

Zur Modellierung und Anwendung nichtlinearer Fahrwerkslagerungen

**Beitrag zur Tagung
Simulationstechniken in der Fahrzeugentwicklung,
Haus der Technik, Essen
2. - 3. Mai 1995**

***Wolfgang Hirschberg, Gerhard Rieder
Steyr-Daimler-Puch Fahrzeugtechnik Ges.m.b.H.,
Graz***

Zur Modellierung und Anwendung nichtlinearer Fahrwerkslagerungen

**Beitrag zur Tagung
Simulationstechniken in der Fahrzeugentwicklung,
Haus der Technik, Essen
2. - 3. Mai 1995**

***Wolfgang Hirschberg, Gerhard Rieder
Steyr-Daimler-Puch Fahrzeugtechnik Ges.m.b.H., Graz***

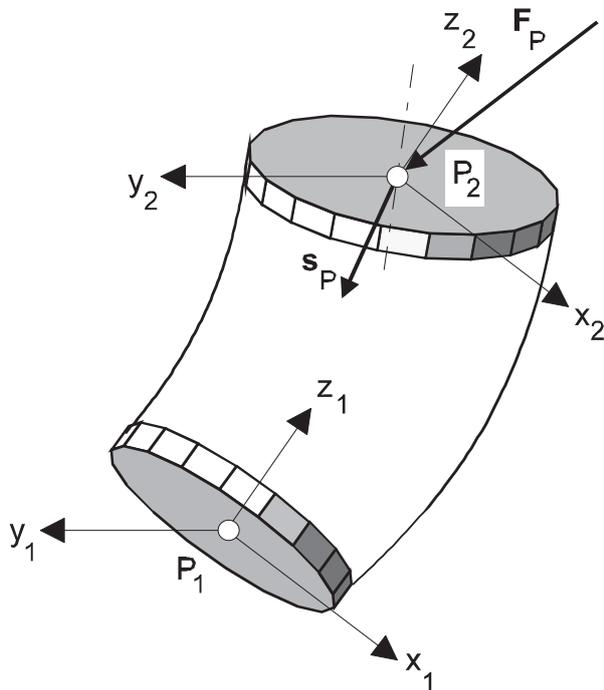
Zusammenfassung

Neben den üblichen Aufgabenstellungen in der Fahrwerk-Elastokinematik, nämlich der Untersuchung elastischer Einflüsse auf das dynamische Fahrverhalten (passiver und aktiver Aspekt), gewinnt die Modellierung elastischer Fahrwerkslagerungen im Zusammenhang mit nachfolgenden Festigkeitsberechnungen stark an Bedeutung.

Der vorliegende Beitrag zielt auf eine einfache und für die ingenieurmäßige Behandlung praktikable Methode zur Berücksichtigung nichtlinearer Lagerungen in Fahrwerken ab. Dabei kann - im Gegensatz zu Aggregatlagerungen - für den niederfrequenten Bereich aufgrund der dominanten Fahrwerksdämpfer auf die Strukturdämpfungen der Lagerungen selbst verzichtet werden. Die Wirksamkeit des Ansatzes wird anhand eines ausgewählten Lagers mit unterschiedlichen Anschlag-Kennlinien durch Vergleich mit Labormessungen gezeigt.

Schließlich erfolgt der Vergleich von ausgewählten, elastokinematischen Simulations-Ergebnissen anhand einer angetriebenen Doppel-Querlenker-Vorderachse mit den auf dem Achsprüfstand gemessenen Resultaten. Dabei ergibt sich zum gegenwärtigen Stand eine nur teilweise gute Übereinstimmung, was auf die Notwendigkeit zur Modellerweiterung durch eine elastische Karosserie anstelle der bisherigen starren Struktur hinweist.

Elastomeres Einzellager mit zwei Anlenkpunkten P_1 , P_2 :



Prüfkraft F_P
 Verschiebung s_P
 Verdrehung: 3 Kardanwinkel

Definitionen:

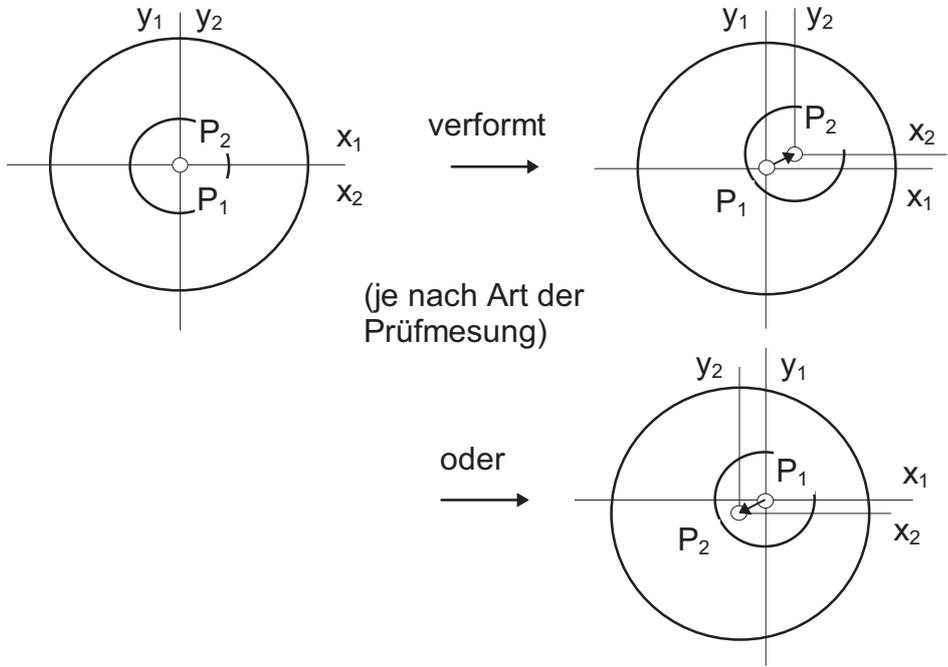
- Bezüglich der Verschiebungen: 3 „Basiskennlinien“ $F_{Pi}(s_{Pi})$ liegen vor Hauptkennlinien: Prüfachsen mit parallelen Kraft- und Verschiebungsrichtungen
- Lager- (=Prüfstands-) Koordinatensystem liegt in P_1
- Prüfkraft wirkt immer auf P_2
- In unverformter Lage sind die Systeme in P_1 und P_2 parallel
- Positive Verschiebung s_{Pi} ist in Richtung von P_1 nach P_2 gerichtet

Einschränkungen:

- Die Basiskennlinien seien aufeinander orthogonal
- Das Einzellager wird rein hyperelastisch behandelt, die Dämpfung vernachlässigt (Begründung: Fahrwerksdämpfung dominiert im niederfrequenten Bereich)

Häufiger Sonderfall für Fahrwerkslager:

P_1 und P_2 fallen in unverformter Lage zusammen, z.B.:



Lager-Orientierungen:

Relative Verdrehungen der Anlenkflächen beschrieben durch 3 Elementardrehungen, Kardanwinkel $\alpha_x, \beta_y, \gamma_z$

Fahrwerkslagerungen: Zwei Fälle liegen vor:

- a) 3 kleine Verdrehungen
- b) 2 kleine und eine große Verdrehung

Definition: Falls eine große Verdrehung vorliegt, erfolgt diese um die z_1 -Achse des Lagers mit dem Drehwinkel γ

