



**„Feldstudien für die schnelle
Vegetationspflege mit einem
akustisch individuellen
Warnsystem“**

Auszüge aus dem Abschlussbericht
F 06-1301

Dr. Peter Bärenz, Claudia Reichelt, Juliane
Manteuffel

Mai 2014

Gliederung

1	Einleitung	2
2	Ausgangslage	3
3	Beschreibung des aktuell durchgeführten Projekts	5
3.1	Hintergrund.....	5
3.2	Projektziele	6
3.3	Aversive Reize als redundante Signale.....	7
3.3.1	<i>Mechanisch taktile Reizung der Körperoberfläche als Warnsignal</i>	7
3.3.2	<i>Schmerz induzierte Reize als Warnsignal</i>	7
3.4	Das individuelle Warnsystem für die schnelle Vegetationspflege	10
4	Feldstudien (Beobachtungen & Interviews)	12
4.1	Ergebnisse	13
5	Fazit	16
6	Literaturverzeichnis	18

1 Einleitung

Das vorliegende Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung eines individuellen Warngeräts (IWG), das bei Vegetationsarbeiten außerhalb des Gleisbereichs mit der Gefahr, in diesen zu gelangen, eingesetzt werden soll. Solche Arbeiten in einem Hochrisikobereich von Bahngleisen sind durch eine schnelle Vorwärtsbewegung des Arbeitstrupps gekennzeichnet. An solchen Arbeitsstellen stößt die herkömmliche Sicherheitstechnik (z. B. kollektive Warnung oder feste Absperrung) schnell an ihre Grenzen. Hier wäre ein IWG sicherheitstechnisch gerechtfertigt, welches nicht nur Gefahrenzustände (z. B. Zufahrt, Störung) detektiert, sondern auch den Nutzer mit Informationen über seine Umgebung oder den Zustand des Sicherheitssystems unterstützt. In den Arbeitswissenschaften werden solche Arbeitssysteme „Adaptive Arbeitsassistenzsysteme“ genannt, die den Menschen kontextabhängig und selbständig unterstützen. Man kann sie auch der Ambient-Intelligence (Aml)-basierten Sicherheitstechnik zuordnen (Arts und Encarnacao, 2006; Riva et al. 2005). Aml-typische Elemente lassen sich auf drei Ebenen spezifizieren:

- a) Die Informationsgewinnung erfolgt über eine geeignete Sensorik und erfasst Zustände des Nutzers, der Arbeitsaufgabe oder des Arbeitsmittels.
- b) Die Sensorik ist vernetzt aufgebaut und in die Arbeitsumgebung oder das Arbeitsmittel integriert.
- c) Die Reaktion der sicherheitstechnischen Einrichtung erfolgt dann als Informationsdarstellung, Auslösen oder Stoppen von Bewegungen oder anderen prozesstechnischen Anwendungen.

(M. Stiebling, 2013)

In letzter Zeit widmet sich die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) den Forschungsfragen, die durch Aml-Technologien in Produkten oder in der Arbeitsumgebung entstehen, wenn Arbeitsabläufe und -prozesse optimiert und hierdurch die Leistungsfähigkeit des Arbeitssystems, aber auch die Gesundheit und das Wohlbefinden der Beschäftigten beeinflusst werden können. Für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit sind insbesondere Folgenabschätzungen zu den Chancen und Risiken der neuen Technologien in der Arbeitsumgebung sowie hinsichtlich der Auswirkungen auf Arbeitssysteme von Bedeutung (M. Stiebling, 2013).

2 Ausgangslage

In den Jahren 2011/2012 führte die FSA das Projekt „Beurteilung des Einsatzes der individuellen Warnung für bestimmte Arbeitsstellen im bzw. am Gleisbereich – insbesondere unter Berücksichtigung der Trageakzeptanz von individuellen Warngeräten (IWG)“¹ durch. Auf der Grundlage von Literaturstudien, Ableitungen aus der Normung, der Einbindung von Arbeitsschutzexperten und Unternehmen, die Arbeiten im Gleisbereich durchführen, sowie Feldstudien auf Arbeitsstellen in Gleisnähe und im Gleisoberbau wurde eine Risikobewertung der individuellen Warnung hinsichtlich ihrer Eignung für die Sicherung von Arbeitsstellen im und am Gleisbereich vorgenommen.

Bei der individuellen Warnung erhält jeder Beschäftigte im Gleisbereich ein persönliches, tragbares Warngerät, das ihn individuell warnt. Wird ein individuelles Warngerät nicht bzw. nicht korrekt getragen, ist die betroffene Person vollkommen ungeschützt. Dies kann bei Arbeiten im oder in der Nähe des Gleisbereichs einen Unfall mit weitreichendem Schadensausmaß zur Folge haben.

Die sich aus der durchgeführten Risikobewertung abgeleiteten Anforderungen an eine individuelle Warnung im Allgemeinen als auch an das notwendige Design individueller Warngeräte sind im Folgenden kurz dargestellt.

Grundsätzlich muss für den Fall menschlichen Fehlverhaltens - der im hochriskanten Gleisbereich lebensgefährlich sein kann - beim ausschließlichen Einsatz der individuellen Warnung eine wirksame **Rückfallebene** (vgl. Abschnitt 3.4 „Risikominimierende Maßnahmen / Rückfallebene“ und Kapitel 5 „Fazit“) gegeben sein. Diese kann indirekt die arbeitsmedizinische und arbeitspsychologische Eignung der Mitarbeiter betreffen, vor allem aber direkt konkrete technische und organisatorische Maßnahmen am Gerät oder vor Ort an der Arbeitsstelle anzielen, die bei Ausbleiben des gewünschten Verhaltens das Risiko minimieren.

