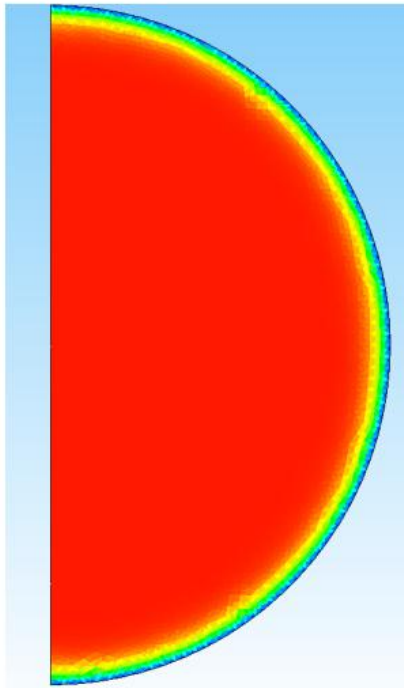


Kapitel 16: Instationäre Temperatur-Analyse mit MEANS V11

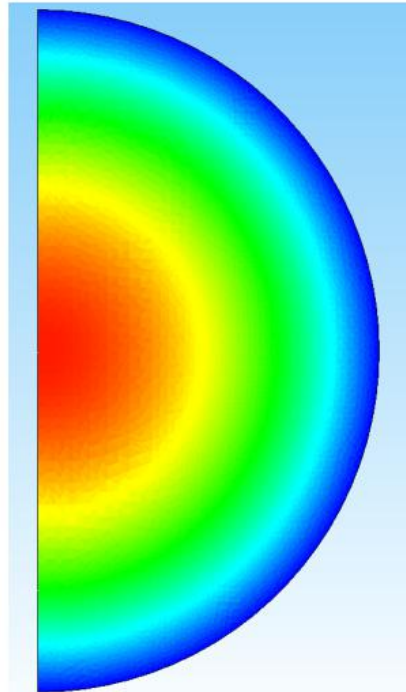
Was ist eine Instationäre Temperaturverteilung

Unter instationärer Wärmeleitung wird die Erwärmung und Kühlung von festen Körpern verstanden, die Temperatur ist also abhängig von der Zeit.

Zeitschritt 1 - 0.1 sec



Zeitschritt 25 - 664 sec



Materialdaten für die instationäre Temperatur:

Dichte ρ

Die Dichte ρ ist der Quotient aus Masse und Volumen: $\rho = m/V$. Wichtige Dichten sind: Aluminium = 2700 kg/m³, Stahl = 7800 kg/m³, Luft = 1.204 kg/m³, Wasser = 997 kg/m³, Eis = 920 kg/m³ (Eis ist immer leichter als Wasser)

Wärmeleitfähigkeit λ

Unter Wärmeleitung versteht man den Transport von Wärme in einem Medium ohne Stofftransport (wie beispielsweise bei der Konvektion). Wichtige Wärmeleitfähigkeiten sind Aluminium = 220 W/(mK), Stahl = 40 W/(mK), Luft = 0.0181 W/(mK), Wasser = 0.6 W/(mK), Eis = 2.13 W/(mK)

Spezifische Wärmekapazität C

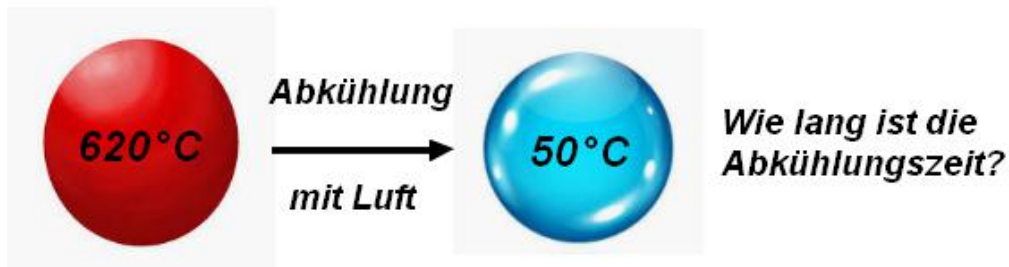
Die spezifische Wärmekapazität - welche in Formeln als "C" bezeichnet wird - ist eine Stoffkonstante. Sie gibt an, wie viel Wärme von einem Körper aufgenommen oder abgegeben werden muss, damit sich die Temperatur von 1kg des Stoffes um 1°C ändert. Wichtige spez. Wärmekapazitäten sind Aluminium = 895 J/(kg·K), Stahl = 540 J/(kg·K), Luft = 1010 J/(kg·K), Wasser = 4190 J/(kg·K), Eis = 2060 J/(kg·K)

