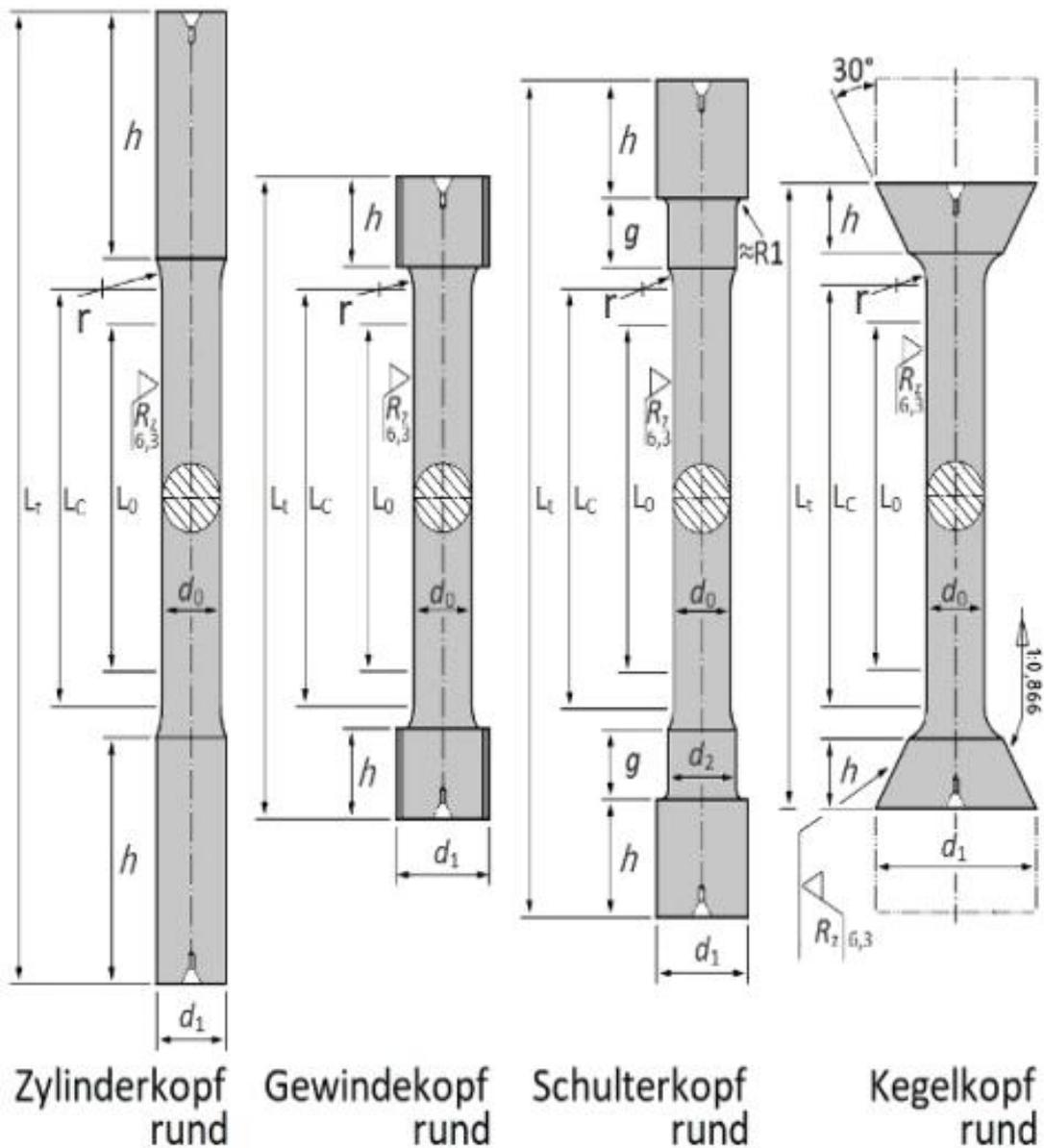


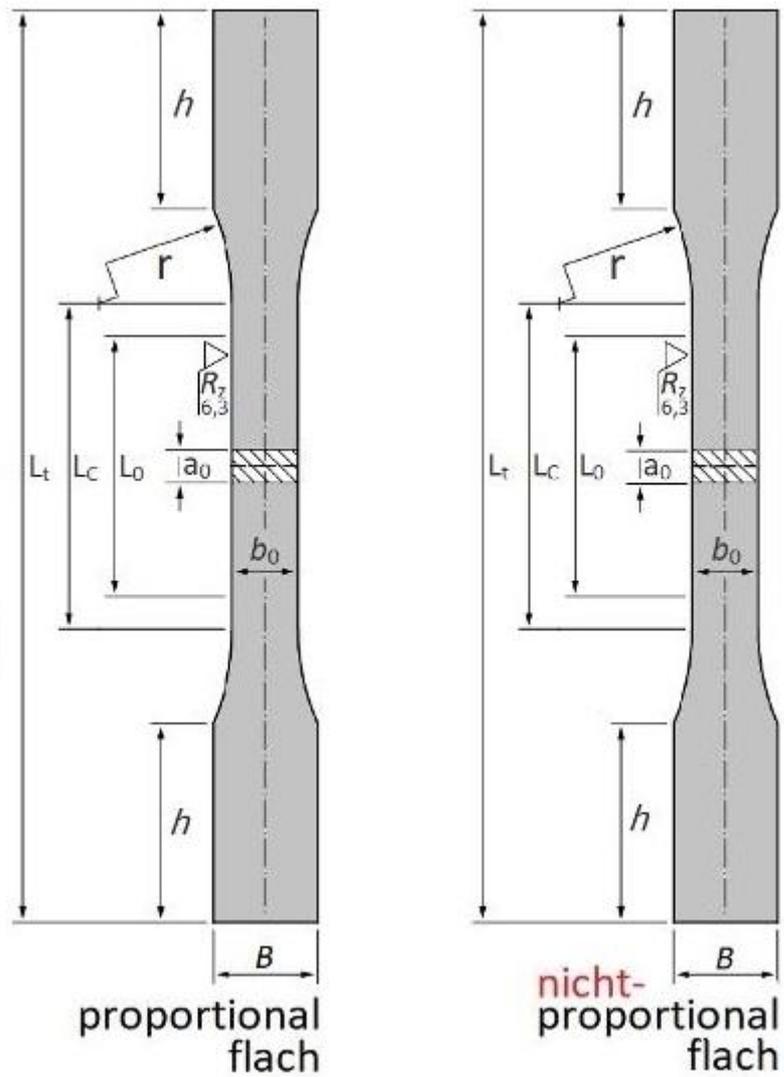
Kapitel 34 - Zugproben-Netzgenerator nach ISO 6892 / DIN 50125

Mit dem Zugproben-Netzgenerator des FEM-System MEANS V12 (www.femcad.de) ist es möglich Zugproben-Modelle aus linearen oder quadratischen Hexaedern, Pentaedern oder Tetraedern mit wenigen Eckdaten vollautomatisch zu generieren und mit einem Spannungs-Dehnungs-Diagramm nichtlinear zu berechnen.

