

Rahmenplan

zum BMBF-Rahmenkonzept
"Forschung für die Produktion von morgen"

Wandelbare Logistiksysteme für die Produktion

Skizzen-Nr.: 2540

InnoRad - Erhöhung der Lebensdauer der Räder von Flurförderzeugen



JUNGHEINRICH



RADER-VÖGEL



Bayer



BOSCH

Angaben zum Einreicher des Rahmenplans

Linde AG / Still GmbH

Firma/Einrichtung

Herr Dipl.-Ing. Maik Manthey

Verantwortlicher Ansprechpartner (Titel, Vorname, Name)

Berzeliusstraße 10

22113 Hamburg

Straße/Hausnummer

Postleitzahl/Ort

Postfach

++49 (0)40 7339-2226

Postleitzahl/Ort

++49 (0)40 7339-1016

Telefon

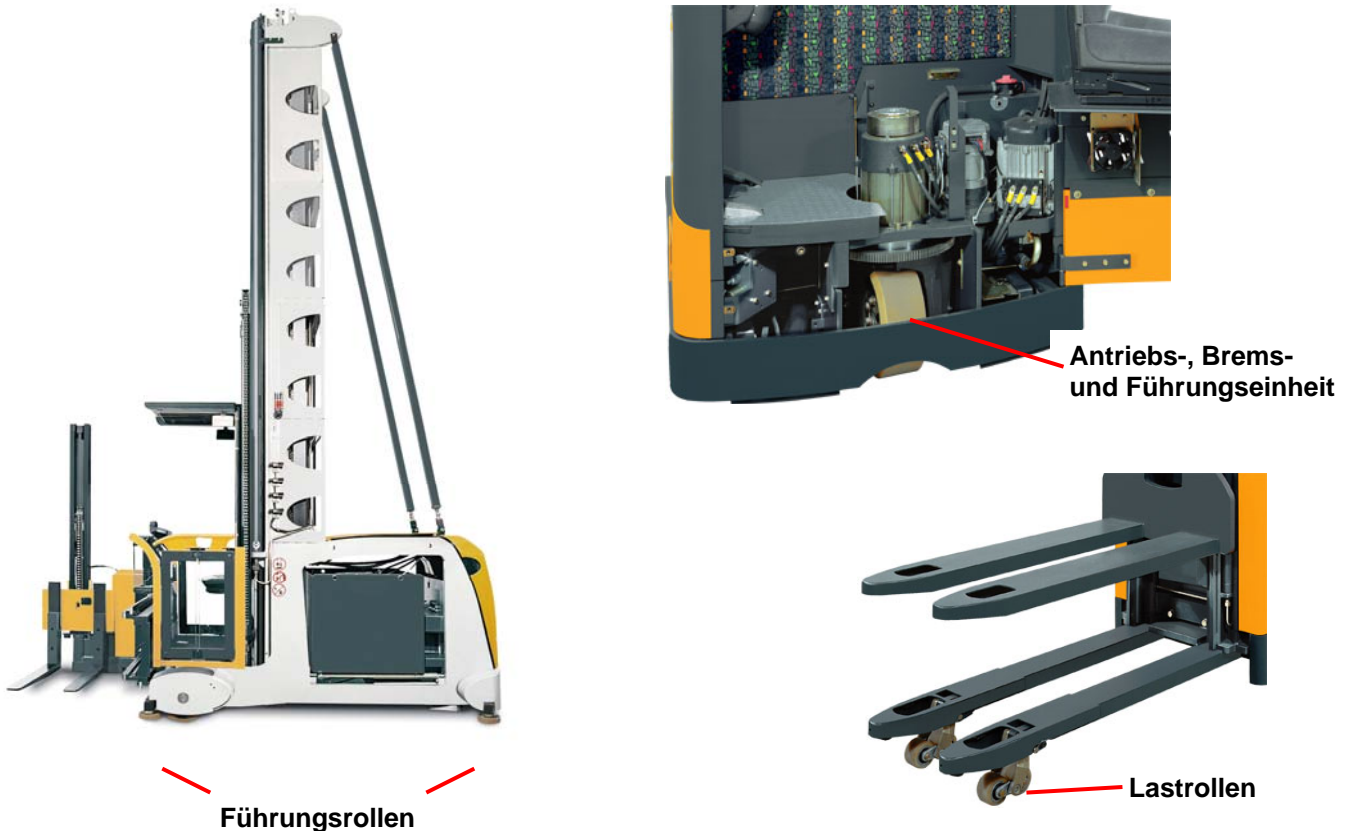
Maik.manthey@still.de

Telefax

www.still.de

E-Mail

Internet-Adresse



1. Ausgangssituation und Bedarf bei den Unternehmen

Für die Logistik im Allgemeinen und für die Produktionslogistik im Speziellen sind weltweit Flurförderzeuge und hier im überwiegenden Fall (über 90%) Flurförderzeuge mit Hubeinrichtungen, also Gabelhubwagen und alle Arten von Gabelstaplern (Gabelstapler, Schubstapler, Seitenstapler, Kommissionierstapler, etc.) von herausragender Bedeutung. Die verschiedenen Ausführungen von Gabelhubwagen und Gabelstaplern erfüllen die Funktionen Fördern, Lagern und Handhaben von Einzelgütern und Ladungsträgern in der Produktion und der Produktionslogistik. Die Geräte werden sowohl mit Fahrern als auch vollautomatisch (z.B. als fahrerlose Transportsysteme) eingesetzt. Ihre Anwendung ist in den Ländern der dritten Welt aber auch in modernen Industrieländern absoluter Standard. Auf Basis von Statistiken der Flurförderzeugbranche aus 2003 werden im Bereich der Gabelhubwagen und Gabelstapler (alle Konstruktionen) weltweit jährlich 673.000 Fahrzeuge produziert und verkauft. Der Gesamtbestand wird bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 8 Jahren (branchenübliche Annahme) unter Berücksichtigung einer Zweitnutzung (bspw. in Osteuropa) mit einer Zahl von mindestens 5 Mio. Fahrzeugen weltweit angenommen. Die nur europaweit für den Austausch von Rädern und Rollen entstehenden Kosten betragen jährlich 925 Mio. €, wovon alleine 554 Mio. € im Bereich der elektrisch angetriebenen Flurförderzeuge anfallen (siehe Abb. 1). Bei jedem elektrisch angetriebenen Flurförderzeug entstehen dabei jährliche Kosten für den Austausch von Rädern/Rollen wegen Verschleiß von durchschnittlich 755 € bei einem Abfallaufkommen von 23 Kg, was zu einem Gesamtabfallaufkommen von 16.930 to (!) nur in Europa und allein für den Bereich elektrisch angetriebener Flurförderzeuge führt.

Stützrollen	Antriebsrad	Lastrollen	Σ	
175	340	240	755	Kosten p.a. für Austausch wegen Verschleiß (Material & Lohn) [in €]
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	Abfall in Deutschland p.a. [in to]
6.104	7.576	3.251	16.930	Abfall Europa p.a. [in to]

Abbildung 1: Jährliche in Deutschland / Europa entstehende Kosten für Räder-/Rollentausch und Abfallmengen von elektrisch angetriebenen Flurförderzeugen, Quelle: Linde AG

Die hier angesprochenen Fahrzeuge können in folgende 4 Hauptbaugruppen (Antrieb, Fahrwerk, Handhabungs- und Steuerungssystem) gegliedert werden, wobei die verwendeten Reifen für das Fahrverhalten, die Zuverlässigkeit, den auftretenden Verschleiß, die Standsicherheit, etc. des Fahrzeuges von herausragender Bedeutung sind. Dieses logistische Basiselement kann je nach Anwendungsfall unterschieden werden in Indoor- und Outdoor-Räder. Bei den Outdoor-Systemen werden meistens luftgefüllte gummierte Räder oder Superelastikräder eingesetzt. Bei den sogenannten Indoor-Systemen (mit einem Marktanteil von ca. 40% bezogen auf die oben aufgeführten Weltmarktdaten), also bei Flurförderzeugen wie

- Gabelniederhubwagen / -hochhubwagen
- Schubmaststapler
- Hochhubkommissionierer
- Dreiseitenstapler
- Spreizenstapler, etc

werden als

- Lastrollen
- Stützrollen
- Führungsrollen
- Lenkrollen
- Antriebsräder (Lenk- und Antriebsräder häufig kombiniert)

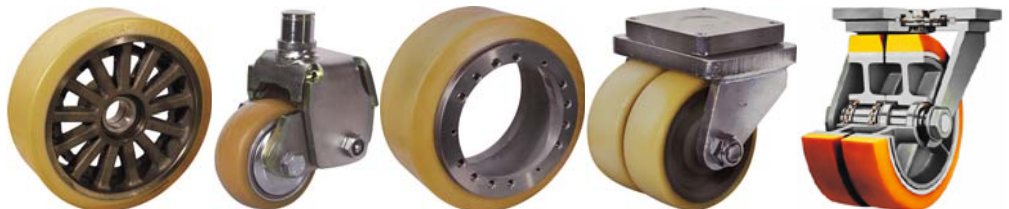


Abbildung 2: Räder / Rollen von Flurförderzeugen

zu nahezu 100% Rollen / Räder mit Laufbelägen aus Polyurethanen (z.B. Vulkollan® bei extremen Belastungen) verwendet. Der oben bereits angesprochene Weltmarkt dieser Fahrzeuge wird von 10 großen Konzernen (Umsatzzahlen der Konzerne, Quelle dhf 12/2004) abgedeckt. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass heute noch deutsche Konzerne eine wesentliche federführende Weltmarktstellung auf den Positionen 2, bzw. 3 haben (siehe Anlage - Alle anderen Großkonzerne wie z.B. Toyota, Mitsubishi, Crown haben Ihren Sitz im Ausland, z.B. USA und Japan). Dieser internationale Markt hat sich so entwickelt, dass es neben den dort dargestellten 10 Weltkonzernen keine KMU mit dem oben aufgeführten Produktvollsortiment an Flurförderzeugen gibt, was durch den internationalen Konzentrationsprozess zu erklären ist.