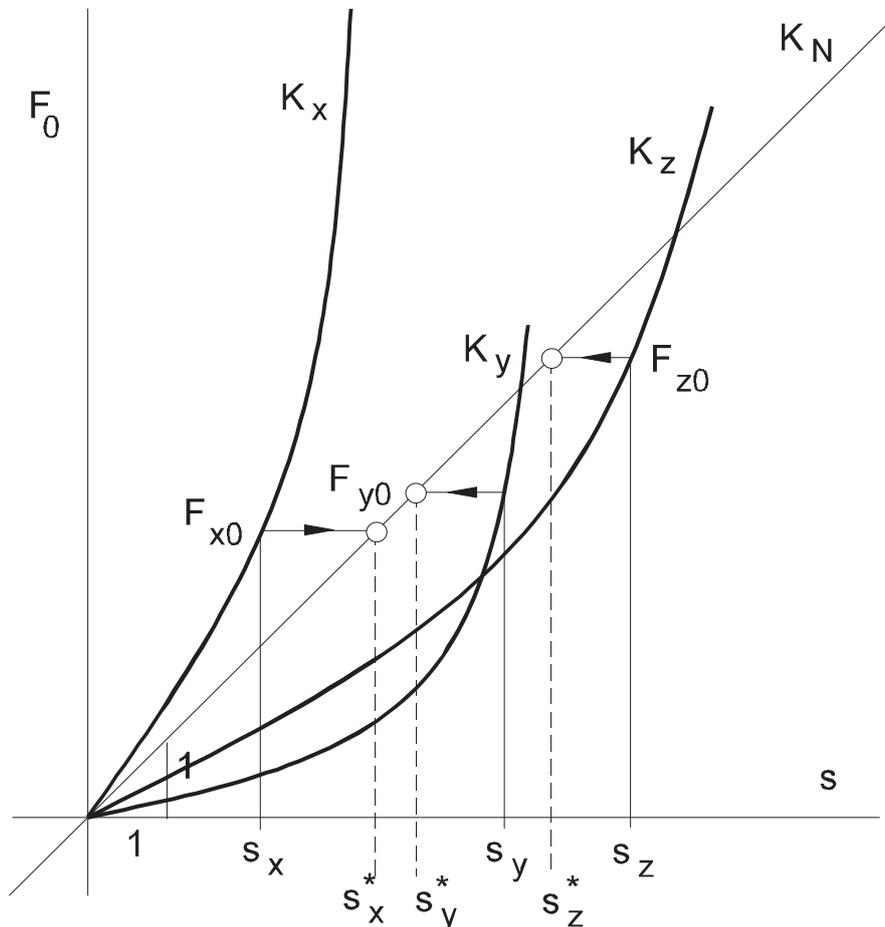
Winkel der Teildrehungen eindeutig vermittelt über $\mathbf{a}_1 = \mathbf{T}_{12} \mathbf{a}_2$, wobei

$$\mathbf{T}_{12} = \begin{bmatrix} C\gamma & -S\gamma & \beta \\ S\gamma & C\gamma & -\alpha \\ -\beta C\gamma + \alpha S\gamma & \beta S\gamma + \alpha C\gamma & 1 \end{bmatrix}$$

Abk.: $C \dots \cos$, $S \dots \sin$

Überlagerungs-Hypothese für die Hyperelastizität

Die Steifigkeit eines Lagers sei durch drei Basiskennlinien K_x , K_y , K_z charakterisiert:



Ansatz für die geschlossene Beschreibung der Steifigkeit:

Sei K_N eine normierte, lineare und räumliche Kennlinie mit Steigung 1.

Die Abbildung der 3 Kraft-Komponenten von \mathbf{F}_0 auf K_N liefert die normierte Verschiebung \mathbf{s}^* :

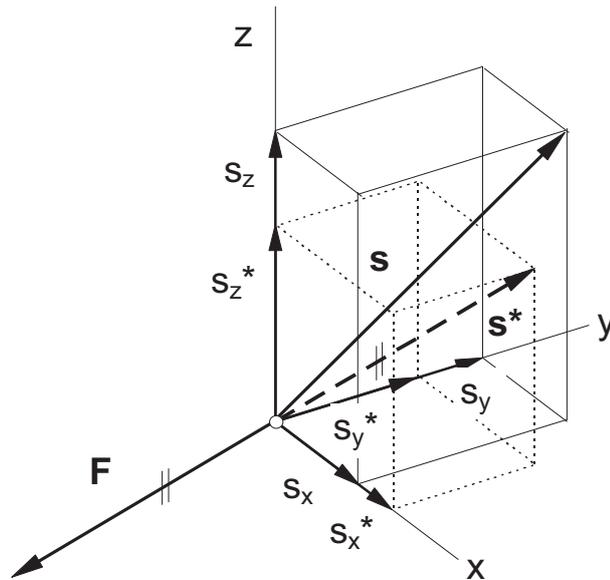
$$\begin{bmatrix} F_{x0}(s_x) \\ F_{y0}(s_y) \\ F_{z0}(s_z) \end{bmatrix} = (1) \begin{bmatrix} s_x^* \\ s_y^* \\ s_z^* \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F}_0 = (1) \mathbf{s}^*$$

Ansatz:

Die resultierende Rückstellkraft \mathbf{F} wirkt in entgegengesetzter Richtung von \mathbf{s}^* , d. h.

$\mathbf{e}_F = -\mathbf{s}^* / |\mathbf{s}^*|$. . . Einheitsvektor in Verschiebungsrichtung.



Damit erhält man den Betrag $F = |\mathbf{F}|$ der resultierenden Rückstellkraft einfach mit

$$F = (1) |\mathbf{s}^*| = (1) (s_x^{*2} + s_y^{*2} + s_z^{*2})^{1/2}.$$

Damit ist der Zusammenhang $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{s})$ geschlossen beschrieben.

Kennlinien-Approximation

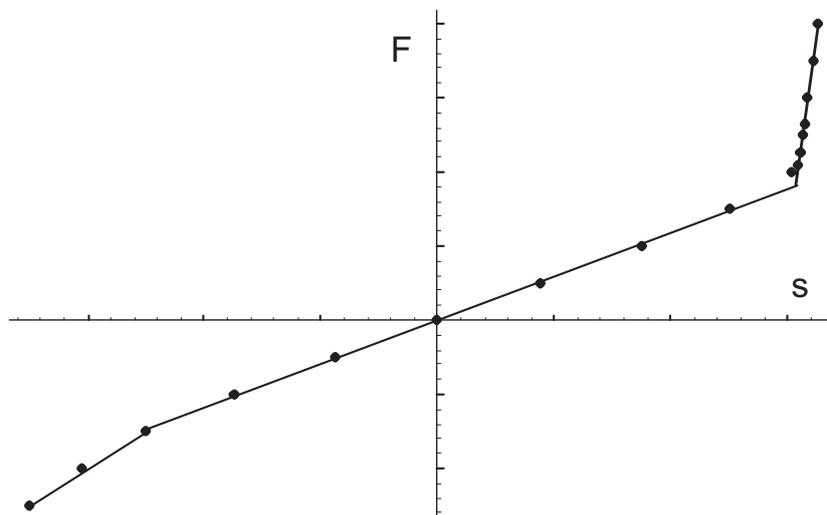
Typisch für elastische Fahrwerkslager:

- Kennlinien mit Anschlag-Charakteristik,
- häufig stark unsymmetrisch

❑ Übliche Polynom-Approximation weniger geeignet:

- Polynom kann Anschlag-Knick nicht gut approximieren, bzw. neigt bei höherer Ordnung zum Schwingen,
- Polynom fällt nach Maximalwert wieder ab (Absicherung!)