Gesamtzeit, Zeitschritt und Starttemperatur

Weiterhin ist die Eingabe der Gesamtzeit in Sekunden sowie der Zeitschritt und die Starttemperatur in °C erforderlich.

Beispiel 1: Abkühlung von Metallkugeln

Das folgende Beispiel stammt aus dem Buch "Praxis der Wärmeübertragung" von Rudi Marek, ISBN 978-3-446-46124-6 und wird mit dem Ergebnis von MEANS V11 verglichen.



In der Kugellagerfabrik von Eddy Eckig sollen Metallkugeln

Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 40 \text{ W/(m K)}$

Dichte $\rho = 7600 \text{ kg/m}^3$

$C_p = 474 \text{ J / (kg K)}$

$D = 24 \text{ mm}$

von der Anfangstemperatur $\vartheta_o = 620 \text{ °C}$ in einem Luftstrom mit dem

Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha = 80 \text{ W / (m}^2 \text{ K)}$ und der

Umgebungstemperatur $\vartheta_K = 20 \text{ °C}$

auf die Endtemperatur $\vartheta_E = 50 \text{ °C}$ abgekühlt werden.

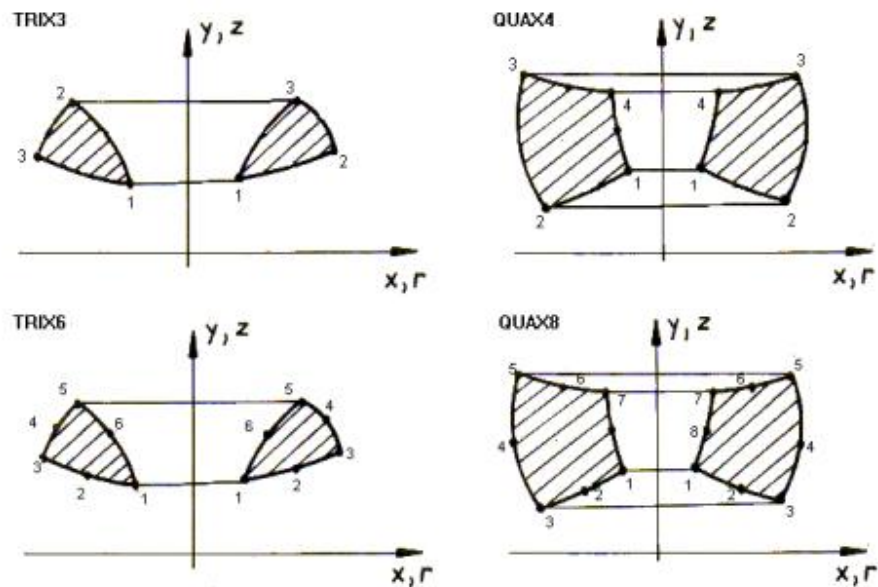
Berechnen Sie die dafür notwendige Abkühlzeit t

