

Dynamische Standsicherheit von Flurförderzeugen

Bei schnell fahrenden Flurförderzeugen (Ffz) besteht im Betrieb die Gefahr von Kippunfällen, wenn mit zu hoher Geschwindigkeit in Kurven eingefahren, mit angehobener Last rangiert oder bei schneller Fahrt Bodenunebenheiten überfahren werden. Kommt es zum Umkippen des Ffz erleidet der Fahrer oft schwerwiegende Verletzungen, häufig mit Todesfolge.

1. Einleitung

Flurförderzeuge (Ffz) mit ihrem breiten Spektrum an unterschiedlichen Ausführungsformen zählen zu den wichtigsten fördertechnischen Geräten (Fördermitteln) der modernen Stückgutlogistik auf Basis der Palette. Innerhalb der Gruppe der Ffz stellt der Gegengewichtstapler (im folgenden als Gabelstapler bezeichnet) einen typischen Alleskönner dar, der flexibel für unterschiedlichste Zwecke eingesetzt werden kann. Er ist quer über alle Branchen bei der Warenproduktion und -distribution anzutreffen und man begegnet ihm in nahezu allen Arten von Betrieben, in denen Güterumschlag stattfindet, von großen Produktionsbetrieben, über die Logistikzentren des Handels und mittelständische Unternehmen bis hin zu den kleinen Handwerks- und Einzelhandelsbetrieben.

Gegengewichtstapler werden daher sehr häufig und unter sehr unterschiedlichen Betriebsbedingungen eingesetzt. Hierbei kommt es aus verschiedenen Gründen immer wieder vor, dass Gabelstapler seitlich umkippen. Gegengewichtstapler mit einer Tragkraft von bis zu 10 t sind davon überdurchschnittlich stark betroffen. Dieser Staplertyp ist in ca. 80% aller Unfälle involviert. Untersucht man die gemeldeten Unfälle hinsichtlich der Unfallart, so zeigt sich, dass 60% aller Unfälle Kippunfälle sind. Maßnahmen zur Unfallvermeidung sollten sich daher zuerst auf Kippunfälle von kleinen und mittleren Gegengewicht-

staplern konzentrieren. Unfallanalysen, wie sie in [1] und [2] zu finden sind, kommen zu dem gleichen Schluss.

Eine erste Maßnahme zur Senkung der Unfallzahl war die Einführung von Fahrerrückhaltesystemen wie Sicherheitsgurte, Bügeltüren etc. im Jahre 2001, die auch statistisch eine geringere Anzahl von gemeldeten Unfällen mit schweren oder tödlichen Verletzungen zur Folge hatte [3]. Allerdings können Rückhaltesysteme nur die Folgen der Unfälle mindern, die Unfälle selbst jedoch nicht verhindern. In der Tat kann mit dem zur Verfügung stehenden Zahlenwert nicht nachgewiesen werden, dass die Zahl der Unfälle insgesamt, d.h. inkl. der nicht-meldepflichtigen Unfälle, gesunken ist. Es liegt der Verdacht nahe, dass die zwischenzeitlich eingeführten Rückhaltesysteme – sofern sie vom Bediener des Ffz wie vorgeschrieben genutzt wurden – im Falle eines Kippunfalls die Schwere der davongetragenen Verletzungen derart verringert haben, so dass viele Unfälle nicht gemeldet und damit statistisch nicht erfasst wurden.

Weitergehende technische Maßnahmen, die die Standsicherheit von Ffz erhöhen und damit Kippunfälle verhindern können, stellen eine sinnvolle Ergänzung zu Rückhaltesystemen dar, da sie die Unfälle als solche zu verhindern suchen. Die Einführung von elektronischen Sicherheitssystemen durch verschiedene Hersteller hat dies im praktischen Fahrversuch bereits nachgewiesen [4], [5]. Allerdings herrscht auf diesem Gebiet weiterhin Forschungsbedarf, denn oftmals berücksichtigen diese Systeme nicht alle kritischen Fahrzustände.

2. Standsicherheit von Flurförderzeugen

Die Standsicherheit eines Flurförderzeugs ist das konstruktiv gegebene Maß an Sicherheit gegen ein Umkippen/Überrollen im Betrieb. Sie wird prinzipiell durch die Bauart des Ffz (drei oder vier Räder), die Art des Fahrwerks (Drehschemel-Lenkung oder Pendelachse), die lastabhängige Lage des Schwerpunkts und durch die maximale Fahrleistung (max. Geschwindigkeit, max. Beschleunigung) des Ffz bestimmt.



