

EXAMPLES

STZ-Verkehrstechnik / Germany



Inhalt

1.	Hinweise zu den Beispielen	9
1.1.	Alle Beispiele laden und die Installation testen	9
1.2.	Übersicht der Beispiele.....	13
2.	Beispiel 1 / Nennspannungskonzept gekerbte Welle	23
3.	Beispiel 2 / Nennspannungskonzept gekerbte Platte	25
3.1.	Berechnung der Nennspannung.....	26
3.2.	Generierung einer Bauteilwöhlerlinie.....	26
3.3.	Zusammenstellung der Ergebnisse	28
4.	Beispiel 3 / örtliche Spannungen und Datenübernahme aus FEM29	
4.1.	Ergebnisse	31
5.	Beispiel 4 / Rainflow-Verfahren versus Werkstoff Memory	35
5.1.	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	36
6.	Beispiel 5 / Vergleich mit FKM-Richtlinie	37
7.	Beispiel 6 / Zylinder unter Zug und Torsion (multiaxial)	41
8.	Beispiel 7 / Lenker unter Längs- und Querkraft (multiaxial)	45
9.	Beispiel 8 / Verwendung von Dehnungsmessungen	49
9.1.	Umrechnung Rosettenmesswerte in ebenen Dehnungszustand	51
9.2.	Umrechnung der Rosettenwerte in ebenen Spannungszustand	51
10.	Beispiel 9 / Aufruf aus einer Batch-Prozedur	53
11.	Beispiel 10: Zahnräder und Lager	55
11.1.	Zahnradauslegung mit HEXAGON.....	55
11.1.1.	Ergebnisdaten Geometrie	56
11.1.2.	Ergebnisdaten Festigkeit	62
11.2.	Lebensdauerberechnung von Zahnfuß- und Zahnflanke mit winLIFE	67
11.2.1.	Daten des Beispiels für winLIFE	67
11.2.2.	Wahl der Methode.....	69
11.2.3.	Erzeugung einer Wöhlerlinie (Rad 1)	70

11.2.4.	Belastungskollektiv (Rad 1)	75
11.2.5.	Durchführung der Berechnung für das Ritzel (Rad 1)	81
11.2.6.	Sonstige Eingabegrößen für Zahnfuß und Zahnflanke (Rad 1).....	84
11.2.7.	Berechnung des großen Zahnrades (Rad 2).....	90
11.2.8.	Umrechnungsfaktoren K_HP und K_FP variabel einstellen	93
11.2.9.	Zusammenfassung der Ergebnisse	101
11.3.	Beispiel für eine Lagerberechnung.....	102
11.3.1.	Daten des Lagers und der Belastung	102
11.3.2.	Festlegung der Methode	102
11.3.3.	Erzeugung einer Wöhlerlinie	103
11.3.4.	Eingabe der Belastung.....	103
11.3.5.	Berechnung der Lebensdauer und Diskussion der Ergebnisse	105
12.	Beispiel 11 / Mehrkörpersimulation eines Roboterarms (SAMCEF)	111
13.	Beispiel 12 / Gekerbte Welle mit FEMAP	113
14.	Beispiel 13 / Schweißnaht einer Nutzfahrzeugachse (FEMPAP)	115
15.	Beispiel 15 / Gekerbte Welle (SAMCEF)	119
16.	Beispiel 16 / Last über eine Brücke (FEMAP)	121
17.	Beispiel 17 / Datenschnittstelle zu ANSYS	131
18.	Beispiel 18a / Dauerfestigkeitsnachweis (winLIFE QUICK CHECK)	133
18.1.	Ablaufbeschreibung an einem Beispiel	133
18.1.1.	Grundregeln bei der Bedienung von winLIFE QUICK CHECK	133
18.1.2.	Start von winLIFE	133
18.1.3.	Erstellen eines Projektes.....	134
18.2.	Aufgabenstellung.....	134
18.2.1.	Bauteilgeometrie	134
18.2.2.	Bauteilbelastung (Einheitslasten).....	135
18.2.3.	Werkstoffdaten	136
18.3.	Generierung der Wöhlerlinie	136
18.4.	Modellbildung	138
18.5.	Ergebnisse für Spannungen und Auslastungsgrad der einzelnen FE - Berechnungen mit Femap / Nastran.....	139
18.5.1.	Lastfall Zug	139
18.5.2.	Lastfall Biegung.....	141
18.5.3.	LastfallTorsion	143
18.6.	Dauerfestigkeitsnachweis (uniaxiale Vereinfachung)	144
18.7.	Dauerfestigkeitsnachweis (Schnittebenenverfahren).....	146
18.7.1.	Datei / Kopieren (nur Einstellungen)	147
18.7.2.	Berechnung (FE-Schnittstelle)	147
19.	Beispiel 18b / Dauerfestigkeitsnachweis mit Zeitverläufen	149
19.1.	Projekt erzeugen	150
19.2.	Methode festlegen	151
19.3.	Wöhlerlinie übernehmen	151
19.4.	Belastung erzeugen.....	154
19.5.	FE-Schnittstelle (OP2-Datenübernahme)	157
19.6.	Berechnung / Parameter festlegen	158

19.7.	Ergebnis / Protokoll auswerten.....	158
19.7.1.	Multiaxiale Berechnung / kritische Schnittebene	160
20.	Beispiel 19 / bezogener Spannungsgradient	163
20.1.	Aufgabenstellung.....	163
20.1.1.	Bauteilgeometrie	163
20.1.2.	Werkstoffdaten	164
20.1.3.	Modellbildung.....	164
20.1.4.	Bauteilbelastung (Einheitslasten).....	165
20.2.	Bestimmung des Spannungsgradienten direkt aus dem FE-Modell in Femap	166
20.3.	Bestimmung des Spannungsgradienten aus einer Regressionsanalyse	168
20.3.1.	Eingabeoptionen.....	168
20.3.2.	Ergebnis	170
20.4.	Bestimmung des Spannungsgradienten nach der Peilstab-Methode.....	171
20.4.1.	Eingabeoptionen.....	171
20.5.	Bestimmung des Spannungsgradienten aus FEM Originaldateien	173
20.5.1.	Beschreibung.....	173
20.6.	Ergebnis.....	176
21.	Beispiel 20 / Containerprojekte	177
21.1.	Aufgabenstellung.....	177
21.2.	Laden eines existierenden Projektes	177
21.3.	Vorbereitung der Mehrfach Lastdatei.....	177
21.4.	Umwandeln in ein Containerprojekt.....	178
21.5.	Berechnung / Lebensdauer für Teillasten	181
21.6.	Berechnung / Betriebsfaktor erzeugen.....	181
21.7.	Einzelprojekte laden	183
21.8.	Schadensanteil von Einzelprojekten	184
22.	Beispiel 21 / Schweissnaht einer Anhängavorrichtung	187
22.1.	Aufgabenstellung.....	187
22.1.1.	Bauteilgeometrie	187
22.1.2.	Werkstoffdaten	188
22.1.3.	Modellbildung.....	188
22.1.4.	Bauteilbelastung.....	189
22.2.	Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Strukturspannungskonzept.....	191
22.3.	Ergebnis.....	197
22.3.1.	Schadenssumme	197
22.3.2.	Äquivalente Amplitude	199
22.3.3.	Auslastungsgrad	199
22.3.4.	Gesamtstruktur	200
23.	Beispiel 22 / Hot Spot Suche an einer geschweißten Rahmenecke	203
23.1.	Aufgabenstellung.....	203
23.1.1.	Bauteilgeometrie	203
23.1.2.	Werkstoffdaten	204
23.1.3.	Modellbildung.....	204
23.1.4.	Bauteilbelastung.....	204
23.1.5.	Schweißnahtidentifikation.....	205
23.2.	Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Hot Spot Suchverfahren	207
23.3.	Ergebnis Hot Spot	213
23.3.1.	Schadenssumme	213
23.4.	Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Strukturspannungskonzept.....	214

23.4.1.	Modellbildung.....	214
23.5.	Ergebnis Strukturspannungskonzept	215
23.5.1.	Schadenssumme	215
23.6.	Ergebnis Vergleich	216
23.6.1.	Schadenssummen	216
24.	Beispiel 23 / rotierende Welle	217
24.1.	Aufgabenstellung.....	217
	Bauteilgeometrie	217
	Werkstoffdaten	218
24.2.	Finite Elemente Berechnung	218
	Modellbildung	218
	Bauteilbelastung (Einheitslasten)	218
24.3.	Lebensdauerberechnung in winLIFE mit konstanter Last	220
	Projektdefinition	220
	Generierung der Wöhlerlinie	220
	Definition des Belastungsverlaufs	221
	FE-Daten Zuordnung.....	225
	Berechnungsparameter	225
	Ergebnis	228
24.4.	Lebensdauerberechnung in winLIFE mit veränderlicher Last.....	229
	Projektdefinition, Projektangaben	229
	Definition des Belastungsverlaufs	229
	FE-Daten Zuordnung und Berechnungsparameter	231
	Ergebnis.....	231
25.	Beispiel 24 / Rissfortschrittsberechnung	233
1.1	Aufgabenstellung.....	233
25.1.1.	Bauteilgeometrie	233
25.1.2.	Belastung.....	234
25.1.3.	Werkstoffdaten	234
1.2	Lebensdauerberechnung nach Paris.....	235
25.1.4.	Projektdefinition.....	235
25.1.5.	Generierung der Rissfortschrittskurve.....	235
25.1.6.	Definition des Belastungsverlaufs.....	237
25.1.7.	Berechnungsparameter	239
25.1.8.	Ergebnis nach der Paris-Gleichung	240
1.3	Lebensdauerberechnung nach Erdogan-Ratwani.....	243
25.1.9.	Berechnung nach Erdogan-Ratwani	243
25.1.10.	Umrechnung von Werkstoffdaten	243
25.1.11.	Ergebnis nach Erdogan-Ratwani	244
1.4	Zusammenfassung der Lebensdauerberechnung	246
26.	Beispiel 25 / Einführung in den winLIFE Viewer	247
26.1.	Berechnung aller Knoten der Oberfläche	248
26.2.	Berechnung einer Knotenauswahl	251
27.	Beispiel 26 / Nichtlinearität eines Federblechs	257
27.1.	Aufgabenstellung.....	257
27.1.1.	Bauteilgeometrie	257
27.1.2.	Werkstoffdaten	258
27.1.3.	Modellbildung.....	258
27.1.4.	Bauteilbelastung.....	258

27.2.	Durchführung einer Lebensdauerberechnung.....	259
28.	Beispiel 27 / Berechnung einer Schweißkonstruktion	273
28.1.	Aufgabenstellung.....	273
28.2.	Geometrie und Last	273
28.3.	Hot-Spot Suchverfahren	274
28.4.	Projektaufbau in winLIFE	276
28.5.	Strukturspannungskonzept	282
28.6.	Schweißnaht-Export	282
28.7.	Projektaufbau in winLIFE	284
28.8.	Ergebnis.....	284
29.	Beispiel 28 / FKM Beispiel Wellenabsatz	287
29.1.	Aufgabenstellung.....	287
29.2.	Materialangabe und örtliche Spannungen	287
29.3.	Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM	288
29.4.	Ergebnis.....	295
29.5.	Berücksichtigung von Finite-Elemente-Ergebnisse.....	297
30.	Beispiel 29 / FKM Beispiel Gussbauteil	299
30.1.	Aufgabenstellung.....	299
30.2.	Materialangabe und örtliche Spannungen	299
30.3.	Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM	300
30.4.	Ergebnis.....	306
31.	Beispiel 30 / FKM Beispiel Verdichterflansch	309
31.1.	Aufgabenstellung.....	309
31.2.	Materialangabe und örtliche Spannungen	309
31.3.	Umgebungsbedingungen	310
31.4.	Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM	310
31.5.	Ergebnis.....	315
32.	Beispiel 31 / Kupplung mit nichtlinearem Verhalten	317
32.1.	Aufgabenstellung.....	317
32.1.1.	Geometrie und Last	317
32.1.2.	Export der Spannungen	318
32.1.3.	Projektaufbau in winLIFE	322
33.	Beispiel 32 / Mehrkörperdynamik und Lebensdauer	335
33.1.	Aufgabenstellung.....	335
33.1.1.	Radaufhängung	335
33.1.2.	Werkstoffdaten	336
33.1.3.	Modellbildung	336
33.1.4.	Bauteilbelastung.....	337
33.2.	Durchführung einer Lebensdauerberechnung.....	337
33.3.	Ergebnis.....	348
33.3.1.	Schadenssumme	348
34.	Beispiel 33 / Rissfortschrittsrechnung an einem Druckbehälter	351
34.1.	Aufgabenstellung.....	351

	34.1.1.	Bauteilgeometrie	351
	34.1.2.	Belastung.....	352
	34.1.3.	Werkstoffdaten	352
1.5		Lebensdauerberechnung nach dem Paris-Gesetz.....	353
	34.2.1.	Projektdefinition.....	353
	34.2.2.	Generierung der Rissfortschrittskurve.....	353
	34.2.3.	Definition des Belastungsverlaufs.....	355
	34.2.4.	Berechnungsparameter	356
	34.2.5.	Ergebnis nach der Paris-Gleichung	358

35. Beispiel 34 / Signalmodifikation mit Hilfe des Formelgenerators

35.1.	Aufgabenstellung.....	359
	35.1.1. einfache Umrechnung und Kanalerzeugung	359
	35.1.2. Generierung hochfrequenter Signalanteile für gemessene Mittelwert-Signale	359
35.2.	Dateitypen	360
35.3.	Erzeugung einer neuen Datei mit Hilfe des Formeleditors / Beispiel.....	360
	35.3.1. Berechnung der Motordrehzahl aus Geschwindigkeit und Gang	363
	35.3.2. Erzeugung einer Spalte mit dem Drehmoment	366
	35.3.3. Erzeugung einer Spalte mit einem berechneten Drehmoment	367
	35.3.4. Wandler-Zustands-Variable erzeugen	368
	35.3.5. Status-Variable zur Zylinderabschaltung	369
	35.3.6. Zeit Spalte erzeugen	370
	35.3.7. Weg Spalte erzeugen	371
	35.3.8. Laststufe erzeugen.....	373
	35.3.9. Geschwindigkeit.....	373
	35.3.10. Ergebnis	374
35.4.	Erzeugung neuer Kanäle unter Integration hochdynamischer Phänomene.....	377

36. Beispiel 35 / FKM Beispiel 6.5 geschweißtes T-Profil aus Aluminium

381

36.1.	Aufgabenstellung.....	381
36.2.	Materialangabe	382
36.3.	Belastungen	382
36.4.	Projektaufbau in winLIFE	382
36.5.	Statischer Nachweis mit örtlichen Spannungen für GW + WEZ	382
36.6.	Statischer Nachweis mit örtlichen Spannungen für SN	385

37. Beispiel 36 / FKM Beispiel 6.6 geschweißte Aluminiumkonstruktion

389

37.1.	Aufgabenstellung.....	389
37.2.	Materialangabe und örtliche Spannungen	390
37.3.	Umgebungsbedingungen	390
37.4.	Nachweis statisch WEZ Punkt D.....	390
	37.4.1. Projekt erstellen.....	390
	37.4.2. Wöhlerlinie.....	391
	37.4.3. Berechnung	394
37.5.	Nachweis statisch SN Punkt A	397
	37.5.1. Wöhlerlinie.....	397
37.6.	Berechnung.....	399
37.7.	Nachweis Ermüdungsfestigkeit SN Punkt A	401
37.8.	Wöhlerlinie.....	401
	37.8.1. Berechnung	401

37.9.	Nachweis Ermüdungsfestigkeit durchgehendes Blech Punkt D	403
37.9.1.	Wöhlerlinie.....	403
37.9.2.	Berechnung	405
37.10.	Berechnung mit Zeitsignalen.....	407
37.11.	Auswertung der Normalspannung $\sigma_{\perp}$	407
37.12.	Auswertung der Spannung $\sigma_{ }$	415
37.13.	Auswertung der Schubspannung	417
37.14.	Ergebnis.....	420
38.	Beispiel 40 / Superposition	423
38.1.	Aufgabenstellung.....	423
38.2.	Projekt	423
38.3.	Methode wählen	423
38.4.	Wöhlerkurve	424
38.5.	Generierung der Lastdateien.....	425
38.6.	Kopie des Projektes	428
38.7.	Superposition.....	430
38.8.	Ergebnisanalyse	433
38.9.	Parametervariation.....	434
38.10.	Alternativmethode Schadenssummen addieren	436
39.	Literaturverzeichnis	439
39.1.	Allgemeine Lebensdauerberechnung.....	439
39.2.	Zahnräder und Lager	443
39.3.	Statistik.....	445
40.	Index	447

1. Hinweise zu den Beispielen

winLIFE 4.0 wird mit einigen Beispielen einschließlich aller Daten zur Berechnung ausgeliefert, damit sich der Benutzer mit dem Programm vertraut machen kann. Die Daten befinden sich in entsprechend benannten Unterverzeichnissen, die bei der Installation festgelegt wurden.

Für Berechnungen mit der Demoversion sind nur die Beispiele in den folgenden Verzeichnissen zu verwenden.

Examples_demo_01

Examples_demo_02

Examples_demo_03

Examples_demo_07

Die Beispiele sind entsprechend den Limitierungen der Demoversion vorbereitet.

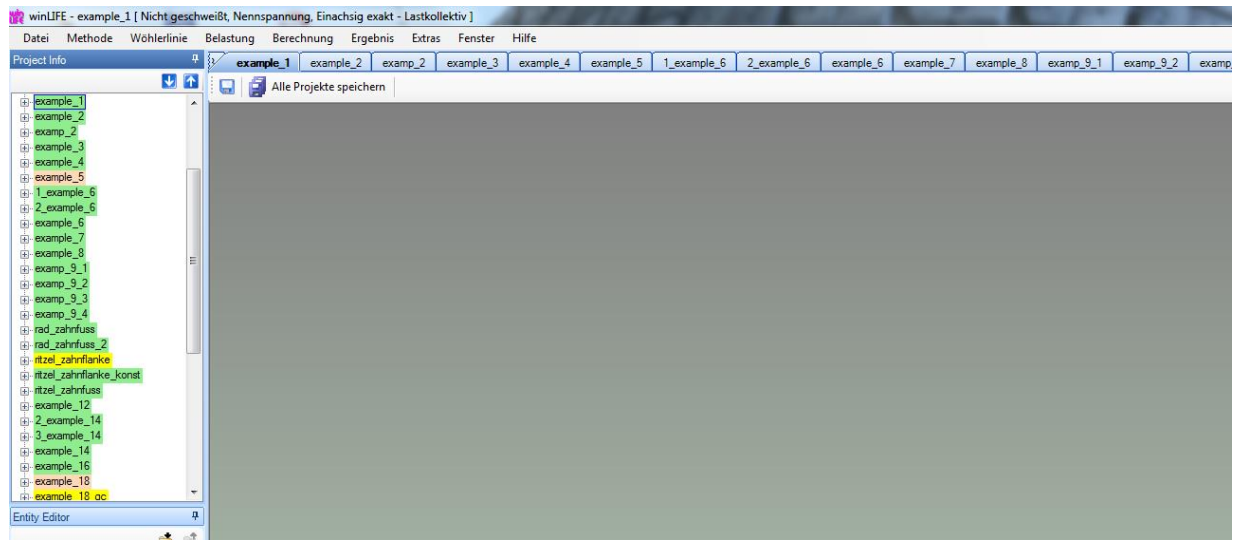
Verschieben Sie diese Beispieldateien nicht in andere Verzeichnisse, da sie die Beispiele dann nicht mehr automatisch laden können.

1.1. Alle Beispiele laden und die Installation testen

Um die Beispiel möglichst einfach und schnell nachzuvollziehen empfiehlt es sich, sofort nach der Installation im Menü

Extras / Beispiele laden

anzuklicken. Es werden alle verfügbaren Beispiele geladen, so dass der Bildschirm wie folgt aussieht.



Die Mehrzahl der Beispiele liegen in berechneter Form einschließlich der Ergebnisse vor. Man beachte jedoch, dass die Beispiele, deren Verzeichnis mit

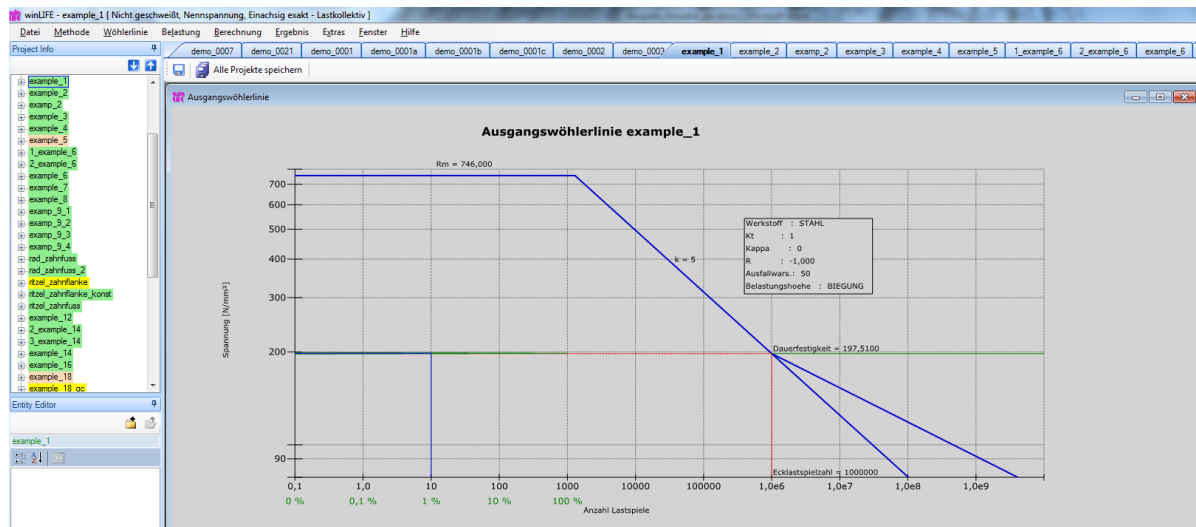
np

endet, nicht bis zu einer Schadensberechnung geführt sind, da z.B. nur der Wöhlerliniengenerator beschrieben wurde. Man kann daher kein Ergebnis für die Schadenssumme erwarten.

Will man sich die Ergebnisse anschauen, muß man z.B. **Example_1** wählen und dort

Ergebnis/Wöhlerlinie mit Belastung

anklicken, so wird sofort die folgende Grafik sichtbar:



Um nun die Installation auf ganz einfache Weise zu testen, empfiehlt sich Folgendes:

Wählen Sie im Menü:

Berechnung / Mehrere Projekte Berechnen

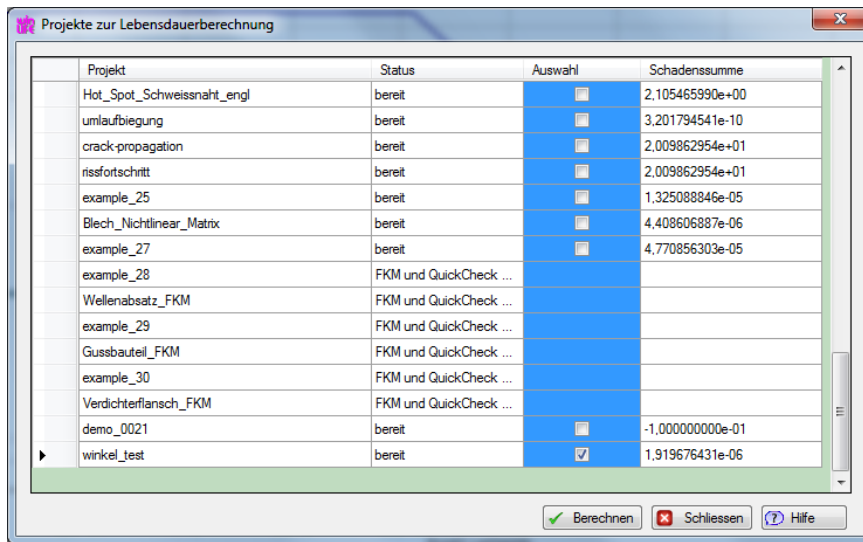
Es erscheint dann folgende Maske:

Projekt	Status	Auswahl	Schadenssumme
example_1	bereit	☒	1,012466277e-05
example_2	bereit	☐	9,221539622e-03
examp_2	bereit	☐	9,164322368e-03
example_3	bereit	☐	1,072114540e-04
example_4	bereit	☐	1,005309306e-02
example_5	fehlende Inform.		
1_example_6	bereit	☐	8,686056712e-09
2_example_6	bereit	☐	1,426718253e-04
example_6	bereit	☐	7,087647891e-05
example_7	bereit	☐	6,820617148e-05
example_8	bereit	☐	4,986636875e-03
examp_9_1	bereit	☐	0,000000000e+00
examp_9_2	bereit	☐	1,012466277e-05
examp_9_3	bereit	☐	1,714620530e-05
examp_9_4	bereit	☐	3,249037012e-05
rad_zahnfuss	bereit	☒	0,000000000e+00

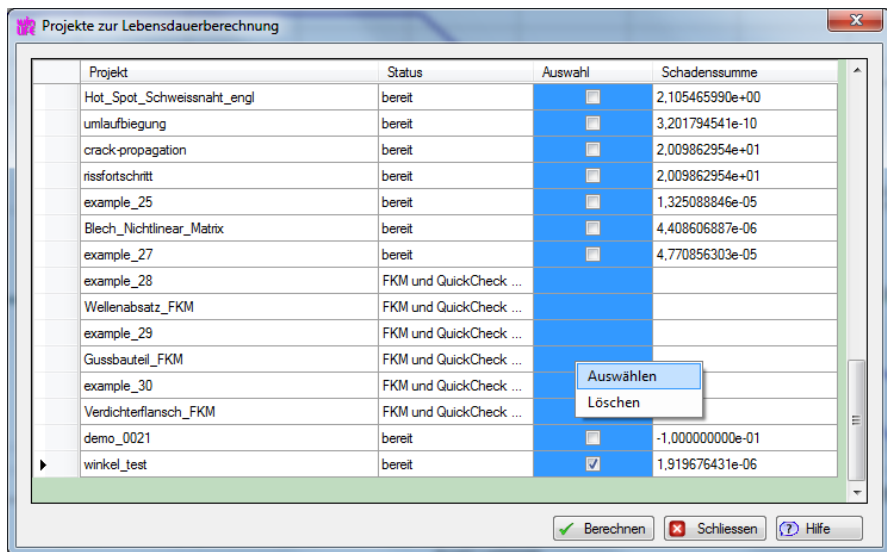
Markieren Sie nun das erste Projekt, indem Sie mit dem linken Mauszeiger das Kästchen in der ersten Zeile markieren.

Projekt	Status	Auswahl	Schadenssumme
example_1	bereit	☒	1,012466277e-05
example_2	bereit	☐	9,221539622e-03
examp_2	bereit	☐	9,164322368e-03
example_3	bereit	☐	1,072114540e-04

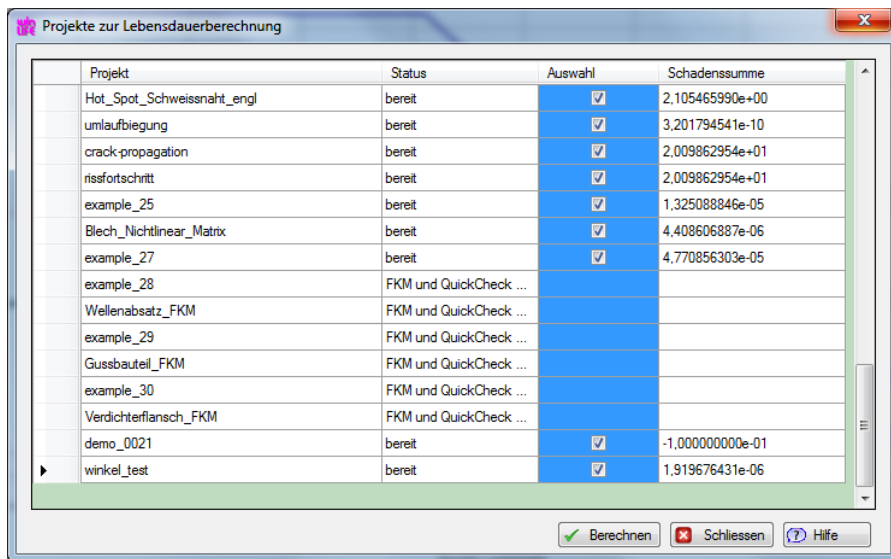
Scrollen Sie anschließend in der Tabelle nach unten in die letzte Zeile und markieren Sie das untere Kästchen durch Drücken der linken Maustaste bei gleichzeitigem Drücken der Shift-Taste. Es werden alle Felder der Spalte blau dargestellt.



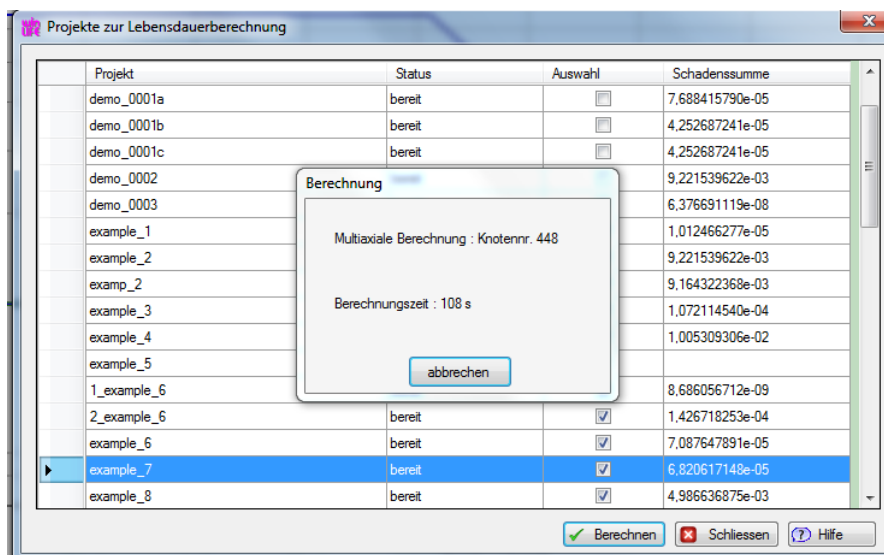
Wenn Sie nun die rechte Maustaste drücken, erscheint folgendes Auswahlfenster



Klicken Sie nun mit der linken Maustaste auf auswählen und es werden alle Kästchen in den blau markierten Feldern markiert.



Wird nun auf **Berechnen** geklickt, so werden alle markierten Projekte erneut vollständig durchgerechnet. Meldungen der einzelnen Projekte auf dem Bildschirm zeigen an, dass die Berechnung läuft.



Treten während der Berechnung Fehler auf, so wird in der entsprechenden Zeile die Meldung Error ausgegeben.

Auch Projekte, für die ein Modul benötigt wird, das nicht lizenziert ist, führen zu einer Fehlermeldung. Ein multiaxiales Projekt, das mit einer winLIFE 4.0 -Lizenz für das winLIFE BASIC-Modul berechnet wird, führt zu einer Fehlermeldung.

1.2. Übersicht der Beispiele

Die Beispiele mit den Nummern 11 und 15 wurden gelöscht, da sie sich auf das Zusammenwirken mit SAMCEF bezogen, was nicht mehr unterstützt wird.

Die Beispiele 1 bis 25 sind auch als Video-Dateien vorhanden, diese sind auch im Internet auf unserer Homepage zu finden. Zukünftige Ergänzungen der Video-Beispiele kann der Benutzer im Internet finden und direkt von winLIFE 4.0 aus starten. Klicken Sie **Hilfe/Tutorial/Internet** .

