

Übertragung der Ergebnisse aus dem Projekt „InnoRad“ in die industrielle Praxis

KION
GROUP

Linde Hydraulics: Vice President Electronic Systems & Drives
Dipl.-Ing. BEng(hons) Maik Manthey MBE

Stuttgart, 03. März 2010



Forschungsprojekt InnoRad

BMBF-Verbundprojekt
Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“

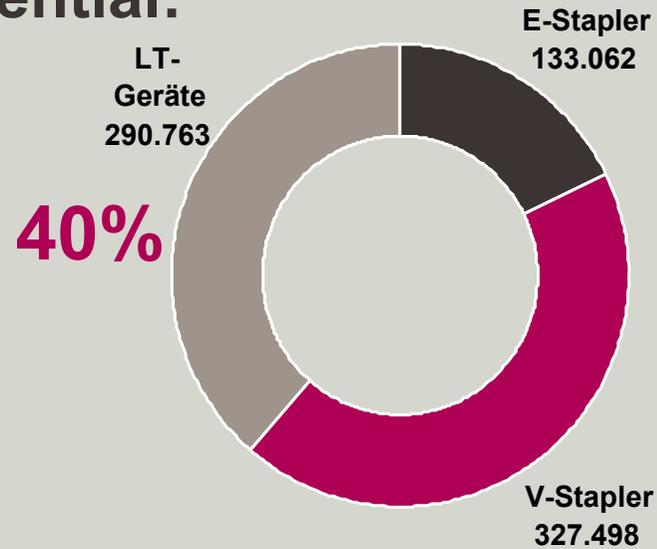
Themenfeld
Logistische Basiselemente

Innorad – Erhöhung der Lebensdauer der Räder von Flurförderzeugen

”Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für
Bildung und Forschung (BMBF)
innerhalb des Rahmenkonzeptes „Forschung für die Produktion von morgen“
gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe,
Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT), betreut.”

Innovationspotential:

- Lastrollen
- Stützrollen
- Führungsrollen
- Lenkrollen
- Antriebsräder



Maßgeblicher Einfluss des fördertechnischen Basiselements Rad/Rolle auf:

- Fahrverhalten
- Zuverlässigkeit
- Auftretender Verschleiß
- Standsicherheit



Ausgangssituation

KION
GROUP

5 Mio. Flurförderzeuge mit Hubeinrichtung zum

- **Fördern,**
- **Lagern und**
- **Handhaben**

**von Einzelgütern und Ladungsträgern
in der (Produktions-) Logistik weltweit.**

- **Gabelhubwagen**
- **Gabelstapler**
 - Gabelstapler,
 - Schubstapler,
 - Seitenstapler,
 - Kommissionierstapler, etc.



Ausgangssituation



5 Mio. (*) Flurförderzeuge mit Hubeinrichtung für den Materialfluß in der Produktion u. Logistik weltweit.

Kosten für Räder-/Rollentausch und Abfallmengen von elektrisch angetriebenen Flurförderzeugen in Deutschland / Europa

Stützrollen	Antriebsrad	Lastrollen	Σ	
ca. 175 €	340 €	240 €	755 €	Kosten p.a für Austausch wegen Verschleiß (Material & Lohn)
27	53	37	118	Deutschland p.a. [in Mio. €]
129	251	174	554	Europa p.a. [in Mio. €]
8.3	10.3	4.4	23	Abfall bei Austausch (nur Bauteile)
1.299	1.612	692	3.602	Deutschland p.a. [in to]
6.104	7.576	3.251	16.920	Europa p.a [in to]

* Auf Basis der FFZ-Branche 2003 mit 673.000 FFZ p.a. und 8 Jahren Nutzung

Es sind keine Modelle und Berechnungsmethoden für Räder/Laufrollen bekannt.

Der Stand der Technik beruht auf empirischen Untersuchungen

Auf wissenschaftlicher Seite nur wenig Veröffentlichungen

Istzustand der Werkstoffspannungsverteilung u.a. von Prof. Severin (TU Berlin)

Das fördertechnische Basiselement Räder und Rollen ist für die zukünftige Steigerung der Produktionslogistik von entscheidender Wichtigkeit ...

...und wurde bisher als unspektakuläres Maschinenelement unterschätzt !