PROF. DR.-ING.
RAINER BRUNS
PROFESSUR FÜR
MASCHINENELEMENTE
UND TECHNISCHE
LOGISTIK



DIPL.-ING.
OLIVER HÖPPNER

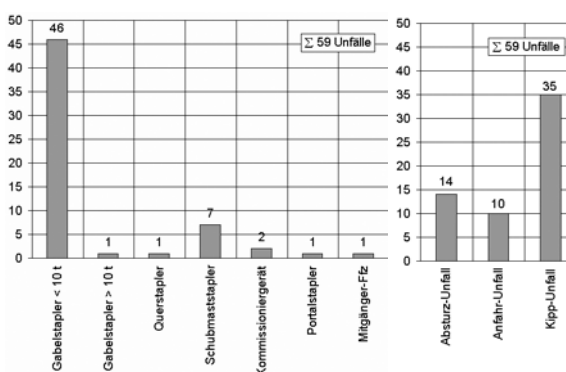


Abb. 1: Verteilung der Unfälle mit Ffz der Jahre 2000 bis 2004 auf einzelne Ffz-Typen und Unfallarten nach [3]

Gerät das Flurförderzeug im Betrieb in einen instabilen (Fahr-)Zustand, z.B. bei sehr langsamer Fahrt längs oder quer einer schiefen Ebene (Störung des statischen Gleichgewichts) oder in Fahrt durch schnelles Kurvenfahren oder Überfahren einer Fahrbahnunebenheit (Störung des dynamischen Gleichgewichts), kann das Ffz zur Seite oder nach vorn kippen. Das Kippen nach vorne kann nur beim Fahren mit angehobener Last erfolgen, da ansonsten die Gabelzinken dies verhindern würden. Das Fahren mit angehobener Last ist zwar nicht erlaubt (nicht bestimmungsgemäßer Gebrauch/vorhersehbarer Missbrauch), lässt sich jedoch beim Ein-/Auslagern von Ware in Regale oder beim Be- und Entladen von Lkw nicht verhindern. Ein kleines Brems- oder Beschleunigungsrucken oder eine Fahrbahnunebenheit initiieren dann den Kippvorgang. Oftmals wird hierbei – bedingt durch Platzmangel im Regalgang – zusätzlich gelenkt, sodass das Ffz seitlich umkippt.

Das Kippen bei schneller Geradeaus-Vorwärtsfahrt kann durch scharfes Bremsen oder Bergabfahren mit Last geschehen und führt zu einem Überschlagen/Überrollen des Fahrzeugs. Diese Unfallart wird hier nicht näher betrachtet, da dies einerseits bereits Gegenstand anderer Untersuchungen ist und andererseits Maßnahmen zur Verhinderung des seitlichen Umkippen auch positive Auswirkungen auf das Überrollen/Überschlagen haben: Bedingt durch die abgesenkten Gabelzinken bei bestimmungsgemäßigem Gebrauch kann der Stapler beim Bodenkontakt der Gabel nur nach schräg vorne kippen und letztendlich auf die Seite fallen.

Das prinzipielle Kippverhalten eines Gabelstaplers hängt in erster Linie vom Fahrwerk ab. Bestimmend für die Kippstabilität ist die jeweilige Lage der Kippkante. Beim 3-Radfahrwerk verlaufen diese Kippkanten durch die Radaufstandspunkte der beiden kurvenäußeren Räder. Sie liegen somit in der Bodenebene. Nach dem Abheben des kurveninneren Vorderrades setzt in der Regel das Heckgewicht auf dem Boden auf, sodass die neue Kippkante von der Karosserie-/Rahmenkante gebildet wird.

Beim 4-Rad-Stapler mit Pendelachse muss zwischen dem Kippen des Aufbaus, dem Kippen der Pendelachse und dem Kippen des Gesamtfahrzeugs unterschieden werden. Das seitliche Kippen eines 4-Radstaplers mit Pendelachse beginnt zunächst mit dem Kippen des Aufbaus. Die zugehörige Kippkante verläuft durch den Aufstandspunkt des kurvenäußeren Vorderrades A und durch das Pendelgelenk C und liegt somit schief im Raum. Um diese Achse kippt der Stapler bis der Anschlag der Pendelachse erreicht ist. Hierbei hebt das kurveninnere Vorderrad vom Boden ab. Bei einer weiteren Zunahme des Kippmomentes kippt der Stapler dann um die zweite Kippkante, die durch die Aufstandspunkte A und B der beiden kurvenäußeren Räder verläuft. Beim Kippen des Gesamtfahrzeugs bilden der Aufbau und die Pendel-

achse dann eine zusammenhängende Einheit. Allerdings ist durch das vorangegangene Aufbaukippen der Gesamtschwerpunkt etwas verschoben worden. Hierdurch wird der Abstand zwischen dem Schwerpunkt und der Kippkante verringert und die Standsicherheit reduziert.