Abkühlungszeit nach Marek-Buch = 8.99 Minuten

2D-Berechnung


FEM-Modell

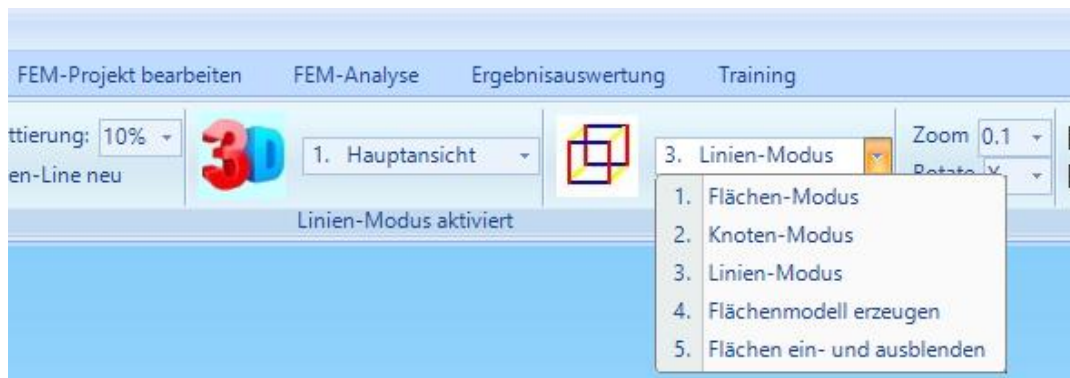
Da die Metallkugel eine rotationssymmetrische Kugel ist kann die Berechnung mit den axialsymmetrischen Rotationsscheiben TRIX6 und QUAX8 erheblich vereinfacht werden.



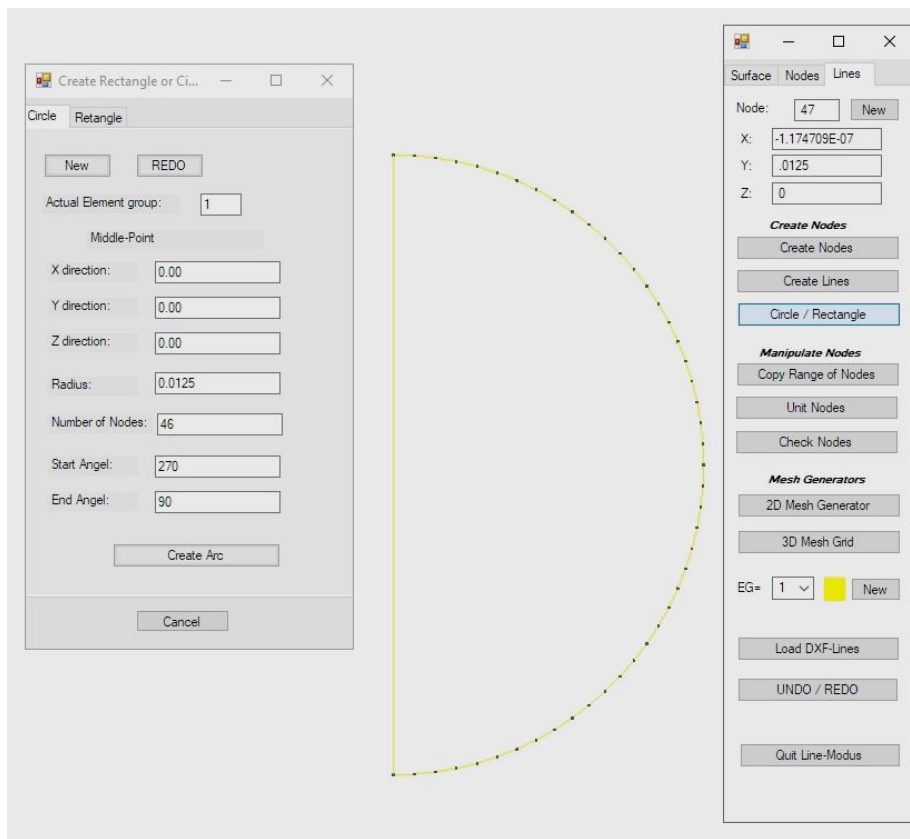
Kreisbogen erzeugen



Starten Sie über das Desktop-Icon  das Prgramm „MEANS V11 für DirectX11“ und schalten mit der Registerkarte „Ansicht“ und dem Dropdownmenü „Linien-Modus“ den Linien-Modus ein. Es erscheint auf der rechten Seite ein neues Seitenmenü, wählen Sie hier das Menü „Kreisbogen erzeugen“ um einen halben Kreisbogen mit dem Radius = 0.0125 m von 270 Grad - 90 Grad zu erzeugen:



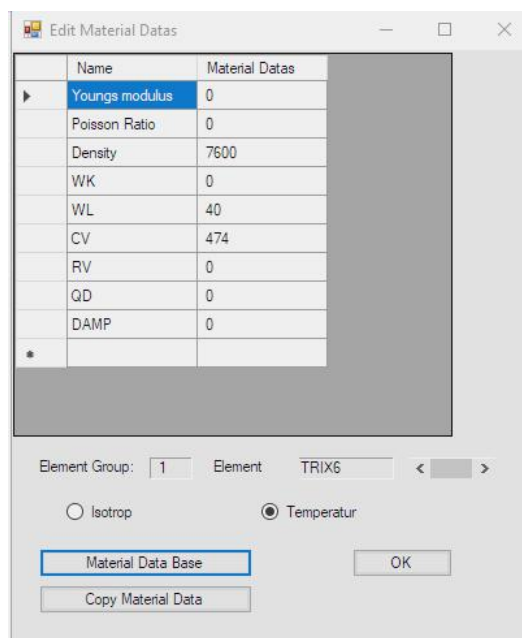
Dannach wählen Sie „Linie erzeugen“ um die Knoten 47 und 1 mit einer Linie zu verbinden. Zum Schluß wählen Sie Menü „2D Netzgenerator“ um ein TRIX3-Netz zu generieren.



Materialdaten



Wählen Sie das Register "FEM-Projekt bearbeiten" und das Icon und übernehmen aus der selbst erweiterbaren Materialdatenbank das Material "Stahl" mit der Dichte von 7600 kg/m^3 , der Wärmeleitfähigkeit von 40 W/mk und der Spezifische Wärmekapazität von 474 J/(kgK) .



Wählen Sie "Materialdatenbank" um die Materialdaten für Stahl zu übernehmen:

Material-Datenbank

Werkstoff: Dichte (kg/m³): spez. Wärmekapazität (J/kgK):

E-Modul (N/m²): Wärmeausdehnungskoeffizient:

Poisson-Zahl: Wärmeleitfähigkeit (W/mK): Sortieren nach:

Buttons: Add, Delete, Save, **Material übernehmen**, Datenbank einladen, Datenbank sichern, Meter Millimeter, Beenden

Werkstoff	E-Modul	Poisson-Zahl	Dichte	Wärmeausdehnungskoeffizient	Wärmeleitfähigkeit	spez. Wärmekapazität
Keramik	16000000000	.3	2100	0.00003	2.5	920
Klinker	27000000000	.3	0	0.000058	0.1	0
Konstantan	163000000000	0.33	8900	0	0	0
Kupfer	123000000000	.35	8933	0.000016	401	385
Lithium	4910000000	0.36	535	0.000058	84.7	3482
Luranyl	2500000000	0.29	1090	0	0	0
Magnesium	44000000000	.28	1740	0.000024	156	1046
Marmor	72000000000	.3	2600	0	2.8	0
Messing	103000000000	0.35	8100	0.0000183	120	120
Neusilber	110000000000	0.37	8300	0	0	0
Nickel	205000000000	0.44	11340	0.000028	35	35
PBT CRAFTIN T341 FR	3900000000	0.32	1540	0	0.26	0.185
PBT Ultradur B 4406	30000000000	0.32	1450	0	0.185	0
PBT Ultradur B 4406 GF-10	55000000000	0.32	1500	0	0	0
Platin	170000000000	0.39	21400	0.0000088	71	133
Plexiglas	32000000000	0.35	1200	0	0	0
Polyamid 66	31000000000	0.32	1140	0.0001	0.23	0
Polystyrol	32000000000	0.35	1050	0	0.032	1250
Porzellan	58000000000	0.23	2300	0.000003	0	0
Silber	79000000000	0.371	10500	0.0000189	429	234
Silikon	9300000000	0.44	11340	0.000017	35	35
Silizium	210000000000	0.28	6300	0.000012	84.7	50
Stahl Chromnickel	200000000000	0.37	7900	0	0	0
Stahl Federstahl	220000000000	0.29	7900	0	0	0
Stahl legiert (1 °C)	210000000000	0.28	6300	0.000011	50	520
Stahl unlegiert (1 °C)	210000000000	0.28	6300	0.000011	50	490
Stahl-Nickel	210000000000	0.31	8800	0	0	0
Stahl	210000000000	0.3	7600	0.00001	40	474
Titan	110000000000	0.36	0	0	0	0
Vanadium	130000000000	0.36	0	0	0	0
Vulkanfaser	49000000000	0.36	0	0	0	0
Wolfram	390000000000	0.29	19300	0	0	0
Zelluloid	25000000000	0.29	0	0	0	0
Zink	98000000000	0.25	7000	0.00003	110	110
Zinn	55000000000	0.33	7200	0.000022	67	221

