

Forschungsergebnisse

G. Biernath
U. Hornberger
A. Rätzer-Frey

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Einleitung

Im Rahmen des Projektes F06-9702 wurde von der FSA eine Literaturrecherche zu wahrnehmungspsychologischen Aspekten beim Einsatz von Automatischen Warnsystemen beim Gleisbau durchgeführt. Unter "Automatischen Warnsystemen" (AWS) oder auch "Automatischen Rottenwarnanlagen" versteht man Warnsysteme, bei denen mittels eines Schienenkontaktes automatisch bei jeder Fahrt eines Zuges ein Warnsignal ausgelöst wird, welches die "Rotte" (die Arbeiter im Gleis) vor der Zugfahrt warnt. Es werden sowohl akustische als auch optische Warnsignale verwendet. In dieser Untersuchung sollte der Mensch als wesentlicher Systemparameter in den Mittelpunkt der Betrachtung gerückt werden: Im Mensch-Maschine-System ist es notwendig, sowohl eine Optimierung der Wahrnehmungsleistung als auch die richtige Verhaltenskonsequenz zu gewährleisten.

Die Literaturrecherche konzentrierte sich auf die folgenden drei Aspekte:

- 1 Kann die Nutzung des akustischen Sinneskanals beim Einsatz automatischer Rottenwarnanlagen als optimal bezeichnet werden?
- 2 Ist eine Ergänzung durch Warnsignale, die andere Sinneskanäle ansprechen (z. B. optische Warnung), hilfreich, unbedeutend oder hinderlich?
- 3 Stellen Kombinationen von Warnsignalen einen Sicherheitsgewinn dar?

Vorgehensweise / Quellen

Für die Literaturrecherche wurden unterschiedliche Methoden angewandt, die einen umfassenden Zugriff auf veröffentlichte Literatur ermöglichen sollten:

Anfänglich wurden im sogenannten "Schneeballverfahren" Informationen zu dem betreffenden Thema gesucht, d.h. die Literaturangaben der gefundenen Veröffentlichungen waren der Ausgangspunkt für weitere Quellen und so weiter.

Ergänzend dazu wurde mit Hilfe von Schlagworten in verschiedenen Datenbanken sowohl auf CD-ROM (Psyclit, Psyndex) sowie On-Line gesucht. Teilweise konnten wir dabei auf die Unterstützung verschiedener Institute wie das ZIGUV oder die Bundesanstalt für Arbeitsschutz zurückgreifen.

Weiterhin wurden uns von Seiten der DB AG teilweise unveröffentlichte Berichte des ORE (Office des Recherches et d'Essais - Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes UIC) zur Verfügung gestellt, die in die Analyse mit einbezogen werden konnten. Ebenso konnte auf unveröffentlichte Untersuchungen des TÜV Bayern Sachsen zurückgegriffen werden.

Das Mensch-Maschine-System und die Einordnung der Wahrnehmungsprozesse

Betrachtet man die Auswirkungen bestimmter technischer Systeme, hier, der automatischen Warnsysteme (AWS), ist es notwendig, das Mensch-Maschine-System in seiner Gesamtheit zu betrachten:

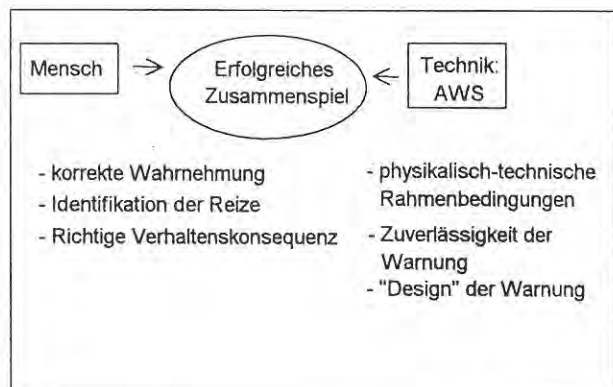


Abbildung 1: Mensch - Maschine - System

Das technische System stellt bestimmte Anforderungen an den Menschen, er muß mit dem System zurechtkommen; auf der anderen Seite sind beim Menschen bestimmte organismische und psychische Variablen, und damit auch Grenzen, gegeben. Das bedeutet, daß der Mensch sich nicht problemlos an jedes technische System anpassen kann, oder, anders ausgedrückt, jedes technische System bestimmte Reaktionen beim Menschen auslöst. So

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

kann es z.B. durch eine Verbesserung der Sicherheitstechnik auch zu der paradoxen Reaktion kommen, daß die Risikobereitschaft des Menschen wächst, weil er sich "zu sicher" fühlt.

Die ergonomische Forderung lautet deswegen hier, die Technik an den Menschen anzupassen, und nicht den Menschen an die Technik.

Überträgt man dies auf die Situation der Sicherung von Arbeitern beim Gleisbau durch Automatische Rottenwarnanlagen, so muß ebenfalls das Gesamtsystem betrachtet werden:

Auf der einen Seite ist zu fragen, welche Forderungen an die Technik zu stellen sind: Eine solche Fragestellung könnte z.B. sein, wie die Warntöne erzeugt werden können, oder welche Art von Lampen für die optische Warnung am besten geeignet sind.

Auf der anderen Seite müssen die Variablen, die auf der Seite des Menschen eine Rolle spielen, untersucht werden: Wie laut sollten Warntöne beispielsweise sein, damit sie sicher wahrgenommen werden, oder welche Art von Ton vermittelt am besten den Eindruck von Dringlichkeit?

Konzentriert man sich nun auf die Prozesse, die bei der Wahrnehmung von Warnsignalen eine Rolle spielen, so wird deutlich, daß die individuelle Reaktion von einer Vielzahl von Bedingungen abhängt. Dies soll hier durch ein Wahrnehmungsmodell veranschaulicht werden, das eine vereinfachte Abbildung der tatsächlichen Prozesse darstellt.

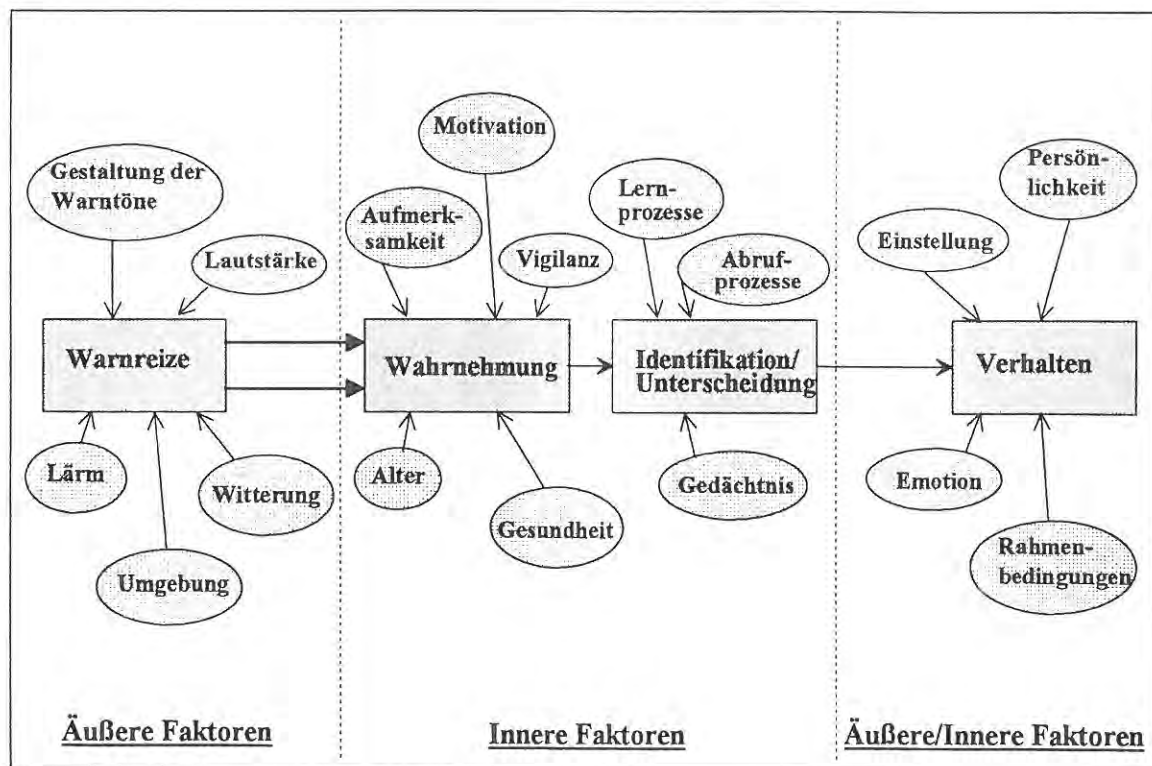


Abbildung 2: Wahrnehmungsmodell

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Wie hier deutlich wird, liegen schon beim Geben der Warnsignale eine Vielzahl von Variablen vor, die den Wahrnehmungsprozeß wesentlich beeinflussen: Umgebungslärm, Witterungsbedingungen und die landschaftlichen Verhältnisse üben beispielsweise einen Einfluß auf das Warnsignal aus. Aber auch durch unterschiedliche Gestaltung der Warntöne sowie ihrer Lautstärke ändert sich der Prozeß.