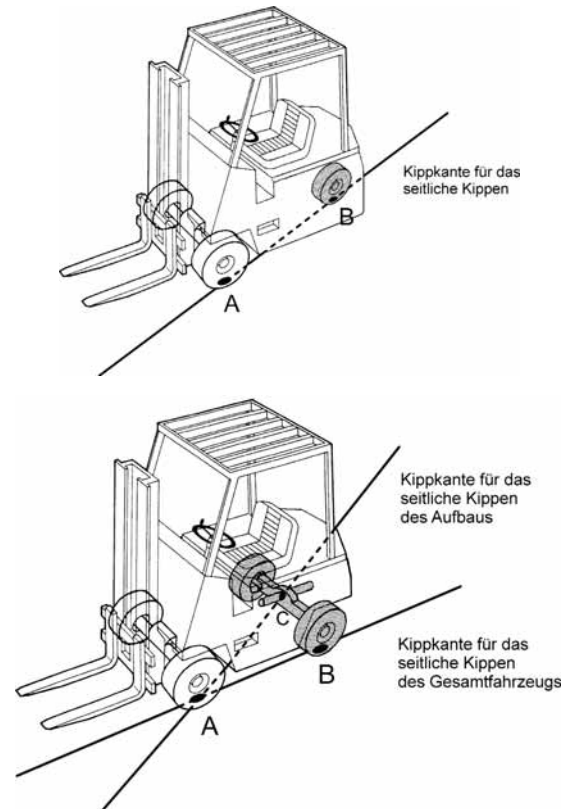


Abb. 2: Kippkanten bei 3-Radstapler (oben) und 4-Radstapler (unten)

Bei 4-Rad-Staplern mit Pendelachse ist aus der Literatur bekannt, dass die Lage des Pendelgelenks einen großen Einfluss auf das Kippverhalten hat: Eine große Pendelgelenkhöhe verschiebt die Aufbaukippgrenze zu höheren Kurvengeschwindigkeiten hin. Eine Optimierung der Pendelgelenkhöhe kann die zulässige Kurvenquerbeschleunigung um 20 Prozent erhöhen [6], [7].

Betrachtet man einen Gabelstapler mechanisch als Ein-Massen-Starrkörper, so greifen bei der Kurvenfahrt die Seitenführungskräfte und die Antriebskräfte an den Radaufstandspunkten der angetriebenen Räder an, während die Gewichtskraft und die Zentrifugalkraft am Schwerpunkt angreifen. Als Bedingung für den Beginn des Kippens kann das Abheben eines kurveninneren Rades verwendet werden. Alternativ kann auch das resultierende Drehmoment aller am jeweiligen Starrkörper angreifenden Kräfte und Momente um die Kippkante gebildet werden. Wird dieses resultierende Drehmoment ungleich null, so beginnt der Stapler zu kippen. Als zusätzliche Bedingung muss jedoch stets geprüft werden, ob die resultierende Kraft, die in der Bodenebene über-

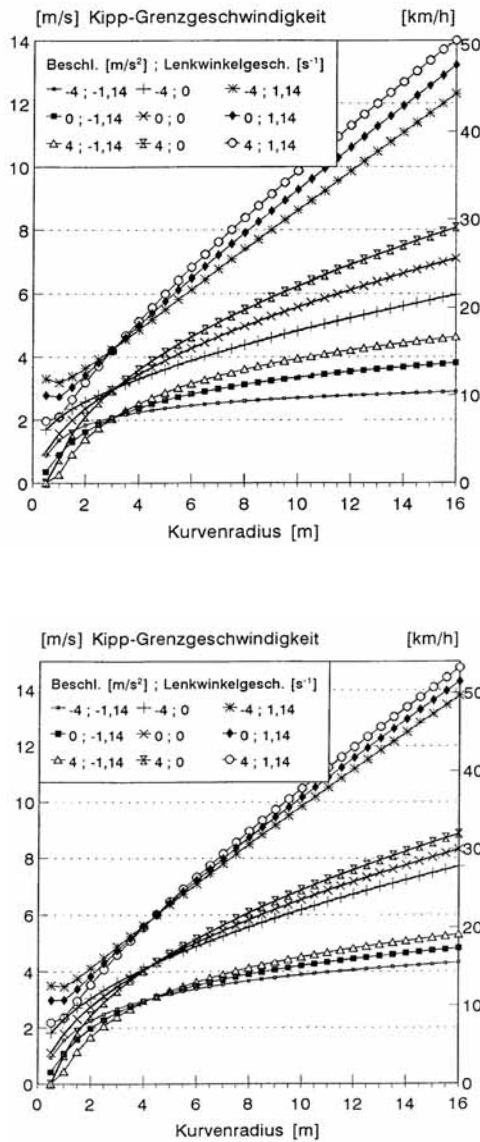


Abb. 3: Kippgrenzkurven für verschiedene Lenkwinkelgeschwindigkeiten und Fahrzeuglängsbeschleunigungen; oben: 3-Radstapler / unten: 4-Radstapler [9], [10]

tragen wird, nicht die maximal mögliche Reibkraft im Rad-Boden-Kontakt überschreitet.