Das im Rahmen dieses Projektes zu optimierende logistische Basiselement „Räder / Rollen von Indoor-Flurförderzeugen“ unterliegt außerordentlich extremen Verschleiß- und Ausfallbedingungen (siehe Abb. 3). Obwohl für die bei Flurförderzeugen zum Einsatz kommenden Räder eine Lebens-

dauer zwischen 2 und 3 Jahren angestrebt wird, ist heute festzustellen, dass durch die sich bei den Anwendern in den letzten Jahren immer weiter verschärfenden Belastungen teilweise nur noch Standzeiten von wenigen Monaten und Wochen (in Extremfällen z.B. bei den Lastrollen von Niederhubwagen Lebensdauern von nur 100 – 300 Std.) erreicht werden. Als Ursachen für diese außerordentlich kurzen Standzeiten sind zu nennen:

- Abrollverschleiß
- Abrieb durch Schubbelastungen aus der Reibpaarung Rad / Boden
- Thermische Überlastungen durch hohe Walkarbeit, infolge hoher Fahr- und Lenkgeschwindigkeiten
- Radversagen durch schlagartig auftretende Stößen mit Beschleunigungen von bis zum 50-fachen der Erdbeschleunigung (z.Bsp. beim Überfahren von Auffahrampen)



Abbildung 3: Verschleiß- und Ausfallerscheinungen bei Rädern / Rollen von Flurförderzeugen

Aus diesen Umfeldbedingungen lassen sich die Anforderungen an Radsysteme für Flurförderzeuge im Indoor-Einsatz für die Produktion ableiten:

- sehr hohe Radaufstandskräfte
- sehr hohe Seitenführungskräfte
- sehr hohe Umfangskräfte beim Antreiben und Bremsen
- sehr hohe Lenkmomente und -geschwindigkeiten
- stark eingengerter Bauraum (Fahrzeug-/Ladungsträgerseitig)

Als Folge daraus ergeben sich sehr hohe Flächenpressungen und thermische Grenzen für das Versagen des Rades, was zu hohem Verschleiß und dem Auftreten schlagartiger Zerstörungen führt. Bisher realisierte Lösungen bieten keine ausreichende Erfüllung der Anforderungen bei hinreichender Radlebensdauer.

Bei den heute im Indoor-Bereich eingesetzten Flurförderzeugrädern (siehe Abb. 2) handelt es sich weitestgehend um Metallfelgen mit einem Belagmaterial aus Polyurethan. Als Belagmaterial werden handelsübliche Polyurethane und vor allen Dingen Vulkollan[®] verwendet. Das Kunststoffmaterial wird bei Räderherstellern, zusammen mit speziellen Bindemitteln großtechnisch verarbeitet und dann zur Zeit im Heißgießverfahren auf die Radkörper aufgegossen. Die heute verwendeten Räder und Rollen stellen das Endergebnis von extrem zeitintensiven, bisher ausschließlich empirischen Untersuchungen dar.

Aufgrund der ständig wachsenden Anforderungen an die Verfügbarkeit der in den Produktionsprozess eingebundenen Flurförderzeuge auf bis zu 100% und der auch weiterhin notwendigen Steigerung der Umschlagsleistung müssen die Ausfallzeiten und -kosten der Fahrzeuge infolge Rad-/Rollenversagen minimiert werden. Darüber hinaus würde die Marktposition der beteiligten Partner des Konsortiums für die Zukunft weiter wesentlich gesteigert, wenn es durch die Optimierung der

Räder/Rollen möglich würde, die Lastaufnahme der Flurförderzeuge im Indoor-Bereich von heute bis zu zwei Tonnen zu steigern. Diese Forderungen zwingen die deutschen, international agierenden Großunternehmensgruppen Linde und Jungheinrich, die im Bereich von Indoor-Flurförderzeugen tätig sind, für dieses fördertechnische Basiselement eine völlig neue, sich von bisherigen Konzepten durch neue Werkstoffe, Fertigungsverfahren und Konstruktionen deutlich abhebende, zukunftssträchtige Technologie zu entwickeln und somit einen nachhaltigen Wettbewerbsvorsprung gegenüber Billiglohnländern zu sichern und damit die Arbeitsplätze in diesem dann neuen High-Tech-Sektor bei den Produzenten und insbesondere auch bei den mittelständischen Zulieferern für die deutsche Volkswirtschaft zu erhalten.

Für diese neue, innovative Technologieentwicklung ist die aktive Zuarbeit von Räder- und Rollenherstellern, sowie der Kunststoffmaterialhersteller notwendig. Bei den Räder- und Rollenherstellern in Deutschland gibt es für diesen Bereich nur drei selbstständig agierende mittelständische Hersteller. Zwei dieser Hersteller liefern über 90% des Marktvolumens im Bereich der Erstausrüstung bezogen auf den europäischen Markt. Der dritte Hersteller beliefert hauptsächlich andere, nicht zum Bereich der Flurförderzeuge gehörende Marktsegmente und liefert für den Bereich der Flurförderzeuge nicht oder nur unwesentlich als Erstausrüster. Diese beiden Räder- und Rollenhersteller (Räder-Vogel und Wicke) haben sich diesem Konsortium angeschlossen. Der sehr wichtige Polyurethanwerkstoff Vulkollan[®] wird weltweit nur vom Kunststoffhersteller Bayer gefertigt. Die Bayer AG als einziger Kunststoffhersteller in Europa mit dem für die Durchführung dieses Projektes notwendige Erfahrung auf dem Gebiet der Polyurethanherstellung hat sich diesem Konsortium angeschlossen.

2. Zielsetzung des Verbundprojekts

Ziel des Forschungsprojekts ist es, die Lebensdauer des Basiselements Rad/Laufrolle technischer Logistiksysteme beim Einsatz in Flurförderzeugen unter Beibehaltung der Produktionskosten mit einer Zielvorgabe von mindestens 20 Prozent (!) gravierend zu verlängern, indem auftretender Verschleiß und schlagartige Zerstörung drastisch reduziert werden und reproduzierbare Auslegungs-, Berechnungs- und Testverfahren für verschiedene Einsatzzwecke zu generieren. Ferner soll untersucht werden, ob eine Erhöhung der Maximalbelastungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Verschleißfestigkeit möglich ist. Dadurch könnte ein neues Alleinstellungsmerkmal für die Konsortialpartner geschaffen werden.

Mit Hilfe eines ganzheitlichen Ansatzes für das System Rad/Laufrolle im Flurförderzeugen bestehend aus dem Felgenkörper, der Bandage, der Bindemittelschicht, der Lagerung, der Radaufhängung (im Flurförderzeug), der spezifischen Einsatzbedingungen, der unterschiedlichen Funktionen des Rades als Laufrolle, Stützrolle, Antriebsrad, gebremstes oder gelenktes Rad sowie der Einbausituation sollen innovative Lösungsansätze gefunden werden, um bestehende Zielkonflikte z. B. zwischen der Lebensdauer Rad/Boden, der Traktion, der Schonung des Bodens und dem Fahrkomfort zu überwinden. Verbesserungspotential wird bei allen oben genannten Rad-/Laufrollen-Bestandteilen gesehen (z. B. durch Variation / Optimierung der Felgengeometrie, Bandagegeometrie, Lagerung, Radaufhängung, Werkstoffe, Fertigungsverfahren, usw.).

Mit Hilfe eines neu zu entwickelnden Prüfstandes sollen auf Basis der Analyseergebnisse und den bereits vorhandenen Kenntnissen der Partner standardisierte Tests entwickelt werden, um das Verschleißverhalten objektiv beurteilen zu können.

3. Internationaler Stand der Technik und der Forschung

3.1. Bisherige Arbeiten

Im Bereich der wissenschaftlich durchgeführten Forschungsprojekte gibt es nur wenige Veröffentlichungen welche „nur“ den Istzustand hinsichtlich Werkstoffspannungsverteilung, etc. beschreiben. Der Hauptteil dieser wenigen Untersuchungen stammen von Prof. Severin (TU Berlin), der aber vor Jahren emeritiert wurde und dessen Arbeiten nicht fortgesetzt wurden.

Literatur:

- Tromp,Stefan: Experimentelle Untersuchungen zur mechanischen und thermischen Beanspruchung rollender Kunststoffräder, (2000) Fortschritt-Berichte VDI Reihe 5 Grund- und Werkstoffe/Kunststoffe Nr. 601
- Liu,Xiufei: Die Beanspruchung in Radkörpern aus viskoelastischen Werkstoffen unter Berücksichtigung der Eigenerwärmung, (2002) Fortschritt-Berichte VDI Reihe 1 Konstruktionstechnik/Maschinenelemente Nr. 353
- Severin,D.: Die Besonderheiten von Rädern aus Polymerwerkstoffen, (1998) 2. Hamburger Staplertagung
- Severin,D. : Rollreibung zylindrischer Laufräder aus Kunststoff, (1985) Konstruktion 37
- Severin,D.: Zur Kraftübertragung zwischen Kunststoffrad und Stahllaufbahn - Teil 1: Theoretische Behandlung kontaktmechanischer Probleme, (1989) Konstruktion 41
- Severin,D.: Zur Kraftübertragung zwischen Kunststoffrad und Stahllaufbahn - Teil 2: Experimentelle Untersuchungen auf einem Radprüfstand, (1989) Konstruktion 41
- Severin,D. : Wälzreibung zylindrischer Räder aus Kunststoff, (1986) Konstruktion 38
- Knother,K.: Zur Theorie der Rollreibung zylindrischer Kunststofflaufräder, (1989) Konstruktion 41
- Severin,D.: Tragfähigkeit von Kunststoffrädern unter Berücksichtigung der Eigenerwärmung, (1991) Konstruktion 43
- Severin,D. : Das Kunststoffrad als Antriebselement in Fördersystemen, (1999) 7. Kranfachtagung '99 Kranautomatisierung - Einflüsse auf Antriebe, Komponenten und Einsatzfelder
- Severin,D. : Berechnung und beanspruchungsgerechter Einsatz von Kunststoffrädern, (1999)
- Peinemann,Bernd: Experimentelle Untersuchung des Laufverhalten von Mecanum-Rädern (Diplom-Arbeit), (1995) Technische Universität Braunschweig, Institut für Fahrzeugtechnik, Prof. Dr.-Ing. Mitschke
- Baumgarten,M.: Grundsatzanalyse des Mecanum-Rades (Kleine Studienarbeit), () Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, Fachbereich Maschinenbau, Institut für Fertigungsverfahren und Prüfungswesen
- LeMeur Jun.,Hank: Polyurethane Industrial Tires , (1994) Polyurethane Manufacturers' Association Spring Meeting 1992
- Wilkinson,Hal: Dynamic Testing of Materials and Geometry for Transportation Wheels, (1994) Polyurethane Manufacturers' Association
- Devan R.G.: EVALUATION OF MOISTURE RESISTANCE PROPERTIES IN POLYURETHANE ELASTOMERS, (1991) PMA Fall Meeting
- Stokes,L.S.: Polyurethane Non-Pneumatic Tire Technology - Potential Applications , (1988) PMA Meeting
- McInnis,E. L.: Mechanisms and Test Methods for the Abrasive Wear of Polyurethane Elastomers, ()

- Smith,Walt: MDI Processing Hints for Optimum Results, (1993) Polyurethane Manufacturers Association
- Baumann, D. : Surface-Modified Rubber Particles in Polyurethane, (1994) Polyurethane Manufacturers Spring Meeting
- Doyle,James E.: Dynamical Mechanical Analysis for Everyone, (1994) PMA Meeting
- Wilhelm,Walter C.: A Practical Look at Adhesives for Casting Urethanes to Metal, ()
- Palinkas,R.L.: A Comparison of Rubber with Cast Polyurethane Elastomers: Properties for Typical Applications, ()
- Russell,David: Abrasion Testing of Polyurethane Elastomers, Quasi-Prepolymers for High-Performance Applications, (1997) Polyurethanes World Congress
- Ricci,Vincent: Durometry as a Diagnostic Tool in Castable Urethane Technology, ()

3.2. Vorarbeiten der Verbundpartner

Die Projektpartner können folgende für das Verbundprojekt relevante Vorarbeiten aufweisen:

Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL), Helmut-Schmidt-Universität Hamburg:

- Reuter, M.: Integration von Innovationstechniken in ein wissensbasiertes System. Dissertation. Hamburg, 2000
- Reuter, M.; Bruns, R.: Generierung von Innovationen mit Hilfe eines Expertensystems. Zeitschrift Konstruktion. 9-2001
- Steffen, T.: Untersuchung der Hotspotbildung bei Pkw-Bremsscheiben. Dissertation. Düsseldorf, 1998
- Schrader, M.: Beitrag zur Berechnung von Formteilen aus Polyurethanintegralschaumstoffen. Dissertation. Hamburg, 1998
- Schmuhl, B.; Vogel, A.; Wartmann, D.: Finite-Elemente-Simulation erzwungener Schwingungen in Blechen mit Elastomer-Dämpfungsbelägen. Interdisziplinäre Studienarbeit. Hamburg, 2002
- Wolf, G.: Identifikation der Systemparameter von Resonatoren zur Körperschalldämpfung. Studienarbeit. Hamburg, 2000
- Untersuchung des hochfrequenten Schwingungsverhaltens von Pkw-Reifen. Industrie-Projektstudie. Hamburg, 2005.
- Messung der Reifen-Kennlinien von Gabelstaplerreifen. Industrie-Projektstudie. Hamburg, 2005.

Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT), Universität Stuttgart:

- „Messung dynamischer Beanspruchung an Flurförderzeugen in Feldversuchen“ Prof. Dr. techn. F. Beisteiner und Dipl.-Ing. E. F. Beha, Fördern und Heben 40 (1990) Nr.5
- „Beanspruchungskollektive aus typischen Einsatzfällen von Gabelstaplern“ Dr.-Ing. D. Messerschmidt, Begleitband zur Hamburger Staplertagung 13.06.1996
- Messung des Reibungsbeiwertes zwischen Vulkollan®rad und Estrichboden für Flurförderzeuge Dipl.-Ing. A. Atak, Industrieprojekt (Still-Wagner GmbH Reutlingen), 02.05.2002
- Mehrkörperschwingungssimulation und -analyse von Schubmaststaplern, Dipl.-Ing. C.Vorwerk, Dipl.-Ing. I.Nikic, Industrie-Projekt, (Still-Wagner GmbH Reutlingen), 27.08.2004
- Aufbau eines Prüfstandes zur Reibwerterfassung der Rad-/Bodenpaarung (*)

Das Institut blickt auf eine über 75-jährige erfolgreiche Forschung und Entwicklung im Bereich der Seiltechnologie, speziell hier der Dauer- und Verschleißuntersuchungen zurück. Für die Auswertung der in diesem Bereich über 25.000 Einzelversuche, bei denen ein viel-parametrisches Feld systematisch untersucht werden muss, greift das IFT auf das gesamte Methodeninventar der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung bis hin zu spezifischen Theorien der Geburtenprozessverteilung und der linearen Mehrfachregression zurück. Die hier angestrebten Untersuchungen des Bauteiles Rad / Rolle und der tribologischen Problemstellung lassen sich hinsichtlich des Methodeneinsatzes absolut vergleichen, so dass jahrzehntelange Kompetenz in Versuchsdurchführung, -auswertung und Analyse vorliegt.

Linde AG:

- Die Linde AG hat aufgrund ihrer Entwicklungskompetenz spezifisches Know-How im Bereich der Werkstoffoptimierung und verfügt darüber hinaus für dieses Forschungsvorhaben im Rahmen eines Beratungsvertrages über die Verbindung zu einem bekannten Partner für kunststofftechn. Fragen.
- Die Linde AG führt Dauerlauf- und Feldtests auf ausreichende Standzeit durch.
- Die Lenk-/Antriebseinheit wird von der Linde AG als separate Baugruppe qualifiziert. Hierzu betreibt die Linde AG bei einem Partner einen Rollenprüfstand, der die Rolle über das Antriebsrad antreibt und auch Lenkbewegungen realisieren kann.

Jungheinrich AG:

- Die Jungheinrich AG führt im Rahmen der Fahrzeugentwicklung Dauerteste mit kompletten Fahrzeugen durch, bei denen die Räder und Rollen "mitgetestet" werden. Diese Tests werden auf Linearprüfständen oder Trommelprüfständen durchgeführt. Ein Umlaufprüfstand ist in der Erprobung.
- Speziell für Rollen nutzt die Jungheinrich AG einen Prüfstand mit "sinusförmiger" Laufbahn.
- Die Komponente Fahrtrieb incl. Antriebsrad wird ebenfalls bei einem Lieferanten einem Dauertest unterzogen.
- Weiterhin sind mehrere Diplomarbeiten und interne Untersuchungen zu diesem Themenkreis angefertigt worden.

Räder-Vogel GmbH:

- Neubau einer Produktionsstätte für Vulkollan / Polyurethanverarbeitung in 2001/ 2002, die aufgrund besserer Prozesskontrollen zu einer geringeren Fehlerquote und verbesserter Produktqualität führt
- Aufbau eines Trommelprüfstandes Ende 2004 zur dynamischen Prüfung der Räder (*)
- Optimierung der Kerngeometrien mit einem FEM-Berechnungsprogramm (in Arbeit)

Wicke GmbH:

- Neubau einer Produktionsstätte für Vulkollan / Polyurethanverarbeitung in 2002/ 2003, die aufgrund besserer Prozesskontrollen zu einer geringeren Fehlerquote und verbesserter Produktqualität führt
- Aufbau eines Trommelprüfstandes 1994 zur dynamischen Prüfung der Räder (*)
- Aufbau eines Rundtellerprüfstandes 1999 zur dynamischen Prüfung der Räder (*)
- Optimierung der Kerngeometrien mit einem FEM-Berechnungsprogramm (in Arbeit)

Bayer AG:

- Weltweit größter Hersteller von Polymeren und hochwertigen Kunststoffen

- Mit Vulkollan bietet Bayer bereits heute ein technologisch führendes Material an, das wegen überragender Materialeigenschaften verbreitet für die Herstellung von Rädern/Rollen eingesetzt wird
- Die Einbindung der Forschungs- und Entwicklungskompetenz von Bayer ist eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung und Herstellung deutlich verbesserter Materialien für Räder/Rollen
- Speziell für Vulkollanrollen mit hoher Belastung nutzt die Bayer AG einen Walzenprüfstand

Robert Bosch GmbH:

- Betrieb eines Fuhrparks mit mehreren hundert Flurförderzeugen allein in Deutschland
- Sehr harte Einsatzbedingungen für Flurförderzeuge im Lager ermöglichen in relativ kurzer Zeit aussagefähige Feldtests für das Verschleißverhalten der Räder und Rollen
- Das professionelle Fuhrparkmanagement ist eine wesentliche Voraussetzung für eine aussagefähige Dokumentation und Reproduzierbarkeit der geplanten Feldtests

Die Firmen Räder-Vogel und Wicke beziehen beide vom selben Lieferanten die Bindemittel. Es handelt sich hierbei um ein in Frankreich ansässiges Unternehmen, das mindestens europaweit die absolute technologische Spitzenposition einnimmt. Dieser Bindemittelhersteller wird über die beiden Räderhersteller hinsichtlich des Know-How-Transfers eingebunden.