Darüber hinaus sind zur Verbesserung der Wahrnehmung der Warnung wegen der hohen Gefährdung bei Arbeiten im Gleisbereich **redundante Signale** (Ansprechen von zwei Sinneskanälen, vgl. Abschnitt 3.4 „Optische Hinweise“) erforderlich.

¹ FSA Bericht F 06-1101 „Beurteilung des Einsatzes der individuellen Warnung für bestimmte Arbeitsstellen im bzw. am Gleisbereich – insbesondere unter Berücksichtigung der Trageakzeptanz von individuellen Warngeräten (IWG)“

Die Wirksamkeit der individuellen Warnung ist aber auch maßgeblich von der Tragebereitschaft individueller Warngeräte mitbestimmt. Die Einflussgrößen **individueller Trageakzeptanz** von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) sind bekannt (z.B. Strobel 1994, 1996): optische Gestaltung und Design, Tragekomfort und Handhabbarkeit, Möglichkeiten der fachgerechten Arbeitsausführung, Gefahrenbeurteilung und Glaube an die Schutzfunktion. Diese gilt es auch bei der individuellen Warnung zu berücksichtigen.

Darüber hinaus müssen die Regelungen, die nach der Unfallverhütungsvorschrift „Grundsätze der Prävention“ (GUV-V A1) für den Einsatz von PSA gelten, wie individuelle körperliche Voraussetzungen, persönliche Unverträglichkeiten, die Umgebungsbedingungen und Einsatzmöglichkeiten am Arbeitsplatz aber auch hygienische und ergonomische Bedingungen beim Einsatz von individuellen Warngeräten berücksichtigt werden.

Außerdem muss der **Funkempfang** als eine wesentliche Komponente der individuellen Warnung zuverlässig sichergestellt sein, da Störalarm aufgrund von Funkunterbrechung die Akzeptanz der individuellen Warnung erheblich gefährden kann.

Inwieweit die individuelle Warnung für *bestimmte* Arbeitsstellen eingesetzt werden kann, kann letztlich nur mit einer auf den Einzelfall bezogenen Gefährdungsbeurteilung ermittelt werden, die neben der Trageakzeptanz und menschlichem Fehlverhalten auch die Tätigkeiten sowie die Baustellenorganisation berücksichtigt.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Gefährdungsbeurteilungen haben ergeben, dass unter bestimmten Voraussetzungen in Gleisnähe eine individuelle Warnung denkbar ist und sicherheitstechnisch gerechtfertigt sein kann.

EUK und BG BAU bewerteten die individuelle Warnung als Sicherungsmaßnahme für Arbeiten im Gleisbereich als grundsätzlich nicht geeignet. Für Arbeiten im Gleisbereich, z. B. im Gleisoberbau, wurde festgestellt, dass die individuelle Warnung nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht geeignet ist. Unter bestimmten Voraussetzungen ist allerdings für die schnelle Vegetationsdurcharbeitung nach dem Grundschnitt, also bei Arbeiten feldseitig und außerhalb des Gleisbereichs, bei denen die Gefahr besteht, unbeabsichtigt in diesen zu geraten, eine akustisch – individuelle Warnung vorstellbar (vgl. FSA Bericht F 06-1101).²

Die Voraussetzungen an die individuellen Warngeräte und zusätzlich notwendige risikominimierende Maßnahmen sollten im Rahmen des hier beschriebenen Anschlussprojektes (Kap. 3 ff) formuliert werden.

² Die Position der UV-Träger beruht auf der Grundlage des FSA Berichts F 06-1101 und wurde im Rahmen des Abschluss Symposiums „Die Individuelle Warnung – Perspektiven und Möglichkeiten für das Arbeiten im Gleisbereich“ (2012) veröffentlicht.

3 Beschreibung des aktuell durchgeführten Projekts

3.1 Hintergrund

Wie oben schon erwähnt, ist der Einsatz einer akustisch individuellen Warnung für die schnelle Vegetationsdurcharbeitung nach dem Grundschnitt als Präventionsmaßnahme denkbar, da diese auch einen Sicherheitsgewinn im Vergleich zur derzeitigen Praxis der Sicherung darstellen kann. Dies wäre eine Abweichung vom bisherigen Präventionskonzept für diese Tätigkeiten.

Bisher werden Vegetationsarbeiter kollektiv mit tragbaren akustischen Warnsignalgebern gewarnt. Bei einem Störschallpegel der Freischneider von bis zu 112 dB (A) müssen – um sicher zu stellen, dass das Warnsignal gehört wird - die mobilen Warnsignalgeber ständig aufwendig nachgeführt werden, da die Arbeitsstellen sich sehr schnell bewegen. Dies ist in der praktischen Umsetzung problematisch, setzt die Akzeptanz herab, ist nicht in jeder Situation möglich und kann sich daher negativ auf die Sicherheit auswirken.

Im Rahmen eines Anschlussprojektes zu der oben genannten FSA-Studie sollte ein modifiziertes und von den Fachexperten vorgeschlagenes individuelles Warnsystem, das möglichst schnell in der Praxis zur Anwendung kommen kann, einer empirischen Überprüfung unterzogen werden.