Betrachtet man den Wahrnehmungsprozeß auf der Mensch-Seite, verläuft er auch hier nicht "einspurig": Die rein physiologische Sinnesleistung wird u.a. durch neuropsychologische Variablen wie Aufmerksamkeit und Vigilanz, physiologische Variablen wie Alter und Gesundheitszustand sowie die Motivation des Individuums moderiert.

Wurde ein Reiz wahrgenommen, ist also sozusagen "im Gehirn angekommen", heißt das noch lange nicht, daß er auch als solcher erkannt wird; er muß identifiziert und von anderen Reizen unterschieden werden. Hier haben das Gedächtnis bzw. Lernprozesse, aber auch sogenannte Abrufprozesse, die den Zugriff auf einen im Gehirn gespeicherten Inhalt ermöglichen, einen Einfluß.

Ist der Reiz wahrgenommen und identifiziert, so ist noch immer nicht sichergestellt, daß dann wirklich das erwartete Verhalten folgt: Emotionale und persönlichkeitspezifische Variablen können das Verhalten verändern, auch die Einstellung des Individuums. Hier kommen aber auch die äußeren Einflüsse sehr deutlich zum Tragen: Die Rahmenbedingungen bestimmen wesentlich, auf welche Weise sich der Mensch überhaupt verhalten kann, bzw. welches Tun mehr oder weniger wahrscheinlich wird.

Alles in allem handelt es sich also bei dem Prozeß, der einer Warnung folgt, um ein ausgesprochen komplexes Geschehen.

In der folgenden Literaturanalyse soll aufgezeigt werden, an welchem Punkt dieses Prozesses die bisherige Forschung ansetzt. Somit wird deutlich werden, in welchen Bereichen bereits zahlreiche Forschungserkenntnisse existieren, und an welchen Stellen noch weitergehender Forschungsbedarf besteht.

Forschungsansätze

Die recherchierte Literatur wurde nach zwei Gesichtspunkten geordnet, erstens, ob es sich um veröffentlichte oder nicht-veröffentlichte Literatur handelte und zweitens, ob es sich um Labor- oder Feldforschung handelt.

Zwei TÜV-Studien und die Untersuchungen des ORE (Office des Recherches et d'Essais) waren die von uns miteinbezogenen unveröffentlichten Studien.

Bei den Laborstudien konnten drei Schwerpunkte der Forschung ausgemacht werden:

- 1 Die Forschung zur Gestaltung der Warnreize
- 2 Die Forschung zur Wahrnehmung von Warnsignalen beim Tragen von Gehörschutz
- 3 Die psychophysiologische Grundlagenforschung.

Weitere Veröffentlichungen beschäftigen sich mit spezifischeren Fragestellungen, die keiner größeren Gruppe zugeordnet werden konnten. Diese sind unter dem Unterpunkt "Andere" kurz dargestellt.

Die Studien, die sich mit der Wahrnehmung optischer Warnsignale befaßten sowie die Feldstudien werden jeweils in einem Übersichtskapitel dargestellt, da hier die Fragestellungen und Rahmenbedingungen in der Regel so speziell waren, daß daraus keine allgemeinen Schlußfolgerungen zu ziehen waren.

Auf eine tabellarische Darstellung der recherchierten Studien wurde hier aus Platzgründen verzichtet. Eine Übersichtstabelle ist aber im FSA-Abschlußbericht dargestellt.

Zusammenfassung der veröffentlichten Literatur

Laborforschung

Gestaltung von Warnreizen

Ein Großteil der Forschung beschäftigt sich mit dem Design von Warnreizen, also mit der Frage nach der optimalen Gestaltung derselben. Hier wird also beispielsweise untersucht, welche Lautstärke, Frequenzzusammensetzung oder Rauigkeit ein Warnsignal haben sollte, um optimal gehört werden zu können, oder welches Signal beim Menschen besonders gut ein Gefühl der "Dringlichkeit" hervorrufen kann.

Zwei Gruppen von Forschern haben sich besonders mit dieser Fragestellung auseinandergesetzt:

Basierend auf dem Effekt, daß Signale neben psychophysiologischen Parametern auch eine bestimmte "Signalbedeutung", d.h., eine "natürliche Lautsymbolik" (Ertel 1969, zit. nach Bock, Lazarus, Höge 1986), besitzen, untersuchten Bock, Lazarus und Höge in den Jahren 1984 bis 1986 die

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Fragestellung, inwieweit mit dem Hören akustischer Betriebssignale bestimmte Verhaltensweisen eher verbunden werden als andere, bzw. inwieweit spezifische Gefahrensituationen eher mit bestimmten Signalen in Verbindung gebracht werden.

Es wurden 41 Betriebssignale getestet. Die Versuchspersonen sollten jeweils die Wahrscheinlichkeit angeben, mit der sie nach Hören des Signals bestimmte Handlungen (z. B. "Schutzanzug anlegen") ausführen würden und ob diese Signale besser zu bestimmten Gefahrensituationen passen würden als andere.

Im Rahmen dieser Forschungsreihe wurde auch das Typhon-Signal untersucht und festgestellt, daß seine Lautcharakteristik geeignet ist, um im Kontext der Rottenwarnung eingesetzt zu werden.

Nach Meinung der Versuchspersonen paßten zu diesem Signal beispielsweise die Assoziationen "Gebäude Verlassen", "Arbeitsplatz Verlassen" und "Maschinen Abschalten" besser als "Weiterarbeiten" oder "Nach Hause Gehen".

Die Autoren weisen allerdings darauf hin, daß die Verbindungen zwischen Geräusch und Verhaltensweisen trotzdem erlernt werden müssen; keiner der Probanden würde die Signale von sich aus mit den hier untersuchten 16 Handlungen in Verbindung bringen.

Kompatible Handlungen, d.h. solche Verhaltensweisen, die mit dem Signal eher assoziiert werden und somit näherliegen, können allerdings schneller erlernt werden als weniger kompatible, wie die Autoren in einer Folgestudie nachweisen konnten.

Da die Handlungsweise "Aus dem Gleis Treten" mit den oben genannten Assoziationen kompatibel ist, könnte diese also als Reaktion auf das Typhonsignal schneller gelernt werden als eine weniger kompatible.

An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, daß es bei den durch die Warnsignale hervorgerufenen Assoziationen auch kulturelle Unterschiede geben kann, wie von Kuwano et al. (1997) nachgewiesen werden konnte, die die Assoziationen von deutschen und japanischen Arbeitern verglichen.

Um die Generalisierbarkeit der Ergebnisse von studentischen Versuchspersonen auf Arbeiter zu gewährleisten, wurden die Versuche von Bock et al. auch mit Probanden durchgeführt, die eine durchschnittliche Berufserfahrung von 12 Jahren, überwiegend in der Metallbranche oder im Bauhandwerk besaßen.

Zum Teil stimmten die Kompatibilitätsmerkmale der Studenten und Arbeiter überein, bei einem anderen

Teil dagegen ergaben sich signifikante Unterschiede.

In Bezug auf die Generalisierbarkeit der Ergebnisse muß auch angemerkt werden, daß die Warnsignale im Labor mit einer immer gleichen Lautstärke und ohne Hintergrundgeräusche produziert wurden, so daß die Übertragbarkeit auf die reale Arbeitssituation auch dadurch eingeschränkt ist.

Eine weitere Forschergruppe, die sich in einer Reihe von Studien mit dem optimalen Design von Warntönen auseinandersetzt, ist die Gruppe um Edworthy et al. (1991 - 1995).

Sie untersuchten u.a. die Effekte individueller Geräuschparameter auf die wahrgenommene psychoakustische Dringlichkeit und stellen eine Methode für das Design und die Evaluation akustischer Warnsignale auf.

Diese Studien lassen sich nur bedingt auf die Situation der Rottenwarnung übertragen, da sich die Autoren hauptsächlich mit dem Problem auseinandersetzten, wie aus einer Reihe von Geräuschen Warnsignale mit einer bestimmten Bedeutung herausgehört werden können. Eine solche Situation ist beispielsweise im Flugzeugcockpit gegeben.

