleisen keine Hindernismeldung verursachen. Weiterhin ist der einfahrende bzw. stehende Zug nicht als Hindernis zu bewerten. Abschließend werden noch beispielhaft kleine Gegenstände, wie Getränkedosen und Zeitungspapier aufgeführt, die ebenfalls keine Beanspruchung auslösen dürfen.

2.3.2 Nachweis der Funktionsfähigkeit der stationären Bahnsteigsicherung

In Anlehnung an die vorausgegangen Abschnitte wird ein definierter Prüfkörper mit quantitativen Eigenschaften und Einsatzbedingungen angegeben. Der Prüfkörper besitzt die geometrischen Abmaße von 1,0 m x 0,4 m x 0,5 m (Länge x Breite x Höhe) und bildet somit ein reproduzierbares Hindernis im Bahnsteiggleisbereich ab. Laut [LH AF3] gilt die Funktionsfähigkeit der stationären Bahnsteigsicherung als nachgewiesen, wenn zusätzlich folgende Einsatzbedingungen erfüllt sind:

- ? das Objekt befindet sich vollständig oder teilweise im definierten Raumbereich,
- ? das Objekt ist bodenfühlig und
- ? die sichtbare Fläche für das im definierten Raumbereich platzierte Objekt beträgt $0,4 \text{ m}^2$.

Befindet sich das Objekt außerhalb des Regellichtraumes nach [EBO 92], §9, Anlage 1 oder auf dem Bahnsteigkantenbereich, so ist keine Hindernismeldung auszulösen. Die folgenden Abbildungen zeigen die in Messkampagnen verwendeten Prüfkörper.



Abbildung: Prüfkörper nach [LH AF3] mit unterschiedlichen Kontraststufen

Außerdem wurden einzeln und in Kombination weitere Prüfkörper in die relevanten Bereiche eingebracht und untersucht. Folgende Abbildungen zeigen die Prüfkugel nach [VDV 399] (Durchmesser: 30 cm) und Personen im Gleis- und Kantenbereich.

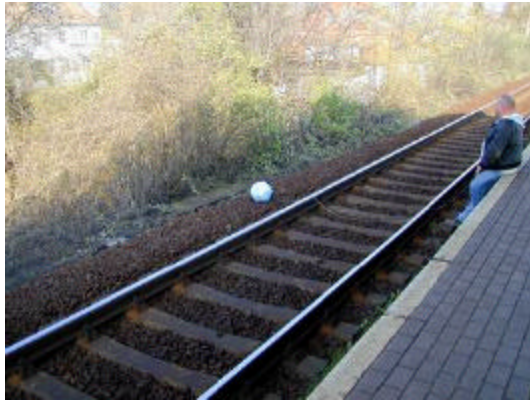


Abbildung: Prüfkörper nach [VDV 399] und Personen im Gleis- und Kantenbereich

3 Praktische Versuchsträger

In diesem Kapitel werden zwei installierte Bahnsteigsicherungsanlagen vorgestellt, welche die Grundlage für experimentelle Untersuchungen bilden. Dabei handelt es sich um eine Anlage im Bereich S-Bahn nach EBO und eine weitere Anlage im U-Bahn-Bereich nach BOStrab. Da eine detaillierte Beschreibung der Anlagen bereits im Dokument „Prototyp stationäre Bahnsteigsicherung“ (Bericht zum Meilenstein M 9c) existiert, werden in diesem Abschnitt lediglich wesentliche Aussagen bezüglich Geometrie und Infrastruktur getroffen.

3.1 Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen

Bei der Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen handelt es sich um einen Inselbahnsteig, welcher sich im Außenbereich befindet und durch S-Bahnen, Fernbahnen und Güterverkehr befahren wird. Der öffentlich zugängliche Bereich erstreckt sich über eine Länge von ca. 150 m und ist im Bahnsteigbereich überdacht. An diesem Bahnsteigdach sind paarweise Kameras in Abständen von ca. 50 m installiert. Weiterhin befindet sich an dem Bahnsteigdach ein Lichtband zur Ausleuchtung des Bahnsteiges bei Dunkelheit. Die folgenden Abbildungen zeigen ein Kamerapaar und die Bahnsteigdachkonstruktion am Haltepunkt Dresden Strehlen.



Abbildung: Kamerapaar und Dachkonstruktion am HP-Dresden Strehlen

Die experimentellen Untersuchungen fanden jeweils in den Einzelbereichen und im Gesamtbereich (öffentlich zugänglicher Bereich) statt. Weiterhin wurden die Tests in verschiedenen Jahreszeiten unter vielfältigen Witterungsbedingungen durchgeführt. Folgende Abbildungen zeigen einen Querschnitt der unterschiedlichen Umgebungsbedingungen am Haltepunkt Dresden Strehlen.



Abbildung: Unterschiedliche Umgebungsbedingungen am HP-Dresden Strehlen

3.2 Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark

Die Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark wurde installiert, um weitere Systemerfahrungen bezüglich quasi konstanter Beleuchtungsverhältnisse und Parametrierbarkeit zu sammeln. Diese Anlage wird im U-Bahn Bereich eingesetzt und betrieben. In ihrem technischen Umfang stellt die Anlage eine Untermenge zur Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen dar. Die folgenden Abbildungen zeigen die Kamertechnik und den Bahnsteig am Bahnhof Berlin Tierpark.

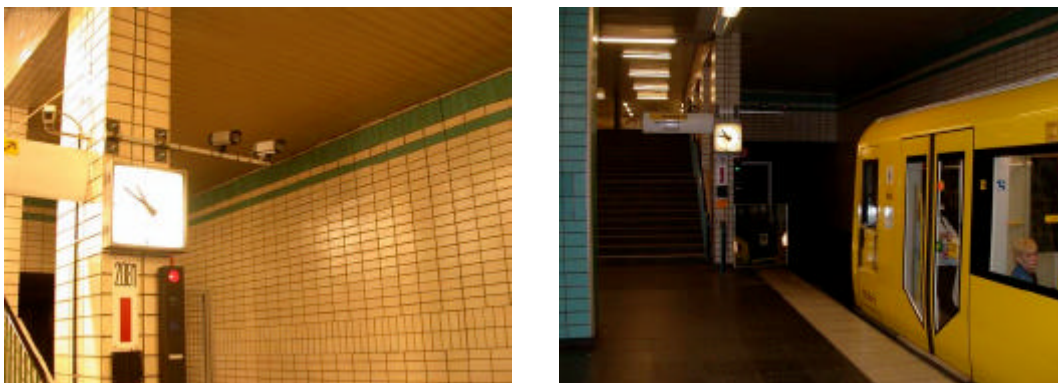


Abbildung: Kamera paar am Bahnhof Berlin Tierpark

Auch bei dieser Anlage werden die Bereiche Bahnsteigkante, Bahnsteiggleis, Bahnsteig und Eindringbereich auf Beanspruchung von Objekten untersucht und automatisch ausgewertet. Auf Grund der reduzierten Kameraanzahl wird für Testzwecke lediglich ein Bereich von ca. 60 m ausgewertet. Die Blickrichtungen der Kameras sind ebenfalls entgegen der Fahrtrichtung.

4 Durchgeführte Messkampagnen

In diesem Kapitel werden die zwei Methoden „Permanente Untersuchungen“ und „Situationsbedingte Untersuchungen“ beschrieben und die Vorgehensweise bei der Durchführung erläutert. Bei den permanenten Untersuchungen werden reale Situationen in den relevanten Raumbereichen ausgewertet und protokolliert. Dabei wird in zyklische und ereignisgesteuerte Protokollierung unterschieden. Im Gegensatz zur permanenten Untersuchung werden bei der situationsbedingten Untersuchung kritische Szenarien im relevanten Raumbereich simuliert. Dabei kommen die oben aufgeführten Prüfkörper bzw. Personen entsprechend zum Einsatz.

4.1 Permanente Untersuchungen

Bei der Methode „Permanente Untersuchungen“ ist die Anlage dauerhaft in Betrieb und erfasst das Vorhandensein von Objekten in den relevanten Raumbereichen. Für die abschließende statistische Auswertung macht es sich notwendig, wichtige Fehlerklassen einzubeziehen. Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen den möglichen Fehlern.

