

Virtuelle Realität zur Verbesserung von Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit in der Arbeit mit Hubarbeitsbühnen

Peter NICKEL, Andy LUNGFIEL, Michael HAUKE,
Georg NISCHALKE-FEHN und Michael HUELKE

*Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA),
Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin*

Kurzfassung: Analysen der Unfälle mit Hubarbeitsbühnen zeigen gehäuft Gefährdungen durch Absturz und durch Einquetschen. Maßnahmen der Verhaltens- und Verhältnisprävention wurden bereits entwickelt, darunter jüngst ein Prototyp eines innovativen Stellteils als ergänzende Schutzmaßnahme. In einem Arbeitsschutzprojekt sollen Wirksamkeit, Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit der Maßnahme evaluiert werden. Den methodischen Zugang bietet virtuelle Realität, da bereits Prototypen und diese dann nicht nur in Arbeits- sondern auch in Unfallszenarien untersucht werden können, ohne Nutzer tatsächlich zu gefährden. Auf der Basis von Recherchen zu Unfallanalysen wurden begünstigende Gefährdungsbedingungen identifiziert und in Expertenrunden unterstützt durch virtuelle Probefahrten auch geeignete Szenarien in gemischter Realität abgestimmt. Das Projekt zeigt neue Wege der Arbeitsschutzforschung, da eine zukünftige Umsetzung der Maßnahmen frühzeitig gefördert werden kann.

Schlüsselwörter: Arbeitsschutz, Virtuelle Realität, Usability, Hubarbeitsbühne.

1. Einleitung und Problemstellung

Von Hubarbeitsbühnen (HAB) aus führen Mitarbeiter z.B. Montage-, Wartungs- und Reinigungsarbeiten an Fassaden, außen an höher gelegenen Gewerken oder an Decken innerhalb von Gebäuden aus. HAB dienen dabei gelegentlich auch als flexibler und sicherer Gerüst- oder Leiterersatz. Sie können je nach Bauart in bis zu 100 m Arbeitshöhe und bis zu 30 m seitlicher Reichweite eingesetzt werden. Die Zahl der Unfälle bei der Arbeit mit HAB ist deutlich gestiegen (BGI 720 2010). Dies ist teilweise auf einen weiter ansteigenden Absatz und Einsatz von HAB in verschiedenen Branchen und Arbeitsbereichen zurückzuführen. Gleichzeitig kann vermutet werden, dass bisherige Anstrengungen zur Unfallverhütung durch die Hersteller, Betreiber, Verleiher und Arbeitsschutzorganisationen den Anstieg der Unfälle abdämpfen konnten. Einige der innovativen und in jüngerer Zeit entwickelten Schutzeinrichtungen und -maßnahmen werden sich wegen der langen Zeit bis zur Umsetzung in der betrieblichen Praxis allerdings erst in den kommenden Jahren auswirken können. Der Ausschuss Förder- und Lagertechnik der Unfallversicherungsträger beauftragte daher das Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) mit einem Forschungsprojekt (www.arbeitsschutz-forschung.de; IFA5118), durch das die frühe Umsetzung von Schutzmaßnahmen in die betriebliche Praxis gefördert und Wirksamkeit, Akzeptanz sowie Gebrauchstauglichkeit einer Maßnahme untersucht werden sollen. Eine neue, ergänzende Schutzmaßnahme, die mit relativ

geringerem Aufwand in eine virtuelle HAB integriert werden kann, soll mithilfe virtueller Realität (VR) evaluiert werden. Während der Bearbeitung realitätsnaher Aufgaben soll sowohl der bestimmungsgemäße als auch der davon abweichende Betrieb berücksichtigt werden, ohne dass Probanden dabei tatsächlich gefährdet werden.