Die Situation beim Gleisbau sieht dagegen insofern anders aus, daß nur auf eine beschränkte Anzahl von Signalen (Ro 1 - Ro 3) reagiert werden muß, die außerdem nicht miteinander konkurrieren, also nicht gleichzeitig ertönen.

Allerdings muß das Warnsignal schon aus den sonst vorhandenen Umgebungsgeräuschen "herausgehört" werden, insofern könnten diese Studien durchaus wertvolle Hinweise für die Gestaltung von Warntönen geben.

Die Autoren beschäftigen sich aber nicht explizit mit einer Situation, die der beim Gleisbau unmittelbar vergleichbar wäre.

Weitere Autoren, die sich mit dem Design von Warntönen auseinandersetzen, sind Fidell (1978), Wheale, J. L. (1983), Patterson (1990), Héту (1994) und Haas & Casali (1995).

Patterson empfiehlt u.a. auch ein prototypisches Warnsystem für die Bahn, welches in Großbritannien eingesetzt wird und das vorhergehende ablöste. Die Entwicklung dieses Warnsystems basiert auf der Auswertung verschiedener Studien, die sich mit den Warnsystemen in Flugzeugcockpits beschäftigen. Auf dieser Basis wurde ein nach Meinung dieses Autors optimales Warnsignal entwickelt.

Wollte man ein solches Warnsystem in Deutschland einführen, müßte bedacht werden, daß es ein historisch gewachsenes Warnsystem mit bereits erlernten Assoziationen ersetzen müßte.

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Die Umsetzung dieser Empfehlungen wäre also nur dann angebracht, wenn sich das bisher eingesetzte Verfahren als nicht geeignet herausstellen würde.

Psychophysiologische Grundlagenforschung

Bei der psychophysiologischen Grundlagenforschung soll das subjektive Erleben der Wahrnehmung mit Hilfe physiologischer Daten, z.B. EEG-Signalen oder Evozierten Potentialen, objektiviert werden. Mit Hilfe dieses Vorgehens ist es möglich, objektiv zu messen, welcher Reiz z.B. schneller "im Gehirn ankommt", oder welches EEG-Muster durch bestimmte Reize ausgelöst wird.

Unter EEG versteht man die Aufzeichnung bioelektrischer Potentialveränderungen des menschlichen Gehirns. Evozierte Potentiale sind Spannungsveränderungen im EEG aufgrund überschwelliger sensorischer oder somatischer Reize (Fröhlich & Drever, 1983).

In der Untersuchung von Burt & Bartolomé wurde beispielsweise die subjektive Einschätzung der Dringlichkeit von Warnsignalen mit der Reaktionszeit auf diese Signale und den durch diese ausgelösten EEG-Signale, bzw. evozierten Potentialen, verglichen.

Es konnten sowohl verschiedene Parameter des EEGs (z.B. absoluter Betrag eines individuellen Frequenzbandes, Verhältnisse der einzelnen Bandbreiten), als auch die evozierten Potentiale, die durch die Signale ausgelöst wurden (z.B. Untersuchung der Wellenform), untersucht werden.

Durch erstere können z.B. Rückschlüsse auf das Verhältnis von schneller zu langsamer Aktivität gezogen werden, und somit auf den Aufmerksamkeitszustand des Individuums.

Durch letzteres kann z.B. eine Aussage über die Intensität eines Signals getroffen werden. Außerdem werden durch die Evozierten Potentiale sowohl die perzeptuelle als auch die kognitive Verarbeitung der Signale widerspiegelt.

In der Untersuchung von Burt & Bartolomé konnte auch gezeigt werden, daß bei der subjektiven Einschätzung der Dringlichkeit Lernprozesse eine große Rolle spielen.

Dieses Forschungsparadigma bietet die Möglichkeit zu objektivieren, welches Signal am schnellsten und sichersten "im Gehirn ankommt", und wäre deswegen auch bei der Untersuchung der Wahrnehmung von Rottenwarnsignalen eine gute Möglichkeit, die objektive Reaktion auf Signale zu verifizieren. Aber auch der Vergleich der psychophysiologischen Re-

aktion auditive und optische Warnsignale wäre möglich.

Obwohl solche Untersuchungen meist im Labor durchgeführt werden, sind sie unter gewissen Einschränkungen auch im Feld möglich.

Bedenken sollte man aber auch hier, daß das nachgewiesene Ankommen des Reizes im Gehirn nicht zwingend dazu führt, daß das erwartete Verhalten folgt. Dies ist, wie zu Beginn schon dargelegt, noch von einer Vielzahl weiterer Variablen abhängig.

Weitere Studien, denen der psychophysiologische Ansatz zugrunde liegt, sind von Hübner (1993) und Davies & Green (1969).

Wahrnehmung von Rottenwarnsignalen beim Tragen von Gehörschutz

Zur Frage der Wahrnehmung von Rottenwarnsignalen beim Tragen von Gehörschutz liegen u.a. Untersuchungen von Levin (1976), Lazarus (1980, 1983) und Sauer & Lessing (1979) vor.

Die Ergebnisse auf diesem Gebiet sind vergleichsweise einheitlich und also auch eindeutig:

Tragen Personen mit normalem Gehör bei Gleisbauarbeiten Gehörschutzstöpsel, so bleibt im Vergleich zum ungeschützten Ohr in der Regel die Wahrnehmbarkeit der Typhonsignale erhalten; dies gilt auch für einen Kapselgehörschutz mit Bandfiltern, der die Obertöne des Typhonsignals durchläßt. Sofern die Signalfrequenzen und -pegel entsprechend ausgewählt werden, kann die Wahrnehmung des Signals bei Normalhörenden sogar noch verbessert werden.

Mit handelsüblichen Gehörschutzkapseln verschlechtert sich jedoch im Vergleich zum ungeschützten Ohr die Wahrnehmbarkeit abhängig von der Art des Störgeräusches.

Tragen Personen mit erheblichen Hörverlusten im Frequenzbereich des Typhonsignals Gehörschutzstöpsel, dann nimmt die Wahrnehmbarkeit des Typhonsignals gegenüber dem ungeschützten Ohr mit zunehmendem Hörverlust ab.

Wahrnehmung optischer Warnsignale

Auch zu der Fragestellung der Wahrnehmung optischer Warnsignale können nur Studien zitiert werden, sie sich mit sehr spezifischen Aspekten dieser Fragestellung beschäftigen und deswegen nur sehr eingeschränkt Hinweise für die hier bestehenden Aufgabenstellung geben können.

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

In der im Kapitel 4.1.1.2 schon genannten Untersuchung von Davies & Green (1969) werden die Effekte von auditiven und visuellen Stimuli, die vor, bzw. gleichzeitig mit dem eigentlichen visuellen Signal gegeben werden, verglichen. Es treten je nach Intervall verschiedene Wechselwirkungen, bzw. Priming-Effekte auf.

In einer Laboruntersuchung von Muhler (1975) werden die Effekte der physikalischen Eigenschaften von Rettungsfahrzeug-Signallampen auf die absolute Entfernungssehschwelle untersucht.

In der Untersuchung von Wheale et al. (1983) werden auditive mit visuellen Warnungen in einem Warnsystem, wie es in einem Flugzeugcockpit verwendet wird, verglichen. Auditive Warnungen bewirkten hier bei den Versuchspersonen schnellere Reaktionen als visuelle.

Ein wesentlicher Unterschied zu der Situation bei einer Gleisbaustelle ist aber, daß im Flugzeug die Reize miteinander konkurrieren und die verschiedenen Handlungen, die ausgeführt werden müssen, auch nach Priorität zu ordnen sind.

Bei einer optischen Warnung auf einer Baustelle gibt es aber, genau wie bei einer akustischen, nur eine Handlungsalternative: Der Arbeiter hat aus dem Gleis zu treten. Das bedeutet, daß die Wahrnehmung des Signals die Handlung im Grunde eindeutig impliziert.

Andere

Die hier vorgestellten Studien beschäftigen sich mit Fragestellungen, die sich kaum unter einem der Oberbegriffe zusammenfassen lassen.

Mashour & Devine (1973) untersuchten das Erkennen bzw. Nicht-Erkennen und Nicht-Verstehen von optischen Signalen bei Lokführern.

Wahrnehmungspsychologisch geht es hier also vor allem um Gedächtnis- und Lernprozesse, also um die Fragestellung, wie ein schnell ein bestimmtes Signal unter vielen differenziert werden kann.