Die Durcharbeitung der Beispiele hängt von dem Schwerpunkt des Benutzerinteresses ab und es wurden folgende Gruppen geschaffen:

Beispiele Benutzerführung

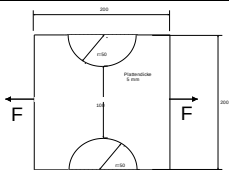
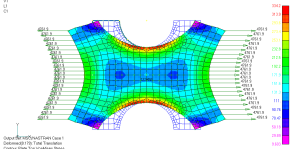
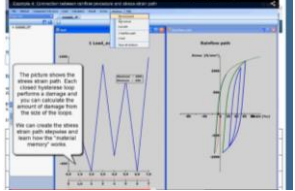
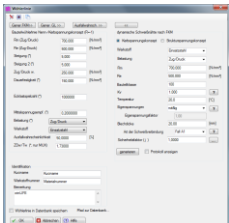
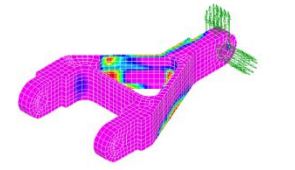
Beispiele multiaxiale Berechnung

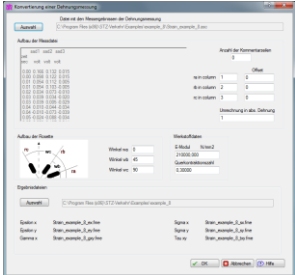
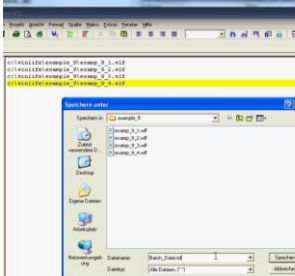
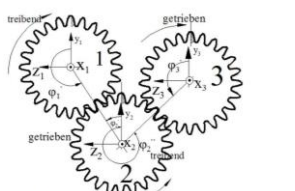
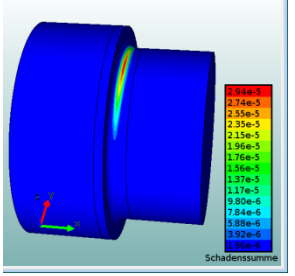
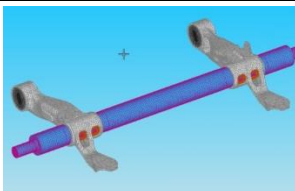
Beispiele Dauerfestigkeitsnachweis
Beispiele Schweißen
Beispiele große Projekte
Beispiele FEMAP
Beispiele ANSYS
Beispiele Sonderprobleme

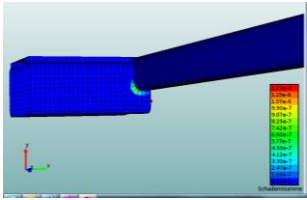
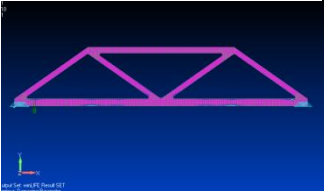
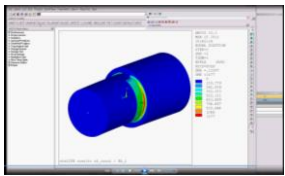
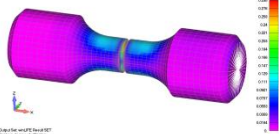
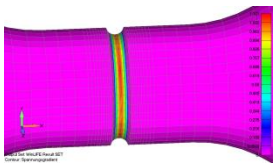
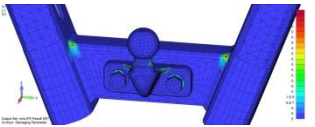
Beispiele Zahnräder

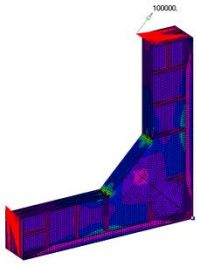
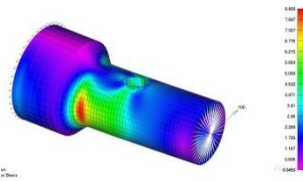
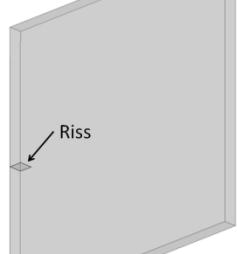
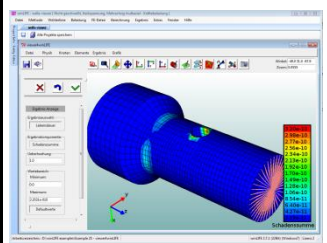
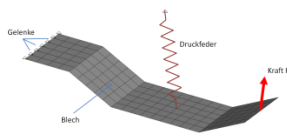
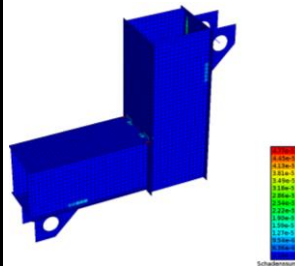
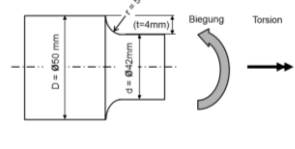
Die Durcharbeitung der Beispiele macht den Benutzer in kurzer Zeit mit der Bedienung des Programms vertraut und die dafür aufgewendete Zeit wird zukünftig eingespart. Es sind in der Hilfe kurz die vom Benutzer einzugebenden Daten in einer Tabelle als Übersicht dargestellt.

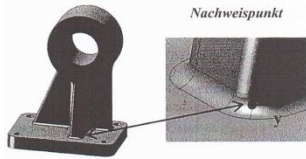
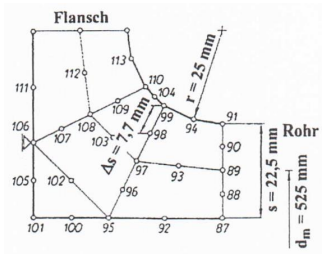
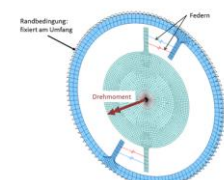
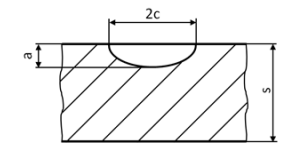
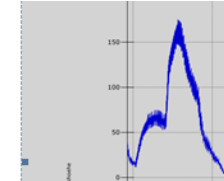
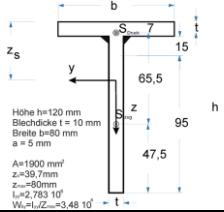
Die Video-Beispiele wurden in den letzten Jahren erstellt. Auf Grund der Weiterentwicklung von winLIFE 4.0 hat sich die Benutzeroberfläche geringfügig verändert. Die Änderungen sind aber so gering, dass der Benutzer in der Lage ist, die Beispiele nachzuvollziehen.

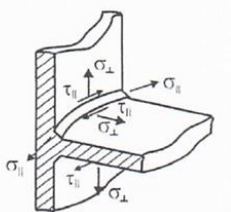
Nr	Ziel	Inhalt	Bild
1	Übersicht und Handhabung von winLIFE mit einfacher Übung	Beispiel eins führt in die grundlegende Bedienung des Programms mit Hilfe des Nennspannungskonzeptes ein.	
2	Übersicht und Handhabung von winLIFE mit einfacher Übung mit Nennspannungskonzept	Es wird eine quadratische, gekerbte Platte mit einer Dicke von 5 mm nach der Nennspannungsmethode berechnet.	
3	Übersicht und Handhabung von winLIFE mit einfacher Übung mit Örtlichem Konzept	Es wird eine quadratische, gekerbte Platte mit einer Dicke von 5 mm nach dem Örtlichen Konzept berechnet (u.a. Vergleich mit Beispiel 2).	
4	Zusammenhang zwischen Rainflow-Verfahren und Spannungs-Dehnungs-Pfad	Die Konstruktion des Spannungs-Dehnungs-Pfades allein auf der Basis des Werkstoff-Memory wird in diesem Beispiel mit dem der Konstruktion des Spannungs-Dehnungspfades auf der Basis des Rainflow-Verfahrens verglichen. Dazu wird ein Beispiel aus der Literatur nachgerechnet.	
5	Generierung von Bauteilwöhlerlinien	Für eine abgesetzte Welle aus Walzstahl, die durch Biegung und Torsion belastet sei, soll die Bauteilwöhlerlinie ermittelt werden. Dies soll mit der FKM-Richtlinie verglichen werden.	
6	Der grundsätzliche Ablauf der Multiaxialen Berechnung mit FEM wird dargestellt.	Auf einen Zylinder wirken ein zeitveränderliches Torsionsmoment und Zug-Druckkräfte. Der Verlauf ist manuell einzugeben, der Datentransfer wird erläutert und die Ergebnisse werden analysiert.	
7	Verwendung realer Last-Zeit-Funktionen bei multiaxialen Problemen	Das Beispiel könnte eine realistische Anwendung aus dem Maschinen- oder Fahrzeugbau sein. Ein Lenker wird durch zwei voneinander unabhängige Kraftgruppen belastet, für die Messwerte vorliegen. Aufgabe ist die Berechnung der Lebensdauer für das durch Messung gefundene Belastungskollektiv.	

8	Verwendung von gemessenen Dehnungen (Rosette) für eine Multiaxiale Berechnung	Eine Felge eines Nutzfahrzeuges wurde mit DMS beklebt und im Europazyklus geprüft. Die statische Vorlast durch den Luftdruck und die dynamische Dehnung durch die Einfederung werden einzeln analysiert und geeignet superponiert. Es werden verschiedene Vergleichsspannungshypothesen bzw. Schadensparameter untersucht und den Prüfergebnissen gegenübergestellt.	
9	Integration in Batch-Prozeduren zur Automatisierung von Abläufen	Man kann winLIFE mit Parametern über Betriebssystembefehle - also ohne GUI - starten. Auf diese Weise lassen sich automatisch ablaufende Batch-Prozeduren definieren. Dies ist dann sinnvoll, wenn man immer wiederkehrend ähnliche Probleme mit nur wenig geänderten Parametern zu bearbeiten hat. In diesem Beispiel wird der Einfluss der Dauerfestigkeit auf die Lebensdauer untersucht. Ausgehend von einer Projektdatei werden Kopien erstellt, in denen lediglich der zu variierende Parameter, die Dauerfestigkeit, geändert wird. Es wird eine Batch-Datei erstellt, die den automatischen Ablauf mehrere winLIFE-Berechnungen bewirkt.	
10	Grundfunktionen zur Berechnung der Lebensdauer von Zahnrädern	Gegeben ist ein einfaches Getriebe mit der Übersetzung 1:10, das lediglich aus 2 Zahnrädern aus dem gleichen Werkstoff besteht. Das Verweildauerkollektiv besteht lediglich aus wenigen Stufen. Dafür wird eine einfache Lebensdauerberechnung durchgeführt	
12	Verwendung von FEMAP und winLIFE am Beispiel einer gekerbten Welle / Datentransfer zwischen FEMAP und winLIFE	Es wird in diesem Beispiel das Zusammenwirken zwischen FEMAP (Version 9.3) und winLIFE gezeigt. An einer gekerbten Welle, die durch ein Biegemoment belastet ist, wird eine Lebensdauerberechnung vorgenommen. Dazu werden Einheitslastfälle in FEMAP definiert und an winLIFE übertragen. Die Ergebnisse der Lebensdauerberechnung werden zurück an FEMAP übergeben und dort dargestellt.	
13	Verwendung von FEMAP und winLIFE am Beispiel einer komplexen Hinterachse eines Nutzfahrzeugs Kundenbeispiel NUR Video ohne Datenfreigabe / kann aktenmäßig nicht nachvollzogen werden !!!	Es wird in diesem Beispiel wird das Zusammenwirken zwischen FEMAP (Version 9.3) und winLIFE gezeigt. An einem komplexen Bauteil, einer Hinterachse, werden die Schweißnähte nach dem r1-Konzept berechnet. Es wird die gesamte Modellierung und die Verwendung von Sub-Strukturen gezeigt. Die Belastung erfolgt durch drei gemessene Last-Zeit-Funktionen. Es werden drei Einheitslastfälle in Richtung der Radkräfte in FEMAP berechnet und an winLIFE übertragen. Die Ergebnisse der Lebensdauerberechnung werden zurück an	

		FEMAP übergeben und dort dargestellt.	
14	Schweißnaht einer Rohrverbindung nach Strukturspannungskonzept	Es wird in diesem Beispiel mit Hilfe von FEMAP eine Rohrverbindung aus Plattenelementen aufgebaut. Die Vernetzung erfolgt so, dass in definierten Abständen von der Schweißnaht Knotenpunkte existieren, mit deren Hilfe dann eine Berechnung des Spannungstensors am Schweißnaht Rand durch Extrapolation möglich wird.	
16	Brücke nichtlinear / Zusammenwirken FEMAP und winLIFE	Das Überfahren einer Brücke wird in FEMAP durch eine wandernde Last simuliert. Es wird eine Folge von Lastpositionen berechnet, die dem zeitlichen Ablauf entsprechen. Jeder Zeitschritt wird in einem Lastfall gespeichert. winLIFE liest die zeitliche Abfolge ein und berechnet für jeden Knoten und Zeitschritt die Schädigung. Die Ergebnisse werden wieder nach FEMAP exportiert und dort als Iso-Linien gleicher Schadenssumme und Sicherheit gegen Dauerfestigkeit dargestellt.	
17	Abgesetzte Welle / Zusammenwirken von ANSYS und winLIFE	Eine abgesetzte Welle wird in ANSYS modelliert und die Spannungen berechnet. Die Ergebnisse werden nach winLIFE exportiert, dort die Schädigung berechnet. Die winLIFE Ergebnisse werden dann in ANSYS dargestellt.	
18	winLIFE QUICK CHECK	Mit Hilfe einer durch drei Kräfte belasteten Welle (FEMAP-Modell) wird der Dauerfestigkeitsnachweis geführt. Die Ergebnisse, der Auslastungsgrad, werden als Iso-Linien dargestellt.	
19	Bezogener Spannungsgradient	Es wird aus einem Modell einer Welle für verschiedene Belastungsarten der bezogene Spannungsgradient berechnet. Die Ergebnisse werden mit den theoretischen Werten verglichen und diskutiert.	
20	Container Projekte	Die Verwendung von Containerprojekten bei einer großen Zahl von Projekten, die sich nur durch die Belastung unterscheiden	
21	Schweißnaht einer Anhängerkupplung: Zusammenwirken von FEMAP und winLIFE	Es wird eine Anhängerkupplung mit Hilfe des Strukturspannungskonzeptes berechnet	

22	Schweißnaht – Hot Spot-Suche - eines komplexen Bauteils	Für sehr große Bauteile mit vielen Schweißnähten eignet sich das Verfahren der Hot-Spot-Suche, das bei der Verwendung von Schalenelementen anwendbar ist	
23	Rotierende Welle mit Querbohrung	Es wird gezeigt, wie die Winkelfenster, die Einheitslastfälle definiert und die Lastaufteilung auf die Winkelfenster erfolgt. Dieses Beispiel sollte jeder durcharbeiten, der sich mit der Rotation von Bauteilen beschäftigt.	
24	Rissfortschrittsrechnung einer Platte	Es wird für eine Platte mit einem Anriss eine Rissfortschrittsrechnung unter einem Ein-Stufenkollektiv durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt.	
25	Verwendung des Viewer4winLIFE	Der Handhabung des Viewers wird gezeigt. Sie vereinfacht die Ergebnisanalyse, da nicht mehr von winLIFE zum Post-Prozessor gewechselt werden muß. Statt dessen können die Ergebnisse der Schädigung, Auslastungsgrad, äquivalente Amplituden sofort in winLIFE dargestellt werden.	
26	Feder nichtlinear	Die Berechnung einer Feder, die nichtlinear beansprucht wird, erfolgt. Die Berücksichtigung der Nichtlinearität soll in diesem Beispiel demonstriert werden.	
27	Schweißkonstruktion aus Blech	Prüfstandsversuche aus dynamischen Tests werden mit Berechnungsergebnissen aus winLIFE verglichen. Modellaufbau, Vernetzung und Ergebnisanalyse werden aufgezeigt.	
28	FKM-Nachweis	Das Beispiel 6.1 der FKM-Richtlinie, Wellenabsatz, wird mit örtlichen Spannungen nachgerechnet. Der statische Nachweis und der Ermüdungsfestigkeitsnachweis werden berechnet.	

29	FKM-Nachweis Gussbauteil	Das Beispiel 6.2 der FKM-Richtlinie, Gussbauteil, wird mit örtlichen Spannungen nachgerechnet. Der statische Nachweis und der Ermüdungsfestigkeitsnachweis werden berechnet.	 Nachweispunkt
30	FKM-Nachweis Verdichterflansch	Das Beispiel 6.3 der FKM-Richtlinie, Verdichterflansch, wird mit örtlichen Spannungen nachgerechnet. Der statische Nachweis und der Ermüdungsfestigkeitsnachweis werden berechnet.	 Flansch Rohr $s = 22,5 \text{ mm}$ $d_m = 525 \text{ mm}$
31	Kupplung nichtlineare Charakteristik	Einfaches Beispiel zur Anwendung der Zuordnungsmatrix	 Randbedingung: fixiert am Umfang Federn Druckverteilung
32	Mehrkörperdynamik	Für eine Fahrzeugachse, die mit Recurdyn untersucht wurde, wird eine Lebensdauerberechnung durchgeführt.	
33	Rissfortschrittsrechnung eines Druckbehälters	Ein periodisch beanspruchter Druckbehälter wird mit Hilfe der Rissfortschrittsrechnung mit Hilfe von Nennspannungen untersucht.	 $2c$ a s
34	Formelgenerator und dynamische Modulation	Es wird die Anwendung des Formelgenerators und die Generierung dynamischer Schwingungsanteile aus einer Messung gezeigt	
35	FKM / geschweißtes Profil	Ein Aluminium-Profil unter Biegebelastung wird nach der FKM-Richtlinie berechnet. Es erfolgt der statische und der Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Grundwerkstoff und die Schweißnaht.	 Höhe $h=120 \text{ mm}$ Blechdicke $t = 10 \text{ mm}$ Breite $b=80 \text{ mm}$ $a = 5 \text{ mm}$ $A=1900 \text{ mm}^2$ $z=39,7 \text{ mm}$ $z_w=80 \text{ mm}$ $I_w=2,783 \cdot 10^8$ $W_{w,y}/Z_w=3,48 \cdot 10^3$

36	FKM Aluminium Strukturbauteil wird nach FKM-Richtlinie berechnet	Ein geschweißtes Aluminium Bauteil wird nach FKM gerchnet. Es erfolgt der statische und der Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Grundwerkstoff und die Schweißnaht.	 Das Diagramm zeigt einen 3D-Schnitt durch ein geschweißtes Aluminiumbauteil. Es ist eine T-förmige Verbindung, bei der eine Platte auf einer Wand aufgeschweißt ist. Verschiedene Spannungskomponenten sind mit Pfeilen und Symbolen markiert: $\sigma_{\perp}$ (senkrecht zur Schnittfläche), $\sigma_{\parallel}$ (parallel zur Schnittfläche), $\tau_{\parallel}$ (parallel zur Schnittfläche) und $\tau_{\perp}$ (senkrecht zur Schnittfläche).
40	Superposition	Überlagerung mehrerer Last-Zeit-Funktionen und Hinweise dazu	

2. Beispiel 1 / Nennspannungskonzept gekerbte Welle

Hinweis: Dieses Beispiel ist hier verkürzt beschrieben, da es auch als Video Datei auf der CD existiert.

Hinweis: Auf eine wichtige Grundregel bei der Programmbenutzung sei hingewiesen, die der Benutzer im Kopf behalten möge. Der Durchlauf der Menüpunkte bei einer Lebensdauerberechnung erfolgt von links nach rechts. Normalerweise dürfen keine Menüpunkte auf dem Weg von links nach rechts übersprungen werden. Wenn man dies beachtet, ist die Bedienung von winLIFE 4.0 vergleichsweise einfach.

Beispiel eins führt in die grundlegende Bedienung des Programms mit Hilfe eines Beispiels zum Nennspannungskonzept ein.

Die Eingaben und Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle angegeben:

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Methode	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Lastkollektiv	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Lastkollektiv	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Lastkollektiv	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Lastkollektiv	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Lastkollektiv
Werkstoff	S_N_example_1	S_N_example_1	S_N_example_1	S_N_example_1	S_N_example_1
Belastung	Load_example_1.ME S	Load_example_1.ME S	Load_example_1.ME S	Load_example_1.ME S	Load_example_1.ME S
Anzahl Klassen	100	100	100	100	100
Hysterese	0	0	0	0	0
Mittelspannung seinfl	Wöhlerlinientr.	Wöhlerlinientr.	Wöhlerlinientr.	Wöhlerlinientr.	Wöhlerlinientr.
Obere Grenze	1000	1000	550	200	200
Untere Grenze	-1000	-1000	-550	-200	-200
Multiplikator Anz.	1	1	1	1	1
Multiplikator Last	1	5	5	1.8	1.98
Art der Wöhlerlinie	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL
Schadenssum me	0	0.00116	0.001103	0	1.064 E-5
exakte Lösung	0	0.001039	0.001039	0	1.01247 E-5

3. Beispiel 2 / Nennspannungskonzept gekerbte Platte

Hinweis: Dieses Beispiel ist hier verkürzt beschrieben, da es auch als Video Datei auf der CD existiert.

In diesem Beispiel wird eine quadratische, gekerbte Platte mit einer Dicke von 5 mm nach der Nennspannungsmethode berechnet.

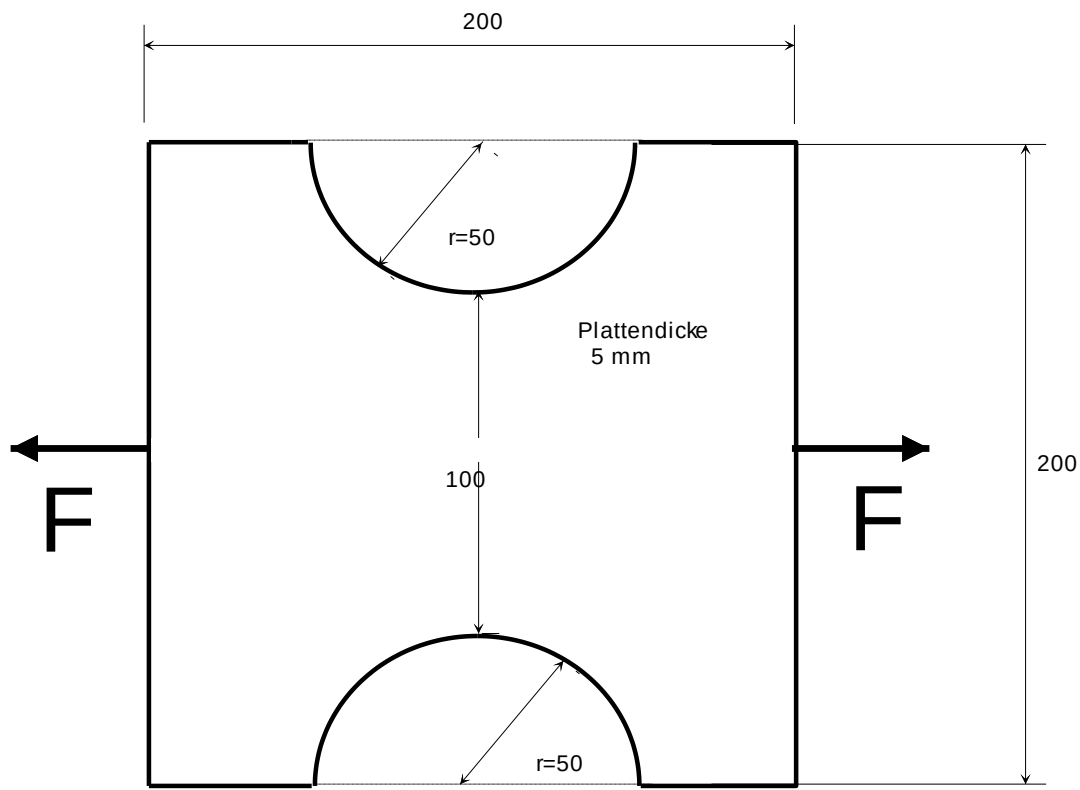


Bild 3-1 : Ansicht der Platte des Beispiels im unverformten Zustand

Die Kantenlänge der Platte beträgt 200 mm, der Kerbradius beider Kerben je 50 mm. Als Belastung wird eine zeitveränderliche Last F , die zwischen 0 und 150 kN schwankt, angenommen. Diese Last soll als Streckenlast wirken. Die Anzahl der Lastspiele betrage 1000 und es soll die Frage beantwortet werden, welche Schadenssumme auftritt. Es wird ein Stahl St 37 verwendet, dessen Kennwerte aus dem Zugversuch bekannt sind.

3.1. Berechnung der Nennspannung

Zuerst soll die Berechnung nach der Nennspannungsmethode erfolgen. Die Nennspannung wird auf den Nettoquerschnitt bezogen und berechnet sich nach der Gleichung:

$$S = F / A$$

F ist die wirkende Kraft und A die Fläche des Querschnitts. Berechnet man die Nennspannung für 150 kN, so erhält man:

$$S = 150\,000\text{ N} / (100\text{ mm} * 5\text{ mm}) = 300\text{ N/mm}^2$$

Da die Last zwischen 0 und 150 kN schwankt, ergeben sich als Minimal- und Maximalwerte der Nennspannung 0 bzw. 300 N/mm².

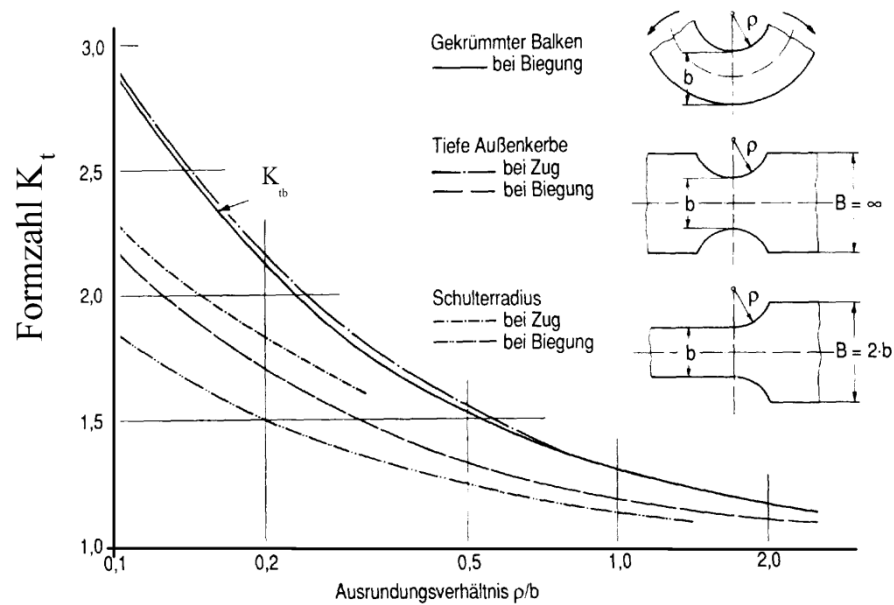
3.2. Generierung einer Bauteilwöhlerlinie

Um eine Lebensdauerberechnung durchzuführen wird eine Bauteilwöhlerlinie benötigt, in der die Eigenschaften des Materials und die des Bauteils berücksichtigt sind. Diese Bauteilwöhlerlinie wird an Hand der statischen Werkstoffkennwerte und der Bauteildaten generiert. Siehe dazu den Video-File.

Der einzugebende Formfaktor K_t kann in winLIFE 4.0 berechnet werden (s. Video). Man kann ihn jedoch auch aus Tabellenwerken entnehmen (s. Bild unten)

Im unserem Fall einer einfachen Platte mit Kerbe wird der Formfaktor aus folgendem Diagramm [2] entnommen. Mit den dort angegebenen Bezeichnungen Ausrundungsradius (entspricht unserem Kerbradius $r=50\text{mm}$) und b (entspricht

unserer Nettobreite von 100 mm) und dem daraus abgeleiteten Verhältnis 0,5 für den Fall Zug/Druck wird ein Wert von



$K_t = 1,6$ abgelesen.

Bild 3-2: Formfaktor als Funktion des Ausrundungsverhältnisses einer gekerbten Platte nach [2]

3.3. Zusammenstellung der Ergebnisse

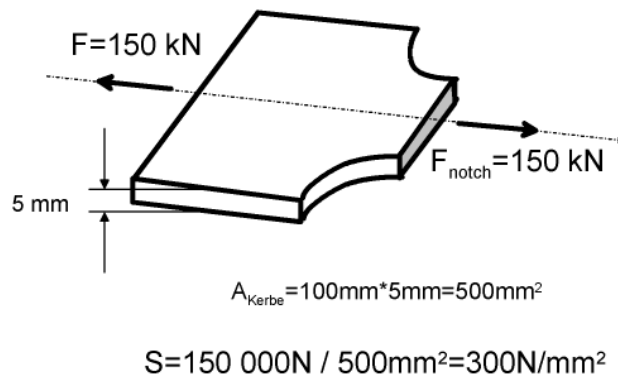
Tabelle: Eingabedaten und Ergebnisse für Beispiel 2 (Nennspannungsmethode)

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Methode	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Lastkollektiv	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Kräftebelastung	Nicht geschweißt / Nennspannung / Einachsig uniaxial - Kräftebelastung
Werkstoff	Wird generiert	Wird generiert	Wird generiert
Belastung	Load_exempl_2.MES	Load_exempl_2.FME	Load_exempl_2.FME
Anzahl Klassen	100	100	100
Hysterese	0	0	0
Residuum berücks.	Keine Eingabe möglich	ja	ja
Mittelspannungseinfluß	Wöhlerlinientr.	Wöhlerlinientr.	Wöhlerlinientr.
Obere Grenze	310	310	310
Untere Grenze	-10	-10	-10
Multiplikator Anz.	1	1	100
Multiplikator Last	1	1	1
Art der Wöhlerlinie	ORIGINAL	ORIGINAL	ORIGINAL
Schadenssumme	0,00916	0,0000916	0,00916

Beispiel 3 / örtliche Spannungen und Datenübernahme aus FEM • 29

Berechnung der Nennspannung in Beispiel 2 und 3

Beispiel 2



Beispiel 3

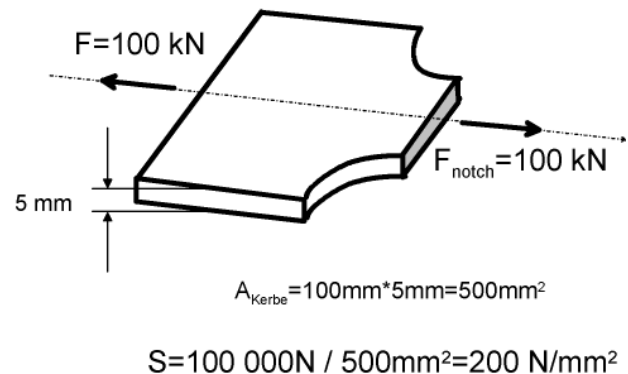


Bild 4-2: Vergleich zwischen Beispiel 2 und 3

Der Zusammenhang zwischen diesem Beispiel (Berechnung mit finiten Elementen) und dem Nennspannungskonzept (Beispiel 2) wird deutlich, wenn man die Formzahl K_t bestimmt.

Die Formzahl K_t ist das Verhältnis der maximalen elastischen Spannung zu der Nennspannung:

$$K_t = S_{\text{max}} / S_{\text{nenn}}$$

Die maximale Spannung lässt sich aus der FE-Berechnung ablesen. Sie beträgt 334.2 N/mm^2 . Mit der Nennspannung

$$S_{\text{nenn}} = F / A = 100\,000 \text{ N} / 500 \text{ mm}^2 = 200 \text{ N/mm}^2$$

ergibt sich $K_t = 334.2 / 200 = 1.67$

Dieses Ergebnis stimmt brauchbar mit dem aus der Tabelle ermittelten aus Beispiel 2 überein.

Das Örtliche Konzept betrachtet meist die Spannungen und Dehnungen an dem Ort (evtl. den Orten), wo der Schaden erwartet wird, wobei auch das nichtlineare Werkstoffverhalten berücksichtigt wird.

Damit eine Vergleichbarkeit gegeben ist, wird das gleiche Material (St 37) und die entsprechende Lastfolge (LHIST_3.FME) bezüglich Beispiel 2 verwendet.

4.1. Ergebnisse

Das hier verwendete FE-Modell ist wegen der groben Elementierung nicht optimal, so dass die berechneten Spannungen von der Wirklichkeit abweichen werden. Die maximal berechnete Spannung führt zu einem K_t -Faktor von 1,64 (328/200). Vergleicht man nun die Ergebnisse der Berechnung nach dem Nennspannungskonzept (Beispiel 2), wo $K_t=1,6$ aus einer Grafik entnommen wurde, und dem örtlichen Konzept in Verbindung mit Finiten Elementen (Beispiel 3), so stellt man eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse fest.

In vielen Fällen ist eine deutliche Abweichung der Ergebnisse zwischen den beiden Konzepten möglich, wobei das örtliche Konzept zumeist eine zu geringe Lastwechselzahl entsprechend einer zu großen Schädigung berechnet (somit auf der sicheren Seite liegt) während nach dem Nennspannungskonzept mit der originalen Wöhlerlinie insbesondere bei geringen Beanspruchungen eine zu geringe Schädigung (die Ergebnisse liegen auf der unsicheren Seite) berechnet wird [28].