* Der am IFT vorhandene Prüfstand erlaubt die dreidimensionale Erfassung der beim Durchrutschen eines Rades zwischen Rad und Boden entstehenden Kräfte (spez. Reibkräfte). Mit Hilfe der bei den Räderherstellern vorhandenen Prüfstände können für die Referenzbildung mit einem Stahlboden die zur Analyse erforderlichen Daten erfasst und anschließend mit Kennfeldern abgebildet werden.

Zur unbedingt notwendigen systematischen Erfassung und mathematischen Formulierung des Einflusses verschiedener für die Praxis relevanter Böden und der Messung der Lenk- und Antriebskräfte ist jedoch der Aufbau eines zusätzlichen Prüfstandes notwendig (den es bislang europaweit und nach Wissen der Projektpartner auch weltweit nicht gibt), der eine Integration unterschiedlicher Reibwerte ermöglicht und somit im Rahmen der Ist- und Demonstratoranalyse eine vollständige Beschreibung der auftretenden Belastungsfälle gestattet. Für den Umbau des am IFT vorhandenen Prüfstandes wird ein Aufwand von 120T € im Rahmen der notwendigen Sachkosten veranschlagt.

4. Vorgehensweise und Arbeitsschwerpunkt

Die zur Abarbeitung des Forschungsvorhabens notwendigen Arbeitspakete und Meilensteine können im Detail der Kapazitäts- und Zeitplanung (s. Anlage) entnommen werden.

Die Zeitplanung geht dabei von einem Projektstarttermin am 01.04.2006 aus.

4.1. Analysephase

Um eine Ableitung der einsatzspezifischen Anforderungsprofile von Räder / Rollen von Flurförderzeugen zu ermöglichen, soll in einem ersten Projektschritt eine Analyse der heute eingesetzten Konstruktionen und Werkstoffe erfolgen. Dabei wird sowohl der Istzustand der Rad-Rollen-Lebensdauern mit Hilfe von statistischen Daten ermittelt, als auch eine Analyse und Bewertung der in der Praxis auftretenden Schäden durchgeführt (Anmerkung: Diese Arbeiten erfolgen soweit bekannt weltweit erstmalig in großer Breite und wissenschaftlich strukturiert). Durch eine Untersuchung der unterschiedlichen Einsatz- und Belastungsbedingungen sollen die Anforderungen an Räder / Rollen von Flurförderzeugen systematisch erfasst und bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Anforderungen ausgewertet werden. Aus der Fülle der bei Flurförderzeugen verwendeten Räder

der- und Rollenkonstruktionen sollen erstmalig mit einer systematischen Strukturierung diejenigen Konstruktionen ausgewählt werden, die einerseits am häufigsten Verwendung finden und andererseits die schwierigsten Verschleiß- und Ausfallerscheinungen zeigen. Hierdurch wird das Gesamt-arbeitsfeld auf die im Rahmen der Forschungslaufzeit ableistbaren Kernprobleme reduziert. Der Anwender bietet dabei alle Aspekte einer Logistik in einem Haus und eignet sich ideal für umfassende Tests. Die so gewonnenen Erkenntnisse werden im Anschluss für die Klärung der Anforderungen zusammengefasst. Folgende Aktivitäten sind in dieser Phase geplant:

- Vervollständigung der Literatur- und Patentrecherche zum einschlägigen Stand der Technik und Forschung (alle Projektpartner)
- Systematische Bestandsaufnahmen der heutigen Konstruktionen und der verwendeten Werkstoffe (alle Projektpartner)
- Ermittlung des Istzustands der Rad-Lebensdauern aus statistischen Daten (alle Projektpartner)
- Analyse und Bewertung auftretender Schäden (alle Projektpartner)
- Untersuchung der unterschiedlichen Einsatz- und Belastungsbedingungen in Produktionsunternehmen (alle Projektpartner)
- Ableitung einsatzspezifischer Anforderungsprofile (alle Projektpartner)

Nach Abschluss der Analyse ist der Meilenstein 1 im 12. Monat nach Projektbeginn eingeplant.

4.2. Modellbildungsphase

Die aufwendige Entwicklung eines FEM-Modells für das System Rad-Boden wird bereits beim Projektstart begonnen, um zukünftig computergestützte Untersuchungen der Versagensursachen und Verschleißmechanismen bereits zu einem möglichst frühen Zeitpunkt zu ermöglichen und somit die Ableitung der Verbesserungspotentiale für Räder / Rollen von Flurförderzeugen zu unterstützen. Zeitgleich werden die bei den Räderherstellern und dem IFT vorhandenen Prüfstände auf die Anforderungen dieses Forschungsvorhabens umgerüstet und optimiert, um die Modell-gestützten Untersuchungen möglichst frühzeitig im Projektverlauf durch Prüfstandsversuche verifizieren zu können. Die Entwicklung des neuen Prüfstandes im IFT mit der erstmaligen Möglichkeit auch Antriebs- und Bremsverhalten von Rädern unter unterschiedlichen Lenkwinkeln zu untersuchen beginnt ebenfalls direkt beim Projektstart, um zeitgleich zum Abschluss der FEM-Modellbildung experimentelle Untersuchungen in der Demonstratorphase zu ermöglichen. Dabei liegt ein besonderer Schwerpunkt in der Entwicklung von standardisierten Testabläufen und -verfahren, um eine reproduzierbare und vergleichbare Auswertung der Ergebnisse sicherstellen zu können und eine Einarbeitung in Normen und Vorschriften zu unterstützen. Folgende Aktivitäten sind geplant:

- Entwicklung eines Finiten Elemente Modells für die Räder als Basis für die computergestützte Untersuchungen (MTL)
- Computergestützte Untersuchungen der Versagensursachen und der Verschleißmechanismen (MTL)
- Entwicklung und Realisierung eines Prüfstands (beziehungsweise Modifikation eines vorhandenen Prüfstands) für experimentelle Laboruntersuchungen (IFT, Räder-Vogel, Wicke)
- Experimentelle Untersuchungen der Lebensdauern und der Verschleißmechanismen sowie Versagensursachen (Interaktion Rad/Boden, Reibkrafterfassung im IFT) (IFT, Räder-Vogel, Wicke)
- Ableitung der Verbesserungspotentiale (alle Projektpartner)

Nach der Detaillierung der Anforderungsklä rung ist der Meilenstein 2 im 17. Monat nach Projektbeginn eingeplant.

4.3. Entwicklungsphase

Zur Generierung nicht nahe liegender, innovativer Lösungsansätze sollen konstruktionsmethodische Verfahren, Kreativitätstechniken angewandt werden.

Die Räder sollen konstruktiv (Geometrie der Felge und der Bandage, Lagerung, zusätzliche Bauelemente, mehrschichtige Bandagen) sowohl in der heutigen Basiskonstruktion optimiert, als auch durch methodische Entwicklung alternativer Konstruktionen für die oben genannten Radfunktionen völlig neu überarbeitet werden. Die bestehenden Zielkonflikte z. B. zwischen Fahrkomfort (weiche Bandage), Führungseigenschaften / Standsicherheit (harte Bandage) und Lebensdauer sollen durch die Entwicklung neuartiger Basiselemente als Ersatz für die herkömmlichen Räder gelöst werden. Diese neuen Lösungsansätze für die Funktion des Rades sind visionär, beinhalten ein hohes Risiko. Auf Basis der Untersuchungen des Verschleißverhaltens und der Werkstoffeigenschaften ist eine optimale Konstruktion auszuwählen und einsatztauglich auszugestalten. Alle entwickelten Lösungsansätze werden mit Hilfe der erstellten FEM-Modelle einer computergestützten Analyse unterzogen, um bereits vor der Erstellung von Demonstratoren eine Aussage über das zu erwartende Optimierungspotential zu generieren. Somit werden bereits frühzeitig die Erfolgsaussichten analysiert und sowohl technisch als auch wirtschaftlich bewertet.

Es existieren bereits erste Ansätze, von denen im Folgenden zwei beispielhaft angedeutet werden. Die Schnittstellen zwischen Rad und Flurförderzeug sollen konstruktiv optimiert werden. Denkbar wäre als Lösung eine gefederte Radaufhängung zum Beispiel in Gummipuffern oder eine optimierte Lagerung zur Vermeidung von erhöhten Beanspruchungen durch Achsschrägstellungen, Stößen usw. Neben der konstruktiven Optimierung steht auch die Verbesserung der heutigen Werkstoffe und die Entwicklung alternativer Werkstoffe im Vordergrund der Untersuchungen. Die chemische Zusammensetzung des Werkstoffs Vulkollan® (beziehungsweise PUR allgemein) und des Bindemittels (Haftvermittler zwischen Felge und Belagmaterial) soll optimiert werden. Die Wirkung von alternativen Verbundwerkstoffen mit Faser- oder Gewebeeinlage soll objektiv überprüft werden.

Die Kombination von optimierter Konstruktion und optimiertem Werkstoff wird dann den geforderten technologischen Quantensprung und damit die deutliche Einsatzzeiterhöhung gewährleisten. Folgende Aktivitäten sind geplant:

- Konstruktive Optimierung der Räder (IFT, Räder-Vogel, Wicke, Linde, Jungheinrich)
- Konstruktive Optimierung der Schnittstelle zwischen Rad und Flurförderzeug (Linde, Jungheinrich, Räder-Vogel, Wicke)
- Verbesserung des Bandagen-Werkstoffs (chemische Zusammensetzung, Verbundwerkstoffe mit Faser- oder Gewebeeinlage) (Bayer, Räder-Vogel, Wicke)
- Verbesserung / Entwicklung alternativer Bindemittel (Räder-Vogel, Wicke)
- Computergestützte Berechnung der Beanspruchungen zur Beurteilung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen (MTL)

Nach der Entwicklungsphase ist der Meilenstein 3 (Freigabe des Demonstrators) im 22. Monat nach Projektbeginn eingeplant.