Außer Frage stand die Entscheidung für ein individuelles **akustisches** Warnsystem, da es sich bei der akustischen Warnung um eine für den Gleisbereich bewährte Sicherung handelt. Es existieren bereits entsprechende Warnsignale (Ro 1, Ro 2, Ro 3) und ein erforschtes, bewährtes und allgemein anerkanntes Kriterium für den erforderlichen Abstand zwischen Signalpegel und Störschall, um die Wahrnehmung des Signals zu gewährleisten.

Ein entsprechendes Kriterium fehlt beispielsweise für die optischen und aversiven (taktile / Schmerz) Reize, deshalb wurden diese ausschließlich auf ihre Tauglichkeit zur Gewährleistung der Redundanz geprüft.

3.2 Projektziele

Die EUK und BG BAU haben auf Grundlage der vorliegenden Erkenntnisse in enger Zusammenarbeit mit DB Fahrwegdienste GmbH beschlossen, eine empirische Überprüfung eines von Fachexperten vorgeschlagenen individuellen akustischen Warnsystems durchzuführen. Das Warnsystem soll unter Berücksichtigung redundanter Signale und erforderlicher Rückfallebenen entwickelt werden. Grundlage ist eine Risikobeurteilung nach EN ISO 12100.

Die UVT wollen aus dem Ergebnis Empfehlungen für ein IWG ableiten, das für die schnelle Vegetationspflege geeignet ist. Im Rahmen von Feldversuchen soll das IWG getestet und das Sicherheitsverhalten von mit IWG gesicherten Vegetationsarbeitern beobachtet und bewertet werden.

Auf der Basis der bisher durchgeführten Gefährdungsbeurteilungen und Risikobetrachtungen wurde ein vorläufiges Anforderungsprofil für ein IWG erarbeitet, auf dessen Grundlage ein Prototyp gebaut wurde. Dieser wurde dann in einem Feldversuch erprobt. Im Anschluss daran wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse ein endgültiges, überarbeitetes Anforderungsprofil vorgelegt. Das so beschriebene IWG wird in Kap 3.4 dargestellt.

Im Laufe des Projekts war die Frage zu klären, welches redundante Signal neben dem akustischen Warnsignal eingesetzt werden sollte. Neben dem optischen Signal³ wurde auch der Einsatz aversiver taktiler Reize oder aversiver Schmerzreize theoretisch diskutiert. Die Ausführungen hierzu finden sich im folgenden Kapitel 3.3. Die Überprüfung der Wirkung von aversiven Reizen war nicht Gegenstand der empirischen Untersuchung. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf ein Projekt der TU Dresden, deren Ergebnisse zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts noch nicht bekannt waren.

³ Derzeit sehen die Regelungen der Eisenbahn-Signalordnung weder optische noch taktile Warnsignale vor.

3.3 Aversive Reize als redundante Signale

3.3.1 Mechanisch taktile Reizung der Körperoberfläche als Warnsignal

Über taktile Reizung⁴ der Haut können intensive Reize vermittelt werden. Ob diese möglicherweise auch als Warnsignale geeignet sind, ist nachdrücklich zu hinterfragen. Es gibt eine Reihe von Hindernissen, die ein solches Warnkonzept erschweren:

- Mechanische Hautreizung habituiert schnell aus, d.h. die Reaktionen auf einen Reiz werden schnell schwächer.
- Von der Hautreizung bekannte taktile Illusionen (Saltationseffekt⁵, taktiles phi-Phänomen⁶) erschweren die Erzeugung eines stabilen Reizmusters auf der Haut.
- Die Erzeugung der notwendigen aversiven Reizkomponente erfordert einige Vorarbeit. Es müssen taktile Reizmuster auf der Haut ermittelt werden, die eine intrinsische, aversive Komponente beinhalten, die dem Konzept des neurophysiologisch angepassten Warnreizes gerecht werden.

(D. Kleinböhl, 2013)

Der Einsatz mechanisch taktile Reize als Warnsignal für den Hochrisikobereich „Arbeiten im Gleisbereich bzw. in der Nähe des Gleisbereichs“ ist ein für die Grundlagenforschung interessanter Ansatz, aber für die Praxis derzeit nicht verwendbar.

3.3.2 Schmerz induzierte Reize als Warnsignal

In dem genannten Fachkolloquium wurde die Frage diskutiert, ob nozizeptive, also potentiell schmerzhaft Reize⁷ für Arbeiter unter hohem Gefährdungspotential als Warnsignale geeignet sind. Eine konkrete Implementation eines nozizeptiven Warnsystems wurde vorgestellt, die zeigt, dass die Idee eines solchen individuellen Warnsystems nicht völlig unrealistisch ist. Allerdings ist noch grundlegende Forschungsarbeit zu leisten.

Es wird davon ausgegangen, dass der Schmerzreiz über eine Elektrode, die in eine Textilmanschette eingebaut ist, induziert wird. Eine Auswahl von Fragen, die die

⁴ Ein typisches taktiles Signal ist z.B. die Vibration eines mobilen Telefons, dessen Klingelton ausgeschaltet ist. In diesem Zusammenhang sei auf das Diskussionsergebnis (s. Abschnitt 3.3.2) des im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Fachgesprächs "Einführung in die Neurophysiologie und Psychophysik der Schmerz Wahrnehmung - Zur Entwicklung individueller Warnsysteme basierend auf taktile oder nociceptiver Stimulation der Haut" (Mannheim, 2013) hingewiesen.

⁵ Bei dieser taktile Illusion wird die Position eines Reizes örtlich verschoben wahrgenommen, wenn ihm zeitnah ein räumlich entfernter Reiz folgt (Stolle, 2003).