Bisherige Betrachtungen der Räder/Laufrollen erfolgten als Einzelkomponente, weniger im Gesamtsystem Ladegut-Fahrzeug-Rolle-Boden

Die notwendige, systematische und ganzheitliche Betrachtung erfordert einen sehr hohen Aufwand und beinhaltet große Risiken

InnoRad – Verbundprojekt

Erhöhung der Lebensdauer der Räder von FFZ



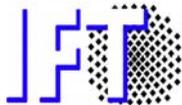
BMBF-Rahmenkonzept: **“Forschung für die Produktion von morgen”**

Partner:

FFZ-Hersteller



Forschungsinstitute



Räderhersteller



Kunststoffhersteller



Bayer

Anwender



BOSCH

Zielsetzung:

Die **Lebensdauer** des Basiselements Rad/Laufrolle unter Beibehaltung der **Produktionskosten** um mindestens **20% zu verlängern.**

Entwicklung von reproduzierbaren:

Auslegungs-,
Berechnungs- und,
Testverfahren

...für verschiedene Einsatzzwecke

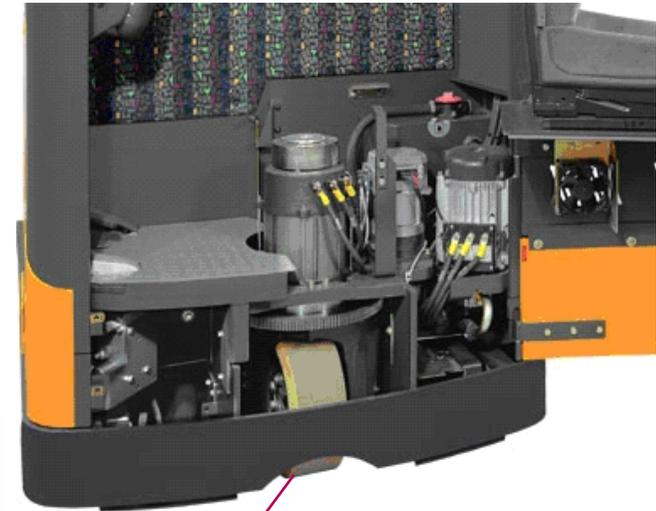


InnoRad – Verbundprojekt

Erhöhung der Lebensdauer der Räder von FFZ



Führungsrollen



Antriebs-, Brems- und Lenkeinheit



Lastrollen

Immer weiter verschärfte Belastungen führen zu verkürzten Standzeiten von wenigen Monaten oder sogar Wochen.

Ursachen

- **Abrollverschleiß**
- **Abrieb** durch Schubbelastung aus der Reibpaarung Rad/Boden
- **Thermische Überlastung** durch hohe Walkarbeit, infolge hoher Fahr- und Lenkgeschwindigkeiten
- **Radversagen** durch schlagartig auftretende Stöße (bis 50g)

Anforderungen

- sehr hohe **Radaufstandskräfte**
- sehr hohe **Seitenführungskräfte**
- sehr hohe **Umfangskräfte** beim Antreiben und Bremsen
- Sehr hohe **Lenkmomente** und **-geschwindigkeiten**



Ganzzeitlicher Ansatz für das System Rad/Rolle im FFZ aus:

- Felgenkörper
- Bandage
- Bindemittelschicht
- Lagerung
- Radaufhängung
- Spezifischen Einsatzbedingungen
- unterschiedlichen Funktionen
- Einbausituation

Bestehende Zielkonflikte:

- Lebensdauer Rad / Boden
- Traktion
- Schonung Boden
- Fahrkomfort

Zielsetzung:

Die **Lebensdauer** des Basiselements Rad/Laufrolle unter Beibehaltung der **Produktionskosten** um mindestens **20% zu verlängern**.

Entwicklung von reproduzierbaren:

Auslegungs-,
Berechnungs- und,
Testverfahren

...für verschiedene Einsatzzwecke

Analyse

- Systematische Bestandsaufnahme der heutigen Konstruktionen und Werkstoffe
- Vervollständigung Literatur- und Patentrecherchen
- Ermittlung des Istzustands der Radlebensdauern aus statistischen Daten
- Analyse und Bewertung auftretender Schäden
- Untersuchung der unterschiedlichen Einsatz- und Belastungsbedingungen
- Ableitung einsatzspezifischer Anforderungsprofile

Analyse

Modellbildung

— Entwicklung eines Finiten-Elemente-Modells für die Räder als Basis für computergestützte Untersuchungen

— Computergestützte Untersuchungen der Versagensursachen und Verschleißmechanismen

— Entwicklung und Aufbau eines Prüfstandes für experimentelle Laboruntersuchungen

— Experimentelle Untersuchungen der Lebensdauern und Verschleißmechanismen sowie Versagensursachen

— Ableitung der Verbesserungspotentiale



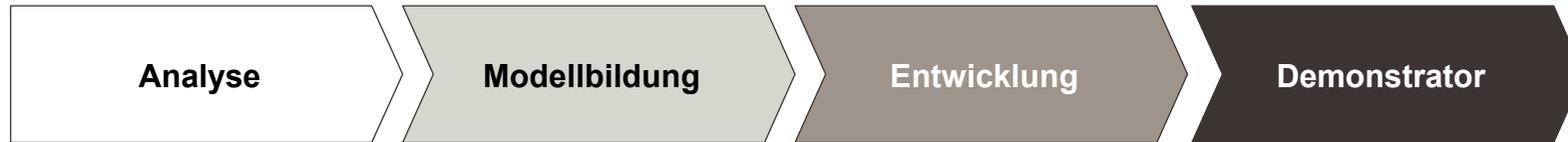
— Konstruktive Optimierung der Räder

— Konstruktive Optimierung der Schnittstelle zwischen Rad und Flurförderzeug

— Verbesserung des Bandagenwerkstoffes

— Verbesserung / Entwicklung alternativer Bindemittel

— Computergestützte Berechnung der Beanspruchungen zur Beurteilung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen



