FEM-System *MEANS V12*

Biege- und Torsionsmomente an einem Wellenabsatz berechnen



www.femcad.de

www.fem-infos.com

Kapitel 10: Biege- und Torsionsmomente mit MEANS V12 berechnen

Beispiel 1: Wellenabsatz

Die Welle besteht aus 2 Wellenabschnitten mit D = 50 mm und d = 25 mm sowie einem Wellenradius von R = 2.5 mm.



Die Welle wird mit einer Zugbelastung von 10 000 N, einem Biegemoment von 10 000 Nmm und einem Torsionsmoment von 10 000 Nmm belastet. Wie groß sind die Verformungen und Spannungen.



FEM-Modell erzeugen

Die Welle kann mit MEANS V12 im Linien-Modus wie in einem CAD erzeugt werden.

Es wird zuerst vom halben Wellenquerschnitt ein 2D-Netz mit Drei- oder Vierecken generiert. Daraus läßt sich dann mit dem 3D-Rotationsgenerator ein Pentaeder- oder Hexaeder-Volumennetz erzeugen.



Die untere Linie verläuft bei Y= 0.1, damit ist sichergestellt, daß sich bei Y= 0 die Unter- und Seitenfläche der Hexaeder oder Pentaeder nicht fehlerhaft überlagern.

Wählen Sie Register "Datei" und "Neu" um im Linien-Modus das Modell zu erzeugen.

	17	incherding inch	M-Projekt bearbeite	n FEM	-Analyse I	ergeomsauswertur
		FEM-Zuladung MPC-Kontakte	Import: STL + Export: DXF +	MEANS- SHELL		1. C:\projekte
eu 🕞 Ein	laden 🗊 👘 Sichern 🖫	Vereinen	CAD	Extern	Pfade 🕞	
	Neues Projekt O 3D-Tetraeder-1 Neues FEM-Pr Neues FEM-Pr Neues FEM-Pr	vetzgenerierung (STL ojekt mit Balken-Linie ojekt mit Behälter-Net ojekt mit Wälzlager-N	- C × , STEP, IGES) n-Modus erstellen zgenerator etzgenerator		Image: Constraint of the second sec	Keu Keu Neu Neu Neu Rezeugen ten erzeugen ten erzeugen rezeugen reze

Einzelknoten erzeugen

Zuerst müssen 7 Einzelknoten eingegeben werden.

Klicken Sie im Register Linien-Modus auf "Neu" um Knoten 1 mit den Koordinaten X= 0, Y= 0.1, Z= 0 mit Menü "Einzelknoten erzeugen" zu erzeugen.

Erzeugen Sie auf gleiche Weise die restlichen 6 Knoten:

Knoten 2 (110 / 0,1 / 0) Knoten 3 (110 / 25 / 0) Knoten 4 (50 / 25 / 0) Knoten 5 (50 / 15 /0) Knoten 6 (0 / 12.5 / 0) Knoten 7 (47.5 / 12.5 /0)

Es sind nun alle 7 Einzelknoten auf dem Bildschirm zu sehen

chtlinie\welle\neu.fem	-
Projekt bearbeiten FEM-Analyse Ergebnisauswertung Training	
g: 10% - e neu Linien-Modus aktiviert Zoom 0.1 - Linien-Modus aktiviert Zoom 0.1 - Trackball Rotate X - Zoom 0.1 - Axis Cross	
LINEPAROUS SAUVERS *4 *3 *5 *6 *7	Image: Constraint of the second se
*1 *2	DXF-Linien einladen UNDO / REDO Linien-Modus beenden

Knoten-Modell sichern

Speichern Sie das Modell in dem Verzeichnis C:\Projekte\Wellenabsatz\cad1.fem oder beliebig anderes Verzeichnis ab damit das Knoten-Modell jederzeit wieder eingeladen werden kann.

Kreisbogen erzeugen

Es folgt die Eingabe des Kreisbogens mit dem Radius 2.5 mm, wählen Sie dazu das Menü "Rechteck / Kreis" und geben den Mittelpunkt 47.5 / 15 / 0, den Radius = 2.5, die Rasterung = 4 sowie den Anfangswinkel 270 und Endwinkel 360 ein und wählen Menü "Kreisbogen erzeugen".

