

Elektrische Stimulation zur Personenwarnung

Katrin HÖHN

*Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
TU Dresden, Fakultät Maschinenwesen
D-01062 Dresden*

Kurzfassung: Derzeitige Schutzkonzepte bei Gleisbauarbeiten und Grünpflegearbeiten im Bereich der Deutschen Bahn gehen davon aus, dass technische, organisatorische und personenbezogene Schutzmaßnahmen in Kombination zum Einsatz kommen. So werden derzeit neben akustischen bzw. optischen Signalen im Gleisbereich zusätzliche Sicherungsposten eingesetzt. Dennoch treten Probleme auf, immer wieder kommt es zu schweren oder tödlichen Unfällen im Gleisbereich. Im Rahmen von Forschungsarbeiten wurde untersucht, wie neue Textilien für eine taktile Warnung vor Gefährdungen im Gleisbereich genutzt werden können. Die taktilen Warnungen stellen eine zusätzliche individuelle persönliche Schutzausrüstung dar. In zwei Studien mit entsprechenden Labor- und Feldversuchen wurde die Machbarkeit der neuen Warnung getestet.

Schlüsselwörter: Individuelle Warnung, taktile Warnung, Gleisbauarbeiten, elektrische Signale, Akzeptanzuntersuchungen, elektrische Stimulation

1. Einführung

Warnsysteme dienen der Warnung vor Gefahren und zur Vorbeugung gegen Schäden. Warnsysteme werden derzeit meist über akustische oder optische Signale realisiert. In bestimmten Arbeitssituationen sind allerdings Funktions- und Umsetzungseinschränkungen der akustischen und optischen Warnung zu verzeichnen, beispielweise in lärmsensiblen Bereichen oder auch in Situationen, in denen das akustische oder optische Warnsignal aufgrund geographischer oder andere Umweltgegebenheiten nicht sicher wahrnehmbar ist. Gleisbauarbeiten und Grünpflegearbeiten im Bereich der Bahn zählen zu diesen Arten von Arbeitssituationen.

Eine neue Idee stellt die Warnung durch ein elektrisches Signal unter Nutzung elektrischer Impulse dar. Bisher wurden derartige elektrische Impulse nicht für Warnsysteme verwendet. Grenz- und Richtwerte für elektrische Stimulationen in Warnsystemen existieren nicht. Den Anforderungen an die Erkennbarkeit der Gefahrensignale (Wahrnehmbarkeit, Unterscheidbarkeit und Eindeutigkeit) muss auch ein elektrisches Signal gerecht werden.

2. Machbarkeitsstudien zum Einsatz elektrischer Signale zur Warnung bei Vegetationspflegearbeiten

2.1 Aufgabenstellung und Ziele

Im Auftrag der DB Netz AG (DB Fahrwegdienste GmbH) wurden von der TU Dresden, Professur für Arbeitswissenschaft, Professur für Textiltechnik, Professur für Verkehrssicherungstechnik und einem Elektronikunternehmen zwei Forschungsprojekte durchgeführt, welche erstmals den Aspekt der Warnung mittels elektrischer Signale in Verbindung mit Arbeitssicherheit zum Gegenstand hatten.

Bei den Projekten handelte es sich um Machbarkeitsstudien zum Einsatz dieser Art der Warnung bei Vegetationspflegearbeiten im Gleisbereich der Deutschen Bahn (DB Fahrwegdienste GmbH). Ziel war es hierbei in einem ersten Projekt herauszufinden, ob die taktile Warnung als Alternative für bisherige Warnsysteme grundsätzlich möglich ist und in einem zweiten Projekt empirisch Signalparameter zu testen. Es sollte eine Einschätzung der praktischen Anwendbarkeit einer taktilen Warnung unter realistischen Arbeitsbedingungen erfolgen.

2.2 Vorgehensweise und Methodik

Da es sich beim Einsatz von textilen Materialien für die Warnung von Personen um einen vollkommen neuen Ansatz handelt, waren im ersten Teil (2012-2013) der Machbarkeitsstudie grundlegende Schritte für eine mögliche Erprobung erforderlich. Folgende Schritte wurden hierbei durchgeführt:

1 Sachstandsanalyse

Inhalt der Sachstandsanalyse war die Erfassung derzeitiger Warnungen bei Vegetationspflegearbeiten im Gleisbereich. Technische, organisatorische und personelle Lösungen wurden ermittelt. Geltende Vorgaben aus dem Vorschriften- und Regelwerk mussten recherchiert werden, um das künftige Warnkonzept in diese Regelwerk einbetten zu können. Gleichzeitig wurden textilrelevante technische Lösungen ermittelt und Literatur bzw. Patente zur taktilen Verbindung zwischen Mensch und elektrischen Signalen gesucht. Die so ermittelten Rahmenbedingungen sollten in die Konzeption der Gesamtlösung einfließen.