⁶ Wahrnehmung einer kontinuierlichen Bewegung (Scheinbewegung) zwischen zwei räumlich getrennten, zeitlich aufeinander folgenden Objekten (Stolle, 2003).

⁷ z.B. thermische und elektrische Reize

Verwendung nozizeptiver Reize als Warnsignale in sich bergen, wird im Folgenden dargestellt:

a) Sind ethische Fragen ausreichend geklärt?

Wie wird die Schmerzintensität individuell angepasst, dass der medizinische Grundsatz „nihil nocere“ eingehalten wird?

b) Sind die speziellen Baustellenbedingungen berücksichtigt?

Wie wird gewährleistet, dass die Schmerzreize unter Berücksichtigung der Baustellenbedingungen (Handmaschineneinsatz, körperliche Anstrengung, Zwangshaltungen, Einwirkungen durch den Arbeitsprozess wie z.B. Anstoßen, Anpressen von Körperteilen an Maschinen infolge der Arbeitshaltung) sicher wahrgenommen werden? Es ist völlig ungeklärt, welche Intensität erforderlich ist, um den Warnsignal-Schmerzreiz vor diesen Fremdeinwirkungen sicher identifizieren zu können.

c) Wo wird die Manschette angelegt?

Wenn die Manschette am Unterschenkel angelegt wird, ist ein Diabetes im fortgeschrittenen Stadium auszuschließen. Wird sie aber am Oberarm angelegt, ist dieses Risiko zwar geringer, allerdings ist dann eine andere arbeitsmedizinische Frage aufzuwerfen:

d) Überlagerung des Schmerzreizes durch Schwingungen, die sich aus der arbeitsbedingten Hand-Arm-Vibration ergeben

Welche Frequenzen sind für den Schmerzreiz zu wählen, damit er sicher von dem Vibrationsempfinden zu unterscheiden ist? Welche Intensität und Modulierung der Frequenz des Reizes ist zu wählen? Bei der akustischen Warnung muss der Schallpegel des Warnsignals $>3\text{dB (A)}$ über dem Umgebungslärm liegen. Ist ein vergleichbares Konzept der Differenzierung bei Schmerzreizen und Vibrationsreizen denkbar? Die Frage lässt sich möglicherweise nur durch ein Grenzwertkonzept beantworten. Wissenschaftliche Untersuchungen gibt es zu dieser Fragestellung nicht.

e) Gibt es Krankheitsbilder, die die Schmerzreizempfindung beeinträchtigen?

Sind Neuropathien denkbar, die auszuschließen sind? Wenn ja welche?

Sind Allergien durch das Anlegen der Elektroden auf die Haut denkbar?

f) Sind Beschäftigte mit Herzrhythmusstörungen auszuschließen?

Eine Ringelektrode würde eine Gefahr für Herzschrittmacherpatienten einschränken. Bei anderen Elektroden besteht eine Gefahr, weil hohe Ströme über die Haut fließen können.

g) Welche Anforderungen sind an eine arbeitsmedizinische Eignungsuntersuchung zu stellen?

Welche Kriterien sind anzulegen?

Ist eine solche Untersuchung überhaupt durchzuführen?

h) Problemfeld Hautwiderstand in Kombination mit der Schmerzreizung

Die Funktionsfähigkeit der Elektrode muss durch eine elektronische Selbstüberwachung gewährleistet sein. Das Verrutschen der Elektrode soll über eine Veränderung des Hautwiderstandes identifiziert werden. Mit der Elektrode wird gleichzeitig der Hautwiderstand gemessen und der Schmerzreiz induziert. Wie wird die Selbstüberwachung gewährleistet?

i) Problemfeld Hautwiderstand

Was passiert, wenn der Hautwiderstand durch Nässe (Schwitzen, Regen) sinkt? Wie wird der Schmerzreiz konstant gehalten?

Was passiert, wenn der Hautwiderstand durch das Abheben von der Haut (z.B. Kratzen unter der Manschette, Abnahme der Manschette) gegen „0“ geht?

Wie ist gewährleistet, dass auch nach dem Verrutschen der Manschette immer Nozizeptoren gereizt werden und nicht Vibrationsrezeptoren? Das dürfte von der Art der Elektroden abhängen.

j) Problemfeld Hygiene

Muss die Haut vor dem Einsatz der Elektrode gereinigt werden? Brauchen wir zur Verbesserung des Hautkontakts ein Gel?

k) Tragesicherheit

Ist gewährleistet, dass die Anbringung der Manschette auch dauerhaft ohne Verschleiß des Materials (hält das Klettband über Monate?) gewährleistet ist?

l) Normgerechte Konstruktion

Nach welchen Normen wird das Gerät konstruiert? Vorgaben des Medizingerätegesetzes reichen nicht aus.

Für die Entscheidung, welche Reize als Redundanz neben dem akustischen Signal des individuellen Warngeräts in Frage kommen, schloss sich aufgrund der Vielzahl ungeklärter Fragen und dem offenen Forschungsfeld die Verwendung aversiver Reize aus.

Da sich optische Signale bereits bei der kollektiven Warnung als nützliche Erinnerungsanzeigen erwiesen haben, fiel die Entscheidung auf diese. Allerdings muss die Blickverbindung zum Signal sichergestellt (Optik stets im Gesichtsfeld) und eine Überlagerung des Reizes durch Rahmenbedingungen verhindert werden. Das Signal muss richtungs- bzw. vom individuellen Verhalten unabhängig wahrnehmbar sein.