Kreisbogen Rechter	sk	
Neu	REDO	•
Aktuelle Elementgi	uppe: 1	Punkte und Linien erzeuge
Kreisboge	n-Mittelpunkt:	
X-Koordinate:	47.5	
Y-Koordinate:	15	nur vorhandene Knoten
Z-Koordinate:	0.00	für Selektion anzeigen
Radius:	2.5	
Rasterung:	4	
Anfangswinkel:	270	
Endwinkel:	360	
	Kreisbogen erzeugen	

Es sind jetzt 10 Einzelknoten und 4 Kreisbogen-Linien zu sehen:

Iatei Ansicht Netzgenerierung FEM-Projekt bearbeiten FEM-Analyse Ergebnisauswertung Training Imperiation FEM-Zuladung Import: STL + MEANS- Import: STL + Import: STL + Imperiation FEM-Zuladung Import: STL + MEANS- Import: STL + Import: STL + Sichern FJ Sichern FJ Vereinen CAD Extern Plade FJ Zuletzt geoffnete FEM-Projekte	
FEM-Zuladung Import: ST. + MPC-Kontakte MEANS- SHELL Import: ST. + SHELL MEANS- SHELL Import: ST. + SHELL <	
Enladen Tr Sichem Tr Vereinen CAD Extern Plade Tr Zuletzt geöffnete FEM-Projekte vereinen Statz geöffnete FEM-Projekte Tr	
Einladen Ty Sichem Ty Vereinen CAD Extern Pfade Ty Zuletzt geöffnete FEM-Projekte	
e -	
Rachen Kn	oten Linien
Anzahi Ediki	knoten = 10
Knoten	~
ven:	1
be:	10
Knot	en anzeigen
Koore	bereich erzeugen
Knoterb	ereich erzeugen
Pas	chenknoten
Table Table	n-Randknoten
Konstal	ereich löschen
	hamiah Endam
- Automatical Automatical Automatical Automatical Automatical Automatical Automatical Automatical Automatical A	inaten-Faktor
-2	COIT
=6 ≭7⁸9¹⁰ Note: L	
	5
	numerieren
	e numerieren
■ Morent = 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	gruppen numerieren
■ Modent ■ Generation ■ 1 ■ 1 ■ 1 ■ 1 ■ 1 ■ 1 ■ 1 ■ 1	gruppen numerieren te anzeigen N
■ 1 Violen ■ Benerri ■ Lativer ■ Lativer Violen - Violen - Vi	gruppen numerieren te anzeigen N
■ Modern	gruppen numerieren te anzeigen N re editieren:
■ Indem	gruppen numerieren te anzeigen N ee editieren:
Υ roten -1 -1 -2	gruppen numerieren te anzeigen N e editieren: .01 normal V
The end of	gruppen numerieren te anzeigen N e editieren: .01 normal V
I demendent of the second s	gruppen numerteren te anzeigen N e editieren: .01 normal ~

Im Linien-Modus mit Menü "Linien erzeugen" müssen noch 6 Linien erzeugt werden:

- Linie 1: Knoten 1 mit Knoten 2 verbinden
- Linie 2: Knoten 2 mit Knoten 3 verbinden
- Linie 3: Knoten 3 mit Knoten 4 verbinden
- Linie 4: Knoten 4 mit Knoten 5 verbinden
- Linie 5: Knoten 6 mit Knoten 7 verbinden
- Linie 6: Knoten 1 mit Knoten 6 verbinden

Linie 6 eingeben

Aktivieren Sie die obere Option "Punkt" und klicken Sie mit einem Doppelklick auf den Knoten 6 am Modell sodaß seine Koordinaten in der Dialogxox angezeigt werden, dannach aktivieren Sie die untere Option "Punkt" und klicken auf Knoten 1. Zum Schluß mit Menü "Linie erzeugen" die Linie 1- 6 erzeugen. Es kann auch nützlich sein die Knoten- und Elementnumerierung im Knoten-Modus miteinzublenden.

		💀 – 🗆 X
	🖬 Linien 🛛 — 🗆 🗙	Flächen Knoten Linien
	Punkt 6 X-Koordinate: 0 Y-Koordinate: 12.5 Z-Koordinate: 0 Image: Punkt 1 X-Koordinate: 0 Y-Koordinate: 0 Y-Koordinate: 0 Y-Koordinate: 0	Anzahl Eckkhoten = 10 Knoten Von: 1 bis: 10 Knoten anzeigen Knotenbereich erzeugen Knotenbereich erzeugen Flächenknoten Flächen-Randknoten Knotenbereich löschen Knotenbereich löschen
= 6 9	O oder mit allen angezeigte Knoten verbinden Anzahl Knoten pro Linie: 2 Linie erzeugen	Koordinaten-Faktor Knoten: 1 EDIT X: 0
•	Anzahl Elementgruppen: 1 OK Anzahl Knoten: 10 OK Anzahl Elemente: 9 OK Element löschen: 11 OK Cancel	 ✓ Knoten numerieren ✓ Elemente numerieren I Elementgruppen numerieren Lastwerte anzeigen N Knoten-Size editieren: Größe = 01 Size = nomal ∨

Die Umrandung des halben 2D-Wellenabsatz besteht nun aus 10 Knoten und 11 Linien und es kann ein Dreiecksnetz hineingeneriert werden.

