# FEM-System MEANS V12

**FEM-Kontakt-Analyse** 

# eines heißgegossenen

# **Polyurethan-Rades**



(C) 2021 by Ing.Büro HTA-Software Germany-Rheinau

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

# Kapitel 19 - FEM-Kontakt-Analyse eines heißgegossenen Polyurethan-Rades mit MEANS V11

Das Modell besteht aus einem heißgegossenen und wärmebehandelten Polyurethan-Rad mit einem E-Modul von 56 N/mm<sup>2</sup> und einer Poisson-Zahl von 0,498. Da das Rad rotationssymmetrisch ist kann es durch Ausnutzung der Symmetrie als Viertel-Modell erheblich vereinfacht werden.

Der Innendurchmesser ist fix und mit einem Kugellager verbunden. Durch die Kontakt-Belastung von 2225 N des zweiten Bauteil "Stahl-Road" mit einem E-Modul von 210000 N/mm<sup>2</sup> und einer Poisson-Zahl von 0.2 wird das Rad nach unten gedrückt.

#### **Komplettes Modell**



#### Halbes Modell



#### Viertel Modell



# Netzgenerierung

Zuerst wird aus der CAD-Step-Modellbaugruppe ein FEM-Netz generiert.



Wählen Sie die Registerkarte "Datei" und "Neu", um ein neues FEM-Projekt zu erstellen.

Wählen Sie "3D Tetrahedral Meshing with STL, STEP oder IGES" für die folgenden Formate:

- STL Dieses 3D-Modell besteht aus einer dreieckigen Außenschale für 3D
   Bei der Netzgenerierung kann dieses Flexibel-Format auch importiert und exportiert werden.
   STL-Dateien mit Löchern oder Lücken können auch vor der Vernetzung repariert werden.
- STEP heute das Standardformat, beachten Sie, dass keine CAD-Baugruppen, sondern nur Einzelteile können vernetzt werden. Baugruppen können über die "Boolesche Operationen" oder mit "Schraubenmodellen" zu einem Bauteil vereint werden.
- IGES wie STEP-Format, ist aber nicht mehr so verbreitet

Verwenden Sie die Schaltfläche "Browser", um die STEP-Datei "Wheel\_road.step" auszuwählen und klicken Sie auf das Menü "Starten Sie den Netzgenerator Nr. 2 mit der CAD-Datei", um sie im Netzgenerator anzuzeigen.

🖳 Mesh	Generation			-		×
Directory:			Browser Default			
e	y STEP	O IGES			Help	
Quarter V Quarter V	Vheel and Road for F Vheel and Road for F	EA_0.0084mm.step EA_assembly_8.4micro	meter.step			
STL Op	timization and Repair otimize STL File befor Optimization wit	re starting Mesh General h all tests	tion			
Mesh G	enerator No. 2 with C rt Mesh Generator No	DpenGL-Interface	with error messages		Help	
- Mesh G	enerator No. 3 with a Start Mesh Gener	utomatic repair function ator No. 3	Mesh Density: 0	~	Help	
		Cance	el			

Das Modell ist jetzt im Netzgenerator zu sehen und kann beliebig gedreht werden.



Wählen Sie zuerst das Menü "Mesh" und die Registerkarte "Mesh-Size" und generieren Sie mit der folgenden Einstellung und einer Verfeinerung ein FEM-Mesh mit 174 176 Tetraeder-Elementen und mit 42 824 Knoten. Die Kontaktflächen sind auch durch einen Kontaktflächenabstand von 0,0084 mm oder 8,4 Mikrometer (könnte evt. noch zu groß sein) sehr fein vernetzt.



## Netz exportieren

Nach dem Generieren des Netzes muss das FEM-Netz mit dem Namen "test.fem" nach MEANS V12 exportiert werden. Wählen Sie die Menüs "File" und "Export Mesh" und speichern das Netz "test.fem" in den angegebenen Debug-Netzpfad, um MEANS V12 automatisch mit dem FEM-Netz und dem Flächen-Modell für die Auswahl von Knoten, Kanten und Oberflächen zu starten.



# Elementgruppe 2 erstellen

Zuerst wird Elementgruppe 2 erstellt, da wir mit zwei verschiedenen Werkstoffen arbeiten müssen.

Elementgruppe 1 mit dem PUR-Rad und Elementgruppe 2 mit der Stahl-Road

Wählen Sie die Registerkarte "FEM-Projekt bearbeiten" und "Elementgruppen" und wählen Sie im neuen Elementgruppen-Menü "Elementgruppen erstellen" und wählen in der neuen Dialogbox die Option "Mehrere Flächen auswählen", um EG 2 aus mehreren Surface-Flächen zu erstellen.

