# FEM-System *MEANS V12*

Rollkontakt mit einem Rad-Schienen-Modell

Rolling Contact of a Rail-Wheel-Model Contact-Pressure of Bearings



<u>www.femcad.de</u> <u>www.fem-infos.com</u>

# Kapitel 9: Kontakt-Analyse mit MEANS V12

# **Beispiel 1: Rollkontakt**

Ein Rad mit einem Außenradius von 50 mm und einem Innenradius von 7.5 mm wird mit einer Kraft von 214 200 N senkrecht auf eine 120 mm Schiene gepreßt. Rad und Schiene bestehen aus dem Schienenstahl S 900 A.

Rollkontakt ist, wenn die immer wiederkehrende Einwirkung von hoher Flächenpressung die Laufbahnen ermüdet, soweit, dass Risse entstehen. Das Phänomen Rollkontakt-Ermüdung (Rolling Contact Fatigue, RCF) ist in den letzten Jahrzehnten zu einem bedeutenden Kostenfaktor für die Hersteller von Eisenbahnschienen oder Hersteller von Kugellager oder Wälzlager geworden.

Die Kontaktfläche zwischen Rad und Schiene ist 15 mm breit und 20 mm lang.



Nach obiger Online-Berechnung von wird bei einer Zylinder-Ebenen-Geometrie eine Hertzsche Flächenpressung von **3237.166** N/mm<sup>2</sup> berechnet.

Wie groß ist die Flächenpressung mit dem FEM-System MEANS V12 und dem Zusatzmodul KONTAKT.

#### Netzgenerierung mit MEANS V12

Früher in MEANS V10 mußte das Modell in AutoCAD eingegeben und über die DXF-Schnittstelle importiert, vernetzt und extrudiert werden. Jetzt dagegen ist es möglich mit MEANS V12 das komplette Modell in wenigen Schritten im Linien- und Knoten-Modus zu erstellen.

Mit MEANS V12 wird zuerst das Register "Ansicht'" und "Linien-Modus" gewählt um um einen Kreis und ein Rechteck mit 2 Elementgruppen und 2 Netz-Verfeinerungen einzugeben.

Ansicht       Netzgenerierung       FEM-Projekt bearbeiten       FEM-Analyse       Ergebnisauswertung       Training	- 😢 🗧		
<ul> <li>ohne Netz O Drahtgitter</li> <li>Omit Netz Ø mit Kanten</li> <li>Hidden-Line neu aktueller Knoten 12: X-Koord.= 36.5418; Y-Koord.= 34.12766; Z-Koord</li> <li>I. Hauptansicht ▼</li> <li>I. Flächen-Modus ▼</li> <li>I. Flächen-Modus ▼</li> <li>I. Knoten-Modus ▼</li> </ul>	Ansicht Netzgenerierung FEM-Projekt bearbeiten	FEM-Analyse Ergebnisauswertung T	Training
2. Lining Marker	<ul> <li>ohne Netz ○ Drahtgitter Schattierung: 10% ▼</li> <li>mit Netz ☑ mit Kanten Hidden-Line neu aktueller Knoten 12: X-Koord.= 31</li> </ul>	1. Hauptansicht	ien-Modus Trackball Signa Autor Oss

Während der Eingabe kann zwischen Knoten- und Linien-Modus gewechselt werden.

Flächen Knoten Linien	Flächen Knoten Linien
Anzahl Eckknoten = 120	Knoten: 0 Neu
Knoten 🗸	X: 0
von: 1	Y: 0
bis: 120	Z: 0
Knoten anzeigen	Finzelkpoten erzeugen
Knotenbereich erzeugen	Linzeichöterreizeugen
Knotenbereich erzeugen	Linien erzeugen
Flächenknoten	Rechteck / Kreis
Flächen-Randknoten	Knoten manipulieren
Knotenbereich löschen	Knotenbereich kopieren
Knotenbereich löschen	Knoten vereinen
Knotenbereich ändern	Kastan paifan
Koordinaten-Faktor	Nioter profer
Knoten: 12 EDIT	Netzgeneratoren
V: 20 5410	2D-Netzgenerator
A. 30.3410	3D-Netzoitter
Y: 34.12/66	ob Norrgittor
Z: 0	EG= 2 V Neu
Knoten numerieren	
Elemente numerieren	DVE Lister stated as
Elementgruppen numerieren	DXF-Linien einladen
Knoten-Size editieren:	Linie verfeinem
	UNDO / REDO
Große= .01	
Size= normal 🗸	Linien-Modus beenden