	🖷 – 🗆 X
	Rächen Knoten Linien
	Knoten: 10 Neu
	X: 49.8097
	Y: 14.04329
	Z: 0
	Knoten erzeugen
	Einzelknoten erzeugen
	Linien erzeugen
	Rechteck / Kreis
<u>1</u> 4	Knoten manipulieren
	Knotenbereich kopieren
	Knoten vereinen
	Knoten prüfen
0	Netzgeneratoren
6 ^{78°}	2D-Netzgenerator
	3D-Netzgitter
	EG= 1 V Neu
4 ₁	DXF-Linien einladen
	19100 (0500
	UNDO 7 REDO
Y	Linien-Modus beenden
A	
	-

Wählen Sie entweder das Register "Netzgenerierung" oder das Linien-Modus-Menü "2D-Netzgenerator" und generieren mit einer Netzdichte = 100 ein nicht zu feines Dreiecksnetz aus 1028 TRI3S-Elementen und 574 Knoten für den nächsten Schritt.

💀 2D-Netzgenerator			<u> </u>	×
von Elemen	tgruppe: 1 bis E	Elementgruppe: 1		
Elementtyp:	TRI3S	~		
Netzdichte:	100	~		
Fangradius:	5E-06			
QUAD-1	/ierecksnetz erzeugen Iell extrudieren			
QUAD-1 3D-Mod	Nerecksnetz erzeugen lell extrudieren Knoten in Z-Richtung =	5		
QUAD-1	Nerecksnetz erzeugen Iell extrudieren Knoten in Z-Richtung = Z-Objekthöhe =	5		
☐ QUAD-1 ☐ 3D-Mod	Vierecksnetz erzeugen Iell extrudieren Knoten in Z-Richtung = Z-Objekthöhe = Knoten prüfen	5 Netzverfeiner	ung	
QUAD-1	Nerecksnetz erzeugen Iell extrudieren Knoten in Z-Richtung = Z-Objekthöhe = Knoten prüfen	5 Netzverfeiner	ung	

3D-Volumennetz erzeugen

Dieses 2D-Netz dient nun als Vorlage um ein 3D-Rotationsnetz aus Pentaedern zu generieren. Wählen Sie das Register "Netzgenerierung" und Menü "Quad-Netze, Verfeinern, Löschen" sowie in der nächsten Dialogbox das Register "Rotieren" um ein Rotationsnetz zu generieren.

🗾 Datei	Ansicht	Netzgenerien	ung FEM-Proje	kt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergeb	nisauswertung	Training	
	4			Quad-Netze	e, Verfeinern, Lös	chen	Knoten-Überlage Jacobi-Determina	rung ante testen	Netz aus Flächenmodell
D-Netzgener	ator mit STEP,	STL, IGES 🕞	2D-Netzgenerator	Net:	ze manipulieren	- Fa	Netze prü	ifen 🕞	Netz aus Flächenmodell 🕞
		Vier	Quad-Netze, Verfeir ecke Verfeinem K Es Ne Y-1 An En DXF	ern, Löschen onverter Extrudie wird ein Balken-, tzdichte über Umfa Vert der Rotations- fangswinkel = dwinkel =	eren Rotieren Li Dreiecks- oder Vier ang = 32 achse = 0.1 0 30-Rota	isschen eoksnetz n	nit Z=0 benötigt	er Achse rizontal ansicht r-Ebene Z-Ebene Cancel	×

Wählen Sie eine Netzdichte über den Umfang = 32 und setzen den Y-Wert der Rotationsachse auf 0 und erzeugen ein Modell aus 32896 PEN6-Elementen und 18368 Knoten. Es folgt eine Überprüfung mit neuem Hidden-Line und Flächenmodell.

