

**Dietrich Elbracht  
und  
Gerd-Udo Golombek**

# **Die Kippvermeidung schnell fahrender Flurförderzeuge**

**- Ein Beitrag zur Unfallverhütung -**



ISBN 3-930153-10-6

# Inhalt

<b>1. Einleitung</b> .....	1
<b>2. Unfälle mit Gabelstaplern und ihre Ursachen</b> .....	3
2.1 Die Erfassung von Gabelstaplerunfällen durch die Zentralstelle für Unfallverhütung (ZEFU) .....	3
2.2 Ergebnisse der statistischen Auswertung der ZEFU .....	4
2.2.1 Unfallschwerpunkte .....	6
2.2.2 Unfallursachen .....	8
2.2.2.1 Der Anfahrnfall .....	10
2.2.2.2 Der Unfall des Gabelstaplerfahrers (Fahrerunfall) .....	11
<b>3. Die Entwicklung eines unfallsicheren Gabelstaplers</b> .....	15
3.1 Die Erfassung des Fahrzustandes .....	17
3.2 Sensoren zur Erfassung der Umwelt und zur Hinderniserkennung .....	20
3.3 Die Automatisierung des Gabelstaplers .....	21
3.4 Teilautonomes Fahren .....	22
<b>4. Das Kippverhalten und die Kippvermeidung schnell fahrender Gegengewichts-Gabelstapler</b> .....	25
4.1 Aufbau und Eigenschaften des Gegengewichts-Gabelstaplers .....	25
4.2 Die Fahrsicherheit des Gegengewichts-Gabelstaplers unter besonderer Berücksichtigung des seitlichen Kippens .....	27
4.3 Die Berechnung und experimentelle Bestimmung der Kipp-Grenzgeschwindigkeit .....	28
4.3.1 Die Kipp-Grenzgeschwindigkeiten verschiedener Stapler-Bauarten .....	40
4.3.1.1 Das Dreiradfahrzeug mit Drehschemellenkung .....	40
4.3.1.2 Das Vierradfahrzeug mit Drehschemellenkung .....	50
4.3.1.3 Das Vierradfahrzeug mit Achsschenkellenkung u. Pendelachse .....	59
4.3.2 Schräglaufeigenschaften der Räder .....	72
4.3.3 Experimentelle Bestimmung der Kipp-Grenzgeschwindigkeit .....	79
4.3.4 Vergleich der berechneten und experimentell ermittelten Kipp- Grenzgeschwindigkeiten .....	82
<b>5. Lösungsansätze zur Erhöhung der Fahrsicherheit</b> .....	85
5.1 Kippstabile Fahrwerkskonzepte für Flurförderzeuge .....	86
5.2 Fahrzeugsteuerungen zur Kippvermeidung .....	91
5.3 Konstruktive Maßnahmen zur Erhöhung der seitlichen Kippstabilität .....	97
5.4 Das lernende System Gabelstaplerfahrer - Gabelstapler .....	102
<b>6. Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	105
<b>7. Literatur</b> .....	107
<b>8. Verzeichnis der Formelzeichen</b> .....	109