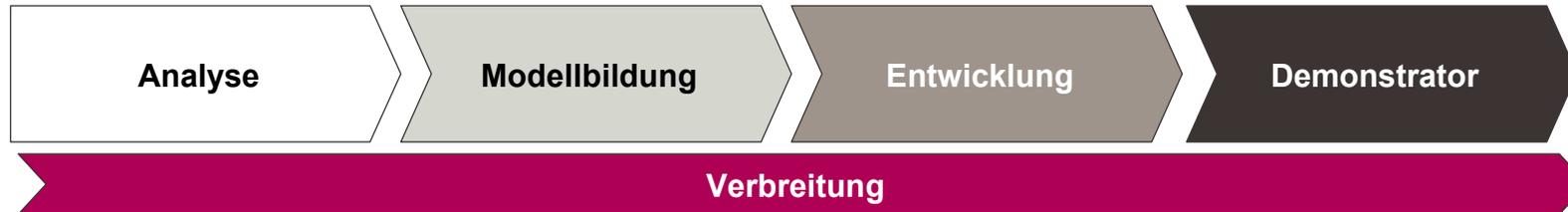
— Fertigung von neuartigen Rad-Systemen unter Verwendung der entwickelten Optimierungsmaßnahmen

— Sammlung von Erfahrung bei der Herstellung

— Verifizierung der Modelle mit Hilfe der Demonstratoren und deren Optimierung

— Prüfstands- und Laborversuche mit kompletten Flurförderzeugen unter reproduzierbaren Belastungen zum Nachweis der Wirksamkeit der durchgeführten Optimierungsmaßnahmen

— Feldversuche



— Sammeln, Auswerten und Verdichten der Daten und Erkenntnisse, die im Projekt gewonnen werden

— Kommunikation von Methoden und Verfahren für die Gestaltung, Auslegung, Berechnung und Tests für Räder für Entwickler von Rädern bzw. Fahrzeugen

— Einarbeitung der Forschungsergebnisse in Richtlinien und Normen

— Transfer des Know-Hows auf andere Anwendungsbereiche

— Veröffentlichung der Ergebnisse auf Tagungen, Industriekreisen und den Fachzeitschriften