2. Erste Ergebnisse

2.1 Analysen zu Unfällen und begünstigenden Bedingungen

Recherchen zu Unfallanalysen mit Hubarbeitsbühnen sollten zunächst Gefahrenschwerpunkte verdeutlichen und dann Informationen über Gefahr bringende und begünstigende Bedingungen zur Nachstellung geeigneter Arbeits- und Unfallszenarien in der Evaluationsstudie bereitstellen. Mit Analysen der Unfallversicherungsstatistiken aus den Jahren 1996 bis 2000 konnte Jäger (2002) auf eine steigende Anzahl von Unfällen mit HAB aufmerksam machen. Auch wenn sich aus den Statistiken Hinweise über mögliche Ursachen von Unfällen nur begrenzt ableiten lassen, erwies sich ein Kippen der HAB als wesentliche Gefahrenquelle. Zu ähnlichen Ergebnissen führte eine Zusammenstellung von Schilling (2007), in der anhand von Unfallereignissen Gefährdungen illustriert und wiederum Präventionsmaßnahmen aufgezeigt wurden. Einige der Schutzmaßnahmen haben bereits Eingang in die Normung oder in Fachinformationen gefunden (DIN EN 280 2010; FBau 2010a).

Mit Analysen von Meldungen tödlicher Unfälle bei staatlichen Arbeitsschutzbehörden zwischen 1992 und 2008 wurde neben der Absturzgefährdung mit der Quetschgefährdung ein weiterer Unfallschwerpunkt offensichtlich (Deuchert 2010). Bei solchen Unfällen wird ein Mitarbeiter zwischen dem Korbgeänder der HAB und Teilen der Umgebung (z.B. Unterzug, Stahlverbund) eingeklemmt (BGI 720 2010). Eine Hauptursache im Fehlverhalten des Fahrers der HAB allein zu suchen (Tischendorf 2007; BGI 720 2010) führt leicht zur Unterschätzung der Auswirkung der Arbeitsmittelgestaltung auf die Mensch-System Interaktion im Arbeitsprozess. Derzeit erscheinen Kombinationen aus verhaltens- und verhältnisorientierten Maßnahmen wie z.B. Seminare zum sicheren Umgang mit HAB (BGG/GUV-G 966 2010) und zügig evaluierte, neue und innovative Schutzmaßnahmen (Borowski 2010) zur Prävention von Unfällen aussichtsreich.

Zusammenfassend lassen Analysen und Berichte zu Unfällen durch Einquetschungen zwar keine einfache Systematik der verursachenden Bedingungen (z.B. HAB-Bauart, Arbeitshöhe) erkennen. Sie weisen jedoch jeweils wechselnde Kombinationen begünstigender Bedingungen auf (z.B. HAB-Ausleger $>90^\circ$ gedreht, unzureichende Ausleuchtung des Arbeitsbereichs, Hindernisse oder Unregelmäßigkeit der Stahlkonstruktion), die meist bereits als Gefährdungen in DIN EN 280 (2010) oder IPAF (2010) dokumentiert sind. Kombinationen solcher Gefährdungen sind für die Entwicklung der Arbeits- und Unfallszenarien für die Evaluationsstudie in VR ausschlaggebend.

2.2 Auswahl aus Schutzeinrichtungen und -maßnahmen

Derzeit verfügbare Schutzvorkehrungen bei der Arbeit mit HAB decken die Maßnahmenhierarchie des Arbeitsschutzes ab. Zu verhaltensbezogenen Sicherheitsmaßnahmen zählen Unterweisungen und Seminare (BGG/GUV-G 966 2010), persönliche Schutzausrüstung schließt das Anlegen von Rückhaltesystemen ein (FBau 2010b), unter organisatorischen Maßnahmen ließe sich die herabgesetzte Fahrgeschwindigkeit ab bestimmten Arbeitshöhen einordnen, unter sicherheitstechnische Maßnahmen lassen sich z.B. An- oder Einbauten fassen, mit denen der Zugang zu Gefahrenstellen verhindert werden soll (Borowski 2010) und Moment-, Lastmessenrichtungen und Stellungsüberwachungen

(BGI 720 2010) sind Beispiele zur Vermeidung/ Beseitigung von Gefahrenquellen.

Speziell zur Vermeidung einer Quetschgefährdung gibt es erst wenige Schutzmaßnahmen oder Erkenntnisse über Wirksamkeit und Akzeptanz der Maßnahmen. Als innovative, neue und erfolgversprechende ergänzende Schutzmaßnahme wurde ein Not-Stopp als Sicherheitsfunktion in ein Stellteil zur Steuerung einer virtuellen HAB so integriert, dass dadurch ein Einklemmen oder Einquetschen vermieden oder in der Unfallschwere gemindert werden soll (Nischalke-Fehn et al. 2010). Mit technischen Messungen zum Kraft-Weg-Verlauf beim Übergang zwischen Druckstufen zum Auslösen der Sicherheitsfunktion (z.B. von 6 auf 12 bzw. 24 Nm) ließ sich bereits eine Vorauswahl für die Auslegung des Stellteils in den empirischen Untersuchungen treffen. Somit kann der Prototyp dieser Schutzmaßnahme in zwei Varianten in der Evaluationsstudie berücksichtigt werden.