3.4 Das individuelle Warnsystem für die schnelle Vegetationspflege

Ein von der Firma Zöllner Signal GmbH in Zusammenarbeit mit der DB Fahrwegdienste GmbH entwickeltes individuelles akustisches Warnsystem für die schnelle Vegetationspflege existierte bereits und wurde im vorangegangenen Projekt im Rahmen von Feldversuchen eingesetzt und - wie auch andere existierende IWG⁸ - bewertet. Im Rahmen mehrerer Expertenrunden erfolgte eine Modifikation des Systems hin zu einem individuellen Warnsystem mit akustischer Warnung und optischen Signalen als Redundanz, das die folgenden Anforderungen berücksichtigt:

- Integration des akustischen Warnsignals in den Gehörschutz
Das Warngerät für das akustische Signal ist fest im Gehörschutz integriert.⁹ Der Gehörschutz ist am Helm mit Visier angebracht. Das Headset ist mit Kabel am Empfangsgerät angeschlossen.
- Warnsignal: bi-sound-Signal
Die Technische Mitteilung TM 2013-155 I.NVT 2 der DB Netz AG (gültig ab 16.12.2013) legt das bi-sound-Signal als einheitliches und damit eindeutiges akustisches Warnsignal zur Warnung der Beschäftigten vor den Gefahren des Bahnbetriebs fest.
- Intensität des Warnsignals am Ohr
Der erforderliche Warnsignalpegel (L_S) am Ohr wird ermittelt durch:
$$L_S = L_N - H/M + 3 \text{ dB(A)}$$

(L_N =maschineneigener Störschalpegel am Ohr, H/M =Dämmwert des Gehörschützers)
- Prüfung Signalhörbarkeit / Hören von Achtungssignalen
Der verwendete Gehörschutz muss für das Hören von Achtungssignalen (Signal Zp 1) von Triebfahrzeugen geeignet sein. Das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) führt die entsprechende Prüfung durch.
- Informationsarten: Signale, optische und sprachakustische Hinweise
 - a) Akustische Signale: Ro 1 und Ro 3, wobei das Störsignal der Regelalarm ist.

⁸ Vgl. FSA Bericht F 06-1101, Abschnitt 1.2.3.2. *Historie individueller Warnsysteme.*

Das MinimeI95-EPW der Firma Schweizer Electronic wies folgende erhebliche Nachteile auf, weshalb dieses für das weitere Vorgehen nicht in Betracht gezogen wurde: keine redundanten Signale, Ohrhörer des Warngeräts nicht in den Gehörschutz integriert, schlechte Funkverbindung.

⁹ Durch die Integration des Warngeräts in den Gehörschutz ist eine sichere Wahrnehmung des Warnsignals bei einem Störschalpegel von mehr als 85 dB (A) gewährleistet. Darüber hinaus ergaben die in 2011 durchgeführten Befragungen, dass die Kombination aus Kopfhörer, Gehörschutz und Schutzbrille einen unangenehmen Druck bei den Testträgern verursacht, der durch eine Integration vermieden werden kann (s. FSA Bericht F 06-1101, Abschnitt 4.1.1.2 *Befragungsergebnisse*).

b) Optische Hinweise: Grüne Leuchtdioden haben sich bei den Feldversuchen in 2012 als ungünstig erwiesen. Für das modifizierte Testgerät wurden deshalb blaue Leuchtdioden gewählt. Die sicherheitstechnische Konformität wurde von der Prüf- und Zertifizierungsstelle Nahrungsmittel und Verpackung (DGUV Test) geprüft. Die Messung der optischen Strahlung ergab, dass weder für die Augen noch für die Haut des Bedienpersonals / Helmträgers eine Gefährdung besteht.

Optische Hinweise (langsameres rhythmisches Aufleuchten der Dioden) werden im Normalzustand des IWG als Hinweis darauf abgegeben, dass das Gerät ordnungsgemäß in Betrieb ist. Im Falle einer akustischen Warnung werden als Redundanz ebenfalls optische Signale (schnelles Blinken) abgegeben.

c) Sprachansagen: Wegen der Vielzahl an unterschiedlichen Informationen soll zusätzlich zu den optischen Signalen eine Sprachansage stattfinden. Sie hat wie die optischen Hinweise durch Leuchtdioden in Verbindung mit einem Warnsignal immer nur hinweisenden Charakter. Die Verwendung der deutschen Sprache ist ausreichend. Wir gehen davon aus, dass Personen mit Migrationshintergrund, die auf Vegetationsarbeitsstellen eingesetzt werden, ein Sprachniveau von A2¹⁰ haben, das bei entsprechender Einweisung ausreicht, die Sprachansage richtig zu identifizieren.

- Tages-Lärmexpositionspegel

Grundsätzlich darf die Lärmbelastung durch den (gedämmten) Maschinenschall und die kurzfristigen Warnsignale den Tages-Lärmexpositionspegel nach LärmVibrationsArbSchV bezogen auf acht Arbeitsstunden nicht überschreiten.

- Akkulaufzeit

Die Energieversorgung erfolgt über Akkus. Eine Laufzeit von mindestens einer Arbeitsschicht soll gewährleistet sein. Der Akku-Stand soll am einzelnen Gerät und für alle Geräte an der Zentrale angezeigt werden können.