Wählen Sie "EG erstellen" und erstellen Sie Elementgruppe 2 mit einem Klick auf Surface 4 und 8. Klicken Sie auf das Farbfeld für eine blaue EG 2.

Datei Ansicht	Netzgenerierung FEM-Projekt bearbeiten FEM-Analyse Ergeb	nisauswertung Training
Belastungen	tung   I. Randbedingungen   Jarstellen Randbedingungen  Randbedingungen  Ler	mentgruppen Materialdaten Editor 6. Belastungen
	Flächen-Modus aktiviert - Flä	che= 4
EG= 2 ×	₩ EG = 2 - □ ×	
🗹 ON 🛛 🛛 EG= 1	Elementgruppen erzeugen	
☑ ON EG= 2	Elementgruppe erzeugen: 2	
☑ ON EG=3	EG mit aufgespannten Rechteck und einer Tiefe erzeugen	
☑ ON EG=4	O EG mit allen angezeigten Knoten erzeugen	
☑ ON EG=5	O Elementgruppe aus mehreren Flächen erzeugen	
☑ ON EG=6	● Z-Tiefe O Y-Tiefe O X-Tiefe	
✓ ON EG=7	von: -100000 bis: 100000	
Für neue Farbe auf Farbrahmen klicken	Erzeuge Elementgruppe	
Ausgeblendete EGs als Drahtgitter darstellen     Gruppen 1 - 7     Neue Elementgruppen erzeugen	Ale Elemente erhalten die Elementgruppe 1         EG mit einem definierten Bereich erzeugen         Abmessungen berechnen         von X:       -100000         bis X:       100000         von Y:       -100000         bis Y:       100000         von Z:       -100000         Bementgruppe erzeugen         Elementgruppen wieder rückgängig         Elementgruppen ändem         Anzahl Elemente ändem:         174176	

# Kontakt-Abstand ablesen

Der Kontakt-Abstand ist für die Kontakt-Analyse sehr wichtig. Dieser kann einfach überprüft werden indem Sie Register "FEM-Analyse" und "Modell-Abmessungen" für jede Elementgruppe aufrufen und die minimale und maximale Höhe ablesen.



Nun kann man den Kontakt-Abstand ablesen: 38.10681mm - 38.1mm = 0.00681mm

# Kontakt-Abstand verändern

Noch wichtiger ist die nachträgliche Editierung des Kontakt-Abstandes, denn ist dieser nur ein wenig zu groß konvergiert der Kontakt-Solver schon nicht mehr und bricht die Berechnung ab.

```
C:\Program Files\FEM-System_MEANS_V11\Debug\cmd.exe - C:\PROGRA~1\FEM-SY~1\Debug\INPSOL~1\INPSOL~2.EXE C:\projekte
Using up to 1 cpu(s) for the stress calculation.
Factoring the system of equations using the symmetric spooles solver
Using up to 1 cpu(s) for the stress calculation.
average force= 0.033206
time avg. forc= 0.033206
largest residual force= 118.470796 in node 35433 and dof 2
largest increment of disp= 2.178603e+10
largest correction to disp= 2.178603e+10
in node 30007 and dof 2
divergence allowed: number of contact elements stabilized
no convergence
iteration 6
number of contact spring elements=0
```

Zuerst müssen alle Knotenpunkte der Elementgruppe 2 mit dem Register "Ansicht" und "Knoten-Modus" selektierbar dargestellt werden. Dann wird "Koordinatenfaktor" gewählt um das Road-Teil mit einem Koordinaten-Faktor von -0.00681mm nach unten in Y-Richtung zu verschieben.

nerierung	FEM-Projekt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertun	g Tr	raining			
tgitter Sc Ganten Hie	hattierung: 10% - dden-Line neu	1. Hauptansich	ht -	2. Kno	oten-Modus 👻	Zoom 0.1 - Rotate X -	☐ Trackball ✓ Axis Cross	5
		Knoten-Modus ak	ctiviert					
						Flächen Knote     Anzahl Eckkno     Elementgrup     von: 2     bis: 2     Knoten     Knotenber     Knotenber	I × en Linien oten = 42824 pen ~ anzeigen eich erzeugen eich erzeugen eich erzeugen eich löschen reich löschen reich änderm ten-Faktor EDIT	