Analysephase - Schadensbilder



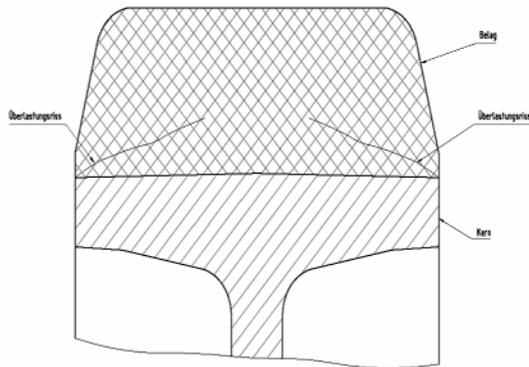
Materialverflüssigung



Hydrolyse Schäden



Blumenkohleffekt



Überlastungsrisse

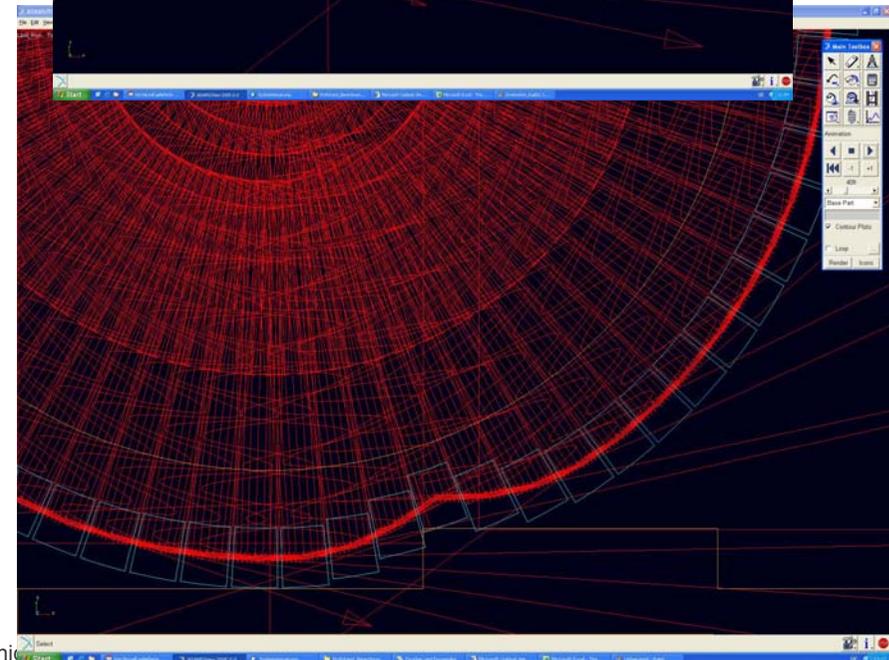
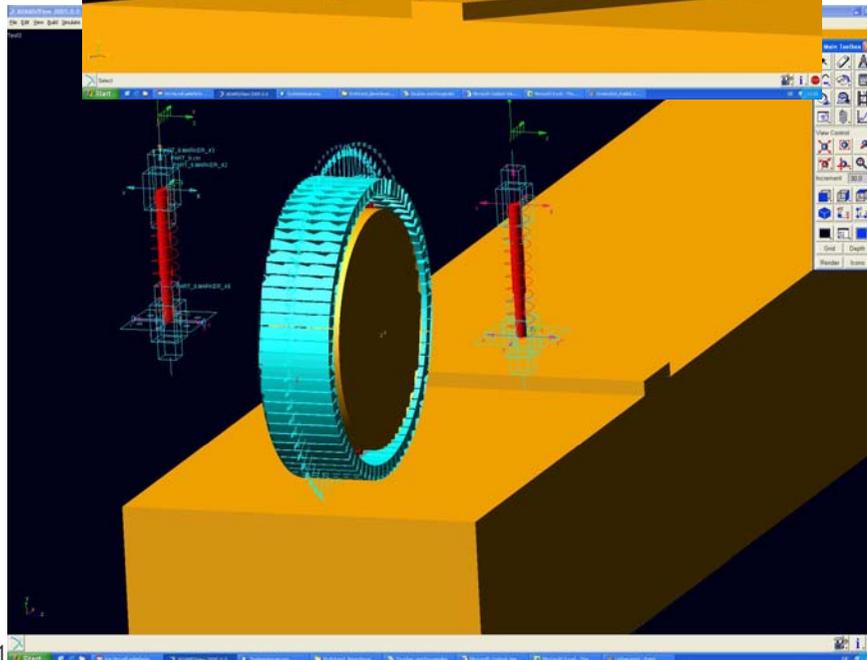
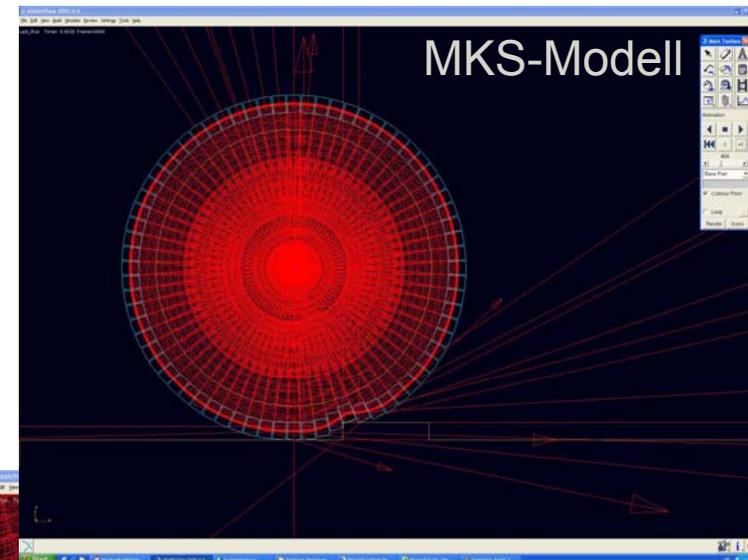
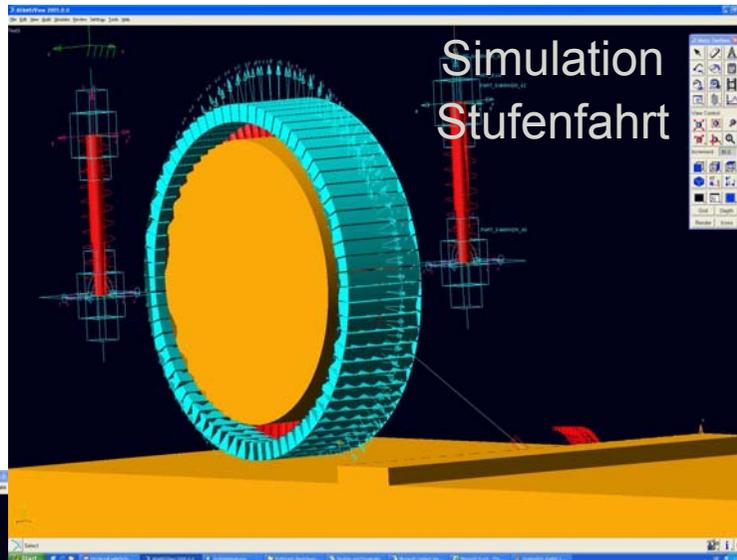