Paté-Cornell (1986) befaßt sich in einem theoretischen Modell mit der probabilistischen Evaluation und Optimierung von Warnsystemen sowie dem Vergleich ihrer Leistung mit Hilfe einer Kosten-Nutzen-Relation. Dieses Modell bezieht sich aber eher auf komplexe Warnsysteme wie z. B. Erdbebenwarnungen als auf ein isoliertes Warnsignal, wie es beim Gleisbau verwendet wird.

In einem theoretischen Modell menschlichen Verhaltens, entwickelt von Lehto (1991), wird eine Fehler-

typologie, die sich auf unterschiedliche Arten der Warnung bezieht, vorgestellt.

In einem komplexen System wie einer Warnung auf einer Baustelle können so auf der Stufe der Informationsverarbeitung und der daraus resultierenden Handlungen des Menschen Fehlerquellen aufgedeckt werden.

Feldforschung

In diesem Kapitel soll nur auf zwei Studien näher eingegangen werden, da diese sich mit bahnspezifischen Gegebenheiten beschäftigen.

Zimolong (1979) untersuchte den Zusammenhang zwischen der objektiven Gefährdung von Rangierern, ermittelt durch eine Analyse der Unfalldaten, verglichen mit der subjektiven Gefährdung; die subjektive Gefährdung wurde mit Hilfe eines Fragebogens erfaßt, der auf der Grundlage kritischer Vorfälle und kritischen Verhaltens Kriterien für die Gefährdungseinschätzung lieferte. Die Probanden sollten mit Hilfe dieses Fragebogens Einschätzungen über das Ausmaß der Gefährdung bei bestimmten Tätigkeiten abgeben.

Der Autor dieser Studie kam zu dem Ergebnis, daß der größte Teil der Gefährdungen von den Probanden richtig eingeschätzt wurde. Es gab aber auch systematische Abweichungen:

Besonders die häufig und gewohnheitsmäßig ausgeübten Tätigkeiten werden in ihrem Gefährdungspotential unterschätzt, sowohl was die Schwere, als auch was die Häufigkeit der Unfälle angeht. Genau diese Unfälle machen aber 60% der Gesamtunfälle aus.

Zimolong leitet daraus gezielte ergonomische Verbesserungsvorschläge sowie ein Trainingsprogramm zur Förderung realistischer Gefährdungseinschätzungen ab.

In Bezug auf die Fragestellung der Wahrnehmung von Warnsignalen bei AWS kann diese Untersuchung Hinweise auf kognitive Einflüsse auf das Verhalten der Arbeiter geben:

Die ausgeübte Tätigkeit sowie die Reaktion auf Warnsignale zeichnet sich ja ebenfalls durch eine große Routine aus, wodurch es auch dazu kommen kann, daß das tatsächliche Gefährdungspotential beim Ausüben dieser Tätigkeit systematisch unterschätzt wird. Durch das daraus resultierende eher riskante Verhalten kann die objektive Gefährdung dann natürlich wieder steigen.

McClelland, Simpson & Starbuck untersuchten 1983 eine Methode der Rottenwarnung, die darauf

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

beruht, daß der Innenposten ein akustisches Signal an die Rotte weitergibt, welches er durch den Außenposten über eine Telefonanlage erhält. Durch diese Methode werden die Zwischenposten eingespart.

Dieses Warnsystem unterscheidet sich von dem deutschen Warnsystem insofern, daß sowohl die Warnung als auch die Freigabe zur Arbeit durch ein akustisches Signal vermittelt werden (Piepston versus Dauerton). Das Fehlen eines akustischen Signals würde in einem solchen System also auf einen Ausfall der Technik hinweisen. In diesem Fall müßte das Gleis ebenfalls sofort geräumt werden, da ja keine Möglichkeit mehr gegeben wäre, die Rotte zu warnen.

In der Studie sollte die Reaktionszeit ermittelt werden, bis "Stille", also eigentlich der Ausfall des Warnsystems, entdeckt wurde. Diese Fragestellung wurde sowohl im Labor als auch im Feld untersucht. Es zeigten sich frappierende Unterschiede in der Reaktionszeit der Probanden zwischen Labor und Feld:

Zum einen war die durchschnittliche Reaktionszeit auf Stille im Feld fast zehnmal so lang wie im Labor. Zum anderen kam es mehrmals zu der Situation, daß die Innenposten die "Stille", also eigentlich das Nicht-Funktionieren des Warnsystems, überhaupt nicht bemerkten, bzw. erst nach mehreren Anläufen bemerkten. Interessanterweise waren sich die Versuchspersonen aber sicher, jedesmal sofort die Stille bemerkt und adäquat auf sie reagiert zu haben, und waren über ihr Verhalten, daß sie anschließend auf einer Videoaufzeichnung sehen konnten, äußerst erstaunt.

Hier zeigt sich die Notwendigkeit, Ergebnisse von Laborexperimenten auf ihre Gültigkeit im Feld zu überprüfen, besonders deutlich. Zu viele zusätzliche Variablen machen in der natürlichen Arbeitssituation ihren Einfluß geltend, als daß die Ergebnisse von Laborexperimenten einfach übertragen werden könnten.

Zusammenfassung der nicht-veröffentlichten Literatur

TÜV-Studien

Im Rahmen der hier vorliegenden Literaturrecherche existieren zwei TÜV-Gutachten, welche die vorliegende Fragestellung zumindest ansatzweise berühren.

Optimierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit an Gleisbaustellen TÜV Bayern Sachsen, 1996

Die Aufgabenstellung dieser Studie bestand darin, den Sicherheitsgewinn, der durch verschiedene Sicherungsmaßnahmen erzielt wird, mit dem dafür erforderlichen Aufwand in Beziehung zu setzen und zu bewerten.

Die Untersuchung bestand aus zwei verschiedenen Phasen. Während in der ersten Phase qualitativ die wesentlichen sicherheitsrelevanten Bereiche der Gleisbaustelle anhand eines Modells identifiziert wurden, stand im zweiten Teil der Untersuchung die Abbildung der Bereiche sowie die quantitative Ermittlung der Risikoreduktion der verschiedenen Sicherungsmaßnahmen im Vordergrund. Auf der Basis der so gewonnenen Erkenntnisse wurden Empfehlungen für die Sicherung von Baustellen abgeleitet.

Das Ergebnis der Analyse zeigt, daß die meisten Unfälle (42 %) aufgrund "nicht bestimmungsgemäßer Räumung" der Baustelle zustande kommen. Weitere Ursachen sind der Ausfall der Warnung (21 %) und die unzulässigen Tätigkeiten im Gleis (10 %). Bei 25 % der Unfälle befanden sich Sicherungsposten im Gefahrenbereich, und nur bei 2 % war eine regelwidrige Fahrt ins gesperrte Gleis die Unfallursache.

Die Autoren des Gutachtens kommen aufgrund dieser Zahlen zu dem Schluß, daß der größte Teil der Unfälle mit der Zuverlässigkeit der Warnung und der Befolgung des Warnsignals zusammenhängt. Die quantitative Bewertung der verschiedenen Sicherungsmaßnahmen favorisiert daher die verschiedenen automatischen Warnsysteme und die feste Absperrung, da bei diesen Maßnahmen das Risikoreduktionspotential und die realisierbare Risikoreduktion im Vergleich zu den anderen Methoden am größten sei. Demzufolge kommen die Autoren auch zu der Empfehlung, daß die Einführung der neuen automatischen Warnsysteme und festen Absperrungen höchste Priorität haben sollte. Bis zum Einsatz dieser Verfahren werden alternative Sicherungsmaßnahmen (wie z.B. Gleissperrung in Verbindung mit Sipos oder das Warnerverfahren mit zusätzlichem Warner) vorgeschlagen.

Erkennbarkeit optischer Warneinrichtungen bei Arbeiten im Gefahrenbereich von Gleisen, TÜV Bayern Sachsen, 1997

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde die Frage erörtert, ob auf Nachtbaustellen eine rein optische Warnung ausreichend ist oder ob zusätzlich

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

noch akustische Warnsignale gegeben werden müssen.

Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen (Lärmemissions- und Lärmimmissionsgesetz) gewinnt die optische Warnung immer mehr an Bedeutung, da die Anforderungen an den Lärmschutz ständig steigen.

In der Studie wird mit Hilfe systemergonomischer Überlegungen nach Bedingungen gesucht, unter welchen eine reine optische Warnung als ausreichend betrachtet werden kann. Dabei werden physikalische Messungen der Warneinrichtungen den physiologischen Anforderungen des Menschen gegenübergestellt. Neben der Wahrnehmbarkeit der Signale durch die Sinnesorgane muß weiterhin die Erkennbarkeit der Signale als solche gewährleistet sein.