Ausgehend von diesen Kippbedingungen können die Fahrzustände berechnet werden, bei denen der Stapler zu kippen anfängt. Zur Darstellung dieser Kippgrenzen wird in der Literatur die Kipp-Grenzgeschwindigkeit verwendet. Darunter ist diejenige Fahrgeschwindigkeit (Geschwindigkeit des Mittelpunktes der Vorderachse) zu verstehen, bei der das Kippen für einen vorgegebenen Kurvenradius beginnt [8], [9].

Die Kippgrenze hängt dabei außer vom Kurvenradius auch vom Fahrverhalten des Bedieners ab. Die Geschwindigkeit der Lenkbewegung sowie Geschwindigkeitsänderungen des Fahrzeugs (Beschleunigen oder Bremsen) sind zusätzliche Parameter, die einen starken Einfluss auf die Kippgrenze haben.

3. Maßnahmen zur Erhöhung der Standsicherheit

3.1 KONSTRUKTIVE MAßNAHMEN

Der traditionelle Ansatz zur Erhöhung der Standsicherheit besteht darin, die Schwerpunktlage des Ffz zu optimieren. Die Schwerpunktlage eines Gabelstaplers verändert sich abhängig vom Beladungsstand: Bei Leerfahrt liegt der Schwerpunkt im hinteren Bereich nahe des Gegengewichts bzw. unterhalb des Fahrersitzes, bei voller Beladung (Nennlast) befindet er sich nahe der Vorderachse.

Bei der konstruktiven Ausführung kann man dafür Sorge tragen, dass der Schwerpunkt möglichst tief zu liegen kommt, indem man Bauteile mit großer Masse (Traktionsbatterie bei Elektrostaplern, Verbrennungsmotor bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Staplern, Heckgewicht bei Gegengewichtstaplern) möglichst tief anordnet bzw. so gestaltet, dass sie eine tiefe Schwerpunktlage einnehmen. Wird beispielsweise die Hinterachse portal förmig mit dreh-schemelartig angelenkten Rädern ausgeführt, wird unter der Achse Bauraum für einen Teil des Heckgewichts (aus Montagegründen geteilt) gewonnen. Dadurch kann das Pendelgelenk nach oben verlagert werden, was wie zuvor ausgeführt, einen zusätzlichen positiven Effekt zur Folge hat.

Eine andere konstruktive Maßnahme zur Erhöhung der Kippsicherheit wäre die Vergrößerung der Spurweite. Dem steht jedoch die Forderung entgegen, das Blockstapeln von Paletten zu ermöglichen. Weiterhin muss die Spurweite der Hinterachse kleiner sein als die der Vorderachse, um in engen Bereichen das „Vonder-Wand-wegfahren“ zu ermöglichen [6].

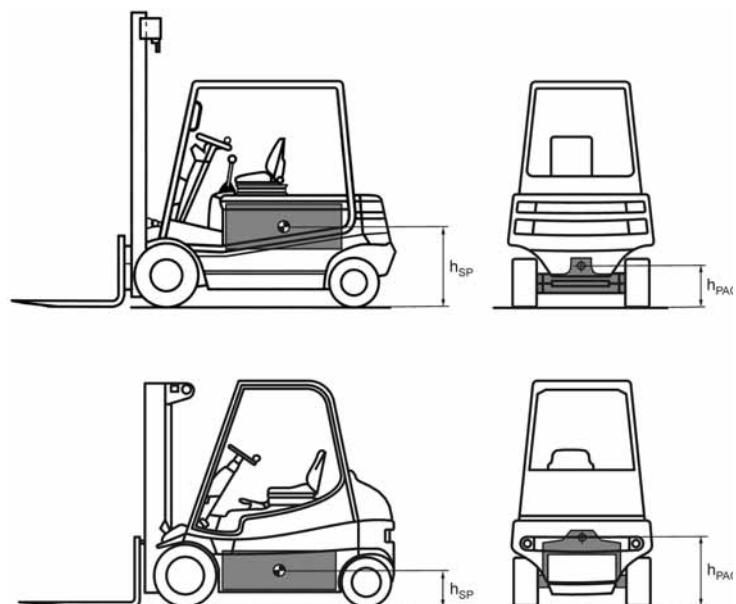
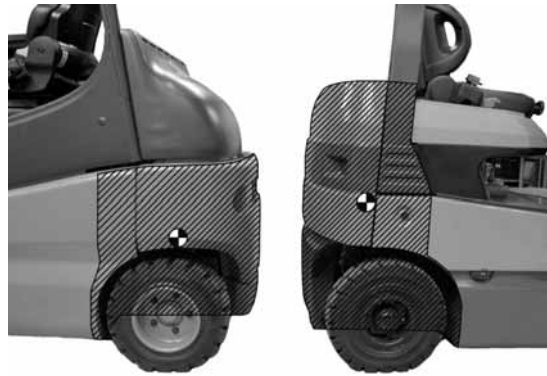


