

Optimierung technischer Basiskomponenten

Neue Prüfstandskonzepte für Räder

Bei Staplern und Lagertechnikgeräten steigen sowohl der technologische Anspruch als auch die Komplexität der Produkte mit den ständig wachsenden Anforderungen an die Umschlagsleistung stetig an. Die Wirtschaftlichkeit der Umschlagsprozesse wird entscheidend von den eingesetzten fördertechnischen Basiselementen, z. B. Räder und Rollen, der Flurförderzeuge mit beeinflusst. Im Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) der Universität Stuttgart sollen durch den Einsatz neuer Prüfstandskonzepte auf Basis von numerischen Analyseergebnissen und bereits vorhandenen Kenntnissen standardisierte Tests entwickelt und in Normen und Richtlinien eingearbeitet werden, um das Verschleißverhalten von Rädern und Rollen objektiv beurteilen und optimieren zu können.

- Markus Schröppel
- Manuel Weber
- Christian Vorwerk

Rädoptimierung im Forschungsverbund

Obwohl heutige Räder und Rollen von elektrisch angetriebenen Indoor-Flurförderzeugen mit einer Kunststoffbandage aus Polyurethan gute mechanische Eigenschaften aufweisen, entstanden europaweit im Jahr 2005 Kosten in Höhe von 554 Mill. € (!) für den Austausch beschädigter und zerstörter Rollen. Als Hauptursache werden die zunehmenden Fahrgeschwindigkeiten und Nutzlasten angesehen, die zu einer drastischen Erhöhung der Umfangskräfte beim Antreiben und Bremsen sowie der entstehenden Lenkmomente und -geschwindigkeiten führen. Dadurch werden die Beläge extrem belastet und heizen sich infolge Walkarbeit stark auf, was zu hohem Verschleiß oder – beispielsweise beim Überfahren eines Hindernisses – auch zur schlagartigen Zerstörung der Radbandagen führen kann. Mit den bisher realisierten Lösungen lassen sich die zukünftigen Anforderungen bei hinreichender Radlebensdauer nicht mehr erfüllen.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Verbundforschungsprojekt „InnoRad“ zielt deshalb darauf, die Lebensdauer von Rädern und Laufrollen von Flurförderzeugen zu verlängern, indem auftretender Verschleiß und schlagartige Zerstörung drastisch redu-



1 Kreisaktuator im Labor des IFT

ziert werden. Hierzu entwickeln die Projektpartner reproduzierbare Auslegungs-, Berechnungs- und Testverfahren. Sie suchen nach innovativen Lösungsansätzen für das Gesamtsystem von Rad und Laufrolle, das aus dem Laufbelag, der Binde-mittelschicht, dem Felgenkörper, der Lagerung und der Radaufhängung besteht. Dabei werden auch die spezifischen Einsatzbedingungen, die unterschiedlichen Funktionen des Rades als Laufrolle, Stützrolle, Antriebsrad, gebremstes oder gelenktes Rad sowie die Einbausituation berücksichtigt. Zielkonflikte, wie etwa zwischen der Lebensdauer des Rades und der Schonung des Bodens oder auch dem Fahrkomfort, sollen künftig überwunden werden.