❑ Stückweise lineare Approximation



Für technische Näherungen gut geeignet;
jedoch Rechenzeitnachteile bei hochwertigen MSV-Integratoren

❑ Spezielle Ansatzfunktion:

$$F = A s + B \tan(C s - S_h) + S_v$$

- monoton steigend für $-s_m < s < s_m$, $s_m = (\pi/2 + S_h) / C$
- beliebig oft differenzierbar,
- auch für unsymmetrische Anschlagkennlinien gut geeignet

❑ Splines:

- Für besonders „scharfe“ Anschlag-Übergänge
- Ebenfalls Absicherung an den Intervallgrenzen!

* MATHEMATICA 2.2 Program Crv_Fit3

Input data file: nlag_t.dat

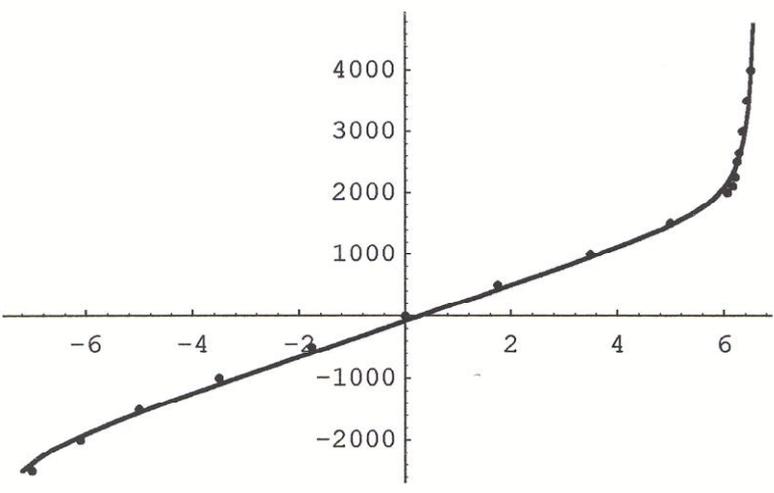
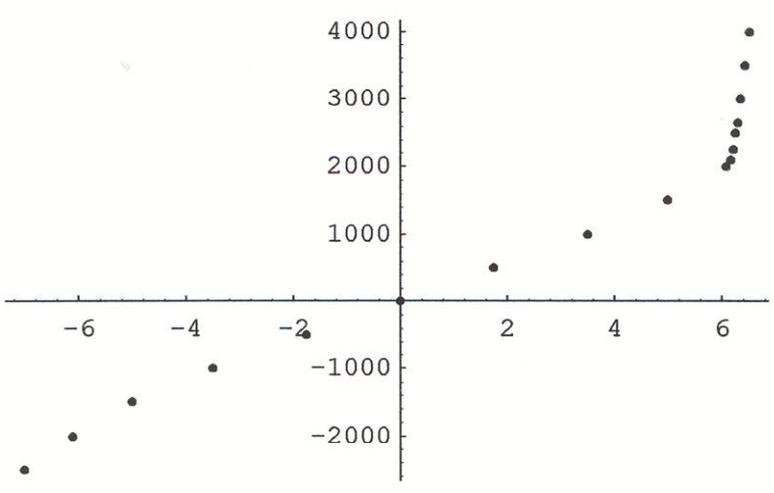
Column numbers for x, y: {3, 1}

Borders for Tan fit function: -8, 6.67

Shift parameter xSh: -0.665

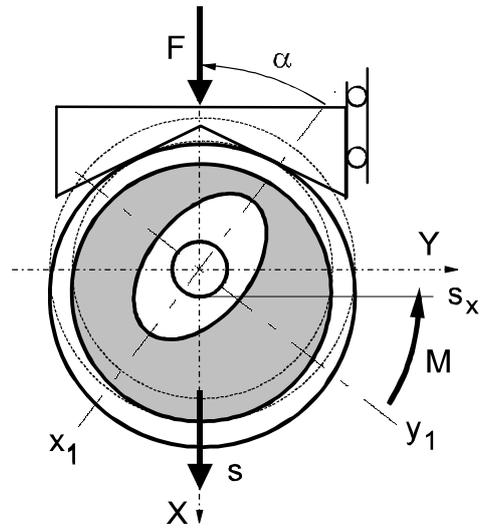
Best Tan fit function:

$$-88.6157 + 270.887 x + 79.0012 \tan[0.214151 (0.665 + x)]$$

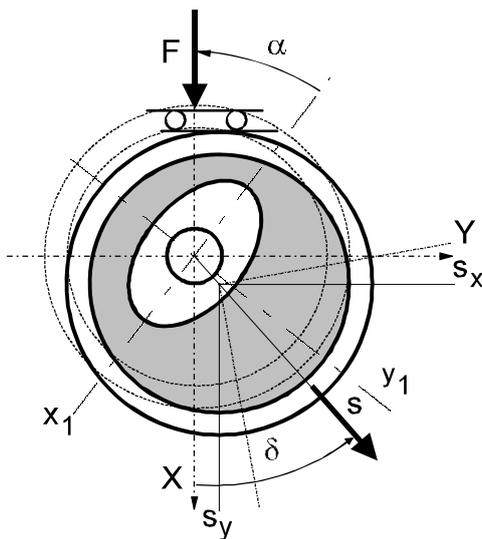


Beispiel: unsymmetrische Anschlag.Kennlinie

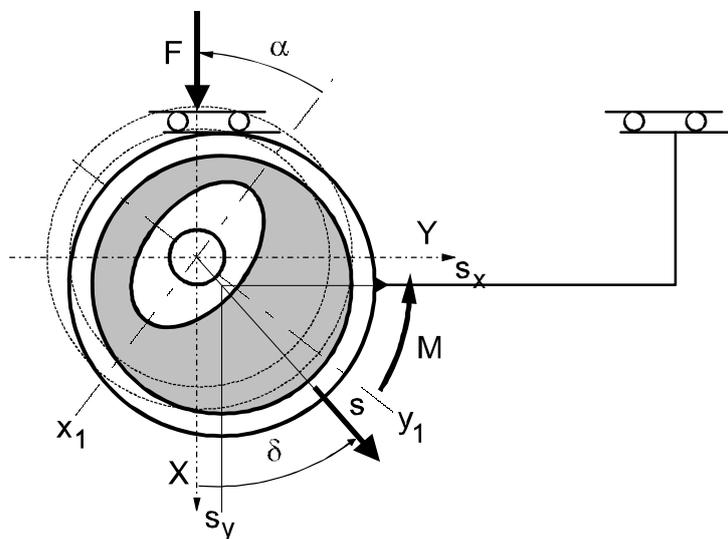
Steifigkeitsmessungen im Prüflabor



Lager nur in Prüfrichtung frei



Lager vollständig frei



Lager translatorisch frei

* MATHEMATICA 2.2 Program Crv_Fit3

Input data file: nlag.dat

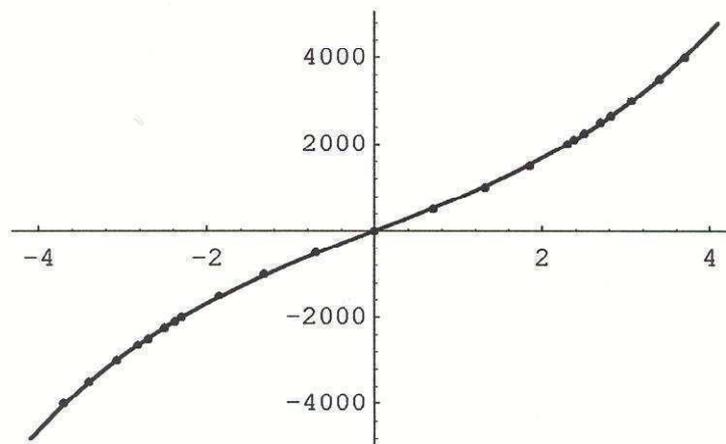
Column numbers for x, y: {2, 1}

Borders for Tan fit function: -14., 14.