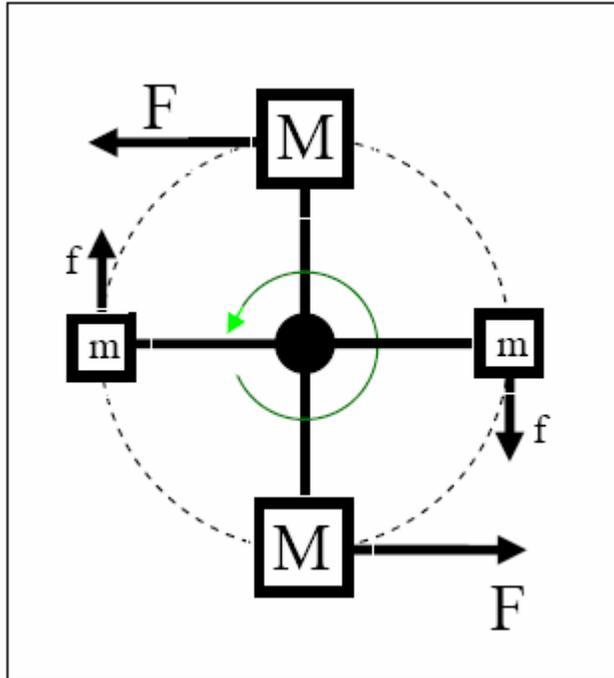
Mechanische Schäden



Pagodeneffekt

Analysephase - FEM





Kreisaktuator

→ auswechselbaren
Fahrbelag

versch. Massen

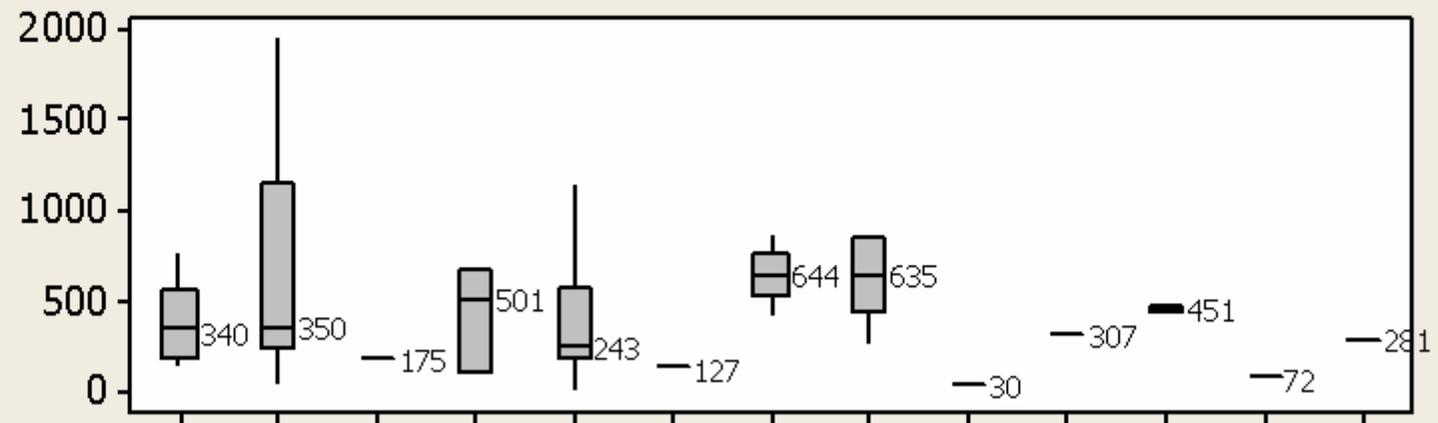
→ Erzeugung von einem
definierten Schlupf

Test unter realen Bedingungen:

- Einfluß unterschiedlicher Bodenbeläge
- Kurvenfahrten
- Bremsen u. Beschleunigen
- Geradeausfahren

- Thermisches Versagen
- Blumenkohleffekt

Standzeiten von Rädern & Rollen bei Deichselgeräten



Antriebsräder Vulkollan

Antriebsräder Vulkollan, prof.