Tabelle: Eingabedaten und Ergebnisse aus Beispiel 3

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Methode	Nicht geschweißt / örtl. Konzept/ einachsig uniaxial- Kräftebelastung / FE-Schnittstelle benutzen / 1 Lastfall	Nicht geschweißt / örtl. Konzept/ einachsig uniaxial- Kräftebelastung / FE-Schnittstelle benutzen / 1 Lastfall	Nicht geschweißt / örtl. Konzept/ einachsig uniaxial- Lastkollektiv/ FE-Schnittstelle benutzen / 1 Lastfall
Werkstoff	E_N_example_3	E_N_example_3	E_N_example_3
Dauerfestigkeit	Default	Default	Default
Belastung	Load_example_3.FME	Load_example_3.FME	Load_example_3.MES
Anzahl Klassen	100	100	100
Hysterese	0	0	0
Residuum berücks.	ja	Ja	.-
Vorgabe f. Hystereseschleifen	stehend u. hängend	stehend u. hängend	stehend u. hängend
Werkstoffmodell	1xNeuber	1xNeuber	1xNeuber
Obere Grenze	160	160	160
Untere Grenze	-10	-10	-10
Multiplikator Anz.	1	100	1
Multiplikator Last	1	1	1
FE-Ergebnisdatei	FE_Lc1_example_3.LST	FE_Lc1_example_3.LST	FE_Lc1_example_3.LST
Kraft aus FE	100	100	100
Vergl.-Sp.-Hyp.	Gestaltänderungsenergiehypothese		
Schadenssumme	0,000107	0,0107	0,0107
Knoten	284	284	284

Vergleicht man die Ergebnisse der Berechnung nach dem Nennspannungskonzept (Beispiel 2) und dem Örtlichen Konzept in diesem Beispiel, so findet man vergleichsweise geringe Differenzen der Schadenssummen. Dies liegt daran, dass die Daten der Beispiele sehr sorgfältig überprüft und angepasst wurden.

Bei realen Beispielen in der Praxis können die Differenzen zwischen verschiedenen Berechnungskonzepten sehr viel größer sein und Abweichungen bis zu einem Faktor 10 sind nicht ungewöhnlich. Diese Abweichungen resultieren aus unterschiedlichen theoretischen Ansätzen und auch unterschiedlich ermittelten Werkstoffdaten.

Es wird – insbesondere bei einem Einstieg in die Lebensdaueranalyse - empfohlen, nach verschiedenen Berechnungskonzepten (Örtliches Konzept und Nennspannungskonzept) zu rechnen und die Ergebnisse zu vergleichen.

Sollten größere Abweichungen als der Faktor 10 auftreten, so kann das ein Hinweis auf prinzipielle Fehler sein. Durch schrittweise Überprüfung der gesamten Berechnungskette sollte dann versucht werden, die Ursachen für den Unterschied festzustellen und mögliche Eingabe oder Datenfehler zu erkennen.

5. Beispiel 4 / Rainflow-Verfahren versus Werkstoff Memory

Die Konstruktion des Spannungs-Dehnungs-Pfades allein auf der Basis des Werkstoff-Memory soll in diesem Beispiel mit dem der Konstruktion des Spannungs-Dehnungspfades auf der Basis des Rainflow-Verfahrens verglichen werden. Dazu wird ein Beispiel aus [12] nachgerechnet. Dieses Beispiel wird mit folgenden (standardmäßig eingestellten) Optionen berechnet:

Parameter	gewählte Einstellung
Residuum	Nein
Dauerfestigkeit	Defaultdauerfestigkeit verwenden
Werkstoffmodell	2 x Neuber

Die Berechnung erfolgt

- ohne Verwendung von Klassen und nur unter Verwendung des Werkstoffgedächtnisses,
- unter Verwendung von Klassen und nur unter Verwendung des Werkstoffgedächtnisses,
- mit Hilfe der Rainflow-Zählung. Basierend darauf wird mit Hilfe der zyklischen Werkstoffdaten der Spannungs-Dehnungspfad unter der Annahme hängender und stehender Schleifen rekonstruiert.

Das Beispiel soll ein Verständnis für die Vorgänge beim Örtlichen Konzept wecken.

5.1. Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Methode	Nicht geschweißt/ örtl. Konzept/ Einachsig uniaxial - Kraft	Nicht geschweißt/ örtl. Konzept/ Einachsig uniaxial - Kraft	Nicht geschweißt/ örtl. Konzept/ Einachsig uniaxial - Kraft
Werkstoff	E_N_example_4	E_N_example_4	E_N_example_4
Werkstoffmodell	2xNeuber	2xNeuber	2xNeuber
Dauerfestigkeit	Default	Default	Default
Belastung	Load_example_4.fme	Load_example_4.fme	Load_example_4.fme
Anzahl Klassen	200	200	200
Hysterese	0	0	0
Residuum berücks.	Nein	Nein	Nein
Obere Grenze	1001	1001	1001
Untere Grenze	-501	-501	-501
Multiplikator Anz.	1	1	1
Multiplikator Last	10	10	10
FE-Daten	keine	Keine	Keine
Schadensberechnung	fortlaufende Schleifen klassiert	Fortlaufende Schleifen	stehende und hängende Schleifen klassiert
Schadenssumme	0,01005	0,009908	0,01003
Knoten			

Das Ergebnis der Rechnungen zeigt, dass in dem Beispiel die Schadenssumme nicht gravierend durch das Verfahren der Schadensberechnung beeinflusst wird.

Die Berechnungsverfahren auf der Basis des Spannungs-Dehnungs-Pfades können bei kurzen Last-Zeit-Funktionen interessant sein, doch wird kann man bei Standardproblemen aus Gründen der Rechenzeit die Schadensberechnung aus der Rainflow-Matrix ableiten.

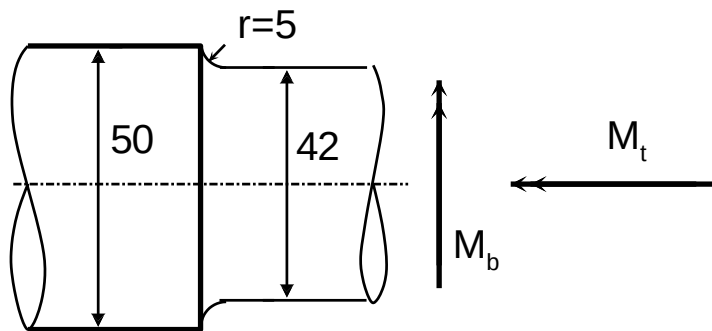
6. Beispiel 5 / Vergleich mit FKM-Richtlinie

Das folgende Beispiel stammt aus der FKM-Richtlinie (Seite 213), in der verschiedene Nachweise – z.B. der statische Nachweis - erbracht werden. Hier sollen nur die Betriebsfestigkeitsaspekte nachgerechnet werden.

Der Ablauf ist in dem Video detailliert dargestellt.

Gegeben ist eine abgesetzte Welle aus Walzstahl, die durch Biegung und Torsion belastet sei.

Aufgabe soll es sein, die Bauteilwöhlerlinie zu ermitteln und mit der FKM-Richtlinie zu vergleichen.



Nennspannungen infolge von Biegung ± 150 MPa

Nennspannungen infolge von Torsion 50 ± 150 MPa

Bild 6-1: Abmessungen und Belastung des Bauteils

Gegeben:

Spannungen:

Einstufenbelastung aus Biegemoment, was zu einer Nennspannung von ± 150 MPa führt,

Torsionsmoment M_t , was zu einer Nennschubspannung von 50 +- 100 MPa führe.

Werkstoff:

Walzstahl 41 Cr4 nach DIN EN 10 083

Zugfestigkeit und Streckgrenze für die Normabmessung:

$R_{M,N} = 1000 \text{ MPa}$ $R_{e,N} = 800 \text{ MPa}$

Größen zur Bestimmung des technologischen Größeneinflusses:

Durchmesser des Normprüfkörpers $D_{\text{eff}} = 16 \text{ mm}$

Kennwert zur Berechnung des Größeneinflusses $\alpha_{\text{eff}} = 0,3$

Abmessungen aus Zeichnung., mittlere Oberflächenrauheit $R_z = 10 \text{ }\mu\text{m}$

Zur Eingabe der Werte ist der Button Generator anzuklicken und dann öffnet sich die rechte Seite der Maske zur Eingabe in folgender Weise:

Berechnungsmethode FKM

Werkstoff Walzstahl

Belastung Biegung

R_m 1000

R_e 800

Rauhtiefe

Die Rautiefe ist mit 10 gegeben und wird in die Hauptmaske eingetragen.

K_v

Es liegt keine Randschichtverfestigung vor, so dass $K_v = 1,0$ unverändert gelassen wird.

Temperatur

Es wird vorgegebene Umgebungstemperatur von 20 Grad Celsius verwendet.

D_{eff}

Der effektive Durchmesser des Bauteils beträgt in der Kerbe 42 mm. Diese Information wird verwendet, um den Größeneinfluss zu berücksichtigen.

D_{effN}

Der Durchmesser der Proben zur Werkstoffdatenermittlung ist mit 16 mm gegeben.

adm

Der Kennwert zur Berücksichtigung des Größeneinflusses ist mit 0,3 gegeben.

Anisotropiefaktor

Es liegt keine Anisotropie vor, so dass der Wert auf 1 belassen wird.

K_{NL}

Es sind keine Besonderheiten bezüglich Oberflächenrauigkeit gegeben, so dass K_{NL} unverändert mit 1 belassen wird.

Den Vergleich der Ergebnisse der FKM-Beispielrechnung und winLIFE 4.0 zeigt die Tabelle:

	FKM-Beispielrechnung	winLIFE
Zug-Druck-Wechselfestigkeit MPa	403	402,94
Biegewechselfestigkeit MPa	261	261,3
Mittelspannungsempfindlichkeit (Biegung)	0,213	0,213
Torsionswechselfestigkeit MPa	190	189,93
Mittelspannungsempfindlichkeit (Torsion)	0,123	0,123
Formzahl Kt (Biegung)	1,557	1,557
Formzahl Kt (Torsion)	1,28	1,28
χ^* (Biegung)		=0,5425
χ^* (Torsion)		=0,23

Es zeigt sich, dass sich eine sehr ähnliche Bauteilwöhlerlinie ergibt.

7. Beispiel 6 / Zylinder unter Zug und Torsion (multiaxial)

Auf einen Zylinder wirken ein zeitveränderliches Torsionsmoment und Zug-Druckkräfte. Gesucht ist die Lebensdauer unter dynamischer Belastung.

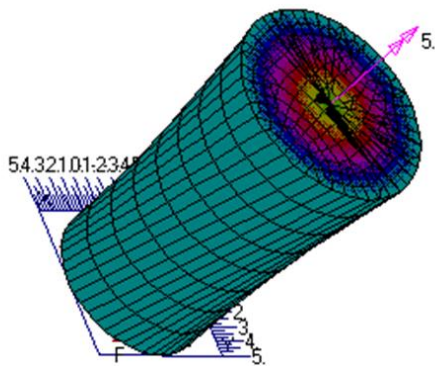


Bild 7-1: Ansicht des Einheitslastfalls des FE-Modells (Torsion)

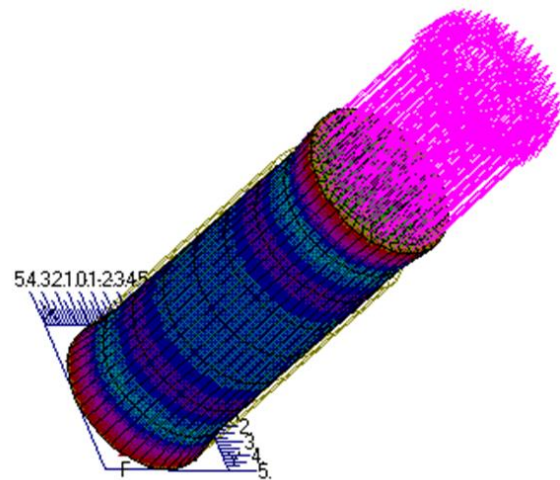


Bild 7-2: Ansicht des Einheitslastfalls des FE-Modells (Zug-Druck)

Dieses Beispiel ist sehr einfach gewählt, so dass die gesamte Berechnung überschaubar ist und auch mit den Methoden der elementaren Mechanik nachvollzogen werden kann. Die äußere Belastung resultiert aus einem Torsionsmoment mit dem Betrag 5 Nm.

Torsionsmoment:

$$M_t = 5 \text{ Nm}$$

Die aus den Einzelkräften resultierende

$$\text{Zugkraft: } F = -1 \text{ N}$$

ist hier negativ, da sie als Druckkraft vorgegeben ist.

Die sich ergebenden Spannungen betragen:

Zugspannung

$$\sigma = F/A = -78,5 \text{ N/mm}^2 = -0,0785 \text{ N/mm}^2 = -78,5 \text{ N/cm}^2$$

Torsionsspannung

$$\tau = M_t/W_p = 5 \text{ Nm}/196,34 \text{ cm}^3 = 2,54 \text{ N/cm}^2$$

In diesem Beispiel wird eine Last-Zeit-Funktion verwendet, die dazu führt, dass sich diese einzelnen Spannungszustände einschließlich verschiedener Überlagerungen ergeben. Die zugehörigen Mohrschen Kreise können dargestellt und analysiert werden. Da dieses hier gezeigte Vorgehen auch bei komplexen Strukturen praktiziert wird, sollte es der Benutzer nachvollziehen. Es werden sich die in Bild 0-3: Spannungszustände bei reiner Torsion (links) und reinem Zug (rechts)

dargestellten Mohrschen Kreise für reine Torsion und reine Zugbelastung und die überlagerten Zustände ergeben und können mit detailliert dargestellt und untersucht werden.

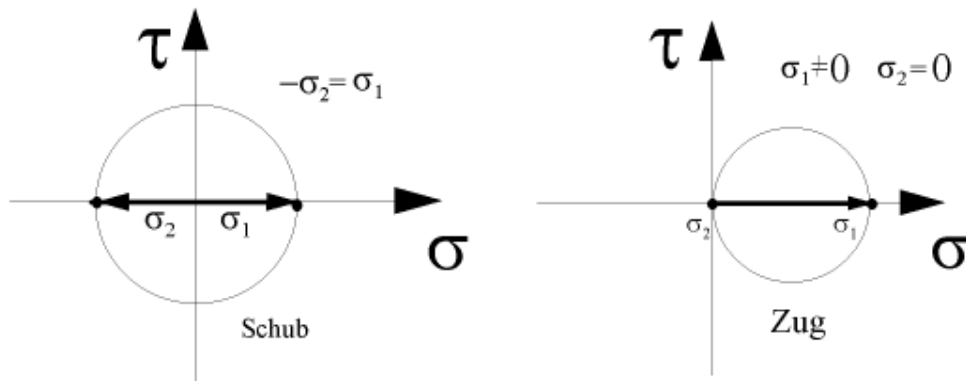


Bild 7-3: Spannungszustände bei reiner Torsion (links) und reinem Zug (rechts)

Tabelle: Zusammenfassung aller wichtigen Daten des Beispiels

	Lastfall 1	Lastfall 2
Methode	Nicht geschweißt/ Kerbspannung/ Mehrachsig multiaxial - Kräftebelastung	Nicht geschweißt/ Kerbspannung/ Mehrachsig multiaxial - Kräftebelastung
Werkstoff	S_N_example_6	S_N_example_6
Belastung	Load_example_6_1.FME	Load_example_6_2.FME
Zeitraffung/Hysterese	nein	Nein
Anzahl Klassen	100	100
Hysterese/Rainflow	0	0
Obere Grenze	Automatische Berechnung	Automatische Berechnung
Untere Grenze	der Grenzen	der Grenzen
Multiplikator Anz.	1	1
Multiplikator Last	1	0,5
Datei des FE- Einheitslastfalls	FE_lc_1_example_6.LST	FE_lc_2_example_6.LST
Vergl.-Sp. Hypothese	modif. GE-Hypothese/ Vorzeichen aus Normalspg.	modif. GE-Hypothese/ Vorzeichen aus Normalspg.
Kraft aus FE	1	1
Knotenauswahl	941_984.KNO	941_984.KNO
Residuum berücksichtigen	ja	ja
Anzahl der Schnittebenen	20	20
Schadensberechnung	originale Form Wöhlerlinientransformation	originale Form Wöhlerlinientransformation
Schadenssumme	3,105*10⁻⁶	
Knoten	941	

8. Beispiel 7 / Lenker unter Längs- und Querkraft (multiaxial)

Das nun folgende Beispiel könnte eine realistische Anwendung aus dem Maschinen- oder Fahrzeugbau sein. Der im Bild abgebildete Lenker wird durch zwei voneinander unabhängige Kraftgruppen belastet, für die Meßwerte vorliegen. Aufgabe ist die Berechnung der Lebensdauer für das durch Messung gefundene Belastungskollektiv.

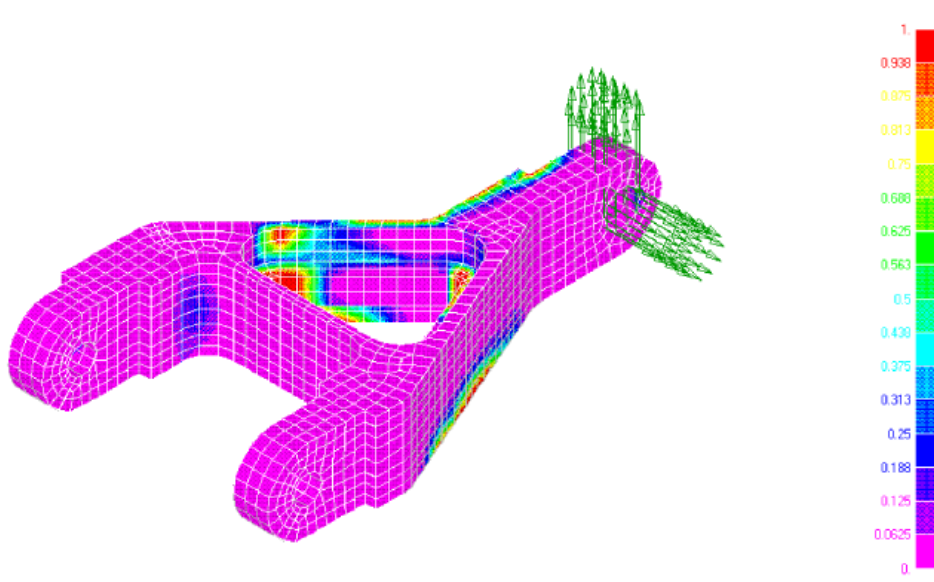


Bild 8-1: Lenker, der durch 2 zeitveränderliche Kraftgruppen belastet wird.

Dieses Beispiel zeigt ein in der Realität häufig anzutreffendes Problem großer Datenmengen und daraus resultierend langer Rechenzeiten. Diese Problematik wird hier durch Zeitraffung der Last-Zeit-Funktion gelöst, so dass eine Rechenzeit von nur wenigen Minuten auftritt obwohl alle Knoten der Oberfläche untersucht werden.

Die Ergebnisse zweier Rechenläufe sind in der Tabelle angegebene. Die Daten des zweiten Durchlaufs ohne Zeitraffung sind in Klammern angegeben. Einstellungen, die nur einmal erscheinen sind in beiden Durchläufen gleich.

Tabelle: Zusammenfassung der Daten des Beispiels für den Durchlauf mit und ohne (Klammerwerte) Zeitraffung.

	Lastfall 1	Lastfall 2
Methode	Nicht geschweißt/ Kerbspannung/ mehrachsige multiaxial – Kräftebelastung FE-Schnittstelle/ 2 Lastfälle	Nicht geschweißt/ Kerbspannung/ mehrachsige multiaxial – Kräftebelastung FE-Schnittstelle/ 2 Lastfälle
Werkstoff	S_N_example_7	
Belastung	Load_example_7_1.FME	Load_example_7_2.FME
Zeitraffung/Hysterese	10 % (0)	10 % (0)
Anzahl Klassen	50 (100)	50 (100)
Hysterese/Rainflow	0	0
Obere Grenze	Automatische Berechnung der Grenzen	
Untere Grenze		
Multiplikator Anz.	1	1
Multiplikator Last	1	1
Datei des FE-Einheitslastfalls	FE_lc1_example_7.lst	FE_lc2_example_7.lst
Vergl.-Sp. Hypothese	modif. GE-Hypothese Vorzeichen aus Normalspg.	modif. GE-Hypothese Vorzeichen aus Normalspg.
Kraft aus FE	100	100
Knotenauswahl	Alle (max_schad.kno)	Alle (max_schad.kno)
Residuum berücksichtigen	Ja	
Anzahl der Schnittebenen	8 (20)	
Schadensberechnung	elementare Form Wöhlerlinientransformation	
Schadenssumme	0,000070457 (0.0000682)	
Knoten	1018	

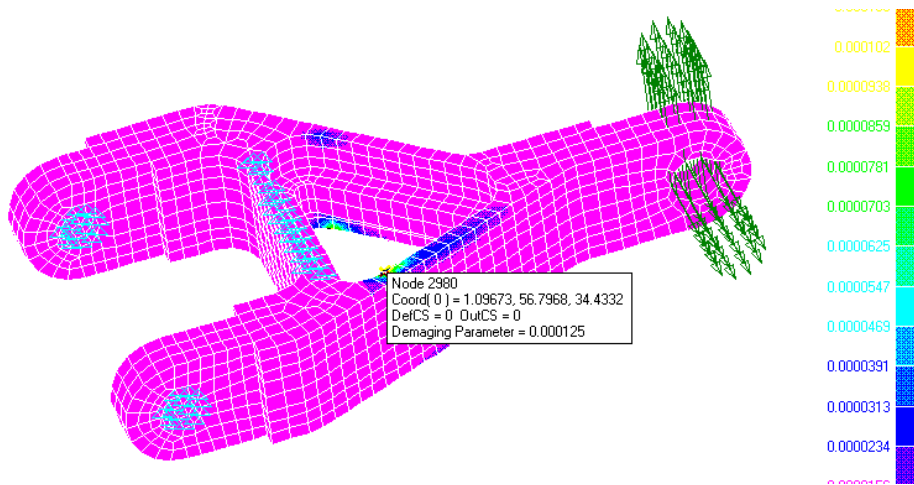


Bild 8-2: Linien gleicher Schädigung (FEMAP -Grafik)

Eine kritische Analyse der Ergebnisse ist nun notwendig, was hier am Beispiel von Knoten 1288 geschehen soll. Zunächst kann für jeden Knoten ein Protokollfile dargestellt werden, der die wichtigsten Eingabedaten und auch alle zur Überprüfung notwendigen Zwischenergebnisse enthält. Dieser Protokollfile kann sehr groß sein.

9. Beispiel 8 / Verwendung von Dehnungsmessungen

Hinweis: Dieses Beispiels ist als Video-Datei mit umfangreicher Erläuterung auf der winLIFE 4.0 -CD vorhanden.

Die Daten dieser Untersuchung stammen aus dem FKM-Forschungsvorhaben Nr. 235 [46], an dem Forschungsstellen wie LBF, Uni Clausthal und Automobilfirmen beteiligt waren.

Gegeben ist ein Nutzfahrzeugrad der Größe 22,5“ x 11,75“ aus GK-ALSI 7 Mg im warmausgehärteten Zustand. Die Räder wurden im Kokillenguss-Verfahren hergestellt und im Bereich des Felgenbettes sowie im Bereich der Verschraubung mit der Nabe spanend bearbeitet.

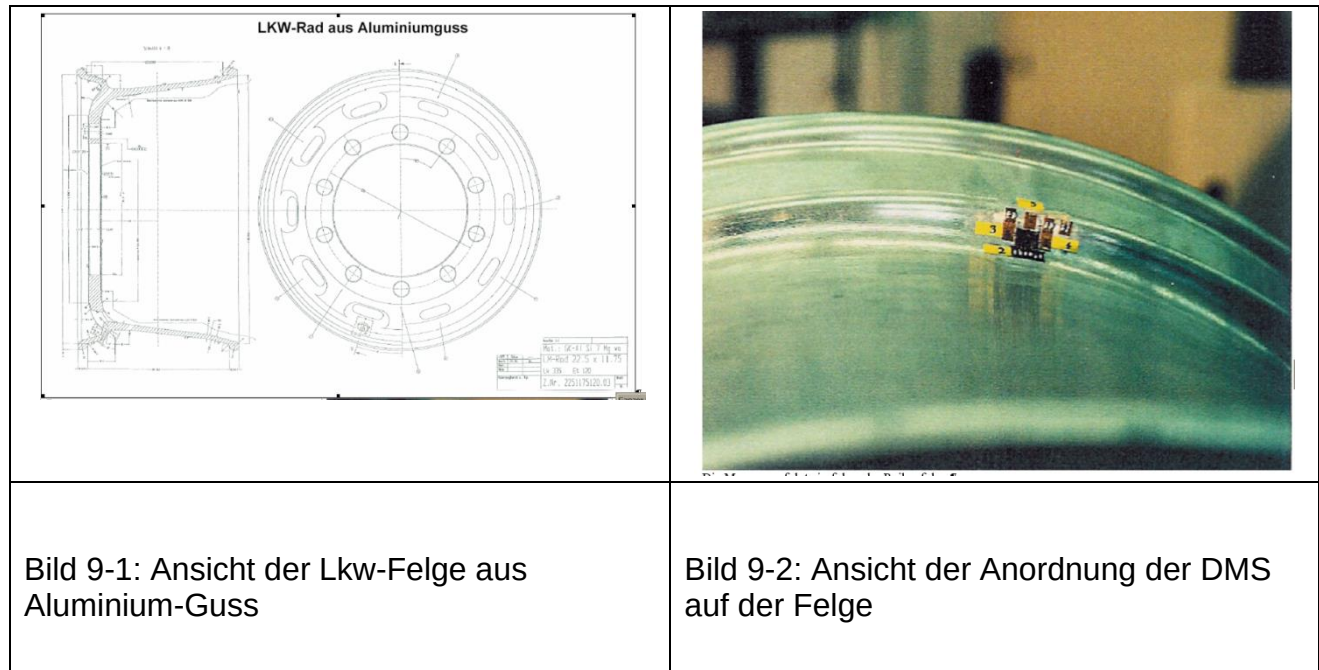
Die Versuche wurden unter einem standardisierten Belastungsprogramm „Europazyklus-N“ für Vorderachsräder ohne Gelände im Zweiaxialen Rad/Nabenversuchstand für Radlasten vorgenommen. Das Ergebnis aus mehreren Versuchen war eine mittlere Laufstrecke von

14 200 km bis zum Anriss und

18 500 km bis zum Bruch

Beim Aufbringen der Belastung wurde in folgender Weise vorgegangen:

- Vorspannung durch Befüllung mit dem vorgeschriebenen Luftdruck
- Vorspannung beim Anziehen der Radmutter
- Beanspruchung für eine Runde „Europazyklus-N“



Die Messung erfolgte in folgender Reihenfolge:

Anziehen der Radmuttern; Messung; Nullabgleich

Aufpumpen ; Messung; Nullabgleich

Messung auf dem Rundzyklus (65 km)

Dies bedeutet, dass die Messung auf dem Rundzyklus nicht die Vorspannungen enthält, sondern dass diese noch hinzuaddiert werden müssen. Die Werte der einzelnen Kanäle wurden für das Anziehen und Aufpumpen in folgender Weise erhalten. 1 V entspricht 99,502 MPA bei 0,1363 % Dehnung ($E_{mod} = 73000 \text{ N/mm}^2$)

	Rosette Richtg.	Kalibrierwerte	Dehnung/Spannung Anziehen	Dehnung/Spannung Aufpumpen
Kanal 1: sad 1	X	1 V = 0,1363 %	0.00012329 9 MPA	+ 0.0016712 122 MPA
Kanal 2: sad 2	Y	1 V = 0,1363 %	+ 0.0000411 6 MPA	+0.0000959 68 MPA
Kanal 3: sad 3	Z	1 V = 0,1363 %	+ 0.0000822 3 MPA	+ 0.0009315 7 MPA

Die Ergebnisse der Messung für 65 km Fahrstrecke befinden sich in der Datei rad04.asc im winLIFE 4.0 -Verzeichnis mit den Beispieldaten

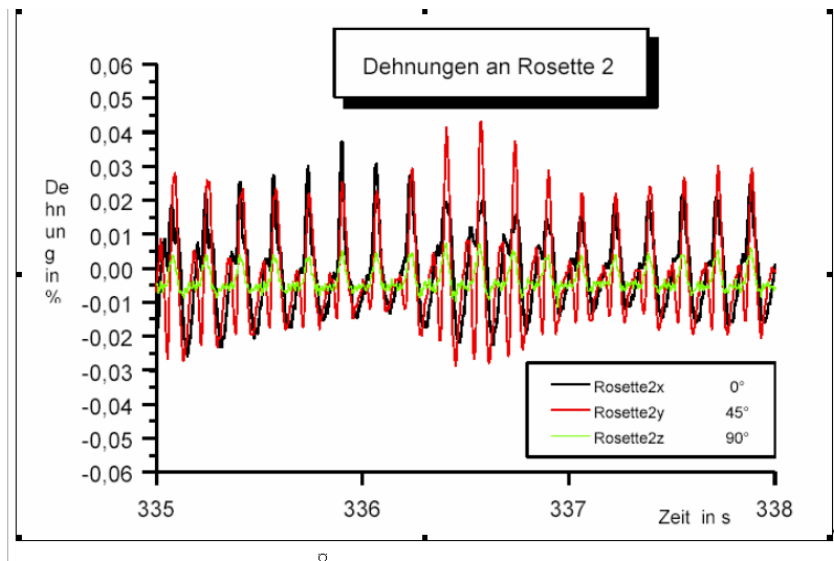


Bild 9-3: Ausschnitt aus der Dehnungsmessung

Um aus den Dehnungsmessungen die tatsächliche Dehnung zu berechnen, müssen die Offsets aus dem Anziehen der Radmuttern und der Luftdruckbelastung hinzuaddiert werden.

Die Gleichungen sehen dazu folgendermaßen aus:

9.1. Umrechnung Rosettenmesswerte in ebenen Dehnungszustand

X, Y, Z sind die gemessenen Spannungen in Volt, die mit dem Kalibrierwert multipliziert die gemessene Dehnung im Fahrversuch ergeben. Die Anteile aus Anziehen der Muttern (2. Summand) und Aufpumpen (3. Summand) kommen noch hinzu und die Umrechnung in die wirkliche Gesamtdehnungen ergibt sich durch die Gleichungen:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= X * 0.001363 & + 0.00012329 & + 0.0016712 \\ \varepsilon_y &= Z * 0.001363 & + 0.0000411 & + 0.0000959 \\ \varepsilon_{xx} &= Y * 0.001363 & + 0.0000822 & + 0.0009315 \\ \varepsilon_{xy} &= \varepsilon_x + \varepsilon_y - 2.0 * \varepsilon_{xx}\end{aligned}$$

9.2. Umrechnung der Rosettenwerte in ebenen Spannungszustand

Die Umrechnung der Dehnungen in Spannungen erfolgt durch die Gleichungen für den ebenen Spannungszustand (E-Modul = 73000 und Querkontraktionszahl=0,3):

$$\sigma_x = 73000 / (1 - (0.3 * 0.3)) * (\epsilon_x + 0.3 * \epsilon_y)$$

$$\sigma_y = 73000 / (1 - (0.3 * 0.3)) * (\epsilon_y + 0.3 * \epsilon_x)$$

$$\tau_{xy} = 73000 / (2 * (1 + 0.3)) * \epsilon_{xy}$$

Diese Informationen müssen nun in winLIFE 4.0 eingegeben werden.

Hinweis: Das weitere Vorgehen sehen Sie in der Videodarstellung

10. Beispiel 9 / Aufruf aus einer Batch-Prozedur

Hinweis: Das Beispiel ist durch ein Video dokumentiert, das sich auf der CD befindet.

Man kann winLIFE 4.0 mit Parametern über Betriebssystembefehle - also ohne GUI - starten. Auf diese Weise lassen sich automatisch ablaufende Batch-Prozeduren definieren. Dies ist dann sinnvoll, wenn man immer wiederkehrend ähnliche Probleme mit nur wenig geänderten Parametern zu bearbeiten hat.

In diesem Beispiel wird der Einfluss der Dauerfestigkeit auf die Lebensdauer untersucht. Ausgehend von einer Projektdatei werden Kopien erstellt, in denen lediglich der zu variierende Parameter, die Dauerfestigkeit, geändert wird.

Es wird eine Batch-Datei erstellt, die den automatischen Ablauf mehrere winLIFE 4.0 -Berechnungen bewirkt.

11. Beispiel 10: Zahnräder und Lager

In diesem Beispiel wurde:

im ersten Schritt

eine komplette Zahnradauslegung beispielhaft durchgeführt, bei der auch viele Daten ermittelt wurden, die für eine Lebensdauerberechnung nicht erforderlich sind.

Im zweiten Schritt

wurde für das so ausgelegte Zahnrad eine Lebensdauerberechnung durchgeführt. Dabei wird auf die Ergebnisse des ersten Schrittes zurückgegriffen, wobei nur einige Daten aus dem ersten Schritt benötigt werden.

Die Zahnradauslegung erfolgte mit dem Programm ZAR der Firma HEXAGON-Software, die von uns empfohlen wird, da die Terminologie der Beschreibung und die Rechenverfahren aufeinander abgestimmt sind.

Das Programm ZAR kann direkt vom Hersteller

HEXAGON Software
Stiegelstr. 8
73230 Kirchheim

oder aber über uns bezogen werden.

11.1. Zahnradauslegung mit HEXAGON

Bei der Nachstellung dieses Beispiels empfiehlt es sich auch, das Kapitel Benutzeroberfläche HEXAGON zu lesen, da Teile der Eingabe dort beschrieben werden.

