

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/263009953>

Gestaltung von lastoptimierten Ersatzteilen am Beispiel eines Eisenbahnwaggon-Fahrgestells

Article in *Konstruktion* · April 2010

CITATIONS

2

READS

100

5 authors, including:



R.M. Martinod

Universidad EAFIT

31 PUBLICATIONS 190 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



L.F. Castañeda

Universidad EAFIT

57 PUBLICATIONS 247 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jens Jensen

Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC), PIEDECUESTA/ Colombia; Ju...

5 PUBLICATIONS 7 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Arnold Martinez

Universidad de Córdoba (Colombia)

11 PUBLICATIONS 165 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Pilot-scale development of a nanofiber-based filtration membrane for the management of patients with acute respiratory infections - COVID 19 [View project](#)



Development of a SISTRAM II team (secure identification team on track T3 of the Miraflores del Tránvia workshop) to carry out maintenance activities on the Medellín Metro Tram [View project](#)

Konstruktion

Zeitschrift für Produktentwicklung und Ingenieur-Werkstoffe

Organzeitschrift der VDI-Gesellschaften Produkt- und Prozessgestaltung (VDI-GPP) und Materials Engineering (VDI-GME)



Sonderteil Digital Factory

Titelthema: Factory Automation



Funklösungen in der Industrie

Rundtaktmaschine:

Der Kunde bestimmt den Takt

FEM-Simulationen bei Verbindungselementen

FACHTEIL

Ingenieur
Werkstoffe

Kooperativ in
die neue Zukunft

Spezialstahl im
Extremeinsatz

Ingenieurkeramik



Zum Titelthema:
Unter dem Namen „Rittal – Das System“ bietet der Gehäuse- und Schaltschrankspezialist aus Herborn einen Baukasten, mit dem sich vielfältige Lösungen für Applikationen der Energieverteilung, industriellen Automatisierung, Netzwerktechnik bis hin zum kompletten Data-center erstellen lassen. Basis der Systemarchitektur ist die bereits millionenfach verkaufte Schaltschrank- und IT-Rack-systemplattform TS 8.
Seite 12. Bild: Rittal



Seitdem die parametrische Modellierung als Alternative zu den traditionellen Booleschen Operationen vorgestellt wurde, führen die Verfechter der parametrischen und der direkten Modellierungstechnik hitzige Debatten. Doch nun bewegt sich die CAD-Technologie auf eine Synthese beider Verfahren zu. Seite 36.

Rubriken

- 3 Editorial: Virtual Engineering – Alltag oder Vision?
- 6 Branchen-News
- 8 Veranstaltungen
- 8 Impressum

9 VDI-GPP-Nachrichten

10 Branche

- 10 Hannover Messe 2010: „Effizienter – Innovativer – Nachhaltiger“

12 Titelthema

Hannover Messe: Factory Automation

- 12 Systemplattform für Industrie und IT
- 16 Alles im Griff: Sicherheitsschalter, Riegel und Türschließmechanismus
- 18 Stark im Einsatz: Kabelkonfektion und Kunststofftechnik in Kombination
- 20 Funklösungen in der Industrie
- 22 Verpackungsmaschine online
- 25 Crash-Test für den Schutzzaun
- 26 Der Kunde bestimmt den Takt
- 30 Der „Nadelbestücker“
- 24, 29 Produkte

Dieser Ausgabe liegt folgende Teilbeilage bei:
– VDI Wissensforum GmbH, Düsseldorf
Wir bitten unsere Leser um Beachtung.

32 Sonderteil Digital Factory

- 32 Produktentwicklung mit (FE-) Methode: Teil FEM-Simulationen bei Verbindungselementen
- 35 Wo simuliert wird, fallen Späne
- 36 Mehr als ein Trend: Parametrik und direkte Modellierung vereint
- 40 Gute Planung bringt Qualitätsgewinn im Schaltschrankbau
- 44 Produkte

