

Gutachten

Fahrerrückhaltesystem für Gabelstaplerfahrer - Türbügel des Typs „PilotProtector“ der Fa. IWS (Ingenieurgesellschaft Weiner & Schröter mbH)

1. Aufgabenstellung

Die Fa. IWS hat uns den von ihr gefertigten Türbügel des Typs „PilotProtector“ mit der Aufgabenstellung übergeben, in einem Gutachten festzustellen, ob dieser Türbügel das Risiko des Fahrers eines Gabelstaplers entsprechend der Forderung aus Ziffer 3.1.5 der Richtlinie 95/63/EWG begrenzt, beim seitlichen Umsturz des Flurförderzeuges vom Fahrerschutzdach erfasst zu werden. Die Fa. IWS ist eine privatwirtschaftliche Unternehmung, die Herr Dipl.-Ing. Weiner, ein ehemaliger Mitarbeiter des Fachgebiets Fertigungstechnik der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg, mitbegründet hat. Herr Weiner hat sich im Rahmen seiner Tätigkeit mehrere Jahre mit der Problematik des Unfallgeschehens im Arbeitsumfeld von Gabelstaplern beschäftigt und maßgeblich zum Erfolg des unter 2. genannten Forschungsprojekts beigetragen. Die Entwicklung des hier zu begutachtenden Türbügel systems fand nicht im Rahmen seines Anstellungsverhältnisses im Fachgebiet statt.

2. Grundlagen der Beurteilung

Das folgende Gutachten stützt sich in seinen grundsätzlichen Erkenntnissen auf den Abschlußbericht des Forschungsprojektes „Rückhaltesysteme für Gabelstaplerfahrer“ vom 30.09.1998, das vom Fertigungstechnischen Labor der Gerhard-Mercator-Universität Duisburg unter der Leitung des Unterzeichners im Auftrag des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften unter Mitwirkung einiger Hersteller von Gabelstaplern und Gabelstaplerfahrersitzen erarbeitet wurde. Der Abschlußbericht kommt zu dem Ergebnis, dass starre Beckengurte, Gurtsysteme mit mechanischem Kippsensor, Hüftstützen, seitlich stützende sitzintegrierte Bügel und fahrzeugintegrierte Türbügel jeweils auf unterschiedliche Weise die o.g. Anforderungen eines Rückhaltesystems für Gabelstaplerfahrer erfüllen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden experimentelle Prüfungen durchgeführt, die aus Fahrversuchen mit einem Frontsitzgabelstapler (Fabrikat Linde, Typ H30 D) bis zu einem Kippwinkel von 15° sowie Untersuchungen auf dem speziell hierfür entwickelten Prüfstand des FTL Duisburg bestanden. Sie kamen zu folgenden Ergebnissen:

2.1 Fahrversuche bis zu einem Kippwinkel von 15°

Im Fahrversuch „Hineinlenken in die Kurve“ wurde der Gabelstapler aus dem Stillstand in Geradeausfahrt auf maximal 24 km/h beschleunigt. Der Fahrer lenkt hierbei mit der linken Hand, die den Lenkradknopf umschließt, der rechte Arm liegt währenddessen auf seinem rechten Oberschenkel. Der Fahrer lenkt dann den Gabelstapler in eine Rechtskurve mit einem Radius von 5 m. Derselbe Fahrversuch wurde in Rückwärtsfahrt durchgeführt, in diesem Fall jedoch in eine Linkskurve gelenkt. Dieser Unterschied ergibt sich aus der Anordnung des Stützauslegers (auf der linken Seite des Gabelstaplers angebracht, um ein Umstürzen des Gerätes zu vermeiden) sowie aus der Konstruktion des Versuchsfahrzeugs. Alle oben aufgeführten getesteten Rückhaltesysteme haben in diesen Fahrversuchen den Fahrer bis zu einem Kippwinkel von 15°, jedoch unterschiedlich gut, in der Fahrerkabine gehalten.

2.2 Versuche auf dem Prüfstand des FTL Duisburg

Auf dem vom FTL Duisburg entwickelten und aufgebauten Prüfstand können dynamische und statische Kippversuche bis zu einem Kippwinkel von 90° durchgeführt werden.