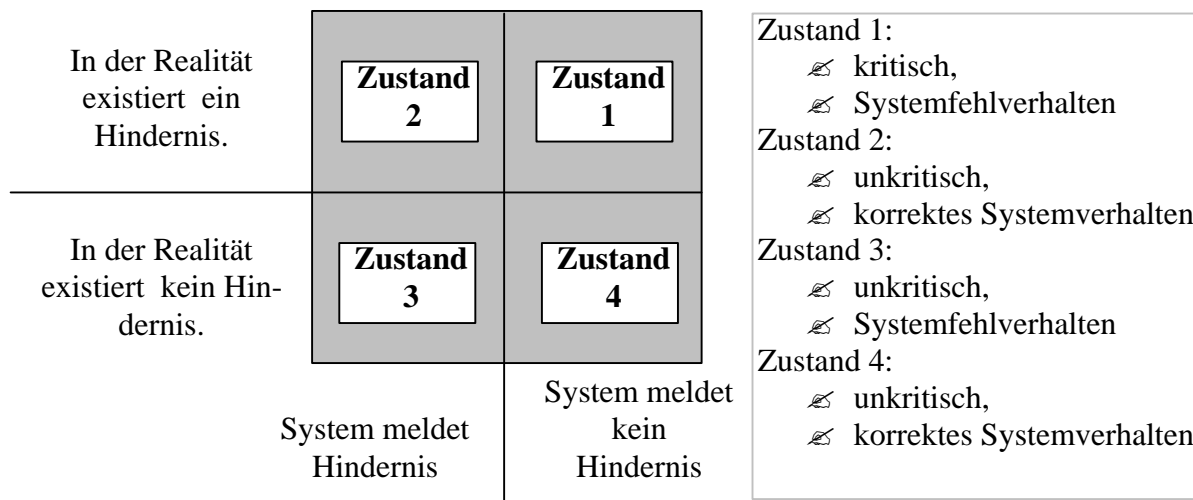


Abbildung: Mögliche Fehlerklassen bei der Objektdetektion

Wie aus oben aufgeführter Abbildung deutlich wird, besitzt der Zustand 1 die höchste Kritikalität. Aber auch der Zustand 3 ist aus betrieblicher Sicht möglichst zu minimieren. Um diese Fehler zu analysieren und zu quantifizieren, wird zum einen die zyklische Protokollierung (primär für Zustand 1) und zum anderen die ereignisgesteuerte Protokollierung (für Zustand 3) durchgeführt. Zur Prüfung der Meldungskorrektheit werden zugehörige Vergleichsbilder erzeugt. Bei der zyklischen Protokollierung werden über einen einstellbaren Parameter T_Z (aktuell: $T_Z = 10$ s) dauerhaft Einzelbilder gespeichert, welche im Nachgang für die Auswertung von nichterkannten Objekten dient. Bei der ereignisgesteuerten Protokollierung werden in Abhängigkeit von der Detektion von Objekten in den relevanten Bereichen wichtige Systemdaten über Datum, Zeit, Bereich, Objektart und aktuelle Systemzustände gespeichert. Zu diesen textuellen Datensätzen wird zur nachträglichen Prüfung jeweils noch ein manuell auswertbares Vergleichsbild archiviert.

4.2 Situationsbedingte Untersuchungen

Bei den „Situationsbedingten Untersuchungen“ wurde angestrebt, realitätsnahe kritische Situationen im Bahnbereich zu simulieren. Dabei kamen die oben aufgeführten Objekte (Normkörper nach [LH AF3], Prüfkugel nach [VDV 399] und Personen) in den relevanten Bereichen (Gleisbereich, Kantenbereich, Bahnsteigbereich und Eindringbereich) zum Einsatz. Neben den unterschiedlichen Kontraststufen und der Lage der Objekte kam weiterhin die Eigenschaft der Objektbewegung (stationär und bewegt) zur Anwendung. Außerdem wurde der nichtgeforderte Zustand „Prüfkörper schwebend“ simuliert, um Erfahrungen mit nicht bodenfühlig Objekten zu sammeln. Folgende Punkte zeigen noch mal die wesentlichen Szenarien, welche für die praktischen Untersuchungen eingesetzt wurden.

Gleisbereich:

stationär:

- ? Person stehend, liegend, hockend
- ? DB-Normhindernis hochkant, quer und längs zur Fahrtrichtung
- ? kleiner Prüfkörper schwebend, liegend; Position mittig und außerhalb zum Gleis

bewegt:

- ? 2 Personen nebeneinander laufend auf dem Gleis in Fahrtrichtung
- ? 2 Personen hintereinander laufend in Fahrtrichtung (Gleismitte, rechts neben dem Gleis)
- ? 2 Personen hintereinander laufend seitlich leicht versetzt in Fahrtrichtung (Gleismitte)

Kantenbereich:

stationär:

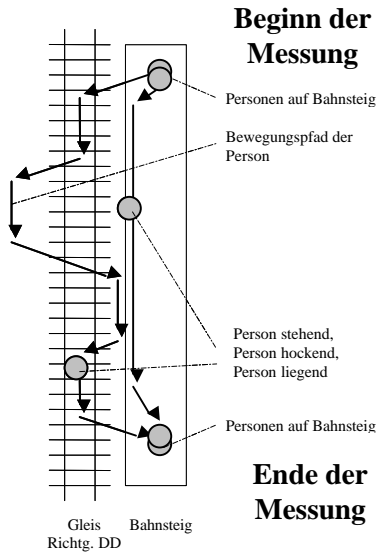
- ? Person(en) stehend, sitzend, hockend
- ? DB-Normhindernis hochkant, quer und längs zur Bahnsteigkante
- ? kleiner Prüfkörper schwebend, liegend

bewegt:

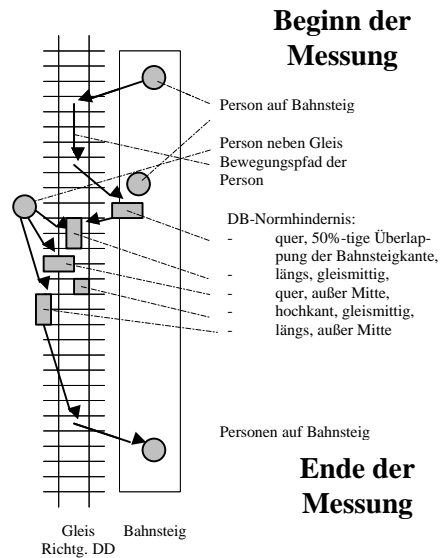
- ? 2 Personen nebeneinander laufend entlang der Bahnsteigkante
- ? 2 Personen hintereinander laufend entlang der Bahnsteigkante
- ? kleiner Prüfkörper schwebend, liegend

Neben der Einzeldarbietung von Objekten in den relevanten Raumbereichen kamen bereichsübergreifende Mehrfachdarbietungen von Objekten zum Einsatz. Folgende Abbildungen zeigen Szenarien, welche am Haltepunkt Dresden Strehlen durchgeführt wurden.