43 Produktentwicklung

- 43 Gutes Design lohnt sich

57 Praxis Forschung Wissenschaft

- 57 Best Practice: Konstruktionsmethodische und experimentelle Lösungsansätze zur Entwicklung eines Zerstäubers
Schwingungstechnik
C. Landschützer
- 59 Schwingungssimulation von Rundstahl-Elektrokettenzügen *
Produktentwicklung
J. Jensen, A. Martinez, R. Martinod, L. Castañeda, M. Palacio
- 67 Gestaltung von lastoptimierten Ersatzteilen
Beispiel eines Eisenbahnwaggon-Fahrgestells
Knowledge-based-Engineering
M. Werner, H. Stein
- 71 Wenn die Geometrie entscheidet
Mikrosysteme
T. Vietor, H.-J. Franke, J. Ziebart, S. Büttgenbach, C. Boese
- 73 IDeFiX – Interaktives Werkzeug zur Definition mehrdimensionaler Funktionsstrukturen

Die mit * gekennzeichneten Beiträge sind von den Herausgebern (s. Impressum) begutachtete („peer reviewed“) Fachaufsätze von Auto-Industrie und Wissenschaft.

Gestaltung von lastoptimierten Ersatzteilen am Beispiel eines Eisenbahnwaggon-Fahrgestells

Am Beispiel der Gestaltung eines (Kunststoff-) Teils des Fahrgestells eines Eisenbahnwaggons wird dargestellt, wie sich Ersatzteile last- und fertigungsgerecht optimieren lassen. Basierend auf den Ergebnissen von theoretischen und praktischen Untersuchungen zu den mechanischen (Kunststoff-) Materialkennwerten, werden – anhand von numerischen Modellen und praktischen Versuchen – aktuelle Techniken der Produktentwicklung angewandt, die eine Optimierung des Ersatzteils nach unterschiedlichen Gesichtspunkten ermöglicht, im speziellen Fall der Lebensdauer des fertigungsgerecht gestalteten Teils unter Berücksichtigung dynamischer Lasten wie dem Verschleiß zwischen Rad und Schiene und der Fahrsicherheit der Waggons. Es wird die Analyse von verschiedenen Ausführungen des Bauteils dargestellt, unter besonderer Berücksichtigung einer Fertigung mit Hilfe von angepassten Technologien in einem industriellen Schwellenland.

1 Darstellung des technischen Systems

Im Mai 1979 wurde von der Stadt Medellín und dem Bundesland Antioquia/Kolumbien das Nahverkehrsunternehmen „Metro de Medellín“ gegründet, der Fahrbetrieb der S- oder Stadtbahn – kurz „Metro Medellín“ genannt – wurde im November 1995 aufgenommen (Bild 1).

Aufgrund technischer Probleme (den Verschleiß von Rad und Schiene, von Teilen des Fahrgestells und die Sicherheit und Stabilität des Fahrverhaltens betreffend) gründeten Metro de Medellín und die Universidad EAFIT mit Unterstützung von COLCIENCIAS (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación), Bogotá/Kolumbien, eine Arbeitsgruppe zur Untersuchung des Betriebsverhaltens des Zuges.

Ausgehend von einem mit Hilfe der Software „Vampire“ (Fa. Delta Rail/England) numerisch aufbereiteten Starrkörpermodell (Bild 2) kann die Dynamik des realen (und auch eines hypothetischen) Betriebsverhaltens des Zuges [1], unter Berücksichtigung der Norm UIC 518 (Internationaler Eisenbahnverband) simuliert werden.

1.1 Analyse des Fahrgestells der Waggons

Das Fahrgestell der Waggons beinhaltet Torsionsfedern, Blattfedern mit Kunststoffbuchsen und vertikale Dämpfer (Bild 3). Die Bauteile des Fahrgestells weisen einen hohen



Bild 1

Züge der Metro de Medellín, Ansicht eines Bahnhofs

Verschleiß auf, da ihre dynamischen Eigenschaften nicht für die (nachträglich geänderte) Fahrstrecke ausgelegt wurden, insbesondere nicht für die große Anzahl von Kurven: Das starre Fahrgestell ist für die Kurvenstrecke nicht geeignet. Durch entsprechend konstruktiv auszuliegende Bauteile soll einerseits der Verschleiß verringert und die Fahreigenschaften optimiert werden, andererseits sollen aber auch die Teile mit Hilfe von angepassten Technologien in der lokalen Industrie gefertigt werden können.