11.1.1. Ergebnisdaten Geometrie

Für die Eingabefelder des Beispielzahnades mit den Zähnezahlen 16/58 erhält man die folgenden Geometrieergebnisse:

+-----+			
	ZAR1+ V22.4	Zahnradgeometrie nach DIN 3960/61/67	
	Körner (eingeschränkte Seminarversion)	02.11.2014 13:50	
	D:\A-HIM\STZ-Willmerding-Mercedes\Beispiel-16-58 mit LK.zar.zar		

	Stirnrad	Nr.: 000000	
	Stirnrad	Nr.: 000000	
	Anwendungsbeispiel		
	zur Demoversion		

		Zeichen	Einheit Rad 1 Rad2
	+-----+		
Eingriffswinkel	alpha	Grad	20.00000

Schrägungswinkel	beta	Grad	9.00000

Normalmodul	mn	mm	6.5000

Stirnmodul	mt	mm	6.5810

Zähnezahl	z		16 58

Profilverschiebungsfaktor	x		0.5200 0.5700

Achsabstand	a	mm	249.996

Achsabstand Abmaß	Aa	mm	js 7: ± 0.023

Null-Achsabstand	a0	mm	243.498

Zahnbreite	b	mm	88.00 88.00

tragende Zahnbreite	b eff.	mm	88.00

Teilkreisdurchmesser	d	mm	105.296	381.699
Wälzkreisdurchmesser	dw	mm	108.106	391.885
Fußkreisdurchmesser	df	mm	95.696	372.653
Fußkreistoleranz	A df	mm	-0.110	-0.165
Grundkreisdurchmesser	db	mm	98.801	358.155
Kopfkürzung	k _{mn}	mm	0.000	0.000
Kopfspiel mit Kopfhöhenänd.	ck	mm	1.196	1.196
theor.Kopfkreisdurchmesser	da _{th}	mm	125.056	402.109
Kopfkreisdurchmesser	da	mm	124.946	401.903
Kopfkreistoleranz	A da	mm	-0.110	-0.165
Zahnhöhe	h	mm	14.625	14.625
Übersetzungsverhältnis	u		3.63	

BERECHNETE WINKEL

Stirneingriffswinkel Teilzyl.	alpha _t	Grad	20.229
Schrägungswink.am Grundkreis	beta _b	Grad	8.453
Stirneingriffswinkel Wälzzyl.	alpha _{wt}	Grad	23.946

ÜBERDECKUNGSFAKTOREN

Akt.Fußnutzkreis d.Kopf	dNa	mm	124.946	401.903
Fußnutzkreisdurchm.	dNf	mm	100.923	379.822
Formkreisdurchmesser	dFf	mm	98.801	374.792
Eingriffsstrecke	g alpha	mm	27.950	
Profilüberdeckung	eps.alpha		1.441	
Sprungüberdeckung	eps.beta		0.674	
Gesamtüberdeckung	eps.gamma		2.115	
SPEZIFISCHES GLEITEN				
Spezif.Gleiten Zahnkopf	zeta a		0.544	0.591
Spezif.Gleiten Zahnfuß	zeta f		-1.444	-1.193
ABMESSUNGEN DES VERZÄHNUNGSWERKZEUGS				
Fußhöhenfaktor Werkzeug	hfP0/mn		1.000	1.000
Fußhöhe des Werkzeugs	hfP0	mm	6.500	6.500
Kopfhöhenfakt. Werkzeug	haP0/mn		1.250	1.250
Kopfhöhe des Werkzeugs	haP0	mm	8.125	8.125
Kopfrundungsradius Werkzeug	rhoaP0/mn		0.250	0.250
Kopfrundungsradius Werkzeug	rhoaP0	mm	1.625	1.625
Fußausrundungsr. Werkzeug	rhofP0/mn		0.000	0.000

Fußausrundungsradius. Werkzeug	rhofP0	mm	0.000	0.000
--------------------------------	--------	----	-------	-------

PROFILVERSCHIEBUNGSFAKTOREN

Profilverschiebungsfaktor	xnenn		0.52000	0.57000
Erzeug.prof.versch.f. fertig	xe		0.50732	0.54781
Erzeug.prof.versch.f. fertig	xemax		0.51155	0.55415
Erzeug.prof.versch.f. fertig	xemin		0.50309	0.54147

ZAHNTEILUNGEN, ZAHNABMESSUNGEN

Normalteilung	pn	mm	20.420	
Teilkreisteilung (Stirn-)	pt	mm	20.675	
Grundkreisteilung	pbt	mm	19.400	
Stirneingriffsteilung	pet	mm	19.400	
Normaleingriffsteilung	pen	mm	19.189	
Normalzahndicke theor.	sn th.	mm	12.671	12.907
Normalzahndicke max.	sn max	mm	12.631	12.832
Normalzahndicke min.	sn min	mm	12.591	12.772
Stirnzahndicke theor..	st	mm	12.829	13.068
Zahnkopfdicke max.	san max	mm	2.657	4.475

Zahnkopfdicke min.	san min	mm	2.609	4.411
-----	-----	-----	-----	-----
Stirn-Zahnkopfdicke max.	sat max	mm	2.690	4.530
-----	-----	-----	-----	-----
Stirn-Zahnkopfdicke min.	sat min	mm	2.642	4.466
-----	-----	-----	-----	-----
Normallückenweite	en	mm	7.750	7.513
-----	-----	-----	-----	-----
Stirnlückenweite	et	mm	7.846	7.607
-----	-----	-----	-----	-----
Ersatz-Zähnezahl	zn		16.557	60.020
-----	-----	-----	-----	-----

BEARBEITUNGSZUGABE

Bearbeitungszugabe	q	mm	0.000	0.000
-----	-----	-----	-----	-----
Toleranz Bearbeitungszugabe	+	mm	0.000	0.000
-----	-----	-----	-----	-----

TOLERANZEN, FLANKENSPIEL

Toleranzfeld nach DIN 3967			e 25	e 25
-----	-----	-----	-----	-----
Oberes Zahndickenabmaß	Asne	mm	-0.040	-0.075
-----	-----	-----	-----	-----
Unteres Zahndickenabmaß	Asni	mm	-0.080	-0.135
-----	-----	-----	-----	-----
Zahndickentoleranz	Tsn	µm	40	60
-----	-----	-----	-----	-----
Min.theor.Flankenspiel	jtmin	mm	0.099	
-----	-----	-----	-----	-----
Max.theor.Flankenspiel	jtmax	mm	0.235	
-----	-----	-----	-----	-----
Min.theor.Flankenspiel	jtmin	°	0.105	0.029
-----	-----	-----	-----	-----
Max.theor.Flankenspiel	jtmax	°	0.249	0.069
-----	-----	-----	-----	-----

PRÜFMASSE

Meßzähnezahl	k		3	8
Zahnweite theor.	W	mm	51.7932	151.9210
Zahnweite fertig max.	Wmax	mm	51.756	151.850
Zahnweite fertig min.	Wmin	mm	51.718	151.794
Zahnweitentoleranz	TW	mm	0.038	0.056
Kugel-und Rollendurchmesser	Dm	mm	12.000	12.000
Diametr.Zweikugelmaß theor	MdK	mm	128.008	406.679
Diametr.Zweikugelmaß fert.max	MdKmax	mm	127.935	406.509
Diametr.Zweikugelmaß fert.min	MdKmin	mm	127.862	406.373
Toleranz Zweikugelmaß	T MdK	mm	0.073	0.136
Diametr.Zweirollenmaß theor.	MdR	mm	128.008	406.679
Diametr.Zweirollenmaß fert.max	MdRmax	mm	127.935	406.509
Diametr.Zweirollenmaß fert.min	MdRmin	mm	127.862	406.373
Toleranz Zweirollenmaß	T MdR	mm	0.073	0.136

ZULÄSSIGE ABWEICHUNGEN NACH DIN 3961

Verzahnungsqualität nach DIN 3961			6	6
Profil-Formabweichung	ff	µm	12	12

Profil-Winkelabweichung	fHalpha	μm	8	8
Profil-Gesamtabweichung	Ff	μm	15	15
Teilungs-Einzelabweichung	fp	μm	10	11
Teilungssprung	fu	μm	12	13
Teilungs-Gesamtabweichung	Fp	μm	32	41
Teilungs-Spannenabweichung	Fpk	μm	41	52
Rundlaufabweichung	Fr	μm	25	30
Zahndickenschwankung	Rs	μm	14	18
Flankenlinien-Gesamtabweich.	Fbeta	μm	14	14
Flankenlinien-Winkelabweich.	fHbeta	μm	10	10
Flankenlinien-Formabweichung	fbeta f	μm	10	10
Zweiflanken-Wälzabweichung	Fi"	μm	28	33
Zweiflanken-Wälzsprung	fi"	μm	12	15
Einflanken-Wälzabweichung	Fi'	μm	38	45
Einflanken-Wälzsprung	fi'	μm	17	18

11.1.2. Ergebnisdaten Festigkeit

Für die Eingabefelder des Beispielzahnrades mit den Zähnezahlen 16/58 erhält man die folgenden Festigkeitsergebnisse:

+-----+			
	ZAR1+ V22.4	Zahnradfestigkeit nach DIN3990/ISO6336	
	Körner (eingeschränkte Seminarversion)	02.11.2014 13:50	

```

| D:\A-HIM\STZ-Willmerding-Mercedes\Beispiel-16-58 mit LK.zar.zar |
|-----|
| Stirnrad                      Nr.: 000000                      |
| Stirnrad                      Nr.: 000000                      |
| Anwendungsbeispiel                                                    |
| zur Demoversion                                                    |
|-----|
|                               Zeichen  Einheit  Rad 1      Rad 2      |
+-----+

```

BETRIEBSDATEN

```

-----
Nennleistung                P          kW          500.000
-----
Nenndrehmoment             T          Nm          3183.1    11538.7
-----
Drehzahl                   n          1/min          1500      413.8
-----

```

ZAHNKRÄFTE

```

-----
Nenn-Umfangskraft am Teilzyl.  Ft          N          60460
-----
Nenn-Umfangskraft am Wälzzyl.  Ftw         N          58888
-----
Nenn-Axialkraft am Wälzzyl.   Fxw         N          9327
-----
Nenn-Radialkraft am Wälzzyl.  Frw         N          26152
-----
Nenn-Normalkraft am Wälzzyl.  Fnw         N          64434
-----

```

WERKSTOFF UND BEARBEITUNG

```

-----
Werkstoff  Rad 1: 17CrNiMo6          Rad2: 17CrNiMo6
-----
Dichte                rho          kg/dm3          7.80      7.80
-----

```

Elastizitätsmodul	E	MPa	206000	206000
Querkontraktionszahl	nü		0.30	0.30
Dauerfestigk.Hertz.Press	Sig.Hlim	MPa	1500	1500
Zahnfußgrundfestigkeit	Sigma FE	MPa	800	800
Zahnfußgrundfestigkeit	Sig.Flim	MPa	400	400
Wärmebehandlung	Rad1: einsatzgeh.		Rad2: einsatzgeh.	
Brinellhärte		HB	740	740
mittl.Rauhtiefe Zahnflanke	RzZ	µm	5.0	5.0
mittl.Rauhtiefe Zahnfuß	RzY	µm	5.0	5.0
Breitenballigkeit		J/N		N
Einlappen/Einlauf m.ger.Last		J/N		N
Endrücknahme		J/N		N
BERECHNUNGSMETHODE:	nach DIN 3990 Teil 1 - 3 / ISO 6336			
ZUSATZABMESSUNGEN UND LAGERUNG				
Doppelschrägverzahnung		J/N		N
Innendurchmesser Radkörper	di	mm	0.00	0.00
Wellendurchmesser Ritzel	dsh	mm	95.00	
Kontakttragbild (s. Handbuch)		Nr.		a

Lagerungsart (s. Handbuch)		Nr.	a
Lagerabstand (s. Handbuch)	l	mm	300.0
Versatz (s. Handbuch)	s	mm	0.0
Stützwirkung		J/N	N
Flankenwinkelkorrektur		J/N	N

ALLGEMEINE EINFLUSSFAKTOREN

Umfangsgeschw. am Teilkreis	v	m/s	8.270	
Eingriffsfedersteifigkeit	c gamma	N/ (mm*mym)	19.495	
Reduzierte Masse	m red	kg/mm	0.043193	
Resonanzdrehzahl	nres	1/min	12679	3498
Bezugsdrehzahl	nbez	n/nres	0.12	
Dynamikfaktor	Kv		1.04	
Breitenfaktor Zahnflanke	KH-beta		1.07	
Breitenfaktor Zahnfuß	KF-beta		1.06	
Stirnfaktor Zahnflanke	KH-alpha		1.03	
Stirnfaktor Zahnfuß	KF-alpha		1.03	

FLANKENTRAGFÄHIGKEIT

Anwendungsfaktor	KA H	0.80
------------------	------	------

Zonenfaktor	ZH	2.25	
Einzeleingriffsfaktor	ZB	1.05	
Elastizitätsfaktor	ZE	$(N/mm^2)^{1/2}$	190
Überdeckungsfaktor Zahnflanke	Z eps.	0.86	
Schrägungsfaktor Zahnflanke	Z beta	0.99	
Ölviskosität bei 50 C	nue50	mm ² /s	100
Schmierstofffaktor	ZL	1.00	1.00
Geschwindigkeitsfaktor	Zv	0.99	0.99
Rauheitsfaktor	ZR	0.98	0.98
Werkstoffpaarungsfaktor	ZW	1.00	1.00
Größenfaktor Zahnflanke	ZX	1.00	1.00
Grübchengrenzfestigk. (dyn.)	Sigma-HG MPa	1468	1468
Flankenpressung im Wälzpunkt	Sigma-HC MPa	1010	
Flank.pr.i.Einzeleingr.pkt.	Sigma-HB MPa	1060	1010
Sicherh. Grübchenbildung	SH	1.39	1.45
ZAHNFUSSTRAGFÄHIGKEIT			
Anwendungsfaktor	KA F	0.86	
Formfaktor	YF	1.25	1.34
Spannungskorrekturfaktor	YS	2.44	2.57

Schrägungsfaktor Zahnfuß	Y beta	0.95	
Relative Stützziffer	YdrelT	0.99	1.00
Relativer Oberflächenfaktor	YRrelT	1.04	1.04
Größenfaktor Zahnfuß	YX	0.99	0.99
Lastwechsel/Periode	Np	0	0
Zahneingriffe/Umdrehung	e	1	1
Wechselfaktor	YA	1.00	1.00
Zahnfußgrenzfestigkeit (dyn.) Sigma-FG MPa 813 817 (Diese Werte werden für die Weiterverarbeitung in winLIFE benötigt)			
Zahnfußspannung	Sigma-F MPa	298	335
Sicherh. Zahnfußdauerbruch	SF	2.73	2.44

11.2. Lebensdauerberechnung von Zahnfuß- und Zahnflanke mit winLIFE

Daten des Beispiels für winLIFE

Da nur ein kleiner Teil der zuvor bei der Zahnradauslegung mit HEXAGON berechneten Daten für die Lebensdauerberechnung mit winLIFE 4.0 benötigt wird, werden diese wegen der Übersichtlichkeit hier nochmals aufgeführt.

Die Daten werden später in die Eingabemasken von winLIFE 4.0 eingegeben, was man auch mit Hilfe Screenshots nachvollziehen kann.

Werkstoff für Ritzel (Rad 1) und Rad (Rad 2)

17CrNiMo6 (wird für Wöhlerliniengenerator benötigt!)

Zähnezahl

	Ritzel (Rad 1)	Rad (Rad 2)
Zähnezahl	$Z_1=16$	$Z_2=58$
Zähnezahlverhältnis Z_2/Z_1	$i= 3,625$	
Drehzahlverhältnis n_2/n_1	$n_2/n_1=1/i=0,275$	
Momentenverhältnis M_2/M_1	$M_2/M_1 = i = 3,635$	

Die Zähnezahl bzw. das Zähnezahlverhältnis wird benötigt, um die Anzahl der Zahneingriffe und das Drehmoment am Rad zu berechnen.

Eckpunkte der Wöhlerkurve aus HEXAGON

Die ausgelesenen, dynamischen Grenzfestigkeitswerte entsprechenden Dauerfestigkeits- werten für das individuelle Bauteil (Bauteilwöhlerkurve). Die Grenzfestigkeitswerte ergeben sich aus der Umrechnung vom Referenzzahnrad (Modul 2) über die Verzahnungswerkzeuge und der dadurch sich bildenden Zahnfußausrundung sowie dem Werkstofftyp (Nitrierstahl, Einsatzstahl, etc.) samt der Wärmebehandlung und der Feinbearbeitung nach dem Härtevorgang.

Im Beispiel wurden die Grenzfestigkeitswerte für Grübchen und Zahnfuß jeweils für das Ritzel und das Rad in HEXAGON berechnet. Diese in der folgenden Tabelle angegebenen Werte werden von winLIFE 4.0 zur Berechnung der kompletten Wöhlerlinie benötigt.

	Ritzel (Rad 1)	Rad (Rad 2)
Grübchengrenzfestigkeit(dyn.) Sigma-HG MPa	1468*	1468*
Zahnfußgrenzfestigkeit(dyn.) Sigma-FG MPa	813*	817*

* Aus HEXAGON

Umrechnungsfaktor K_F aus HEXAGON-Daten

Das Verhältnis zwischen Zahnfußspannung und Drehmoment am Zahnrad wird als Eingabewert in winLIFE benötigt. Mit diesem Faktor wird das Moment aus dem Verweildauerkollektiv in eine Zahnfußspannung umgerechnet. Es kann aus den folgenden mit HEXAGON erhaltenen Ergebnissen (s. Tabelle) berechnet werden:

	Moment [Nm]	Zahnfußspannung [MPa]	K_{FP} [MPa/Nm]
Ritzel (Rad 1)	3183*	298*	$298/3183 = 0,0936$
Rad (Rad 2)	11538*	335*	0,0290

* Aus HEXAGON

Umrechnungsfaktor K_HP aus HEXAGON-Daten

Das Verhältnis zwischen Zahnflankenspannung und Drehmoment am Zahnrad wird als Eingabewert in winIFE benötigt. Mit diesem Faktor wird das Moment am Zahnrad in eine Zahnfußspannung umgerechnet. Es kann aus den folgenden mit HEXAGON erhaltenen Ergebnissen (s. Tabelle) berechnet werden:

	Moment [Nm]	Zahnflanken spannung [MPa]	K_FP [MPa/Nm]
Ritzel (Rad 1)	3183*	1060*	$1060 \text{ MPa} / (3183^{(1/2)} (\text{Nm})^{(1/2)})$ =18,78 MPa /(Nm)(1/2)
Rad (Rad 2)	11538*	1010*	$1010 \text{ MPa} / (11538^{(1/2)} (\text{Nm})^{(1/2)})$ =9,4 MPa /(Nm)(1/2)

* Aus HEXAGON

11.2.2. Wahl der Methode

Im ersten Schritt muss die Methode gewählt werden.

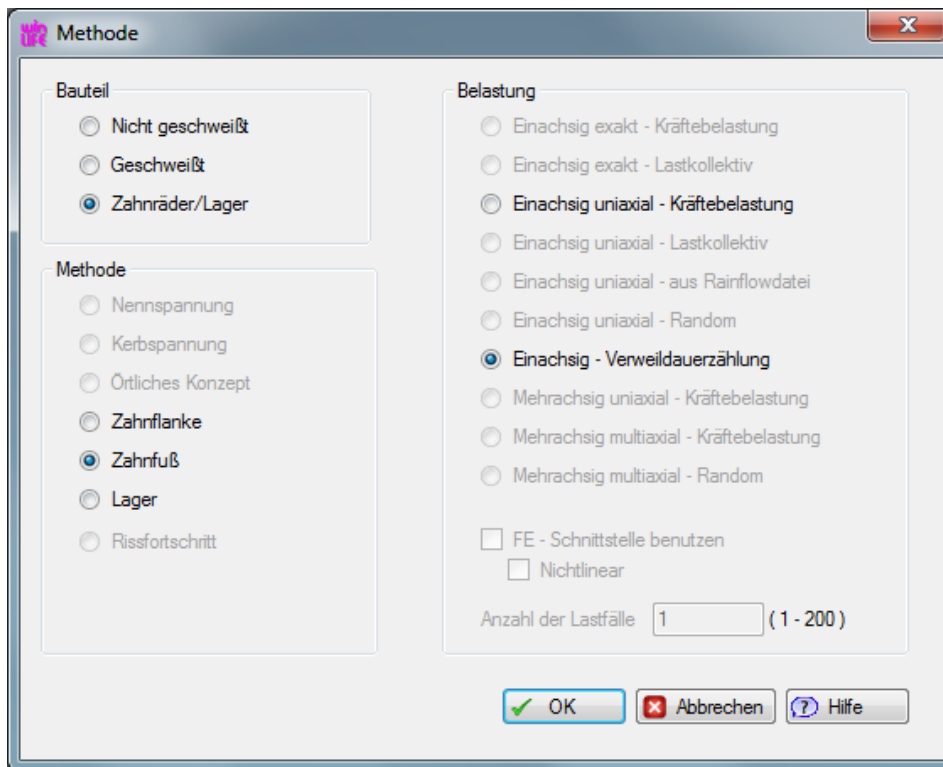


Bild 11-1: Einstellung für Berechnung des Zahnfußes

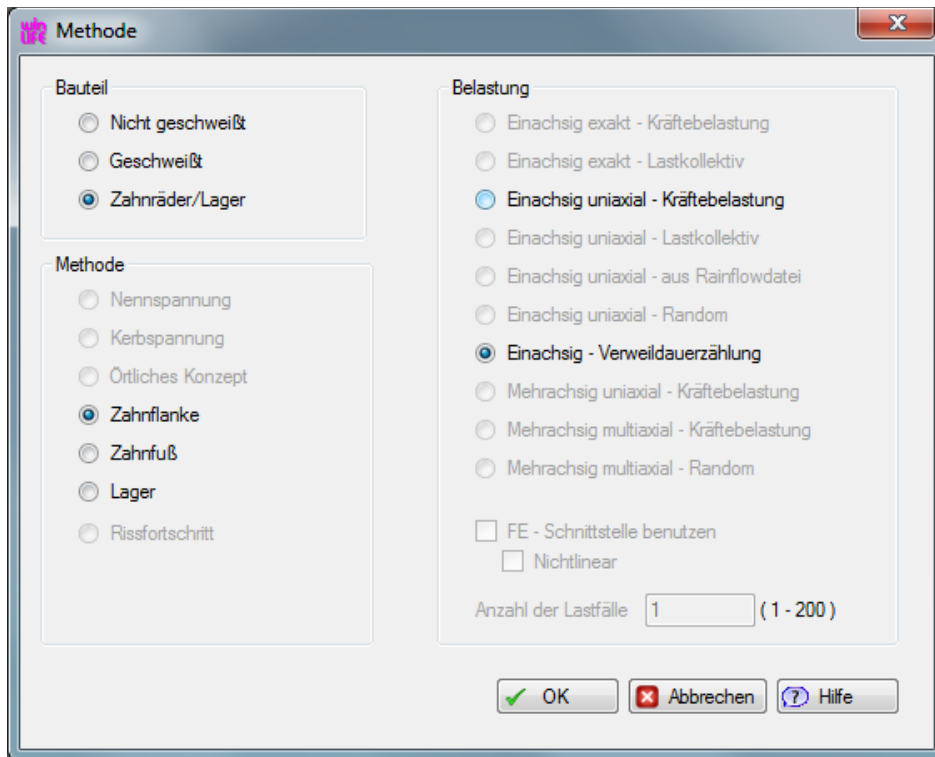


Bild 11-2: Einstellung für die Berechnung der Zahnflanke

11.2.3. Erzeugung einer Wöhlerlinie (Rad 1)

11.2.3.1. Zahnfußbiegung

Der Wert für die Zahnfußfestigkeit im Abknickpunkt $S_{FPD} = 813 \text{ MPa}$ wurde von Hexagon berechnet und wird in das Feld S_{FPD} eingetragen.

Bei dem Werkstoff 17CrNiMo6 handelt es sich um Einsatzstahl, so dass der Werkstofftyp 3 zu wählen ist. Wird nun der Button **generate** gedrückt, so werden die Werte im Kasten links erzeugt. Man beachte, dass das Kästchen unten markiert ist, damit die Abspeicherung in der Datenbank erfolgt.

Hinweis: Man könnte im Kasten links auch die Werte manuell eintragen, wenn diese nicht generiert werden sollen. Man beachte jedoch, dass die Steigung nur dann korrekt angegeben ist, wenn der Button generate gedrückt wurde.

Wöhlerlinie

Generator >>

Zahnfuß

S_FPS: 2032,500 [N/mm²]

S_FPD: 813,000 [N/mm²]

FNS: 1000

FND: 3000000

Steigung: 8,738

Werkstofftyp

<<

1: Einsatzstahl, einsatzgehärtet

2: Stahl und GGG, induktiv und flammgehärtet (einschl. Zahngrund)

3: ☒ (Selected)

4: ☐

generate S_FPD: 813,000 [N/mm²]

Identifikation

Kurzname: example_10_foot

Werkstoffnummer: Materialnummer

Bemerkung: winLIFE Beispiel 10 in Verbindung mit Hexagon

☒ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Bild 11-3: Eingabefenster zur Erzeugung der Wöhlerlinie für den Zahnfuß von Rad1 (Ritzel)

Das Ergebnis läßt sich durch Klicken von **Wöhlerlinie** / **Wöhlerlinie** grafisch darstellen.

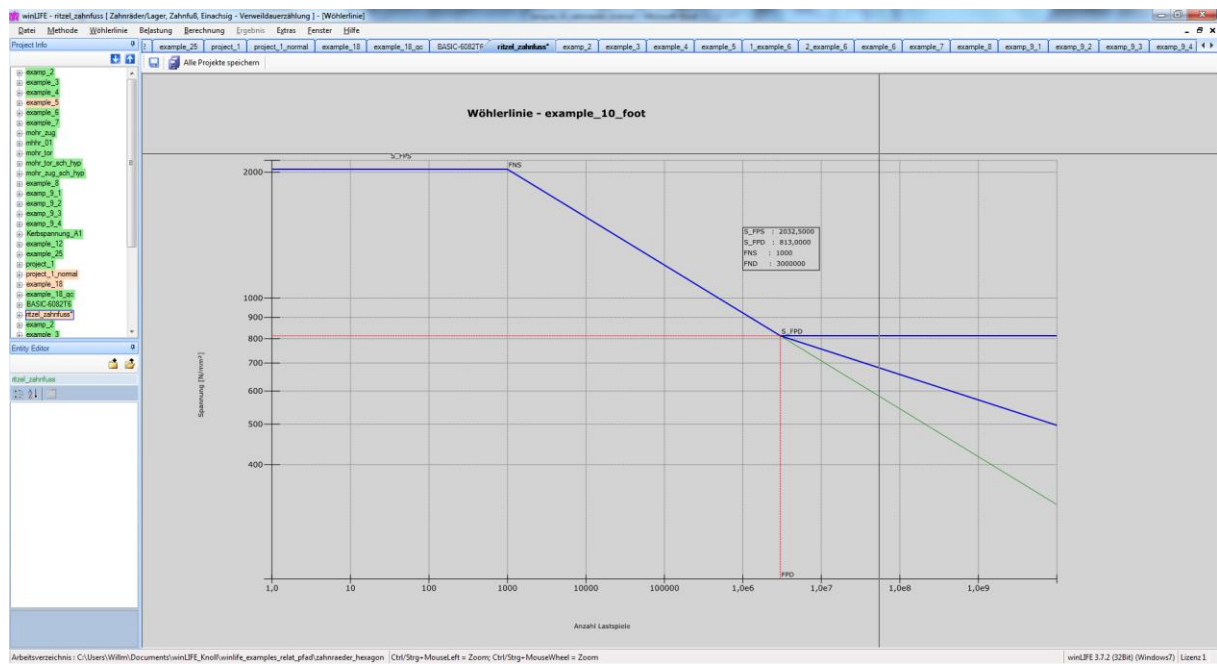


Bild 11-4: Ergebnis der Generierung : die Wöhlerlinie für den Zahnfuß von Rad1 (Ritzel)

11.2.3.2. Zahnflanke

Der Wert für die Zahnflankenfestigkeit im Abknickpunkt $S_{HPD} = 1468 \text{ MPa}$ wurde von Hexagon berechnet und wird in das Feld S_{HPD} eingetragen. Bei dem Werkstoff 17CrNiMo6 handelt es sich um Einsatzstahl, so dass der Werkstofftyp 3 zu wählen ist. Wird nun der Button **generate** gedrückt, so werden die Werte im Kasten links erzeugt. Man beachte, dass das Kästchen unten markiert ist, damit die Abspeicherung in der Datenbank erfolgt.

Hinweis: Man könnte im Kasten links auch die Werte manuell eintragen, wenn diese nicht generiert werden sollen. Man beachte jedoch, dass die Steigung nur dann korrekt angegeben ist, wenn der Button generate gedrückt wurde.

The screenshot shows the 'Wöhlerlinie' dialog box. The 'Zahnflanke' section has the following values: S_HPS = 2348,800 [N/mm²], S_HP = 1468,000 [N/mm²], HNS = 100000, HND = 50000000, and Steigung = 13,222. The 'Werkstofftyp' section has four radio buttons, with option 3 selected: 'Stahl und GGG, induktiv und flammgehärtet (einschl. Zahngrund)'. Below this is a 'generate' button and an S_HP field with the value 1468,000 [N/mm²]. The 'Identifikation' section has a 'Kurzname' field with 'example_10_flank', a 'Werkstoffnummer' field with 'Materialnummer', and a 'Bemerkung' field with 'winLIFE Beispiel 10 in Verbindung mit Hexagon'. At the bottom, there is a checkbox 'Wöhlerlinie in Datenbank speichern' which is checked, and a 'Pfad zur Datenbank...' field. The bottom buttons are 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Bild 11-5: Eingabemaske zur Generierung : die Wöhlerlinie für die Zahnflanke von Rad1 (Ritzel)

Das Ergebnis lässt sich durch Klicken von **Wöhlerlinie** / **Wöhlerlinie** grafisch darstellen.

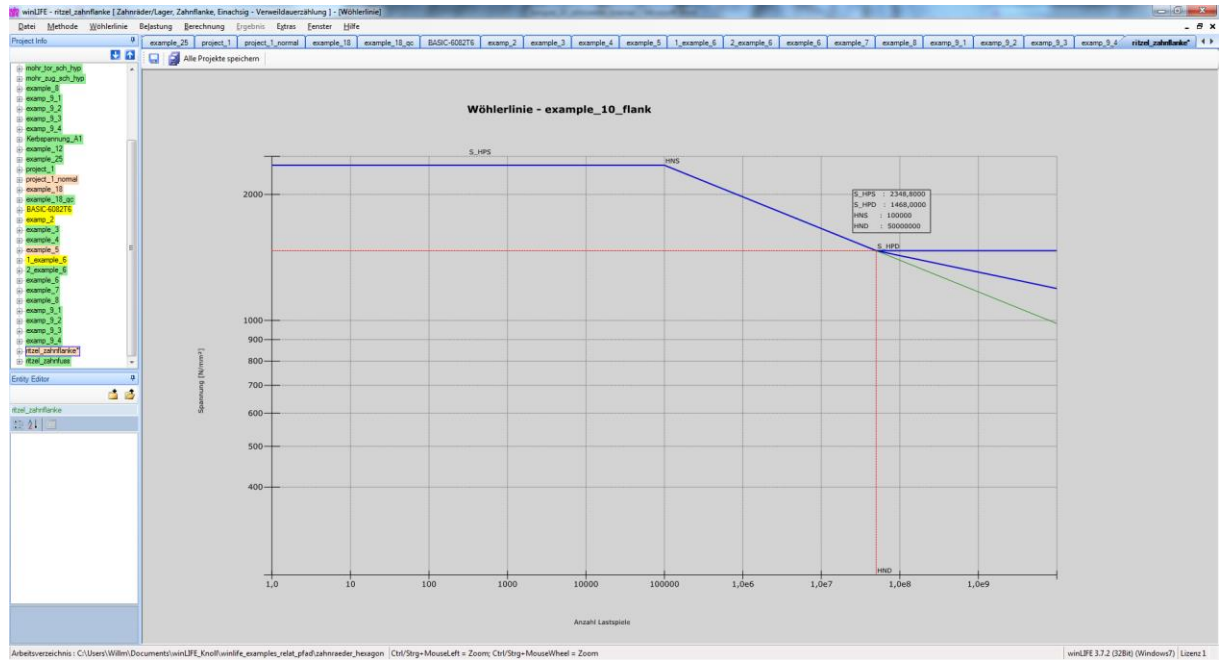


Bild 11-6: Ergebnis der Generierung : die Wöhlerlinie für die Zahnflanke von Rad1 (Ritzel)

11.2.4. Belastungskollektiv (Rad 1)

Man beachte, dass das Verweildauerkollektiv (Belastungskollektiv) für das zu berechnende Rad gültig sein muß! Bei einem Zahnradpaar haben daher das Ritzel (Rad 1) und das Rad (Rad 2) verschiedene Belastungskollektive.