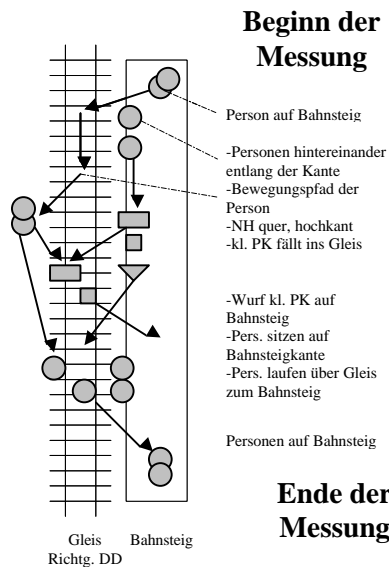
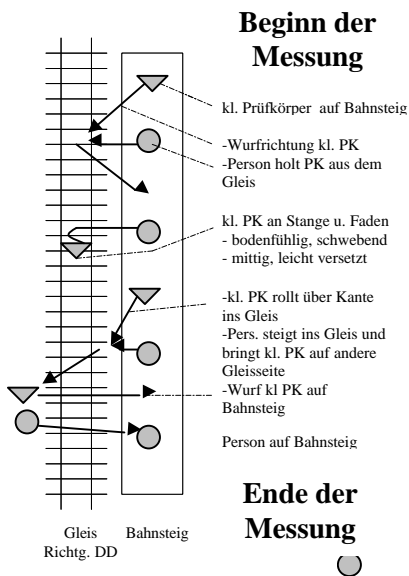
Szenario 1: Personen – Gleis/Kante



Szenario 2: NH/Pers. – Gleis/Kante



Szenario 3: kl. Prüfkörper/Pers.–Gleis/Kante Szenario 4: Komb. aller Objekte – Gleis/Kante



Legende:

- kleiner Prüfkörper – kl. PK (Ball mit ca. 30 cm Durchmesser)
- DB-Normhindernis – NH (Quader 40x40x100cm) längs bzw. quer
- DB-Normhindernis – NH (Quader 40x40x100cm) hochkant
- Person – Pers.
- ➔ Bewegungspfad, Wurfrichtung

Abbildung: Szenarien für situationsbedingte Untersuchungen

5 Statistische Auswertung der Messkampagnen

In diesem Kapitel werden quantitative Aussagen zu ausgewählten Untersuchungen bezüglich Detektionsleistung und Fehlermeldungen tabellarisch dargestellt. Die entsprechenden Untersuchungen fanden unter ausgewählten Randbedingungen, wie Dunkelheit mit künstlicher Beleuchtung, Tageslicht, ausschließlich künstlicher Beleuchtung und schlechten Witterungsbedingungen statt. Zunächst erfolgt eine Aufteilung der Analysedaten zu den Anlagen am Haltepunkt Dresden Strehlen und am Bahnhof Berlin Tierpark. Weiterhin wird unterschieden in permanente und situationsbedingte Untersuchungen.

5.1 Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen

Die Anlage ist seit 2001 in Betrieb. Seit dem werden permanente und situationsbedingte Untersuchungen durchgeführt. Die permanenten Untersuchungen werden durch Speicherung der Beanspruchungsarten und zugehöriger Vergleichsbilder nachträglich ausgewertet. Es sind neben vielen kleineren situationsbedingten Untersuchungen zwei umfangreiche Messungen (siehe vorheriges Kapitel) durchgeführt worden.

5.1.1 Permanente Untersuchungen

Die Auswertung der durchgeführten permanenten Messungen basiert einerseits auf den zyklisch im 10s-Takt gespeicherten Daten und andererseits auf den zu Ereignissen gemeldeten Daten. Aufgrund der hohen Datenmengen und des Entwicklungscharakters der Arbeiten wurden für die Messungen repräsentative Zeiträume ausgewählt.

Bei den zyklischen Meldungen handelt es sich um 8640 Datensätze pro Tag, die mit speziellen Softwaretools einer manuellen Auswertung unterzogen wurden. Es wurde nachweislich festgestellt, dass in diesen Meldungen für die in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Zeiträume keine Objekte aufgetreten sind, die nicht als Ereignisse detektiert wurden. Damit wurde die sichere Funktion der Anlage nachgewiesen.

Die vom System gelieferten Ereignismeldungen sind im Verhältnis zu den real aufgetretenen Hindernissen in den nachfolgenden Tabellen zusammenfassend dargestellt. Daraus lassen sich Aussagen über die Zuverlässigkeit der Anlage ableiten.

Für die angegebenen Zeiträume lassen sich aufgrund der vorliegenden Messergebnisse keine funktionsrelevanten Systemausfälle nachweisen. Das bedeutet, dass die Anlage in diesem Fall eine Verfügbarkeit von 100 % zu verzeichnen hatte.

5.1.1.1 Tageslicht und Dunkelheit mit künstlicher Beleuchtung

Die folgende Tabelle zeigt prozentual die Detektionsleistung unter der angegebenen Bedingung auf und stellt die jeweiligen Fehlermeldungen dar.

	Tageslicht und Dunkelheit	Zeitraum
Detektionsrate f. Gleisbereich (Monokamera) [gemeldet/existierend]	193/180	1.9.-7.9.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Gleisbereich (Monokamera)	13	1.9.-7.9.02
Detektionsrate f. Bahnsteigkante (Monokamera) [gemeldet/existierend]	1009/930	1.9.-7.9.02

Anzahl Fehlermeldungen f. Bahnsteigkante (Monokamera)	79	1.9.-7.9.02
Zugerkennungsrate (Monokamera) [gemeldet/existierend]	181/174	1.9.-7.9.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Zugerkennung (Monokamera)	7	1.9.-7.9.02

Tabelle: Detektionsrate für Tageslicht und Dunkelheit

Die registrierten Fehlermeldungen im Gleisbereich lassen sich durch Abweichungen vom Normbetriebszustand erklären. Konkret handelte es sich dabei um Fahrten entgegen der Regelfahrtrichtung. Die weiteren Fehlermeldungen resultieren aus der zeitlich begrenzten Existenz von extremen Lichtverhältnissen. Weiterhin ist hier zu beachten, dass das System hier abweichend vom Nennbetriebszustand nur als Monosystem gearbeitet hat mit eingeschränkter Detektionsrate.

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Vergleichsbilder aus der Protokolldatenbank.



Abbildung: Vergleichsbilder bei Dunkelheit mit künstlicher Beleuchtung

5.1.1.2 Tageslicht und keine Niederschläge

Die folgende Tabelle zeigt prozentual die Detektionsleistung unter der angegebenen Bedingung auf und stellt die jeweiligen Fehlermeldungen dar.

	Tageslicht und keine Niederschläge	Zeitraum
Detektionsrate f. Gleisbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	0/0	11.8.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Gleisbereich (Kamerapaar)	0	11.8.02

Detektionsrate f. Bahnsteigkante (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	5/4	11.8.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Bahnsteigkante (Kamerapaar)	1	11.8.02
Zugerkennungsrate (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	49/49	11.8.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Zugerkenung (Kamerapaar)	0	11.8.02

Tabelle: Detektionsrate für Tageslicht und keine Niederschläge

Die ermittelten Fehlermeldungen lassen sich ebenfalls, wie oben beschrieben, durch Abweichungen vom Regelbetrieb erklären. Ein weiterer Grund ist, dass für den Gleisbereich der Algorithmus auf zwei Kameraperspektiven mit Referenzbild optimiert ist.

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Vergleichsbilder aus der Protokolldatenbank.

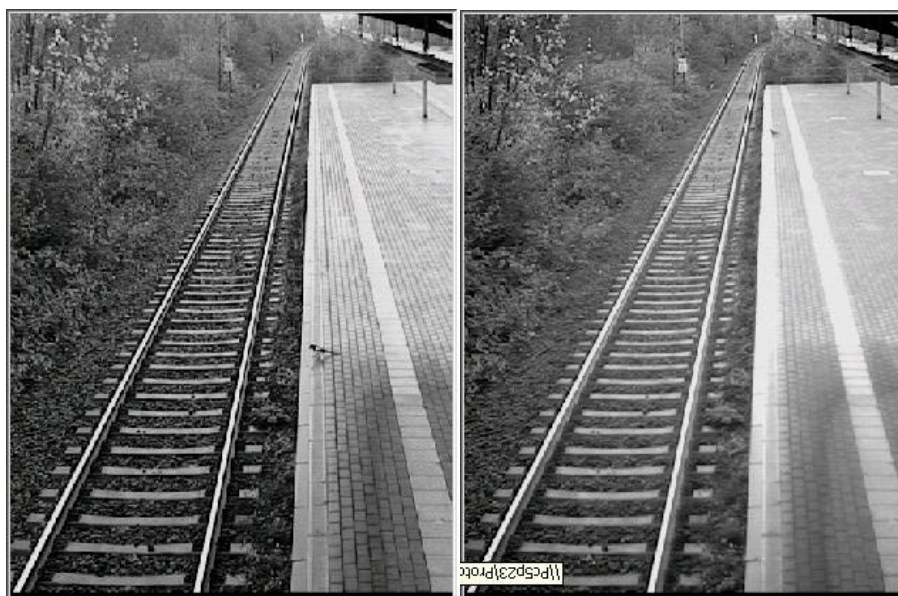


Abbildung: Vergleichsbilder für Tageslicht und keine Niederschläge

5.1.1.3 Tageslicht und ungünstige Witterungsbedingungen

Die folgende Tabelle zeigt prozentual die Detektionsleistung unter der angegebenen Bedingung auf und stellt die jeweiligen Fehlermeldungen dar.