1.2 Modellierung des Fahrgestells der Waggons

Ausgehend von experimentellen Untersuchungen der Fahrgestellteile wurden verschiedene mechanische Modelle für eine nu-

Autoren

Ing. Arnold R. Martínez G.,
Ing. Ronald M. Martinod R.,
Prof. Dr.-Ing. Leonel F. Castañeda H.,
alle: Universidad EAFIT, Medellín/Kolumbien
E-Mail: lcasta@eafit.edu.co

Ing. Mauricio E. Palacio L., Metro de Medellín Ltda.,
Medellín
E-Mail: mpalacio@metrodemedellin.gov.co

Prof. Dr.-Ing. Jens Jensen
Hochschule Bremen
Julius Robert Mayer Institut für Energietechnik
(JRMi)
E-Mail: jens.jensen@hs-bremen.de
www.hs-bremen.de



Bild 2



Metro Medellin – Original (links), numerisches Modell (rechts)

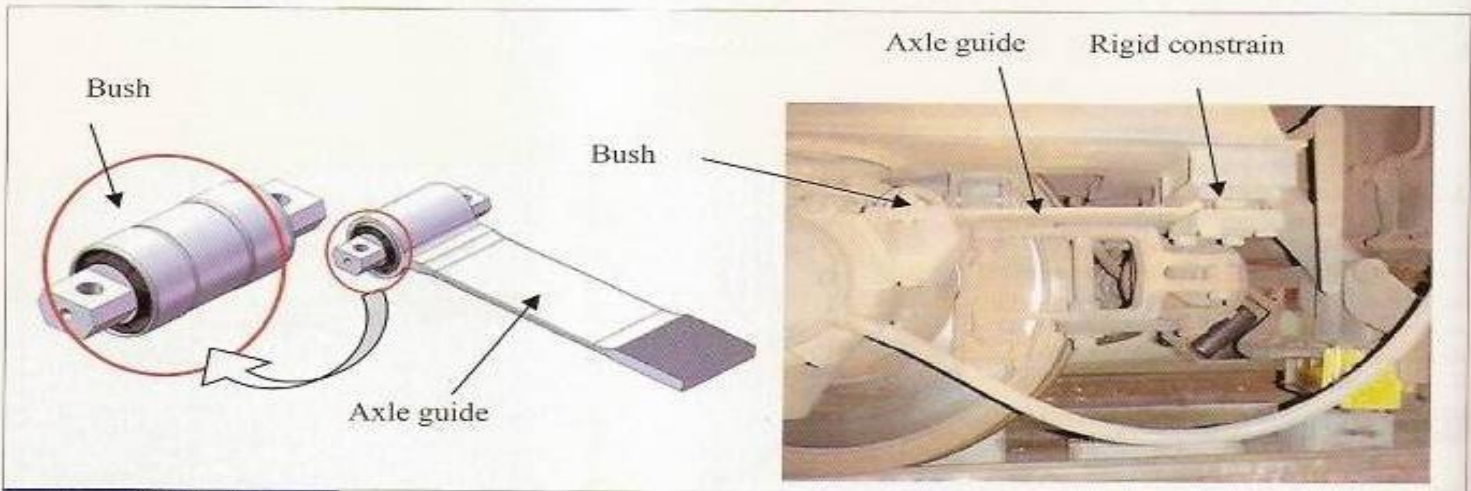


Bild 3

Fahrgestell der Waggon; gekennzeichnet ist die neu auszulegende Kunststoff-Lagerbuchse