4.4. Demonstratorphase

Im Rahmen der Demonstratorphase werden die ausgewählten neuartigen Lösungen und Materialzusammensetzungen aufgebaut und getestet. Diese Phase dient weiterhin der Sammlung von Erfahrung bei der Herstellung und der Verifizierung, Weiterentwicklung und Optimierung der Modelle mit Hilfe der Demonstratoren. Die Validierung der Forschungsergebnisse erfolgt zunächst durch Prüfstandsversuche in Labortests und anschließend mit kompletten Flurförderzeugen durch Praxistests im Feldversuch. Zu diesem Zweck werden der neu erstellte Prüfstand und die in der ersten Phase entwickelten Test herangezogen. Die Aus- und Bewertung aller durchgeführten Ver-

suche wird sowohl wertvolle Erkenntnisse für die entwickelten Lösungen und Materialzusammensetzungen liefern, als auch zur Kalibrierung und weiteren Optimierung der Modelle dienen. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der Produktion des Demonstrators und dem Verschleißverhalten aus dem Praxisfeld können die ersten begleitenden Abschätzungen über die Wirtschaftlichkeit der neuen Lösungsansätze verifiziert werden. Folgende Aktivitäten sind geplant:

- Fertigung von neuartigen Rad-Systemen unter Verwendung der entwickelten Optimierungsmaßnahmen (Räder-Vogel, Wicke)
- Sammlung der Erfahrung bei der Herstellung
- Verifizierung der Modelle mit Hilfe der Demonstratoren und deren Optimierung
- Prüfstandsversuche und Laborversuche mit kompletten Flurförderzeugen unter reproduzierbaren Belastungen zum Nachweis der Wirksamkeit der durchgeführten Optimierungsmaßnahmen (IFT)
- Feldversuche (Bei Anwender und Fahrzeughersteller)

Die Zusammenfassung der Ergebnisse mit Abschlussbericht ist im Meilenstein 4 im 30. Monat nach Projektbeginn eingeplant.

4.5. Verbreitungsphase

Aufbauend auf den im Projekt gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen sollen die Methoden und Verfahren auch für den Entwicklungs- und Produktionsprozess als Basis für entsprechende Normen und Richtlinien (Deutschland/EU-weit) transferiert werden. Die Methoden und Verfahren sollen die Gestaltung und Auslegung von Radsystemen unter Berücksichtigung der spezifischen Einsatzbedingungen, die Berechnung, die Durchführung von Labor- und Feldversuchen und die Produktionsabläufe unterstützen. Insbesondere sollen allgemein anerkannte Testverfahren zum Nachweis der Lebensdauer (Erhöhung der Lebensdauer, Verschleißfestigkeit, mechanische Festigkeit, thermische und chemische Beanspruchbarkeit) entwickelt werden. Dies schließt auch die Vermittlung geeigneter Kenngrößen zur Beschreibung der Verschleißfestigkeit ein.

Die Verbreitung der Forschungsergebnisse innerhalb des Konsortiums erfolgt während der gesamten Projektlaufzeit und wird in den letzten 6 Monaten der Projektlaufzeit durch z.B. Vorträge, Veröffentlichungen, Tagungen und Industriearbeitskreise ergänzt.

- Sammeln, auswerten und verdichten der Daten und Erkenntnisse, die im Projekt gewonnen wurden (IFT, MTL)
- Kommunikation von Methoden und Verfahren für die Gestaltung, Auslegung, Berechnung und Test für Räder für Entwickler von Rädern bzw. Fahrzeugen
- Einarbeiten der Forschungsergebnisse in Richtlinien und Normen (IFT, MTL)
- Transfer des Know-hows auf andere Anwendungsbereiche von Kunststoffträgern z.B. in förder-technischen Anlagen in der Produktion (alle Projektpartner)
- Veröffentlichung der Ergebnisse auf Tagungen, Industriearbeitskreisen und den Fachzeitschriften (alle Projektpartner)

5. Ergebnistransfer

5.1. Möglichkeiten der breiten Nutzung, projektübergreifende Ergebnisverwertung

Das Konsortium besteht sowohl aus den führenden zwei international agierenden Flurförderzeugherstellern und zwei Flurförderzeug-Räderherstellern aus dem Bereich der mittelständischen Unternehmen Deutschlands, als auch aus einem namhaften Anwender der deutschen Produktionsindustrie, sowie zwei Forschungsinstituten mit umfangreicher, langjähriger Erfahrung in den Berei-

chen der Konstruktion, der experimentellen Untersuchungen und der theoretischen Berechnung und Modellierung von Flurförderzeugen.

Wegen der Einbindung der Großkonzerne Linde AG und Jungheinrich AG in das Projektkonsortium ist es möglich, eine umfassende Schwachstellen- / Mängelanalyse und ein umfassendes Pflichtenheft aufzustellen. Gleichzeitig können nach dem Nachweis der gewünschten Produkteigenschaften im Laborversuch umfangreiche aber auch sehr spezielle Feldversuche unter Begleitung der Entwicklungs- und Vertriebsabteilungen der Flurförderzeug-Hersteller durchgeführt werden.

Ein direkter Transfer der im Projektverlauf entstehenden Forschungsergebnisse in die gesamte Produktionsbranche ist bereits über das Konsortium selbst gewährleistet. Die Ergebnisse kommen sowohl den Herstellern durch die erhöhte Anpassungsfähigkeit ihrer Produkte an individuelle Kundenanforderungen und Erweiterung ihrer Produktpalette, als auch dem Kunden und damit Anwender selbst zu gute, wenn er seine Produktionsabläufe modernisieren und kostentechnisch zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit optimieren möchte.

Darüber hinaus sind weitere Informations- und Ergebnistransferaktionen geplant:

- Anwenderbefragungen und Workshops zu Beginn des Projektes
- Einrichtung eines Anwender- / Herstellernetzwerkes zum Monitoring und Wissenstransfer während der Projektlaufzeit
- Einrichtung einer Projekt-Homepage für aktuelle Projektinformationen und Datentransfer zu Projektexternen
- Abschlussbericht über die Ergebnisse des Projektes
- Veröffentlichung in Fachzeitschriften, auf Kongressen und im Internet (z.B. im eJournal des WGTL)
- Verwendung der Ergebnisse in Vorlesungen und Workshops durch die Hochschulinstitute
- Messeauftritte (z.B. CEMAT Hannover, BAUMA München, etc.)
- Schutzrechtanmeldungen

Ferner erfolgen gezielte Informationen an übergreifende Einrichtungen zur effektiven Verbreitung der Ergebnisse:

- Wissenschaftliche Gesellschaft für technische Logistik (WGTL)
- Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik e.V. (WGP),
- Bundesvereinigung für Logistik e.V. (BVL)
- Verband Deutscher Maschinen und Anlagebau e.V. (VDMA)

5.2. Erfolgsaussichten, Wirkung auf Arbeitsplätze und volkswirtschaftliche Bedeutung

Durch die geplante Produktneuentwicklung können auch zukünftig die Arbeitsplätze in Deutschland gesichert werden, da durch diese Entwicklungsarbeiten die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig grundlegend und deutlich verbessert wird.

Mit Hilfe von InnoRad sichern nicht nur die beteiligten Produktionsunternehmen durch die entstehenden Produkte ihre Position am Markt, können so die dortigen Arbeitsplätze sichern und gegebenenfalls bei den Räder-/Rollenherstellern sogar ausbauen. Durch die innovative Neu-/Weiterentwicklung des logistischen Basiselementes Rad wird den beteiligten Firmen aus Deutschland das Erhalten der weltweiten Führungsrolle im Bereich der Flurförderzeuge (Indoor) ermöglicht. Ohne einen innovativen, völlig neuartigen und ressourcenschonenden (Abfallmengen, siehe Abb. 1!) Systemansatz würde der deutsche Marktanteil an Flurförderzeugen und Zulieferteilen un-

ter dem Druck des ständig steigenden Angebots von günstigen Produkten aus Niedriglohnländern Schaden nehmen und Arbeitsplätze in diesem wichtigen Technologiesektor gefährden. Durch die angestrebte Verschleißreduzierung von 20 Prozent bei gleich bleibenden Produktionskosten kann somit neben den wirtschaftlichen Vorteilen durch Sicherung von Marktanteilen für alle Projektpartner eine deutliche Reduzierung der Abfallmenge um mehrere Tausend Tonnen pro Jahr allein in Europa erzielt und somit die Umwelt nachhaltig geschont werden.

Die Voraussetzungen für dieses Entwicklungsprojekt sind daher ausgezeichnet, da erstmalig die weltweit führenden international tätigen Unternehmen Linde und Jungheinrich zusammenarbeiten und mit den beiden mittelständischen Unternehmen Räder-Vogel und Wicke die führenden deutschen und damit auch europäischen Zulieferer von Rädern und Rollen mit ihrem Rohstofflieferanten Bayer auf der Kunststoffseite gemeinsam an dieser neuen, innovativen Produktentwicklung beteiligt sind. Damit haben sich erstmalig die deutschen Hersteller und Zulieferer zu einem Entwicklungskonsortium zusammengeschlossen. Insbesondere die Innovationskraft der beiden mittelständischen Unternehmen erfährt durch dieses Forschungsprojekt einen nachhaltigen Vorschub. Die beiden Hochschulinstitute haben einschlägige Erfahrungen im Bereich der Flurförderzeuge, der rechnerunterstützten Analyse, jahrzehntelange Erfahrung im experimentellen Dauerversuchsbereich. Wie oben geschildert wird darüber hinaus erstmalig ein systematischer ingenieurwissenschaftlicher Ansatz umgesetzt. Die Gesamtmaßnahme kommt vor allen Dingen mittelständischen Räder- und Rollenzulieferern und damit KMU's zugute, weshalb eine entsprechende Förderung sowohl notwendig wie auch zielführend ist. Dies gilt auch für die beiden Großkonzerne Linde und Jungheinrich, da innerhalb der Konzerne die Anzahl von Ingenieuren und Entwicklern für solche Räder- und Rollenbasiselemente derzeit außerordentlich gering ist und über die Förderung eine Initialzündung in den Entwicklungsabteilungen erreicht wird. Da die Bayer AG als einzige über das sehr spezielle Kern-Know-How bezüglich des Werkstoffes Vulkollan[®] verfügt, bietet sich hier die einmalige Chance für eine interdisziplinäre Neuentwicklung des logistischen Basiselementes Rad.