Wählen Sie "Instationär" um die Gesamtzeit, Zeitschritt und die Starttemperatur einzugeben.

Temperatur-Analyse

Knoten-Temperaturen (°C)

Punktquelle, Lasttyp 2 (W)

Flächenquelle, Lasttyp 7 (W/m²)

Konvektion, Lasttyp 8 (W/m²K)

Strahlung, Lasttyp 9

Stationär **Instationär** Statik

Materialdaten

Material-Datenbank

Konvektions-Datenbank

Internet-Links:
[Wärmeleitfähigkeit für unter Materialien](#)
[Spez. Wärmekapazität für unter Materialien](#)

Cancel OK

Instationäre Temperatur

Gesamtzeit: (sek)

Zeitschrittweite:

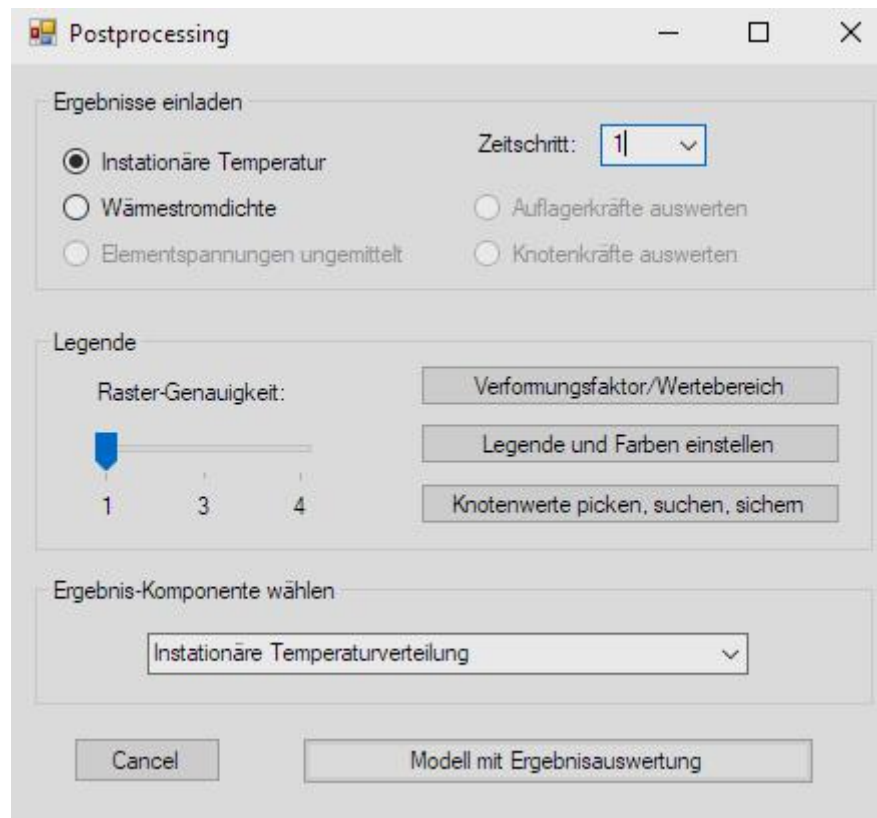
Starttemperatur: (°C)