- Risikominimierende Maßnahmen / Rückfallebenen

- Das Gerät kann vom Träger nicht ausgeschaltet werden.
- Am IWG ist eine Lichtschranke angebracht, die den richtigen Sitz der Gehörschutzkapsel am Ohr überprüft: Bei Absetzen, Abklappen oder unkorrektem Sitz des Gehörschutzes gibt es eine Warnung (und optische Redundanz) an den Träger und die Sicherheitsaufsicht (Ro 1).

¹⁰ „Grundlegende Kenntnisse“ nach GER (Gemeinsamer Europäischer Referenzrahmen für Sprachen)

- „Abmeldung“ eines Nutzers (als bewusste willentliche Handlung) bei der Sicherungsaufsicht durch Betätigung eines Knopfes an der Gehörschutzkapsel. Dies z.B. beim Verlassen des Gleisbereichs für Pausen oder Auftanken des Freischneiders.
- Individuelles Störsignal an den IWG-Nutzer und an die Sicherungsaufsicht z.B. bei Funkunterbrechung oder Kabelbruch. Die Sicherungsaufsicht kann an der Bedieneinheit die Störungen den Personen auf der Arbeitsstelle individuell zuordnen.

Anmerkung: Im Zuge der weiteren Beratungen nach den Feldversuchen zwischen DB Fahrwegdienste, Zöllner Signal GmbH und den UV-Trägern wurde festgelegt, dass auch die Sicherungsaufsicht an der Zentrale (bzw. der Bediener) durch die Zentrale das Warnsignal erhält (Signalcharakter bi-sound, Signal fail-safe).

Zum Zeitpunkt der Feldversuche waren noch nicht alle beschriebenen Funktionalitäten vollständig realisiert.

4 Feldstudien (Beobachtungen & Interviews)

Im Rahmen des Projektes wurden im November / Dezember 2013 insgesamt 18 Arbeitsstellen (je 3-5 Mitarbeiter und 1 Sakra) mit n=82 Beschäftigten beobachtet. Es handelte sich um Vegetationsarbeitsstellen der DB Fahrwegdienste GmbH.

Vor Arbeitsbeginn wurden die Mitarbeiter mit IWGs ausgestattet, sie erhielten eine Einweisung in die Geräte und wurden über die Hintergründe der Beobachtung informiert.

Die Arbeiten erfolgten unter dem Schutz einer weiteren Sicherungsmaßnahme. Die Warnungen wurden durch Funk-Handauslösung simuliert¹¹. Die Mitarbeiter sollten daraufhin kurz ihre Arbeit einstellen und ein Zeichen geben, sodass eindeutig erkennbar war, ob das Warnsignal wahrgenommen wurde.

Die IWGs wurden etwa eine halbe Schicht getragen. Anschließend wurden die Mitarbeiter einzeln zu ihren Eindrücken befragt.

¹¹ Eine Auslösung der Warnung durch einen Schienenkontakt ist vorgesehen, wurde aber während der Versuche nicht realisiert.

4.1 Ergebnisse

Auf den beobachteten Vegetationsarbeitsstellen wurden hauptsächlich Arbeiten der schnell wandernden Vegetationsducharbeitung mit Freischneidern, Motorkettensägen und Häckslern beobachtet (s. Abbildungen 1/2/3).



Abb.1: Vegetationsarbeiten mit Freischneider



Abb.2: Vegetationsarbeiten mit Motorsäge



Abb.3: Vegetationsarbeiten mit Häcksler

Alle Mitarbeiter reagierten – wie vereinbart – auf die Warnsignale des IWG. Insgesamt wurden 82 Personen im Anschluss an die Trageversuche befragt.

Das im Rahmen der Feldversuche erprobte individuelle Warnsystem erzielte bei den künftigen Nutzern hohe Akzeptanz, trotz der geschilderten „Kinderkrankheiten“. Das System wird im Vergleich zur bisherigen Praxis als Sicherheitsgewinn bewertet. Die optischen und akustischen Signale sowie die Sprachansagen werden von den Probanden gut identifiziert. Sie werden als nicht lästig empfunden.

Darüber hinaus scheinen die Mitarbeiter von DB Fahrwegdienste GmbH ein ihrer Arbeitstätigkeit angemessenes Sicherheitsbewusstsein zu haben. Die Schutzkleidung incl. IWG wurde bei den Beobachtungen vorschriftsmäßig getragen und die Aussagen der Mitarbeiter lassen darauf schließen, dass sie die Gefahren aus dem Bahnbetrieb und aus der Arbeit nicht unterschätzen. Sie selbst beschreiben sich als zuverlässig.

Die Grundvoraussetzungen einer hohen Tragebereitschaft wie Zuverlässigkeit der Mitarbeiter, angemessene Gefahrenkognition und ergonomische Anforderungen eines IWG, die maßgeblich für die Wirksamkeit der individuellen Warnung sind, sind somit erfüllt.