Die Versuchsplattform (Bild 1) kann die zu untersuchende Fahrerkabine auf einstellbaren Radien und bei sich steigender Bahngeschwindigkeit bis zum Moment des Kippens beschleunigen. Zum Zeitpunkt des Kippens wirkt eine Querbeschleunigung von ca. 0,6 g. Die Bewegung des Fahrers während des Kippens kann aus Videoaufzeichnungen analysiert werden, die von einer am Versuchsträger montierten Kamera aufgenommen werden. Den Aufschlag der Fahrerkabine dämpfen hydraulische Bremszylinder. Aussagen über Verletzungsrisiken des Fahrers beim Aufschlag können daher nicht gemacht werden; ganz abgesehen davon, daß Versuchspersonen auf dem Prüfstand aus Sicherheitsgründen nur bis zu einem Kippwinkel von 60° eingesetzt werden konnten.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes geprüften Rückhaltesysteme hielten die Versuchspersonen innerhalb des durch Dachstützen und Schutzdach gebildeten Fahrerraums.

Anschließend wurden Kippversuche mit einem Dummy bis zu einem Kippwinkel von 90° durchgeführt (s. Bild 2).



Bild 1: Prüfstand für stat. und dyn. Kippuntersuchungen



Bild 2: Kippversuch mit einem Dummy

3. Beschreibung des Türbügels des Typs „PilotProtector“ der Fa. IWS

Der zu begutachtende Türbügel (Bild 3) wurde am hinteren Dachholm mit Scharnierplatten und am vorderen Dachholm mit einem Fallenschloss montiert und bildet infolgedessen zwischen hinterem und vorderen Fahrerschutzdachholm einen Schutzraum, mit Begrenzung links vom Fahrer. Der Fahrer kann außerdem bei geschlossenem Türbügel nicht vom Fahrzeug abspringen. Dabei wird der Fahrer in seiner Bewegungsfreiheit, insbesondere bei Rückwärtsfahrt, nicht beeinträchtigt. Der uns zur Verfügung gestellte Türbügel ließ sich auf einfache Weise öffnen und schließen. Außerdem bietet der Türbügel dem Fahrer im Bereich des Beckens, der Hüfte und der Schulter bzw. des Oberarms durch eine innenseitig angebrachte Polsterung zusätzlichen Schutz vor Verletzungen und gegen seitliches Gleiten oder Rutschen aus dem durch den Türbügel gebildeten Schutzraum.

Die Montagehöhe des Türbügels wurde entsprechend VDI-Richtlinie 2198 nach der Sitzhöhe h_7 gewählt. Entsprechend DIN 33402 Teil II sind wir von einer Oberschenkelhöhe von 165 mm (95. Perzentil, männlich, Alter 26 bis 40 Jahre) ausgegangen. Dem entsprechend soll die Mittellinie des unteren Trägers des Türbügels in einer Höhe von etwa 80 bis 90 mm oberhalb der Sitzhöhe der Versuchsfahrerkabine (Originalfahrerkabine des Frontsitzgabelstaplers der Linde AG, Typ E16) verlaufen.



Bild 3: der getestete Türbügel

Die angegebenen Maße sind je nach Gabelstaplertyp und Hersteller entsprechend zu korrigieren. Hierbei ist insbesondere der ggf. abweichende Federweg des Fahrersitzes zu berücksichtigen. Nur dann kann die ergonomisch bedingte besondere Rückhaltewirkung des Türbügels erreicht werden.

4. Beschreibung der durchgeführten Versuche

Wir haben das uns zur Verfügung gestellte Bügelsystem in verschiedenen dynamischen Versuchsreihen mit einem Dummy bis zu einem Kippwinkel von 90° geprüft. Die Fahrerkabine trifft beim Maximalwinkel von 90° auf hydraulische Bremszylinder und wird über die nächsten 10° mit gleichmäßiger Verzögerung abgebremst.

Die von außen gesteuerte Geschwindigkeit der auf einer Kreisbahn fahrenden Versuchsplattform wurde bis zum Erreichen des Kipppunktes erhöht. Dies entspricht im Prinzip



Bild 4: Der eingesetzte Dummy

der Fahrt mit einem Gabelstapler, der in einer Kurve mit konstantem Radius seine Fahrgeschwindigkeit bis zur Kippgrenzgeschwindigkeit erhöht.