2 Konzeption einer Systemlösung

Da bisherige Erfahrungen mit taktilen Systemen zur Warnung mit elektrischen Impulsen fehlten, wurde zunächst eine Systemlösung konzeptioniert, die dann im Weiteren modelliert und getestet wurde. Grundlagen hierfür waren

- die Beschreibung und Untersuchung der relevanten Arbeitssysteme im Gleisbereich,
- die Ermittlung textilphysikalischer und elektrischer Eigenschaften textiler und leitfähiger Materialien,
- die Ermittlung von zu erwartenden elektrotechnischen, medizinischen und arbeitswissenschaftlichen Eigenschaften des neuen Systems,
- die Ermittlung der derzeitigen technischen Lösung im Gleisbereich bei Vegetationspflegearbeiten.

Aus den ermittelten Aspekten konnte im Anschluss mögliche einzelne Komponenten der Systemlösung ermittelt werden.

- 3 Modellierung der Systemlösung
Ziel der Modellierung war die praktische Umsetzung der Systemlösung in Vorbereitung der durchzuführenden Tests. Neben der Konkretisierung möglicher Varianten von Systemkomponenten wurde ein Verhaltensmodell entwickelt, auf deren Basis im Späteren Fragebögen erarbeitet und Interviews mit den Beschäftigten durchgeführt wurden. Gleichzeitig fand das Verhaltensmodell Eingang in eine Gefährdungsbeurteilung des neuen Systems. Außerdem wurde eine Risikoanalyse nach DIN EN 50126 durchgeführt.
- 4 Entwicklung eines Testszenariums
Während der Entwicklung eines Testszenariums wurden die Prototypen der Systemkomponenten konstruiert und gefertigt. Szenarien für die in den Labor- und Feldversuchen durchzuführenden Arbeiten wurden entwickelt. Fragebögen und Interviewleitfäden wurden erarbeitet.
- 5 Durchführung von Laborversuchen
Im Rahmen der Laborversuche ging es um einen ersten Test der neuen Systemlösung der individuellen Warnung durch elektrische Impulse. Platzierung verschiedener Textilien am Körper, Signalstärke und Signalmuster, Trageergonomie und der Einfluss von Arbeitsgeräten auf die Wahrnehmbarkeit der Signale wurden erstmals getestet. Entsprechende Einstellungen an der Technik wurden vorgenommen. Die Probanden wurden mittels Interview nach verschiedenen Aspekten der Akzeptanz, Ergonomie und Sicherheit befragt. Die Laborversuche wurden an drei Tagen mit 3 Probanden durchgeführt
- 6 Durchführung von Feldversuchen
Im Ergebnis der Laborversuche wurden die Signalstärke und Signalmuster festgelegt. Bei sieben Feldversuchen fanden an 22 Probanden die Tests unter Arbeitsbedingungen im Gleisbereich statt. Die Probanden wurden im Anschluss über einen Fragebogen über die Wahrnehmung und Erkennbarkeit der Signale befragt und darüber hinaus interviewt.
- 7 Auswertung und Ableitung Anforderungen
Im letzten Schritt wurden die Ergebnisse der Untersuchungen ausgewertet und Anforderungen für einen künftigen Einsatz der neuen Art der taktilen Warnung zusammengestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen im ersten Teil der Machbarkeitsstudie haben gezeigt, dass eine taktile Warnung vor Gefahren bei Grünschnittarbeiten im Gleisbereich der DB mittels textiler Elektroden ein gangbarer Weg ist, die Arbeitskräfte vor herannahenden Zügen zu warnen. Um die neue Technik der taktilen Warnung in Richtung eines voll funktionstüchtigen Prototyps zu überführen, waren jedoch weitere Untersuchungen erforderlich. Diese Untersuchungen wurden in einem zweiten Teil der Machbarkeitsstudie in den Jahren 2013-2015 durchgeführt.