Runde Zugproben:

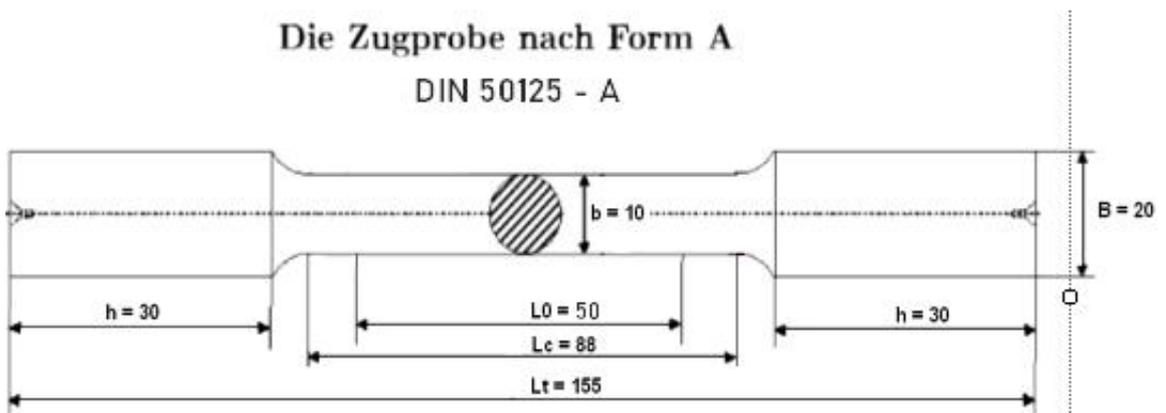


Flache Zugproben:



Zugproben-Beispiel:

Die Zugprobe nach Form A
DIN 50125 - A



Eingabe der Eckdaten in der Zugproben-Dialogbox:

Wählen Sie das Register „Netzgenerierung“ und das Untermenü „ZUGPROBE“ und geben folgende Eckdaten für die oben gezeigte Zugprobe ein:

Strukturdatei C:\projekte\nonlinear\solidgen\hex8nonl.fem



d_0	Probendurchmesser	=	<input type="text" value="8"/>
d_1	Kopfdurchmesser	=	<input type="text" value="20"/>
h	Kopfhöhe	=	<input type="text" value="30"/>
r	Übergangsradius	=	<input type="text" value="3.5"/>
L_0	Anfangsmesslänge	=	<input type="text" value="50"/>
L_c	Parallele Länge	=	<input type="text" value="88"/>
L_t	Gesamtlänge	=	<input type="text" value="155"/>
d_2	Durchmesser des Ansatzes	=	<input type="text" value="0"/>
g	Länge des Ansatzes	=	<input type="text" value="0"/>
a_0	Probendicke	=	<input type="text" value="0"/>
b_0	Probenbreite	=	<input type="text" value="0"/>
B	Kopfbreite	=	<input type="text" value="0"/>

Wählen Sie den Button „Erzeugung der Zugprobe mit SOLIDGEN“

Erzeugung der Zugprobe mit SOLIDGEN

um die Zugprobe mit dem Netzgenerator SOLIDGEN mit 6 Zylindern als Rotationsmodell mit einer Netzdichte:

Anzahl der Knotenpunkte in radiale Richtung X-ND = 6

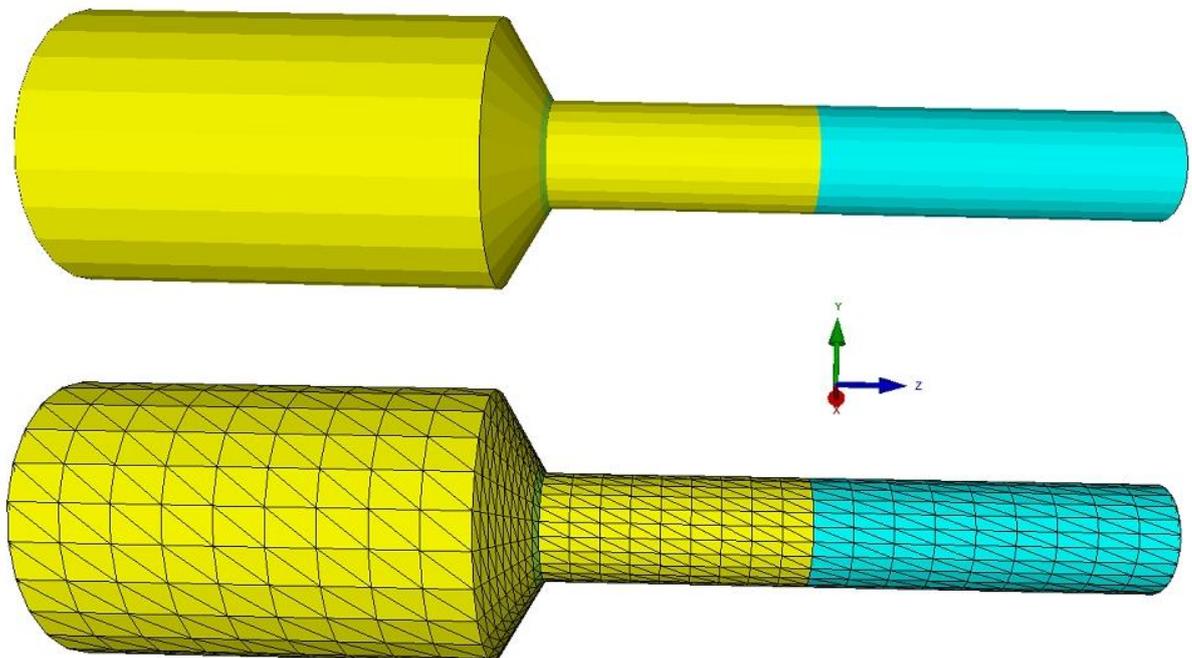
Anzahl der Knotenpunkte um den Umfang Y-ND = 24

Anzahl der 2D-Netze in die Z-Richtung Z-ND = 10

zu generieren.