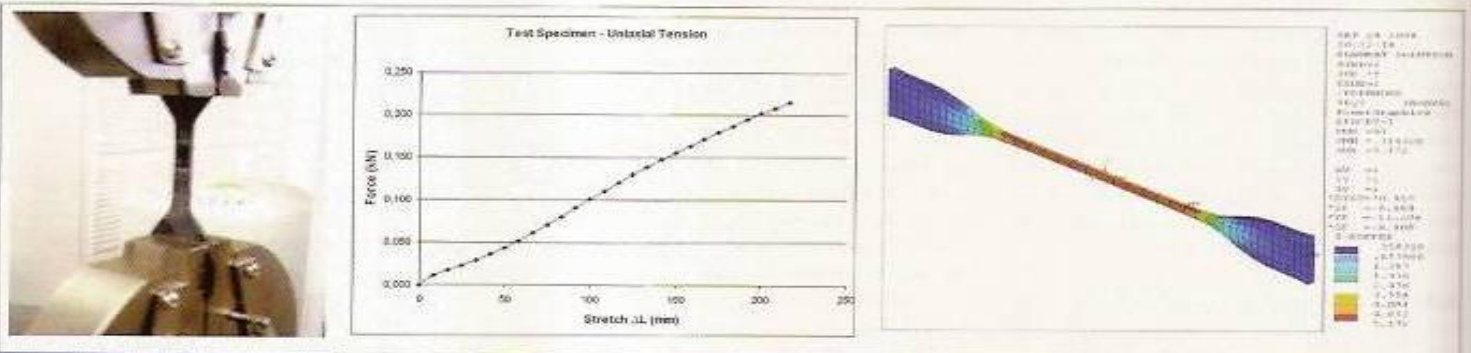


Bild 4 a

Praktische Versuche an Bauteilen des Fahrgestells (links und Mitte) und ihre numerische Simulation (rechts)