5.3. Verwertungspläne der Projektpartner

a) Verwertungsplan für die Linde AG und Jungheinrich AG:

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Linde und Jungheinrich haben prinzipiell gleiche Ausgangspositionen als Produzent von Flurförderzeugen (Produktion in Deutschland, Hauptmarkt Europa, Vertrieb weltweit) und sind beide auf demselben Hauptmarkt vertreten. Aus diesem Grund kann bei dem Verwertungsplan von gleichen Rahmenbedingungen ausgegangen werden.

Linde und Jungheinrich sind beide als Hersteller in einem Hochlohnland darauf angewiesen, dass durch Innovationen ihre Produkte am Markt wettbewerbsfähig bleiben. Wichtiger Bestandteil sind hierbei technische Produktinnovationen, die dem Kunden einen deutlichen Mehrwert bringen.

Vor diesem Hintergrund stellt das Forschungsprojekt InnoRad eine Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dar, das für beide Unternehmen den technischen Vorsprung erhält und ausbaut.

Die Entwicklung von neuartigen Rädern/Rollen von Flurförderzeugen stellt dabei eine entscheidende Verbesserung dar, da dieses Element heute den „Flaschenhals“ in den Fahrzeugen darstellt, das eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Flurförderzeugen begrenzt. Insbesondere werden die Forschungsergebnisse benötigt, um in den folgenden Bereichen eine Optimierung zu erzielen:

- In der Produktion mit hohem Umsatz an Stückgütern durch Flurförderzeuge (insbesondere bei KMU's der Fall)
- In der Logistik aller Produktionsbetriebe (Warenumsatz im Eingang/Ausgang und Lager)
- In Lagern von Handelsunternehmen und Dienstleistern mit hoher Umschlagrate

Eine Zielrichtung des Forschungskonsortiums ist die „internen Vermarktung“ und gemeinsame Nutzung der Ergebnisse. Durch die Integration der Firmen aus der gesamten Liefer- und Produktionskette (Bayer über Räder Vogel /Wicke zu Linde/Jungheinrich) ist es gelungen, diese Firmen besser miteinander zu verknüpfen. Eine externe Vermarktung zwischen den Firmen mit einer klassischen Hersteller-Lieferanten-Beziehung wird damit durch die Forschungskoope-ration ersetzt.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten:

Durch die Integration der Marktführer sowohl auf der Komponentenseite (Rad/Rolle) als auch auf der Fahrzeugseite ist die Verbreitung der Ergebnisse innerhalb der direkten Anwender der Technologie gegeben. Eine zusätzliche Einbindung von Vertriebs- und Produktionspartnern entfällt somit.

Darüber hinaus ist u. a. durch die Zusammenarbeit in Verbänden und der Normungsarbeit eine Plattform geschaffen, die die Nutzung der Ergebnisse auch außerhalb des Konsortiums ermöglicht. Die Linde AG ist in den wichtigen Verbänden Deutschland- und EU-weit vertreten, so dass eine kontinuierlicher Wissenstransfer sicher gestellt ist.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit:

Nach der grundlegenden Erarbeitung der Inhalte im Forschungsprojekt InnoRad sind nachfolgend Anpassungen an den prinzipiellen Funktionsprinzipien im Hinblick auf eine Serienproduktion erforderlich. Des Weiteren sind die Erkenntnisse in die Struktur der Fahrzeuge mit einzu-bringen und mit dem, in den Unternehmen vorhandenen Know-how, zu verbinden. Ergebnis sind dann Fahrzeuge für höhere Traglasten bzw. geringerem Verschleiß der Räder/Rollen. Nach dieser Engineering Phase können die leistungsgesteigerten Produkte über den Vertrieb an den Markt gebracht werden.

Linde und Jungheinrich haben beide ein weit verteiltes Netz an Niederlassungen bzw. Ver- tragshändlern, so dass die Verbreitung der Innovationen sicher gestellt ist.

b) Verwertungsplan für die Räder-Vogel GmbH und die Wicke GmbH:

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Räder-Vogel und Wicke haben prinzipiell gleiche Ausgangspositionen als Produzent von Rä- dern und Rollen für Flurförderzeuge (Produktion in Deutschland, Hauptmarkt Europa, Vertrieb weltweit) und sind beide auf demselben Hauptmarkt vertreten. Aus diesem Grund kann bei dem Verwertungsplan von gleichen Rahmenbedingungen ausgegangen werden.

Räder-Vogel und Wicke sind beide als Hersteller in einem Hochlohnland darauf angewiesen, dass durch Innovationen ihre Produkte am Markt wettbewerbsfähig bleiben. Wichtiger Bestand- teil sind hierbei technische Produktinnovationen, die dem Kunden einen deutlichen Mehrwert bringen.

Vor diesem Hintergrund stellt das Forschungsprojekt InnoRad eine Sicherung der Wettbe- werbsfähigkeit dar, das für beide Unternehmen den technischen Vorsprung erhält und ausbaut.

Die Entwicklung von neuartigen Rädern/Rollen von Flurförderzeugen stellt dabei eine entscheidende Verbesserung dar, da dieses Element heute den „Flaschenhals“ in den Fahrzeugen darstellt, das eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Flurförderzeugen begrenzt.

Insbesondere werden die Forschungsergebnisse benötigt, um in den folgenden Bereichen eine Optimierung zu erzielen:

- In der Produktion mit hohem Umsatz an Stückgütern durch Flurförderzeuge (insbesondere bei KMU's der Fall)
- In der Logistik aller Produktionsbetriebe (Warenumsatz im Eingang/Ausgang und Lager)
- In Lagern von Handelsunternehmen und Dienstleistern mit hoher Umschlagrate

Eine Zielrichtung des Forschungskonsortiums ist die „interne Vermarktung“ und gemeinsame Nutzung der Ergebnisse. Durch die Integration der Firmen aus der gesamten Liefer- und Produktionskette (Bayer über Räder Vogel /Wicke zu Linde/Jungheinrich) ist es gelungen, diese Firmen besser miteinander zu verknüpfen. Eine externe Vermarktung zwischen den Firmen mit einer klassischen Hersteller-Lieferanten-Beziehung wird damit durch die Forschungskooperation ersetzt.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten:

Durch die Integration der Marktführer sowohl auf der Komponentenseite (Rad/Rolle) als auch auf der Fahrzeugseite ist die Verbreitung der Ergebnisse innerhalb der direkten Anwender der Technologie gegeben. Eine zusätzliche Einbindung von Vertriebs- und Produktionspartnern entfällt somit.

Darüber hinaus ist u. a. durch die Zusammenarbeit in Verbänden und der Normungsarbeit eine Plattform geschaffen, die die Nutzung der Ergebnisse auch außerhalb des Konsortiums ermöglicht.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit:

Nach der grundlegenden Erarbeitung der Inhalte im Forschungsprojekt InnoRad sind nachfolgend Anpassungen an den prinzipiellen Funktionsprinzipien im Hinblick auf eine Serienproduktion erforderlich.

Des Weiteren sind die Erkenntnisse aus den Demonstratorversuchen in die Serienproduktion mit einzubringen und mit dem, in den Unternehmen vorhandenen Know-how, zu verbinden. Als Ergebnis können dann Serienprodukte für höhere Traglasten bzw. geringerem Verschleiß der Räder/Rollen entstehen.

Nach dieser Engineering Phase können die leistungsgesteigerten Produkte über den Vertrieb an den Markt gebracht werden.

Räder-Vogel und Wicke stellen eine Verbreitung der Innovationen durch den Vertrieb der Räder-Rollen an Flurförderzeughersteller mit weit verteilten Netzen an Niederlassungen bzw. Vertriebshändlern sicher.

c) Verwertungsplan für die Bayer AG:

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Die Bayer AG ist als Hersteller in einem Hochlohnland darauf angewiesen, dass durch Innovationen ihre Produkte am Markt wettbewerbsfähig bleiben. Wichtiger Bestandteil sind hierbei technische Produktinnovationen, die dem Kunden einen deutlichen Mehrwert bringen. Vor diesem Hintergrund stellt das Forschungsprojekt InnoRad eine Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dar, das für beide Unternehmen den technischen Vorsprung erhält und ausbaut.

Die Entwicklung von neuartigen Kunststoffen für die Herstellung von Rädern-Rollen von Flurförderzeugen stellt dabei eine entscheidende Verbesserung dar, da dieses Element heute den „Flaschenhals“ in den Fahrzeugen darstellt, das eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Flurförderzeugen begrenzt.

Insbesondere werden die Forschungsergebnisse benötigt, um in den folgenden Bereichen eine Optimierung zu erzielen:

- In der Produktion mit hohem Umsatz an Stückgütern durch Flurförderzeuge (insbesondere bei KMU's der Fall)
- In der Logistik aller Produktionsbetriebe (Warenumsatz im Eingang/Ausgang und Lager)
- In Lagern von Handelsunternehmen und Dienstleistern mit hoher Umschlagrate

Eine Zielrichtung des Forschungskonsortiums ist die „internen Vermarktung“ und gemeinsame Nutzung der Ergebnisse. Durch die Integration der Firmen aus der gesamten Liefer- und Produktionskette (Bayer über Räder Vogel /Wicke zu Linde/Jungheinrich) ist es gelungen, diese Firmen besser miteinander zu verknüpfen. Eine externe Vermarktung zwischen den Firmen mit einer klassischen Hersteller-Lieferanten-Beziehung wird damit durch die Forschungskooperation ersetzt.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten:

Durch die Integration der Marktführer sowohl auf der Komponentenseite (Rad/Rolle) als auch auf der Fahrzeugseite ist die Verbreitung der Ergebnisse innerhalb der direkten Anwender der Technologie gegeben. Eine zusätzliche Einbindung von Vertriebs- und Produktionspartnern entfällt somit.