Mesh-Density:	X-ND-CYL:	<input type="text" value="6"/>	Y-ND-CYL:	<input type="text" value="24"/>	Z-ND-CYL:	<input type="text" value="10"/>	X-ND-QU:	<input type="text" value="0"/>			
Number of Element Groups:	<input type="text" value="6"/>	Start-Angel:	<input type="text" value="0"/>	End-Angel:	<input type="text" value="360"/>	Y-ND-QU:	<input type="text" value="0"/>				
Zylinder 1											
Di:	<input type="text" value="0"/>	Da:	<input type="text" value="8"/>	X-MP:	<input type="text" value="0"/>	Y-MP:	<input type="text" value="0"/>	X-V4:	<input type="text" value="0"/>	NGR:	<input type="text" value="1"/>
Z-MP:	<input type="text" value="0"/>	Z-L:	<input type="text" value="30"/>	X-V3:	<input type="text" value="8"/>	Y-V3:	<input type="text" value="0"/>	Y-V4:	<input type="text" value="0"/>	Name	<input type="text" value=""/>
Zylinder 2											
X-V1:	<input type="text" value="8"/>	Y-V1:	<input type="text" value="20"/>	X-V2:	<input type="text" value="0"/>	Y-V2:	<input type="text" value="0"/>	X-V4:	<input type="text" value="0"/>	NGR:	<input type="text" value="1"/>
Z-MP:	<input type="text" value="0"/>	Z-L:	<input type="text" value="30"/>	X-V3:	<input type="text" value="20"/>	Y-V3:	<input type="text" value="0"/>	Y-V4:	<input type="text" value="0"/>	Name	<input type="text" value=""/>
Zylinder 3											
Di:	<input type="text" value="0"/>	Da:	<input type="text" value="8"/>	X-MP:	<input type="text" value="0"/>	Y-MP:	<input type="text" value="0"/>	X-V4:	<input type="text" value="0"/>	NGR:	<input type="text" value="1"/>
Z-MP:	<input type="text" value="30"/>	Z-L:	<input type="text" value="3.5"/>	X-V3:	<input type="text" value="8"/>	Y-V3:	<input type="text" value="0"/>	Y-V4:	<input type="text" value="0"/>	Name	<input type="text" value=""/>
Zylinder 4											
Di:	<input type="text" value="8"/>	Da:	<input type="text" value="20"/>	X-MP:	<input type="text" value="0"/>	Y-MP:	<input type="text" value="0"/>	X-V4:	<input type="text" value="0"/>	NGR:	<input type="text" value="1"/>
Z-MP:	<input type="text" value="30"/>	Z:	<input type="text" value="3.5"/>	X-V3:	<input type="text" value="8"/>	Y-V3:	<input type="text" value="0"/>	Y-V4:	<input type="text" value="0"/>	Name	<input type="text" value=""/>
Zylinder 5											
Di:	<input type="text" value="0"/>	Da:	<input type="text" value="8"/>	X-MP:	<input type="text" value="0"/>	Y-MP:	<input type="text" value="0"/>	X-V4:	<input type="text" value="0"/>	NGR:	<input type="text" value="1"/>
Z-MP:	<input type="text" value="33.5"/>	Z-L:	<input type="text" value="19"/>	X-V3:	<input type="text" value="8"/>	Y-V3:	<input type="text" value="0"/>	Y-V4:	<input type="text" value="0"/>	Name	<input type="text" value=""/>
Zylinder 6											
Di:	<input type="text" value="0"/>	Da:	<input type="text" value="8"/>	X-MP:	<input type="text" value="0"/>	Y-MP:	<input type="text" value="0"/>	X-V4:	<input type="text" value="0"/>	NGR:	<input type="text" value="2"/>
Z-MP:	<input type="text" value="52.5"/>	Z-L:	<input type="text" value="25"/>	X-D:	<input type="text" value="8"/>	Y-D:	<input type="text" value="0"/>	Y-V4:	<input type="text" value="0"/>	Name	<input type="text" value=""/>

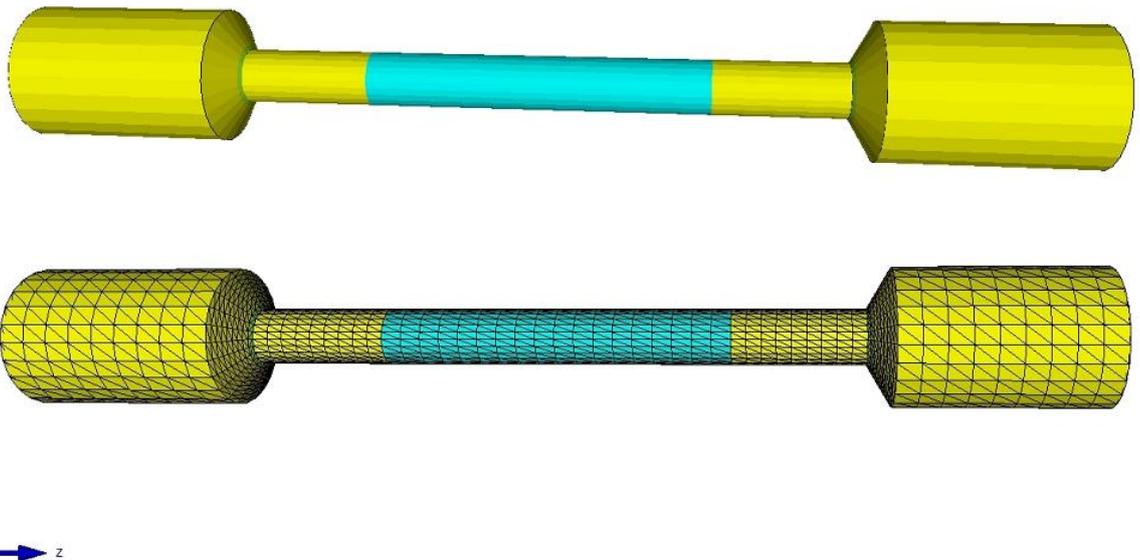
Wählen Sie Menü „HEX8-Meshing“ um ein lineares FEM-Modell aus 6480 HEX8- und 923 PEN6-Elementen sowie 6637 Knotenpunkte und 3 Elementgruppen zu erzeugen.





Modell spiegeln

Wählen Sie Menü „Spiegeln“ um ein FEM-Modell aus 12 960 HEX8-Elementen und 13 153 Knotenpunkten und 3 Elementgruppen zu erzeugen.



Umwandlung in ein TET4-Netz

Wählen Sie das Menü „HEX8->TET4“ um das FEM-Modell in ein Tetraeder-Netz umzuwandeln.

Verfeinerung

Wählen Sie das Menü „Verfeinern“ um aus dem Tetraeder-Netz ein 8x feineres Netz zu erzeugen

Erhöhung der Genauigkeit

Für eine höhere Genauigkeit kann das FEM-Modell später im Quick-Solver in ein quadratisches TET10- oder HEX20- und PEN15-Netz umgewandelt werden.

Lastfall erzeugen

Definieren Sie in der Zugproben-Dialogbox eine aufsteigende Axial-Belastung in Z-Richtung mit einer Start-Last von 6000 N und einer Last-Erhöhung von 500 N und 15 Lastinkrementen am Zugproben-Anfang bei $Z = 0$ mm.

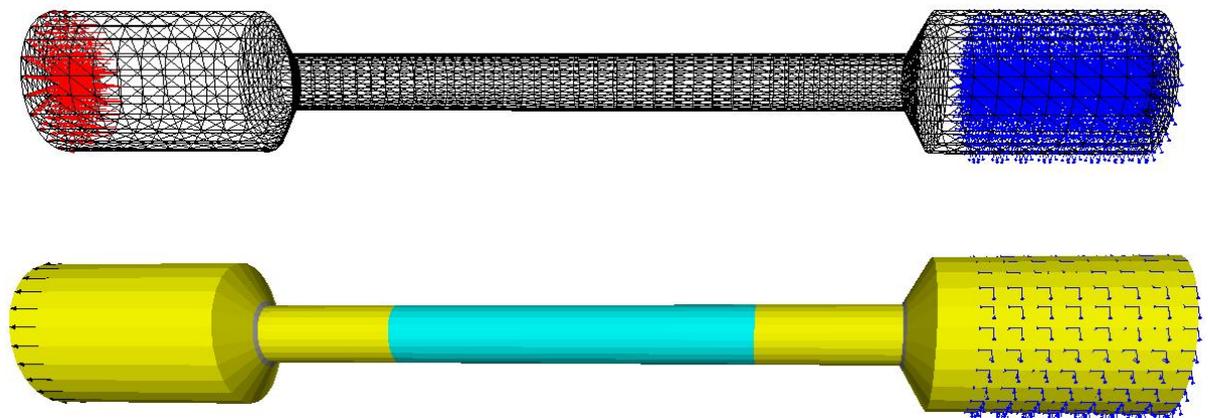
Wählen Sie „Einfügen“ um mit feineren Lastfall-Schritten z.B. den Bereich der Streckgrenze genauer untersuchen zu können.

d_0	Probendurchmesser	=	8
d_1	Kopfdurchmesser	=	20
h	Kopfhöhe	=	30
r	Übergangsradius	=	3.5
L_0	Anfangsmesslänge	=	50
L_c	Parallele Länge	=	88
L_t	Gesamtlänge	=	155
d_2	Durchmesser des Ansatzes	=	0
g	Länge des Ansatzes	=	0
a_0	Probendicke	=	0
b_0	Probenbreite	=	0
B	Kopfbreite	=	0

Start-Last = 6000 Erhöhung = 300
 Last-Inkmente = 15 Neu Einfügen
 Einspanntiefe = 25
 E-Modul = 210000 Poisson-Zahl = 0.3

Einspannung erzeugen

Definieren Sie eine Einspannung in X-, Y- und Z-Richtung mit einer Einspanntiefe von 25 mm am Zugproben-Ende bei $Z = 155$ mm.