Geben Sie einen Vollkreis mit Radius 50 mm im Nullpunkt ein. Ebenfalls wird eine feine Rasterung von 92 gewählt, damit der Kreis möglichst rund und nicht zu eckig wird. Ansonsten erhält man eine zu hohe Kontaktspannung an den Ecken und Kanten statt einer gewünschten Kontaktspannung die gleichmäßig über die Fläche verteilt ist.

,	A PROPERTY AND A REAL	<b>x</b>
and the second sec	Rechteck oder Kreisbo – – X	
	Kreisbogen Rechteck	$ \rightarrow $
- F	Aktuelle Elementgruppe: 1 Kreisbogen-Mittelpunkt:	<u>t</u>
ŧ	X-Koordinate: 0.00 Y-Koordinate: 0.00	Ì
ţ	2-Koordinate: 0.00 Radius: 50	ţ
Ť.	Rasterung: 92	ļ į
	Endwinkel: 360 Kreisbogen erzeugen	, t
	Cancel	
a de la companya de l		A COLORING COLORING
	·	

Wiederholen Sie um einen Kreis mit Radius 7.5 mm und Rasterung 24 zu erzeugen.

Bachtack adar Kurista — 🔲 🗙	Jan Martin Martin
Kreisbogen       Rechteck         Neu	
Endwinkel: 360 Kreisbogen erzeugen	
Cancel	
<b>▲</b>	

Erzeugen Sie nun die 2 Elementgruppe mit einem Rechteck der Breite 120 mm und Höhe 50 mm. Es wird aber eine Höhe von 49.99 mm vorgegeben damit zwischen Kreis und Rechteck ein minimaler Abstand von 0.01 mm eingehalten wird, ansonsten würde der Solver keine Kontaktknoten finden und die Analyse abbrechen.

💀 Rechteck oder Kreisbo — 🗆 🗙	
Kreisbogen Rechteck	
Neu	
Aktuelle Bementgruppe: 2	
Rechteck-Startpunkt:	$\langle \rangle$
X-Koordinate: -60	
Y-Koordinate: -100	
Z-Koordinate: 0.00	
Breite: 120	
Höhe: 49.99	
Rechteck erzeugen	
Cancel	
Y	
T	
× ×	
	4

#### Netzgenerierung ohne Netzverfeinerung

Sichern Sie nun das Linienmodell unter einem beliebigen Namen und wählen Menü "2D-Netzgenerator" um ein Netz ohne Netzverfeinerung und Extrudieren zu generieren:

🔜 2D-Netzgenerator	-	×
von Elementgruppe: 1 bis Elementgruppe: 2		
Elementtyp: TRI3S ~		
Netzdichte: 300 🗸		
Fangradius: .005		
3D-Modell extrudieren		
Knoten in Z-Richtung =		
Z-Objekthöhe =		
Knoten prüfen Netzverfeinerun	a	
	_	
Cancel FEM-NETZE GENERIEF	EN	

Wählen Sie die Ansicht "Von Vorne" damit das 2D-Netz in der XY-Ebene zu sehen ist, dannach wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Elementgruppen" umeder Elementgruppe eine beliebge Farbe zu geben.



# Netzgenerierung mit Netzverfeinerung

Das Linienmodell ist vernetzbar. Für eine Kontakt-Analyse ist jedoch das Netz an den Kontaktflächen nicht fein genug. Darum muß das Linienmodell mit zwei Rechtecken für eine Netzverfeinerung erweitert werden.