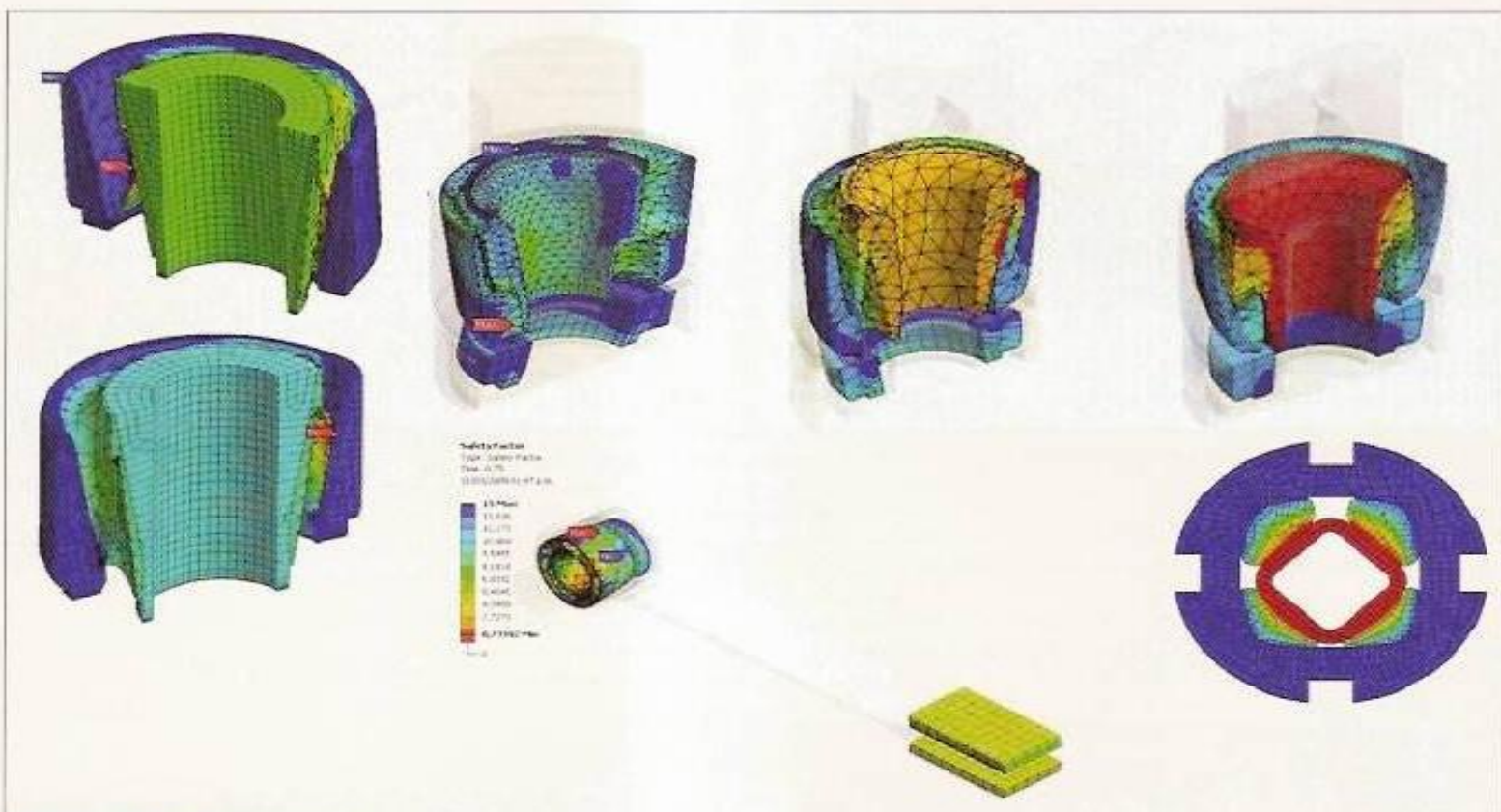


Bild 7

Variationen der numerisch untersuchten Kunststoffbuchse im Unterbau des Waggons

Speziell für Kunststoffe setzen Mooney-Rivlin [3], den Ansatz

$$W = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (3)$$

für den Zusammenhang zwischen Spannung und Deformation für verschiedene Lasten an – die beiden Parameter C_{10} , C_{01} ermöglichen eine gute Anpassung an die realen Lastfunktionen.

2.1 Modellrechnungen zur Optimierung der Kunststoffbuchse

Ausgehend von der vorhandenen Geometrie und des Materials der Buchse wird für ihre Steifigkeit mit Hilfe des Ansatzes (3) ein mathematisches Modell erstellt, das den (realen) Lasten unterworfen wird, die während der Fahrversuche gemessen wurden.

Nach der gleichen Methode wurden weitere Formen der Kunststoffbuchse untersucht, Bild 7.

2.2 Ergebnisse

Die Optimierung ergab eine neue Form der Kunststoffbuchse, mit einer Zunahme der Lebensdauer um 25 % und einer Abnahme der Steifigkeit um 17 %. Das Teil kann in der örtlichen Industrie gefertigt werden.

Es wurde gezeigt, dass sich Bauteile, hier aus dem Fahrgestell von Waggons, einerseits dynamisch optimieren lassen und dabei andererseits auch noch konstruktiv derart fertigungsgerecht gestalten lassen, dass sie in einem industriellen Schwellenland in angepasster Technologie gefertigt werden können.

Durch den Einsatz numerischer Methoden können kostenintensive Versuche vermieden und konstruktive Varianten sehr

rasch erzeugt und sehr präzise analysiert werden.

Literatur

- [1] Klausner, P. E., Introduction to rail vehicle dynamics: Course notes, portions, AEA Technology; 2006
- [2] Castaneda, L. / Zoltowski, B., Diagnostic System for a Metro Train, First International Conference on Maintenance Engineering, ICME 2006, China
- [3] Deossa, N./ Giraldo, D./ Castaneda, L., Evaluación del comportamiento mecánico de dos formulaciones de caucho natural usadas en la suspensión primaria de un tren de pasajeros, Universidad EAFIT, Medellín/ Colombia; 2009
- [4] Hakasson, P., Finite Element Modelling of a Rubber Block exposed to Shock Loading, Master's Dissertation, Lund University, Lund/ Sweden; 2000; ISSN 0281-6679

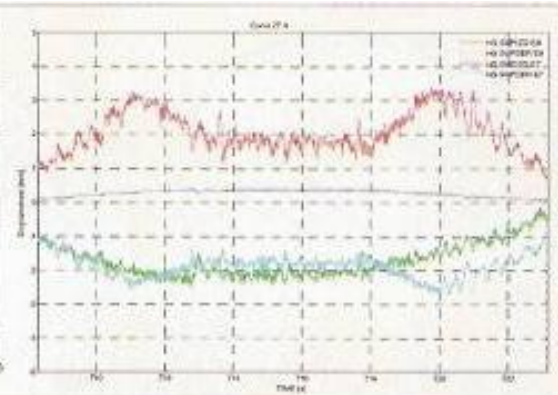
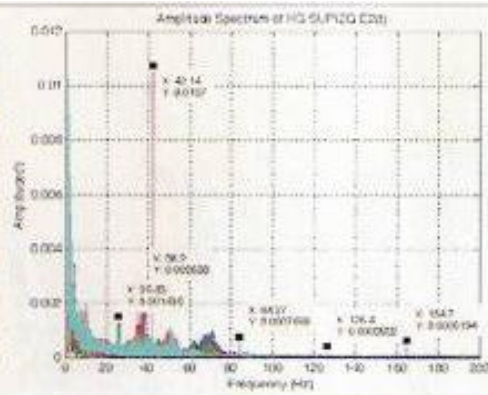