2.3 Evaluation zur Wirksamkeit und Akzeptanz von Schutzmaßnahmen

Das Ziel einer ergänzenden Schutzmaßnahme ist es Unfälle zu verhüten oder sie in ihrer Schwere zu reduzieren. Das Ziel der Evaluation einer Maßnahme ist es ihrem potentiellen Effekt nachzugehen. Um die Wirksamkeit einer Maßnahme zu demonstrieren müsste sich ihr Einsatz in einer realen Gefährdungssituation in der Praxis ergeben und dokumentieren lassen. Nun ist die o.g. Schutzmaßnahme noch nicht in der Praxis umgesetzt. Zusätzlich wäre dort eine Evaluation wegen der dann tatsächlichen Gefährdung von Personen und der langen Wartezeit auf ein seltenes Unfallereignis nicht möglich. Als effektive Untersuchungsmethode bietet sich die Simulation an (Nickel & Nachreiner 2010). Das VR-Labor des IFA erscheint für solche Evaluationsstudien gut geeignet (www.dguv.de/ifa/sutave; Nickel et al. 2010), da sich dort nicht nur der bestimmungsgemäße sondern auch ein davon abweichender Betrieb zur realitätsnahen Untersuchung von Wirksamkeit, Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit umsetzen lässt. Schließlich sollten Schutzmaßnahmen nicht nur wirksam vor Gefährdungen schützen, sie sollten zur Vermeidung von Manipulationen (Apfeld & Huelke 2009) im bestimmungsgemäßen Betrieb auch nicht behindern.

Die Aufgaben und Szenarien für die Evaluationsstudie wurden wegen ihrer Bedeutung für die Evaluationsstudie in Expertenrunden entwickelt und dabei mit Ergebnissen der Recherchen zu Unfallanalysen abgestimmt. In gemischter Realität wird eine virtuelle HAB in virtueller Umgebung mit einem realem Korb und realem Stellteil (inkl. Schutzmaßnahme) zu Instandhaltungsarbeiten an Stahlkonstruktionen einer Hallendecke von Probanden eingesetzt. Ein Beinaheunfall wird provoziert durch die Eigenschaften der anzufahrenden, virtuellen Arbeitsorte an der Decke (z.B. eng, mit Hindernissen, dunkel). In Probefahrten in virtuellen Szenarien bewerteten Experten (unter ihnen Ausbilder, Hersteller, Verleiher) erste Prototypen der virtuellen HAB mit realem Stellteil und integrierter, ergänzender Schutzmaßnahme bereits als sehr praxis- und realitätsnah. Bei abgeschlossenem Versuchsaufbau werden Analysemethoden in Arbeitsablaufstudien so integriert, dass sich Aussagen zur Wirksamkeit, Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit der ergänzenden Schutzmaßnahme im bestimmungsgemäßen und davon abweichenden Betrieb ableiten lassen.

3. Diskussion

Das Projekt bewegt sich auf innovativen Pfaden der Arbeitsschutzforschung (Määttä 2007; Marc et al. 2007). Mit VR lassen sich Arbeitsschutzlösungen bereits in frühen Entwicklungsstadien in realitätsnahen Szenarien evaluieren und damit die Praxiseinführung frühzeitig unterstützen. Gleichzeitig werden Hersteller, Betreiber, Verleiher und Nutzer

über einen wirksamen Einsatz von Maßnahmen durch Demonstrationen und belastbare Untersuchungsergebnisse informiert. Das kann die Akzeptanz der Beteiligten weiter fördern. Mithilfe von VR kann auch der für Schutzmaßnahmen relevante Nutzungskontext potentieller Unfallszenarien in Evaluationsstudien berücksichtigt werden, ohne Probanden dabei tatsächlich zu gefährden. Auch wenn Ergebnisse aus Evaluationsstudien in VR nicht unhinterfragt in die betriebliche Praxis übertragen werden können, so liefern sie eine erste angemessene Bewertungsgrundlage für aktuelle und zukünftige Arbeits- und Unfallszenarien und geben eine weitere Perspektive für effektive und effiziente Präventionsmaßnahmen.