Laden Sie das Linienmodell wieder ein und wählen "Rechteck / Kreis" und erzeugen folgendes Rechteck

Elementgruppe = 3 Startpunkt in X-Richtung = - 1 mm Startpunkt in Y-Richtung = - 45 mm Breite = 2 mm Höhe = 5 mm

Į	
🖳 Rechteck oder Kreisbo — 🗆 🗙	
Kreisbogen Rechteck	
Neu	the second se
Aktuelle Elementgruppe: 3	İ. İ.
Rechteck-Startpunkt:	, f
X-Koordinate: -1	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Y-Koordinate: -49	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Z-Koordinate: 0.00	f i statistica de la constatistica de la constatistica de la constatistica de la constatistica de la constatis
Breite: 2	
Höhe: 5	
Rechteck erzeugen	
Cancel	
(	

Dannach wählen Sie wieder "Rechteck / Kreis" und erzeugen folgendes Rechteck mit der Breite 2 mm und Höhe 5 mm mit der Elementgruppe 4:

Elementgruppe = 3 Startpunkt in X-Richtung = - 1 mm Startpunkt in Y-Richtung = - 56 mm Breite = 2 mm Höhe = 5 mm

1	💀 Bechterk oder Kreicho — 🔲 🗙	X = Z
t	Kreisbogen Rechteck	t the second sec
Ţ	Neu	ļ.
t t	Aktuelle Elementgruppe: 4	f
•	Rechteck-Startpunkt:	/
1	X-Koordinate: -1	l IIII IIII IIII IIII IIII IIII IIII I
	Y-Koordinate: -56	, · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	Z-Koordinate: 0.00	le la contra de la c
	Breite: 2	
	Höhe: 5	
•	Rechteck erzeugen	
	Cancel	

Wählen Sie im Linien-Modus das Menü "2D-Netzgenerator" und "Netzverfeinerung"

🛃 2D-Netzgenerator	-		×
von Elementgruppe: 1 bis Elementgruppe: 4			
Elementtyp: TRI3S ~			
Netzdichte: 300 V			
Fangradius: 5E-06			
QUAD-Vierecksnetz erzeugen			
☑ 3D-Modell extrudieren			
Knoten in Z-Richtung = 5 Z-Objekthöhe = 15			
Knoten prüfen Netzverfeinerur	ng		
Cancel FEM-NETZE GENERIE	REN	]	

und geben folgende 4 Zeilen für die Steuerung des Netzgenerators ein:

Elementgruppe	Hauptgruppe	Untergruppe	Verfeinern	Löcher	Netzdichte
1	1	0	0	0	300
2	2	0	0	0	200
3	0	1	1	0	0
4	0	2	1	0	0

Ebenfalls aktivieren Sie 3D-Modell extrudieren und geben ein:

Anzahl Knoten in Z-Richtung = 5 Z-Objekthöhe = 15 mm

Dannach wählen Sie das Menü "FEM-Netze generieren" um ein FEM-Netz mit 20 476 PEN6-Pentaeder-Volumenelementen und 13 565 Knoten in einem Arbeitsschritt mit einer sehr feinen Netzdichte an den Kontaktflächen zu generieren.



# Lastfall 1 mit der Master-Kontaktfläche

Bei der Kontakt-Analyse wird die Master-Kontaktfläche immer mit Lastfall 1 und einer Flächenlast erzeugt. Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "3. Flächenbelastung" und klicken auf die Fläche 6 für die Master-Kontaktfläche.

tungen 🗹 Belastungen darstellen	Randbedingungen Randt	bedingungen darstellen <sub>E</sub> Flächen-Modus aktiviert - F	ilementgruppen Materialdate	6. Belastungen Editor	Temperatu
Flächenlast erzeugen	- 🗆 X				
Aktueller Lastfall: 1 Anzahl Lastwerte: 288 Wert der Rächenlast: 0 ungleich entlang Z-Achse W2=	•     •     Neu     (Einheit z.B. in N/mm?)				
Freiheitsgrad: X-Richtung Y-Richtung (Achsen-Farben: SCHWARZ: X-Achse; BL/ Selektion: © Rächenmodus	Z-Richtung     Senkrecht zur Fläche AU: Y-Achse; ROT: Z-Achse)			)	
Koordinatenbereich definieren     Kootenlasten darstellen: .0005	ale angezeigten Nicken ale angezeigten Surfaces normal				
Cancel Editor	Belastung erzeugen Belastung löschen				

