

# Stand der Technik zu Beginn des Projekts InnoRad

## *Einführung*

Im Projekt InnoRad sollen Schwerlastträger- und Rollen mit Laufbelägen aus Polyurethan-Elastomeren optimiert werden. Schwerpunktmäßig werden Laufbeläge aus Vulkollan betrachtet, da es sich dabei um den momentan leistungsfähigsten Werkstoff handelt und entsprechende Räder und Rollen den Stand der Technik darstellen.

Um erkennen zu können, in welchen Bereichen aufgrund des offensichtlich vorhandenen Optimierungspotentials oder nicht vorhandenen Wissens erfolgversprechend angesetzt werden kann, ist es wichtig sich zunächst einen Überblick über den Stand von Forschung und Technik zu verschaffen. Das vorliegende Dokument stellt den Stand der Technik und den Stand der Forschung zusammenfassend dar.

Das Ziel des Projektes ist die Entwicklung verbesserter Berechnungsmethoden auf Basis von Simulationsmodellen. Die Modelle sollen zusätzlich zu entstehenden Spannungen im Rad auch das dynamische Werkstoffverhalten des Werkstoffes Vulkollan nachbilden können. Insbesondere die Wärmeentwicklung innerhalb des Belages aufgrund des Walkens bzw. Abwälzens ist von großer Bedeutung.

Zur Erstellung der benötigten Modelle sind Werkstoffkennwerte und empirisch ermittelte Versuchswerte notwendig. Es soll versucht werden abzuschätzen, inwieweit Kennwerte bzw. Wissen vorhanden sind und für welche Bereiche Forschungsbedarf besteht.

## **Prinzipaufbau eines Schwerlastrades:**

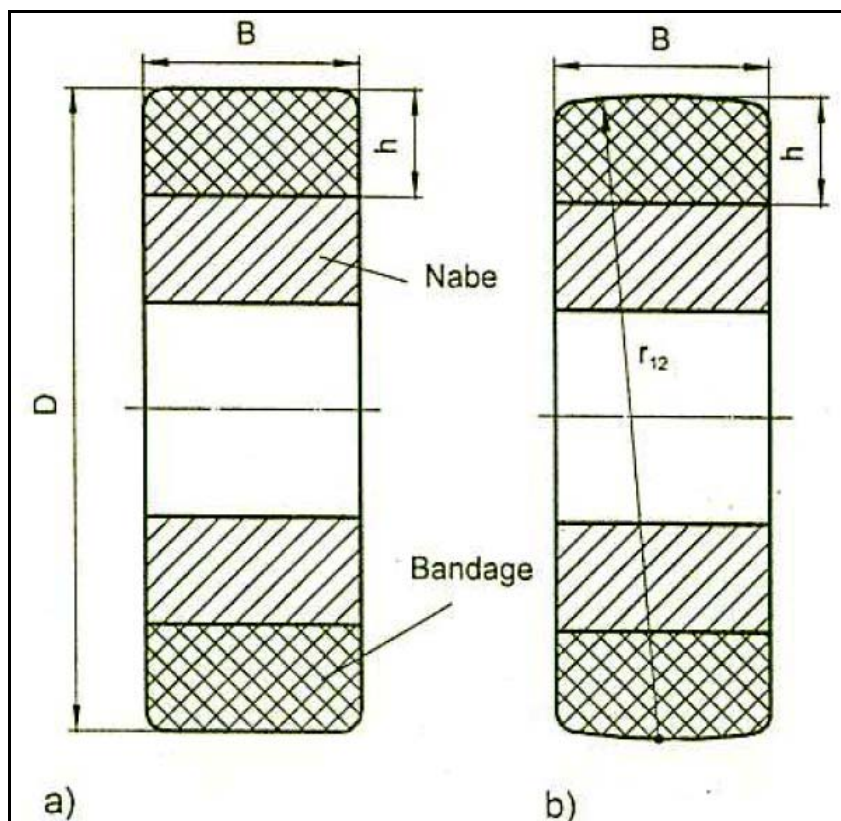


Abb. 1 - Aufbau eines Schwerlastrades

Wie aus Abb. 1 ersichtlich, bestehen Schwerlasträder grundsätzlich aus einer Metallfelge und der Bandage. Die notwendige feste Verbindung zwischen Bandage und Felge wird durch Verwendung eines Bindemittels („Spezialkleber“) ermöglicht.

Die Bindemittelschicht kann daher als Bestandteil des Rades angesehen werden.