	Tageslicht und ungünstige Witterungsbedingungen	Zeitraum
Detektionsrate f. Gleisbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	0/0	12.8.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Gleisbereich (Kamerapaar)	0	12.8.02
Detektionsrate f. Bahnsteigkante (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	4/2	12.8.02

Anzahl Fehlermeldungen f. Bahnsteigkante (Kamerapaar)	2	12.8.02
Zugerkennungsrate (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	53/52	12.8.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Zugerkenung (Kamerapaar)	1	12.8.02

Tabelle: Detektionsrate für Tageslicht und ungünstige Witterungsbedingungen

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Vergleichsbilder aus der Protokolldatenbank.



Abbildung: Vergleichsbilder für Tageslicht und ungünstige Witterungsbedingungen

5.1.2 Situationsbedingte Untersuchungen

Die folgende Tabelle zeigt prozentual die Detektionsleistung unter den angegebenen Bedingungen auf. Diese angegebenen Werte sind Schätzungen und basieren auf Einzelmessungen mit geringer Anzahl an Wiederholungen. Bei den durchgeführten Tests gab es keine nicht detektierten Objekte.

	Prüfkörper (stat.)	Prüfkörper (bewgt.)	Personen
Detektionsrate f. Gleisbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	100,9	100,6	100,4
Detektionsrate f. Gleisbereich (Monokamera) [gemeldet/existierend] in %	102,2	100,8	100,6
Detektionsrate f. Bahnsteigkante (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	101,9	101,5	100,9
Detektionsrate f. Bahnsteigbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	101,9	101,5	100,9

Tabelle: Detektionsrate für situationsbedingte Untersuchungen am HP-Strehlen

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Vergleichsbilder aus der Protokolldatenbank.

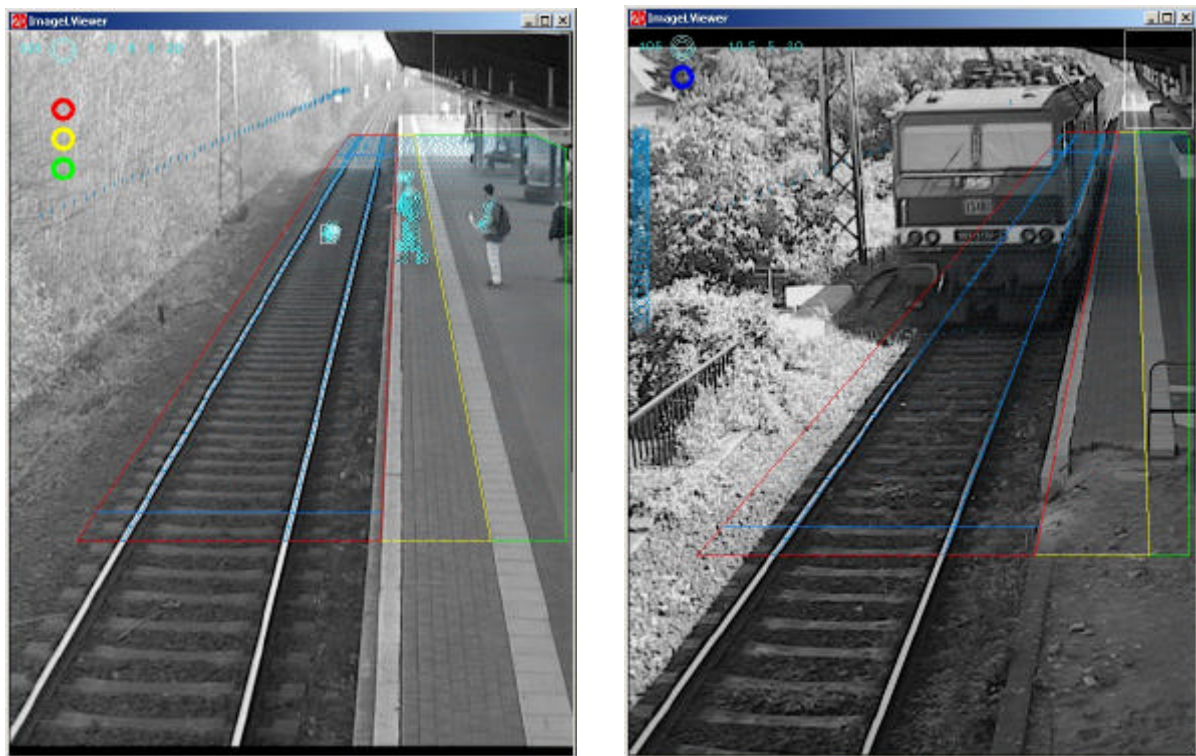


Abbildung: Detektion für situationsbedingte Untersuchungen am Haltepunkt Strehlen

5.2 Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark

Die Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark ist seit 2002 in Betrieb. Sie besitzt im Unterschied zu der Anlage am Haltepunkt Dresden Strehlen näherungsweise konstante Beleuchtungsverhältnisse. Es werden seit der Inbetriebnahme permanente und situationsbedingte Untersuchungen durchgeführt. Die permanenten Untersuchungen werden ebenfalls durch Speicherung der Beanspruchungsarten und zugehöriger Referenzbilder nachträglich ausgewertet.

5.2.1 Permanente Untersuchungen

Die folgende Tabelle zeigt prozentual die Detektionsleistung unter den angegebenen Bedingungen auf und stellt die jeweiligen Fehlmeldungen dar. Die Vorgehensweise bei Erfassung und Auswertung der Messungen erfolgte nach dem im Abschnitt 5.1.1 beschriebenen Prinzip. Auch hier gab es keine nichtdetektierten Objekte.

	Normale Gleisstruktur	Gleisstruktur mit Störgrößen	Zeitraum
Detektionsrate f. Gleisbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	44/44	105/10 *)	20.5.-26.5.02 / 20.4.02
Anzahl Fehlmeldungen f. Gleisbereich (Kamerapaar)	0	95 *)	20.5.-26.5.02 / 20.4.02
Detektionsrate f. Bahnsteigkante (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	4794/4708	622/621	20.5.-26.5.02 / 20.4.02

Anzahl Fehlermeldungen f. Bahnsteigkante (Kamerapaar)	86	1	20.5.-26.5.02 / 20.4.02
Zugerkennungsrate (Kamerapaar) [gemeldet/existierend]	1366/1364	157/157	20.5.-26.5.02 / 20.4.02
Anzahl Fehlermeldungen f. Zugerkenung (Kamerapaar)	2	0	20.5.-26.5.02 / 20.4.02

Tabelle: Detektionsrate für normale und störgrößenbehaftete Bedingungen

Die aufgeführten Fehlermeldungen wurden ähnlich wie bei der Anlage Strehlen einerseits auf Grund von Szenen außerhalb des Regelbetriebes (z.B. Plakattransport) und zum anderen durch unterschiedliche Verfahren für Gleis und Kante sowie durch extreme Störgrößen registriert. Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Vergleichsbilder aus der Protokoll Datenbank.

*) Die ermittelten Ergebnisse repräsentieren Detektionsleistungen in einem frühen Entwicklungsstadium des Systems. Die große Anzahl von Fehlermeldungen resultiert aus großflächigen Spieglungen im Gleisbereich durch stehendes Wasser. In folgenden Versionen werden derartige Störgrößen weitestgehend kompensiert.



Abbildung: Vergleichsbilder für unterschiedliche Bedingungen

5.2.2 Situationsbedingte Untersuchungen

Die folgende Tabelle zeigt prozentual die Detektionsleistung unter den angegebenen Bedingungen auf. Diese angegebenen Werte sind Schätzungen und basieren auf Einzelmessungen mit geringer Anzahl an Wiederholungen.