Im Rahmen der physikalischen Messung wurden zwei verschiedene optische Warnungen, ein Blitzlicht (ABS-T) und eine Drehleuchte (DL 89) hinsichtlich mehrerer physikalischer Parameter (Spektrum, Frequenz, Helligkeiten usw.) untersucht.

Die so gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Abschätzung der rein physiologischen Wahrnehmbarkeit der optischen Warnsignale und der Ableitung von Optimierungsmöglichkeiten.

Um die Verwendung der Warnleuchten unter realen Bedingungen zu beobachten, wurden drei Nachtbaustellen besichtigt, leider auch ohne die Beobachtungskriterien, die für eine systematische und strukturierte Beobachtung bzw. Analyse notwendig wären, darzustellen. Diese Erfahrungen wurden durch einen Besuch der Autoren auf der Eisenbahnmesse (ET 96) in Basel ergänzt.

In der abschließenden Bewertung werden Empfehlungen für den Einsatz optischer Warnleuchten gegeben, wobei besonders auf die notwendigen Randbedingungen eingegangen wird: Es muß beispielsweise mindestens ein Sicherungsposten auf der Baustelle sein, und von jedem Arbeitsplatz aus muß uneingeschränkte Sicht auf die Leuchten garantiert sein.

Einordnung der TÜV-Studien

Eine genaue Einordnung der TÜV-Studien gestaltet sich schwierig, da die einzelnen Gutachten aus mehreren Einzelementen zusammengesetzt sind. So werden bei der Analyse über die Optimierung der Sicherungsmaßnahmen Literaturrecherchen, Expertenbefragungen und Auswertungen des DB AG Regelwerkes vorgenommen, um ein theoretisches

Modell zu entwickeln. Die anschließende DELTA-Analyse zur Berechnung der Risikoreduktion der verschiedenen Maßnahmen kann nicht als Forschung im eigentlichen Sinn betrachtet werden. Daher ist dieses Gutachten weder auf der Grundlage einer experimentellen, noch einer feldorientierten Untersuchung entstanden und basiert ausschließlich auf theoretischen Annahmen, Zahlen und Berechnungen.

Beim Bericht über die optischen Warneinrichtungen wurden zum einen Erkenntnisse aus anderen Literaturquellen verwendet sowie Daten aus den vom TÜV durchgeführten physikalischen Messungen im Labor. Die Baustellenbesichtigung und der Besuch der Eisenbahnmesse kann wiederum nicht als wissenschaftliche Untersuchung betrachtet werden, da aus dem Gutachten nicht hervorgeht mit welchem Ziel und durch welche Operationalisierungen die Beobachtungen erfolgt sind.

Bewertung der TÜV-Studien

Bewertung der Studie zur Optimierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit an Gleisbaustellen

Die Autoren beurteilen den Ausfall der Warnung und das nicht ordnungsgemäße Räumen des Gefahrenbereichs als Hauptursachen für Rottenunfälle. Die daraus gezogene Schlußfolgerung, den Einsatz von automatischen Warnsystemen zu intensivieren, ist nur teilweise nachvollziehbar, da zwar die Signalgebung durch die Anlagen deutlich sicherer ist, das Befolgen des Signals aber dennoch nicht mit Sicherheit gewährleistet werden kann.

Bezieht man dies auf die Ergebnisse der Unfallanalyse, könnten durch den verstärkten Einsatz von AWS lediglich 21 % der Unfälle vielleicht verhindert werden, nämlich der Anteil, der durch den Ausfall der Warnung zustande gekommen ist. Die Unfälle, denen das nicht ordnungsgemäße Räumen der Gleise als Hauptursache zugeschrieben wird (42 %), können durch die automatischen Anlagen nicht zwangsläufig abgewendet werden.

Nochmals muß an dieser Stelle betont werden, daß zwischen der Zuverlässigkeit der Warnung und dem Befolgen des Warnsignals zwar ein Zusammenhang besteht, diese beiden Schritte aber nicht, wie in dem Gutachten geschehen, als eine untrennbar zusammengehörige, kausale Verknüpfung gesehen werden können. Beide Schritte müssen unabhängig voneinander betrachtet und vor allem untersucht werden.

Schließlich muß noch angemerkt werden, daß die berechnete Risikoreduktion eine theoretische Berechnung bleibt, die auf der Grundlage eines

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Modells entstanden ist und bisher in der Praxis noch nicht verifiziert wurde.

Bewertung der Studie "Erkennbarkeit optischer Warneinrichtungen bei Arbeiten im Gefahrenbereich von Gleisen"

Die im Text angeführten systemergonomischen Überlegungen, bei denen neben der Technik auch der Mensch miteinbezogen werden sollte, finden bei den Schlußfolgerungen und Empfehlungen dieser Studie keine sichtbare Berücksichtigung.

Die physiologische Wahrnehmung und das Verhalten werden in einem Atemzug genannt, ohne zu berücksichtigen, daß zwischen diesen beiden noch einige psychologische Variablen liegen.

Auch werden bei der Besichtigung der Baustelle die dort tätigen Personen kaum berücksichtigt und in die Beobachtungen miteinbezogen.

Generell ist für die Baustellenbesichtigung kein strukturiertes und zielgerichtetes Vorgehen nachvollziehbar, bei dem die wesentlichen Kriterien formuliert und begutachtet werden.

Auch erscheint es etwas fragwürdig, aus der Demonstration mit Hilfe einer Modelleisenbahnanlage Erkenntnisse für die Praxis zu formulieren. Das Transferproblem ist hier offensichtlich.

In dem Bericht werden Beispiele genannt, die gegen eine rein optische Warnung sprechen. Diese werden aber für die Ableitungen nicht mehr berücksichtigt. An diesem Punkt müßte die weiterführende Forschung ansetzen und gezielt empirische Fragestellungen entwickeln, die die Einsatzbedingungen einer optischen Rottenwarnanlage noch weiter spezifizieren könnte.

Auf der Grundlage der Studie kann aber z. Zt. die Anwendung der optischen Warnung nur unter eingeschränkten Bedingungen empfohlen werden.

ORE-Untersuchungen

Vorgehensweise

Die im folgenden zusammengefaßten Berichte basieren auf den Arbeiten des Ausschusses A 124 des ORE (Office des Recherches et d'Essais - Forschungs- und Versuchsamts des Internationalen Eisenbahnverbandes UIC), welcher sich in den Jahren 1971 bis 1980 mit der Klärung der Fragen beschäftigte, die das Merkblatt 730-3 für Rottenwarnanlagen des UIC offen ließ.

Die Fragestellungen bezogen sich auf

- 1 Frequenzen, Lautstärke und Sendeweise akustischer Warnsignale
- 2 Verwendung anderer Warnsignale als akustischer und
- 3 Methoden zur Verhütung gegenseitiger Beeinflussung der gleichzeitig arbeitenden Warneinrichtungen bei Übertragung der Steuersignale auf dem Funkweg.

Im folgenden wird nur auf die Erkenntnisse bezüglich der ersten beiden Fragestellungen eingegangen; die dritte ist in Bezug auf die Fragestellung nach der Wahrnehmbarkeit akustischer und optischer Signale irrelevant.

Da nicht sämtliche Untersuchungen des ORE einzeln dargestellt werden können, wird im folgenden eine zusammenfassende Darstellung der empirischen Vorgehensweise gegeben.

Begonnen wurde mit der Ermittlung und Messung typischer Geräusche beim Gleisbau, d.h., Pegel und Spektrum der von Oberbaumaschinen verursachten Geräusche wurden bewertet, sowie eine Analyse der Schallverdeckung durch Geräusche durchgeführt.

Das Problem der Wahrnehmbarkeit akustischer Signale wurde zunächst durch das Suchen optimaler Warnsignale auf der Basis theoretischer Überlegungen über die Physiologie des Hörens angegangen, d. h. die Anforderungen an das Hörvermögen der Arbeitsrotte analysiert. Außerdem wurden psychologische Aspekte der Arbeitssituation miteinbezogen.

Im Labor wurden in einer echofreien Kammer unter simulierten Betriebsverhältnissen verschiedene Warnsignale unter der Fragestellung der Bevorzugung bestimmter Signale untersucht. Als Hintergrundgeräusch wurden zwei verschiedene Arten von Breitbandgeräuschen verwendet. Für diese Signale wurden sowohl Anforderungen an das Hörvermögen hinsichtlich der Lärmbelastung und dem Einsatz bestimmter Frequenzen formuliert, als auch die sogenannte Mithörschwelle ermittelt. Unter der Mithörschwelle versteht man den Signalpegel, bei dem das Signal vor einem Hintergrundgeräusch von 50% der Versuchspersonen wahrgenommen wird (Zwicker & Feldtkeller 1967).