4. Literatur

1. Apfeld, R. & Huelke, M. 2009, Manipulation von Schutzeinrichtungen – eine Herausforderung für neue Technologien. In: IFA (Hrsg.), BGIA-Handbuch. Sicherheit und Gesundheitsschutz am Arbeitsplatz. Berlin: Schmidt, Kennzahl 330100.
2. BGG/GUV-G 966 2010, Grundsatz: Ausbildung und Beauftragung der Bediener von Hubarbeitsbühnen. Berlin: DGUV.
3. BGI 720 2010, Sicherer Umgang mit Hubarbeitsbühnen (bearbeitet von L. Dippel, R. Jäkel, K. Marquardt, O. Petzsch, C. Zepp). Düsseldorf: VMBG.
4. Borowski, T. 2010, Sicherheitsmöglichkeiten von Bedienpulten und Geländern. Einsatzmöglichkeiten für Sensor- und Steuerungstechnik. Fachtagung "Sichere Benutzung von fahrbaren Hubarbeitsbühnen", MMBG Bildungsstätte Haus Nümbrecht, 12.05.2010, Nümbrecht. Im Internet verfügbar unter: http://www.hw-bg.de/DIENSTL/FS01/vortraege05_2010_nuembrecht/06a_sicherungsmaeglichkeiten_v_bediempulten_u_gelaendern_sensortechnik.pdf
5. Deuchert, A. 2010, Unfälle mit Hubarbeitsbühnen. Fehlverhalten als häufigste Ursache, VMBG Mitteilungen, 4 (August/September), 23.
6. DIN EN 280 2010, Fahrbare Hubarbeitsbühnen. Berlin: Beuth.
7. FBau 2010a, Fahrbare Hubarbeitsbühnen (FHAB). Sicherheit gegen Umkippen, Info Nr. 10, Fachstelle "Bau". Düsseldorf: MMBG.
8. FBau 2010b, Fahrbare Hubarbeitsbühnen (FHAB). Benutzung von persönlicher Schutzausrüstung zum Halten – Rückhaltesystem – im Arbeitskorb fahrbarer Hubarbeitsbühnen, Info Nr. 12, Fachstelle "Bau". Düsseldorf: MMBG.
9. IPAF 2010, Best-Practice-Richtlinie für mobile Hubarbeitsbühnen. Vermeidung von Unfällen durch Einklemmen und Einquetschen am Arbeitskorb. Cumbria, UK: International Powered Access Federation.
10. Jäger, W. 2002, Einsatz von Hubarbeitsbühnen, Die BG, 12, 608-612.
11. Määttä, T.J. 2007, Virtual environments in machinery safety analysis and participatory ergonomics, Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, 17, 435-443.
12. Marc J., Belkacem N. & Marsot J. 2007, Virtual reality: A design tool for enhanced consideration of usability 'validation elements', Safety Science, 45, 589-601.
13. Nickel, P. & Nachreiner, F. 2010, Evaluation arbeitspsychologischer Interventionsmaßnahmen. In: U. Kleinbeck & K. Schmidt (Hrsg.), Arbeitspsychologie. Göttingen: Hogrefe, 1003-1038.
14. Nickel, P., Lungfiel, A., Nischalke-Fehn, G., Pappachan, P., Huelke, M. & Schaefer, M. 2010, Evaluation of Virtual Reality for Usability Studies in Occupational Safety and Health. In: Proceedings of the 6th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2010), June 14-15, 2010, Tampere/ Finland. Helsinki: Finish Society of Automation, 1-6 (F6043).
15. Nischalke-Fehn, G., Borowski, T. & Nickel, P. 2010, Einsatz von Sensor- und Steuerungstechnik zur Vermeidung von Unfällen mit Hubarbeitsbühnen, 20. Fachgespräch Maschinen- und Gerätesicherheit des IFA, 16.-17.11.2010, IFA, Sankt Augustin.
16. Schilling, N. 2007, Sicherer Umgang mit Hubarbeitsbühnen, Die Brücke, 6/01, 15-19.
17. Tischendorf, M. 2007, Hoch hinaus, Sicherheitspartner, 3, 14.