	Prüfkörper (stat.)	Prüfkörper (bewgt.) mit Zugannäherung	Personen
Detektionsrate f. Gleisbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	100,5	100,2	100,1
Detektionsrate f. Bahnsteigkante (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	100,9	100,3	100,2
Detektionsrate f. Eindringüberwachung (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	keine Analyse	keine Analyse	100,1

Detektionsrate f. Bahnsteigbereich (Kamerapaar) [gemeldet/existierend] in %	100,9	100,3	100,2
---	-------	-------	-------

Tabelle: Detektionsrate für situationsbedingte Untersuchungen am Bhf. Berlin Tierpark

Die folgenden Abbildungen zeigen zwei Vergleichsbilder aus der Protokolldatenbank.

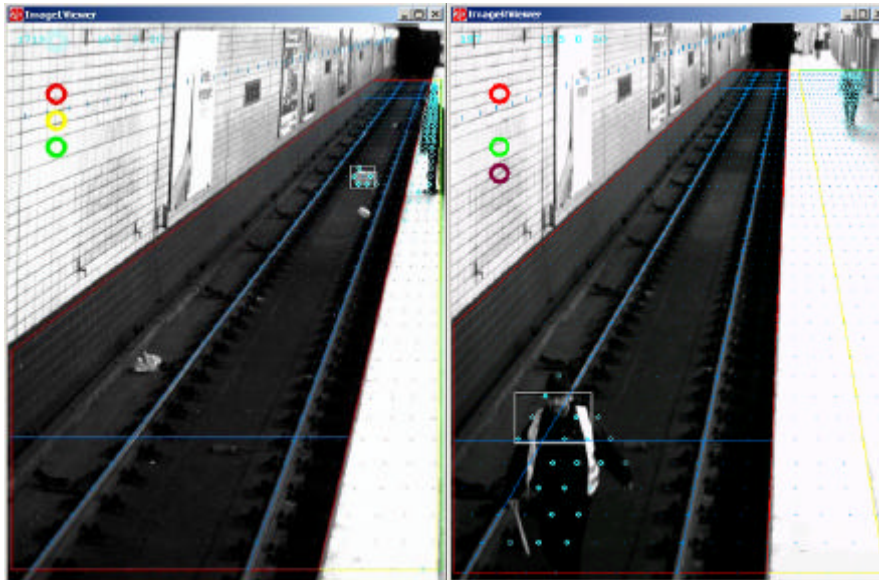


Abbildung: Detektion für situationsbedingte Untersuchungen am Bhf. Berlin Tierpark

6 Resultierende Aussagen und Ergebnisinterpretation

In diesem Kapitel werden zunächst Aussagen über die einzelnen Untersuchungen in Form von tabellarischen Auflistungen ausgeführt. Hierbei werden die Messergebnisse hinsichtlich der Anlagen am Haltepunkt Dresden Strehlen und am Bahnhof Berlin Tierpark eingeteilt. Weiterhin erfolgt eine Unterteilung in permanente und situationsbedingte Untersuchungen. Die Messergebnisse der aufgelisteten Einzeltests entstanden unter quasi reproduzierbaren Umgebungsbedingungen. Im zweiten Teil des Kapitels erfolgt eine formale Berechnung zur Ermittlung der Fehlerquote für den eingesetzten Algorithmus auf Basis der Wahrscheinlichkeitstheorie. Die Grundlage dafür bilden Messdaten vom Bahnhof Berlin Tierpark.

6.1 Auswertung der Tabellen für die experimentellen Untersuchungen

Die experimentellen Untersuchungen zeigen einen Querschnitt von möglichen Umgebungsbedingungen und Beanspruchungsarten auf. Hierbei werden die permanenten Untersuchungen vorrangig zur statistischen Auswertung herangezogen. Bei den situationsbedingten Untersuchungen wurde bei der Durchführung der Tests primär auf eine hohe Situationsvielfältigkeit Wert gelegt und weniger auf die Häufigkeit von gleichen Szenen. Daraus folgt, dass diese Ergebnisse in den jeweiligen Tabellen nicht direkt mit denen der permanenten Untersuchungen vergleichbar sind. Die situationsbedingten Untersuchungen sind in ihrer Durchführung zeitlich, personell und materiell sehr aufwändig und bedürfen einer aufwändigen Organisation.

Die permanent ermittelten Daten am Haltepunkt Dresden Strehlen zeigen prozentuale Detektionsraten (detektierte zu existierende Objekte im relevanten Raumbereich) für verschiedene Umgebungsbedingungen. Hierbei wurden bewusst normale Bedingungen (Tageslicht und keine Niederschläge), erschwerte Bedingungen (Dunkelheit mit künstlicher Beleuchtung) und extreme Bedingungen (starker Regen, hohe Windlasten, starker Schneefall) für einen zeitlichen Abschnitt ausgewählt. Den Angaben liegen prinzipiell eine hohe Anzahl an Beanspruchungen zu Grunde.

Aus sicherheitstechnischen Gründen wurde das System so eingestellt, dass die Detektionsrate für die relevanten Bereiche den kritischen Zustand 1 (siehe Kapitel 4.1 Permanente Untersuchungen) mit berücksichtigt. Daraus folgt, dass der sicherheitstechnisch unkritische Zustand 3 aus Gründen der Sensibilität einen Einfluss besitzt und als Fehlermeldung angegeben wird. Bei den situationsbedingten Untersuchungen mittels der aufgeführten Objekte (Prüfkörper nach [LH AF3], Personen) handelt es sich um Schätzungen, da die Anzahl der Messungen keine statistische Auswertung zulässt.

Die tabellarisch aufgeführten Daten der Anlage am Bahnhof Berlin Tierpark wurden in ähnlicher Systematik wie die Anlage am HP-Strehlen ermittelt. Die primären Unterscheidungsmerkmale sind zum einen die in Berlin näherungsweise konstanten Beleuchtungsverhältnisse und zum anderen die Verwendung sowie die Art der Prüfkörper nach [VDV 399].

6.2 Beispielrechnung zur Fehlerquote des Algorithmus'

Es wurden die Bilder vom 24.06, 25.06 und 26.06.2002 der Kamera Camera-0 in Berlin ausgewertet.

Dies ist eine Stichprobe vom Umfang $n=5884$.

Darunter waren 26 Falschmeldungen:

Grund der Falschmeldung	Anzahl
undefiniert	7
Schatten	0
Spiegelung	0
Zug	11
Zug verloren	7
keine Aussage möglich	1

$$\overline{X}_n = \frac{1}{5884} \sum_{i=1}^{5884} X_i = 0.00441876 \text{ wobei } \sum_{i=1}^{5884} X_i = 26$$

Wir setzen für ? :

$$\alpha = 0.01$$

Daraus folgt für das Quantil:

$$u_{\alpha} := t_{1-0.01/2} = t_{0.995}$$

Aus der Tabelle der Quantile der Standardnormalverteilung ergibt sich für u_{α} :

$$u_{\alpha} = 2.5758289$$

Anwendung des Satzes ergibt:

$$A_n = \frac{2.5758289}{\sqrt{5884}} \sqrt{0.00441876(1 - 0.00441876) + \frac{2.5758289^2}{4 \cdot 5884}} = 0.00229751$$

$$G_n^+ = \frac{0.00441876 + \frac{2.5758289^2}{2 \cdot 5884} + 0.00229751}{1 + \frac{2.5758289^2}{5884}} = 0.0072718767$$

$$G_n^- = \frac{0.00441876 + \frac{2.5758289^2}{2 \cdot 5884} - 0.00229751}{1 + \frac{2.5758289^2}{5884}} = 0.0026820411$$

Mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% ist die Fehlerquote des Algorithmus' kleiner als 0.73%.

Wenn man für α anstatt 0.01 $\alpha = 0.001$ setzt, ergibt sich:

$$u_{\alpha} := t_{1-0.001/2} = t_{0.9995}$$

Aus der Tabelle der Quantile der Standardnormalverteilung ergibt sich für u_{α} :

$$u_{\alpha} = 3.29053$$

Anwendung des Satzes ergibt:

$$A_n = \frac{3.29053}{\sqrt{5884}} \sqrt{0.00441876(1 - 0.00441876) + \frac{3.29053^2}{4 \cdot 5884}} = 0.0029903053$$

$$G_n^+ = \frac{0.00441876 + \frac{3.29053^2}{2 \cdot 5884} + 0.0029903053}{1 + \frac{3.29053^2}{5884}} = 0.0083138564$$

$$G_n^- = \frac{0.00441876 + \frac{3.29053^2}{2 \cdot 5884} - 0.0029903053}{1 + \frac{3.29053^2}{5884}} = 0.0023442310$$

Somit kann man sagen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 99.9% die Fehlerquote des Algorithmus' kleiner als 0.83% ist.