Während jeder Versuchsfahrt wurden die Fahrgeschwindigkeit, der Kippwinkel und die wirkenden Beschleunigungen in drei Achsen gemessen. Diese Messungen dienen hauptsächlich zur Kontrolle der vorgegebenen und einzuhaltenden Versuchsparameter. Aus dem Bahnradius der Kabine von 2,57 m (kurvenäußeres Rad) und der Höhe des Gesamtschwerpunkts von Kabine, Kippvorrichtung und Dummy ergibt sich eine Kippgrenzgeschwindigkeit von ca. 3,9 m/s . Dieser Wert entspricht einer Querbeschleunigung (ebenfalls am kurvenäußeren Rad) von etwa 0,6 g. Bei einem Kippwinkel von 7,5° wird der Abbremsvorgang eingeleitet, um den Geschwindigkeitsverlauf der Plattform dem Geschwindigkeitsverlauf eines Gabelstaplers bei einem realen Kippunfall anzunähern (Diese Geschwindigkeitsverläufe wurden während des Forschungsprojekts rechnerisch und simulativ ermittelt). In Bild 5 sind der Verlauf des Kippwinkels und der Beschleunigungen quer zum Sitz bzw. vertikal zum Sitz zu sehen. Der Beschleunigungssensor befindet sich rechts vom Fahrersitz in der Nähe der Bedienungshebel für die Hubeinrichtung (ca. 0,9 m von der äußeren Kippkante entfernt).

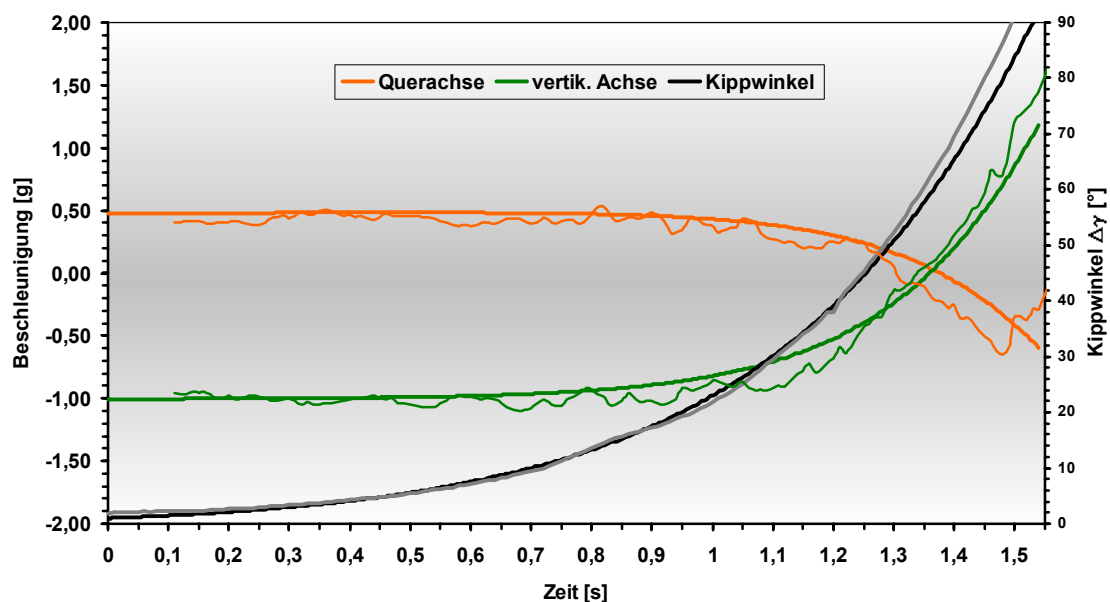


Bild 5: Messwertverlauf beim dynamischen Kippvorgang

Für jeden Beschleunigungswert sind zwei Linien zu sehen. Dabei stellen die unruhigen Verläufe die gemessenen Werte dar und die geglätteten Linien die errechneten Verläufe. Für den Verlauf des Kippwinkels zeigt die graue Linie den Messwert und die schwarze Linie den Rechenwert. Die Kippvorrichtung mit Kabine und Dummy hat ihren Balance-Punkt bei etwa 27°. Bis dieser Wert erreicht ist, vergeht vom Ankippen (1°) ca. 1 s. Bis zu diesem Zeitpunkt ändern sich die Beschleunigungswerte kaum. Auf der vertikalen Achse wird die negative Erdbeschleunigung (-1g) registriert, auf der Querachse die wirkende Querbeschleunigung von 0,6 g. Mit weiterer Zunahme des Kippwinkels wird die Kippdynamik deutlich erkennbar. Die Restkippszeit vom Balance-Punkt (27°) bis zum Aufschlag bei 90° ($\frac{2}{3}$ des Gesamtweges) beträgt nur noch 0,5 s. Zwischen 50° und 55° Kippwinkel wird der Einfluss der senkrechten Erdbeschleunigung null (bez.

auf die Position des Sensors). Dies ist der Zeitpunkt, in dem der Dummy den Kontakt zum Sitz verliert und sich in Richtung auf das Fahrerschutzdach zu bewegt.