# Lastfall 2 mit der Slave-Kontaktfläche

Bei der Kontakt-Analyse wird die Slave-Kontaktfläche immer mit Lastfall 2 und einer Flächenlast erzeugt. Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "3. Flächenbelastung" und klicken auf die Fläche 4 für die Slave-Kontaktfläche.

🖉 Flächenlast erzeugen — 🗆 X	
Aktueller Lastfall: 2 - + Anzahl Lastwete: 484 Neu	
Wert der Rächenlast: 5 (Einheit z.B. in N/mm <sup>-</sup> )	
Freiheitsgrad: O X-Richtung O Z-Richtung	
(Achsen-Farben: SCHWARZ: X-Achse; BLAU: Y-Achse; ROT: Z-Achse) Selektion:	
Rechteck aufspannen     einzelne Knoten anklicken     die angezeigten Knoten	
Knotenlasten darstellen: .0005 normal V	
Cancel Editor Belastung erzeugen	
Belastung löschen	
Y	
A	

# Lastfall 3 mit Knotenbelastung

Bei der Kontakt-Analyse ist Lastfall 3 immer die eigendliche Belastung. Es muß eine mittige Gewichtsbelastung von -214 200 N in Y-Richtung eingegeben werden.

Wählen Sie "FEM-Projekt bearbeiten" und "1. Knotenbelastung" und erzeugen mit der Selektion "Flächenmodus" in "Y-Richtung" und Lastwert "-1" eine Knotenlast indem Sie auf die Fläche 8 des Innenkreises klicken.

FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C^projekte/vollkontakt/extrude.fem          ●       ●       ●         ●       ●       ●         Datei       Ansicht       Netzgenerierung       FEM-Projekt bearbeiten       FEM-Analyse       Ergebnisauswertung       Training         ●       ●       ●       ●       ●       ●       ●       ●       ●       ●       ●         ●       Datei       Ansicht       Netzgenerierung       Tolk       ●<	
<form></form>	

Es wurde eine Knotenlast mit 285 Knotenwerten und dem Lastwert -1 erzeugt. Wählen Sie nun "Editor" und "6. Belastungen" und multiplizieren die Belastungen aus Lastfall 3 mit dem Lastfall-Faktor 214 200 / 285 = 751.6.

F		ine neugenen	erung FEMI-Pr	ojekt bearbeiten	FEM-A	nalyse	Ergebnisauswertung	Training			
elast	► 1. Knot tungen  Belast	enbelastung + tungen darstellen	Randbedingung	1. Randbed	lingungen ngungen c	* larstellen	Elementgruppen 1		Editor	6.	Belastu
				FI	ächen-Mo	dus aktivi	ert - Fläche= 8				
Be	elastungen			- 0	×			-		-	
	Nr.	Knoten	FHG	Wert	^						
		93	2	-751.58			/ ·				
	2	94	2	-751.58							
	3	95	2	-751.58							
	4	96	2	-751.58							
	5	97	2	-751.58		🖷 Las	tfall	-		×	
	6	98	2	-751.58							
	7	99	2	-751.58		Ala	uallas Lastfalli 2				
	8	100	2	-751.58		AKU		`	· ·		
	9	101	2	-751.58			Faktor= -751.58				ann
	10	102	2	-751.58							
	11	103	2	-751.58			<ul> <li>multiplizieren</li> </ul>	O dividieren	1		dim.
	12	104	2	-751.58	~		<ul> <li>addieren</li> </ul>	🔘 ersetzen			1
tuel izah	iller Lastfall: 3	< : 285 Lastty	<ul> <li>Anzahl Lastfä</li> <li>/p: 1</li> </ul>	ille: 3 Knotenlast			CANCEL	ОК			1: 1960 1960
	Neuer Lastfall erz	seugen	Lastfälle	überlagem							
Lastfall löschen		Lastfälle addieren und kopieren Temperaturlast einlesen									
Lastfall-Faktor											
	Flächenlast->Kno	tenlast	Freiheitsç	grade ändem							
		OK	_								