**Zur übersichtlichen Darstellung ist folgende Unterteilung sinnvoll:**

- Bandage
- Bindemittel
- Felge
- Mechanik

In den Kategorien Bandage, Bindemittel und Felge soll jeweils dargestellt werden, inwieweit Wissen und Kennwerte bezüglich der verwendeten Werkstoffe und deren Verhalten (statisch, dynamisch, thermisch, ...) vorhanden sind. Gegebenenfalls werden diesbezüglich Forschungsprojekte erwähnt. Abschließend soll zumindest eine grobe Beurteilung des Optimierungspotentials bzw. des Forschungsbedarfs möglich sein.

Die Kategorie Mechanik umfasst einen Abriss über den Stand der Technik bezüglich des Gesamtsystems Rad/Rolle und den Stand der Forschung in diesem Bereich.

Für das Projekt InnoRad ist dieser Bereich aus jetziger Sicht der Interessanteste. Auch hier soll eine Abschätzung des Optimierungspotentials und des Forschungsbedarfs versucht werden.

### ***Bandage***

Als Bandagenwerkstoff werden, je nach Einsatzzweck, unterschiedliche Polyurethan-Elastomere eingesetzt, wobei Vulkollan (Bayer AG) den momentan leistungsfähigsten Werkstoff darstellt.

Vulkollan ist schon seit vielen Jahren in verschiedenen Industriebereichen im Einsatz, es kann daher davon ausgegangen werden, dass aufgrund jahrelanger Erfahrung die Produktion des Werkstoffs mit gleich bleibender hoher Qualität kein Problem darstellt. Umfangreiches Erfahrungswissen sowie detaillierte Werkstoffkennwerte sind vorhanden.

Das Werkstoffverhalten von Vulkollan ist zwar über weite Bereiche bekannt, für die innerhalb des Projektes InnoRad geplante Modellbildung ist aber die Ermittlung weiterer Kennwerte erforderlich. Hierbei werden rein werkstofftechnische Versuche sowie Prüfstandsversuche mit fertigen Rädern notwendig sein.

Die noch durchzuführenden werkstofftechnischen Versuche werden voraussichtlich mit überschaubarem Aufwand machbar sein. Sollte es der Bayer AG gelingen, einen noch besseren Werkstoff herzustellen, so werden aller Voraussicht nach auch hier Versuche in überschaubarer Anzahl ausreichen, um die geänderten Materialwerte zu ermitteln.

## **Zusammenfassung Bandage**

Eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Bauteils Bandage ist grundsätzlich durch Optimierung des verwendeten Werkstoffs und durch Optimierung der Bandagegeometrie machbar. Innerhalb des Forschungskonsortiums kann nur der Vulkollan-Hersteller Bayer an der Optimierung des Werkstoffes selbst arbeiten, die Arbeiten hierzu haben schon begonnen.

Die Optimierung der Bandagegeometrie ist nur durch den Einsatz aufwändiger Simulationsmodelle in Verbindung mit verifizierenden Versuchen möglich. Zur Entwicklung der benötigten Simulationsmodelle müssen umfangreiche Messwerte ermittelt werden.

Da bisher erfolgte Forschungsprojekte nur vergleichsweise einfache Modelle für die auftretenden Verformungen hervorbrachten und die Materialeigenschaften von Vulkollan in diesem Zusammenhang noch nie nachgebildet wurden, besteht hier ein großes Forschungspotential hinsichtlich des Werkstoffverhaltens und der Optimierung der Bandagenkontur.

## **Vorhandene Literatur zum Thema Bandagenwerkstoff/Vulkollan:**

<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Autor</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>1</b>	Vulkollan - Technische Information	Bayer Material Science	Beschreibung von Herstellverfahren und technischen Eigenschaften von Vulkollan
<b>2</b>	Rollen unter Schwerlast	Künne, Mehlan, Langenohl  Uni-Dortmund	Untersuchung über das Verschleißverhalten von Vulkollanrädern  (Verschiedene Feststoffe und Flüssigkeiten als Reibpartner)

Über die genannten Dokumente hinaus gibt es eine ganze Reihe Untersuchungen zum Verhalten von Polyurethan-Elastomeren und zum Verhalten von Rädern aus Polyurethan-Elastomeren.

Im Hinblick auf das geplante Vorhaben sind allerdings kaum verwertbare Informationen enthalten.

## ***Bindemittel***

Es ist keine Literatur bekannt, welche sich mit diesem Thema beschäftigt, konkrete Forschungsvorhaben sind ebenfalls nicht bekannt.