Methodische Schwerpunkte im zweiten Teil der Machbarkeitsstudie waren:

- Weiterentwicklung der elektrischen Impulse zu Signalmustern für den Einsatz im Gleisbereich
- Durchführung interner Wahrnehmungsversuche zu Signalmustern und Auswahl/ Festlegung

- Durchführung und Auswertung von Wahrnehmungsversuchen mit neuen Systemkomponenten unter Berücksichtigung der Signalmuster
- Durchführung von textiltechnischen Untersuchungen und Bewertungen
- Arbeitswissenschaftliche Untersuchungen zur Erkennung und Behebung menschlichen Fehlverhaltens
- Durchführung von qualitativen und quantitativen Risikobeurteilungen am neuen System
- Erstellung von Wahrnehmbarkeitsnachweisen

2.3 Ergebnisse

Insgesamt acht Signalmuster wurden entwickelt und bei internen Wahrnehmungsversuchen getestet. Aus diesen Signalmustern wurde letztlich eines für die Feldversuche ausgewählt. Das Signalmuster bildete die Basis für zwei Signale, die im Gleisbereich wahrgenommen werden müssen (RO1 und RO3).

Während der Feldversuche im zweiten Projektteil wurden an 33 Arbeitsstellen insgesamt 89 Probanden (nach Alter und Geschlecht repräsentativ) über einen Arbeitstag hinweg mit elektrischen Impulsen gewarnt. Dabei wurden über 1200 Signale ausgegeben, von denen knapp 99% erkannt, wenn auch nicht immer richtig unterschieden wurden.

Aus den im Projekt durchgeführten Untersuchungen ergab sich, dass sowohl das Alter der Probanden als auch das Geschlecht der Probanden keinen Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit des Signals haben. Hinsichtlich der Berufserfahrung der Probanden scheint es ebenfalls keine Gruppe zu geben, die eindeutige Besonderheiten bei der Signalwahrnehmung aufweist.

Zur sicheren Wahrnehmung der Signale haben sich aus den Versuchen der Einsatz einer Trageüberwachung, die Aufrechterhaltung einer Elektrodenbefeuchtung, die Verwendung anderer Kontaktierungsmöglichkeiten und eine mehrkanalige Signalübertragung durch Einzelelektroden als erforderlich erwiesen. Ein redundanter Aufbau der Elektrodenflächen wird ebenfalls empfohlen.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Um funktionierende, durch Behörden zulassungsfähige sowie für den Nutzer anforderungsgerechte Warnsysteme basierend auf elektrischen Impulsen entwickeln zu können, sind Forschungen zu Grenzwerten der Stimulation zur sicheren Erkennbarkeit elektrischer Signale erforderlich. Voraussetzungen für die Festlegung von Grenzwerten ist die Ermittlung von Wahrnehmungsschwellen mit und ohne Störeinflüsse. Ziel künftiger Forschungsaktivitäten sollte die Ermittlung dieser Schwellenwerte sein. Hierbei sind mögliche Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die sichere Erkennbarkeit zu untersuchen und zu verifizieren. Erkennbarkeit beinhaltet dabei sowohl die Wahrnehmbarkeit als auch die Unterscheidbarkeit und Eindeutigkeit. Hierfür sind entsprechende Schwellenwerte zu bestimmen.

Hinsichtlich der Wahrnehmungsschwelle sind zwei Aspekte wichtig:

1. Die Wahrnehmungsschwelle ohne Beachtung von Umgebungseinflüssen (vergleichbar der absoluten Hörschwelle in der Akustik).
2. Die Wahrnehmungsschwelle unter Beachtung von Umgebungs- bzw. Störbedingungen (vergleichbar der Mithörschwelle in der Akustik).

Bei beiden Schwellen sind die verschiedenen Einflussfaktoren auf die Wahrnehmbarkeit zu beachten. Hierbei spielt insbesondere die sichere Übertragung des Signals eine entscheidende Rolle.

Störeinflüsse müssen möglichst umfassend unter Beachtung des derzeitigen Wissensstandes zu Einsatzmöglichkeiten der elektrischen Warnung ermittelt werden. Hierzu zählen z.B. Einflüsse aus der Arbeitsaufgabe (Arbeitshaltungen, Arbeitsgeräte, verwendete Persönliche Schutzausrüstung) und aus der Arbeitsumgebung (Vibrationen, Lärm, Klima).

4. Literatur

- Rödel H, Schmauder M, Trinckauf J (2013) Taktile Personenwahrnehmung. Unveröffentlichter Projektabschlussbericht, Projektteil 1. Technische Universität Dresden
- Rödel H, Schmauder M, Trinckauf J (2014) Taktile Personenwahrnehmung. Unveröffentlichter Projektabschlussbericht, Projektteil 2. Technische Universität Dresden