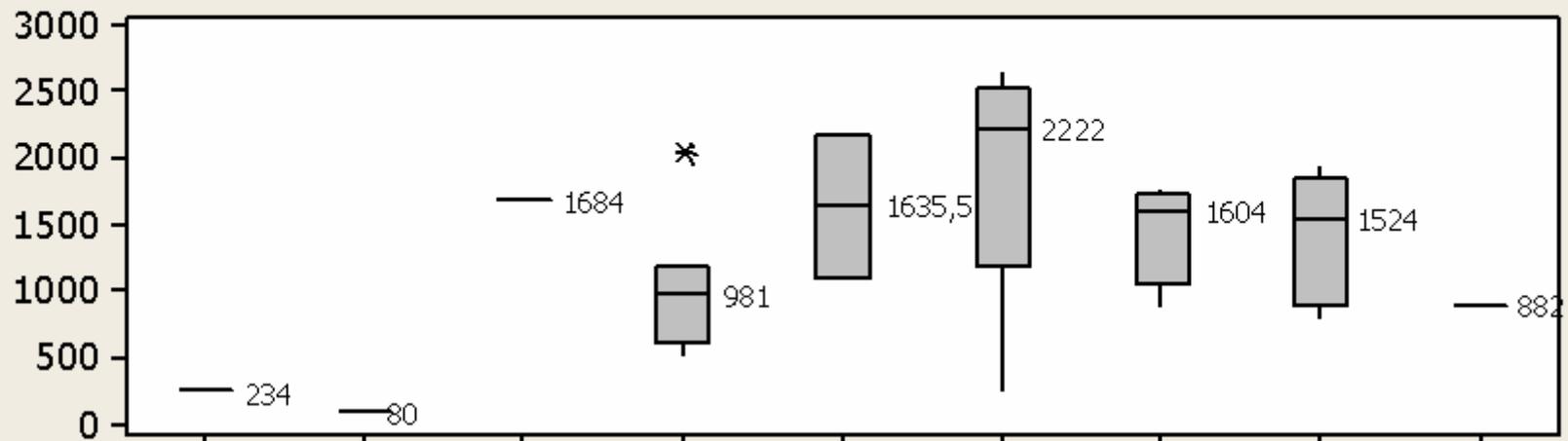
Lafräder, allg.

Laufrollen Vulkollan

Lenkrollen

Rollen, allg.

Standzeiten von Rollen & Rädern bei Sitzstandgeräten



Antriebsräder Vulkollan

Antriebsräder Vulkollan, prof.

Laufräder, allg.

Laufrollen Vulkollan

Weitere Informationen unter: www.innorad.de

Weitere Verfolgung der geplanten Vorgehensweise:



Abschlußbericht

Messeauftritte (CEMAT)

Einrichtung eines Anwender- / Herstellernetzwerkes

weitere Verbreitung:



Verbreitungsmaßnahmen

<http://www.innorad.de>



InnoRad - Interna - Microsoft Internet Explorer

Adresse <http://www.innorad.de/interna.html>

Startseite Projekt Termine Download Impressum Interna

Veröffentlichungen Diverses

VDI Nachrichten	
	Stapleräder fahren viel zu früh in den Verschleiß - Ausgabe 26.10.2007
Flurförderzeuge Betrieb Lager Logistik	
	20 Prozent mehr Lebensdauer - Ausgabe 11.2007
Industrieanzeiger	
	Ein längeres Leben für Räder und Rollen - Ausgabe 11.2007
MEDIENDIENST FORSCHUNG - Uni-Stuttgart	
	Längere Lebensdauer für Räder und Rollen - Nr.3 / 02.2008
Stuttgarter Unikurier	
	Langes Leben für Räder und Rollen - Nr.101, Ausgabe 01/2008
Hebezeuge Fördermittel	
	Neue Prüfstandskonzepte für Räder und Rollen - Ausgabe 03/2009
Autodesk Education	

Copyright © 2007 IFT - Universität Stuttgart · XHTML 1.0 Transitional / CSS

Verbreitungsmaßnahmen Vorträge / Veröffentlichungen





Design und Hightech – so präsentiert SÜB den innovativen Gegengewichtsstapler RKO.

Besser stapeln

Ein großes Innovationspotenzial liegt auch in der Automatisierung von Prozessen in der Intralogistik. Dessen werden FFZ entwickelt, die Paletten selbstständig erkennen, aufnehmen, transportieren und wieder einlagern. Die wesentliche Neuerung des Systems: die Palettenmischsicht wie bei herkömmlichen Anlagen zentriert genau auf vordefinierten Übergabestellen abgelegt werden. Über optische Sensoren detektieren kann er sich flexibel von verschiedenen Positionen und Höhen aufnehmen. Dies optimiert einerseits den Übergang zwischen manuellen und automatisiertem Betrieb, andererseits lassen sich flexible Transportvorgänge auch mit hohen Anforderungen bei der Positionierung darstellen, wie etwa die autonome Einladung von LKWs.