Es wurde innerhalb des Projektes InnoRad offensichtlich, dass in der Räderproduktion bezüglich des Bindemittels nahezu ausschließlich nach dem „Trial-And-Error“-Prinzip vorgegangen wird. Systematische Ermittlung von Zusammenhängen/Kennwerten/... ist im Zusammenhang mit den verwendeten Bindemitteln noch nicht betrieben worden.

Es ist offensichtlich, dass hier Handlungsbedarf besteht und möglicherweise großes Verbesserungspotential vorhanden ist.

## *Felge*

Die verwendeten Felgen bzw. Radkörper bestehen in der Regel aus Guss (Späroguss, Grauguss,...), Stahl oder Alu. Die Werkstoffe werden ausschließlich im elastischen Bereich belastet. Das Werkstoffverhalten ist hinreichend bekannt.

Hinsichtlich der „mechanischen Tragfähigkeit“ der Räder werden Felgen aller Voraussicht nach auf absehbare Zeit kein Problem darstellen.

Aufgrund präsender thermischer Probleme mit Schwerlastträgern/-rollen liegt der Wunsch einer möglichst guten Wärmeabfuhr durch die Felge nahe. In diesem Bereich gibt es mit Sicherheit noch Optimierungspotential. Das Thema „Wärmeabfuhr“ ist allerdings weit gefächert und betrifft auch aktuelle Staplerkonstruktionen als Ganzes, da hier thermische Probleme durch zunehmende Kapselung der Räder konstruktionsbedingt verstärkt wurden.

Wie groß der Einfluss der Wärmeabfuhr durch die Felge auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems Rad/Rolle ist, kann im Moment nicht fundiert beantwortet werden.

Im Rahmen des Projektes InnoRad macht es daher Sinn, zunächst das System Rad/Rolle im Hinblick auf ein besseres Verständnis der physikalischen Zusammenhänge zu untersuchen. Der Einfluss der Felge oder aber der Staplerkonstruktion auf die thermische Leistungsfähigkeit des Rades/der Rolle kann dann viel besser beurteilt werden.

Literatur oder Forschungsvorhaben in diesem Bereich sind nicht bekannt.

## *Mechanik*

Im Bereich der Kunststoffräder und -Rollen gibt es vergleichsweise wenig explizites und empirisches Wissen, da auf diesem Gebiet bisher nur wenig geforscht wurde.

Für das Projekt InnoRad interessante Untersuchungen fanden an der TU-Berlin und an der Uni-Dortmund statt.

Hier wurden Untersuchungen im Bereich der Mechanik zwischen Stahlrolle und Stahloberfläche (Schienenfahrzeuge...) und auch einige Untersuchungen zum Thema Kunststoffräder durchgeführt.

### **Bisherige Untersuchungen gingen auf folgende Problemgebiete ein:**

- Tragfähigkeit von Kunststoffträgern
- Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der Eigenerwärmung
- Grundlegende Tragfähigkeitsberechnung von Kunststoffträgern
- Messungen und Berechnungen auftretender Kräfte und Momente
- Rollreibung von Kunststoffträgern
- Verschleiß von Kunststoffträgern

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen bezüglich der genannten Problemgebiete handelt es sich nahezu durchgehend um die ersten grundsätzlichen Untersuchungen, in keinem Bereich ist tiefes wissenschaftliches Know-How vorhanden.