#### Randbedingungen erzeugen

#### Einspannung

Wählen Sie FEM-Projekt bearbeiten und "Randbedingungen" und erzeugen eine Einspannung an der Fläche Nr. 7 am Boden.

🧱 FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C:\projekte\rollkontakt\extrude.fem	
Date Ansicht Netzgenererung FEM-Projekt bearbeten FEM-Analyse Ergebinsauswertung Training	
😇 💿 ohne Netz: O Dahtspitter: Schattierung: 10% - 3 12. Nord-West Left F - 1. Flächen-Modus - 🗌 Trackball (0.2	
Hidden-Line O mit vetz Minit Aamen nidoen-Line neu	
Randbedingungen – 🗆 🗙	
facebook Research and 100 Name	
Werd de risinized angung: IE-10	
hehetsgrad sperer:	
in Y-Richtung 🗹 Empannung	
(Achsen-Farser: SCHWARZ:X-Achse; BLAU:Y-Achse; BLAU:Y-Achs	
Selection	
Rischenmodus     O Rechteck aufspannen	
einzelne Kroten anklacken alle angezeigten Kroten wählen	
Coordinatenbereich definieren alle angezeigten Sufaces wählen	
Benthedron more detailer: 00004 normal av	
Cancel Editor RBs erzeugen	
Blacken	
	-+ · *
×	

### Randbedingungen in Z-Richtung

Zusätzlich dürfen sich die Flächen 4 und 6 nicht in Z-Richtung verschieben.

Surface 6 Surface 4 CLEAR EDIT	
Knoten Hachen Elemente Kanten	Randbedingungen – 🗆 🗙
	Arzahl Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Mei der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Wet der Randbedingungen aktuelt: 1450 Neu Mei der Randbedingungen ak
	Cancel Editor RBs erzeugen
	RBs löschen
Ŷ	

#### Randbedingungen in X-Richtung

Ebenfalls müssen noch die Freiheitsgrade in X-Richtung an der Null-Linie mit einem Rechteck markiert und festgehalten werden.

Randbedingungen       -         Anzahl Randbedingungen aktuell:       4027         Wett der Randbedingungen       1E-10         Reihetsgrad speren:       In X-Richtung         In Y-Richtung       In Z-Richtung         In Y-Richtung       Binspannung         Kobsen-Farber:       Scheckteren         Selecteren       In Z-Richtung         Inzehn Knoten anklicken       alle angezeigten Knoten wählen         Koordnatenbereich definieren       alle angezeigten Surfaces wählen         Randbedingungen darstellen:       00034       normal         Cancel       Edtor       RBs bischen	×	
Y X		

# **FEM-Analyse**

Wählen Sie das Register "FEM-Analyse" und "6. Kontaktbedingungen" um die Kontakt-Analyse zu starten. Hier kann auch die Master- und Slave-Fläche getauscht werden.

FEM-S	System M	MEANS V11 fue	er DirectX11						
0	0 1	<b>()</b>							
	Datei	Ansicht	Netzgene	rierung	FEM-Proje	kt beark	peiten	FEM-Analy	
ļ	6.	Kontaktbedin	gunger +	FEM-Sc Ergebni	lver wählen sgrößen wäh	len	Infos zun Modell-A	n FEM-Mode Abmessunger	
	FE	M-Analyse	Fa.	F	EM-Ablauf	E.	Infos St	rukturmodell	
	Kontak	tbedingungen			-		×		
	PRES	SSURE-OVERC	LOSURE=LIN	NEAR					
PRESSURE-OVERCLOSURE=EXPOTENTIAL									
Swap Mastersurface <-> Slavesurface (Loadcase 1 - 2)									
			Schritt 1: FEI	M-Solver st	arten				
		S	chritt 2: Postp	rocessing s	tarten				
			Ca	ncel					