🖳 Koordinaten-Faktor	-		×
Faktor setzen :			
O multiplizieren O dividieren			
● addieren ○ ersetzen			
Achsen vertauschen			
O X-Werte mit Y-Werte vertauschen			
○ X-Werte mit Z-Werte vertauschen			
O Y-Werte mit Z-Werte vertauschen			
Koordinaten mit Faktor verändem			
🗌 X-Koordinaten 🗹 Y-Koordinaten	Z-Ko	ordinaten	
🗹 nur die angezeigten Knoten im Knotenmo	dus verw	enden	
von Knotenpunkt: 1			
bis Knotenpunkt: 42824			
Koordinatenfaktor: -0.00681			
Nullpunktsverschiebung durch Knotenpur	nkt:	1	
Koordinaten mit Faktor verär	ndem		
Verformungen mit Faktor zu den Koordi	naten ad	dieren:	
Verformungs-Faktor: 1			
CANCEL			

Der Kontakt-Abstand beträgt nun 0.000mm.

### Randbedingungen erzeugen

#### Feste Einspannung

Der Innenradius des Rades ist fest eingespannt und mit einem Kugellager verbunden. Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Randbedingungen" und erzeugen eine feste Einspannung an den angeklickten Surface-Flächen 9, 11, 12 und 14. Diese werden in der Selectbox angezeigt, dort mit "ERZEUGEN" die RBs erzeugen.

U	Datei	Ansicht	Netzgenerierung	FEM-Projekt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training		
F Belast	<b>₽</b> tungen	1. Knotenbel Belastunge	astung 👻 n darstellen Rand	bedingungen ☐. Randbedi	lingungen 🔹	Elementgruppen	Materialdaten	6. Belas	tungen 👻
				Flå	ichen-Modus aktivie	rt - Fläche= 11		_	
Surface Surface Surface Surface Surface Surface Surface Surface	e 9 e 14 e 12 e 11 oten [ mente [								
	Randb	edingungen		- 0	×				
	Anzahl F Wert de Freiheits Selectie einze O Koor RB-Syml	Randbedingunger r Randbedingung grad sperren: ren henmodus elne Knoten anklik dinatenbereich d bole anpassen RB-Sy cel	n aktueli: 684 : 1E-10 : in X-Richtung : in Y-Richtung efinieren alle ang efinieren alle ang efinieren alle ang efinieren Eficieren F	Neu         in Z-Richtung         Einspannung         Einspannung         ock aufspannen         gezeigten Knoten wählen         gezeigten Surfaces wählen         RB-Farbe:         RBs erzeugen         RBs löschen					T
		ľ							
X		Z							

#### Symmetrie-Randbedingungen

Die Knoten-Freiheitsgrade der Surface-Flächen 3 und 4 müssen in Z Richtung gesperrt werden damit die Symmetrie des Viertel-Modells berücksichtigt werden kann.



#### **Road festhalten**

Die belastete Road darf sich nur in Y Richtung bewegen, darum müssen die Knoten-Freheitsgrade an der Ober- und Unterfläche mit den Surfaces 1 und 8 in X- und in Z-Richtung gesperrt werden.



# Flächenlast erzeugen

Der Roller wird mit einer Flächenlast von 1.236 N/mm<sup>2</sup> auf der Oberseite in Y-Richtung belastet.

Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Flächenbelastung" um den Lastfall 1 senkrecht zur Fläche mit einem Mausklick auf die Surface 8 zu erzeugen. Surface 8 wird in der Selectbox angezeigt, dort mit "Erzeugen" den Lastfall erzeugen.

U	Datei	Ansicht	Netzgeneri	erung FEM-Proje	kt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training			
Eelastu	Ingen	3. Flächenbe ☑ Belastunge	elastung 👻	Randbedingungen	1. Randbed	lingungen 🔹 ngungen darstellen ächen-Modus aktivie	Elementgruppen ert - Fläche= 8	Materialdaten	Editor	6. Belastungen	•
Surface Knot Elem CANCE Aktue	en   ente   EL chenlas	DELETE CLEAR EDIT Alachen Kanten ERZEUGEN t erzeugen			×						
Anzal Wert Freihe	hl Lastw der Fläc ungleich eitsgrad: ion:	erte: 668 thenlast: 1.236 n entlang Z-Achse O X-Rich O Y-Rich	Ner	u ) N/mm² () oder in Z-Richtung senkrecht zur Fläche	N						
	inzelne (oordina	Knoten anklicken tenbereich definie Wort (N/mm2 au	eren () alle	angezeigten Knoten angezeigten Surfaces		1					
Car	ncel	Editor	B	elastung erzeugen Belastung löschen							
	×	Ľ	z								

# Master-Kontakt-Fläche erzeugen

Nun müssen die Master- und Slave-Kontakt-Flächen für die Kontakt-Berechnung eingegeben werden.