Shift parameter xSh: 0.

Best Tan fit function:

$$4.64073 \cdot 10^{-14} - 4856.16 x + 49888.5 \tan[0.1122 (0. + x)]$$



Input data file: nlag.dat

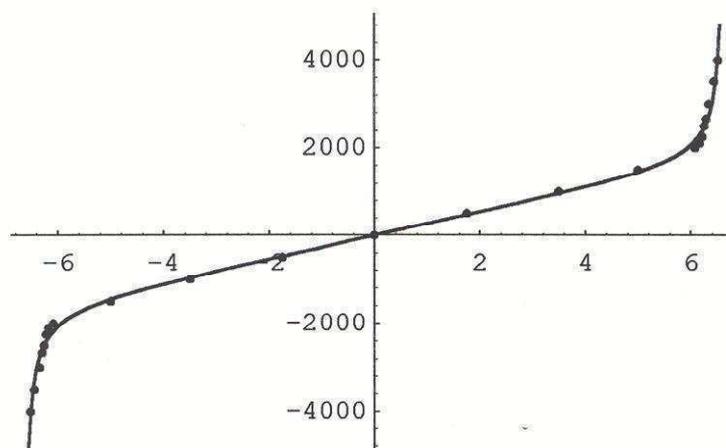
Column numbers for x, y: {3, 1}

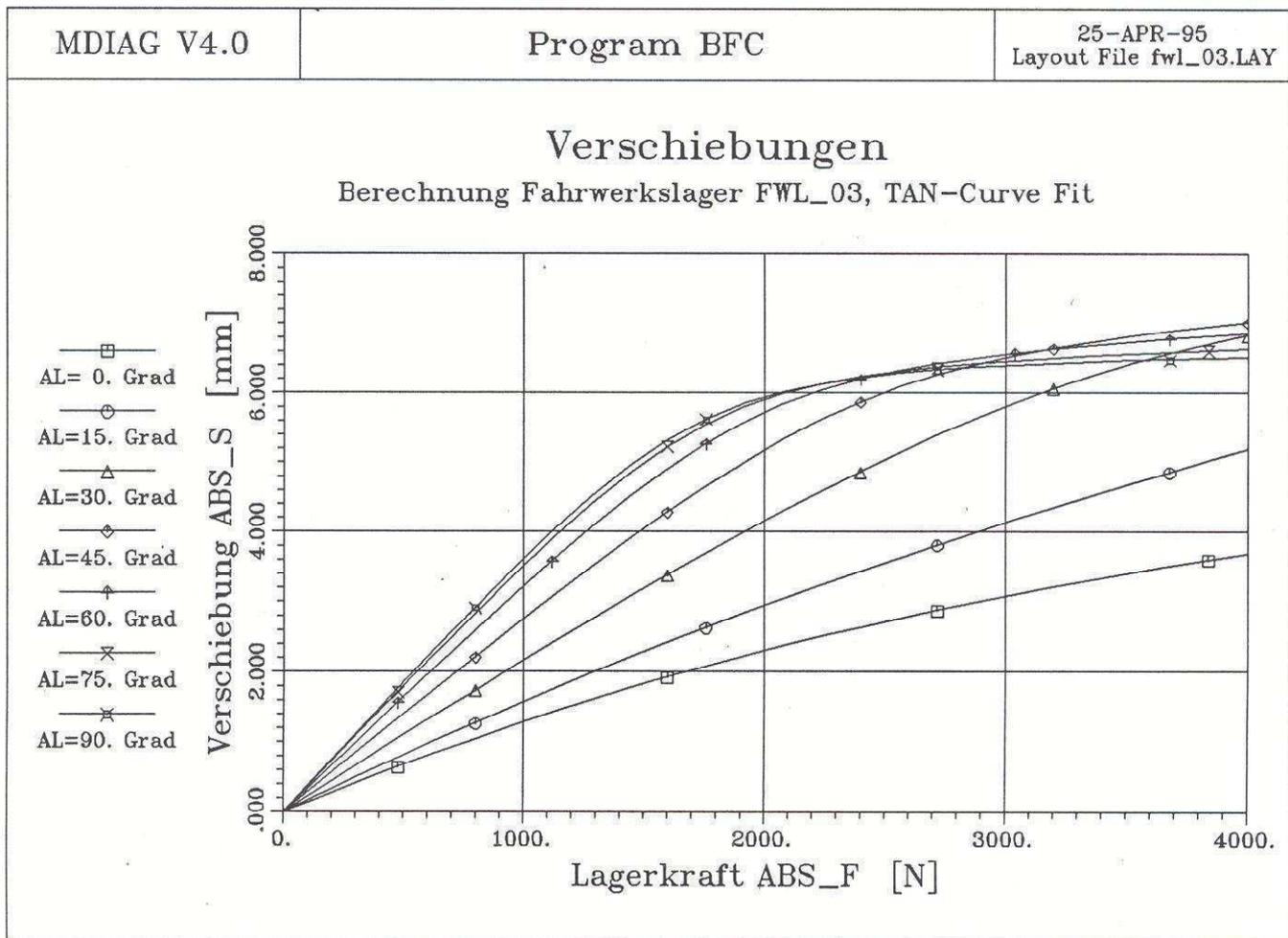
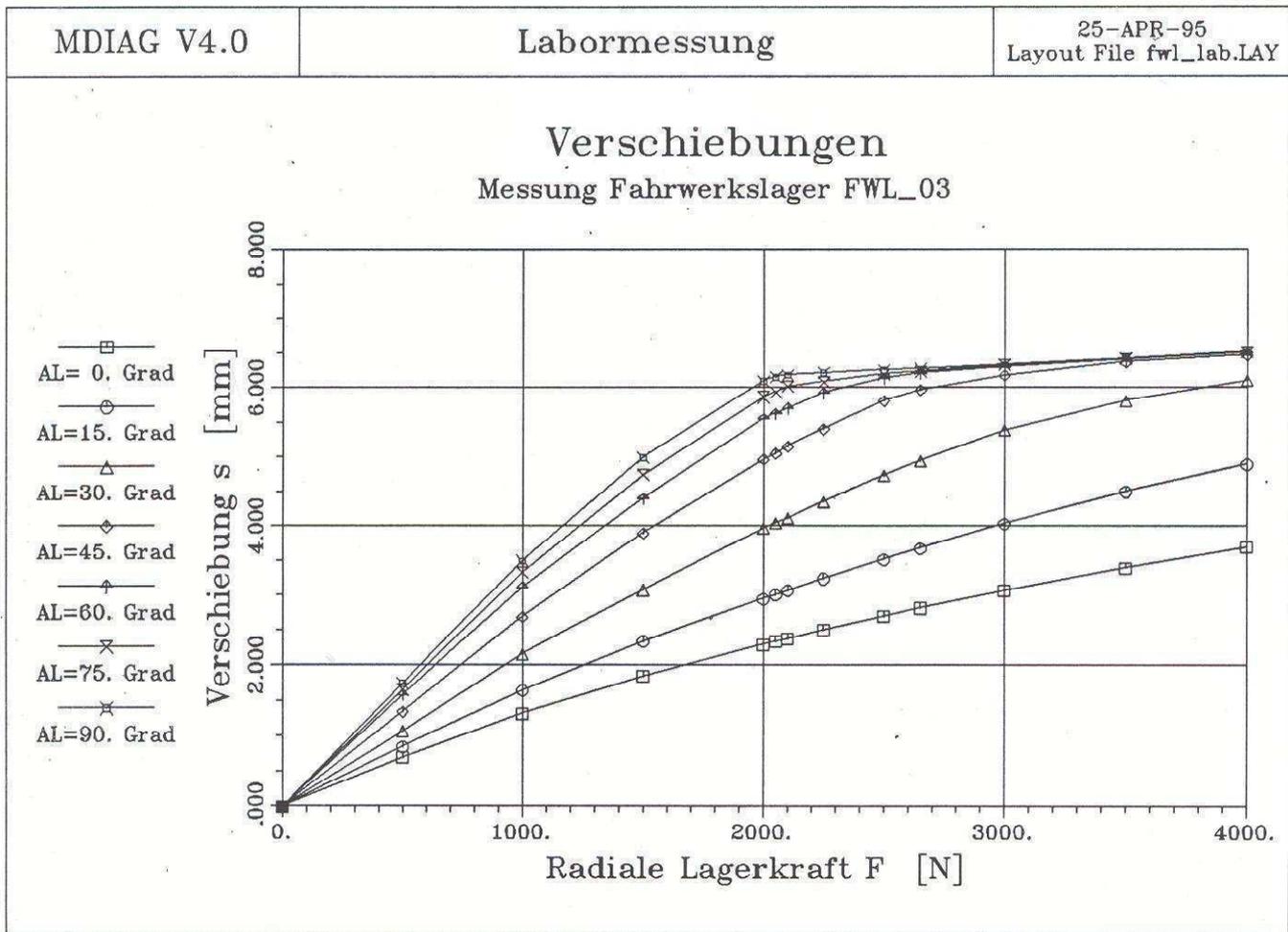
Borders for Tan fit function: -6.67, 6.67