CANCEL OK

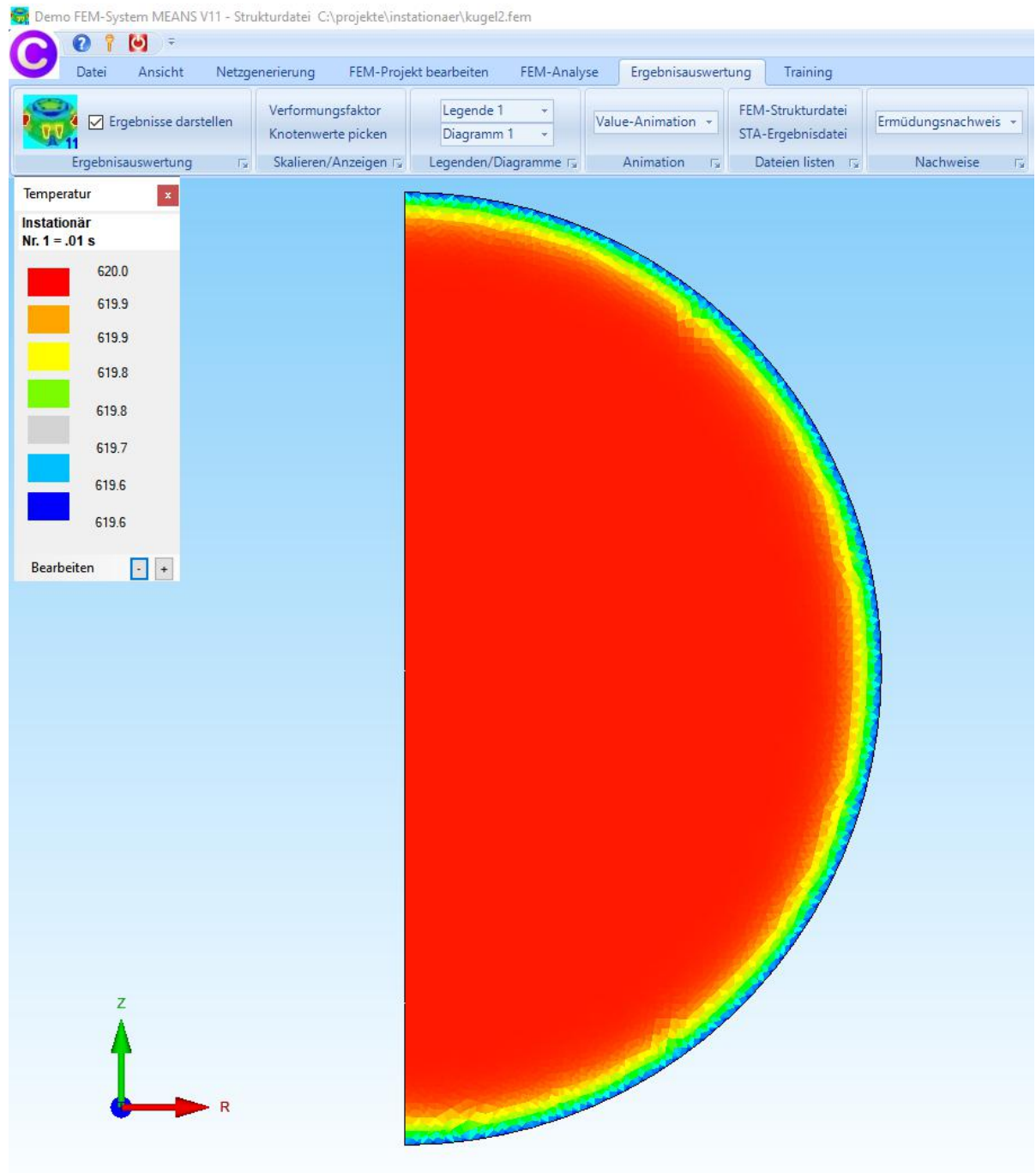
Postprocessing



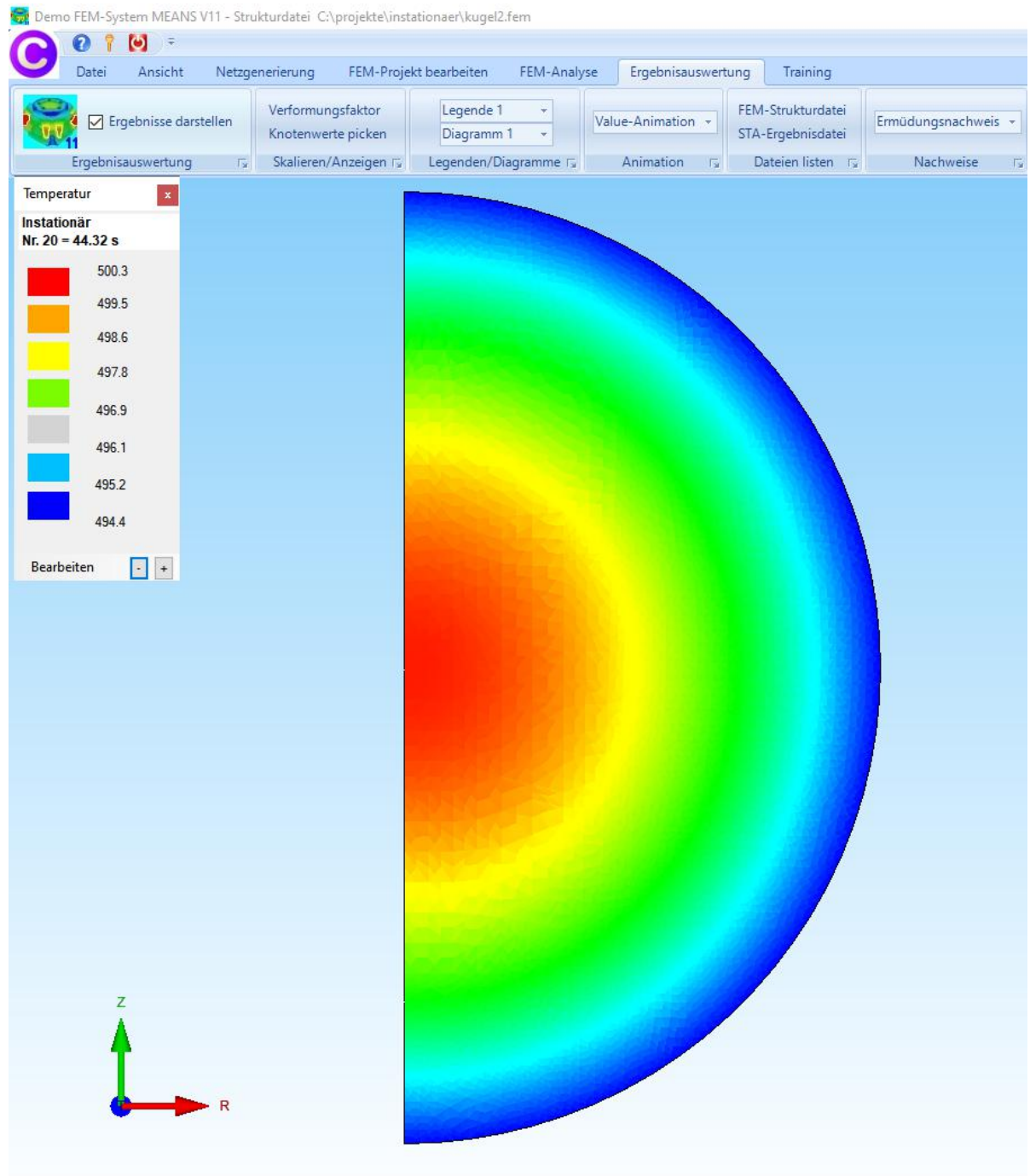
Wählen Sie das Register “Ergebnisauswertung” und das Icon um die Temperaturverteilungen für jeden Zeitschritt darzustellen.



Ausgangszustand mit einer Anfangstemperatur von 620°C



Temperaturverteilung nach 44.32 sec beträgt 500.3 °C



Temperaturverteilung mit QUAX8 nach 664.95 sec beträgt 56°C

Die Abkühlzeit bei 50°C beträgt somit

$$50^{\circ}\text{C} * 665 \text{ sec} / 56^{\circ}\text{C} = 593 \text{ sec} = 9.8 \text{ min}$$

(Abkühlungszeit nach Marek-Buch = 8.99 min)