7 Zusammenfassung und Ausblick

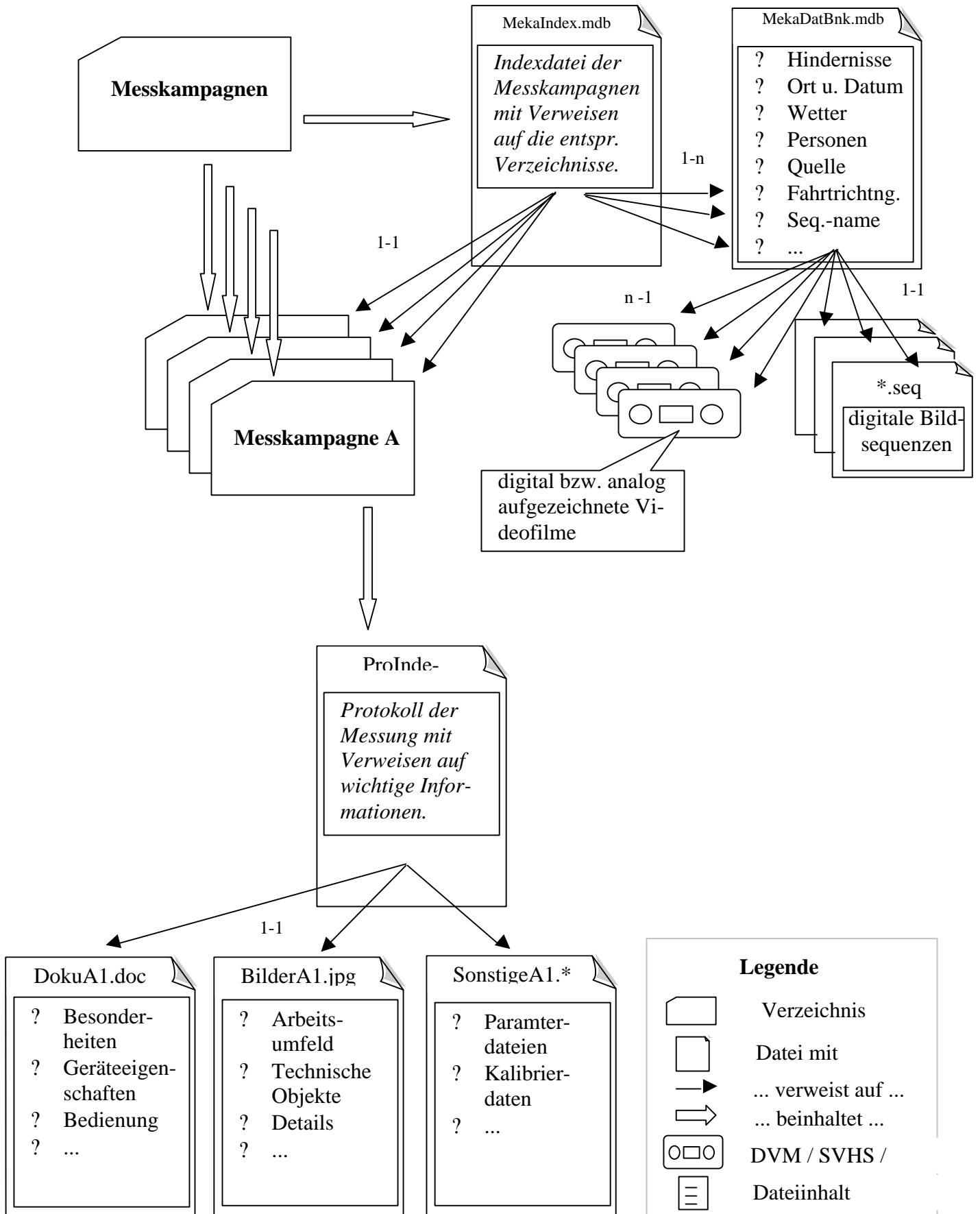
Die Ergebnisse der Langzeituntersuchungen an den beiden Anlagen am Haltepunkt Dresden Strehlen und am Bahnhof Berlin Tierpark haben gezeigt, dass die Detektionsrate für relevante Überwachungsbereiche insbesondere den Gleisbereich von den Umgebungsbedingungen beeinflusst werden können. Da das Bahnsteigsicherungssystem zur sicheren Seite hin optimiert wurde und auch unter offenen Raumbereichen korrekt arbeiten soll, sind bei der aktuellen Version bedingt unkritische Fehlermeldungen verzeichnet worden. Diese sicherheitstechnisch unkritischen Fehler können weiterhin minimiert werden, wenn z.B. näherungsweise konstante Beleuchtungsverhältnisse oder zeitliche Einschränkungen garantiert werden. Die modellhaft gestellten kritischen Szenen, welche zunächst noch keine statistische Analyse zulassen, brachten neue Erkenntnisse bezüglich der Detektion bewegter oder fester Objekte sowie der Objektpräsentation in Kombination mit der Zugannäherung.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass nach diesen Untersuchungen für ausgewählte Zeiträume eine hohe Erkennungswahrscheinlichkeit für Darbietung mit den Prüfkörpern erreicht wurde. Die ermittelten unkritischen Fehler bewegen sich in vertretbaren Größenordnungen. Die Angaben beziehen sich primär auf den Gleisbereich, gelten aber mit leichter Modifikation auch für den Kantenbereich, Eindringbereich und Bahnsteigbereich. Sie können jedoch noch nicht über die ausgewählten Zeiträume hinaus verallgemeinert werden. Für die zukünftige Weiterentwicklung ist es wichtig, dass die Anlage und die Verfahren auf die Vielfalt der unterschiedlichen Situationen am Bahnsteig, insbesondere am offenen Bahnsteig, angepasst und eingestellt werden und das Systemverhalten beim Auftreten von signifikanten Störgrößen weiter optimiert wird. Mit festen Parametersätzen ist die Anlage dann über längere Zeiträume zu testen.

Um zukünftig noch aussagekräftigere Leistungsangaben und Fehleraussagen zu geben, werden spezielle systematische Archivierungs- und Auswertestrategien angedacht. So wird z.B. zur quantitativen Analyse der möglichen Fehlerklassen ein digitaler Harddisk-Rekorder als entkoppelter Beobachter vorgesehen. Dieser wird dann mit der Rechereinheit des Bahnsteigsicherungssystems zeitlich synchronisiert und speichert im vorgegebenen Zeitraum die gesamte Szene. Anschließend kann der gespeicherte Videostrom mit den gemeldeten und/oder den nicht gemeldeten kritischen/unkritischen Beanspruchungen analysiert und bewertet werden. Der entscheidende Vorteil dieser Konfiguration ist, dass man neben der erreichten Detektionsrate bzw. den erfassten Fehlermeldungen auch quantitative Aussagen zum Fehlverhalten von Hardware-Komponenten geben kann.

Ein weiterer Aspekt sind die situationsbedingten Untersuchungen, die bezüglich der statistischen Analyse in ihrer Durchführung weiter optimiert und auf wesentliche reproduzierbare Szenarien reduziert werden müssen. Weiterhin wird der Einsatz realitätsnaher Prüfkörper angestrebt, dies könnten z.B. menschenähnliche Puppen, wie sie im Automobilbereich eingesetzt werden, sein.