Abb. 4: Optimierung der Schwerpunktlage durch tiefere Positionierung der Traktionsbatterie und höhere Lage des Pendelachsengelenks (oben: ungünstig, unten: optimiert)



Abb. 5: Optimierte Gestaltung von Heckgewicht und Hinterachse

Abb. 6: Vergleich der Heckpartie von optimierter (links) und konventioneller (rechts) Konstruktion (Heckgewicht schraffiert, Schwerpunkt d. Heckgewichts markiert)



3.2 ELEKTRO-MECHANISCHE MAßNAHMEN

Elektromechanische Maßnahmen sind konstruktive, mechanisch-wirkende Maßnahmen, die aufgrund ihrer Komplexität jedoch elektronisch geregelt werden müssen. Zu dieser Maßnahmengruppe zählt beispielsweise das Verriegeln der Pendelachse bei Betätigung der Hubfunktion oder bei Kurvenfahrt.

Durch Verhindern der Pendelbewegung wird aus der Hinterachse eine starr befestigte Achse, die eine günstigere Lage der Kippkante zu Beginn des Kippvorgangs sowie daraus folgend eine günstigere Lage des Fahrzeugschwerpunktes zur Folge hat. Damit lässt sich die Kippgrenze zu höheren Kippgrenzgeschwindigkeiten hin verschieben.

Diese Maßnahme ist jedoch nicht ohne negative Begleiterscheinung: Dadurch, dass das (im unbeladenen Zustand weitgehend unkritische) Aufbaukippen in schnell gefahrenen Kurven verhindert wird, erhält der Fahrer keine Rückmeldung über die Annähe-

rung an die Kippgrenze mehr und wird dann durch das plötzliche Kippen des gesamten Staplers bei Überschreiten der Kippgrenze unangenehm überrascht [6].

3.3 ELEKTRONISCHE MAßNAHMEN

Analog zur Entwicklung von elektronischen Fahr sicherheits- und Fahrerassistenzsystemen im Kraftfahrzeugbereich finden die Fahrsicherheit erhöhende elektronische Systeme auch zunehmend im Gabelstapler Anwendung. Bei diesen rein elektronischen Maßnahmen sind in der Regel keine zusätzlichen Aktoren notwendig. Es wird rechnergestützt auf die vorhandenen Komponenten eingewirkt. Computergestützt werden im entscheidenden Moment automatische Eingriffe beim Antriebs- und Bremsenmanagement vorgenommen. Während diese Systeme beim Kfz bereits hochentwickelt sind und in vielen verschiedenen Fahrsituationen (Anfahren, Kurvenfahrt, Bremsen, verminderte Sicht, Spurwechsel) aktiv werden, sind diese Systeme aufgrund der einfacheren Realisierung vorerst nur für elektromotorisch betriebene Ffz verfügbar, wo das Ffz bei Kurvenfahrt oder Betätigen der Hubfunktion in seiner Fahrgeschwindigkeit begrenzt oder abgebremst wird. Abbildung 8 zeigt diese Abhängigkeit qualitativ. Bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Staplern wäre hier ein Eingriff in die Funktion der Betriebsbremse notwendig. Dass die sich bereits auf dem Markt befindlichen Systeme die Kippgefahr tatsächlich stark reduzieren wurde inzwischen experimentell bestätigt [3], [4], [5].

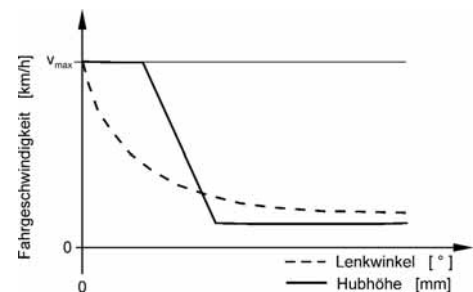


Abb. 8: Qualitativer Verlauf der Fahrzeuggeschwindigkeit in Abhängigkeit von Lenkwinkel und Hubhöhe.

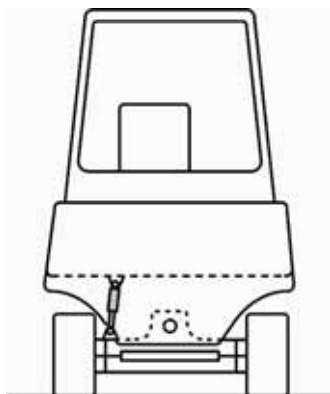


Abb. 7: System zur Arretierung der Pendelachse mittels Hydraulikzylinder. links: Prinziskizze, rechts: Foto der praktischen Ausführung

4. Experimentelle Ermittlung der Standsicherheit

4.1 STATISCHER STANDSICHERHEITSTEST NACH ISO 1074

Der statische Standsicherheitstest nach ISO 1074 stellt ein wichtiges Kriterium für die Zulassung zum betrieblichen Gebrauch eines jeden neuen Gabelstaplertyps dar. Der Test wird auf einer Kippbühne durchgeführt, wobei der Neigungswinkel der Bühne bzw. des Staplers relativ zum Untergrund ermittelt wird, bei welcher der Stapler kippt.