Shift parameter xSh: 0.

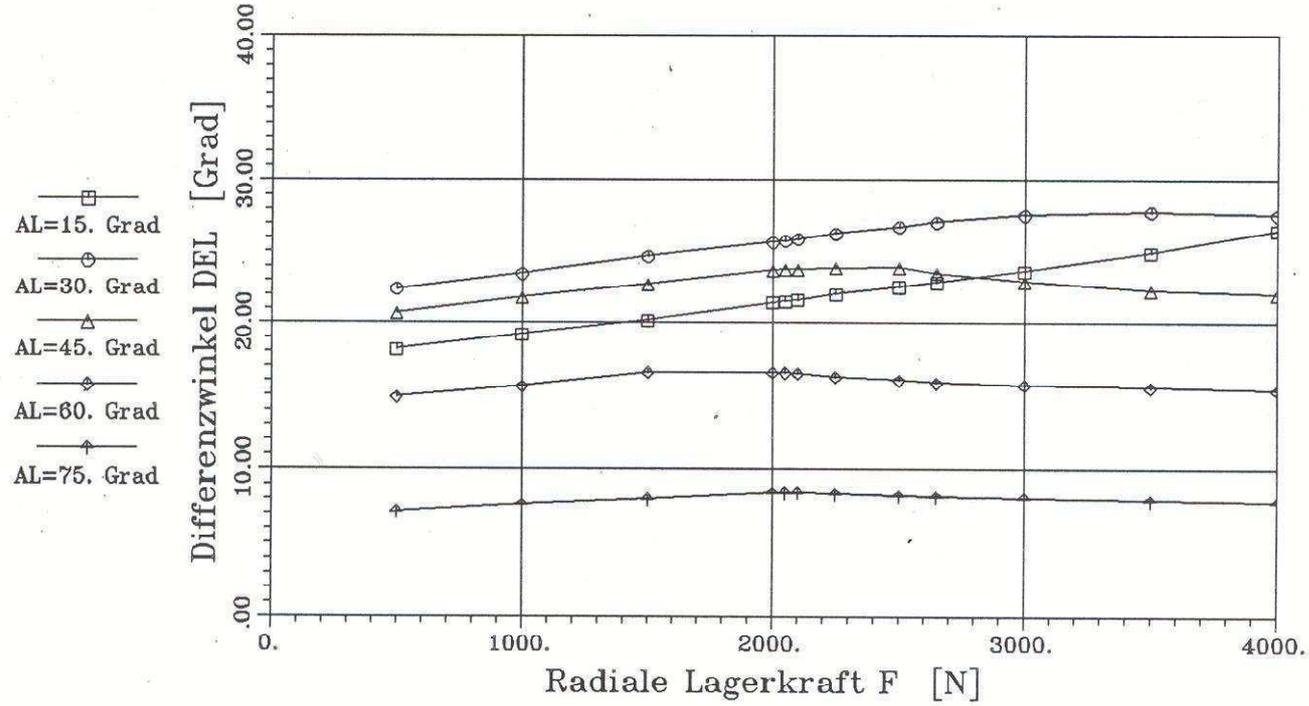
Best Tan fit function:

$$4.64073 \cdot 10^{-14} + 246.839 x + 90.4198 \tan[0.235502 (0. + x)]$$

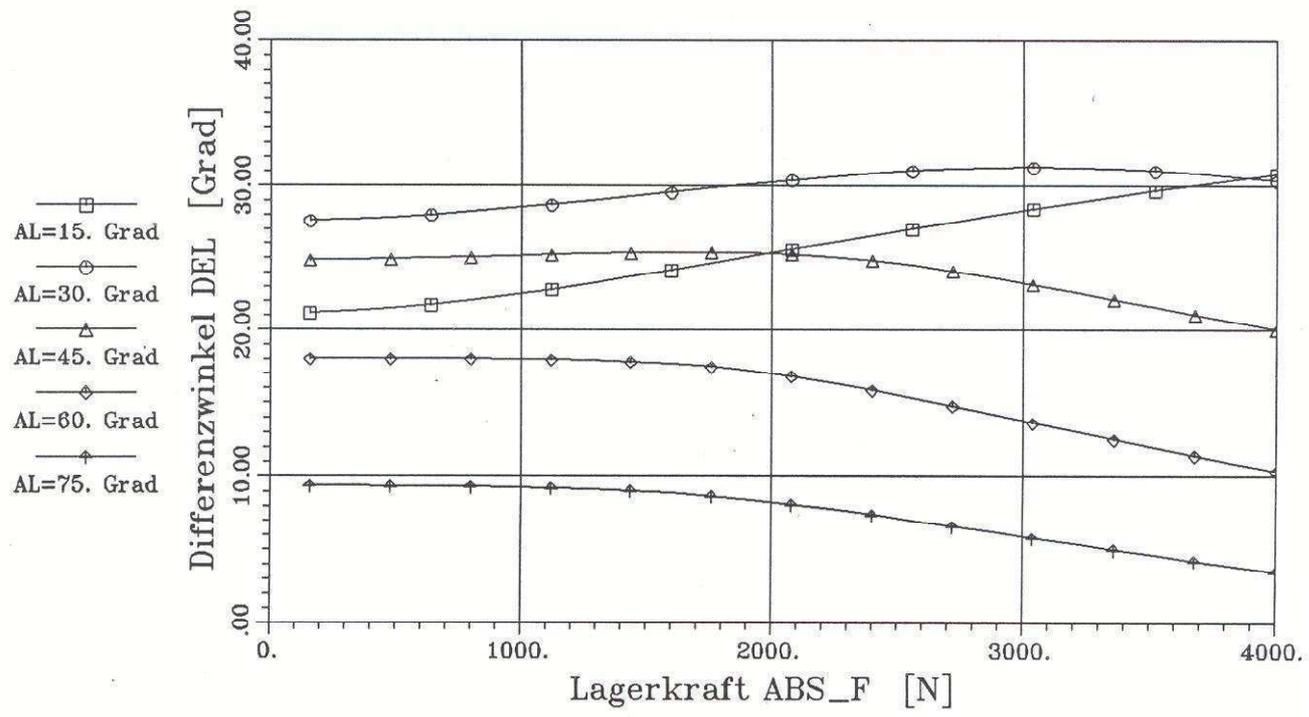




Differenzwinkel Messung Fahrwerkslager FWL_03

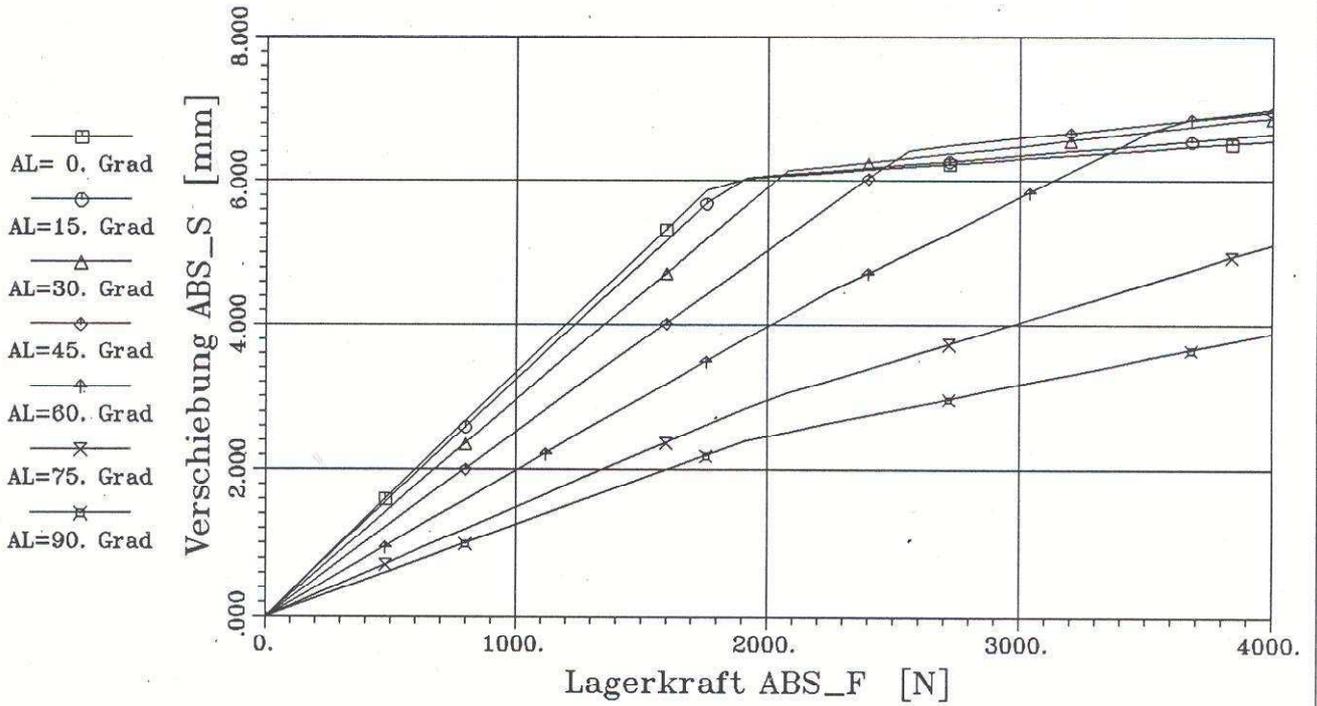


Differenzwinkel Berechnung Fahrwerkslager FWL_03, TAN-Curve Fit



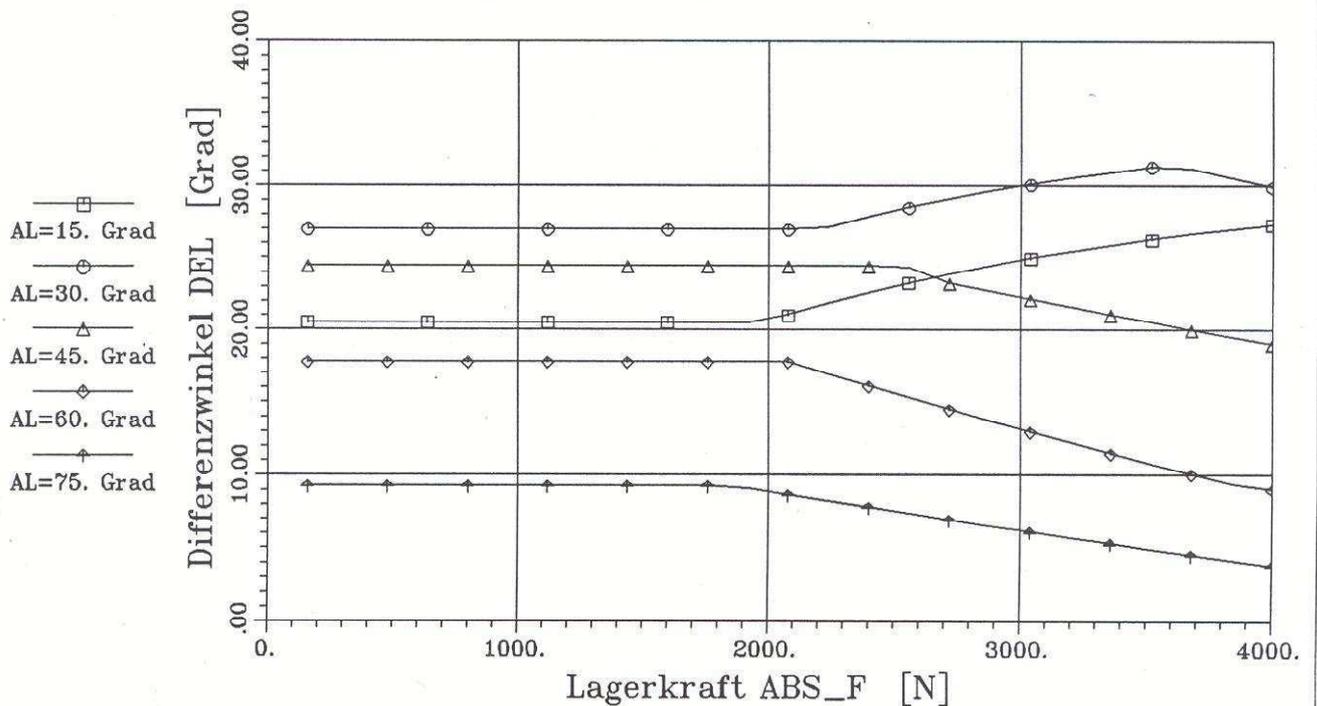
Verschiebungen

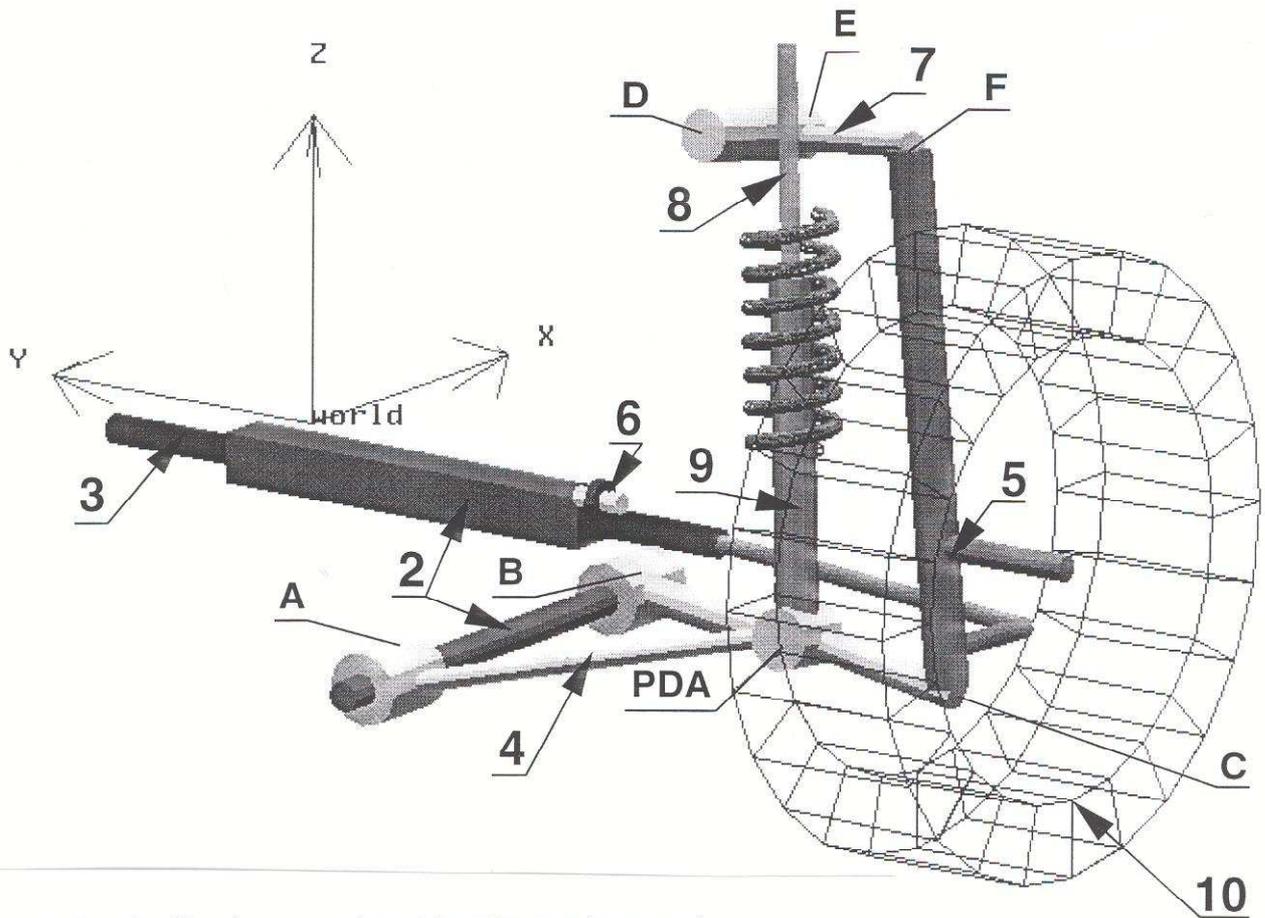