Auch die eingesetzten fordererischen Basiselemente, wie etwa Räder und Rollen, beeinflussen die Wirtschaftlichkeit von Umschlagprozessen rund um die FFZ entscheidend mit. Bei den heute im Indoor-Bereich gängigen Flurfördererzeugnissen handelt es sich zumeist um Metallfüßen mit einem Belagmaterial aus handelsüblichem Polyurethan und vor allem aus dem elastischen Vulkan. Das Kunststoffmaterial wird bei Räderherstellern nunmehr mit speziellen Bindemitteln großtechnisch verarbeitet und dann im Fließgießverfahren auf die Radkörper aufgetragen. Die heute verwendeten Räder und Rollen stellen das Ergebnis von extrem zeitaufwendigen, bisher ausschließlich empirischen Untersuchungen dar. Die ständig wachsenden Anforderungen an

Trends Technologische Innovationen und optimierte Prozesse in der Intralogistik machen Flurförderzeuge fit für den anspruchsvollen Einsatz in der Zukunft.

Schneller, sicher, langlebiger – die Anwender stellen an Stapler- und Lagertechniken ständig höhere Anforderungen. Dadurch wächst auch der technologische Anspruch, die Produkte werden immer komplexer. Ein Beispiel dafür ist die Antriebsstechnik. Diese Anforderungen lassen sich nur erfüllen, wenn technische Innovationen innerhalb des Entwicklungsprozesses gezielt integriert und Prozesse in der Intralogistik optimiert werden, also ein spezifisches Innovationsmanagement erfolgt.

Die heutigen Flurförderzeuge (FFZ) sind als modernes Arbeitsgerät mit einer Vielzahl von elektronischen Systemen ausgestattet. Die ständig verbesserten Antriebs- und Lenkmechaniken sind mittlerweile äußerst feinfühlig, dadurch lässt sich ein Fahrzeug sehr genau positionieren. Dessen treten vermehrt Assistenzfunktionen in den Vordergrund der Optimierung. So sollen etwa Fahrerassistenzsysteme dem Bediener so weit wie möglich entlasten, um die Effizienz zu steigern. Unternehmen wie die Kion Group arbeiten beispielsweise an Systemen, die die dynamische Stabilität eines Fahrzeuges verbessern und so „garniert sicherer“ machen. Um die Umschlaggeschwindigkeit kontinuierlich steigern zu erhöhen, sollen Hubsysteme eingesetzt werden, die mit einem Teich-In-System gespeicherte Hubflächen automatisch wieder auffahren können. So erhält der Fahrer alle benötigten Informationen, damit er den Transport möglichst sicher und fehlerfrei durchführen kann. Ein gutes Bei-

spiel hierfür ist der Einsatz von Kamerasystemen, um Paletten oder Kästen die Sicht versperren; mit ihrer Hilfe wird es möglich sein, die Fahrzeuge über einen Monitor zu bedienen.

Mehr Engagement in Forschungsprojekten zu RFID

Auch Dienstleistungen rund um die Intralogistik werden immer wichtiger. Deshalb engagiert sich auch die Fördererbranche zunehmend in Forschungsprojekten zum Thema RFID. Der Einsatz dieser Technologie soll in Kürze die künftige Materialflussoverwachung vereinfachen. Ein Großteil der bisher notwendigen Scanvorgänge von Barcodescheiben und die damit folgende Unterbrechung des Arbeitsablaufs würden entfallen, wenn das Flurförderzeug die Daten erfassung mit übernehmen kann. Das Resultat wäre eine durchgängige, fließende Arbeitsweise beim Warenanhang. Darüber hinaus ermöglicht dies eine wesentlich gezielte Fahrzeugauslastung, da die bisherigen manuellen Erfassungsarbeiten von einer Dauer von bis zu zwei Stunden pro Schicht entfallen. Dadurch werden die Durchlaufzeiten reduziert und die Lieferqualität verbessert. Die RFID-Technologie ermöglicht neue Systemarchitekturen, etwa durch die Integration von kleineren Untereinheiten in ein flexibles Gesamtsystem. Die Kommunikation mit einem zentralen Datenbanksystem und direkt mit den Wägen und Ladungsträgern wird dadurch vereinfacht.



An diesem Polyurethanrad traten Verschleißerscheinungen durch Verfüllung des Materials auf.

Flurförderzeuge

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 Umschlagleistung stetig an. Die Wirtschaftlichkeit der Umschlagprozesse wird entscheidend von den eingesetzten fordererischen Basiselementen, z. B. Räder und Rollen, der Flurförderzeuge mit beeinflusst. Im Institut für Fördererntechnik 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

Räderoptimierung 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 Antrieben 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

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 präzise anzurollen bzw. abzubremsen. Bei dem realisierten Prüfstandprinzip werden zwei Räder an jeweils einem Arm auf einer kreisförmigen ebenen Fahrbahn geführt. Dabei wird jedes Rad einzeln durch einen Drehstromsynchronmotor mit Frequenzrichter angetrieben. Durch die Verwendung verschiedener Durchbestufen 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 Gleichlaufgetriebe eingesetzt. Die Anbringung der Prüflast in Form von (in einem weiten Bereich verstellbaren) Gewichten über dem Rad ermöglicht eine Nachstellung von realitätsgetreuen Belastungssituationen im Probebetrieb. 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 Rad-aufhängung. 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 würde somit analog

Am Projekt beteiligte Partner

Um die Verbesserungspotenziale systematisch abzuleiten, werden computergetriggerte 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 Projektensortiment sind neben dem IFT der Universität Stuttgart und dem Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL) der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg auch die Flurfördererzeughersteller Kion Group GmbH und Jungheinrich AG, die Räderhersteller Räder-Vogel GmbH & Co. KG und Wicke GmbH sowie als Anwender die Robert Bosch GmbH beteiligt.