5. Ergebnisse der dynamischen Kippversuche

Anmerkung: Die hier beschriebenen Versuche stellen die abschließenden Tests dar, in denen die höchstmögliche Fahrgeschwindigkeit und somit auch die höchstmögliche Belastung für den Dummy und das Rückhaltesystem simuliert wurden.

Schon vor Kippbeginn wird der Dummy leicht an den Türbügel herangeschoben. Bei einem Kippwinkel von etwa 45° bis 50° (Bild 6) verliert der Dummy den Halt auf dem Sitz, wird jedoch nicht stärker an den Türbügel gedrückt.



Bild 6: dynamischer Kippversuch mit einem Winkel von ca. 45°

Wir haben diesen Versuch unter gleichen Versuchsbedingungen mehrmals durchgeführt. In keinem dieser Versuche hat der Testkörper in der Phase des Kippens den Türbügel erkennbar berührt. Dies ist deutlich aus Bild 7 zu erkennen, das die Position des Dummys exemplarisch für alle Versuche

während der zweiten Phase des Kippvorgangs zeigt. Der Dummy befindet sich bei einem Kippwinkel von ca. 75° noch vollständig innerhalb des durch den Türbügel abgegrenzten Schutzraumes, ohne den Türbügel sichtbar zu berühren. Auch unmittelbar vor dem Aufschlag (Bild 9) berührt der Dummy den Türbügel nicht.

Erst beim Aufschlag der Fahrerkabine wird auch der Dummy auf den Türbügel geschleudert. Über die dabei auftretenden Kräfte können wir jedoch keine für die Praxis gültigen Aussagen machen, weil wir in unseren Versuchen stoßdämpfende Hydraulikzylinder einsetzen müssen.

6. Statischer Kippversuch

Beim statischen Kippversuch wird die Fahrerkabine bei örtlich fixierter Testplattform soweit angehoben, bis sie den Kippunkt erreicht. Hierbei rutscht eine Versuchsperson zunächst gegen den Türbügel. Beim anschließenden Kippen wirken rechnerisch deutlich geringere Kräfte auf den Prüfkörper ein als beim dynamischen Kippversuch. Der Türbügel erfüllt hierbei eine hilfreiche Funktion zum Auffangen des Gabelstaplerfahrers, der beim statischen Kippen infolgedessen nicht aus dem von Fahrerschutzdachholmen und Türbügel gebildeten Schutzraum fallen kann.

7. Festigkeitsprüfung des Türbügels

Wir haben den gelieferten Türbügel in einem weiteren Versuch horizontal statisch mit einer Kraft von 200 dN belastet. Der Türbügel hat sich hierbei nicht bleibend verformt.



Bild 7: dynamischer Kippversuch mit mitkippender Kamera



Bild 8: dynamischer Kippversuch bei ca. 76°



Bil 9: dynamischer Kippversuch – Aufschlag

Fahrerschutzdach

Rückhaltebügel

Lenkrad

8. Zusammenfassende Beurteilung

Der zu untersuchende Türbügel des Typs „PilotProtector“ ist gut geeignet, bei Befestigung auf beiden Fahrzeugseiten am hinteren Holm und Verriegelung am jeweils vorderen Holm des Fahrerschutzdaches, einen zusätzlichen Schutzraum zu bilden. Er ist stabil genug, um seitliche Kräfte bis zu 200 dN ohne bleibende Verformung aufzunehmen. Er kann den Gabelstaplerfahrer bei unerwartet auftretenden Zentrifugalbeschleunigungen, wie sie für enge Kurvenfahrt typisch sind, wegen seiner ergonomischen Konstruktion mit hoher Sicherheit davor bewahren, aus dem Gabelstapler herausgeschleudert zu werden. Beim seitlichen Kippen (z. B. infolge Bedienfehlern bei angehobener Last) wird der Fahrer infolge der ergonomischen Konstruktion des Türbügels innerhalb des gebildeten Schutzraumes gehalten.

Unabhängig davon hindert das untersuchte Bügelsystem, wie wir in dem o. g. Forschungsprojekt bereits festgestellt haben, den Fahrer des Gabelstaplers daran, im Moment eines unerwarteten plötzlichen Kippens, vom Gabelstapler zu springen. Das Risiko des Fahrers, in diesem Fall beim seitlichen Umsturz des Flurförderzeuges von den Holmen des Fahrerschutzdaches erfasst zu werden, wird infolgedessen durch den begutachteten Türbügel zusätzlich begrenzt.



Prof. Dr.-Ing. D. Elbracht

Duisburg, 30.10.2000