Berechnung Fahrwerkslager FWL_03, stueckw.linear



Differenzwinkel

Berechnung Fahrwerkslager FWL_03, stueckw.linear



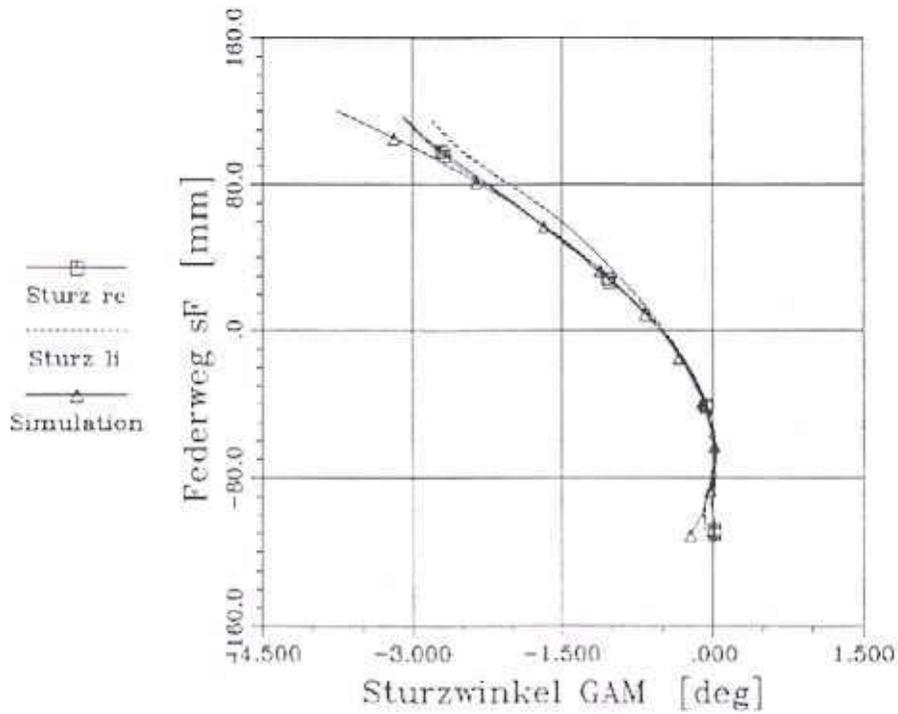


Modell einer elastisch gelagerten, angetriebene PKW-Vorderachse

- A – E: elastomere Fahrwerkslagerungen
- 1 – 8: starre Modellelemente
- 9: Feder-Dämpferelement
- 10: Rad