Bevor das im Rahmen der Feldstudien erprobte individuelle Warnsystem endgültig in der Praxis eingesetzt werden kann, müssen noch einige Anpassungen und Überlegungen vorgenommen werden. Zum Beispiel:

- Die Möglichkeit der Trennung zwischen Helm-Visier-Kombination und Funkempfänger im Rucksack muss diskutiert werden (Steckverbindung). Die Trennmöglichkeit wäre sinnvoll für Arbeitspausen und um Risiken durch das Verfangen des Kabels im Buschwerk o.ä. zu vermeiden. Bei einer Steckverbindung besteht jedoch die Gefahr, dass der Beschäftigte während der Arbeiten die Verbindung löst und die Warnung nicht erhält (Lösen der Steckverbindung muss zu Alarm bei Sicherheitsaufsicht und Träger führen).
- Zu häufig ausgelöster Störalarm aufgrund eines falsch getragenen Headsets (z.B. durch Verrutschen) muss minimiert werden. Zum Beispiel durch Optimierung der eingesetzten technischen Lösung zur Erkennung eines falsch getragenen Headsets (Ohrerkennung mittels Lichtschranke).
- Inwieweit die Ohrerkennung im Winter beim Tragen von Mützen gewährleistet ist, muss geklärt werden. Mützen mit „ausgeschnittenen Ohren“ sind denkbar.
- Die verbalen Ansagen (Klarsprache) sollten grundsätzlich lauter sein.
- Das Gewicht der Zentrale ist nach ergonomischen Kriterien mit ca. 6 Kg vertretbar. Bei Personen mit körperlicher Einschränkung (z.B. einem Rückenleiden) empfiehlt sich zur Gewichtsentslastung eine Tragehilfe oder Vergleichbares (z.B. ein Einbein-Stativ).

Derzeit werden die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Feldstudien in ein Lastenheft überführt und spezifiziert.

5 Fazit

Grundsätzlich ist die individuelle Warnung für Arbeiten im Gleisbereich nicht geeignet.

Die in diesem Projekt gewonnenen Erkenntnisse beziehen sich auf den Sonderfall der schnellen Vegetationspflege (Arbeiten feldseitig und außerhalb des Gleisbereichs mit der Gefahr, in diesen zu geraten). Für diesen Fall wurde die zugrunde liegende Gefährdungsbeurteilung und die Bewertung der Eignung und Angemessenheit dieses Sicherungssystems vorgenommen und die gemäß ArbSchG zu berücksichtigende Hierarchie der Sicherungsmaßnahmen geprüft (individuelle Warnung ist nachrangig zur kollektiven Warnung).

Die erlangten Erkenntnisse sind ausschließlich auf die Arbeitsumgebung von schnell wandernden Vegetationsarbeitsstellen übertragbar. Eine Extrapolation auf andere Arbeitsstellentypen ist völlig unzulässig, da sie ganz anderen Rahmenbedingungen unterliegen. Darüber hinaus ist die hier untersuchte Stichprobe eine ausgelesene von augenscheinlich zuverlässigen Mitarbeitern der DB Fahrwegdienste.¹² Eine Übertragbarkeit auf z.B. Nachunternehmer ist nur bedingt gegeben, da hier die Sicherheitskultur – als ein risikominimierender Faktor – ungeklärt ist.

Kritisch ist anzumerken, dass die gewonnenen Erkenntnisse auf der Grundlage einer Querschnittsuntersuchung¹³ gewonnen wurden. Wie sich das Tragen des individuellen Warngerätes langfristig auf das Sicherheitsverhalten auswirkt, ist nicht abzuschätzen. Die Beschäftigten fühlen sich im Vergleich zur bisherigen Warnung sicher und sehen durchaus einen inkrementellen Wert gegenüber der kollektiven Warnung. Allerdings könnte sich langfristig das subjektive „Sicherheitsgefühl“ erhöhen, dadurch könnte sich auch das Risikoverhalten dahingehend verändern, dass die Beschäftigten sich riskanter verhalten. Damit wäre der Sicherheitsgewinn kompensiert. Klebelsberg (1967) sprach von einer Risikokompensation. In der Verkehrspsychologie gibt es zahlreiche Beispiele dafür.

Die Möglichkeit der Risikokompensation unterstreicht noch einmal die Wichtigkeit risikominimierender Maßnahmen bzw. wirksamer Rückfallebenen für die Sicherung mit individuellen Warnsystemen, die für diese sowieso Grundvoraussetzung sind (s. auch FSA

¹² Von der berichteten hohen Sicherheitskultur wurde im Einzelfall auch abgewichen. Die Sicherheitskultur als solche war nicht Gegenstand der Untersuchung, müsste aber genauer beobachtet werden, um den „Erfolg“ der individuellen Warnung vorherzusagen.

¹³ Die Daten beziehen sich nur auf einen bestimmten Zeitpunkt.

Bericht F 06-1101, Abschnitt 5.1.1 „Mindestanforderungen an eine individuelle Warnung“).

Folgende risikominimierende Maßnahmen/Rückfallebenen müssen vorhanden sein:

- Zuverlässigkeit der Mitarbeiter (Sicherheitskultur)
- Technische Voraussetzungen des individuellen Warngeräts (z.B. kein Ausschalten des Geräts, Trageüberwachung, Abmelderegung, Störungserkennung, vgl. Abschnitt 3.4)
- Organisatorische Regelungen vor Ort (Was passiert, wenn die Technik anschlägt?)
- Arbeiten außerhalb des Gleisbereichs

Das grundsätzliche Problem der Interpretation von Querschnittsstudien betrifft natürlich auch die langfristige Wirkung der optischen Signale, der akustischen Warnsignale, der Sprachansagen und die langfristigen ergonomischen Auswirkungen.

Im Rahmen des Vorgängerprojektes zeigte sich, dass die individuelle Warnung neben den speziellen Arbeiten der Vegetation auch für Arbeiten von bis zu drei Beschäftigten (homogene Tätigkeiten & homogene Gruppe) eine geeignete Sicherungsmaßnahme darstellen könnte.