# Ergebnisauswertung

Wählen Sie das Register "Ergebnisauswertung" und klicken auf das Icon um die Ergebnisse der Kontakt-Analyse auszuwerten, dazu gehören

COPEN = Verformungen an den Kontaktflächen CPRESS = Flächenpressung bzw. Kontaktspannungen

- D >						
Lastfall: 1 🗸						
<ul> <li>Auflagerkrafte auswerten</li> </ul>						
<ul> <li>Knotenkräfte auswerten</li> </ul>						
Verformungsfaktor/Wertebereich						
Legende und Farben einstellen						
Kastanuata siskan aushan sisham						
Niotenweite picken, suchen, sichem						
✓						
1						
1						
1						

Blenden Sie im Flächenmodus nur die Fläche 4 ein und wählen das Icon die Kontaktflächen-Verformung COPEN an der Slave-Kontaktfläche darzustellen

Wählen Sie "Knotenwerte picken" und klicken auf die gelisteten Verformungswerte die wenn Sie blau markiert sind direkt den Wert mit einer Linie am Knoten anzeigen.





Knotenwerte picken:

2499	-0.00408
2625	-0.00413
2523	-0.00415
384	-0.00420
2631	-0.00425
2611	-0.00437
2500	-0.00466
431	-0.00482
2634	-0.00502
2609	-0.00514
433	-0.00529
2680	-0.00549
2672	-0.00549
2593	-0.00607
2684	-0.00713
2693	-0.00741 💙
Ge	samtes Modell
Bereich	binzufügen
Dereich	ninzulugen
Knote	enwerte suchen

1 10 4

Blenden Sie im Flächenmodus wieder alle Flächen ein und wählen das Icon um die Verformungen in Y-Richtung darzustellen



🖳 FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C:\projekte\rollkontakt\_neu\roll\_96\_1.fem

# Wählen Sie wieder das Icon

www.um die v.Mises-Vergleichspannungen darzustellen



🖷 FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C:\projekte\rollkontakt\_neu\roll\_96\_1.fem

📆 um

Blenden Sie im Flächenmodus nur die Fläche 4 ein und wählen das Icon die Flächenpressung CPRESS an der Slave-Kontaktfläche darzustellen

🐖 FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C:\projekte\rollkontakt\_neu\roll\_96\_1.fem

0	0 1	<b>()</b>									
	Datei	Ansicht	Netzge	nerierung	FEM-Proje	kt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisausv	vertung	Training	
2	👌 🖂 Ero	ebnisse da	rstellen	Verformun	gsfaktor	Ergebnisse i	n Tabellenform	Intern	FEM-S	Strukturdatei	MEANS V11 f
	Ergebnisauswertung E			Knotenwerte picken		Legende: Legende 1 -		Extern	STA-E	rgebnisdatei	MEANICIUS
LASTF/	ALL= 1	auswertung	1 M	skalleren/	Anzeigen 1 <sub>2</sub>	Legen		Animationen Is	Dai	telen listen 1 <sub>3</sub>	IVIEAINS VI
Kontal	kt-Spannu	Ingen									
CPRES	\$\$										
	3800	0.00									
	2676	2.14									
	20/0	0.42									
	2100										
	1590	).57									
	1047	7.71									
	504.8	86									
	0.000	00									
Bearb	peiten	• •									
	1	Y									
х <	<b></b>										
		z									

#### Literatur

- 1. Zur Finite-Element-Modellierung des stationären Rollkontakts von Rad und Schiene von der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden von SABINE DAMME aus Dresden. Berichte des Instituts für Mechanik und Flächentragwerke Heft4 (2006)
- Kapitel 11 FEM-Analyse eines Rad-Schienen Rollkontaktes mit MEANS V10 (2014)
- 3. Part 16 Rolling Contact of a Rail-Wheel-Model with MEANS V10 (2014)