Hinweis: Das Kollektiv für Rad 2 läßt sich aus dem Kollektiv für Rad 1 errechnen, indem die Drehmomentenwerte aus Kollektiv 1 mit der Übersetzung multipliziert werden und die Drehzahlen aus Kollektiv 1 durch die Übersetzung geteilt werden.

11.2.4.1. Manuelle Eingabe

Eine manuelle Eingabe eines Belastungskollektivs kann erfolgen, indem man aus dem Menü wählt:

Belastung / Generieren / Verweildauerzählung .

Als Belastung wird ein einfaches Beispiel eingegeben, bei dem lediglich drei Klassen belegt sind. Auf diese Weise kann man die Ergebnisse hinterher sehr einfach nachvollziehen. Ein weiteres Beispiel mit realistischeren Daten folgt anschließend.

Es erscheint dann die folgende Maske. In unserem Beispiel wird ein Drehmomentenbereich von -200 bis 1300 Nm in 30 Klassen und ein Drehzahlbereich von 1500 bis 1500 1/min in 15 Klassen vorgeben.

winLIFE_Verweildauer_3D Kollektiv - example

untere Grenze obere Grenze Anzahl Klassen

Drehmoment -200 1300,0 30 (Spalte)

Drehzahl 0 1500 15 (Zeile)

Tabelle

	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	60,0000	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	60,0000	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	60,0000	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Drehmoment

Speichern unter Speichern OK Abbrechen Hilfe

Bild 11-7: Belastungskollektiv

In der Spalte der Drehmomentenklasse 25 (entspricht einem Drehmoment zwischen 1000 und 1050 Nm, mittleres Drehmoment 1025 Nm) werden für die Drehzahlklassen 10,11 und 12 jeweils 60 Sekunden Verweilzeit eingegeben.

Im vorliegenden Fall betrage die Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs 60 km/h. Die Information aus der grafischen Darstellung lässt sich auch zahlenmäßig angeben (s. folgende Tabelle).

Den Zusammenhang zwischen Drehzahlklasse, Verweilzeit, Strecke und Umdrehungen zeigt die folgende Tabelle.

Drehzahl klasse	Mittlere Drehzahl in Klasse	Bereich Drehzahl [1/min]	Verweilzeit	Strecke bei v=60 km/h	Umdreh.
10	950	900 – 1000	60	1 km	950
11	1050	1000-1100	60	1 km	1050
12	1150	1100 - 1200	60	1 km	1150
Summe			180	3	3150

Eine grafische Darstellung dieser für die Lebensdauerberechnung wichtigen Daten des Kollektivs Drehmoment/Umdrehungen zeigt das folgende Bild:

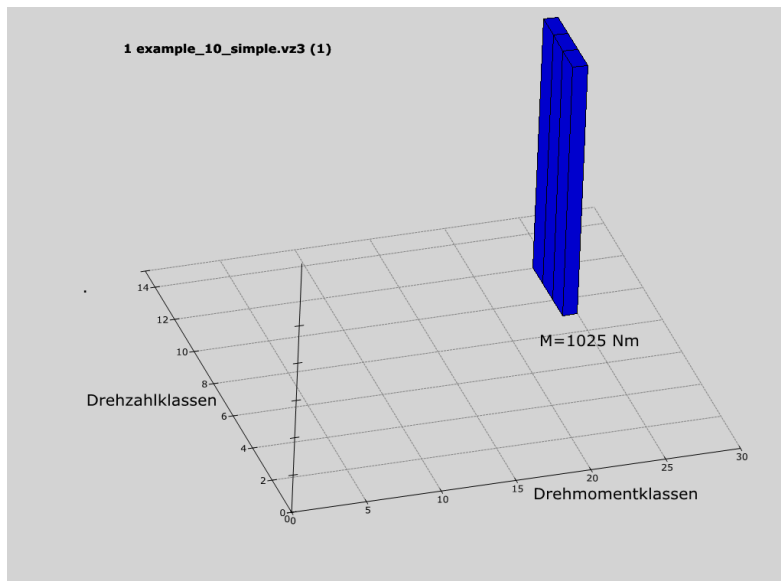


Bild 11-8: Zeitanteile der Belastung

Dieses Kollektiv gibt uns nun an, dass z.B. in dem Matricelement 10/25, dem eine mittlere Drehzahl von 950 1/min entspricht, eine Verweilzeit von 60 s vorliegt und dabei ein Weg von 1000 m zurückgelegt wird. Daraus lässt sich die absolute Anzahl der Umdrehungen angeben, was für jedes einzelne Matricelement möglich ist.

Bei dem Kollektiv dieses Beispiels treten alle Drehzahlen nur in einer Drehmomentenklasse auf. Da das Drehmoment und die Anzahl der Umdrehungen ($= \text{Drehzahl} \cdot \text{Zeit}$) für die Lebensdauer maßgeblich ist, muss für jede Drehmomentenklasse die absolute Anzahl der Umdrehungen ermittelt werden, was durch Summation der entsprechenden Drehzahlen geschieht. An Hand der Tabelle oben lässt sich dieses einfache Beispiel nachvollziehen.

Dieses sehr einfache Beispiel weist bei einem Drehmoment von 1025 Nm (es wird hier immer der mittlere Wert aus den Klassengrenzen angegeben) eine absolute Anzahl der Umdrehungen von 3150 auf.

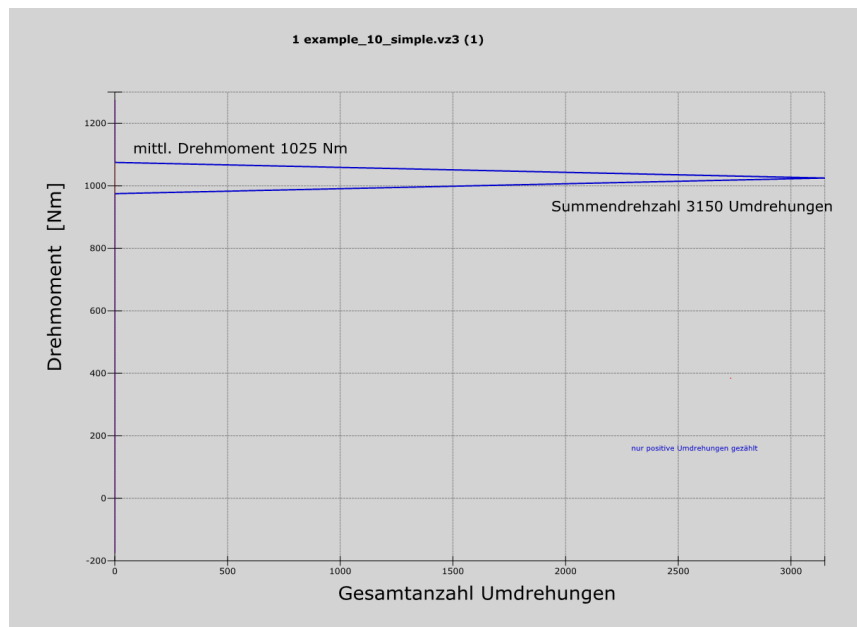


Bild 11-9: Kollektiv Drehmoment/Umdrehungen (Summenhäufigkeit) (za_bsp13)

11.2.4.2. Übernahme von Messdaten

Nachdem mit den einfachen Beispieldaten der Verweildauerzählung schnell ein Verständnis erreicht werden kann, sollen nun reale Daten verwendet werden.

Ein aus Messungen(winADAM) oder Simulationen (winEVA) erhaltenes Kollektiv wird dazu eingelesen. Dazu wird aus dem Menü gewählt:

Belastung / Import aus Dateien

Und es erscheint die folgende Eingabemaske. Es ist eine Datei mit der Endung *.vz3 auszuwählen. Diese Datei wurde von winEVA erzeugt.

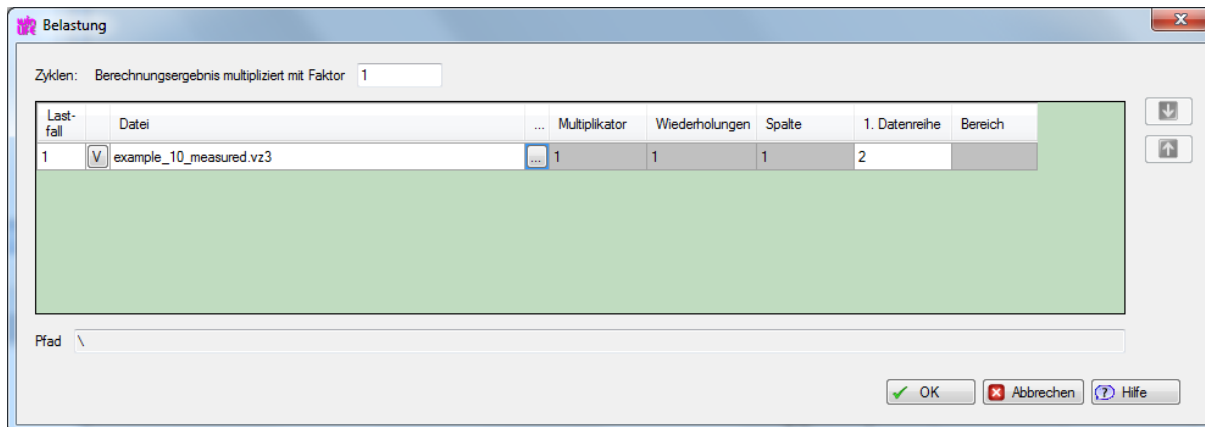


Bild 11-10: Wahl der Datei mit dem Verweildauerkollektiv

Mit

Belastung/ Verweildauerzählung – 3D

wird der Inhalt als Verweildauer dargestellt

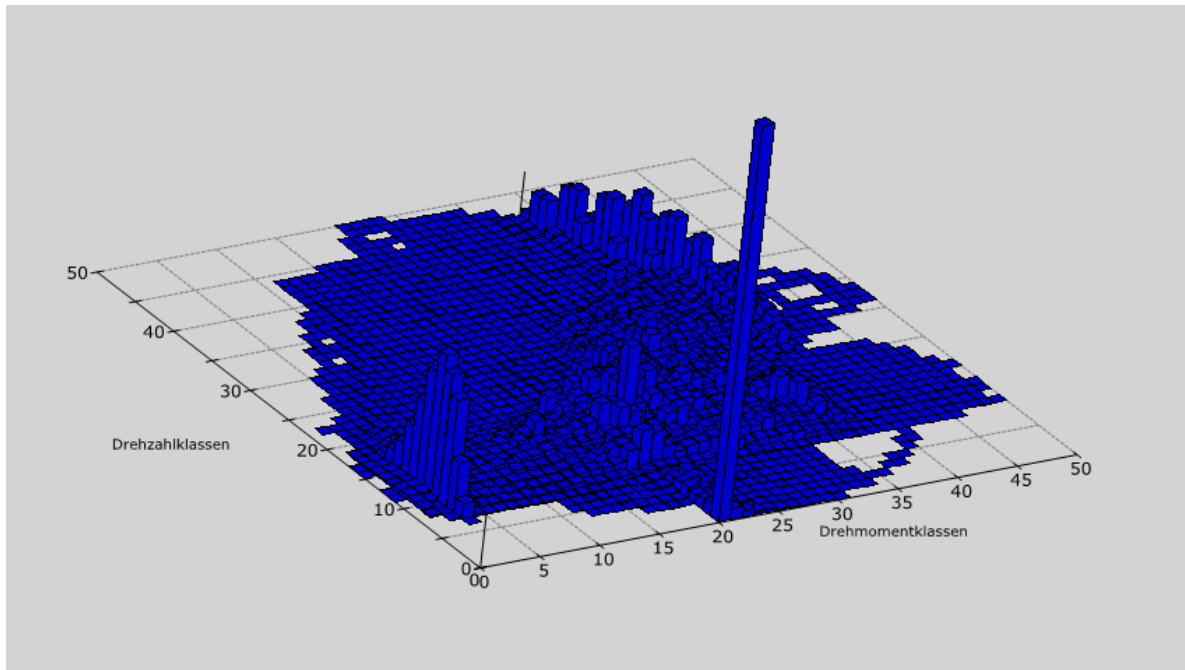


Bild 11-11: Kollektiv Drehmoment/Umdrehungen (Summenhäufigkeit) (za_bsp13)

Mit

Belastung/ View

Wird die Überrollungszählung dargestellt:

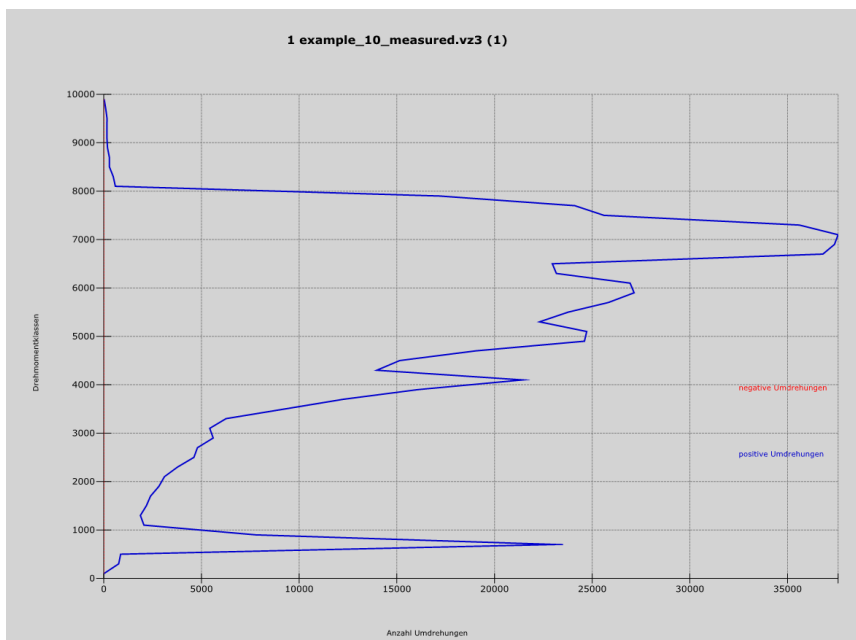


Bild 11-12: Kollektiv der Überrollungen für Drehmomentklassen

Basierend auf diesen Daten soll nun eine Lebensdauerberechnung für Zahnräder erfolgen.

11.2.5. Durchführung der Berechnung für das Ritzel (Rad 1)

11.2.5.1. Zahnfuss

Die Berechnung wird durchgeführt, indem

Berechnung / Parameter

gewählt wird.

Es erscheint dann das folgende Fenster, in dem die notwendigen Eingaben für das Ritzel bereits erfolgt sind. Man beachte, dass hier zusätzlich die Möglichkeit besteht, positive und negative Drehmomente zu berücksichtigen. In unserem Fall treten solche jedoch nicht auf, so dass das Kästchen nicht markiert wird.

Die Daten für das Nennmoment (3183 Nm) und die Zahnfußspannung, die aus der Hexagon-Simulation erhalten wurden (298 MPa), werden für eine Abschätzung des Umrechnungsfaktors K_{HP} zwischen Spannung und Moment verwendet:

$$K_{HP} = 0,0936 \text{ MPa/Nm}$$

Dieser Faktor ist drehzahl- und drehmomentenabhängig, was zunächst aber vernachlässigt wird.

Bild 11-13: Eingabemaske für die Durchführung der Berechnung des Zahnfußes von Rad1 (Ritzel)/ Umrechnung des Kollektivs auf den Zahnfuß

The screenshot shows a software window titled 'Berechnungsparameter' with a close button (X) in the top right corner. On the left is a list box containing the following items: 'Lastwechseleinfluß' (highlighted in blue), 'Schadensakkumulation', 'Umrechnungsfaktor Zahnfuß', '-----', 'Extrapolation', 'Superposition', and 'Betriebsfaktor'. The main area on the right is titled 'Lastwechseleinfluß' and contains two input fields: 'X: Einfluß der Schleifkerben' with the value '0,2' and 'NP: Anzahl der Lastwechsel in einer Periode' with the value '1E+09'. At the bottom of the window is a row of buttons: 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK' (with a green checkmark icon), 'Abbrechen' (with a red X icon), and 'Hilfe' (with a question mark icon).

Bild 11-14: Eingabemaske für die Durchführung der Berechnung des Zahnfußes von Rad1 (Ritzel) / Festlegung des Lastwechseleinflusses

The screenshot shows the same 'Berechnungsparameter' window, but now the 'Schadensakkumulation' option is selected in the left list box. The main area on the right is titled 'Schadensakkumulation' and contains four radio button options: 'Originale Form', 'Modifizierte Form' (which is selected with a blue dot), 'Elementare Form', and 'Modifiziert nach H. Zenner and J. Liu'. The bottom row of buttons remains the same: 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Bild 11-15: Eingabemaske für die Durchführung der Berechnung des Zahnfußes von Rad1 (Ritzel)/ Wahl der Schadensakkumulation

11.2.5.2. Zahnflanke

Durch Wahl

Berechnung / Parameter

Erscheint die folgende Eingabemaske, in dem die notwendigen Eingaben für das Ritzel bereits erfolgt sind. Man beachte, dass hier zusätzlich die Möglichkeit besteht, positive und negative Drehmomente zu berücksichtigen. In unserem Fall treten solche jedoch nicht auf, so dass das Kästchen nicht markiert wird.

Umrechnungsfaktor zwischen elastischer Flankenpressung (1060 MPa) und Wurzel aus Drehmoment $3183^{(1/2)} \text{ (Nm)}^{(1/2)} = 56,41 \text{ (Nm)}^{(1/2)}$ beträgt

$$K_{HP} = 18,79 \text{ MPa} / \text{(Nm)}^{(1/2)}$$

Dieser Faktor ist drehzahl- und drehmomentenabhängig, was zunächst aber vernachlässigt wird.

The screenshot shows a software window titled "Berechnungsparameter". On the left is a sidebar with a list of options: "Schadensakkumulation", "Umrechnungsfaktor Zahnflanke" (which is highlighted in blue), "Extrapolation", "Superposition", and "Betriebsfaktor". The main area of the window is titled "Umrechnungsfaktor Zahnflanke" and contains several input fields and checkboxes. The first input field is "Drehzahl -> Zahnlastwechsel" with the value "1". Below it are two radio buttons: "Positive Drehzahlen verwenden" (which is selected) and "Es werden nur negative Drehzahlen für die Schädigungsrechnung verwendet". Below these are two more input fields: "für Zahnradrehmoment" with the value "1" and "für die Zahnflankenspannung" with the value "18,79". At the bottom of this section are two unchecked checkboxes: "Drehzahl-/Drehmomentabhängigkeit verwenden" and "Drehzahlabhängigkeit der Wöhlerlinie verwenden". At the very bottom of the window is a row of buttons: "Klassieren", "Extrapolieren", "Superponieren", "Berechnen", "OK" (with a green checkmark icon), "Abbrechen" (with a red X icon), and "Hilfe" (with a question mark icon).

Bild 11-16: Eingabemaske für die Durchführung der Berechnung der Zahnflanke / Umrechnung des Kollektivs auf die Zahnflanke von Rad1 (Ritzel)

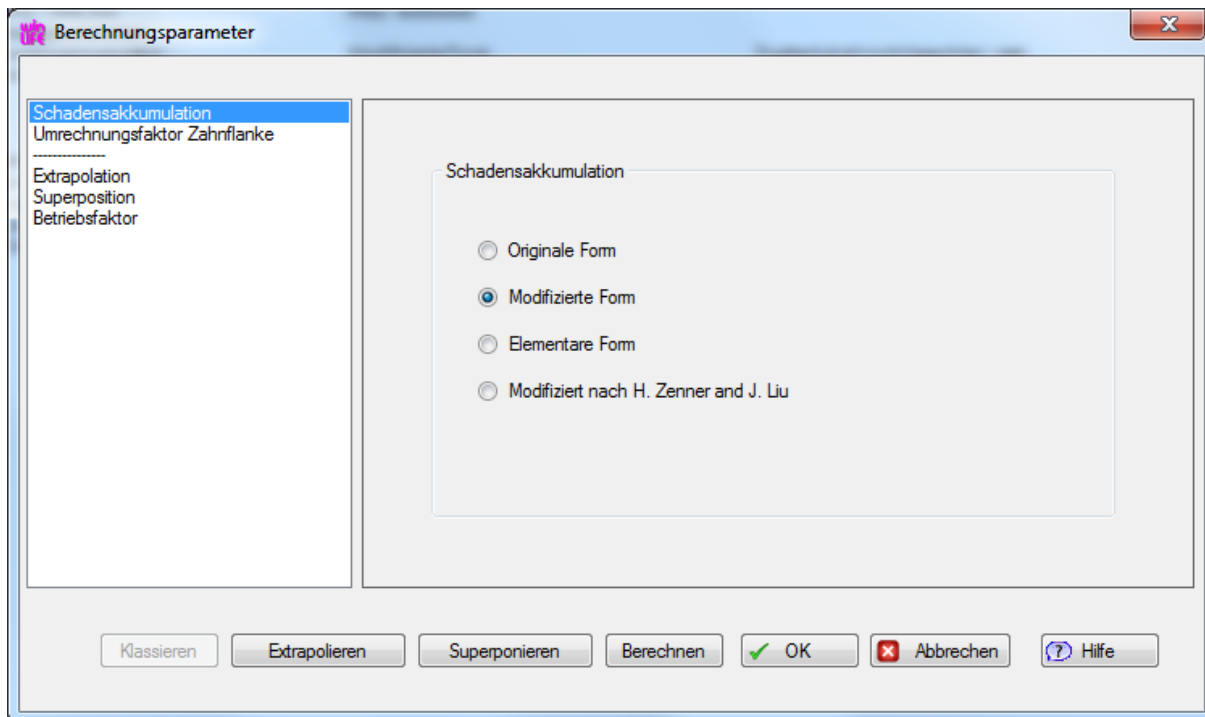


Bild 11-17: Eingabemaske für die Durchführung der Berechnung der Zahnflanke von Rad1 (Ritzel)/ Wahl der Schadensakkumulation

11.2.6. Sonstige Eingabegrößen für Zahnfuß und Zahnflanke (Rad 1)

Die sowohl für Zahnfuß und Zahnflanke gültigen Eingabegrößen ergeben sich aus folgenden Überlegungen:

11.2.6.1. Umrechnungsfaktor

Drehzahl->Zahnlastwechsel:

In unserem Beispiel sind die Daten des Kollektivs am Ritzel gemessen worden, so dass diese mit der Ritzeldrehzahl übereinstimmen, da sich pro Umdrehung genau ein Lastwechsel ergibt. Als Umrechnungsfaktor ist daher 1 einzugeben. Dieser ist für Zahnfuß und Zahnflanke identisch

Zahnradrehmoment:

Auch hier ist das Ritzeldrehmoment gemessen, so dass der Umrechnungsfaktor 1 beträgt und für Zahnfuß und Zahnflanke identisch sein muss.

Zahnfußspannung/Zahnflankenspannung:

Der Umrechnungsfaktor zwischen Drehmoment am Zahnrad und Zahnfußspannung wird bei der Auslegung des Zahnrades erhalten; er wurde aus den Hexagon-Daten mit

0,0936 für den Zahnfuß und

18,78 für die Zahnflanke

ermittelt.

11.2.6.2. *Mittelspannungseinfluss*

Einfluss der Schleifkerben:

Bedingt durch den Herstellvorgang bilden sich Schleifkerben. Es ist der Grad der Schleifkerben anzugeben, der zwischen 0,0 und 1 liegen kann. Ein üblicher Wert ist 0,2, was hier gewählt wird. Dieser Wert ist für Zahnfuß und Zahnflanke identisch

Anzahl der Lastwechsel in einer Periode:

In unserem Fall treten nur Schwellbelastungen auf, da kein Zwischenrad oder Planetengetriebe vorliegt. In einem solchen Fall tritt keine Abminderung durch Änderung der Lastrichtung auf, so dass $NP = 100000000$ angegeben wird. Dies führt zu einem Y_A von 1 und ist für Zahnfuß und Zahnflanke identisch.

11.2.6.3. *Schadensberechnung*

Es wird hier für Zahnfuß und Zahnflanke nach der nach Haibach modifizierten Form gerechnet, die sich in der Mehrzahl der Fälle als brauchbar erwiesen hat.

Nachdem in der Maske OK angeklickt wird, startet die Berechnung.

Will man einen detaillierteren Überblick, so kann man

Ergebnis/Protokoll

wählen. Es erscheint dann eine umfangreiche Anzeige aller Einzelergebnisse. Aus Platzgründen ist im folgenden Bild nur ein Teil des Protokolls für die Zahnflanke dargestellt, der sehr nützlich zum Verständnis der Berechnung ist.

```
***** PROTOKOLL *****
Projekt: C:\Users\Willi\Documents\winLIFE_Knoll\winlife_examples_relief_pfad\zahnraeder_hexagon\ritzel_zahnfuess_konstantwlf
Fri Nov 14 14:12:19 2014

Methode: Zahnfußberechnung
modifizierte Form C:\Users\Willi\Documents\winLIFE_Knoll\winlife_examples_relief_pfad\zahnraeder_hexagon\example_10_measured.v3
X-Achse: Klassen 50; Untere Grenze 0; Obere Grenze 10000,000
Y-Achse: Klassen 50; Untere Grenze 0; Obere Grenze 5000,000
Aus der Belastung wurden die pos. Drehzahlen verw.

Urechnungsfaktor für Zahnlastwechsel: 1.000
Urechnungsfaktor für Zahnradrehmoment: 1.000
Urechnungsfaktor für die Zahnfußspannung: 0.09360
K: Einfluß der Schmierreibung: 0.2000
Np: Anzahl der Lastwechsel in einer Periode: 1000000000
YA: Resultierender Dauerfestigkeitsabfall: 1.0000

Negative Momente wurden nicht berücksichtigt!
FMD: 3000000
FMD1: 10000
Verwendetes K: 5.738
s_FPD: 2032.80 (2032.80)
s_FPD: 813.00 (813.00)

Klasse Moment Spannung Drehzahl Lastwechsel Lastw.b.Defekt Schaden
von - bis
1 0.000- 200.000 9.360 9.821 9.821 2.631883e+38 3.731675e-38
2 200.000- 400.000 26.080 762.091 762.091 3.421813e+30 2.101649e-38
3 400.000- 600.000 46.800 862.249 862.249 5.022557e+26 1.074781e-24
4 600.000- 800.000 61.520 23138.273 23138.273 3.138812e+04 7.371467e-21
5 800.000- 1000.000 84.240 7764.780 7764.780 4.895097e+22 1.554480e-19
6 1000.000- 1200.000 102.960 2054.771 2054.771 1.831018e+21 1.122203e-18
7 1200.000- 1400.000 121.680 1871.767 1871.767 1.167613e+20 1.402738e-17
8 1400.000- 1600.000 140.400 2178.075 2178.075 1.105227e+19 1.970703e-16
9 1600.000- 1800.000 159.120 2393.092 2393.092 1.405447e+18 1.702485e-15
10 1800.000- 2000.000 177.840 2617.317 2617.317 1.249198e+17 1.232658e-14
11 2000.000- 2200.000 196.560 3100.522 3100.522 4.324179e+16 7.107198e-14
12 2200.000- 2400.000 215.280 3774.668 3774.668 9.689988e+15 3.907530e-13
13 2400.000- 2600.000 234.000 4612.011 4612.011 4.445461e+15 1.889395e-12
14 2600.000- 2800.000 252.720 4792.520 4792.520 6.881498e+14 6.964359e-12
15 2800.000- 3000.000 271.440 5399.393 5399.393 2.120183e+14 2.440398e-11
16 3000.000- 3200.000 290.160 5423.236 5423.236 7.064105e+13 7.675000e-11
17 3200.000- 3400.000 308.880 6256.625 6256.625 2.322498e+13 2.480331e-10
18 3400.000- 3600.000 327.600 9270.657 9270.657 9.567777e+12 9.408458e-10
19 3600.000- 3800.000 346.320 12257.572 12257.572 3.829964e+12 3.200441e-09
20 3800.000- 4000.000 365.040 16081.466 16081.466 1.600947e+12 9.995656e-09
21 4000.000- 4200.000 383.760 21444.229 21444.229 7.057824e+11 4.398149e-08
22 4200.000- 4400.000 402.480 19036.744 19036.744 3.437771e+10 2.589469e-07
23 4400.000- 4600.000 421.200 15145.834 15145.834 7.463784e+10 4.572349e-07
24 4600.000- 4800.000 440.000 18036.744 18036.744 3.437771e+10 2.589469e-07
25 4800.000- 5000.000 458.720 12145.834 12145.834 1.522421e+11 9.947246e-08
26 5000.000- 5200.000 477.440 19036.744 19036.744 7.437771e+10 2.589469e-07
27 5200.000- 5400.000 496.160 21444.229 21444.229 7.057824e+11 4.398149e-08
28 5400.000- 5600.000 514.880 23767.664 23767.664 5.381338e+09 4.258471e-06
29 5600.000- 5800.000 533.600 25891.121 25891.121 3.098606e+09 8.336369e-06
30 5800.000- 6000.000 552.320 27144.384 27144.384 1.788330e+09 1.546222e-05
31 6000.000- 6200.000 570.960 26940.193 26940.193 1.018426e+09 2.457804e-05
32 6200.000- 6400.000 589.680 23164.293 23164.293 5.957022e+08 3.888432e-05
33 6400.000- 6600.000 608.400 22395.592 22395.592 3.595774e+08 4.494826e-05
34 6600.000- 6800.000 627.120 36808.688 36808.688 2.160624e+08 1.703613e-04
35 6800.000- 7000.000 645.840 37400.349 37400.349 1.330838e+08 2.810394e-04
36 7000.000- 7200.000 664.560 37585.344 37585.344 8.311226e+07 4.522239e-04
37 7200.000- 7400.000 683.280 35598.238 35598.238 5.238904e+07 6.769136e-04
38 7400.000- 7600.000 702.000 25589.930 25589.930 3.368374e+07 7.589732e-04
39 7600.000- 7800.000 720.720 24107.369 24107.369 2.183688e+07 1.103975e-03
40 7800.000- 8000.000 739.440 17179.631 17179.631 1.431235e+07 1.200333e-03
41 8000.000- 8200.000 758.160 961.478 961.478 9.480283e+06 6.239039e-03
42 8200.000- 8400.000 776.880 484.336 484.336 6.342955e+06 7.435775e-03
43 8400.000- 8600.000 795.600 289.961 289.961 4.284720e+06 6.747317e-03
44 8600.000- 8800.000 814.320 283.306 283.306 2.937174e+06 9.578031e-03
45 8800.000- 9000.000 833.040 188.893 188.893 2.430264e+06 7.789002e-03
46 9000.000- 9200.000 851.760 140.479 140.479 1.997305e+06 6.055877e-03
47 9200.000- 9400.000 870.480 158.856 158.856 1.651528e+06 9.418737e-03
48 9400.000- 9600.000 889.200 166.440 166.440 1.371334e+06 1.213712e-04
49 9600.000- 9800.000 907.920 99.551 99.551 1.143039e+06 8.708873e-03
50 9800.000- 10000.000 926.640 18.902 18.902 9.563903e+05 1.976366e-05
5.592146e-03
```

Bild 11-19: Ausgabefenster des Protokolls der Ergebnisse für den Zahnfuß von Rad1 (Ritzel)

Wählt man

Ergebnis / Wöhlerlinie mit Belastung

So erhält man folgende Grafik:

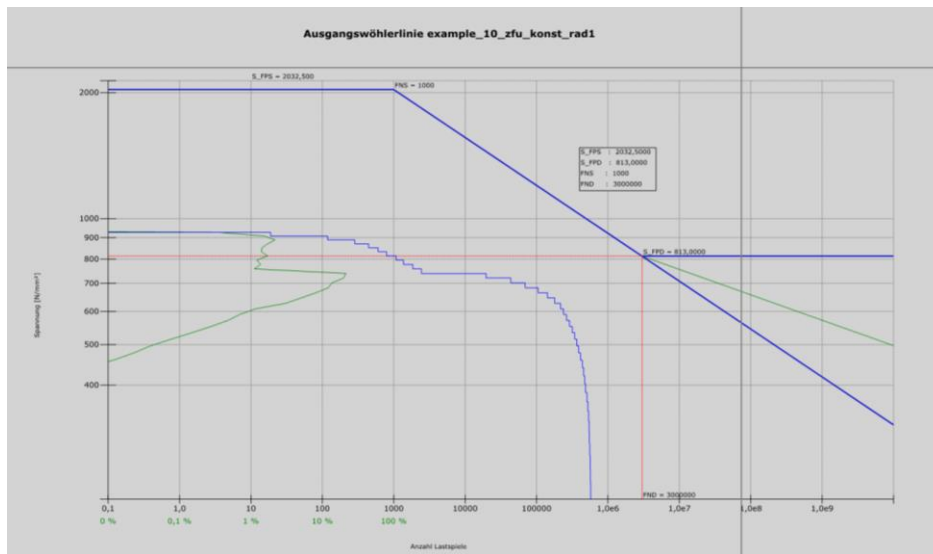


Bild 11-20: Ausgabefenster der wichtigsten Berechnungsergebnisse und Basisdaten für die Zahnflanke von Rad1 (Ritzel)

Zahnflanke

Die Ergebnisse der Berechnung lassen sich durch Wahl von

Ergebnis / Schadenssumme

in Textform ausgeben. Neben der Schadenssumme sind auch die wichtigsten Eingaben angegeben.