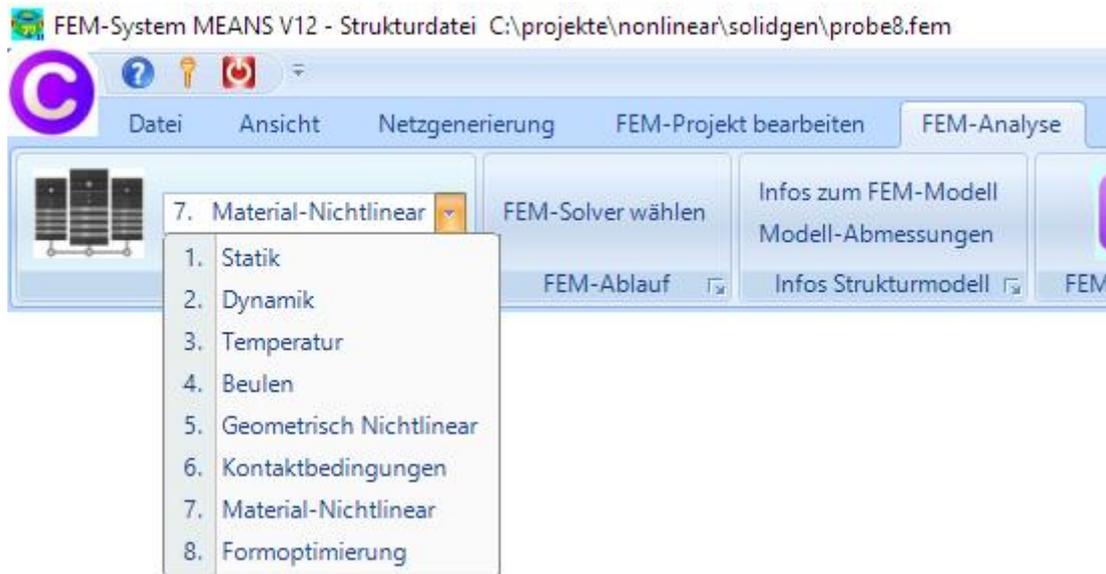


Materialdaten erzeugen

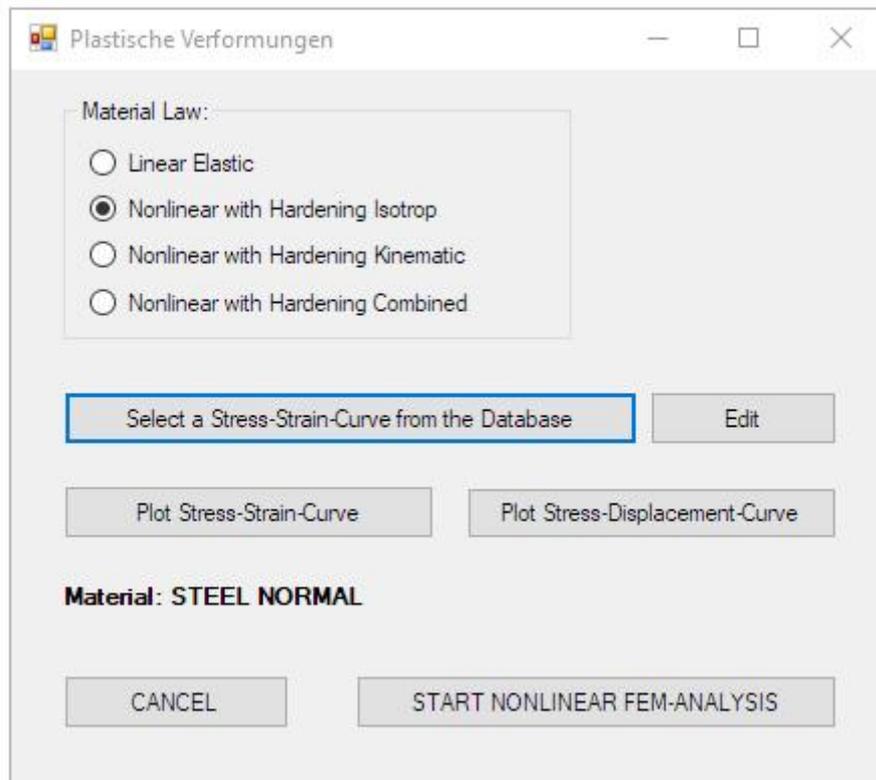
Definieren Sie mit einem E-Modul von 210 000 N/mm² und einer Poisson-Zahl von 0.3 für den Werkstoff Stahl, der auch immer voreingestellt ist.

Nichtlineare FEM-Analyse

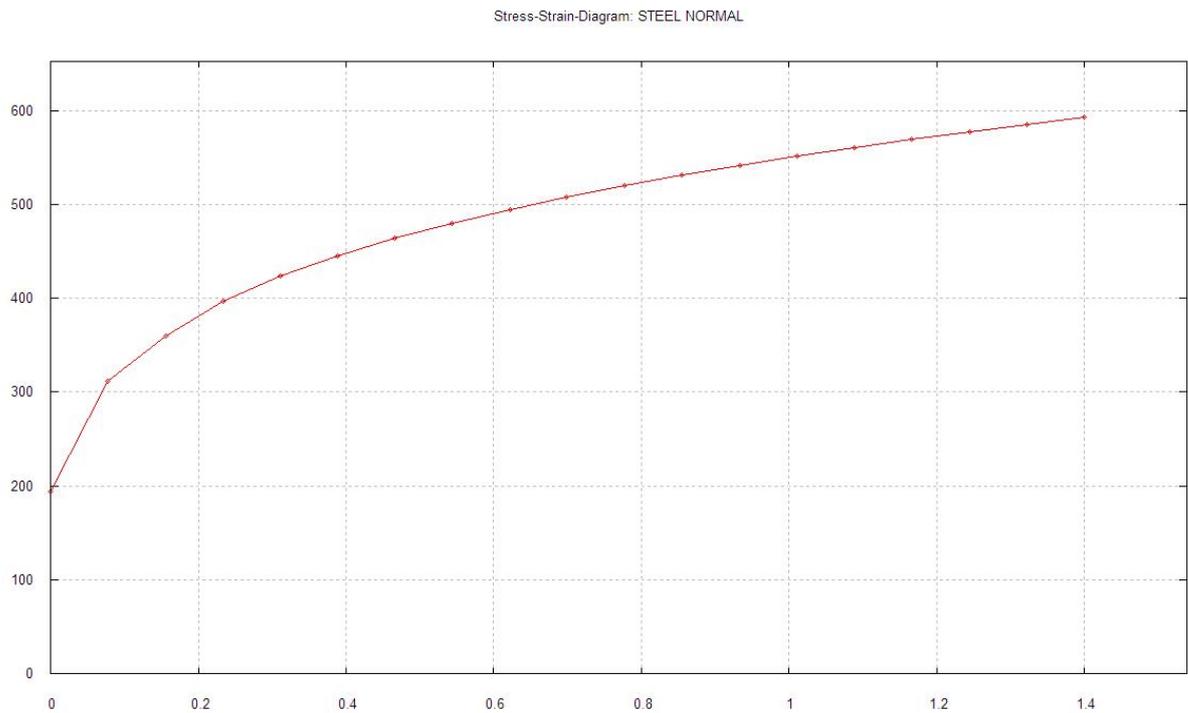
Wählen Sie das Register „FEM-Analyse“ und Menü „Material-Nichtlinear“.