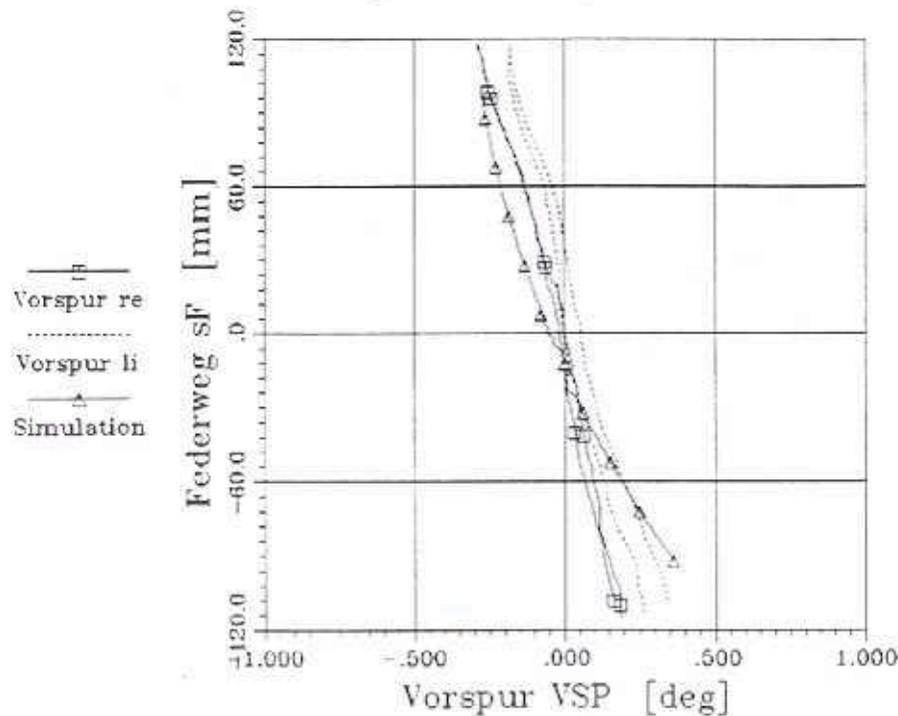
Elastokinematik VA

Vergleich Messung - Simulation



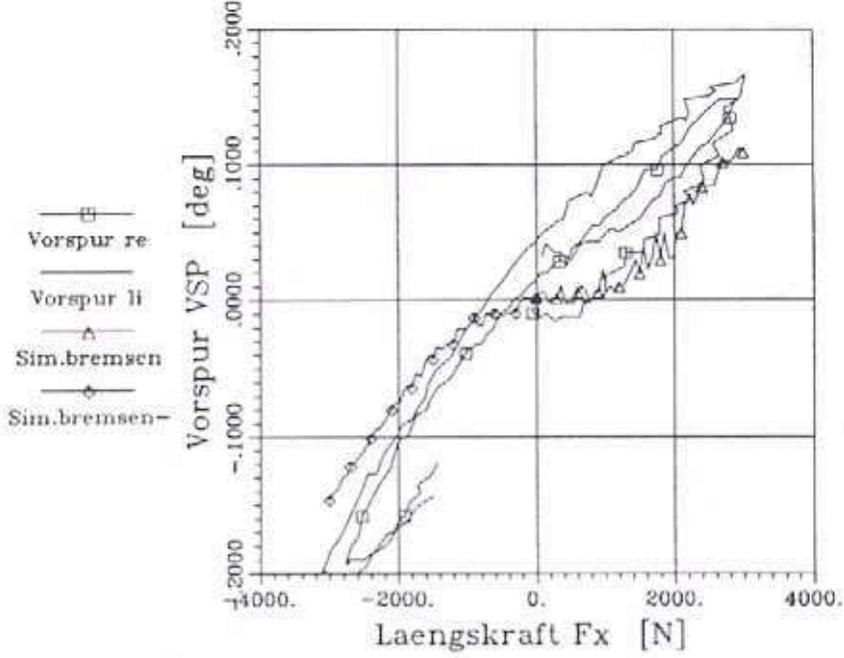
Elastokinematik VA

Vergleich Messung - Simulation



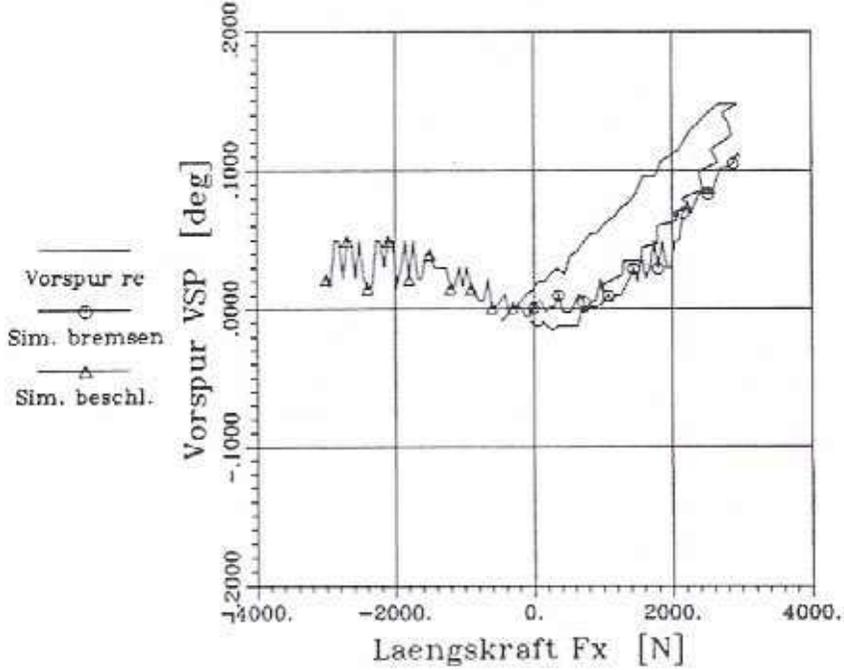
Elastokinematik VA

Vergl. Messung-Simulation: bremsen vorw.+rueckw.



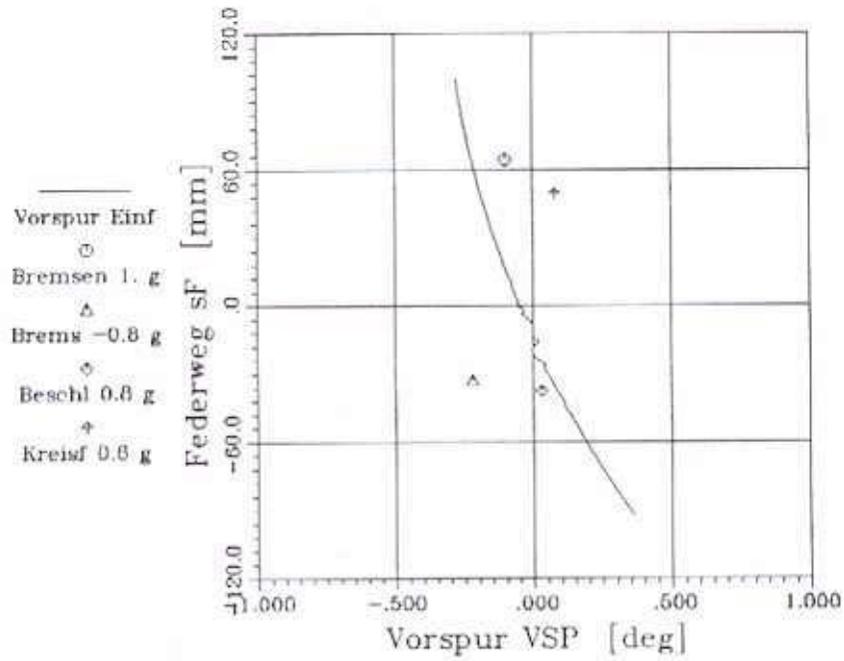
Elastokinematik VA

Vergleich Messung-Simulation: bremsen + beschl.



Elastokinematik VA

Simulation Vorspur - ausgewählte Fahrzustände



Schrifttum

- [1] Pintsuk R.:
Behandlung nichtlinearer, elastischer Lagerungselemente im Fahrzeugbau.
Diplomarbeit, TU Wien, 1995

- [2] DADS Reference Manual Revision 7.5 .
CADSI Inc., Coralville Iowa, 1994.

- [3] Göbel E.F.:
Gummifedern, Berechnung und Gestaltung.
Band 7, Springer, Berlin ... 1969.

- [4] Sponagel S.:
Analytische Berechnung von Gummi-Metall-Verbindungen.
Konstruktion 39, 1987, Heft 4, S.151-158.

- [5] Gohl W. u.a.:
Elastomere Dicht- und Konstruktionswerkstoffe, Band 5.
Expert Verlag, Ehningen 1991.