Die maximal berechnete Schadenssumme beträgt 0,01674

Es können 59,7 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.
vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 100,00\%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

Projekt: ritzel_zahnflanke_konstWLF
Protokoll: C:\Users\Willm\Documents\winLIFE_Knoll\winlife_examples_relaf_pfad\zahnraeder_hexagon\ritzel_zahnflanke_konstplk
Berechnet am: Freitag, 14. November 2014 14:51

Methode:
Bauteil: Zahnräder/Lager
Belastung: Einachsige - Verweildauerzählung
Methode: Zahnflanke

Wöhlerlinie:
Kurzname: example_10_flank
S_HPS: 2348,800
S_HPD: 1468,000
Werkstoffnummer: Materialnummer
K: 13,222

Berechnungsparameter:
Schadensakkumulation
Umrechnungsfaktor Zahnflanke
Modifizierte Form
Drehzahl -> Zahnlastwechsel: 1
für Zahnradrehmoment: 1
für die Zahnflankenspannung: 19
Zugfestigkeit nicht beachten: nein
Positive Drehzahlen verwenden

Einheiten
Spannung: 1 [N/mm²]

Belastungshöhe
L1: example_10_measured.vz3
Zeit Kanal: 0
X Kanal: 2
Y Kanal: 3

Bild 11-21: Ausgabefenster der Wöhlerlinie zusammen mit Amplitudenkollektiv und prozentualer Schädigung für den Zahnfuss

Will man einen detaillierteren Überblick, so kann man **Ergebnis/Protokoll** wählen. Es erscheint dann eine umfangreiche Anzeige aller Einzelergebnisse. Aus Platzgründen ist im folgenden Bild nur ein Teil des Protokolls für die Zahnflanke dargestellt, der sehr nützlich zum Verständnis der Berechnung ist.

***** P R O T O K O L L *****						
Projekt: C:\Users\Willm\Documents\winLIFE_Knoll\winlife_examples_relat_pfad\zahnraeder_hexagon\ritzel_zahnflanke_konst						
Fri Nov 14 14:51:34 2014						
Methode: Zahnflankenberechnung						
modifizierte Form C:\Users\Willm\Documents\winLIFE_Knoll\winlife_examples_relat_pfad\zahnraeder_hexagon\example_10_measured.v23						
X-Achse: Klassen 50; Untere Grenze 0; Obere Grenze 10000,000						
Y-Achse: Klassen 50; Untere Grenze 0; Obere Grenze 5000,000						
Aus der Belastung wurden die pos. Drehzahlen verw.						
Unrechnungsfaktor für Zahnlastwechsel: 1.000						
Unrechnungsfaktor für Zahnradrehmoment: 1.000						
Unrechnungsfaktor für die Zahnflankenspannung: 10.750						
RHD: 50000000						
HNS: 100000						
Verwendetes K 13.222						
S_HFS: 2346.0 [2346.0]						
S_HFD: 1468.0 [1468.0]						
Klasse	Moment	Spannung	Drehzahl	Lastwechsel	Lastw.b.Defekt	Schaden
von	bis					
1	0.000- 200.000	187.900	9.821	9.821	2.607287e+30	3.766878e-30
2	200.000- 400.000	325.452	762.091	762.091	2.218341e+24	3.435408e-22
3	400.000- 600.000	420.157	862.249	862.249	3.338610e+21	2.582460e-19
4	600.000- 800.000	497.137	23138.273	23138.273	4.618023e+19	5.010429e-16
5	800.000- 1000.000	563.700	7764.780	7764.780	1.887426e+18	4.113952e-15
6	1000.000- 1200.000	623.194	2054.771	2054.771	1.469278e+17	1.398491e-14
7	1200.000- 1400.000	677.483	1871.767	1871.767	1.754209e+16	1.067015e-13
8	1400.000- 1600.000	727.734	2178.075	2178.075	2.840377e+15	7.667723e-13
9	1600.000- 1800.000	774.732	2393.092	2393.092	5.778868e+14	4.141109e-12
10	1800.000- 2000.000	819.037	2817.317	2817.317	1.403743e+14	2.007003e-11
11	2000.000- 2200.000	861.066	3100.522	3100.522	3.529139e+13	7.891097e-11
12	2200.000- 2400.000	901.137	3774.668	3774.668	1.234952e+13	3.056530e-10
13	2400.000- 2600.000	939.500	4612.011	4612.011	4.275062e+12	1.078817e-09
14	2600.000- 2800.000	976.357	4792.520	4792.520	1.605867e+12	2.984381e-09
15	2800.000- 3000.000	1011.472	5599.393	5599.393	4.469611e+11	8.684914e-09
16	3000.000- 3200.000	1046.183	5423.236	5423.236	2.769416e+11	1.958260e-08
17	3200.000- 3400.000	1079.403	6256.625	6256.625	1.250102e+11	5.004893e-08
18	3400.000- 3600.000	1111.631	9270.657	9270.657	5.913945e+10	1.567752e-07
19	3600.000- 3800.000	1142.951	12257.572	12257.572	2.916038e+10	4.203502e-07
20	3800.000- 4000.000	1173.435	16081.466	16081.466	1.492524e+10	1.077468e-06
21	4000.000- 4200.000	1203.147	21444.229	21444.229	7.899486e+09	2.714636e-06
22	4200.000- 4400.000	1232.143	13972.990	13972.990	4.309620e+09	3.242278e-06
23	4400.000- 4600.000	1260.472	15145.834	15145.834	2.416833e+09	6.266809e-06
24	4600.000- 4800.000	1288.178	19036.744	19036.744	1.389882e+09	1.369666e-05
25	4800.000- 5000.000	1315.300	24602.750	24602.750	8.179456e+08	3.007871e-05
26	5000.000- 5200.000	1341.875	47577.025	47577.025	4.916800e+08	5.027055e-05
27	5200.000- 5400.000	1367.933	22304.002	22304.002	3.014013e+08	7.400102e-05
28	5400.000- 5600.000	1393.504	23767.664	23767.664	1.881400e+08	1.263297e-04
29	5600.000- 5800.000	1418.614	25851.121	25851.121	1.194539e+08	2.162736e-04
30	5800.000- 6000.000	1443.287	27144.396	27144.396	7.701616e+07	3.524507e-04
31	6000.000- 6200.000	1467.546	26940.193	26940.193	5.039516e+07	5.345790e-04
32	6200.000- 6400.000	1491.410	23164.293	23164.293	4.056191e+07	5.710849e-04
33	6400.000- 6600.000	1514.898	22985.492	22985.492	3.298021e+07	6.982064e-04
34	6600.000- 6800.000	1538.028	36808.688	36808.688	2.700048e+07	1.363261e-03
35	6800.000- 7000.000	1560.815	37400.949	37400.949	2.222899e+07	1.682537e-03
36	7000.000- 7200.000	1583.274	37585.344	37585.344	1.840254e+07	2.042400e-03
37	7200.000- 7400.000	1605.418	35598.238	35598.238	1.531496e+07	2.324409e-03
38	7400.000- 7600.000	1627.262	25599.930	25599.930	1.280887e+07	1.998610e-03
39	7600.000- 7800.000	1648.816	24107.369	24107.369	1.076337e+07	2.239760e-03
40	7800.000- 8000.000	1670.092	17175.631	17175.631	9.084955e+06	1.850987e-03
41	8000.000- 8200.000	1691.100	591.479	591.479	7.700847e+06	7.680685e-05
42	8200.000- 8400.000	1711.851	484.336	484.336	6.559391e+06	7.389933e-05
43	8400.000- 8600.000	1732.352	289.961	289.961	5.593973e+06	5.178443e-05
44	8600.000- 8800.000	1752.615	283.306	283.306	4.801356e+06	5.900540e-05
45	8800.000- 9000.000	1772.645	188.885	188.885	4.131485e+06	4.571851e-05
46	9000.000- 9200.000	1792.452	160.479	160.479	3.566961e+06	4.499042e-05
47	9200.000- 9400.000	1812.042	158.856	158.856	3.089421e+06	5.111926e-05
48	9400.000- 9600.000	1831.423	166.440	166.440	2.684022e+06	6.201156e-05
49	9600.000- 9800.000	1850.600	99.551	99.551	2.338659e+06	4.256742e-05
50	9800.000- 10000.000	1869.581	18.902	18.902	2.049471e+06	9.249823e-06
						1.673808e-02

Bild 11-22: Ausgabefenster des Protokolls der Ergebnisse für die Zahnflanke

Wählt man

Ergebnis / Wöhlerlinie mit Belastung

So erhält man folgende Grafik:

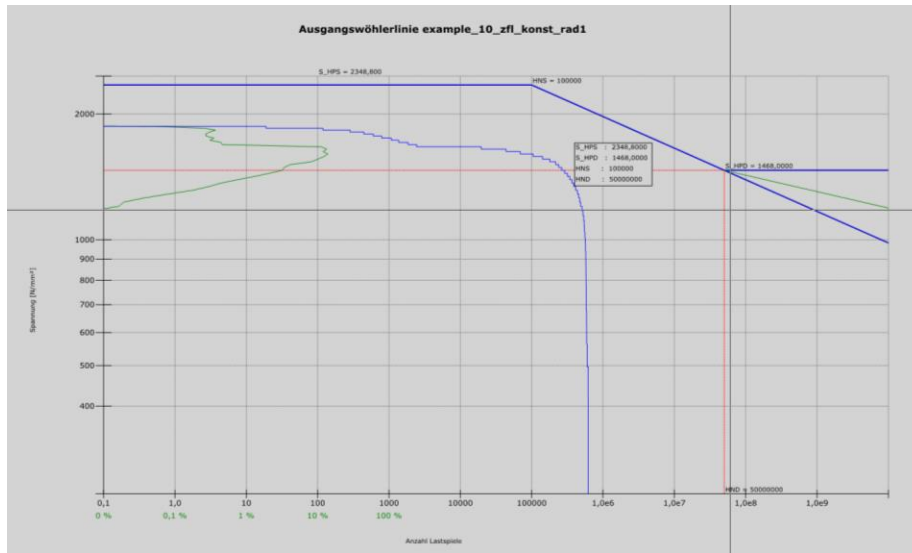


Bild 11-23: Ausgabefenster der Wöhlerlinie zusammen mit Amplitudenkollektiv und prozentualer Schädigung für die Zahnflanke

11.2.7. Berechnung des großen Zahnrades (Rad 2)

Die Berechnung des großen Zahnrades erfolgt in ähnlicher Weise, so dass nur auf die Abweichungen hingewiesen werden muss, die sich alle auf die Angaben bei der Berechnung beziehen:

Bei der Wöhlerlinie liegen geringfügig andere Werte für Zahnfuß und Zahnflanke vor.

Das Lastkollektiv muß für die Bedingungen des Rades 2 definiert sein. Es ist hier die Datei

example_10_2ndwheel_measured.vz3

zu verwenden.

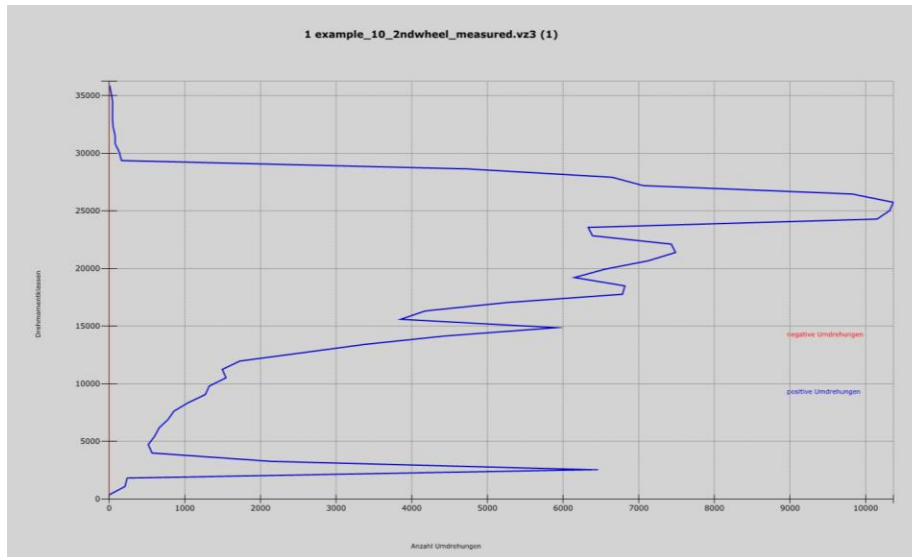


Bild 11-24: Kollektiv der Überrollungen für Drehmomentklassen

Der Vergleich mit dem Kollektiv für Rad 1 zeigt sehr deutlich, dass das maximale Drehmoment größer ist, dafür die maximale Drehzahl um den gleichen Faktor (entsprechend dem Übersetzungsverhältnis bzw. dem Kehrwert) erheblich kleiner ist.

11.2.7.1. Ergebnisse Zahnfuß (Rad 2)

Bei der Eingabe der Berechnungsparameter wird der konstante Umrechnungsfaktor für die Zahnfußspannung K_F nun mit 0,029 verwendet, dessen Ermittlung zuvor beschrieben wurde. Das Ergebnis der Berechnung ist eine Schadenssumme von 0,00867, das Kollektiv mit der Wöhlerlinie ist im folgenden Bild dargestellt.

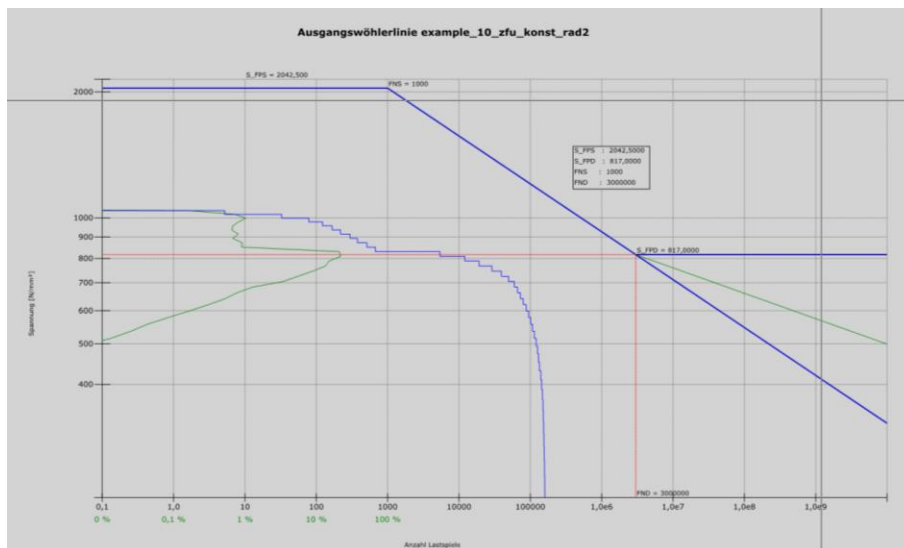


Bild 11-25: Wöhlerkurve mit Amplitudenkollektiv und prozentualer Schädigung für den Zahnfuß von Rad 2

11.2.7.2. Ergebnisse Zahnflanke (Rad 2)

Bei der Eingabe der Berechnungsparameter wird der konstante Umrechnungsfaktor für die Zahnfußspannung K_{HP} nun mit 9,4 verwendet, dessen Ermittlung zuvor beschrieben wurde.

Das Ergebnis der Berechnung ist eine Schadenssumme von 0,00228, das Kollektiv mit der Wöhlerlinie ist im folgenden Bild dargestellt.

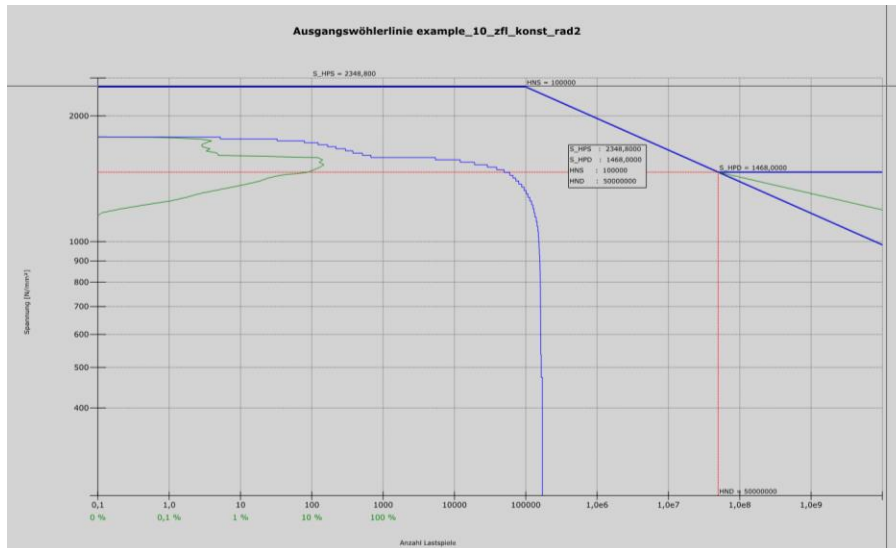


Bild 11-26: Wöhlerkurve mit Amplitudenkollektiv und prozentualer Schädigung für die Zahnflanke von Rad 2

11.2.7.3. Umrechnungsfaktoren Flanke und Fuss (Rad 2)

Das am Zahnrad 2 wirkende Kollektiv liegt vor und ist in der Datei

example_10_2ndwheel_measured.vz3

enthalten. Es wurde aus Zahnrad 1 umgerechnet, indem mit Hilfe der Übersetzung Drehmoment und Drehzahl skaliert wurden.

Drehzahl -> Zahnlastwechsel:

Auch das Zahnrad 2 hat einen Lastwechsel pro Umdrehung. Der Faktor ist daher =1.

Zahnraddrehmoment:

Das Drehmoment am großen Zahnrad entspricht dem Drehmoment in der gegebenen Verweildauerdatei. Der Faktor ist daher =1.

Zahnfußspannung/Zahnflankenspannung:

Der Umrechnungsfaktor zwischen Drehmoment am Zahnrad und Zahnfußspannung wurde bei der Auslegung des Zahnrades erhalten; er ist mit 0,029 gegeben, für die Zahnflanke beträgt er 9,4.

11.2.7.4. *Mittelspannungseinfluss*

Einfluss der Schleifkerben:

Ritzel und großes Zahnrad sind identisch hergestellt, so dass hier ein gleicher Wert für die Schleifkerben angegeben wird, der 0,2 für Zahnfuß und Zahnflanke beträgt.

Anzahl der Lastwechsel in einer Periode:

In unserem Fall treten nur Schwellbelastungen auf, da kein Zwischenrad oder Planetengetriebe vorliegt. In einem solchen Fall tritt keine Abminderung durch Änderung der Lastrichtung auf und es kann für $N_p=0$ angegeben werden, da dann der Wert für Y_A automatisch auf 1 gesetzt wird.

11.2.7.5. *Schadensberechnung*

Es wird hier nach der modifizierten Form gerechnet, die in der überwiegenden Zahl der Fälle angewendet wird.

Nachdem in der Maske OK angeklickt wird, startet die Berechnung.

11.2.8. Umrechnungsfaktoren K_{HP} und K_{FP} variabel einstellen

Die folgend beschriebene Vorgehensweise setzt voraus, dass mit dem Programm ZAR1 der Firma HEXAGON eine Zahnradauslegung erfolgt ist und eine Datei *.EDI erzeugt wurde.

Die Zahnfuß- und Zahnflankenspannung sind abhängig von Drehzahl und Drehmoment. Die Faktoren K_{HP} und K_{FP} ändern sich mit Drehmoment und Drehzahl zwar nur geringfügig, doch ist der Einfluß auf die Lebensdauer wegen der logarithmischen Zusammenhänge der Wöhlerkurve bedeutsam.

Diese Abhängigkeit wird dadurch berücksichtigt, dass die Faktoren K_{HP} und K_{FP} für alle Kombinationen der Drehzahl-Drehmomentenmatrix berechnet werden. Dies geschieht durch einen Aufruf des Programms ZAR für jedes Element der Drehzahl-Drehmomentenmatrix

Um diesen Ablauf zu berücksichtigen, muß im Datenbaum für das aktive Projekt

Schnittstelle

markiert werden (s. Bild). Im Fenster darunter müssen die Daten für das Importprogramm
der

EDI-Dateiname

und in der Zeile Aktiviert muß

ja

gewählt werden.

Nicht vergessen! Es muß zur Übernahme dieser Einstellungen der Update Button gedrückt werden

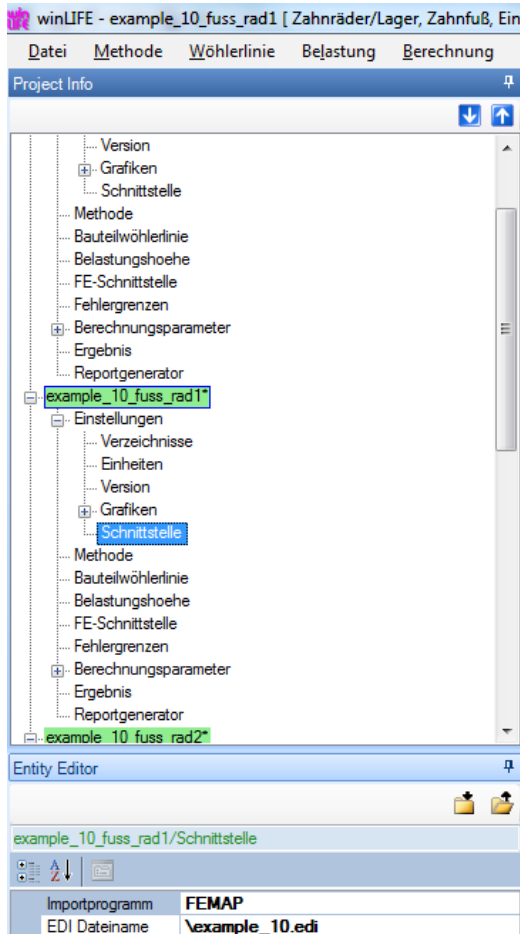


Bild 11-27: Datenbaum mit Einstellungen zur Berücksichtigung der Drehzahl- und Drehmomentenabhängigkeit der Faktoren K_F und K_{HP}

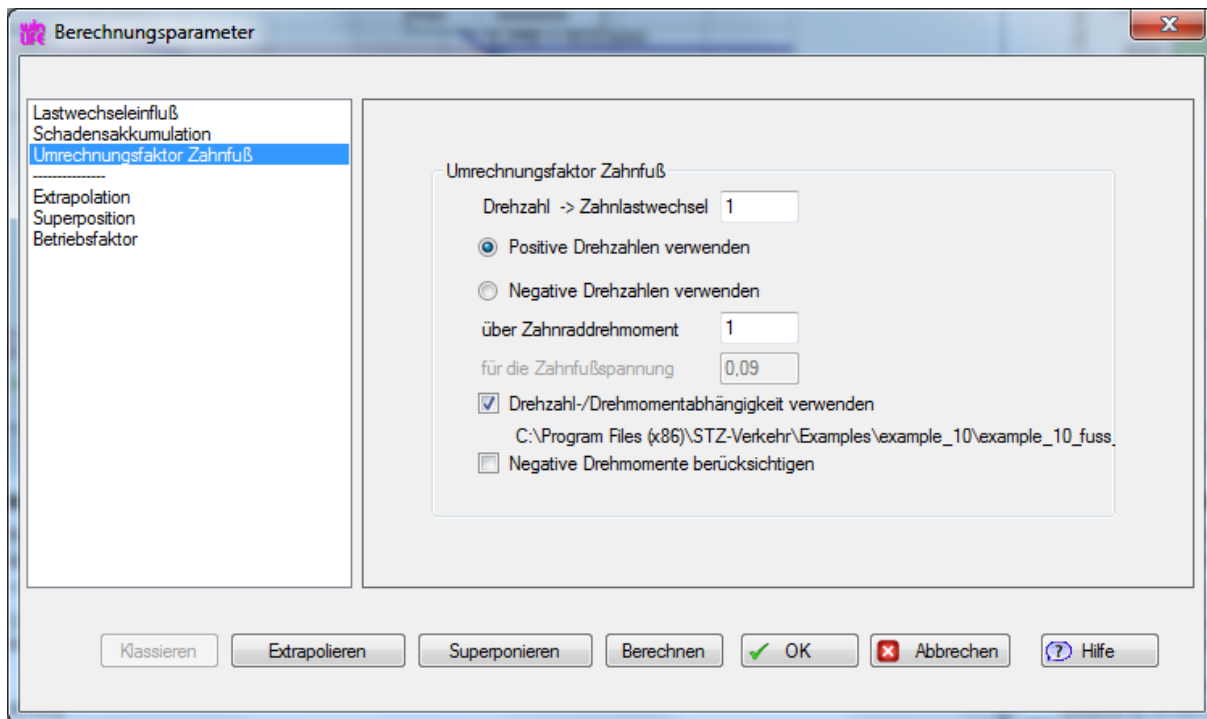
Bei der Wahl der

Berechnungsparameter / Umrechnungsfaktor Zahnfuß

muß das Kästchen

Drehzahl-/Drehmomentenabhängigkeit

markiert werden.



Bild

11-28: Eingabemaske zur Festlegung der Umrechnung von dem Drehzahl-Drehmomentenkollektiv auf die Verhältnisse am Zahnfuß

Wenn dieses Kästchen markiert ist, dann erweitert sich das Menü Berechnung um weitere Menüpunkte. Wir wählen *dyn. Abhängigkeit / Zahnfuß / Erzeugen*

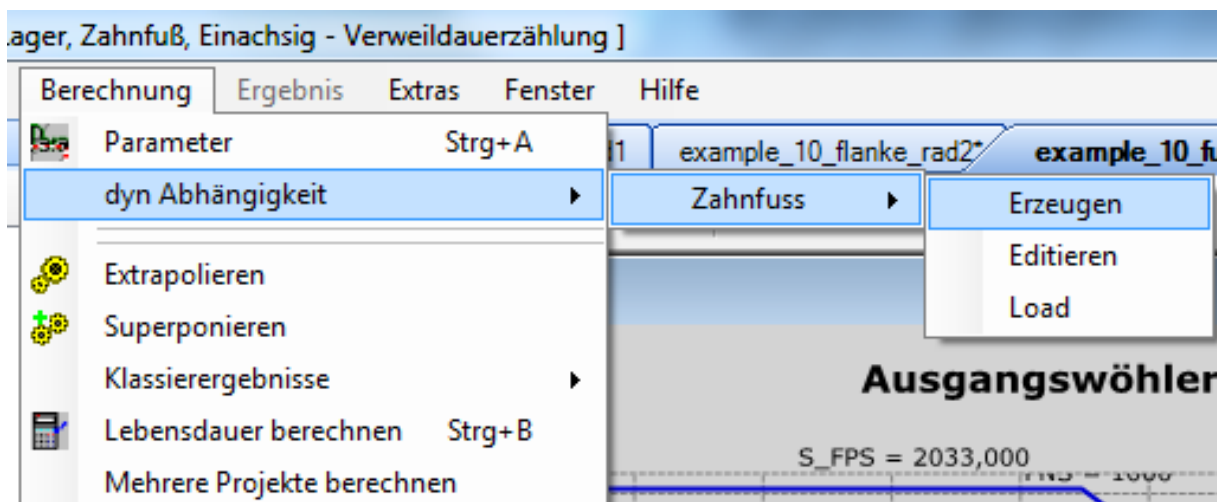


Bild 11-29: Menüpunkte zur Erzeugung der Drehzahl-Drehmomentenabhängigkeit (dyn. Abhängigkeit) der Faktoren K_F und K_{HP}

Und es erscheint folgende Eingabemaske, in die der Bereich des Drehzahl- Drehmomentenkollektivs und die Anzahl der zu verwendenden Klassen eingetragen werden. Diese Daten können identisch sein mit den Angaben aus der Verweildauermatrix.

Weiterhin muß die für diese Auslegung erzeugte EDI-Datei ausgewählt und das Programm - hier ZAR1 mit Pfad – angegeben werden.

Schließlich muß noch gewählt werden, ob für Rad 1 (Ritzel) oder Rad 2 die Berechnung erfolgen soll.

Als letzter Schritt ist

Übernahme

Anzuklicken. Dies bewirkt den Start der Berechnung, bei der für jedes Marixelement ein Programmaufruf von ZAR1 erfolgt, bei dem der Faktor berechnet und in die Matrix geschrieben wird. Dies wird visualisiert und kann vom dem Benutzer verfolgt werden.

Die Rechenzeit beträgt dabei ca. 0,1 Sekunden pro Aufruf, so dass für die Erstellung der Matrix im Beispiel ca. 250 Sekunden erforderlich sind.

winLIFE_Zahnfuss_3D Kollektiv - ritzel

	untere Grenze	obere Grenze	Anzahl Klassen	
Drehmoment	0	10000,0	50	(Spalte)
Drehzahl	0	5000	50	(Zeile)

ZAR (selected tab)

EDI-Datei: C:\ProgramData\Dokumente\winLIFE\Examples\example Auswahl

☒ Rad1 ☐ Rad2 Übernahme

ZAR-File: C:\hexagon\ZAR1\wzar1.exe

Speichern unter Speichern OK Abbrechen Hilfe

Bild 11-30: Eingabemaske zur Erzeugung der Tabelle mit den drehzahl- und drehmomentabhängigen Faktoren K_{HP} für den Zahnfuss von Zahnrad 1

winLIFE_Zahnflanke_3D Kollektiv - ritzel

	untere Grenze	obere Grenze	Anzahl Klassen
Drehmoment	0	10000,0	50 (Spalte)
Drehzahl	0	5000	50 (Zeile)

Tabelle **ZAR** Interpolation

EDI-Datei
 C:\ProgramData\Dokumente\winLIFE\Examples\example Auswahl

☒ Rad1 ☐ Rad2 Übernahme

ZAR-File
 C:\hexagon\ZAR1\wzar1.exe

Speichern unter Speichern OK Abbrechen Hilfe

Bild 11-31: Eingabemaske zur Erzeugung der Tabelle mit den drehzahl- und drehmomentabhängigen Faktoren K_{HP} für die Zahnflanke für Zahnrad 1

Am Ende der Berechnung aller Elemente sehen die beiden Tabellen für das Beispiel wie folgt aus.