Anlage 1: Archivierungsstruktur der Messkampagnen



Anlage 2: Struktur der Protokollierungsdatei

```
20020624,170002,--- MARK ---,free memory:370315264,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170012,--- MARK ---,free memory:370270208,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170022,--- MARK ---,free memory:370274304,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170032,--- MARK ---,free memory:370331648,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170042,--- MARK ---,free memory:370020352,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170052,--- MARK ---,free memory:369913856,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170102,--- MARK ---,free memory:369930240,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170112,--- MARK ---,free memory:369934336,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170122,--- MARK ---,free memory:370114560,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170132,--- MARK ---,free memory:369852416,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170142,--- MARK ---,free memory:369836032,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170149,Zug,source:DetectPlatform1.cpp,revision:1.15,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170300,--- MARK ---,free memory:370044928,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170310,--- MARK ---,free memory:370012160,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170320,--- MARK ---,free memory:370012160,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170330,--- MARK ---,free memory:369971200,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170340,--- MARK ---,free memory:370008064,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170350,--- MARK ---,free memory:369930240,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170400,--- MARK ---,free memory:369831936,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170410,--- MARK ---,free memory:369872896,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170416,Zug,source:DetectPlatform1.cpp,revision:1.15,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170523,--- MARK ---,free memory:369778688,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170533,--- MARK ---,free memory:369700864,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170543,--- MARK ---,free memory:369672192,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170553,--- MARK ---,free memory:369569792,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170603,--- MARK ---,free memory:369627136,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170613,--- MARK ---,free memory:369573888,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170623,--- MARK ---,free memory:369565696,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170633,--- MARK ---,free memory:369569792,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170643,--- MARK ---,free memory:369541120,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170653,--- MARK ---,free memory:369991680,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170703,--- MARK ---,free memory:370020352,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170713,--- MARK ---,free memory:370016256,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170723,--- MARK ---,free memory:369938432,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170733,--- MARK ---,free memory:369938432,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170743,--- MARK ---,free memory:369938432,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170753,--- MARK ---,free memory:369872896,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170803,--- MARK ---,free memory:369893376,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170813,--- MARK ---,free memory:369852416,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170823,--- MARK ---,free memory:369836032,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170833,--- MARK ---,free memory:369815552,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170843,--- MARK ---,free memory:369815552,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170853,--- MARK ---,free memory:370053120,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170855,Zug,source:DetectPlatform1.cpp,revision:1.15,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,170954,--- MARK ---,free memory:369004544,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171004,--- MARK ---,free memory:368939008,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171014,--- MARK ---,free memory:368930816,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171024,--- MARK ---,free memory:368910336,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171034,--- MARK ---,free memory:368906240,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171044,--- MARK ---,free memory:368861184,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171054,--- MARK ---,free memory:368820224,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171104,--- MARK ---,free memory:368861184,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171114,--- MARK ---,free memory:368832512,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171124,--- MARK ---,free memory:368758784,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171134,--- MARK ---,free memory:368746496,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171144,--- MARK ---,free memory:368689152,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171154,--- MARK ---,free memory:368693248,MarkDelay:10,LogDelay:5
20020624,171204,--- MARK ---,free memory:368631808,MarkDelay:10,LogDelay:5
```

Anlage 3: Struktur der Datenbank für Messdatenauswertung

lfidnr	jahr	monat	tag	zeit	typ	sonstiges
309113	2002	6	24	17:00:02	1	free memory:370315264MarkDelay:10LogDelay:5
309114	2002	6	24	17:00:12	1	free memory:370270208MarkDelay:10LogDelay:5
309115	2002	6	24	17:00:22	1	free memory:370274304MarkDelay:10LogDelay:5
309116	2002	6	24	17:00:32	1	free memory:370331648MarkDelay:10LogDelay:5
309117	2002	6	24	17:00:42	1	free memory:370020352MarkDelay:10LogDelay:5
309118	2002	6	24	17:00:52	1	free memory:369913856MarkDelay:10LogDelay:5
309119	2002	6	24	17:01:02	1	free memory:369930240MarkDelay:10LogDelay:5
309120	2002	6	24	17:01:12	1	free memory:369934336MarkDelay:10LogDelay:5
309121	2002	6	24	17:01:22	1	free memory:370114560MarkDelay:10LogDelay:5
309122	2002	6	24	17:01:32	1	free memory:369852416MarkDelay:10LogDelay:5
309123	2002	6	24	17:01:42	1	free memory:369836032MarkDelay:10LogDelay:5
309124	2002	6	24	17:01:49	2	source:DetectPlatform1.cpprevision:1.15MarkDela
309125	2002	6	24	17:03:00	1	free memory:370044928MarkDelay:10LogDelay:5
309126	2002	6	24	17:03:10	1	free memory:370012160MarkDelay:10LogDelay:5
309127	2002	6	24	17:03:20	1	free memory:370012160MarkDelay:10LogDelay:5
309128	2002	6	24	17:03:30	1	free memory:369971200MarkDelay:10LogDelay:5
309129	2002	6	24	17:03:40	1	free memory:370008064MarkDelay:10LogDelay:5
309130	2002	6	24	17:03:50	1	free memory:369930240MarkDelay:10LogDelay:5
309131	2002	6	24	17:04:00	1	free memory:369831936MarkDelay:10LogDelay:5
309132	2002	6	24	17:04:10	1	free memory:369872896MarkDelay:10LogDelay:5
309133	2002	6	24	17:04:16	2	source:DetectPlatform1.cpprevision:1.15MarkDela
309134	2002	6	24	17:05:23	1	free memory:369778688MarkDelay:10LogDelay:5
309135	2002	6	24	17:05:33	1	free memory:369700864MarkDelay:10LogDelay:5
309136	2002	6	24	17:05:43	1	free memory:369672192MarkDelay:10LogDelay:5
309137	2002	6	24	17:05:53	1	free memory:369569792MarkDelay:10LogDelay:5
309138	2002	6	24	17:06:03	1	free memory:369627136MarkDelay:10LogDelay:5
309139	2002	6	24	17:06:13	1	free memory:369573888MarkDelay:10LogDelay:5
309140	2002	6	24	17:06:23	1	free memory:369565696MarkDelay:10LogDelay:5
309141	2002	6	24	17:06:33	1	free memory:369569792MarkDelay:10LogDelay:5
309142	2002	6	24	17:06:43	1	free memory:369541120MarkDelay:10LogDelay:5
309143	2002	6	24	17:06:53	1	free memory:369991680MarkDelay:10LogDelay:5
309144	2002	6	24	17:07:03	1	free memory:370020352MarkDelay:10LogDelay:5
309145	2002	6	24	17:07:13	1	free memory:370016256MarkDelay:10LogDelay:5
309146	2002	6	24	17:07:23	1	free memory:369938432MarkDelay:10LogDelay:5
309147	2002	6	24	17:07:33	1	free memory:369938432MarkDelay:10LogDelay:5
309148	2002	6	24	17:07:43	1	free memory:369938432MarkDelay:10LogDelay:5
309149	2002	6	24	17:07:53	1	free memory:369872896MarkDelay:10LogDelay:5
309150	2002	6	24	17:08:03	1	free memory:369893376MarkDelay:10LogDelay:5

Anlage 4: Tabellen der Messdatenbank

1 Tabelle: ereignis

field	Type	Null	Key	Default	Extra
ldnr	int(10)unsigned		PRI	NULL	auto_increment
jahr	int(10)unsigned		PRI	0	
monat	int(10)unsigned		PRI	0	
tag	int(10)unsigned		PRI	0	
zeit	time			00:00:00	
typ	int(10)unsigned			0	
sonstiges	varchar(100)	YES		NULL	
pruefstatus	tinyint(1)unsigned zerofill	YES		1	1=ungeprüft
falschmeldung	tinyint(1) unsigned zerofill	YES		0	0=keine Falschmeldung
grund_falschmeldung	int(10)unsigned	YES		NULL	
kamera	int(10)unsigned	YES		NULL	
ort	int(10)unsigned			0	

2 Tabelle: grund_falschmeldung

field	Type	Null	Key	Default	Extra
ldnr	int(10)unsigned		PRI	NULL	auto_increment
beschreibung	mediumtext		MUL		

ldnr	beschreibung
1	undefiniert
2	Schatten
3	Spiegelung
4	Zug
5	Zug verloren

3 Tabelle: kamera

field	Type	Null	Key	Default	Extra
lfdnr	int(10)unsigned		PRI	NULL	auto_increment
ort	int(10)unsigned	YES		NULL	
bezeichnung	varchar(10)	YES		NULL	
bereich	varchar(250)	YES		NULL	

lfdnr	ort	bezeichnung	bereich
1	1	Camera-0	""
2	2	Camera-0	""
3	2	Camera-1	""
4	2	Camera-2	""