Darüber hinaus ist u. a. durch die Zusammenarbeit in Verbänden und der Normungsarbeit eine Plattform geschaffen, die die Nutzung der Ergebnisse auch außerhalb des Konsortiums ermöglicht.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit:

Nach der grundlegenden Erarbeitung der Inhalte im Forschungsprojekt InnoRad sind nachfolgend Anpassungen an den prinzipiellen Funktionsprinzipien im Hinblick auf eine Serienproduktion erforderlich.

Des Weiteren sind die Erkenntnisse aus den Demonstratorversuchen in die Serienproduktion von Kunststoffen zur Räder-Rollenherstellung mit einzubringen und mit dem, in den Unternehmen vorhandenen Know-how, zu verbinden. Als Ergebnis können dann Serienprodukte als Basis für Räder-Rollen mit höheren Traglasten bzw. geringerem Verschleiß der Räder/Rollen entstehen.

Nach dieser Engineering Phase können die leistungsgesteigerten Produkte über den Vertrieb an den Markt gebracht werden.

Die Bayer AG unterhält ein weit verteiltes Netz an Niederlassungen bzw. Vertragshändlern, so dass die Verbreitung der Innovationen sicher gestellt ist

d) Verwertungsplan für die Robert Bosch GmbH:

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Die Robert Bosch GmbH ist als Produzent in einem Hochlohnland darauf angewiesen, dass ihre Produkte am Markt wettbewerbsfähig bleiben. Ein wichtiger Bestandteil sind hierbei die Kosten zur Unterhaltung des Flurförderzeugparks.

Vor diesem Hintergrund stellt das Forschungsprojekt InnoRad eine Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dar, das für den technischen Vorsprung die Robert Bosch GmbH erhält und ausbaut.

Die Entwicklung von neuartigen Rädern-Rollen von Flurförderzeugen stellt dabei eine entscheidende Verbesserung dar, da dieses Element heute den „Flaschenhals“ in den Fahrzeugen darstellt, das eine Steigerung der Leistungsfähigkeit von Flurförderzeugen begrenzt und die entstehenden laufenden Kosten wesentlich beeinflusst.

Eine Zielrichtung des Forschungskonsortiums ist die „internen Vermarktung“ und gemeinsame Nutzung der Ergebnisse. Durch die Integration der Firmen aus der gesamten Liefer- und Produktionskette (Bayer über Räder Vogel /Wicke zu Linde/Jungheinrich) ist es gelungen, diese Firmen besser miteinander zu verknüpfen.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten:

Durch die Integration der Marktführer sowohl auf der Komponentenseite (Rad/Rolle) als auch auf der Fahrzeugseite ist die Verbreitung der Ergebnisse innerhalb der direkten Anwender der Technologie gegeben. Eine zusätzliche Einbindung von Vertriebs- und Produktionspartnern entfällt somit.

Darüber hinaus ist u. a. durch die Zusammenarbeit in Verbänden und der Normungsarbeit eine Plattform geschaffen, die die Nutzung der Ergebnisse auch außerhalb des Konsortiums ermöglicht.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit:

Nach der grundlegenden Erarbeitung der Inhalte im Forschungsprojekt InnoRad sind nachfolgend Anpassungen an den prinzipiellen Funktionsprinzipien im Hinblick auf eine Serienproduktion erforderlich.

Des Weiteren sind die Erkenntnisse aus den Demonstratorversuchen in die Serienproduktion von Kunststoffen zur Räder-Rollenherstellung mit einzubringen und mit dem, in den Unternehmen vorhandenen Know-how, zu verbinden. Als Ergebnis können dann Serienprodukte als Flurförderzeuge mit höheren Traglasten bzw. geringerem Verschleiß der Räder/Rollen entstehen.

Nach dieser Engineering Phase können die leistungsgesteigerten Produkte über den Vertrieb an den Markt gebracht werden.

e) Verwertungsplan für die Hochschulinstitute (IFT und MTL):

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

- Reduzierung der Kosten in produzierenden Unternehmen durch Merkblätter/Richtlinien zur Auswahl geeigneter Räder/Rollen

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten:

Die beiden am Projekt beteiligten Hochschulinstitute sind seit vielen Jahrzehnten in der Lehre und Forschung im Bereich der Fördertechnik tätig und hat einschlägige Erfahrungen im Bereich der Flurförderzeuge, der rechnerunterstützten Analyse und in der Durchführung von experimentellen Dauerversuchen. Das Forschungsprojekt Innorad stellt die erstmalige Möglichkeit dar, durch eine Kombination von industriellen Partnern aus allen beteiligten Fachgebieten und den beiden Hochschulinstituten, diese sowohl wissenschaftlich hochanspruchsvolle als auch wirtschaftlich entscheidende Basiskomponente von Flurförderzeugen durch einen systematischen ingenieurwissenschaftlichen Ansatz zu optimieren.

Die Hochschulinstitute werden im Rahmen von

- *Präsentationen* (z.B. im Rahmen der WGTL oder auf der CEMAT-Messe),
- *Arbeitskreisen* im Rahmen der Projektbesprechungen,
- *Veröffentlichungen* (z.B. im *Internet* unter www.InnoRad.de und in *Fachzeitschriften*),
- *Weiterbildung der Studierenden* in Übungen und Laborpraktika zum Thema und
- Im Rahmen der *Fachkolloquien der WGTL* (www.wgtl.de und www.logistics-journal.de) und *BVL* sowie der *Hamburger Staplertagung* (www.staplertagung.de)

auf das Projekt hinweisen und die Forschungsergebnisse verbreiten.

Darüber hinaus wird u. a. durch die *Zusammenarbeit in Verbänden* und der *Normungsarbeit* eine Plattform geschaffen, die die Nutzung der Ergebnisse auch außerhalb des Konsortiums ermöglicht.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit:

Im Anschluss an das geplante Forschungsprojekt ist durch beide Hochschulinstitute eine *Anwendung der Erkenntnisse/Modelle auf andere Fragestellungen* wie z. B. andere Kunststofförder/-rollen oder beschichtete Walzen insbesondere im Bereich der technischen Logistik geplant, um die erwartete Produktinnovation in wissenschaftlicher Hinsicht weiter voranzutreiben.

Ferner sollen die erzielten Ergebnisse zu einem *Vorschlag für eine VDI-Richtlinie* dienen.

Es ist durch die Struktur der beteiligten Partner davon auszugehen, dass der Auf- und Ausbau der Kontakte zur Förderung des *Technologietransfers von der Hochschule in die Wirtschaft* durch dieses Forschungsprojekt entscheidende positive Impulse erhält.

Ferner wird durch dieses Forschungsvorhaben in idealer Weise die *Praxisnähe der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung* an beiden Instituten sichergestellt.

6. Kooperationspartner

Die im Projekt vereinten Partner zählen in ihrer Branche zu den jeweiligen Produktions- und Technologieführern in Deutschland, die sich durch besonders innovative Lösungsansätze auszeichnen. Im Rahmen des Verbundprojekts tauschen die Partner über gemeinsame, regelmäßige Treffen (1/4-Jährlich) die Zwischenergebnisse Ihrer Arbeiten aus und diskutieren anhand des Terminplans die weitere Vorgehensweise. Auf der ersten Ebene wird das Projekt von der Firma Linde AG koordiniert und geleitet. Unterstützt wird dabei die Fa. Linde durch das IFT. Zu den Meilensteinen, die

bereits im Terminplan eingebracht sind, werden gemeinsam die Phasen abgeschlossen und die Entscheidungen für die weitere Vorgehensweise getroffen. Parallel zu diesen Besprechungen sind Gespräche zu den einzelnen Arbeitspaketen geplant, die von den jeweils führenden Partnern einberufen und koordiniert werden.