🔡 Bitte warten	220		×
Ohne Überprüfung:			
Strukturmodell hat 98688 Knotenpunkte und 32896 Elem	ente sowie	1 Element	gruppe
Mit Überprüfung:			
Strukturmodell hat 18368 Knotenpunkte und 32896 Elem	nente sowie	1 Element	gruppe
Fangradius: 0.000001			
Einzelne Knotenpunkte ohne eine Element-Verbindung	g löschen		
		_	
Cancel Numerien	ung prüfen		



Geben Sie nun eine Zugkraft, ein Biegemoment und ein Torsionsmoment mit Hilfe von MPC-Balkenelementen (gelben Linien) ein.



180

Axialkraft außerhalb des FEM-Netzes erzeugen

Wählen Sie Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Biege- und Torsionsmoment" und definieren eine Axialkraft in X-Richtung von -10000 N die nicht an einem FEM-Knoten sondern an einem außerhalb liegenden Knotenpunkt MP(-20,0,0) angreift.



Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und im Drop-Down-Menü den Lasttyp "Biege- und Torsionsmoment".



In der neuen Dialogobx wählen Sie zuerst Menü "Schritt 1: Fläche selektieren" und klicken auf die Fläche 4 um alle Knotenpunkte dieser Fläche aufzulisten.



Knotenlast definieren

Aktivieren Sie "Knotenlast" und geben nur F_{X1} = -10000 N ein. Da weder ein Kräftepaar noch ein Hebelarm auftreten müssen alle anderen Felder Null sein.

MP-Knotenpunkt berechnen

Wählen Sie Menü "Alle Auswählen" um alle Knotenpunkte zu selektieren und deaktiveren Sie mit der Strg-Taste jedoch die beiden Mittelpunkte der Fläche. Geben Sie den MP-Abstand in X-Richtung = -20 mm ein und berechnen mit Menü "Schritt 2: MP mit Abstand berechnen" die MP-Koordinaten.

Knotenlast ohne Hebelarm erzeugen

Wählen Sie jetzt "Schritt 3: Knotenlast ohne Hebelarm erzeugen" um die Axiallast in X-Richtung zu erzeugen.

Materialdaten eingeben

Die Materialdaten werden für Stahl automatisch voreingestellt und müssen nicht eingegeben werden.

Elementgruppe 1 besteht aus PEN6-Elementen und die Elementgruppe 2 aus B32-Balkenelementen. Hier können die Profildaten auch nachträglich geändert werden falls der FEM-Solver abbrechen sollte weil die Profile zu klein gewählt wurden.

뒢 FEM-System MEANS V11 - Strukturdatei C	:\projekte\wellenabsa	tz\pen6.fem				
Datei Ansicht Netzgenerie	rung FEM-Projek	t bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training	
F 1. Knotenbelastung Belastungen Belastungen darstellen	Randbedingungen	1. Randbed	ingungen 🔹 ngungen darstellen	Elementgruppen	Materialdaten	Edit
			Infozeile	2		

Eingabe der Einspannung

Falls das Flächenmodell noch nicht erzeugt worden ist wählen Sie das Register "Ansicht" sowie "4. Flächenmodell erzeugen" um 10 einzelne Surfaces zu erzeugen.

1. Hauptansicht 💉 🗗	1. Flächen-Modus Zoom 0.1 + □ Trackball 1. Flächen-Modus Axis Cross 2. Knoten-Modus 3. Linien-Modus 4. Flächenmodell erzeugen 5. Flächen ein- und ausblenden	
Hidden-Line	o normal O viele O sehr viele Flächen Flächeneinteilung= 0.91	Flächen Knoten Linien Anzahl Surfaces = 10
Mor Fast-Hidden-Line V11	Neues Flächenmodell erzeugen dellbereich für kleineres Flächenmodell erzeugen verwenden (hier klicken)	Surface 6 Surface 7 Surface 8 Surface 9 Surface 10

Zuerst wird die untere Fläche mit Surface 5 in x-, y- und z-Richtung eingespannt.

Wählen Sie dazu das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "1. Randbedingungen" und klicken in der RB-Dialogbox auf "Einspannung" und "Flächenmodus" sowie "RBs erzeugen" und klicken auf die Surface 5. Diese wird in der Selectbox angezeigt, dort mit "Erzeugen" die Randbedingungen erzeugen.





FEM-Analyse

Wählen Sie das Register "FEM-Analyse" und "1. Statik" um mit dem Quick-Solver die Verformungen und Knotenspannungen zu berechnen.