Es werden vier Tests (Kippen nach vorne/seitlich, mit/ohne Last) für jedes Ausstattungsmerkmal, z.B. unterschiedliche Bereifung, Hubgerüstart, Lastschwerpunkt etc., durchgeführt, mit deren Ergebnis-

sen das Lastdiagramm konstruiert werden kann. Dieses Lastdiagramm ist gut sichtbar im Fahrzeug anzuzeigen, damit der Bediener jederzeit überprüfen kann, ob er sein Fz im zugelassenen Betriebs- bzw. Lastbereich betreibt.

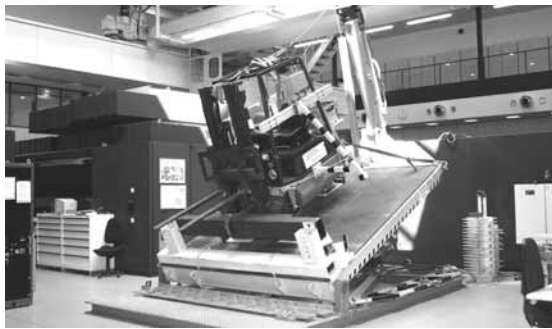


Abb. 9: Statischer Standsicherheitstest nach ISO 1074 im Labor

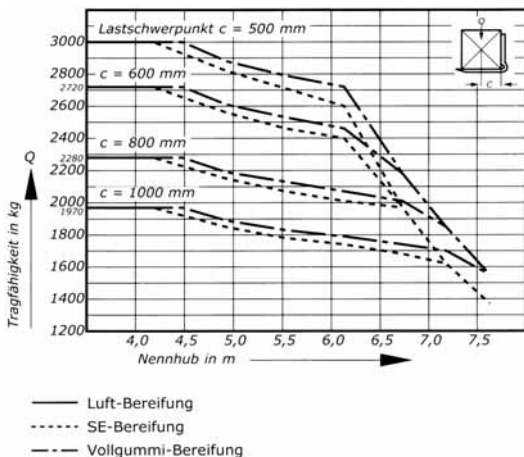


Abb. 10: Lastdiagramm als Ergebnis des statischen Standsicherheitstests nach ISO 1074

4.2 ENTWICKLUNG EINES DYNAMISCHEN STANDSICHERHEITSTESTS

Statische Standsicherheitsteste auf der Kippbühne bieten nur eine eingeschränkte Aussagekraft im Bezug auf das hochdynamische Kippgeschehen in der Praxis. Zwar lässt sich mit Hilfe des experimentell ermittelten Kippwinkels die maximale Grenzgeschwindigkeit für jeden beliebigen Kurvenradius überschlägig berechnen, viele relevante Einflussfaktoren finden bei dieser Rechnung jedoch keinen Eingang: Da im statischen Standsicherheitstest nur vier Testszenarien untersucht werden, ist der Kippwinkel nicht für jeden Lenkwinkel bekannt. Auch wird das komplexe Zusammenspiel von Rad und Untergrund nicht berücksichtigt (unterschiedliche Reibbeiwerte für unterschiedliche Untergründe und Schlupfzustände) und der Einfluss von Fahrbahnebenenheiten/-welligkeit vernachlässigt. Diese Einflussfaktoren müssen im praktischen Versuch untersucht werden, auch wenn dies aufgrund der Komplexität der Materie und der Vielzahl an Parametern nur in sehr begrenztem Umfang möglich ist.

Um Versuche im fahrdynamischen Grenzbereich auf wissenschaftlichem Niveau durchzuführen, muss das Testobjekt entsprechend ausgerüstet sein: Neben einer Stützvorrichtung zur Verhinderung des Umkippens (zur Sicherheit des Testfahrers) muss das Testfahrzeug über umfangreiche Messtechnik verfügen: Drehzahlsensoren an den Vorderrädern messen die Raddrehzahlen und können (abhängig vom Antriebssystem) durch den Drehzahlabfall ein Abheben des Rades detektieren. Ein optisches Geschwindigkeitsmesssystem (Odometer) misst die Längs- und Quergeschwindigkeit und eine inertielle Messplattform auf dem Heckgewicht registriert die Beschleunigungen in und um alle drei Raumachsen.

Durch den Vergleich der Giergeschwindigkeit mit dem Lenkwinkel- und Wankwinkelverlauf über der Zeit kann das Kippgeschehen gut nachvollzogen werden, da sie die relevanten physikalischen Größen für den Kippzustand sind. Fahrzeuggeschwindigkeit und Längs- und Querschleunigung sind Sekundärgrößen, die den Fahrzustand und damit die Rahmenbedingungen beschreiben.