Wählen Sie die FEM-Analyse „Nonlinear with Hardening Isotrop“ sowie das Spannung-Dehnungs-Diagramm „STEEL NORMAL“.



Wählen Sie „Plot Stress-Strain-Curve“ um die Stress-Strain-Kurve anzuzeigen:



STEEL NORMAL

Die Verformungen und die Spannungen steigen bis zur Streckgrenze von 190 N/mm² gleichmäßig an (= Hook'sche Gerade) danach beginnen die plastischen Verformungen mit einer Abflachung der Kurve, d.h. die Dehnungen nehmen stärker zu als die Spannungen.

Die Kurve kann auch mit einem beliebigen Texteditor und Menü „Edit“ editiert werden:

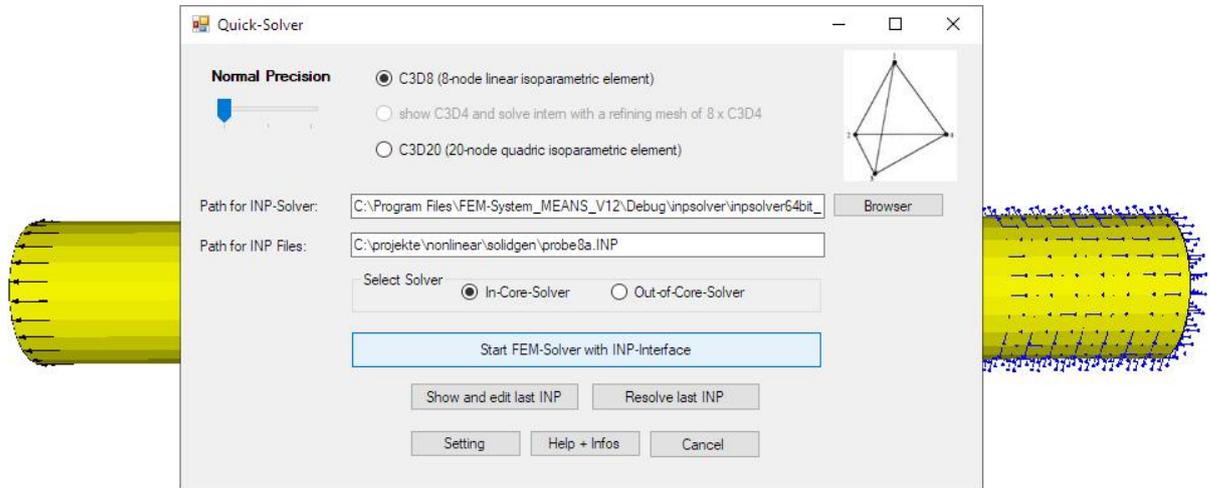
STEEL NORMAL

0.00000000E+00	1.94000000D+02
0.07770000E+00	3.11210000D+02
0.15550000E+00	3.59950000D+02
0.23300000E+00	3.96540000D+02
0.31100000E+00	4.23890000D+02
0.38800000E+00	4.45580000D+02
0.46600000E+00	4.63940000D+02
0.54400000E+00	4.80260000D+02
0.62200000E+00	4.94950000D+02
0.69900000E+00	5.08310000D+02
0.77700000E+00	5.20260000D+02
0.85500000E+00	5.31420000D+02
0.93300000E+00	5.41870000D+02
1.01100000E+00	5.51710000D+02
1.08800000E+00	5.60910000D+02
1.16600000E+00	5.69560000D+02
1.24400000E+00	5.77820000D+02
1.32200000E+00	5.85720000D+02
1.39900000E+00	5.93280000D+02

-END-

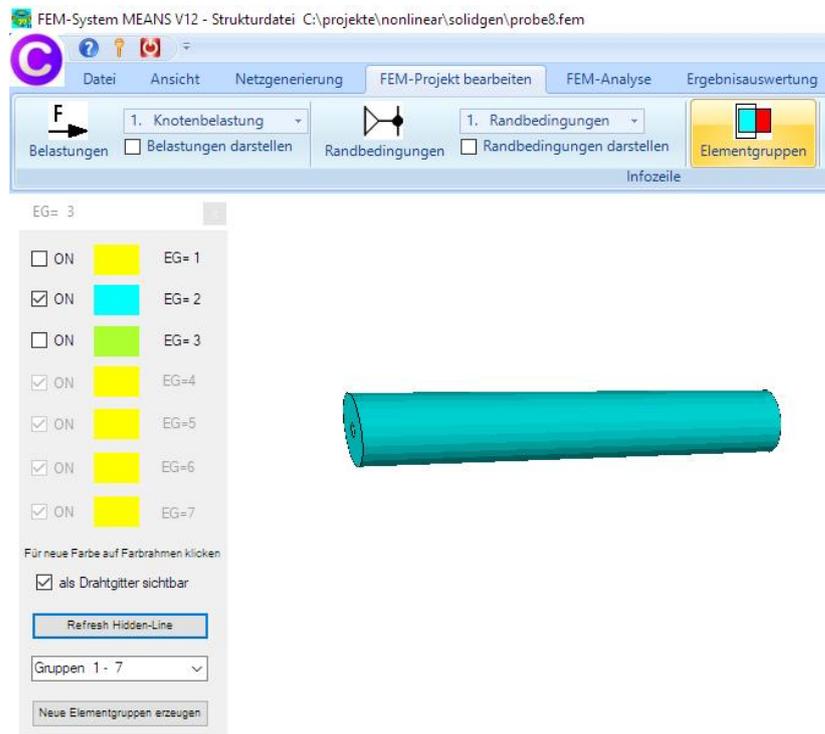
Quick-Solver starten

Wählen Sie den Button „START NONLINEAR FEM-ANALYSE“ um den Quick-Solver mit der Einstellung „C3D8 (8-node linear isoparametric element)“ zu starten.



Spannungs-Dehnungsdiagramm für Elementgruppe 2

Blenden Sie mit Register „FEM-Projekt bearbeiten“ nur die Elementgruppe 2 ein damit nur die Ergebnisse der Anfangsmesslänge L_0 und keine Sekundärspannungen mitausgewertet werden.



Spannungs-Dehnungs-Diagramm anzeigen

Nach der nichtlinearen FEM-Berechnung können Sie zuerst mit dem Register „Ergebnisauswertung“ und „Stress-Strain-Diagramm“ die wichtige Spannungs-Dehnungs-Kurve darstellen.