Am Projekt beteiligte Partner

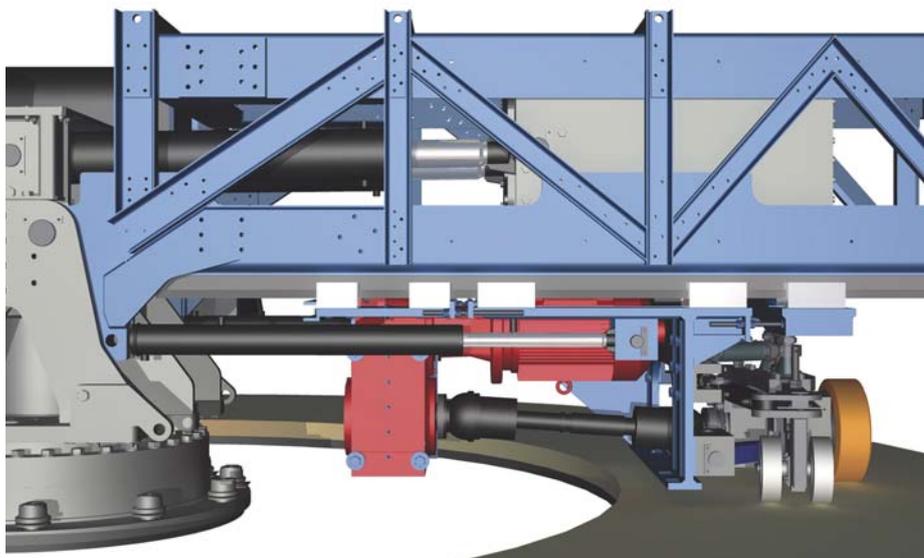
Um die Verbesserungspotenziale systematisch abzuleiten, werden computer-gestützte Untersuchungen der Schadensursachen und Verschleißmechanismen durchgeführt. Hierzu werden Modelle auf der Basis von Finite-Elemente- und Mehrkörpersystemen für das System Rad/Laufrolle eingesetzt. Mit Hilfe der Analyseergebnisse sowie vorhandener Kenntnisse der Projektpartner sollen standardisierte Tests an neuartigen Prüfständen entwickelt werden. Diese sollen in Normen und Richtlinien eingearbeitet werden, die es ermöglichen, das Verschleißverhalten objektiv zu beurteilen. An dem Projektkonsortium sind neben dem IFT der Universität Stuttgart und dem Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL) der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg auch die Flurförderzeughersteller Kion Group GmbH und Jungheinrich AG, die Räderhersteller Räder-Vogel GmbH & Co. KG und Wicke GmbH sowie als Anwender die Robert Bosch GmbH beteiligt.

Innovative Prüfstandstechnik

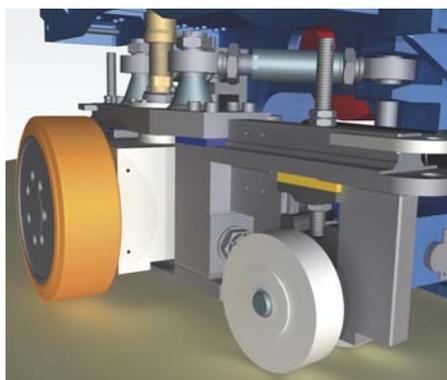
Am IFT wurde ein völlig neues Prüfstandskonzept zur experimentellen Untersuchung der Räder entwickelt und in die Laborumgebung des Instituts integriert (Bild 1). Mit diesem sog. Kreisaktuator ist es erstmals möglich, Räder auf unterschiedlichen Fahrbahnbelägen praxisgetreu anzutreiben bzw. abzubremsen. Bei dem realisierten Prüfstandsprinzip werden zwei Räder an jeweils einem Arm auf einer kreisringförmigen ebenen Fahrbahn geführt. Dabei wird jedes Rad einzeln durch einen Drehstromasynchronmotor mit Frequenzrichter angetrieben. Durch die Verwendung verschiedener Getriebestufen können Radantriebs- und -bremsmomente bis zu 3000 Nm bzw. Fahrgeschwindigkeiten bis zu 10 m/s realisiert werden. Um bei sämtlichen Stellungen des Rades die Leistung vom Getriebe auf das Rad übertragen zu können, werden Gleichlaufgelenkwellen eingesetzt. Die Anbringung der Prüflast in Form von (in einem weiten Bereich verstellbaren) Gewichten über dem Rad ermöglicht eine Nachstellung von realitätsgetreuen Belastungssituationen im Prüfbetrieb. Für alle Stellbewegungen auf dem Prüfstand werden Hydraulikzylinder verwendet (Bild 2). Dazu werden auf dem drehenden Prüfstand ein Hydraulikaggregat und auch die komplette Steuer- und Regelungstechnik mitgeführt.