Deutliche Erhöhung der Verfügbarkeit der Flurförderzeuge in der Produktion
(Drastische Senkung der Stillstandszeiten wg. Wartung & Reparatur)

Gravierende Steigerung der Transportleistung in der Produktion
Erhöhung der maximalen Geschwindigkeit und Traglast der Fahrzeuge (von heute max. 2to auf 3...4to)

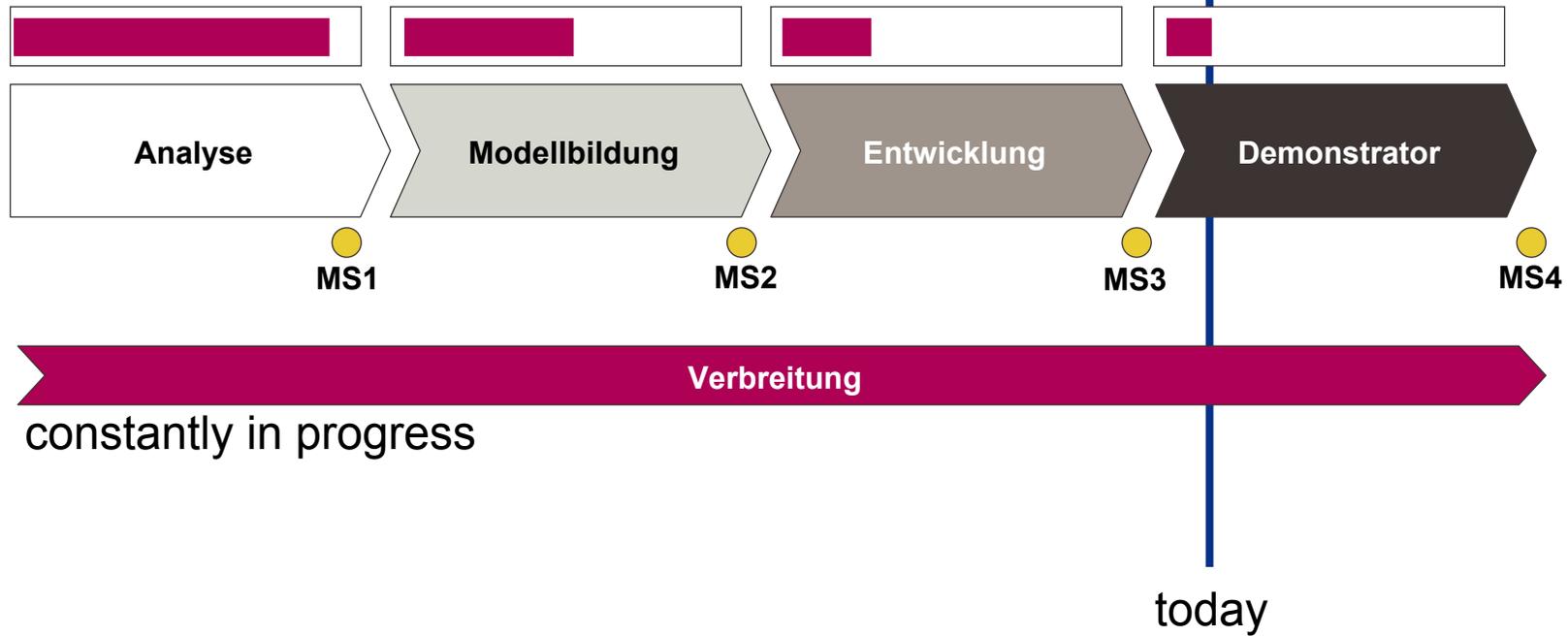
Sicherung des Wettbewerbsvorsprungs deutscher Firmen (insbes. KMU) ggü.
Wettbewerbern aus Billiglohnländern

Nachhaltige Senkung der Life-Cycle-Costs (Betriebskosten)
(Allein in Europa ca. 925 Mio.€ p.a. Aufwendungen für Räder/Rollenwechsel)

Abfallverminderung durch seltenen Radwechsel aufgrund geringen Verschleißes
(Derzeitiges Abfallaufkommen allein in Europa 16.930to p.a.)

→ Hochleistungsfähige Räder/Laufrollen sind die Schlüsselkomponenten für flexible und robuste Hochleistungstransportsysteme in der Produktion

Zeitplan



Thank you kindly for your attention.