Die im Labor erzielten Ergebnisse über die Eignung der Warnsignale wurden den Erkenntnissen aus Betriebsversuchen gegenübergestellt und so zwei optimale Signale mit unterschiedlichen Frequenzspektren entwickelt. In weiteren Betriebsversuchen wurde das geeignetste Signal und die Höhe des notwendigen akustischen Warnsignalpegels festgelegt. Außerdem wurden entsprechend die Signale von elektroakustischen Signalgebern untersucht und auch

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

hier Empfehlungen formuliert. Leider wurde hier kein direkter Vergleich der beiden Arten von Signalgebern durchgeführt.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der optimalen optischen Reize war vergleichbar der oben beschriebenen für akustische Warnsignale.

Einordnung des Forschungsansatzes

Die oben zusammengefaßten Studien des ORE umfaßten sowohl Labor- als auch Feldversuche.

Die Fragestellungen der Laborversuche waren hauptsächlich auf das Design der Warntöne ausgerichtet. Es wurden also Variablen der Warnsignale wie optimale Frequenzspektren, Tonhöhe, Lautstärke, Rauigkeit, Tonhöhe etc. untersucht. Durch Hinzunahme von möglichst realitätsnahen Hintergrundgeräuschen wurde versucht, im Labor die akustische Situation auf der Baustelle zu simulieren.

Berücksichtigt wurden hierbei auch die physiologischen Gegebenheiten des menschlichen Gehörs wie beispielsweise Verdeckungseffekte oder die Ermüdung des Gehörs.

Mit Hilfe der sich daran anschließenden Feldversuche sollte sichergestellt werden, daß die Laborergebnisse auf die reale Arbeitssituation auf der Baustelle übertragbar sind. Deswegen wurde hier noch einmal überprüft, welche Warnsignale am besten wahrgenommen werden konnten. Auch hier ging es hauptsächlich um das Design der Töne. Psychologische oder andere Einflußfaktoren wurden nicht berücksichtigt.

Im Feldversuch arbeiteten die Versuchspersonen zum Teil tatsächlich, bei einigen der Versuche wurde die Arbeit simuliert. Die Probanden waren stets über den Zweck der Untersuchung informiert

Bewertung der ORE-Untersuchungen

Die Laborversuche des ORE zeichnen sich durch eine sehr gründliche Untersuchung der physikalisch-technischen und psychoakustischen Rahmenbedingungen beim Einsatz von akustischen und optischen Warnsignalen aus.

Beim methodischen Vorgehen sind allerdings erhebliche Mängel zu konstatieren:

Design und Versuchsaufbau

Aufgrund der vorliegenden Berichte des ORE ist es so gut wie nicht möglich, das Design und den Versuchsaufbau der Experimente nachzuvollziehen.

Es werden keine Versuchspläne erläutert, die Stichproben werden nicht ausreichend beschrieben und auch das Ziel einiger Experimente wird nicht expliziert.

Die gewählten Operationalisierungen werden nicht erläutert, zum Teil wurden wohl auch die unabhängige und die abhängige Variable verwechselt (siehe "Berücksichtigung psychologischer Aspekte").

Auch werden wissenschaftliche Fachbegriffe (z. B. "Blindversuch") falsch verwendet, was die Verständlichkeit des methodischen Vorgehens erschwert. Unter methodischen Gesichtspunkten ist auch problematisch, daß kaum Kontrollgruppen zum Gruppenvergleich herangezogen werden.

Anwendung statistischer Verfahren

Bis auf eine Ausnahme werden keinerlei statistische Verfahren angewandt, sondern durch einfache Prozentrechnungen "bestimmt", welches Signal sich als das geeignete erweist.

Selbst in dem einen Fall, in dem ein statistisches Verfahren angewandt wurde, handelt es sich um eine Methode der deskriptiven Statistik. Es wurde ein Vertrauensintervall berechnet, innerhalb dessen ein Signal mit 95%iger Sicherheit gehört werden konnte.

Zum Vergleich von verschiedenen Signalen bzw. für einen Gruppenvergleich wären aber inferenzstatistische Verfahren unbedingt notwendig gewesen, um überhaupt annäherungsweise sichere Aussagen über die Unterschiedlichkeit von Signalen treffen zu können.

Stichprobengröße

Die Stichprobengröße ist in allen dargestellten Experimenten ziemlich gering, der Range liegt bei 5 bis 12 Personen.

Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse muß bei einer solchen Stichprobengröße in Frage gestellt werden.

Repräsentativität / Parallelisierung der Stichproben

Die Stichproben waren nicht in ausreichendem Maße repräsentativ für die Gruppe der Gleisarbeiter.

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Zum einen wurden in Bezug auf das Alter häufig äußerst homogene Stichproben rekrutiert, meist Männer zwischen 20 und 30 Jahren.

Zum Teil bestanden die Stichproben sogar aus Versuchspersonen, die alle das gleiche Alter hatten (z. B. fünf zwanzigjährige Männer).

Der Range sollte hier der tatsächlichen Altersverteilung der Gleisarbeiter angepaßt werden.

Zum anderen wird es in den ORE-Berichten zwar ausdrücklich als notwendig erachtet, daß auch solche Personen an den Experimenten teilnehmen, *"...die eine für Gleisarbeiter zulässige Verminderung des Hörvermögens aufweisen..."* (ORE-Bericht Nr. 4, S. 17), dies wurde aber nur in zwei Untersuchungen berücksichtigt:

Bei der Untersuchung elektroakustischer Signalgeber wurden für die Ermittlung der Mithörschwellen auch Versuchspersonen eingesetzt, die eine Einschränkung des Hörvermögens aufwiesen.

Hier wurden allerdings junge, guthörende Probanden einer Vergleichsgruppe von 20 Jahre älteren Probanden mit einer Einschränkung des Hörvermögens gegenübergestellt. Eine echte Parallelisierung wäre hier wünschenswert gewesen, so daß auch junge, eingeschränkt hörende sowie ältere, gut hörende Probanden berücksichtigt worden wären. Nur so können Wechselwirkungen zwischen den zwei Variablen Alter und Hörvermögen kontrolliert werden.

Grundsätzlich sollten aber in allen Untersuchungen Probanden mit eingeschränktem Hörvermögen miteinbezogen werden, da Gleisarbeiter häufig aufgrund der vorliegenden Arbeitsbedingungen unter Hörverlusten leiden. Ein Zitat aus dem ORE-Bericht Nr. 9, S.21, soll dies veranschaulichen:

" Sicher ist, daß Gleisbaubeiter, die sehr stark an die großen Lautstärken der Gleisbaumaschinen gewöhnt sind, jedes - zwar noch gut hörbare - aber nicht überlaute Signal psychoakustisch schon als schlecht hörbar einstufen. Der die Versuche leitende ORE-Sachverständige war hier oft anderer Meinung als die Versuchspersonen. Er empfand Signale schon als zu laut, während sie von den Versuchspersonen nur als gut hörbar bzw. schlecht hörbar eingestuft wurden."

Feldforschung

Ein weiterer Kritikpunkt an dem Vorgehen des ORE liegt darin, daß die Versuchspersonen stets über den Zweck der Untersuchung informiert waren, und so ihre Aufmerksamkeit vergleichsweise mehr als sonst

auch auf das Empfangen eines Warnsignals gerichtet war.

Es wurde also, mit anderen Worten, nicht erfaßt, wie schnell die Probanden unter natürlichen Arbeitsbedingungen auf ein Warnsignal reagieren, sondern wie sie ein Signal, auf dessen Erscheinen ihre Aufmerksamkeit gerichtet ist, auf einer Skala einschätzen würden (Die Einschätzung wurde einem Helfer des Versuchsleiters, der stets in der Nähe der Versuchsperson stand, mitgeteilt).

Durch dieses Vorgehen wird das eigentliche Ziel eines Feldversuchs, nämlich die Überprüfung eines bestimmten Effektes in der natürlichen Arbeitsumgebung - also auch unter den natürlichen Ablenkungsbedingungen - nur sehr eingeschränkt erfüllt. Die vorliegenden Untersuchungen können somit nicht als echte Versuche im Feld gewertet werden und haben dadurch eine stark eingeschränkte Aussagekraft.