Ein Kernelement des Prüfstands ist die Radaufhängung. Durch sie wird das Rad auf der Fahrspur geführt und werden die resultierenden Führungskräfte aufgenommen. Die Radaufhängung ist als stabile Rahmenkonstruktion ausgeführt, an der die Anlenkpunkte zur Verbindung zum Arm angebracht sind, und schließt auch das eigentliche Lagergehäuse mit der Antriebswelle ein (Bild 3). Diese fliegende Lagerung des Rades wurde somit analog

und Rollen



② *Verstellung von Prüflast und Laufbahndurchmesser*



③ *Radaufhängung mit Oberlenkern und Stützrollen*

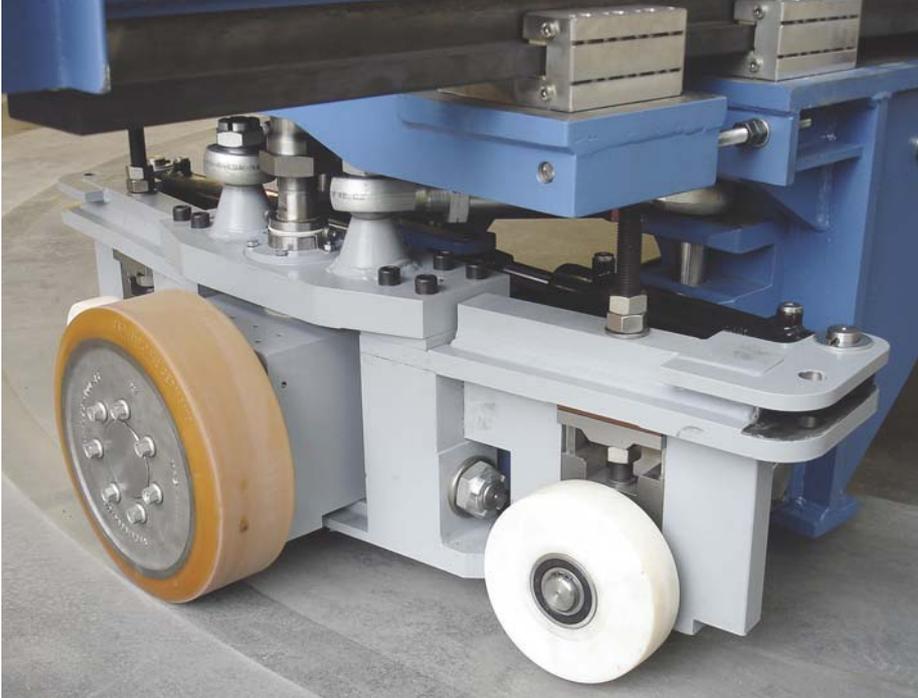
zur Einbausituation im Stapler realisiert. Das Lagergehäuse ist drehbar ausgeführt, um ein dynamisches Lenken des Rades mit einem Lenkwinkel von bis zu 25° während der Fahrt zu ermöglichen. Als Aktuatoren für die Lenkbewegung werden je Radaufhängung zwei mit gegensinnigen Bewegungsrichtungen parallel geschaltete Hydraulikzylinder verwendet.

Die Anbindung der Radaufhängung an den Arm wird durch je zwei Ober- und Unterlenker und eine Druckstrebe nach dem Prinzip der Parallelkinematik vorgenommen (Bild ④). Hierdurch wird es möglich, Räder mit einem Durchmesser von 200 mm bis 400 mm zu prüfen. Die Unterlenker sind so ausgeführt, dass sie sowohl Längs- als auch Querkräfte aufnehmen und damit die wesentlichen am Rad wirkenden Antriebs- und Seitenführungskräfte in den Arm ableiten können. Die Oberlenker nehmen nur Zug- und Druckkräfte auf und stützen die Radaufhängung ab. Durch die Längenverstellbarkeit der Oberlenker lässt sich der Sturz am Rad um bis zu 10° variieren. Zur Aufbringung der Normalkraft auf

das Rad dient eine Druckstrebe. Diese kann exakt senkrecht über die Radaufhängung ausgerichtet werden, sodass eine präzise messtechnische Erfassung der wirkenden Normalkraft möglich wird. In die Druckstrebe können verschiedene Feder-Dämpfer-Elemente wahlweise adaptiert werden, wodurch die Untersuchung der Auswirkungen einer elastischen Radaufhängung auf die Radlebensdauer ermöglicht wird. Neben der Messung der Normalkraft werden auch alle weiteren in den Ober- und Unterlenkern angreifenden Kräfte mit Dehnungsmessstreifen erfasst und ausgewertet, um neben der Seitenführungskraft, der Aufstandskraft, der Antriebskraft auch den Rollwiderstand ermitteln zu können.