FEM-	System MEANS V11 -	Strukturdatei C:\proj	ekte\wellenabsa	tz∖pen6.fem		
U	Datei Ansicht	Netzgenerierung	FEM-Proje	kt bearbeiten	FEM-Analys	se Ei
	1. Statik	FEM-	Solver wählen Assistenten	Infos zum FE Modell-Abm	M-Modell	Ermüc
	1. Statik 2. Dynamik 3. Temperatu	FI	EM-Ablauf 🕞	Infos Strukt	turmodell 🕞	Leben

Wählen Sie im Quick-Solver "C3D8 (8-node linear isoparametric element)" für eine schnelle FEM-Analyse sowie den Button "Start FEM-Solver with INP-Interface".

Nach dem Herunterfahren von MEANS V12 wird die FEM-Analyse in einem Windows-Fenster gestartet und endet nach wenigen Sekunden mit einem Peepton. Dannach kann der Button "Postprocessing MEANS V12 for DirectX11 starten" angeklickt werden um das FEM-Modell wieder in MEANS V12 darzustellen.



Ergebnisauswertung

Wählen Sie Register "Ergebnisauswertung" und das Icon **with** um die Verformungen und Spannungen grafisch auszuwerten.

	atel Ansi	icht	Netzge	nerierung	FEM-Proj	jekt bearbeit	ten F	EM-Ana	yse
v ¢	🗹 Ergebniss	se darstel	len	Verformu Knotenwe	ngsfaktor erte picken	Ergebnis Legende	se in Tab : Legend	ellenform de 1 👻	1
Er	gebnisauswei	rtung	Γş.	Skalieren	/Anzeigen 🕞	Leg	gende/Ta	belle	G.
r	Postpro/	essing				_		×	
	ma roscproc	cosing						~	
	Ergebnisse	einladen							
	◯ Verfor	mungen a	uswerter	n	Lastfall:	<u> </u>			
	O Knote	nspannun	gen gem	nittelt	O Auflage	rkräfte <mark>auswe</mark>	rten		
	Eleme	ntspannur	ngen ung	gemittelt	⊖ Knotenł	kräfte auswer	ten		
	Legende								
	Raster	-Genauigk	eit:		Verformung	sfaktor/Werte	bereich		
	-				Legende u	nd Farben ein	istellen		
	1	3	4		Knotenwerte p	oicken, suche	n, sichem		
	Ergebnis-Ko	omponent	e wähler	1					
	Γ						-		
	Ľ	/.Mises-Ve	rgleichs	spannung					

Neutraler Spannungsbereich definieren

Wählen Sie "Elementspannungen ungemittelt" um die v.Mises-Vergleichsspannung darzustellen. Da nur die Elementspannungen im Wellenabsatz interessieren können die höheren Spannungen an den Balkenelementen entweder durch einen kleineren Maximalwert oder mit einem neutralen Spannungsbereich ausgeblendet werden. Wählen Sie dazu "Verformungsfaktor" und definieren folgenden neutralen Spannungsbereich mit einem X-Bereich von -15 bis +25 sowie einem Ersatzwert von 20:

venomunuen darstellen		
O verformte Struktur alleine darstellen		
 verformte und unverformte Struktur zusa 	ammen .	
O Drahtgitter Kantenmoo Transparenz	dell	
O unverformte Struktur alleine darstellen		
Verformungen mit einem Faktor überhöht darst	ellen	
Networking 1		
verromungstaktor =	Ubernehmen	3
kein Faktor Anpassen Drehen		
Max/Min Werte setzen (um untere Bereiche he	ervorzuheben)	
Maximalwat: 512.4683	Zunickastzen	
	ZUIUCKSEIZEIT	
Minimalwert: .5328529	Zurücksetzen	
Neutraler Spannungsbereich definieren		
Veutraler Spannungsbereich definieren von X: -15.2561 bis X:	25	
Von X: -15.2561 bis X: von Y: -25 bis Y:	25	
Veutraler Spannungsbereich definieren von X: -15.2561 bis X: von Y: -25 bis Y: von Z: -25 bis Z:	25 25 25	
 Neutraler Spannungsbereich definieren von X: -15.2561 bis X: von Y: -25 bis Y: von Z: -25 bis Z: Ersatzwert f ür Bereich: 20 	25 25 25	
 Neutraler Spannungsbereich definieren von X: -15.2561 bis X: von Y: -25 bis Y: von Z: -25 bis Z: Ersatzwert für Bereich: 20 	25 25 25	
✓ Neutraler Spannungsbereich definieren von X: -15.2561 bis X: von Y: -25 bis Y: von Z: -25 bis Z: Ersatzwert für Bereich: 20 Cancel 00	25 25 25	

Exaktes Ergebnis nach Roloff-Matek:



Quelle: Roloff/ Matek Maschinenelemente; 15. Auflage; August 2001; vieweg verlag

Die maximale v.Mises-Vergleichsspannung beträgt **40.77 N/mm**², dieser Wert stimmt auch gut mit der exakten Berechnung nach Roloff-Matek mit 40.74 N/mm² überein.