Die vorliegenden Querschnittsergebnisse lassen sich jedoch nicht auf die Arbeit von bis zu drei Beschäftigten übertragen. Dies würde eine genaue Betrachtung der in Frage stehenden Arbeitsstellen mit anschließender Risikobetrachtung und Bewertung der Sicherheitskultur erfordern, ehe eine entsprechende Entscheidung getroffen werden kann.

6 Literaturverzeichnis

- Arts, E. & Encernacao, J. (2006). *True Visions: The Emergence of Ambient Intelligence*. Heidelberg: Springer.
- Bernard, M. & Schwanke, A. (2014). Einheitswarnsignal bi sound für den Gleisbau. *Bahn Praxis* (2).
- Biernath, G., Hornberger, U. & Rätzer-Frey, A. (2000). *Feldstudie zu arbeits- und wahrnehmungspsychologischen Rahmenbedingungen automatischer Warnsysteme im Gefahrenbereich von Gleisen*. Mannheim: FSA.
- DIN EN ISO 12100 -*Sicherheit von Maschinen - Allgemeine Gestaltungsleitsätze Risikobeurteilung und Risikominderung* (ISO 12100:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010.
- Elzheimer, D. (2/1999). Auswertung der Fragebogenaktion des Verbandes Deutscher Sicherheitsingenieure – VDSI – e.V. in Zusammenarbeit mit dem BIA. *BIA Report "Erhöhte Akzeptanz von Persönlichen Schutzausrüstungen durch ergonomische Gestaltung"*.
- ERRI A 158/RP 3 Teil I. *Systeme zur individuellen Warnung von Personen im Gleisbereich - Pflichtenheft für individuelle und kollektive Warnsysteme für Personen im Gleisbereich*. (1996). Utrecht.
- Häcker, H. & Stapf, K. H. (1998). *Dorsch Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Hans-Huber.
- Hoyos, C. G. & Ruppert, F. (1993). *Der Fragebogen zur Sicherheitsdiagnose (FSD): Entwicklung und Erprobung eines verhaltensorientierten Verfahrens für die Betriebliche Sicherheitsarbeit*. Bern: Huber.
- Klebensberg, D. (1982). *Verkehrspsychologie*. Berlin: Springer
- Kluwe, R. H. (1990). Problemlösen, Entscheiden und Denkfehler. In C. G. Hoyos, & B. Zimolong (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Themenbereich D Praxisgebiete, Serie III Wirtschafts-, Organisations- und Arbeitspsychologie, Band 2 Ingenieurpsychologie*. Göttingen: Hogrefe.

- Manteuffel, J. & Bärenz, P. (2012). *Beurteilung des Einsatzes der individuellen Warnung für bestimmte Arbeitsstellen im bzw. am Gleisbereich - unter Berücksichtigung der Trageakzeptanz von individuellen Warngeräten*. Mannheim: FSA.
- Musahl, H.-P. (1997). *Gefahrenkognition: theoretische Annäherung, empirische Befunde und Anwendungsbezüge zur subjektiven Gefahrenkenntnis*. Heidelberg: Asanger.
- Musahl, H.-P., Groß-Thomas, C. & Müller-Gethmann, H. (1994). Gefahrenkenntnis und Arbeitssicherheit – Entwicklung und Evaluation eines „top-down“-Programms. In F. Burkardt & C. Winkelmeier (Hrsg.), *Psychologie der Arbeitssicherheit 7. Workshop*. Heidelberg: Asanger.
- Reason, J. (1994). *Menschliches Versagen. Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum.
- Riva, G., Vatalaro, F. & Davide, F. (2005). *Ambient Intelligence. The evolution of Technology, Communication and Cognition towards the Futer of Human-Computer Interaction*. Amsterdam: IOS Press.
- Schaper, N. (2011). Psychologie der Arbeitssicherheit. In F. Nerdinger, N. Blickle & N. Schaper (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie*. Berlin: Springer.
- Schlag, B., Ellinghaus, D. & Steinbrecher, J. (1986). Risikobereitschaft junger Fahrer. *Schriftenreihe Unfall- und Sicherungsforschung Straßenverkehr der Bundesanstalt für Straßenwesen* (Heft 58).
- Semmer, N. & Regenass, A. (1996). Der menschliche Faktor in der Arbeitssicherheit - Mechanismen, Verhütung und Korrektur von menschlichen Fehlhandlungen. In G. Grote & C. Künzler (Hrsg.), *Theorie und Praxis der Sicherheitskultur*. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Stiebling, M. K.-E. (2013). Chancen und Risiken von ambient-intelligence - basierter Sicherheitstechnik. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 67, 3.
- Stolle, A. *Taktile Illusionen: Wahrnehmung und neuronale Analyse spatiotemporaler Reizmuster*, veröffentlichte Diss., Universität Mannheim 2003.
- Strobel, G. (1994). Persönliche Schutzausrüstung: Motive mangelnder Tragebereitschaft und Maßnahmen zur Förderung der Akzeptanz. In F. Burkardt & C. Winkelmeier (Hrsg.), *Psychologie der Arbeitssicherheit 7. Workshop*. Heidelberg: Asanger.
- Strobel, G. (1996). Persönliche Schutzausrüstung. In G. Wenninger & C. G. Hoyos (Hrsg.), *Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz*. Heidelberg: Asanger.

Wenninger, G. (1991). *Arbeitssicherheit und Gesundheit: psychologisches Grundwissen für betriebliche Sicherheitsexperten und Führungskräfte*. Heidelberg: Asanger.

Zimolong, B. (1978). *Gefährdungseinschätzung beim Rangieren*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.