Anfangsmesslänge L0 einstellen

Geben Sie in der Dialogbox die Anfangsmesslänge $L_0 = 50$ mm ein und wählen den Button „Starten“ damit die Verformungen, die Vergleichsspannung $v.Mises$ sowie die Belastung pro Lastinkremente eingelesen und in der Tabelle übersichtlich angezeigt werden.

Zusätzlich werden die Dehnungen (=Strain) aus den Verformungen dividiert durch L_0 ausgegeben.

Erstellung eines Spannungs-Dehnungs-Diagramms

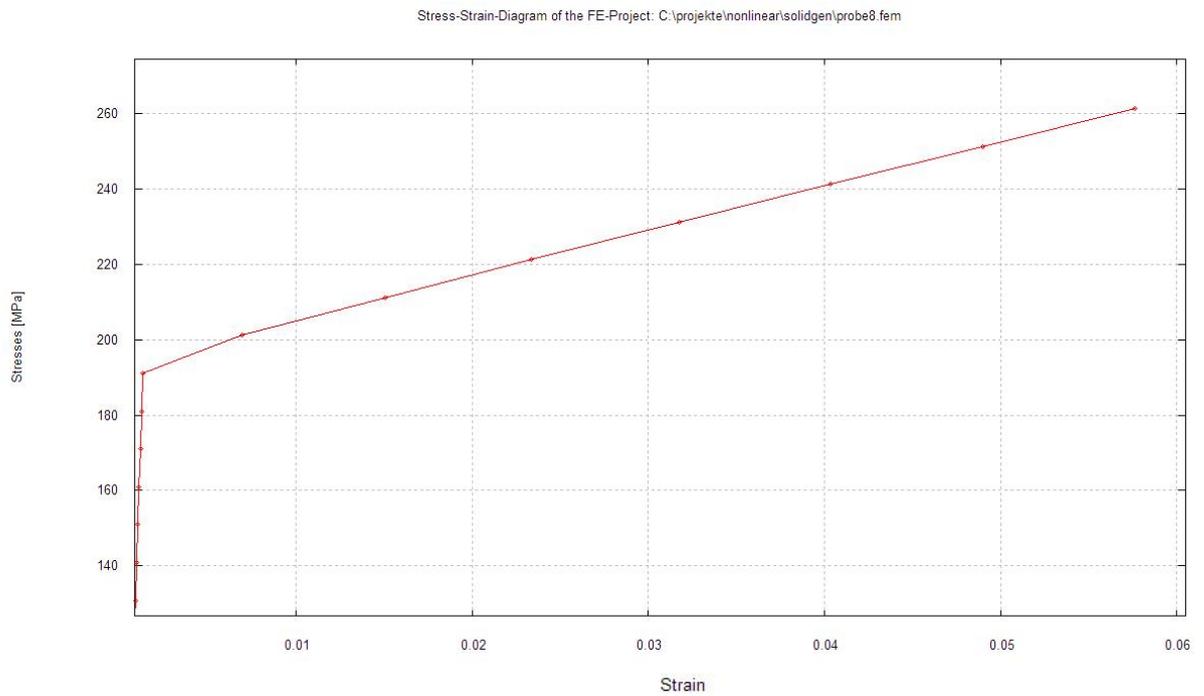
Anzahl Lastfälle = 15 Knoten für Verformungen = Max in Z FEM-File: C:\projekte\nonlinear\solidgen\probe8.fem
 Ausgangslänge L0 = 50 Knoten für Spannungen = Max v.Mises Result-File: C:\projekte\nonlinear\solidgen\probe8.FRD

LF	Knoten	X-Verformung	Y-Verformung	Z-Verformung	Dehnung=Verf./L0	Knoten	Spannung	Last FX	Last FY	Last FZ
1	1002	0.00	0.00	0.04025	.000805084	6890	120.74	0.00	0.00	6000.01
2	520	0.00	0.00	0.04361	.000872174	283	130.80	0.00	0.00	6500.02
3	519	0.00	0.00	0.04696	.000939264	283	140.86	0.00	0.00	6999.98
4	519	0.00	0.00	0.05032	.001006354	6906	150.92	0.00	0.00	7499.98
5	519	0.00	0.00	0.05367	.001073444	6905	160.98	0.00	0.00	7999.98
6	517	0.00	0.00	0.05703	.00114055	6895	171.04	0.00	0.00	8499.98
7	1016	0.00	0.00	0.06040	.001207946	6908	181.10	0.00	0.00	8999.99
8	519	0.00	0.00	0.06379	.001275722	6892	191.17	0.00	0.00	9499.99
9	297	0.00	0.00	0.34601	.00692028	482	201.18	0.00	0.00	10000.00
10	293	0.00	0.00	0.75190	.01503806	482	211.20	0.00	0.00	10499.98
11	283	0.01	0.01	1.16627	.0233254	489	221.23	0.00	0.00	11000.01
12	296	-0.01407	-0.01407	1.58948	.0317896	487	231.26	0.00	0.00	11499.99
13	283	0.01256	0.01256	2.01815	.040363	489	241.30	0.00	0.00	12000.03
14	290	0.02152	0.02152	2.44945	.048989	490	251.35	0.00	0.00	12499.99
15	298	-0.03456	-0.03456	2.88215	.057643	490	261.39	0.00	0.00	13000.04

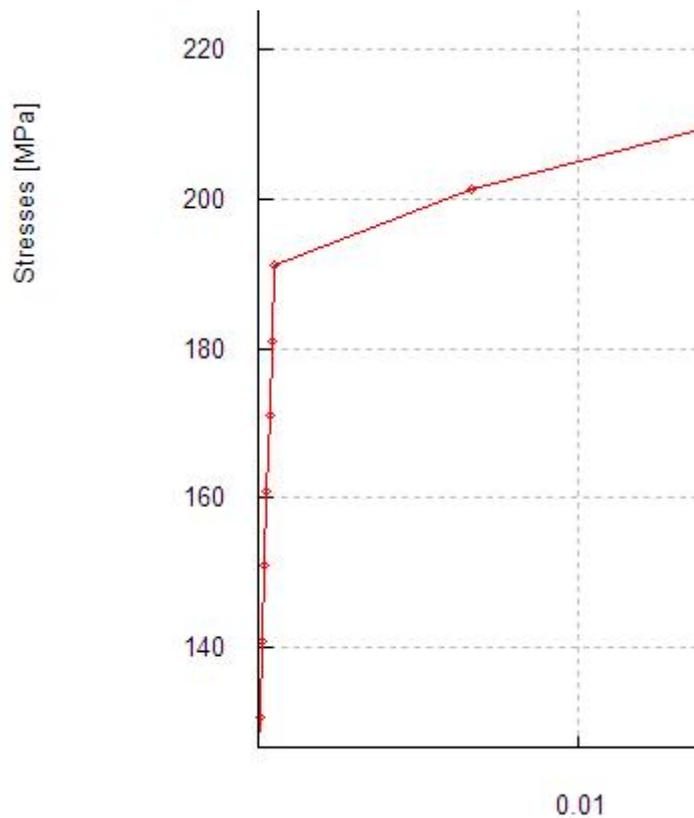
Fertig, die Diagramme können nun dargestellt werden!

Stress-Strain-Diagramm

Wählen Sie den Button „Diagramm darstellen und auswählen mit“ sowie „Stress-Strain“ um das Diagramm mit GNUPLOT darzustellen.