Versuchsleitereffekte / Objektivität

Wie im vorherigen Punkt schon ausgeführt, wurden die Probanden stets ausführlich über den Zweck der Untersuchung aufgeklärt, es wurden also keine Blindversuche durchgeführt. Außerdem stand jedem Proband noch ein Helfer des Versuchsleiters zur Seite, der dessen Einschätzung des Signals auf einer Rating-Skala notierte. Zum Teil standen auch die Probanden in einer Gruppe zusammen und gaben gemeinsam ein Urteil darüber ab, ob sie ein Signal für geeignet hielten.

Von großer Objektivität kann bei einem solchen Vorgehen nicht ausgegangen werden. Wenn der Versuchsleiter bzw. dessen Helfer während der Untersuchung so präsent sind, daß über die Einschätzungen der Signale während der Untersuchung Erfahrungen ausgetauscht werden, muß von einer sehr starken Verzerrung der Meßergebnisse ausgegangen werden.

Ein objektiveres Vorgehen hätte durch den Einsatz von Blindversuchen verwirklicht werden können.

Berücksichtigung der psychologischen Aspekte der Arbeitssituation

Ein Mangel des Designs liegt weiterhin in der mangelnden Berücksichtigung der psychologischen Aspekte der Arbeitsbedingungen. Diese werden zwar diskutiert, aber bis auf eine Ausnahme nicht beim experimentellen Design der Laborversuche berücksichtigt.

Selbst in diesem einen Fall ist das Design eher unzulänglich, da entgegen des Vorhabens, die

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Reaktionsgeschwindigkeit auf Warnsignale während der Lösung von Rechenaufgaben zu messen, aufgrund der gewählten Operationalisierung die Rechenleistung unter Lärmbedingungen erfaßt wurde. Die abhängige und die unabhängige Variable wurden also quasi vertauscht.

Auch wird bei der Darstellung dieses Experimentes nicht erklärt, wie durch den Rechentest *"...die Bewertung der Persönlichkeitsmerkmale der dem Experiment unterworfenen Person ermöglicht und dadurch auch die Deutung der Versuchsergebnisse erleichtert wird."* (ORE-Bericht Nr. 4, S. 26).

Darüber hinaus ist grundsätzlich in Frage zu stellen, ob nicht auch im Labor eine bessere Simulation von Arbeitsbedingungen möglich gewesen wäre als durch die Addition von Zahlenkolonnen, z. B. durch eine computergestützte, aufmerksamkeitsfordernde Steueraufgabe.

Außer bei dem gerade genannten Verfahren werden keine psychologische Variablen berücksichtigt. Psychologische Variablen wurden nicht in das methodische Vorgehen miteinbezogen.

Zusammenfassung

Fazit dieser Ausführungen ist, daß sowohl die Labor- als auch die Feldversuche wissenschaftlichen Ansprüchen aus mehreren Gründen leider nicht genügen können:

- Design und Vorgehen sind wenig differenziert und unvollständig dargestellt.
- Bis auf eine Ausnahme wurden keine statistischen Analysen durchgeführt, die es erlaubt hätten, zuverlässige Aussagen über die Unterschiedlichkeit verschiedener Warnsignale zu machen.
- Es wurden keinerlei Blindversuche durchgeführt, die Versuchspersonen waren vorher stets über den Zweck der Untersuchung aufgeklärt.
- In keinem Fall wurden Kontrollgruppen eingesetzt, bei Verwendung zweier Experimentalgruppen waren diese nicht genügend parallelisiert. Außerdem war die Gruppenzusammensetzung zu homogen und die Gruppen zu klein um Verallgemeinerungen zuzulassen.
- Die Wechselwirkung zwischen akustischen und optischen Warnsignalen wurde in keinem Fall experimentell untersucht.

Schlußfolgerungen

Wenn wir noch einmal zu den eingangs genannten Fragen zurückkehren, sollte die Literaturrecherche folgende Aspekte des Einsatzes Automatischer Warnanlagen näher beleuchten:

- 1 Kann die Nutzung des akustischen Sinneskanals beim Einsatz automatischer Rottenwarnanlagen als optimal bezeichnet werden?
- 2 Ist eine Ergänzung durch Warnsignale, die andere Sinneskanäle ansprechen (z. B. optische Warnung), hilfreich, unbedeutend oder hinderlich?
- 3 Stellen Kombinationen von Warnsignalen einen Sicherheitsgewinn dar?

Nach dem derzeitigen Forschungsstand kann keine der drei Fragen eindeutig und erschöpfend beantwortet werden.

Der Hauptgrund dafür liegt darin, daß sich zum einen auf Seiten der veröffentlichten Literatur nur wenige Studien überhaupt mit den bahnspezifischen Gegebenheiten beschäftigen. Selbst wenn sie es tun, stehen nicht die hier dargestellten Fragestellungen im Mittelpunkt, sondern andere, die höchsten Hinweise für bestimmte Teilprobleme geben können.

Aber auch auf der Basis der TÜV-Studien und ORE-Untersuchungen, deren Zweck eigentlich die Klärung dieser Fragestellung war, lassen sich die Fragen nicht eindeutig beantworten.

Was die Laborversuche zur Ermittlung des Designs der Warntöne und die Analyse der technisch-physikalischen Rahmenbedingungen für die akustische und optische Warnung anbelangt, sind die durch diese Untersuchungen geschaffenen Grundlagen sehr wertvoll.

Die Übertragung der Erkenntnisse auf die reale Arbeitssituation ist aber durch die beschriebenen Felduntersuchungen nicht gelungen.

Weder in den ORE-Untersuchungen noch in den TÜV-Studien wurde Feldforschung betrieben, die methodisch-wissenschaftlichen Kriterien genügt. Die Aussagekraft dieser Studien ist daher sehr begrenzt und es können keine zuverlässigen Schlüsse im Hinblick auf die Wirksamkeit automatischer Warnanlagen gezogen werden.

Ein Vergleich von optischer und akustischer Warnung bzw. eine Untersuchung der Wechselwirkung zwischen den beiden war überhaupt nicht

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

Untersuchungsgegenstand, weswegen diese Frage auch nicht annäherungsweise geklärt werden konnte.

Legt man noch einmal das zu Beginn vorgestellte Wahrnehmungsmodell zugrunde, setzt der Großteil der Studie bei der Frage an, ob, bzw. welches Signal am besten wahrgenommen werden kann. Wie aber bereits dargelegt wurde, ist die Wahrnehmung eines Reizes nicht zwangsläufig mit einer bestimmten Verhaltensreaktion verknüpft. Hier besteht keine untrennbare kausale Verknüpfung. Die Schritte, die weiterhin Voraussetzungen für das entsprechende Verhalten darstellen, sind an keiner Stelle Gegenstand wissenschaftlicher Forschung.

Insgesamt viel zu wenig werden die Erfahrung und auch die Akzeptanz der Mitarbeiter in Bezug zu diesen Anlagen berücksichtigt. Dies wäre aber für die Fragestellung sehr aufschlußreich.

Wie ebenfalls zu Beginn im Kapitel 3 dargelegt, bestimmen die bestehenden Rahmenbedingungen in einem System ebenfalls das Verhalten der Arbeitenden. Um Aussagen über das Verhalten von Arbeitern treffen zu können muß deshalb das Mensch-Maschine-System in seiner Gesamtheit betrachtet werden.

Aufgrund der recherchierten Literatur können auch unter diesem Blickwinkel keine Aussagen getroffen werden.

Der auf diesem Gebiet bestehende Forschungsbedarf muß also insgesamt als groß bezeichnet werden und kann folgendermaßen umrissen werden.

Es besteht ein Bedarf an:

- 1 Feldforschung zur Wirksamkeit Automatischer Warnsysteme, die auch Verhaltensbeobachtungen und Blindversuche einschließt.
- 2 Befragungen der betroffenen Arbeiter zu ihren Erfahrungen und zur Akzeptanz der Automatischen Warnsysteme.
- 3 Ganzheitliche Forschungsansätze, die auch eine Betrachtung der Rahmenbedingungen miteinschließen.
- 4 Übertragung der oben genannten Fragestellungen auf optische Warnanlagen und Vergleich der beiden Warnsysteme im Feld.