Abb. 11: Mit Messtechnik und Stützvorrichtung ausgestattetes Versuchsfahrzeug



Abb. 12: Typische Ergebnisse eines dynamischen Kipptests (Lenkverreistest)

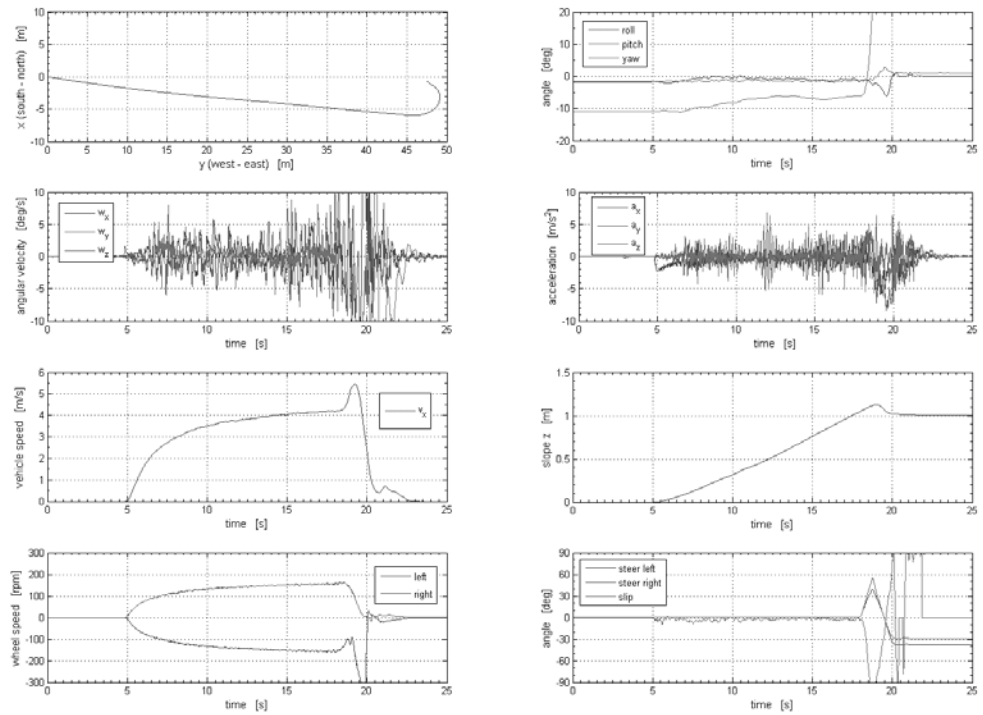


Abbildung 13 zeigt einige Impressionen von Fahrversuchen im Grenzbereich, die die Dynamik eines dynamischen Kipptests verdeutlichen, die so im statischen Standsicherheitstest nicht zu simulieren ist.

Im Bereich der Kraftfahrzeugdynamik sind Fahrversuche zur Ermittlung des dynamischen Verhaltens am Rande der Stabilitätsgrenze gängige Praxis. Aufgrund des vollständig anderen Fahrzeugaufbaus und unterschiedlicher Fahrleistungen und Betriebsbedingungen sind diese jedoch nicht direkt auf Ffz übertragbar. Einige der bekannten Fahrversuche aus dem Kfz-Bereich lassen sich jedoch modifizieren und zur Parameterermittlung für Simulationsrechnungen einsetzen, so z.B. stationäre und instationäre Kreisfahrt, Schlangenlinienfahrt (Wedeln) und der Lenkverreistest.



Abb. 13: Dynamische Kippteste mit 3-Rad-Stapler

In Versuchen hat sich vor allem der Lenkverreistest als geeignetes Testmanöver zur experimentellen Untersuchung der Standsicherheit erwiesen. Insbesondere wenn der Lenkverreistest dahingehend modifiziert wird, dass nach dem Einlenken schnell gegengelenkt wird, so dass sich die Lenkräder querstellen, kann ein Stapler am besten zum Kippen gebracht werden [4], [10], [11].