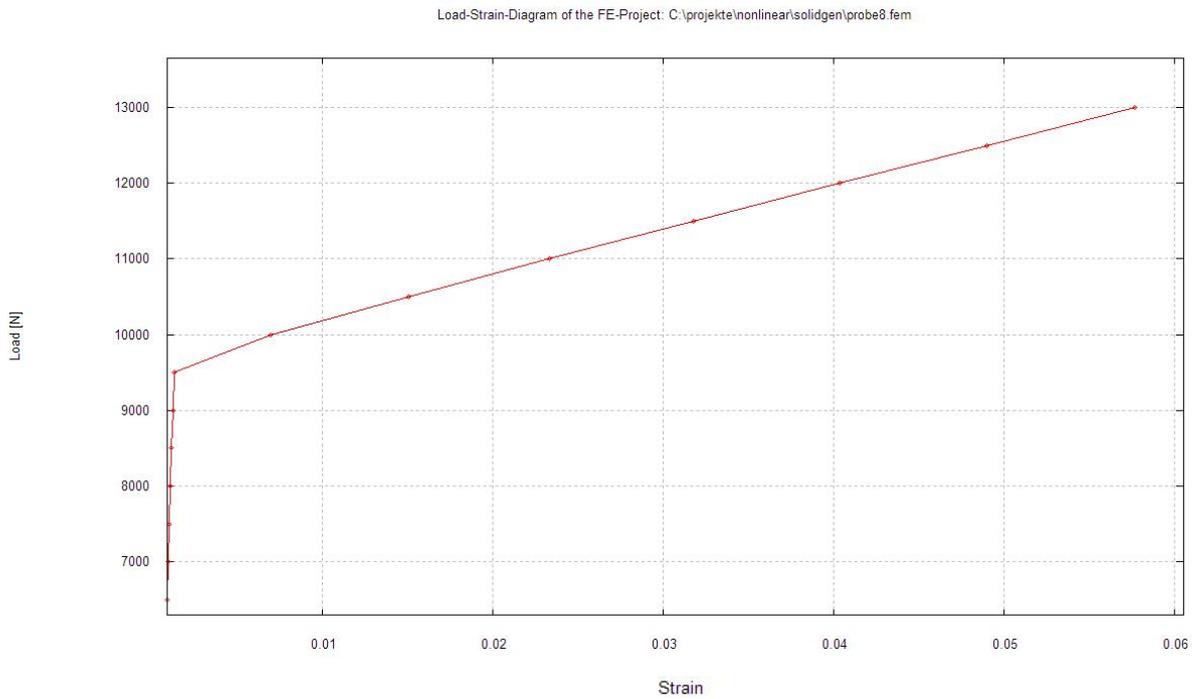


Die plastischen Verformungen beginnen ab der Streckgrenze von 190 N/mm²

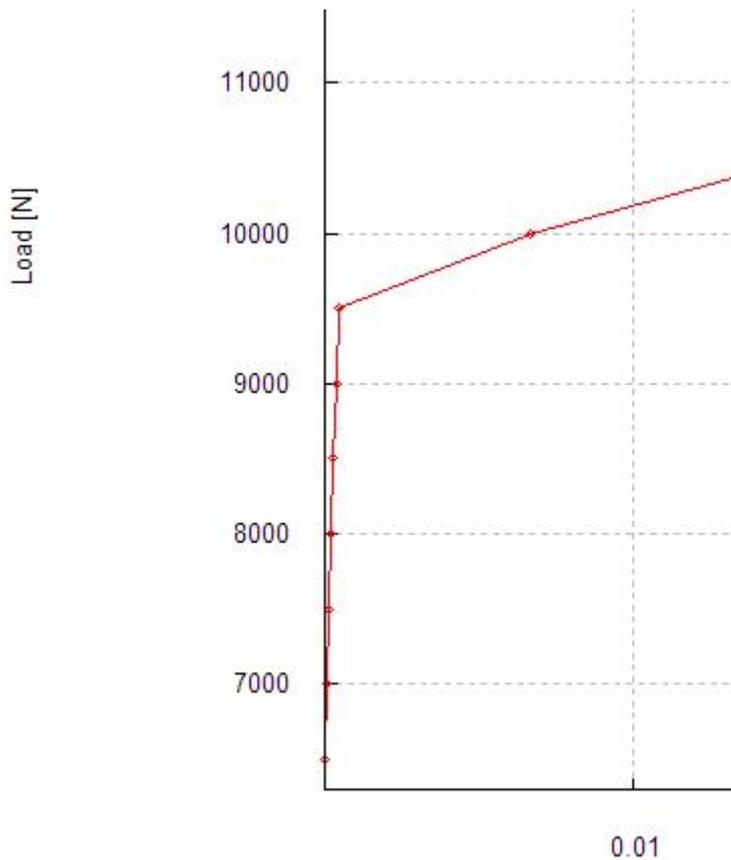


Load-Strain-Diagramm

Wählen Sie den Button „Diagramm darstellen und auswählen mit“ sowie „Load-Strain“ um das Diagramm mit GNUPLOT darzustellen.