Wählen Sie wieder das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Flächenbelastung" um Lastfall 2 mit einem Mausklick auf die Surface 1 zu erzeugen. Ein Wert oder eine Richtung ist nicht notwendig.

U	Files	View	Mesh Ge	neration	Edit FEM-Pro	oject	FEM-Analysis	Post	processing	Trai	ning			
E Loads	3. Su ✓ Sho	rface Load w Loads	*	Boundary-	- Conditions	1. Bou	undary-Condition: w Boundary-Condi Surface Mod	• tions	Element-Gro	oups	Material-Datas	Editor	6. Loads	•
Image: Surface         Surface         Image: Surfa	1 A	DELETE CLEAR EDIT Surfaces Edges CREATE ase 2 ds 13 0 ilong Z Axis O in N iaces boordinate rar	936           W2=           C Direction           / Direction           ()           mge	- + New in Z D • Vertica Dragging a Select all s Select all s	Pa O or in N irection al to Surface imodel region howing nodes howing surfaces	×								
Calcu	ulate Surfa	ice Load Va	lue (MPA) fro	om Load	SL-Color:								\	
Ca	incel	Edit	or	Create S	Surface Load ete Loads									
	Y	×	7											
Calca	ulate Surfa incel	ice Load Val	or [	om Load S	SL-Color: Surface Load ate Loads					\				

# Slave-Kontakt-Fläche erzeugen

Es folgt die Eingabe der Slave-Kontakt-Fläche mit Lastfall 3.

Wählen Sie wieder das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Flächenbelastung" um Lastfall 3 mit einem Mausklick auf die Surface 2 zu erzeugen. Ein Wert oder eine Richtung ist nicht notwendig.



# Materialdaten

Nun werden die Materialdaten mit dem Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Materialdaten" eingegeben. Geben Sie den E-Modul 56 N/mm<sup>2</sup> und die Poisson-Zahl mit 0.498 für die EG 1 mit dem PUR-Rad und den E-Modul 210000 N/mm<sup>2</sup> und die Poisson-Zahl mit 0.3 für die EG 2 mit der Steel-Road ein.

Files View	/ Mesh Ge	eneration	Edit FEM-Project	FEM-Analysis	Postprocessing	Training	
F 3. Surface Lo	oad 👻	⊳	н П. Во	oundary-Condition:	-		/
Loads 🗹 Show Load	ls	Boundary-C	Conditions 🗌 She	ow Boundary-Condit	tions Element-O	Groups Material-Datas	Editor
	_				Info Line		
EG= 2	×						
⊠ ON EC	G= 1						
Ø ON EC	G= 2						
✓ ON EC	G=3						
🗹 ON 🛛 EG	G=4						
ON EC	G=5						
ON EG	G=6						
ON EG	G=7						
To edit colours click on to the fi	irames				X		
Draw hidden EGs ar	nd	💀 Edit Mate	rial Datas	-	×	<	
Surfaces as Wirefra	ame	Name	Mater	ial Datas		•	
Weight per EG		Youngs	s modulus 56				
Groups 1 7		Poissor	n Ratio 0.498				
Circups 1- 7		Density	/ 7.8E-0	)6			
Create Element groups	5	Heat C	oefficient 1.2E-0	)5			
		•		_			
	L						
		Element Gro	up: 1 Elem	ent TET4	< >		
		Isotr	rop	Anisotrop			
		Mate	erial Data Base		ОК		
Y		Сору	/ Material Data	]			
- 4							
6	z						

# FEM-Kontaktberechnung

Das Kontakt-Modell ist nun fertig und kann berechnet werden. Wählen Sie das Register "FEM-Analyse" und "Kontaktbedingungen" und starten die FEM-Berechnung um die Verformungen und Spannungen mit den TET4-Tetraederelementen in wenigen Minuten zu berechnen.