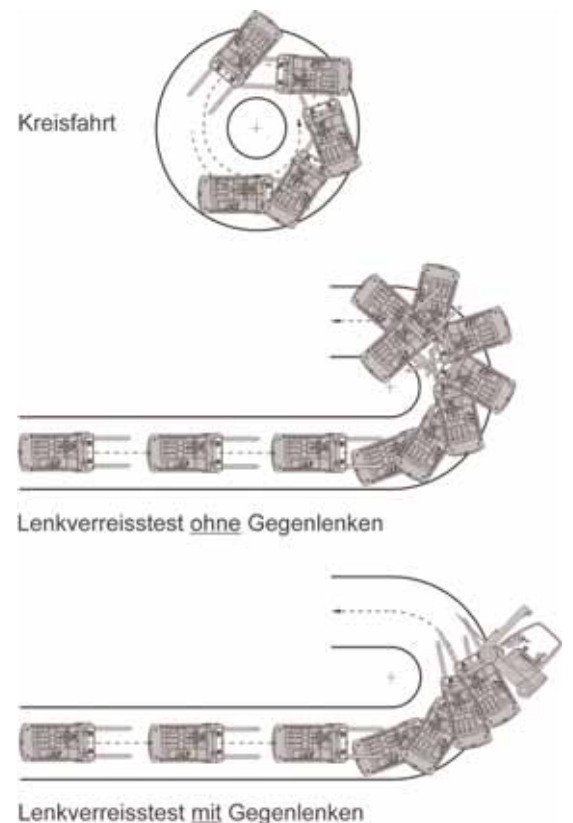


Abb. 14: Geeignete Testmanöver zur Untersuchung der dynamischen Standsicherheit

An der Professur für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL) der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg (HSU HH) wird derzeit in Kooperation mit dem Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) aus Frankreich ein dynamischer Standsicherheitstest entwickelt. Das Projekt wird von der deutschen Berufsgenossenschaft (Großhandels- und Lagererei-BG, Hauptverband der Berufsgenossenschaften) und der Forschungsgemeinschaft Intralogistik/Fördertechnik und Logistiksysteme (FG IFL) des VDMA gefördert.

Die Schwierigkeit bei der Konzeption eines solchen Tests besteht darin, dass dieser Test ein eindeutiges, klares Ergebnis liefern und reproduzierbar sein muss und möglichst einfach aufgebaut sein sollte, damit er möglichst überall und ohne Zuhilfenahme von spezieller Ausrüstung durchgeführt werden kann. Dann sind die Rahmenbedingungen dafür erfüllt, damit solch ein

Test als Typzulassungsprüfung ähnlich dem statischen Standsicherheitstest nach ISO 1074 eingesetzt werden kann. Da sich dieser zu entwickelnde Test im fahrdynamischen Grenzbereich abspielt, muss er aus Sicherheitsgründen auch mit einer Stützeinrichtung fahrbar sein, wobei diese das Versuchsergebnis nicht signifikant beeinflussen darf. Als Testergebnis muss eine duale Aussage (Test bestanden/nicht bestanden) getroffen werden können. Wünschenswert wäre darüber hinaus die Möglichkeit, eine quantifizierbare Kennzahl, die Aufschluss über das qualitative Abschneiden eines getesteten Staplers gibt, ableiten zu können. Zur Zeit werden an den beiden ausführenden Forschungsinstituten MTL und INRS verschiedene Test-Entwürfe entwickelt und einem Praxistest unterzogen, um ihre Tauglichkeit bezüglich Aussagekraft, Reproduzierbarkeit und Praktikabilität zu überprüfen.

Literatur

- [1] Henter, A.: Immer noch verursachen Fahrfehler die meisten tödlichen Gabelstaplerunfälle. Sicherheitsingenieur 8 (2001), S. 30-33
- [2] Weiner, U.: Die Erhöhung der Arbeitssicherheit des Fahrers beim Kippen und Überrollen mobiler Arbeitsmittel. Dissertation, Gerhard-Mercator-Universität – GH Duisburg 2001
- [3] Oehmann, M.: Kippunfälle von Flurförderzeugen von 2000 bis 2004. VDI-Berichte Nr. 1879, S. 89-100. Düsseldorf: VDI-Verlag 2005
- [4] Bruns, R.; Höppner, O.: Experimental Investigation on the Dynamic Stability of Fork Lift Trucks. in: Fork Lift Truck Validation and Trials. Research Report 456. British Health & Safety Executive HSE, London 2006
- [5] Kempfer, L.M.: Lift Truck Fleet with Curve Control Protects Drivers. Material Handling Management. Online Issue September 2005: <http://www.mhmonline.com>
- [6] Roth, J.: Entscheidend ist das Stapler-Grundkonzept. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin 41 (2001) Special Flurförderzeuge, S. 8-9
- [7] Shibli, F.: Untersuchung zur Erhöhung der Kippstabilität von Gabelstaplern. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Fb Nr. 395, Dortmund 1985
- [8] Golombek, G.-U.: Der schnell fahrende mobile Industrieroboter. Dissertation, Gerhard-Mercator-Universität – GH Duisburg 1993
- [9] Elbracht, D.; Golombek, G.-U.: Die Kippvermeidung schnell fahrender Flurförderzeuge. Fertigungstechnisches Labor der Gerhard-Mercator-Universität – GH Duisburg. Duisburg 1996
- [10] Bruns, R.: Fahrstabilität und dynamisches Kippen. 4. Hamburger Staplertagung, Hamburg, 6. Juni 2002
- [11] Bruns, R.: Sicherheitsnachweis für Stapler. Hebezeuge und Fördermittel, Berlin (2002) 7-8, S. 392-394
- [12] ISO 1074 : 1991: Counterbalanced fork-lift trucks – Stability tests