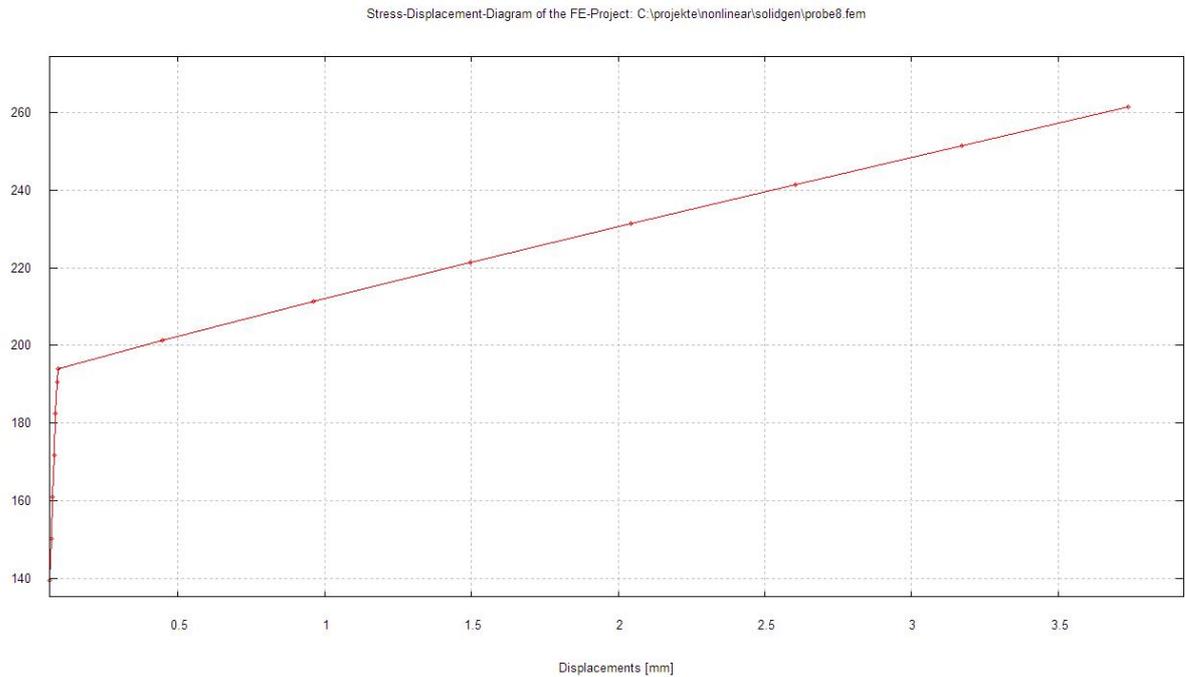


Die plastischen Verformungen beginnen ab einer Axial-Belastung von 9500 N



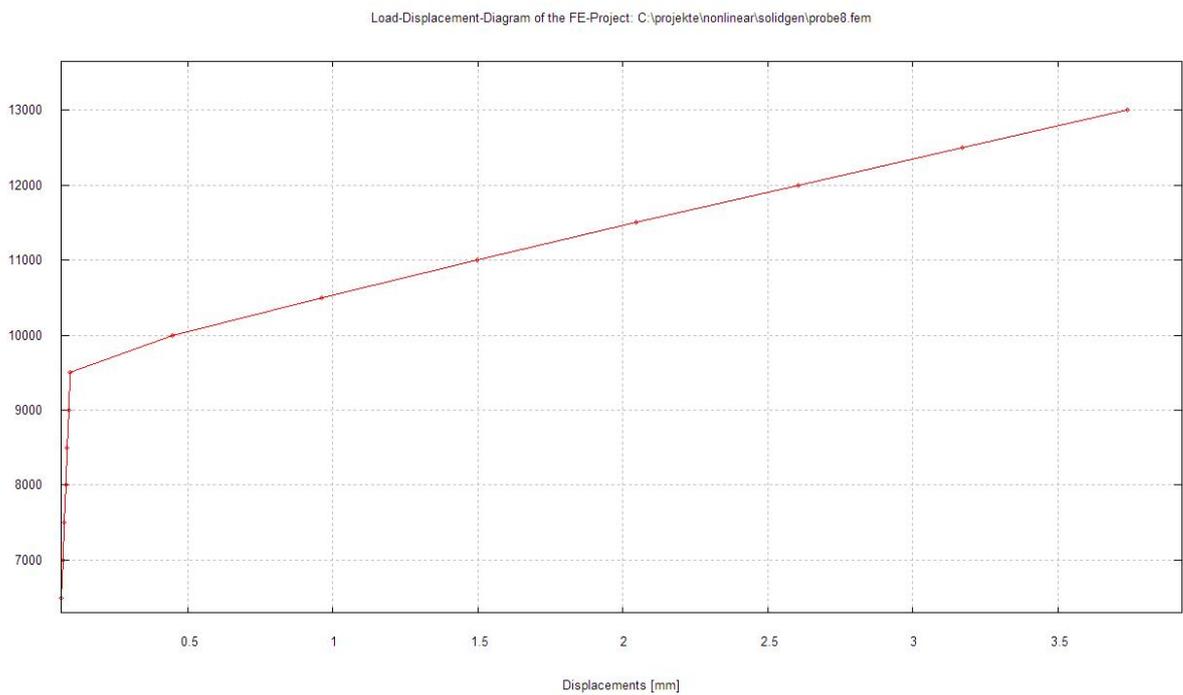
Stress-Displacement-Diagramm

Wählen Sie den Button „Diagramm darstellen und auswählen mit“ sowie „Stress-Displacement“ um das Diagramm mit GNUPLOT darzustellen.



Load-Displacement-Diagramm

Wählen Sie den Button „Diagramm darstellen und auswählen mit“ sowie „Load-Displacement“ um das Diagramm mit GNUPLOT darzustellen.

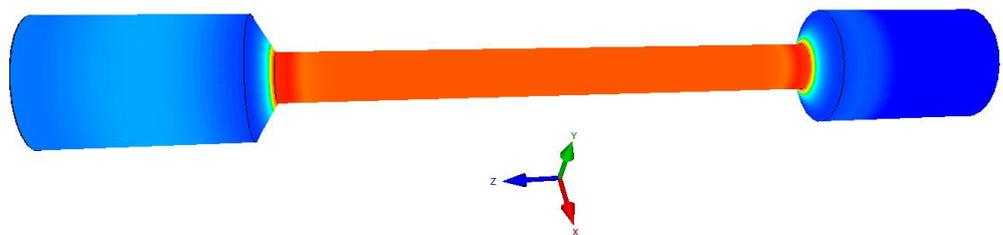
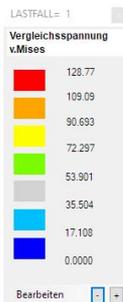


Spannungsverteilung darstellen

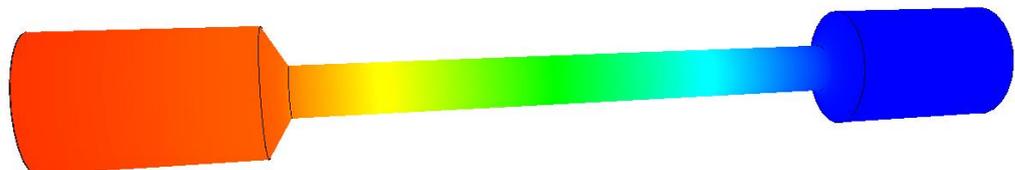
Wählen Sie das Register „Ergebnisauswertung“ und „Knotenspannungen“ um die v.Mises-Spannungs- oder Verformungsverteilung für Lastfall 1-15 darzustellen.

Lastfall 1

v.Mises-Spannung = 128 N/mm²



Verformungen in Z-Richtung = 0.05 mm



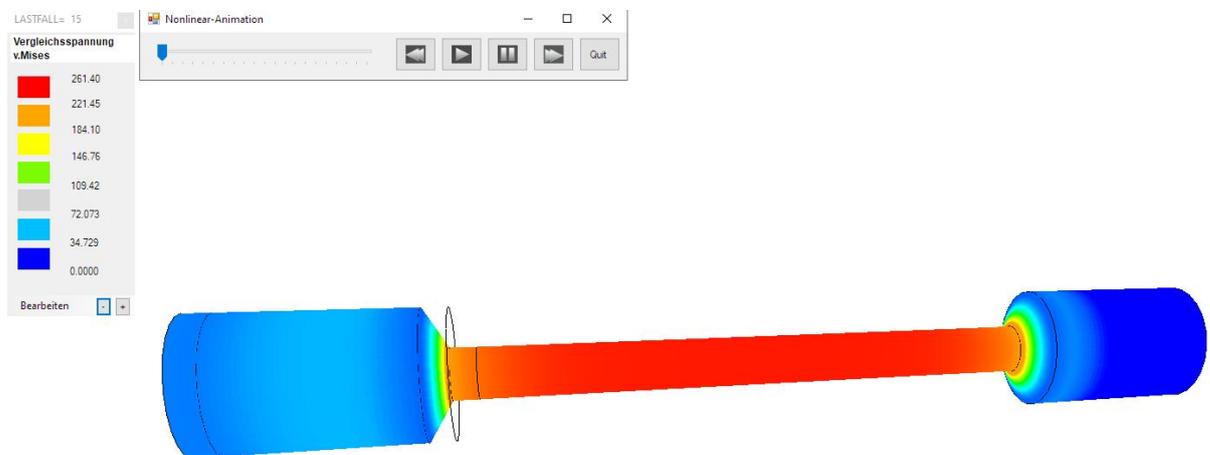
Nichtlineare Animation

Wählen Sie Register „Ergebnisauswertung“ und „Nonlinear-Animation“ um alle Lastfälle nacheinander zu animieren.



Lastfall 15

v.Mises-Spannung = 261 N/mm²



Verformungen in Z-Richtung = 3.73 mm