Bild 4 b

Praktische Versuche zum Fahrverhalten des Waggons, Beschleunigungs- und Deformationsmessungen am Fahrgestell

merische Simulation der Dynamik des Fahrgestells erstellt.

1.2.1 Experimentelle Untersuchung der Fahrgestellteile und des Fahrverhaltens

Die experimentellen Untersuchungen an Prüflingen der Fahrgestellteile (Bild 4 a) wurden in den Laboratorien der EAFIT, die Untersuchungen zum Fahrverhalten (Bild 4 b) wurden auf der Fahrstrecke durchgeführt und deren Ergebnisse für die numerischen FEM-Modellrechnungen mit Hilfe der Software „Ansys“, Fa. Ansys Inc./USA, verwendet.

2 Numerische Modellrechnungen

Das erstellte numerische Modell, bestehend aus Massen, Massenträgheitsmomenten, Steifigkeiten und Dämpfungen, ermöglicht die Analyse der Dynamik des Fahrverhaltens der Waggons für Variationen der Fahrstrecke, der Zuladungen und der Kinematik der Waggons nach Optimierung der Kunststoffbuchse (Bild 3).

Es wurde eine Methode zur Optimierung der Steifigkeit der (Kunststoff-) Buchse – als Teil der Gesamtsteifigkeit des Unterbaus –

nach fünf Kriterien entwickelt (Bild 5): die Lebensdauer, der Verschleiß zwischen Rad und Schiene, die Geradföhrung, die Sicherheit und die Stabilität des längs der Trasse bewegten Waggons.

Die Steifigkeit eines Materials lässt sich mit Hilfe der Deformationsarbeit W energetisch beschreiben. Am einfachsten setzt man dazu im Fall eines kompressiblen Materials ein Polynom der Form

$$W = \sum_{i,j,k=0}^{\infty} C_{ijk} (l_1 - 3)^i (l_2 - 3)^j (l_3 - 3)^k \quad (1)$$

an. Im Fall des inkompressiblen Materials gilt das Polynom

$$W = \sum_{i,j=0}^{\infty} C_{ij} (l_1 - 3)^i (l_2 - 3)^j \quad (2)$$

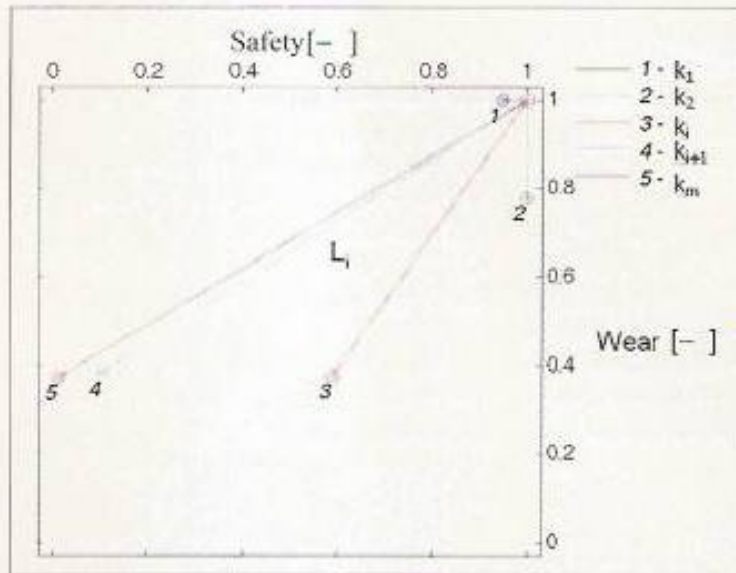


Bild 5

Schematische Darstellung der Optimierung der Steifigkeit der (Kunststoff-) Lagerbuchse nach verschiedenen Kriterien (hier Sicherheit und Verschleiß)