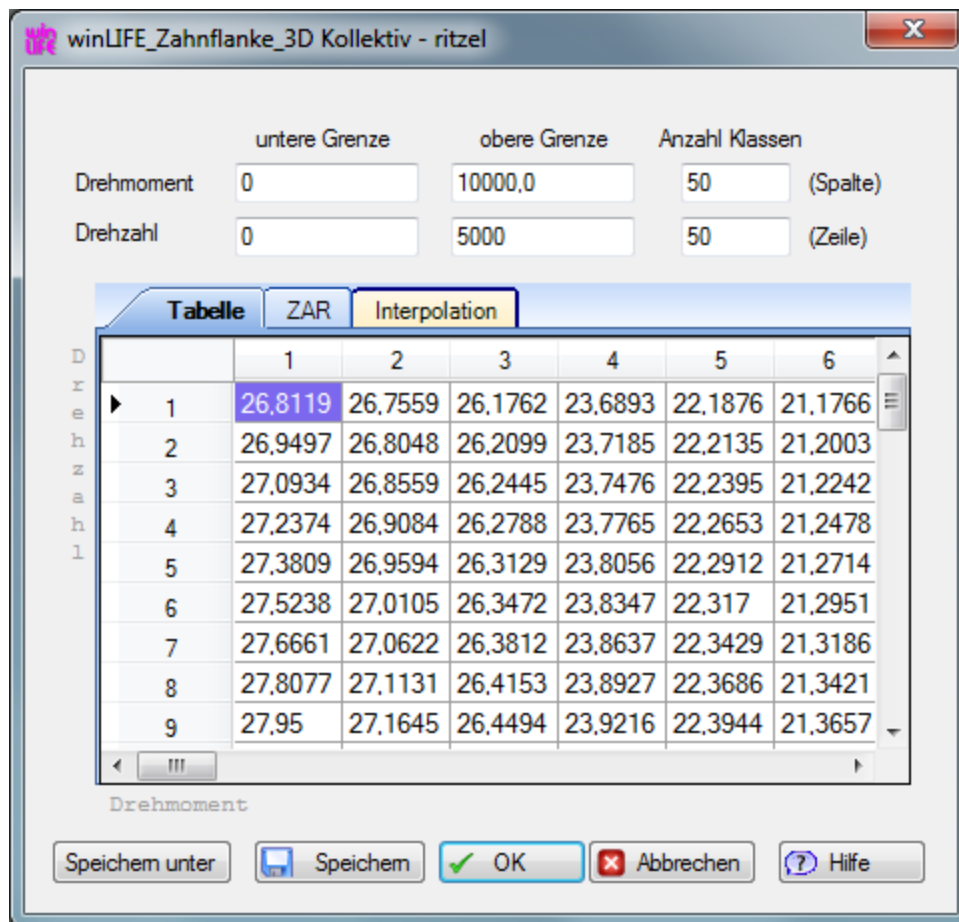


Bild 11-32: Tabelle mit den drehzahl- und drehmomentenabhängigen Faktoren K_{HP} (Flanke)

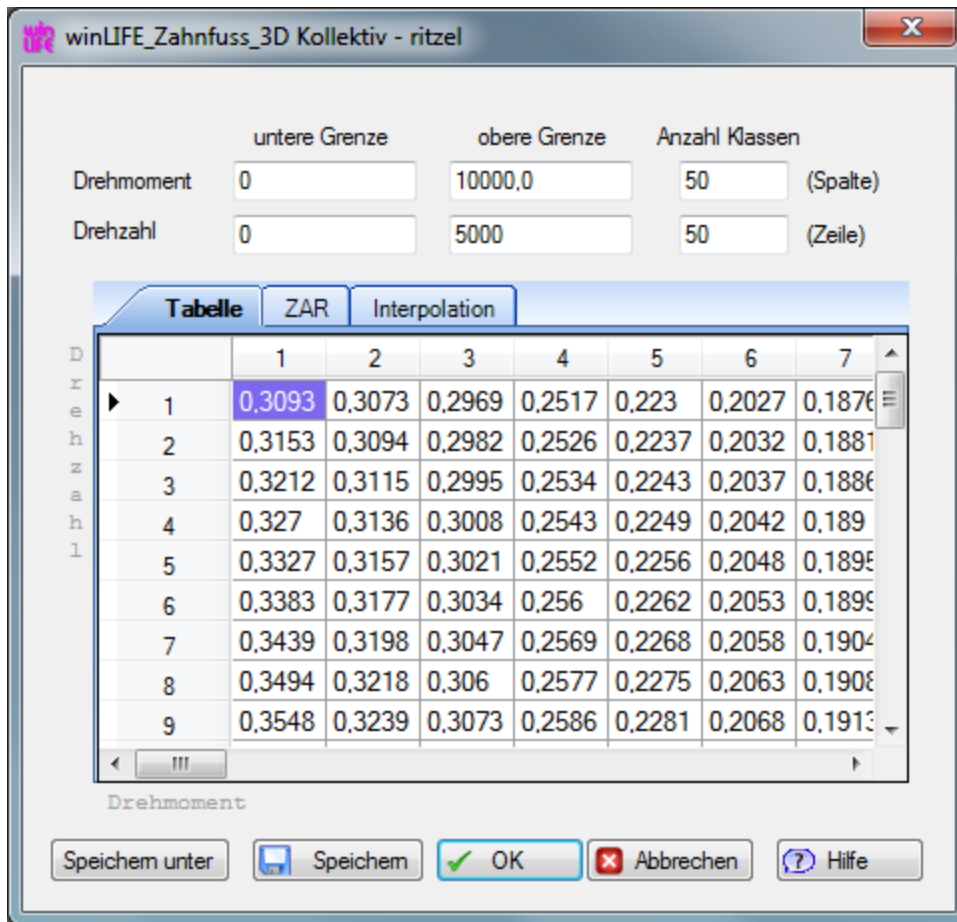


Bild 11-33: Tabelle mit den drehzahl- und drehmomentenabhängigen Faktoren K_F (Fuss)

Dieses Ergebnis kann gespeichert werden, wenn es auch in anderen Projekten verwendet werden soll. Wird nur OK geklickt, so steht es nur in diesem Projekt zur Verfügung.

Nachdem diese Maske mit OK verlassen wurde, kann im Menü

Berechnung / Lebensdauer berechnen

wird die Berechnung gestartet.

Das Ergebnis der Berechnung wird – in der Regel nach einer Rechenzeit von maximal einer Sekunde - auf dem Bildschirm dargestellt. In unserem Beispiel ergibt sich eine Schadenssumme von 0,0167 für die Flanke von Rad 1.

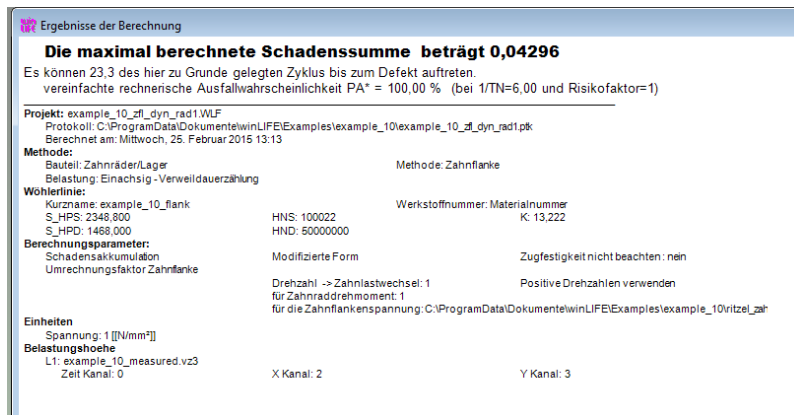


Bild 11-34: Ergebnis der Berechnung für die Flanke von Zahnrad 1 unter Verwendung von drehzahl- und drehmomentenabhängigen Faktoren K_F bzw. K_{HP}

11.2.9. Zusammenfassung der Ergebnisse

Einen Vergleich der Schadenssummen gegenüber den konstanten Umrechnungsfaktoren und den dynamischen zeigt die folgende Tabelle:

	Rad 1 Zahnfuss		Rad 1 Zahnflanke		Rad 2 Zahnfuss		Rad 2 Zahnflanke	
Projekt	Example_10_zfu_konst_rad1.wlf	Example_10_zfu_dyn_rad1.wlf	Example_10_zfl_konst_rad1.wlf	Example_10_zfl_dyn_rad1.wlf	Example_10_zfu_konst_rad2.wlf	Example_10_zfu_dyn_rad2.wlf	Example_10_zfl_konst_rad2.wlf	Example_10_zfl_dyn_rad2.wlf
WL_oben	2032 / 1000		2348/100000		2042/1000		2348/100000	
WL_unten	813 / 3000000		1468/50000000		817 / 3000000		1468/50000000	
Steig	8,738		13,222		8,738		13,222	
Belastg	example_10_measured.vz3				example_10_2ndwheel_measured.vz3			
X-Einfl	0,2							
NP	10 ⁹							
	Modifiz. Form							
	Pos. Drehz. verwenden							
Berechnungsart	konst	dyn	konst	dyn	konst	dyn	Konst	dyn
Faktor	0,0936	Ritzel_zahnfu ss.kfp	18,79	Ritzel_zahnfl anke	0,029		9,4	
Schaden D	0.00559	0.140	0.01674	0.0429	0.00867	2.45 10 ⁻⁷	0.00228	0.448

Man erkennt deutlich den Einfluß der Drehzahl- und Drehmomentenabhängigkeit der Faktoren, so dass man, wenn aussagekräftige Kollektivwerte vorliegen, diese dynamischen Faktoren möglichst verwenden sollte.

11.3. Beispiel für eine Lagerberechnung

11.3.1. Daten des Lagers und der Belastung

Es soll die Lebensdauer eines Wälzlagers berechnet werden, das durch eine radiale Kraft belastet ist. Als Beispiel wird ein Nadellager verwendet, für das aus einem Lagerkatalog folgende Werte entnommen wurden:

dynamische Tragzahl: $C = 24\,600\text{ N}$,
Exponent $p = 10/3$

Die Belastung dieses Lagers soll zunächst durch eine konstante Kraft von $P=4400\text{ N}$ bei einer konstanten Drehzahl von 1000 1/min erfolgen. Die Frage lautet, welche Betriebszeit das Lager erreicht.

11.3.2. Festlegung der Methode

Zunächst muss die **Methode** im folgenden Fenster in folgender Weise festgelegt werden.

The image shows a software dialog box titled "Methode". It contains two main sections: "Bauteil" and "Belastung".

Bauteil:

- ☐ Nicht geschweißt
- ☐ Geschweißt
- ☒ Zahnräder/Lager

Methode:

- ☐ Nennspannung
- ☐ Kerbspannung
- ☐ Örtliches Konzept
- ☐ Zahnflanke
- ☐ Zahnfuß
- ☒ Lager

Belastung:

- ☐ Einachsige exakt - Kräftebelastung
- ☐ Einachsige exakt - Lastkollektiv
- ☐ Einachsige uniaxial - Kräftebelastung
- ☐ Einachsige uniaxial - Lastkollektiv
- ☐ Einachsige uniaxial - aus Rainflowdatei
- ☐ Einachsige uniaxial - Random
- ☒ Einachsige - Verweildauerzählung
- ☐ Mehrachsige uniaxial - Kräftebelastung
- ☐ Mehrachsige multiaxial - Kräftebelastung
- ☐ Mehrachsige multiaxial - Random

☐ FE - Schnittstelle benutzen
☐ Nichtlinear

Anzahl der Lastfälle: (1 - 100)

Buttons: OK, Abbrechen, Hilfe

Bild 11-35: Eingabemaske für die Wahl der Methode

11.3.3. Erzeugung einer Wöhlerlinie

In unserem Beispiel sollen die in der Maske angezeigten Daten eingegeben abgespeichert werden.

Wöhlerlinie

Generator >>

Lager

P 3,3330

Cdyn 24600,00 [kN]

Identifikation

Kurzname Nadellager INA

Werkstoffnummer Nadellager

Bemerkung Beispiel winLIFE Lager

☒ Wöhlerlinie in Datenbank speichern

OK Abbrechen Hilfe

Bild 11-36: Eingabemaske zur Festlegung der Wöhlerlinie

11.3.4. Eingabe der Belastung

Zur Eingabe der Belastung ist im Menü **Belastung/Generieren / Verweildauerzählung** zu wählen, worauf die abgebildete Eingabemaske erscheint. Diese erscheint allerdings für dieses einfache Beispiel sehr kompliziert. Für reale Belastungsvorgaben ist jedoch diese Form der Eingabe sinnvoll und soll daher auch verwendet werden. Allerdings wird

man eine derartige Eingabe nur in Ausnahmefällen machen, da zumeist die Daten als Messdaten vorliegen und einfach eingelesen werden können.

Im ersten Schritt ist der interessierende Bereich für die Grenzen des Belastungssignals einzugeben. Es werden hier die Grenzen -50 bis 4950 sowohl für Drehmoment und Drehzahl bei je 50 Klassen gewählt. Damit liegen die Klassenmitten bei Vielfachen von Hundert, was das Nachvollziehen dieser Beispielrechnung erleichtert.

Die Kraft von 4400 N bei 1000 1/min liegt dann in der zwölften Drehzahlklasse und der 44. Drehmomentenklasse. Für diese Klasse wird eine Zeitdauer von 3600 Sekunden angegeben, was exakt einer Stunde entspricht. Grafisch kann man sich dieses Kollektiv anschauen, indem **Belastung/View** gewählt wird. Es besteht die Möglichkeit, in dieser Grafik Änderungen der Daten vorzunehmen, indem die rechte Maustaste gedrückt und in den EDIT-Mode geschaltet wird (s. dazu auch das Handbuch des Basis-Moduls).

winLIFE_Verweildauer_3D Kollektiv - gw

untere Grenze obere Grenze Anzahl Klassen

Drehmoment: -50 4950,0 50 (Spalte)

Drehzahl: -50 4950 50 (Zeile)

Tabelle Interpolation

	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3600,0000	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0

Drehmoment

Speichern unter Speichern OK Abbrechen Hilfe

Bild 11-37: Eingabemaske für die Belastung

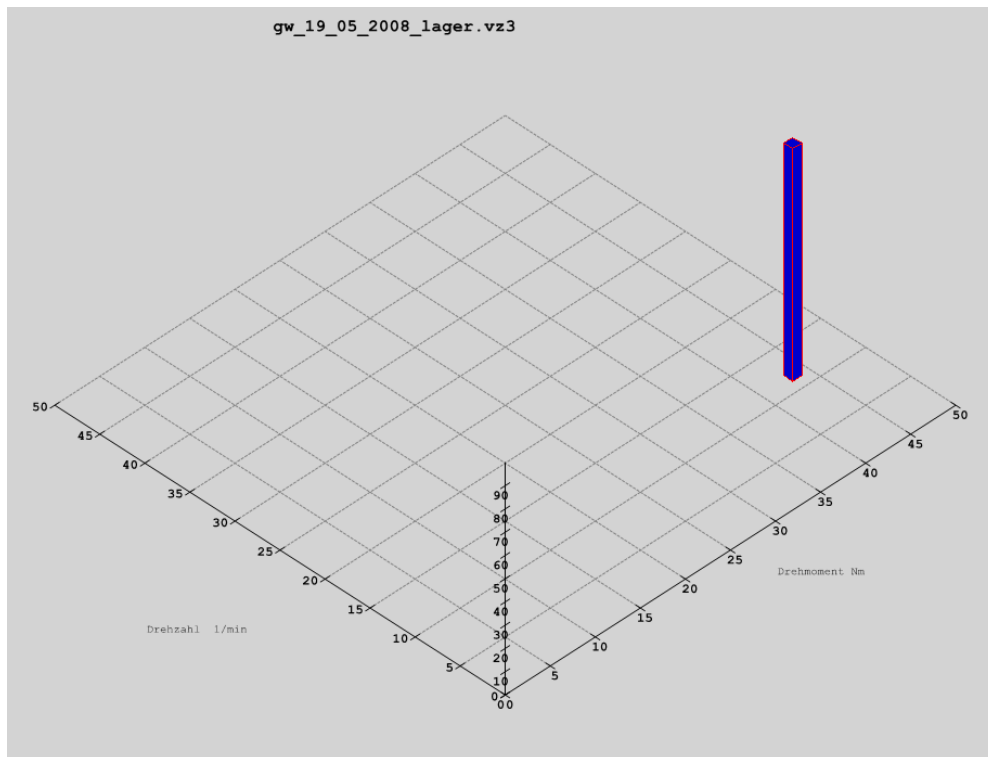


Bild 11-38 :Grafische Darstellung der Zeitanteile der Last, es werden auf den Achsen die Klassennummern angegeben

11.3.5. Berechnung der Lebensdauer und Diskussion der Ergebnisse

Zur Eingabe der Berechnungsparameter muss **Berechnung / Parameter** angeklickt werden und es erscheint die Maske:

Die aufgebrachte Belastung von 4400 N bei 1000 1/min darf 5166 Mal wiederholt werden, bis die Schadenssumme 1 eintritt. Im vorliegenden Beispiel dauerte die vorgegebene Belastung genau 1h. Da die Belastung 5166 Mal wiederholt werden darf, beträgt die rechnerische Lebensdauer 5166 Stunden.

```

* * * * * P R O T O K O L L * * * * *
Projekt: C:\winLIFE\gw_test_wl_30\example_9c
Monday 19 May 2008 18:9

Methode: Getriebelagerberechnung
C:\winLIFE\gw_test_wl_30\gw_19_05_2008_lager.vz3
Aus der Belastung wurden die pos. Drehzahlen verw.

Umrechnungsfaktor Drehmoment -> Kraft : 1.0000
Umrechnungsfaktor Drehzahl -> Lastwechsel: 1.000
Cdyn: 24600
p: 3.333

```

Klasse	Moment		Kraft	Drehzahl	Lastwechsel	Lastw.b.Defekt	Schaden
	von	- bis					
0	-50.000-	50.000	0.000	0.000	0.000	-----	-----
1	50.000-	150.000	100.000	0.000	0.000	-----	-----
2	150.000-	250.000	200.000	0.000	0.000	-----	-----
3	250.000-	350.000	300.000	0.000	0.000	-----	-----
4	350.000-	450.000	400.000	0.000	0.000	-----	-----
5	450.000-	550.000	500.000	0.000	0.000	-----	-----
6	550.000-	650.000	600.000	0.000	0.000	-----	-----
7	650.000-	750.000	700.000	0.000	0.000	-----	-----
8	750.000-	850.000	800.000	0.000	0.000	-----	-----
9	850.000-	950.000	900.000	0.000	0.000	-----	-----
10	950.000-	1050.000	1000.000	0.000	0.000	-----	-----
11	1050.000-	1150.000	1100.000	0.000	0.000	-----	-----
12	1150.000-	1250.000	1200.000	0.000	0.000	-----	-----
13	1250.000-	1350.000	1300.000	0.000	0.000	-----	-----
14	1350.000-	1450.000	1400.000	0.000	0.000	-----	-----
37	3650.000-	3750.000	3700.000	0.000	0.000	-----	-----
38	3750.000-	3850.000	3800.000	0.000	0.000	-----	-----
39	3850.000-	3950.000	3900.000	0.000	0.000	-----	-----
40	3950.000-	4050.000	4000.000	0.000	0.000	-----	-----
41	4050.000-	4150.000	4100.000	0.000	0.000	-----	-----
42	4150.000-	4250.000	4200.000	0.000	0.000	-----	-----
43	4250.000-	4350.000	4300.000	0.000	0.000	-----	-----
44	4350.000-	4450.000	4400.000	60000.000	60000.000	3.099980e+08	1.935496e-04
45	4450.000-	4550.000	4500.000	0.000	0.000	-----	-----
46	4550.000-	4650.000	4600.000	0.000	0.000	-----	-----
47	4650.000-	4750.000	4700.000	0.000	0.000	-----	-----
48	4750.000-	4850.000	4800.000	0.000	0.000	-----	-----
49	4850.000-	4950.000	4900.000	0.000	0.000	-----	-----
							1.935496e-04

Bild 11-41: Protokoll der Berechnung (gekürzt)

In der oben dargestellten Protokolldatei sind die Ergebnisse für alle Matrixelemente gespeichert. Da in unserem Beispiel nur ein Matrixelement vorliegt, ist die Schadenssumme für alle anderen Elemente gleich Null.

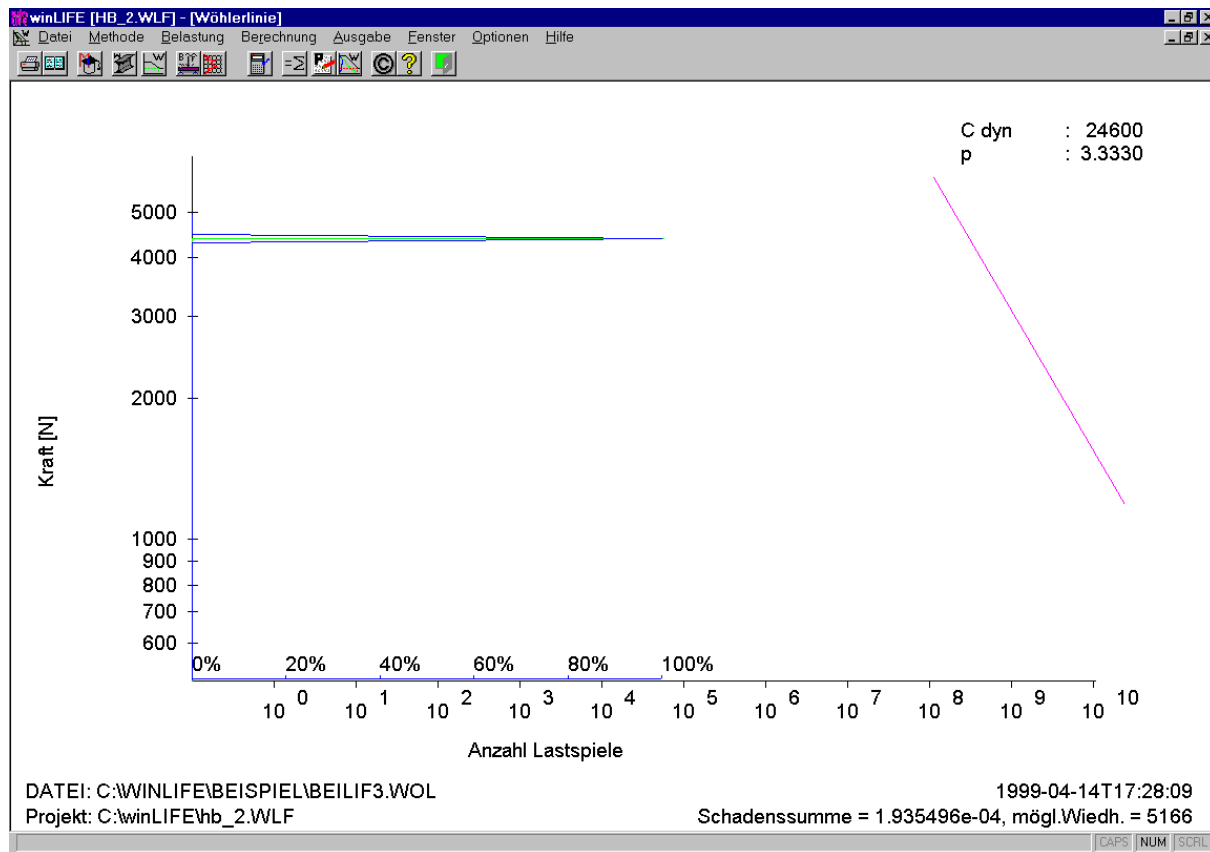


Bild 11-42: Grafische Darstellung des Ergebnisses

Die Ergebnisse in grafischer Darstellung sind in Bild oben zu finden. Man sieht dort die belastende Kraft von 4400 N, die zu 60000 (60 Minuten * 1000 1/min) Lastwechseln führt. Diese Lastwechsel bewirken die gesamte Schädigung (100%), da keine weitere Last wirkt.

Verwendet man nun ein realistischeres Kollektiv mit vielen verschiedenen Wertepaaren aus Belastung und Drehzahl, wie es z.B. im folgenden Bild gezeigt ist, so erkennt man den praktischen Nutzen der Darstellung in einer Matrix, was zu einer sofortigen Übersicht führt.

Auch die Darstellung von Belastungssummenkollektiv, Schädigungsanteil zusammen mit der Wählerlinie zeigt sofort, welcher Belastungsanteil zu der größten Schädigung führt.

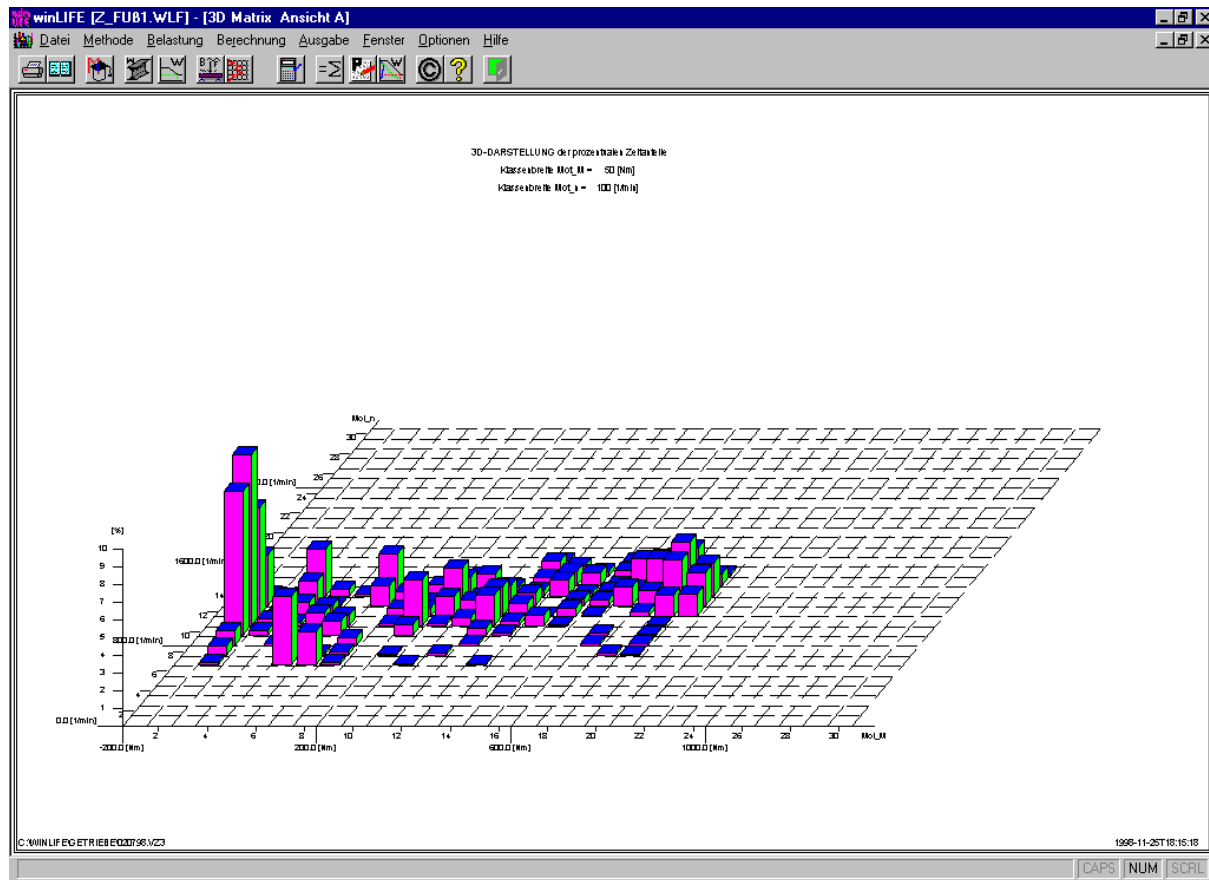


Bild 11-43: Zeitanteile in der Last Drehzahl-Matrix

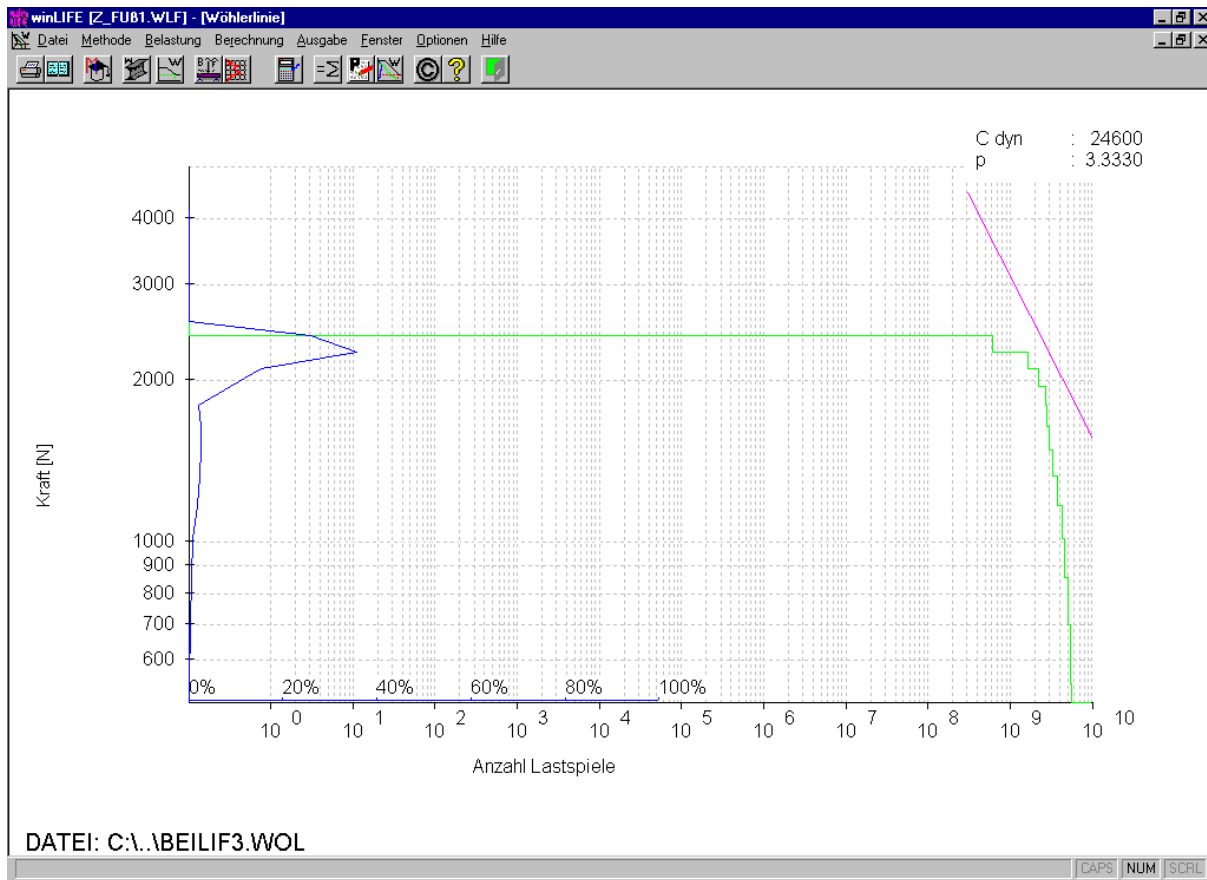
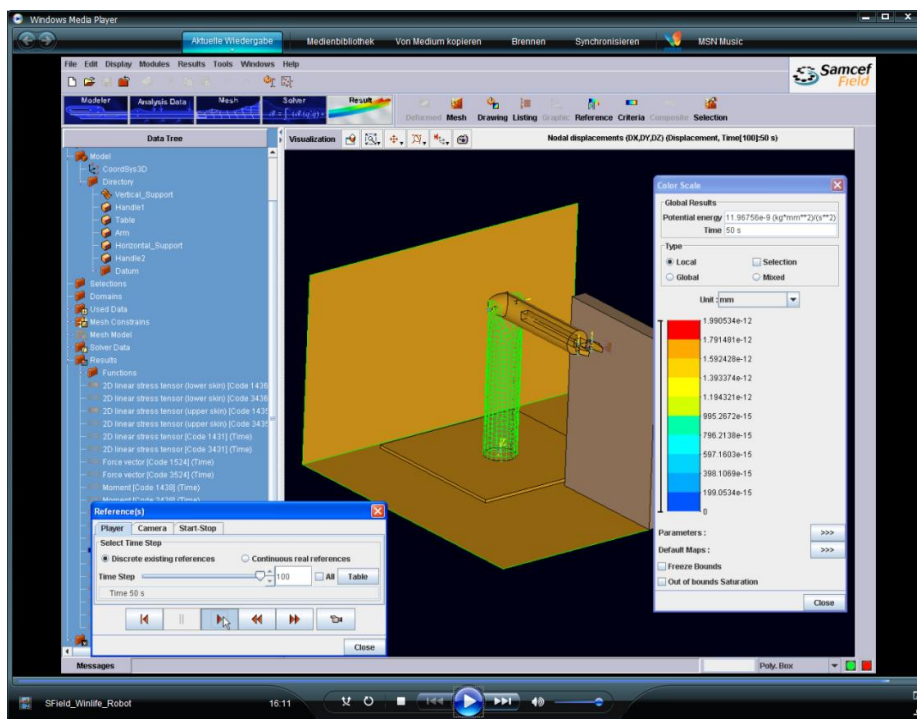


Bild 11-44: Last Drehzahl Kollektiv (lag_8)

12. Beispiel 11 / Mehrkörpersimulation eines Roboterarms (SAMCEF)

Hinweis: Dieses Beispiel ist hier verkürzt beschrieben, da es auch als Video Datei auf unserer Homepage existiert .

Es wird in diesem Beispiel das Zusammenwirken zwischen SAMCEF Field Version 7.0 und winLIFE gezeigt. Ein Roboterarm schlägt gegen eine Wand und die dabei auftretenden Beanspruchungen werden für eine Lebensdauerberechnung verwendet.