6.1. Beteiligte Unternehmen und Einrichtungen und Ansprechpartner

<p>Linde AG mit allen Marken Abraham-Lincoln-Strasse 21 65189 Wiesbaden</p> <p>Dr. Rinck / Dipl.-Ing. M. Manthey Geschäftsführer / Bereichsleiter Produkttechnik</p>	<p>Tel.: +49 (0)40 7339-2226 Fax: +49 (0)40 7339-1016 Email: maik.manthey@still.de http://www.still.de</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 42.000 Zugehörigkeit: Linde AG</p>
<p>Jungheinrich AG (Einmarkenstrategie) Friedrich-Ebert-Damm 129 22047 Hamburg</p> <p>Dipl.-Ing. R. Baginski / Dr.-Ing. E.-P. Magens Leiter Grundlagenentwicklung / Neue Produkte</p>	<p>Tel.: +49 (0)40 5269-1934 Fax: +49 (0)40 5269-1894 Email: dr.peter.magens@jungheinrich.de http://www.jungheinrich.de</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 9.000, 1531 Mio. € Zugehörigkeit: Jungheinrich AG</p>
<p>Räder-Vogel, Räder- und Rollenfabrik GmbH & Co. Spersdeicher Weg 19-23 21109 Hamburg</p> <p>Dipl.-Volkswirt Dieter Henning / Dipl.-Ing. B. Dolk Geschäftsführer / Vertriebsleiter</p>	<p>Tel.: +49 (0)40 75499-172 Fax: +49 (0)40 75499-990 Email: -mail: dieter.henning@raedervogel.de http://www.raedervogel.de</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 300, 41,7 Mio. € Umsatz Zugehörigkeit: Räder-Vogel GmbH & Co.</p>
<p>Wicke GmbH & Co. KG Elberfelder Strasse 109 45549 Sprockhövel-Herzkamp</p> <p>Herr Schlösser / Dipl.-Ing. Schöneborn Geschäftsführer / Leiter Qualitätswesen</p>	<p>Tel.: +49 (0)202 2528-194 Fax: +49 (0)202 2528-110 Email: schloesser@wicke.com http://www.wicke.com</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 220 Zugehörigkeit: Wicke GmbH & Co. KG</p>
<p>Bayer Material Science AG 51368 Leverkusen</p> <p>Herr Barwitzki / Herr Plate</p>	<p>Tel.: +49 (0) 214 30-57898 Fax: +49 (0) 214 30-55352 Email: peter.plate@bayermaterialscience.de http://www.bayermaterialscience.de</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 18.000, 8,6 Mrd. € Umsatz Zugehörigkeit: Bayer AG</p>
<p>Robert Bosch GmbH Wernerstrasse 51 70469 Stuttgart-Feuerbach</p> <p>Herr Nowitzki Facility Management</p>	<p>Tel.: +49 (0) 711 – 811 44742 Fax: +49 (0) 711 – 811 51144742 Email: herbert.nowitzki@de.bosch.com http://www.bosch.de</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 242.000, 40 Mrd. € Umsatz Zugehörigkeit: Robert Bosch GmbH</p>
<p>Lehrstuhl für Maschinenelemente und Technische Logistik (MTL) Holstenhofweg 85 22043 Hamburg</p> <p>Prof. Dr.-Ing. R. Bruns / Dipl.-Ing. S. Steiger Institutsleiter / Wiss. Mitarbeiter</p>	<p>Tel.: +49-(0)40 6541-2855 Fax: +49-(0)40 6541-2095 Email: rainer.bruns@unibw-hamburg.de http://www.hsu-hh.de/mtl</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 15 Zugehörigkeit: Helmut Schmidt Universität Hamburg</p>
<p>Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT) Holzgartenstraße 15B D 70174 Stuttgart</p> <p>Prof. Dr.-Ing. K.-H. Wehking / Dipl.-Ing. C. Vorwerk Institutsleiter / Leiter Maschinenentwicklung / -optimierung</p>	<p>Tel.: +49 (0)711-121-3771 Fax: +49 711-121-3769 Email: wehking@ift.uni-stuttgart.de http://www.uni-stuttgart.de/ift</p> <p>Anzahl der Mitarbeiter: 70 Zugehörigkeit: Universität Stuttgart</p>

7. Notwendigkeit der Förderung

Die erkannten Schwachstellen und Mängel der heutigen Basiselemente Räder / Rollen für Flurförderzeuge (Indoor) sind im obigen Teil im Detail beschrieben und die wirtschaftliche Bedeutung für die deutsche Flurförderzeugbranche und ihre Zulieferer und die Auswirkungen auf die deutsche Volkswirtschaft (bspw. die nur in Europa für elektrisch betriebene Flurförderzeug entstehenden jährlichen Kosten für Rad-/Rollenaustausch in Höhe von 554 Mio. € und Abfallmengen von annähernd 17.000 t !) dargestellt. Dies macht die grundsätzliche Notwendigkeit einer Neuentwicklung offensichtlich.

Mit dieser Produktneuentwicklung würde nicht nur die erreichbaren Lebensdauer von Rädern und Rollen drastisch erhöht, sondern könnte auch die Möglichkeit geschaffen werden, durch optimierte Konstruktion und optimalen Werkstoff die Traglasten so zu steigern, dass ein Alleinstellungsmerkmal für die Einsatzbedingungen erzeugt wird.

Bisher fand eine systematische und die wichtigsten Optimierungskriterien umfassende Lösungsfindung, also z.B. die Einbeziehung von theoretischen, physikalisch mathematischen Modellen mit systematischen, experimentellen Untersuchungen weltweit nicht oder nur unzureichend statt und vor allen Dingen waren bisher die Zielstellungen nicht so weitreichend und allgemein gültig formuliert wie in dem hier geschilderten Vorhaben. Bisher ist die Entwicklung von Rädern und Rollen auf Basis von Versuch und Irrtum erfolgt. Im vorliegenden Projekt wird erstmalig (Eine Förderung ähnlicher Vorhaben, auch durch EU-Mittel ist nicht bekannt) eine ingenieur-wissenschaftliche Vorgehensweise entwickelt, die aus den Elementen

- Systematische Aufnahme des Istzustandes und Analyse,
- Methodische Konstruktion,
- Innovationsidee,
- Experimentelle Untersuchungen sowie
- Rechnergestützte numerische Untersuchungen

zu einem nachvollziehbaren reproduzierbaren Optimierungsverfahren für Räder von Indoor-Flurförderzeug führt. Hiermit wird das Ziel erreicht, ein Verfahren zur systematischen Entwicklung sowie zur Überprüfung bzw. Optimierung von neuen Rädern / Rollen als permanentes Werkzeug zur Verfügung zu stellen.

Diese Zielsetzung ist durch einen Partner alleine, nicht zu bewältigen. Die intensive Analyse der Zusammenhänge zwischen Rad – und Boden bedarf großer Aufwendungen, um schließlich das Verschleiß- und Schädigungsverhalten der Räder und Rollen zu verstehen. Erst durch das Zusammenlegen der Erfahrungen verschiedener Hersteller der gesamten Prozesskette besteht die Möglichkeit, das Problem zu lösen. Über die Analysephase hinaus ist es auch während der Entwicklungsphase unabdingbar, dass die verschiedenen Kompetenzen und (technischen) Möglichkeiten der Partner gebündelt werden, um zu einem ganzheitlichen Ergebnis zu kommen. Die heutige Situation des Systemelements Rad im Fahrzeug zeigt, dass eine ausschließliche Optimierung des Rades alleine nicht zu dem gewünschten Ziel führt. Gleiches gilt für das Fahrzeug bzw. dem Ausgangswerkstoff. Es ist deshalb erforderlich, auch in der generierenden Phase die unterschiedlichen Know-hows zu integrieren. Damit wird eine kritische Masse erzeugt, mit der man die vorhandenen (kognitiven und logistischen) Barrieren überwinden kann, um die neuartigen Lösungen zu erzeugen.

Insbesondere für die Räder-Rollenhersteller Räder-Vogel und Wicke ist eine Förderung dieses Projektes wegen des hohen wissenschaftlichen und technischen Risikos und dem durch den Umfang des Projektes bedingten großen Zeit- und Kostenaufwand zwingend notwendig. Da nur durch eine Zusammenfassung des Wissens der unterschiedlichen beteiligten Projektpartner über den auftretenden Verschleiß, die Konstruktion und die Produktion eine Erfolgsaussicht für dieses Forschungsvorhaben besteht, kann kein EU-Programm gefunden werden, das diese Zusammenfüh-

rung der verschiedenen Fähigkeiten in dieser Breite ermöglicht. Ferner würde ein multinationales Konsortium nicht zustande kommen, da die Projektbeteiligten sowohl im Flurförderzeugsektor als auch im Räder-Rollen-Sektor die EU-weite Führung haben.

8. Kostenplan

Das Konsortium ist sich sicher mit den geplanten Ergebnissen rasch zur Verwertung und damit Marktreife neuer Räder/Rollen zu gelangen. Aufgrund der Marktdurchdringung der Projektpartner ist eine breite Anwendung dieser spezifischen, logistischen Basiselemente von Flurförderzeugen sicher gestellt. Somit kann in Folge in der Produktion der allgemeinen Industrie aufgrund verbesserter Standzeiten die Life-Cycle-Kosten der Flurförderzeuge reduziert werden.

Die zur Abarbeitung des Forschungsvorhabens notwendigen Arbeitspakete und Meilensteine können im Detail der Kapazitäts- und Zeitplanung (s. Anlage) entnommen werden. Alle finanziellen Angaben erfolgen in Tausend Euro (T€) und beziehen sich auf die gesamte Laufzeit des Projektvorhabens. Unter Sachkosten fallen unter anderem Reisekosten (bei allen Partnern) und Rechnerkosten, Prüfstandsumbauten und Verwaltungspauschalen (bei den Hochschulen).

Finanzplan InnoRad

Projektpartner	Kostenart				
	Personalkosten über Projektlaufzeit [T€]			Sachkosten [T€]	Gesamtkosten pro Partner [T€]
	Anzahl Stellen	Personalkosten [T€/Stelle*a]	ges. Personalkosten [T€]		
Linde AG	1,4	125,0	437,50	30	467,50
Jungheinrich AG	1,0	115,0	287,50	30	317,50
Räder-Vogel GmbH	1,0	75,0	187,50	25	212,50
Wicke GmbH	1,0	75,0	187,50	25	212,50
Bayer AG	1,0	120,0	300,00	30	330,00
Opel AG	1,0	120,0	300,00	0	300,00
Institut für Fördertechnik und Logistik (IFT)	1,4	58,0	203,00	150	353,00
Professur für Maschinenelemente & techn. Logistik (MTL)	1,2	58,0	174,00	30	204,00
Summe pro Kostenart [T€]			2077	320	2397

Projektlaufzeit in Jahren	2,5
---------------------------	-----

Gesamtförderquote in %	50
------------------------	----

Anteil Institute (%)	23,2%
Summe Institut (100%) in T€	557
Summe Unternehmen (100%) in T€	1840

max. Fördersumme T€	1198,5
verbleibende max. Fördersumme für Unternehmen in T€	641,5
Unternehmens-förderquote in %	34,9

9. Anlagen

Termin- und Kapazitätsplan (Zeitplanung Arbeitspakete_051111_V16.xls)

Unternehmensprofil (Innorad_Unternehmensprofile.zip)

Tabelle zu Umsatzzahlen (Weltmarkt)

Firmendarstellungen