**vorhandene Arbeiten:**

Nr.	Titel und Autor	Beschreibung/Relevanz/Kommentar
1	<p>„Modellierung des reibungsbehafteten Rollkontaktes elasto-plastischer metallischer Festkörper“</p> <p><i>Dissertation Thomas Rauscher</i></p>	<p>Theoretische Arbeit mit mathematischen Modellen als Ergebnis, kaum übertragbar da metallische Festkörper betrachtet.</p> <p>Keine empirischen Untersuchungen bekannt, welche Bewertung erzeugter Modelle erlauben würden.</p> <p><i>Keine unmittelbare Relevanz für InnoRad!</i></p>
2	<p>„Verschleißuntersuchungen an Schwerlastrollen“</p> <p><i>Fachgebiet Maschinenelemente Uni-Dortmund</i></p>	<p>Empirische Untersuchungen über Verschleiß/Schäden infolge Kontakt mit unterschiedlichen Feststoffen (Abrasion) und Flüssigkeiten bei unterschiedlichen Bandagenhärten.</p> <p><i>Interessant für Praxis, nicht relevant für InnoRad</i></p>
3	<p>„Berechnung und beanspruchungsgerechter Einsatz von Kunststoffrädern“</p> <p><i>Liu, Severin, TU-Berlin</i></p>	<p>Arbeit über die beanspruchungsgerechte Konstruktion und Auslegung eines Kunststoffrad/Schiene-Systems.</p> <p>Der Artikel enthält einige interessante Forschungsergebnisse.</p> <p><i>Auftretende Kräfte/Momente interessant für IFT</i></p> <p><i>Formeln eher wenig interessant für MTL</i></p>
4	<p>„Die Besonderheiten von Rädern aus Polymerwerkstoffen“</p> <p><i>Severin, TU-Berlin</i></p>	<p>Abhandlung über Aufbau und grundsätzliche Eigenschaften von Kunststoffrädern mit Polymerbandagen.</p> <p><i>Auftretende Kräfte/Momente interessant für IFT</i></p> <p><i>Formeln eher wenig interessant für MTL</i></p>
5	<p>„Zur Kraftübertragung zwischen Kunststoffrad und Stahllaufbahn“</p> <p><i>Severin, TU-Berlin</i></p>	<p>Grundsätzliche Abhandlung zu den Grundlagen der Kraftübertragung zwischen Kunststoffrad und Stahllaufbahn.</p> <p><i>Eher nicht relevant für InnoRad</i></p>
6	<p>„Rollreibung zylindrischer Kunststofflaufräder“</p> <p><i>Severin, TU-Berlin</i></p>	<p>Theoretische und experimentelle Untersuchung der Rollreibung von Kunststoffrädern.</p> <p><i>Für das Verständnis der physikalischen Vorgänge sehr interessant, für InnoRad aber nur bedingt interessant.</i></p>
7	<p>„Wälzreibung zylindrischer Kunststofflaufräder“</p> <p><i>Severin, TU-Berlin</i></p>	<p>Fortsetzung der Arbeit in Punkt 6. Relevanz ähnlich.</p>
8	<p>„Tragfähigkeit von Kunststoffrädern unter Berücksichtigung der Eigenerwärmung“</p> <p><i>Severin, TU-Berlin</i></p>	<p>Eine erste Abhandlung über die entstehende Erwärmung von Kunststoffrädern durch Walkarbeit.</p> <p><i>Für Projekt InnoRad kaum relevant, da genau in diesem Bereich viel breiter und von Grund auf geforscht werden soll</i></p>

Für das Projekt InnoRad nutzbar sind nach dem aktuellen Wissensstand Daten über auftretende mechanische Kräfte und Momente, welche die Prüfstandsauslegung erleichtern und Denkanstöße geben.

Aus Sicht des IFT können die bisherigen Forschungsergebnisse kaum bei der Entwicklung des geplanten Materialmodells durch das MTL von Nutzen sein, da das geplante Modell eine Neuentwicklung ist und nicht auf vorhandenen (vergleichsweise einfachen) Modellen aufbaut.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass zurzeit relativ viel Erfahrungswissen in aktuellen Rädermodellen steckt und nur in geringem Umfang durch Forschungsprojekte erworbenes Wissen. Das momentan genutzte „wissenschaftlich erworbene“ Wissen betrifft vor Allem die Dicke und Form der Bandage, welche im Gegensatz zu früher insgesamt dünner und nicht mehr in durchgehend konstanter Dicke ausgeführt wird. Die Reduzierung der Bandagendicke hat eine Verringerung der Walkarbeit zur Folge, was das Problem der Eigenerwärmung entschärft. Zum Rand des Rades hin wird die Bandage dicker ausgeführt (bei konstantem Außendurchmesser), um eine Spannungsüberhöhung in der Bindemittelschicht zu vermeiden.

### ***Fazit***

Da die Leistungsfähigkeit moderner Flurförderzeuge wesentlich von der Leistungsfähigkeit der verwendeten Räder und Rollen abhängt und teilweise gerade deswegen beschränkt wird, ist es dringend notwendig sich diesem Problem verstärkt wissenschaftlich zu widmen.

Das Ziel sollte umfangreiches Wissen sein, welches eine möglichst weitgehende Optimierung des Systems Rad/Rolle erlaubt.

Weiterführende Aktivitäten im Bereich der Entwicklung neuer Berechnungsmodelle sowie die Erzeugung von Messwerten durch Prüfstandsfahrten sind dringend notwendig.