4 Tabelle: ort

field	Type	Null	Key	Default	Extra
lfdnr	int(10)unsigned		PRI	NULL	auto_increment
ort	varchar(100)		PRI		

lfdnr	ort
1	Berlin
2	Strehlen

5 Tabelle: typ

field	Type	Null	Key	Default	Extra
lfdnr	int(10)unsigned		PRI	NULL	auto_increment
bezeichnung	varchar(40)	YES		NULL	

lfdnr	bezeichnung
1	— MARK —
2	Zug
3	Kante
4	Gleis

Anlage 5: Mathematische Grundlagen für Stichprobentheorie

1. Stichprobe

Begriffe:

- **Grundgesamtheit** besteht aus Einheiten E_1, E_2, \dots, E_N
= Grundgesamtheit vom Umfang N

Beispiel: Inventur einer Elektronikfirma

Grundgesamtheit besteht aus N Artikeln (können mehrmals vorhanden sein)

E_i, \dots Index i als Artikelnummer auffassbar

N, \dots Größe des Sortiments

Firma: $N = 18000$ Artikel

jeder Artikel ist über Nr. eindeutig gekennzeichnet
00001-18000

- **Merkmalswert** Y_i

jedes Element E_i der Grundgesamtheit ist mit Merkmalswert behaftet

für Artikelposition E_i ist Y_i der Wert dieser Position

$$Y_i = X_i \cdot P_i$$

X_i, \dots vorhandene Stückzahl

P_i, \dots Preis

vor Beginn einer Untersuchung ist der Merkmalswert unbekannt

Ziel der Untersuchung ist es also, Aussagen über Merkmalswerte zu machen

z.B. Durchschnitt oder Summe von Merkmalswerten

$$\text{Ziel der Inventur: } Y = \sum_{i=1}^n Y_i$$

exakte Bestimmung über Total- oder Vollerhebung

- Beschränkung auf einige Merkmalswerte \rightarrow Stichprobe \rightarrow auf Schätzung angewiesen

- **Stichprobe vom Umfang n**

\Rightarrow Untersuchung von Merkmalswerten bei $n < N$ Einheiten aus der Grundgesamtheit

eine erhobene Stichprobe ist dann eine Gruppe (y_1, y_2, \dots, y_n) von Realisationen der Merkmalswerte Y_1, Y_2, \dots, Y_N

aus N Artikelpositionen ziehen einer Stichprobe vom Umfang n

$y_i =$ Wert der i -ten Position in der Stichprobe, $i =$ Laufindex

Es ist zwischen y_i und Y_i zu unterscheiden

Y_i Merkmalswert der i -ten Einheit in der Grundgesamtheit

y_i Wert der i -ten Einheit der Stichprobe

2. Überlegungen und Vorgehensweise bei Stichprobenerhebungen

- Planung notwendig
- inhaltliche und formale Spezifikation des Problems vornehmen und Abgrenzung der Grundgesamtheit
aus Spezifikation folgt Art der Erhebungstechnik

- **Problem: Größe des Stichprobenumfangs:**
=Frage nach Genauigkeit der Untersuchung → zwei wichtige Begriffe
Sicherheitswahrscheinlichkeit $1 - \alpha$
relative Zufallsfehler e
- **Sicherheitswahrscheinlichkeit**
hat die Bedeutung, das bei statistischen Aussagen, immer ein Irrtum
möglich ist, in Abhängigkeit von der gewählten Stichprobe
- **relative Zufallsfehler**
von vornherein angenommene Fehlergrenze für die Schätzwerte
(entspricht in etwa der Genauigkeit ε eines Konfidenzintervalls zum
Niveau $1 - \alpha$ bezogen auf das arithmetische Mittel)
Inventur: Genauigkeit durch Gesetz vorgegeben

3. Verteilungsannahme bei Stichprobenerhebungen

- Gebrauch der Normalverteilung hat große Bedeutung
Begründung findet man im folgenden Grenzwertsatz
(macht Aussage über die Form der Verteilung des Mittelwertes)
 \bar{X}_n wird standardisiert → $Z_n = \sqrt{n} \cdot \frac{\bar{X}_n - \mu}{\sigma}$
→ unabhängig von n gilt: $E Z_n = 0$ und $Var Z_n = 1$
der zentrale Grenzwertsatz sagt aus, das die Verteilungsfunktion von
 Z_n gegen die Standardnormalverteilung konvergiert
$$P(Z_n \leq z) \rightarrow \Phi(z) \text{ für } n \rightarrow \infty$$
- unter bestimmten Voraussetzungen ($n > 60$ → großer Stichprobenum-
fang) angenäherte Normalverteilung des Schätzers \hat{Y} bzw. \hat{y}
z.B. Schätzfunktion der Art:
$$\hat{Y} = N \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\hat{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

Annahme: diese Zufallsvariablen y_i sind normalverteilt

Anlage 6: Auswertung mit Konfidenzintervallen

Es wurde die statistische Auswertung mit der Theorie mit Konfidenzintervallen vorgenommen, da weder Erwartungswert noch Varianz der Stichprobe vorhanden sind. Man schätzt also nur den Parameter p . Dieser gibt an mit welcher Wahrscheinlichkeit der Algorithmus eine falsche Aussage trifft. Im folgenden ist die mathematische Modellbildung für diese Stichprobe erklärt.

? Schätzen des unbekanntes Parameters p mit induktiver Statistik

☞ Situation

Es stehen n unabhängige Zufallsexperimente mit den möglichen Ausgängen "richtige Aussage" oder "falsche Aussage"

p sei die Wahrscheinlichkeit das der Algorithmus eine falsche Aussage getroffen hat

Frage: wie groß ist p ?

☞ mathematisches Modell:

wir haben X_1, \dots, X_n unabhängige Zufallsvariablen, wobei

$$P(X_j=1) = p = 1 - P(X_j=0) \quad \text{für alle } j$$

dabei:

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{falls, der Algorithmus falsch entschieden hat} \\ 0 & \text{falls, der Algorithmus richtig entschieden hat} \end{cases}$$

im j -ten Zufallsexperiment

☞ Bezeichnungen:

$$\bar{X}_n := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

ist die zufällige relative Ausschusszahl

?? $(0,1)$ wird vorgegeben, hier $\alpha = 0.01$

$u_{\alpha} = t_{1-\alpha/2}$ ist das $(1-\alpha/2)$ -Quantil der Standardnormalverteilung

Quantil: ist ein Lageparameter der Zufallsvariablen X

zur Definition von Quantil benutzt man den **Meridian** $\xi_{0,5}$ für den gilt:

$$P(X \leq \xi_{0,5}) \geq \frac{1}{2} \quad \text{und} \quad P(X \geq \xi_{0,5}) \geq \frac{1}{2}$$

weiterhin benutzt man die verallgemeinerte inverse Verteilungsfunktion

$$F_x^{-1}(y) = \inf\{x : F_x(x) \geq y\}$$

diese stimmt mit der normalen Inversen überein, falls es sie gibt und man kann schreiben:

$$\xi_{0.5} = F_x^{-1}(0.5)$$

man bezeichnet $\xi_\alpha = F_x^{-1}(\alpha)$ als α -Quantil

Satz: Sei

$$A_n = \frac{u_\alpha}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\bar{X}_n(1 - \bar{X}_n) + \frac{u_\alpha^2}{4n}}, \quad G_n^\pm = \frac{\bar{X}_n + \frac{u_\alpha^2}{2n} \pm A_n}{1 + \frac{u_\alpha^2}{n}}$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} P(p \in [G_n^-, G_n^+]) = 1 - \alpha$$

Bedeutung:

das Intervall $[G_n^-, G_n^+]$ ist ein zufälliges Intervall und heißt Vertrauensintervall für p zur Vertrauenswahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ (bzw. Konfidenzintervall zum Niveau $(1 - \alpha)$)

Demnach enthält es p mit der Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ für große n .