Bei den Prüfläufen werden die Räder teilweise bis zu deren Versagen getestet. In diesem Fall kann es z. B. zur Verflüssigung des Radkunststoffs oder zu einer Ablösung der Bandage von der Felge des Rades kommen. Um dabei eine Beschädigung der Prüfstandskonstruktion oder des Fahrbelages zu verhindern, wurden an der Radaufhängung Stützrollen angebracht. Je Radaufhängung sind zwei Stützrollenpaare höhenverstellbar montiert, sodass ein Anpassen an unterschiedliche Radgrößen und verschiedene Sturzwinkel möglich ist. Die Stützrollenpaare sind dabei schwenkbar gelagert, wodurch eine optimale Verteilung der Last auf alle Stützräder und eine Anpassung an verschiedene Kurvenradien sichergestellt werden kann.

Die Prüfkraft der Räder setzt sich aus den Gewichten einzelner Prüfstandskomponenten (Arm, Motor-Getriebe-Einheit, Radaufhängung...) und einer variablen Prüflast zusammen. Hierdurch lässt sich eine maximale Prüfkraft von 50 kN je Rad realisieren. Die variable Prüflast besteht aus einer Prüflastwanne, die auf dämpfenden



4 Dynamische Lenkbewegungen mit Hydraulikzylindern

(Bilder: IFT)

den Kunststoff-Gleitschienen gelagert ist und in die unterschiedliche Gewichtsplatten montiert werden können. Diese Einheit ist verschiebbar im Arm integriert, um ein dynamisches Verändern der Prüflast während eines Versuchslaufes zu ermöglichen. Die Verschiebung wird je Prüflast durch zwei redundant ausgeführte Hydraulikzylinder realisiert.

Der Lagerbock der Radaufhängung – er stellt die Verbindung zum Arm her – ist über eine Schwerlast-Lineargleitführung verschiebbar an den Arm montiert. Hierdurch wird eine Veränderung des Laufbahndurchmessers zwischen 4,0 m und 6,0 m ermöglicht. Die Verschiebung bzw. das Halten des Lagerbocks auf einem bestimmten Laufbahndurchmesser wird auch hier über zwei parallel geschaltete Hydraulikzylinder vorgenommen. Durch ein spezielles Ansteuern der Zylinder kann so z. B.

das Prüfrad gezielt durch eine Querkraft belastet und somit eine realitätsgetreue Kurvenfahrt im Versuch nachgestellt werden. Durch eine „Freischaltung der Zylinder“ und die Vorgabe eines festen Lenkwinkels des Rades ist es auch möglich, eine Kurvendurchfahrt von Staplern zu simulieren, bei der das Rad die Seitenführungskraft aufbringen muss.

Resümee und Ausblick

Die Räder und Rollen von Flurförderzeugen werden konstruktiv (Geometrie von Felge und Bandage, Lagerung, zusätzliche Bauelemente, mehrschichtige Bandagen) sowohl in der heutigen Basiskonstruktion optimiert als auch durch methodische Entwicklung alternativer Konstruktionen völlig neu überarbeitet. Mit einem neu entwickelten Prüfstands-konzept sollen stan-

dardisierte Tests zur Beurteilung des Verschleißverhaltens entwickelt und in Normen und Richtlinien eingearbeitet werden. Die Integration technischer Innovationen und die Optimierung von Prozessen werden den Einsatz von Flurförderzeugen in näherer Zukunft erheblich verändern. Immer weiter steigende Anforderungen an Umschlagsleistung und Verfügbarkeit erfordern deshalb die engere Zusammenarbeit von Herstellern und Anwendern bei der Forschung und Entwicklung neuer Technologien. □

Dipl.-Ing. Christian Vorwerk
ist Oberingenieur am
Institut für Fördertechnik
und Logistik der
Universität Stuttgart



Dipl.-Ing. Markus Schröppel
ist wissenschaftlicher
Mitarbeiter am Institut
für Fördertechnik und
Logistik der Universität
Stuttgart



Dipl.-Ing. Manuel Weber
ist wissenschaftlicher
Mitarbeiter am Institut für
Fördertechnik und
Logistik der Universität
Stuttgart