Ausblenden von Elementgruppe 2

Elementgruppe 2 mit den Balken-Knotenspannungen kann mit Register "FEM-Projekt bearbeiten" und "Elementgruppen" auch ausgeblendet werden.

Verformungsfaktor

Wählen Sie in der Ergebnisauswertung "Verformungsfaktor" um die Verformungen oder Spannungen mit Farben oder Skalierung besser darzustellen.

Knotenwerte picken

Damit können die Knotenwerte direkt am FEM-Modell angezeigt werden.

Eingabe Biegemoment

Das Biegemoment von 10 000 Nmm wird als Kräftepaar F_{X1} = 500 N und F_{X2} = -500 N mit einem Hebelarm von 20 mm in Z-Richtung definiert.



Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und im Drop-Down-Menü den Lasttyp "Biege- und Torsionsmoment".

In der neuen Dialogobx wählen Sie zuerst Menü "Schritt 1: Fläche selektieren" und klicken auf die Fläche 4 um alle Knotenpunkte dieser Fläche aufzulisten.



Biegemoment definieren

Aktivieren Sie "Biegemoment" und geben F_{X1} = 500 N und F_{X2} = -500 N sowie einen Z-Hebelarm Nr. 1 = 10 mm und einen Z-Hebelarm Nr.2 = -10 mm ein. Alle anderen Felder müssen Null sein.

MP-Knotenpunkt berechnen

Wählen Sie Menü "Alle Auswählen" um alle Knotenpunkte zu selektieren und deaktiveren Sie mit der Strg-Taste jedoch die beiden Mittelpunkte der Fläche. Geben Sie den MP-Abstand in X-Richtung = -20 mm ein und berechnen mit Menü "Schritt 2: MP mit Abstand berechnen" die MP-Koordinaten.

Biegemoment mit Kräftepaar und Hebelarm erzeugen

Wählen Sie jetzt das Menü "Schritt 3: Biegemoment mit Kräftepaar und Hebelarm" um das Biegemoment zu erzeugen.

Exaktes Ergebnis nach Roloff-Matek:

Die maximale v.Mises-Vergleichsspannung beträgt **11.99 N/mm**², dieser Wert stimmt auch gut mit der exakten Berechnung nach Roloff-Matek mit 11.47 N/mm² überein.





Eingabe Torsionsmoment

Das Torsionsmoment von 10000 Nmm kann ebenfalls durch ein Kräftepaar mit zwei gleich großen entgegengerichtete Kräfte $Fy_1 = 500$ N und $Fy_2 = -500$ N und einem Hebelarm von 20 mm in Z-Richtung ersetzt werden.



Diese Belastung können Sie einfach aus der vorigen Belastung erzeugen indem Sie mit "Editor" den Freiheitsgrad in X-Richtung FHG = 1 in Y-Richtung FHG = 2 ändern.

ng	FEM-Projet	kt bearbeiten	FEM-Analyse	Ergebnisauswertung	Training			
landl	▶ → bedingungen	1. Randbedi ☑ Randbedir	ingungen 👻 ngungen darstellen Knoten-Modus	Elementgruppen aktiviert	Materialdaten	Editor 6.	Belastungen	Temperatur
	Belastungen			- 0	×			
_	Nr.	Knoten	FHG	Wert				
	1	18370	2	500				
	2	18371	2	-500			-	
**			2					
Akt	ueller Lastfall: :ahl Lasten/pro	1 < I Lastfall: 2	> An	zahl Lastfälle: 1 Knotenlast]			
	Neuer Las	stfall erzeugen		Lastfälle überlagem				
	Lastfa	all löschen	Las	tfälle addieren und kopie	eren			
	Lastf	all-Faktor		Temperaturlast einlesen				
	Flächenla	st->Knotenlast		Freiheitsgrade ändem				1. 1. 1.

Exaktes Ergebnis nach Roloff-Matek:



Die maximale v.Mises-Vergleichsspannung beträgt **5.08 N/mm**², dieser Wert stimmt auch gut mit der exakten Berechnung nach Roloff-Matek mit 4.79 N/mm² überein.