U	Datei	Ansicht	Netzgener	rierung	FEM-Proje	kt bearbeiten	FEM-Ana	lyse	Ergebnisauswertung
	6. K	(ontaktbedi	ngunger 👻	FEM-So	olver wählen	Infos zum FE Modell-Abm	M-Modell nessungen	E	
	FEIVI	-Analyse	1 M	FEIV	I-Ablaut I <sub>3</sub>	Intos Struk	turmodell 15	() FE	IVI-Assistent I a
i.	🖶 Kontakt	bedingung	en		-		×		
	C:\projek	te\wheel_ro	ad voller1.fem						
	PRES	SURE-OVE	RCLOSURE=LI	INEAR					
	O PRES	SURE-OVE	RCLOSURE=E	XPOTENT	TIAL				
		Swap Ma	stersurface <->	Slavesurfa	ace (Loadcase )	2 - 3)			
			Schritt 1: FE	EM-Solver :	starten				
			Schritt 2: Post	processing	g starten				
			C	ancel	]				
	Quick-Solv	er							- 0 X
N	lormal Pred	cision	<ul> <li>show and</li> <li>show C3E</li> <li>convert C</li> </ul>	l solve with D4 and solv :3D4 -> C3	n C3D4 (4-node ve intern with a D10 and show	linear tetrahedral refining mesh of i and solve with C.	elements) 8 x C3D4 3D10		
Pat	h for INP-So	lver: C:	Program Files	FEM-Syste	em_MEANS_V	1\Debug\inpsol	ver	6 <mark>4</mark> bit.€	Browser
Pat	h for INP File	es: C	:\projekte\whe	el_road\ro	ller1.INP				
		-	Select Solver	In-Cor	re-Solver	Out-of-Core-	Solver		
				Start F	EM-Solver with	INP-Interface			
			Setting	gs	Help + Int	os (	Cancel		

# Ergebnisauswertung

Nach der Berechnung können die Ergebnisse ausgewertet werden.



Datei	Ansicht	Netzgenerierung	FEM-Projekt be	earbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswert	ung
Er	rgebnisse ausw	verten Verformu Knotenwe	ngsfaktor erte picken	Legende 1 Diagramm	* 1 *	/alue-Animation 👻	FEM STA-
Ergebni	sauswertung	🕞 Skalieren	/Anzeigen 🕞 🛛 L	.egenden/Di	agramme 🕞	Animation 🕞	Di
	Postproces	sing		-			
	Ergebnisse ein	laden					
	◯ Verformur	ngen auswerten	Lastfall:	1 ~			
	Knotensp	annungen gemittelt	🔿 Auflagerkr	äfte auswerte	en		
	O Elements	oannungen ungemittelt	🔘 Knotenkrä	ifte auswerter	ı		
	Legende						
	Raster-Ge	naujokeit:	Verformungsfa	ktor/Wertebe	ereich		
	_		Lange da und	Fach an airest	-ller		
		1 I	Legende und	rarben einst	elleri		
	1	3 4	Knotenwerte pic	ken, suchen,	sichem		
	Ergebnis-Komp	onente wählen					
	CPF	RESS		~			
	CPF	RESS					
	CSH	HEAR1					
	Car v.M	ises-Vergleichsspannun	Q				
	Non	malspannung Sigma x	Ĩ.				
	Non	malspannung Sigma y					
	Sch	ubspannung Jigma z					
	Sch	ubspannung Tau yz					
	Sch	ubspannung Tau zx					
	Max	amale Hauptspannung ( Are Hauptepappung S2	51				
	Mini	male Hauptspannung S	3				
	Ges	taltsänderungshypothes	se/Hauptspannunger	1			

# Verformungen

#### Max. Verformungen in Y-Richtung betragen -1.458 mm



# Zugspannungen des PUR-Rades

Die maximale Hauptspannung S1 beträgt 21.9 N/mm²



# Druckspannungen des Rades

# Minimale Hauptspannung S3 des Rades beträgt -45.04 N/mm²

🙀 FEM System MEANS	V11 - FEM Structure File	C:\projekte\wheel_road	\roller1.fem					
	=			-				
Files View	Mesh Generation	Edit FEM-Project	FEM-Analysis	Postprocessing	Training			
Show Re	Displacement-F	actor Legend 1	- Value-	Animation -	FEM-File	FKM-Richtlinie for we 👻	FEM-Modell	
Postprocessing	Pick, Search Va	lues Diagram I		imations E	STA-File	Fatique Analysis	MEANS-Android	
	is roccorrelation	ics ing cogerio, bio			ist nes ig	Tadque Analysis 13	MEANS ANDIOID 13	
3rd principal Stress								
\$3								
15.894					<u> </u>			
7.9026	L-+							
-0.0883	d d							]
-8.0792					1.50			
-16.070	1	12.207						
-24.061								
-32.052								
40.042				Stei 12				
-40.043		A NEPAZ						$\mathbf{N}$
Edit -	+							
								$\langle \cdot \rangle$
								$\langle \cdot \rangle$
				-45.043 MF	Pa			
					$\sim$			
						$\backslash$		
Y								
x _ T	_							
	2							

# v.Mises-Vergleichsspannung der Stahl-Road

Die maximalen v.Mises-Vergleichsspannungen betragen 98.6 N/mm<sup>2</sup>