Literaturverzeichnis

- Bender, H. (1976). Sicherheitstechnische Fragen im Gleisbau. *Tiefbau-BG*, 5, 266-275.
- Bock, M., Lazarus, H. & Höge, H. (1985). Über die Gefahrenbedeutung akustischer Betriebs-signale. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 32, 9-17.
- Bock, M., Lazarus, H. & Höge, H. (1985). Zur Kompatibilität zwischen akustischen Signalen und betrieblichen Gefahrensituationen. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 32, 79-86.
- Bock, M., Lazarus, H. & Höge, H. (1986). Die Kompatibilität zwischen akustischen Betriebssignalen und Gefahrensituationen nach dem Urteil von Arbeitnehmern und Studenten. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 33, 46-55.
- Bock, M., Lazarus, H. & Höge, H. (1986). Sozioökonomische Invarianzen beim Erlernen akustischer Warnsignale und Situationen unterschiedlicher Kompatibilität. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 2, 177-193.
- Bock, M., Lazarus, H. & Höge, H. (1986). Verhalten in Gefahrensituationen. Was Hörer bei akustischen Warnsignalen tun und nicht tun würden. *Psychologie und Praxis. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 30, 15- 24.
- Burkhardt, R. (1982). Wichtige technische und organisatorische Maßnahmen bei Arbeiten im Bereich von Gleisbau. *Moderne Unfallverhütung*, 26, 95-98.
- Burt, J. L., Bartolomé, D. S., Burdette, D. W. & Comstock Jr, J. R. (1995). A psychophysiological evaluation of the perceived urgency of auditory warning signals. *Ergonomics*, 11, 2327-2340.
- Caesperlein, H. & Ruppert, G. (1992). Automatische Rottenwarnanlage ARW 5/2. *ETR*, 41, 509-516.
- Davis, R. & Green, F. A. (1969). Intersensory Differences in the Effect of Warning Signals on Reaction Time. *Acta psychologica*, 30, 155-167.
- Durina, E. & Luy, H. (1990). Automatisches Rottenwarnsystem für die Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn. *Signal + Draht*, 82, 20 - 26.

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

- Edworthy, J., Hellier, E. & Hards, R. (1995). The semantic associations of acoustic parameters commonly used in the design of auditory information and warning signals. *Ergonomics*, 11, 2341-2361.
- Edworthy, J., Loxley, S. & Dennis, I. (1991). Improving Auditory Warning Design: Relationship between Warning Sound Parameters and Perceived Urgency. *Human Factors*, 33(2), 205-231.
- Edworthy, J. & Stanton, N. (1995). A user-centred approach to the design and evaluation of auditory warning signals: 1. Methodology. *Ergonomics*, 11, 2262-2280.
- Fidell, S. (1978). Effectiveness of Audible Warning Signals for Emergency. *Human Factors*, 20, 19-26.
- Fröhlich, W. D. & Drever, J. (1983). *Wörterbuch zur Psychologie*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag.
- Fröhner, K.-D. (1994). Analyse und arbeitswissenschaftliches Neugestaltungskonzept der Licht- und Beleuchtungssituation auf den Rangierbahnhöfen der Hamburger Hafenbahn. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 4, 198-204.
- Geyer, H. & Schierle, J. (1992). *Sicherheit im Gleisbereich*. Heidelberg, Mainz: Eisenbahn-Fachverlag.
- Haas, E. C. & Casali, J. G. (1995). Perceived urgency of and response time to multi-tone and frequency-modulated warning signals in broadband noise. *Ergonomics*, 11, 2313-2326.
- Hétu, R. (1994). Mismatches between Auditory Demands and Capacities in the Industrial Work Environment. *Audiology*, 33, 1-14.
- Hofer, K. (1977). Lärmschutz beim Gleisbau. *Arbeitsschutz*, 7, 151-154.
- Hübner, R. (1993). On Possible Models of Attention in Signal Detection. *Journal of Mathematical Psychology*, 37, 266-281.
- Kuwano, S., Namba, S., Fastl, H. & Schick, A. (1997). Evaluation of the impression of danger signals: Comparison between Japanese and German subjects. In: *Contributions to Psychological Acoustics. Results of the Seventh Oldenburg Symposium on Psychological Acoustics*. Oldenburg
- Lazarus, H. (1980). Beeinflusst das Tragen von Gehörschutz die Erkennung von akustischen Signalen? *Zbl. Arbeitsmed.*, 6, 204-212.
- Lazarus, H., Wiemann, H. & Weißenberger, W. (1983). *Die Wahrnehmbarkeit von Rottenwarntyphonen beim Tragen von Gehörschutz*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.
- Lazarus, H. & Höge, H. (1984). Akustische Gefahrensignale für betriebliche Gefahrensituationen. In Schick, A. & Walder, K. P. *Beiträge zur Bedeutungslehre des Schalls*. Bern: Verlag Peter Bern.
- Lehto, M. R. (1991). A proposed conceptual model of human behavior and its implications for design of warnings. *Perceptual and motor skills*, 73, 595-611.
- Leibowitz, H. W. (1985). Grade Crossing Accidents and Human Factors Engineering. *American Scientist*, 73, 558-562.
- Lessing, G. & Sauer, U. (1979). Individueller Gehörschutz und Hörbarkeit akustischer Signale. *Z. ges. Hyg.*, 25, 113-117.
- Levin, G. (1976). Wahrnehmbarkeit akustischer Signale beim Tragen von Gehörschutz. *Die Berufsgenossenschaft*, Dezember, 471-474.
- Lengemann, L. & Stein, H. (1987). Die Individualwarnanlage IWA - Ein sicheres und umweltfreundliches Warnsystem für Personen im Gleisbereich. *Eisenbahningenieur* 38, 51-56.
- Lux, W. (1988). Die automatische Rottenwarnanlage im Rehbergtunnel. *Eisenbahningenieur*, 39, 159-163.
- Mashour, M. & Devine, B. (1973). Detection and Recognition of Railway Signals: A Methodological Study. *Studia Psychologica* XV, 1, 43-53.
- McClelland, I. L., Simpson, C. T. & Starbuck, A. (1983). An audible train warning for track maintenance personnel. *Applied Ergonomics*, 14, 2-10.
- Meisel, R. (1978). Bundesbahn-Lärm bei Oberbauarbeiten und die Angst vor der Bild-Zeitung. *Sicherheitsingenieur*, 1, 20-24.
- Muhler, W. C. (1975). A Field Comparison of Standard Warning Signals and a Sequentially-Fired Flash Tube Array. *Experimental Psychology*, 75, 3094-3095.

Forschungsergebnisse

Literaturrecherche: Analyse automatischer Warnsysteme aus der Perspektive der Wahrnehmungspsychologie

- Müller, C. (1995). Sicherheitsförderung im Gleisbereich - Ein Aspekt der Personalentwicklung. *Tiefbau* 7/1, 512-514.
- ORE (Forschungs- und Versuchsamt des Internationalen Eisenbahnverbandes). (1974-1981). *Frage A 124: Automatische Warnung der Arbeitsrotten*. Berichte Nr. 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12.
- Paté-Cornell, M. E. (1986). Warning Systems in Risk Management. *Risk Analysis*, 2, 223-234.
- Patterson, R. D. (1990). Auditory warning sounds in the work environment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 327, 485-492.
- Poinstingl, G. (1992). Signalabhängige Arbeitsstellen-Sicherungsanlage (SAS) der Österreichischen Bundesbahnen. *Tiefbau-BG*, 6, 408-409.
- Polz, J. (1988). Rottenwarnung auf den Neubaustrecken der Deutschen Bundesbahn - Projektstudie. *Signal + Draht*, 80, 140-145.
- Rauh, H.-J., Bubb, H. & Bubb, P. (1997). *Erkennbarkeit optischer Warneinrichtungen bei Arbeiten im Gefahrenbereich von Gleisen. Abschlußbericht*. TÜV Bayern Sachsen, Energie- und Systemtechnik, München (unveröffentl.)
- Seehafer, W. & Luy, H. (1993). Rottenwarnanlagen auf Schnellfahrstrecken der DB. *Eisenbahningenieur*, 44, 38-43.
- Steindl, H. & Steinbrecher H. (1988). Die Rottenwarneinrichtung der ÖBB. *Signal + Draht*, 80, 238-243.
- Steiniger, U., Bubb, P., Bosch, K. & Engelhardt, A. (1995). *Optimierung von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit an Gleisbaustellen. Abschlußbericht*. TÜV Bayern Sachsen, Geschäftsbereich Energietechnik, München (unveröffentl.).
- Stenczel, A. (1982). Persönlicher Gehörschutz bei Gleisbauarbeiten. *A+A Kongreß Referat*, 7/8, 330-333.
- Stenczel, A. (1994). Qualitätsmanagement - Sicherung gegen die Gefahren des Eisenbahnbetriebes. *Tiefbau*, 6, 366-370.
- Wheale, J. L. (1983). Evaluation of an Experimental Central Warning System with a Synthesized Voice Component. *Aviat. Space Environ. Med.*, 54(6), 517-523.