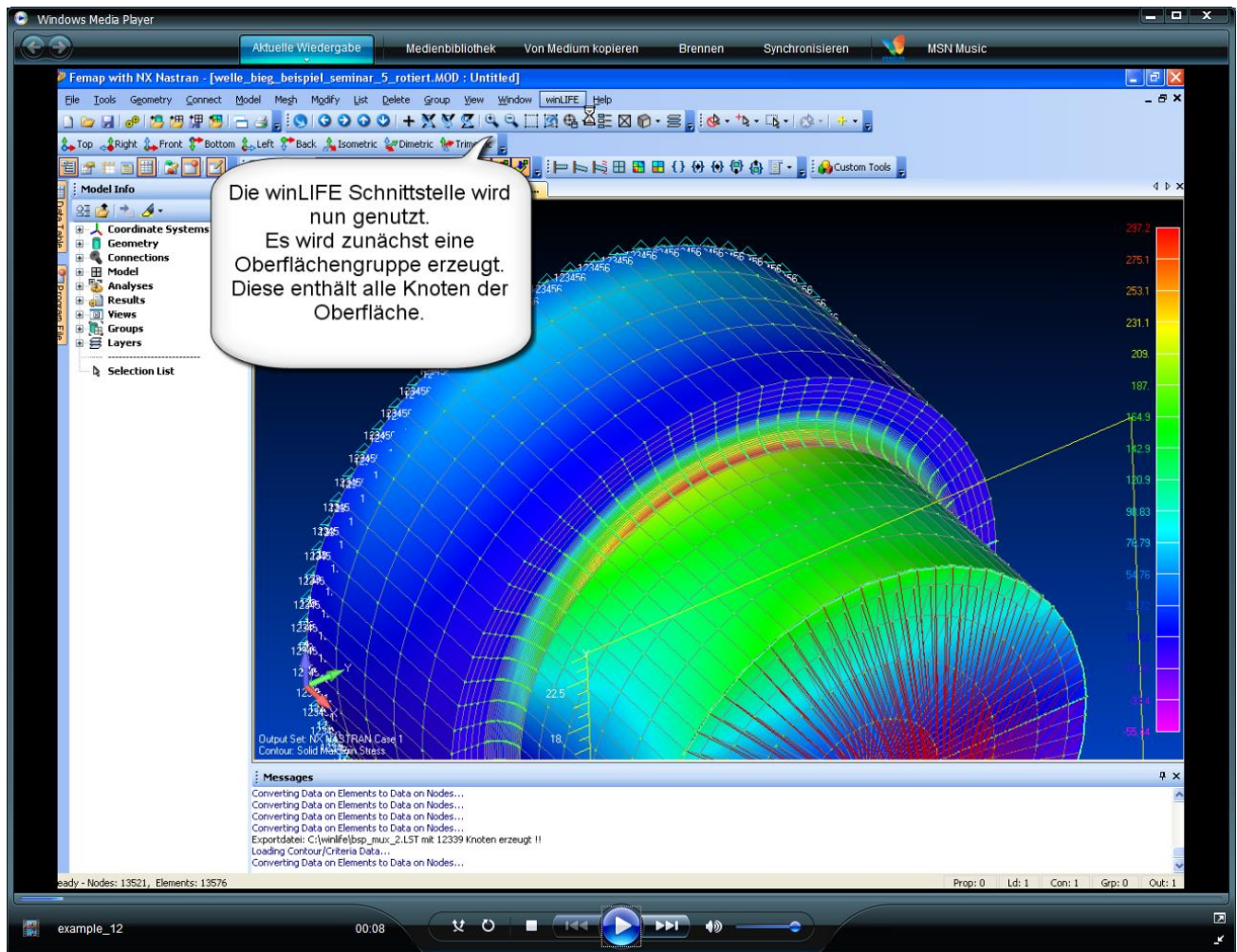


simulierter Roboterarm mit Ergebnissen der Lebensdauerberechnung in winLIFE

13. Beispiel 12 / Gekerbte Welle mit FEMAP

Hinweis: Dieses Beispiel ist hier verkürzt beschrieben, da es als Video Datei auf unserer Homepage existiert .

Es wird in diesem Beispiel das Zusammenwirken zwischen FEMAP und winLIFE gezeigt. An einer gekerbten Welle, die durch ein Biegemoment belastet ist, wird eine Lebensdauerberechnung vorgenommen. Dazu werden Einheitslastfälle in FEMAP definiert und an winLIFE übertragen. Die Ergebnisse der Lebensdauerberechnung werden zurück an FEMAP übergeben und dort dargestellt.



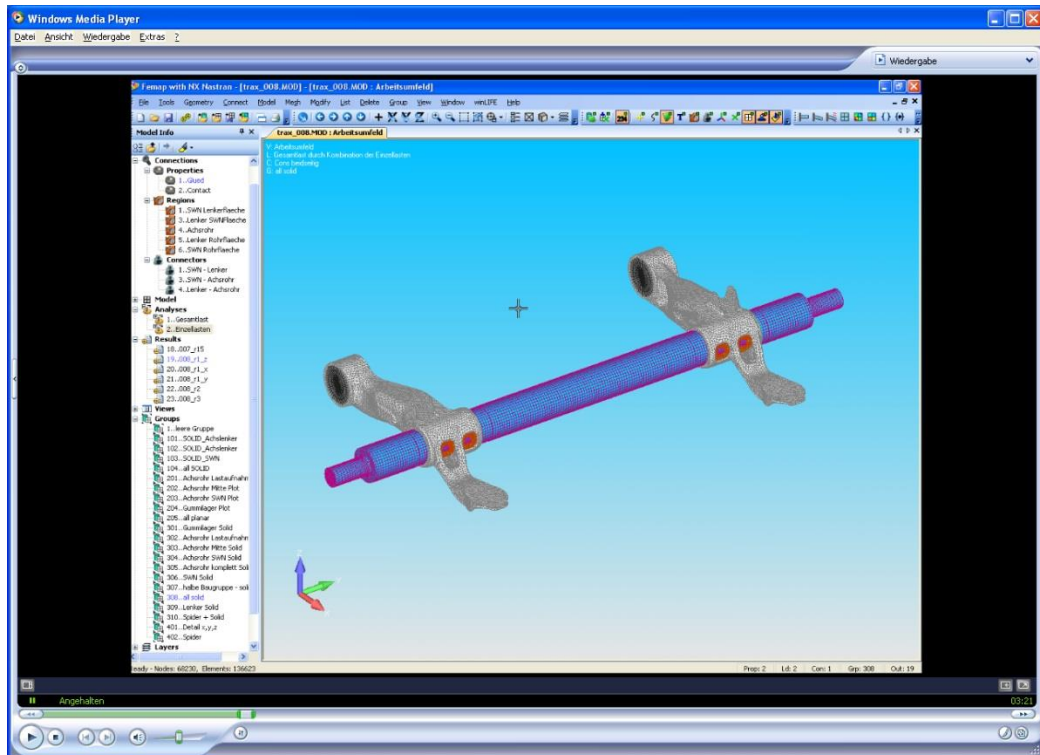
Welle mit Absatz inklusive Spannungsdarstellung in FEMAP

14. Beispiel 13 / Schweißnaht einer Nutzfahrzeugachse (FEMPAP)

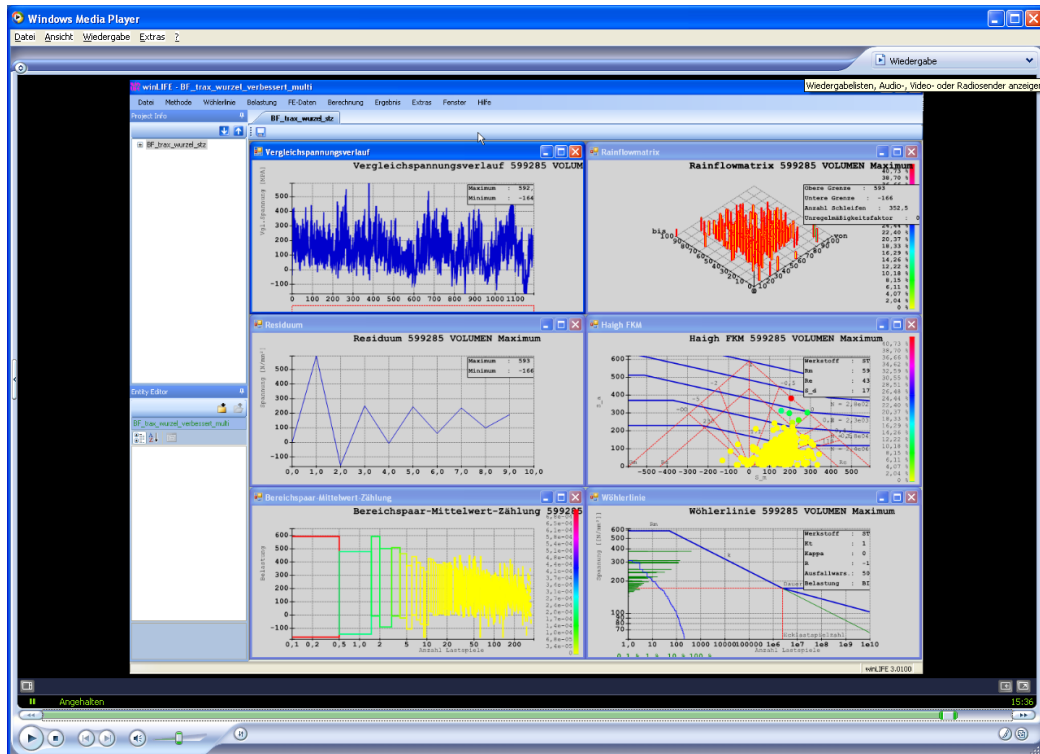
Hinweis: Dieses Beispiel ist hier verkürzt beschrieben, da es als Video Datei auf unserer Homepage existiert.

Es wird in diesem Beispiel wird das Zusammenwirken zwischen FEMAP und winLIFE 4.0 gezeigt. An einem komplexen Bauteil, einer Hinterachse, werden die Schweißnähte nach dem r1-Konzept berechnet.

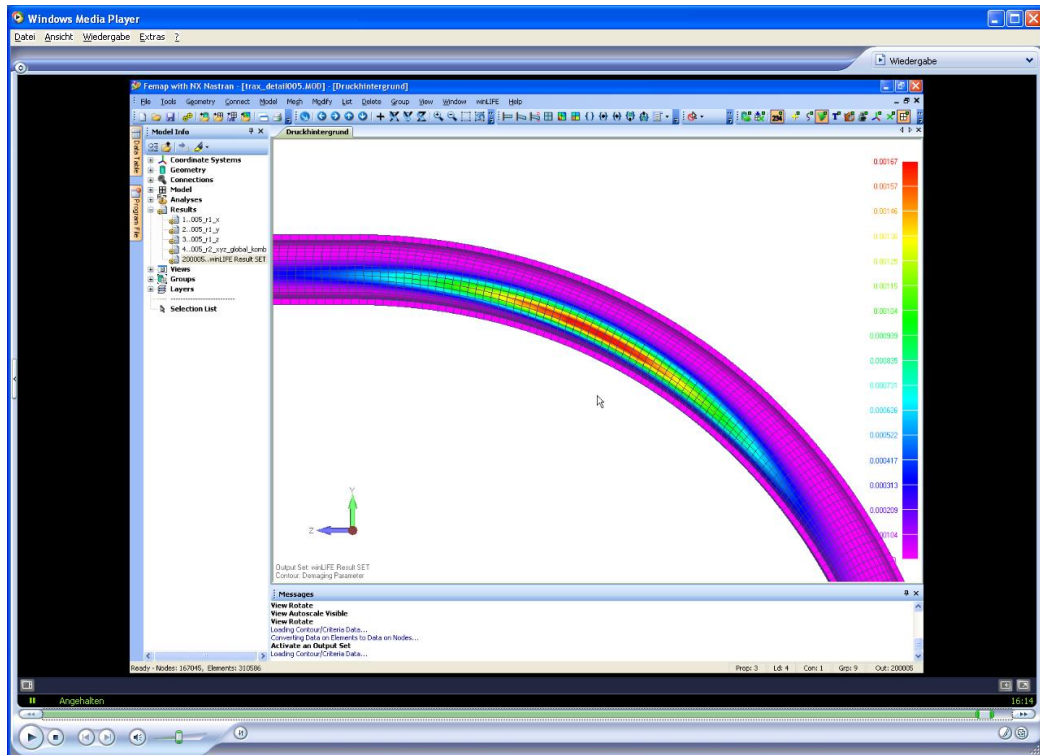
Es wird die gesamte Modellierung und die Verwendung von Sub-Strukturen gezeigt. Die Belastung erfolgt durch drei gemessene Last-Zeit-Funktionen. Es werden drei Einheitslastfälle in Richtung der Radkräfte in FEMAP berechnet und an winLIFE 4.0 übertragen. Die Ergebnisse der Lebensdauerberechnung werden zurück an FEMAP übergeben und dort dargestellt.



Gesamtansicht der berechneten Achse



Ergebnisse in winLIFE



Die Substruktur „Schweißnaht“ mit Iso-Flächen gleicher Schädigung, die in winLIFE berechnet und in FEMAP importiert wurden.

15. Beispiel 15 / Gekerbte Welle (SAMCEF)

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage vorhanden.

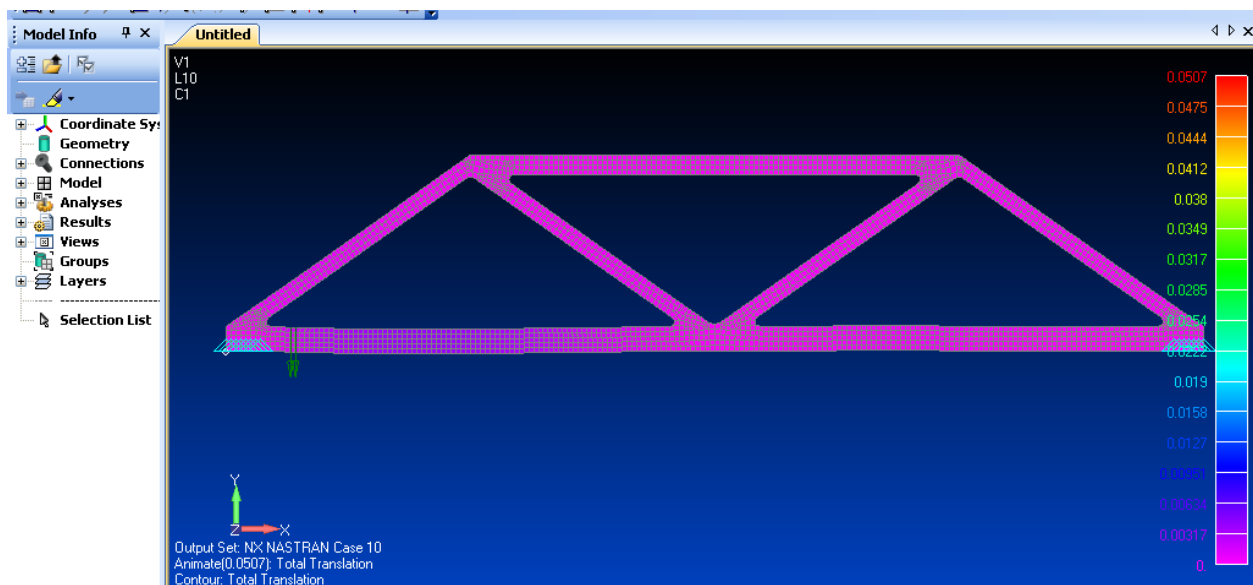
Es wird in diesem Beispiel mit Hilfe von SAMCEF eine Welle mit Kerbe berechnet. Der Modellaufbau in SAMCEF und die anschließende Lebensdauerberechnung einschließlich des Datentransfers ist beschrieben.

16. Beispiel 16 / Last über eine Brücke (FEMAP)

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage vorhanden.

FEM Analyse in FEMAP

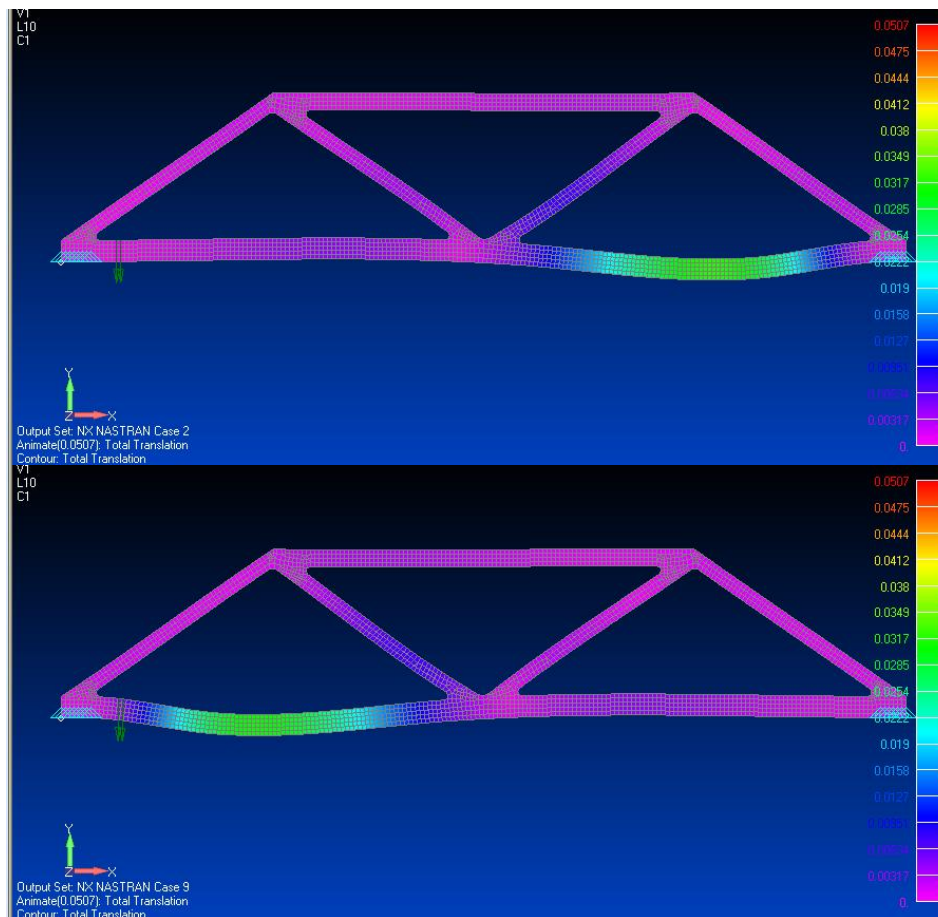
Dieses Beispiel beschreibt ein nichtlineares Modell. Es wird eine in FEMAP modellierte Brücke durch eine von rechts nach links wandernde Last berechnet. Jede einzelne Last repräsentiert einen Zeitpunkt. Das FEMAP-Modell ist auf der winLIFE 4.0 CD im Verzeichnis \example_16\FEMAP_MODELL\bruecke.mod vorhanden.



FE-Modell (FEMAP) der Brücke aus Schalenelementen aufgebaut, über die eine Einzellast (z.B. Auto) von rechts nach links wandert.

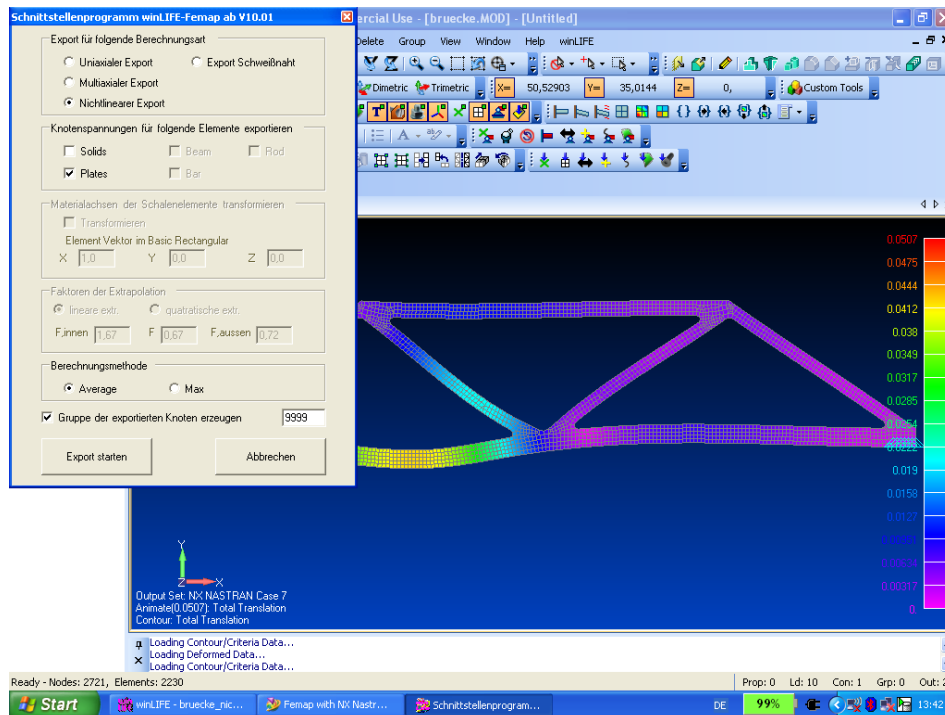
Die oben abgebildete Brücke wird durch eine Einzelkraft belastet, deren Betrag konstant ist, deren Angriffspunkt von rechts nach links wandert (entsprechend der Überfahrt eines Automobils). Das Modell weist daher 10 Lastfälle auf, wobei jeder einzelne Lastfall einem Zeitpunkt entspricht.

Bei der Berechnung mit Hilfe von FEMAP ergeben sich für jeden Lastfall und für jeden einzelnen Knoten die Spannungsergebnisse. Die Ergebnisse für die Durchbiegung für zwei zufällig ausgewählte Lastfälle zeigt das folgende Bild und man erkennt sehr gut, wie sich auch die Durchbiegung der Brücke entsprechend der Last verändert.



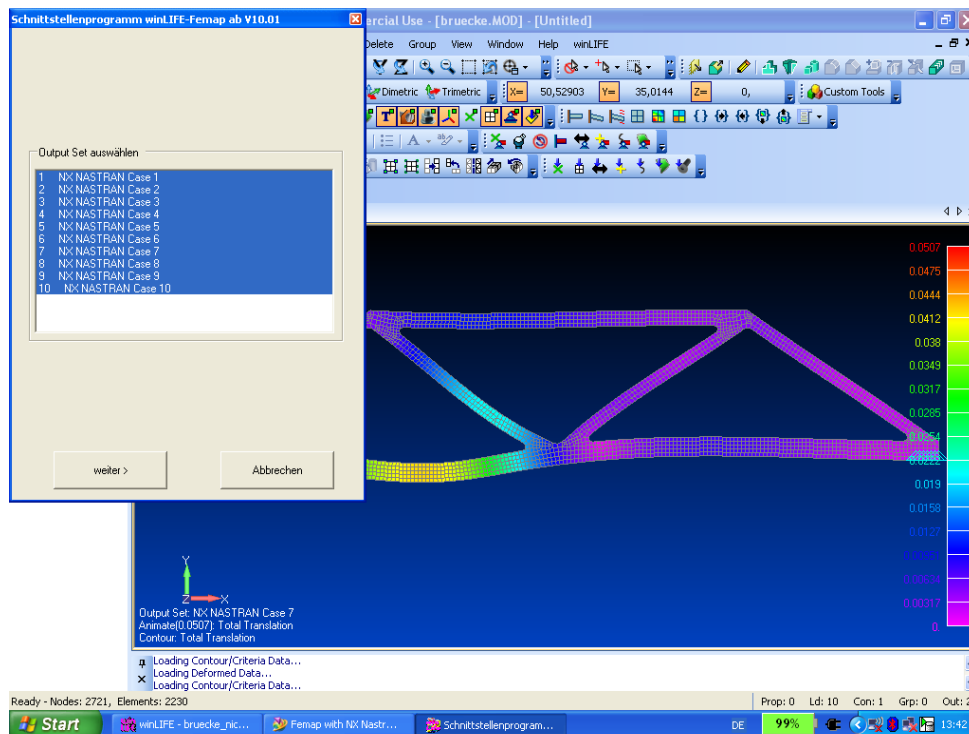
Ergebnis der Berechnung für zwei zufällig ausgewählte Zeitpunkte

Diese Ergebnisse sollen nun für eine Lebensdauerberechnung verwendet werden. Dazu wird in FEMAP in der Menüleiste winLIFE 4.0 angeklickt und es erscheint folgendes Eingabefenster.



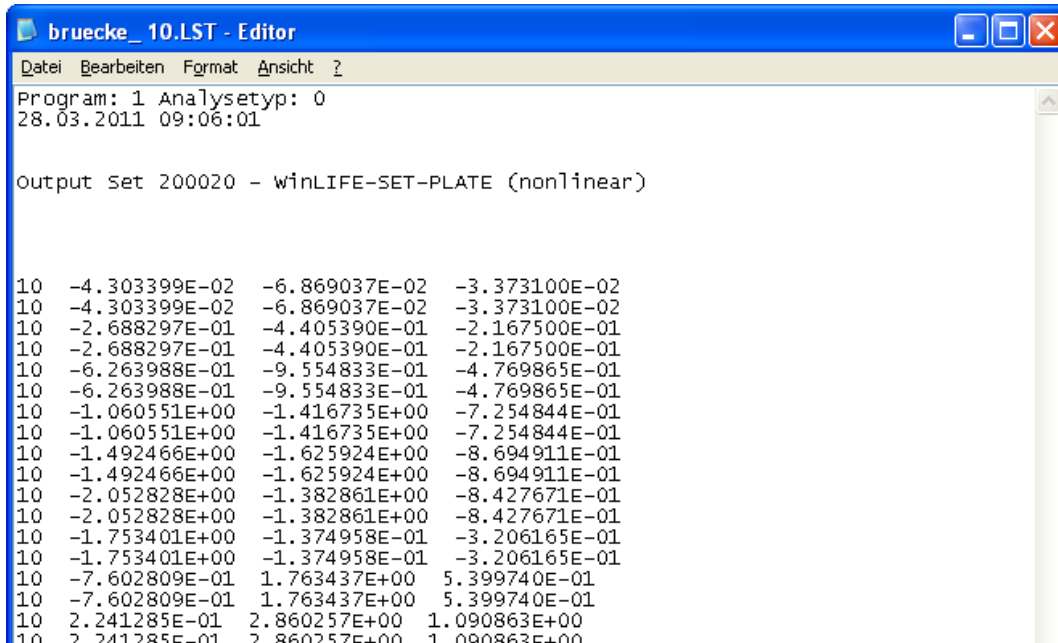
Vorbereitung des (nichtlinearen) Datenexports nach winLIFE

Nach der im Bild oben dargestellten Auswahl erfolgt ein weiteres Auswahlfenster, das alle berechneten Lastfälle darstellt. In unserem konkreten Beispiel sind lediglich 10 Lastfälle (entsprechend Zeitschritte) enthalten. Die Anzahl der Zeitschritte ist nicht begrenzt und kann daher beliebig groß sein.



Wahl der Lastfälle (=Zeitpunkte) für den Datenexport nach winLIFE

Es wird nun für jeden Knoten eine Datei erstellt, die die Ergebnisse über alle Zeitschritte enthält. Die Datei bruecke_10.lst enthält zum Beispiel für alle 10 Zeitschritte die Spannungsergebnisse auf der Ober – und Unterseite der Plattenelemente also 20 Zeilen.



```
bruecke_10.LST - Editor
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?
Program: 1 Analysetyp: 0
28.03.2011 09:06:01

Output Set 200020 - winLIFE-SET-PLATE (nonlinear)

10 -4.303399E-02 -6.869037E-02 -3.373100E-02
10 -4.303399E-02 -6.869037E-02 -3.373100E-02
10 -2.688297E-01 -4.405390E-01 -2.167500E-01
10 -2.688297E-01 -4.405390E-01 -2.167500E-01
10 -6.263988E-01 -9.554833E-01 -4.769865E-01
10 -6.263988E-01 -9.554833E-01 -4.769865E-01
10 -1.060551E+00 -1.416735E+00 -7.254844E-01
10 -1.060551E+00 -1.416735E+00 -7.254844E-01
10 -1.492466E+00 -1.625924E+00 -8.694911E-01
10 -1.492466E+00 -1.625924E+00 -8.694911E-01
10 -2.052828E+00 -1.382861E+00 -8.427671E-01
10 -2.052828E+00 -1.382861E+00 -8.427671E-01
10 -1.753401E+00 -1.374958E-01 -3.206165E-01
10 -1.753401E+00 -1.374958E-01 -3.206165E-01
10 -7.602809E-01 1.763437E+00 5.399740E-01
10 -7.602809E-01 1.763437E+00 5.399740E-01
10 2.241285E-01 2.860257E+00 1.090863E+00
10 2.241285E-01 2.860257E+00 1.090863E+00
```

Inhalt der Ergebnisdatei des (nichtlinearen) Datenexports

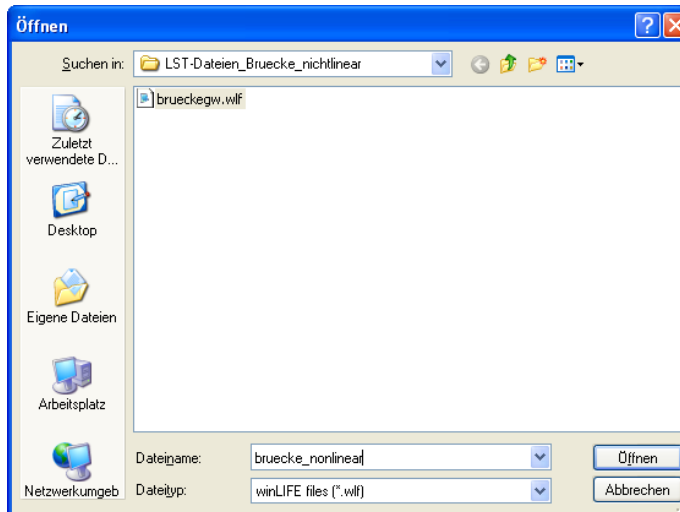
Insgesamt werden in unserem Fall, da das Modell 2721 Knoten enthält und keine Knotenauswahl erfolgte, 2721 Dateien erzeugt.

Hinweis: Es können maximal 20 000 Knoten und damit 20 000 Dateien ausgegeben werden.

Lebensdauerberechnung in winLIFE 4.0

Datei

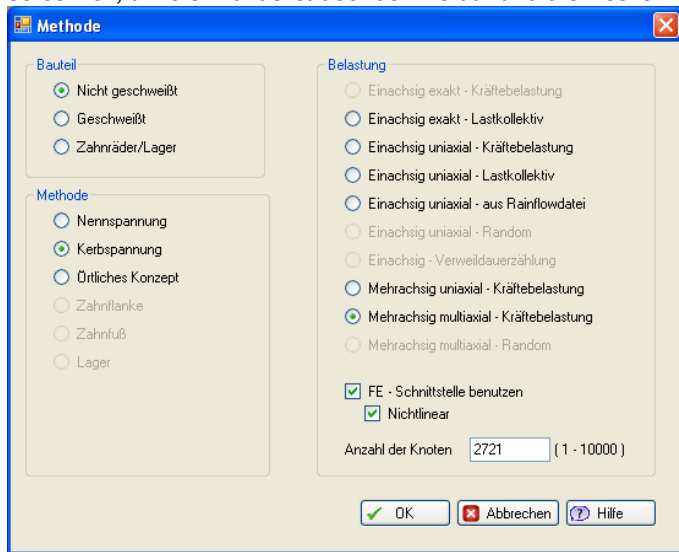
Im ersten Schritt wird ein Projekt definiert (s. Bild).



Speicherung des Projektes

Festlegung der Methode

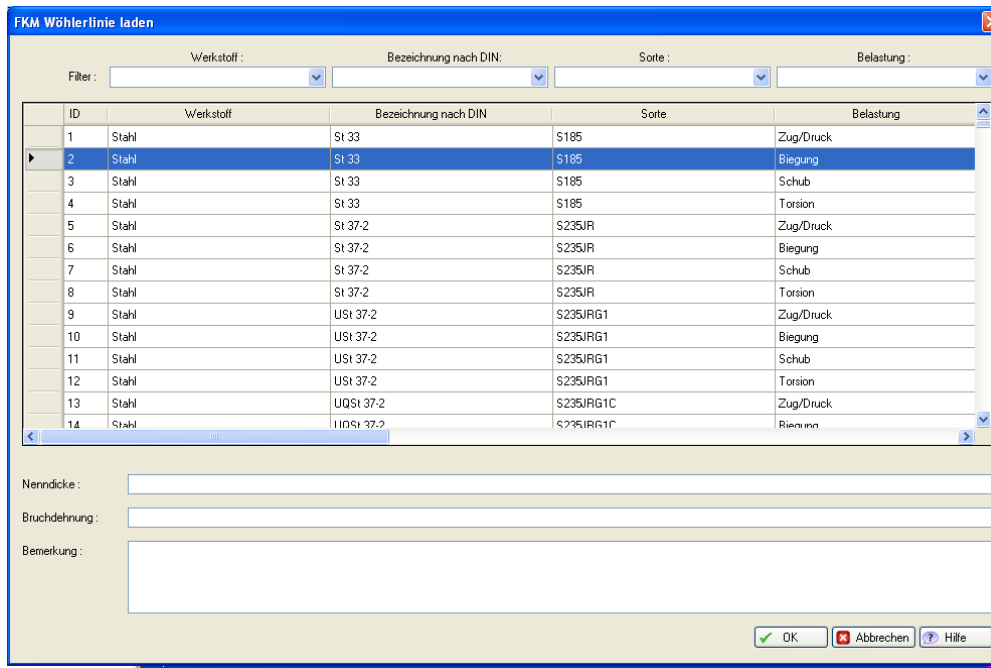
Bei der Festlegung der Methode muss bereits die Anzahl der zu berechnenden Knoten festgelegt werden. Im Beispiel werden hier alle 2721 Knoten festgelegt. Am Beginn eines Projektes kann es sinnvoll sein, nur wenige Knoten zu berechnen, um sich zunächst über den Ablauf und die Rechenzeiten klar zu werden.



Auswahl der Methode

Erzeugung der Wöhlerlinie

Es wird folgende Wöhlerlinie aus der FKM-Datenbank gewählt.



Wahl des Materials aus der FKM-Datenbank

Die grafische Darstellung der Wöhlerlinie zeigt das folgende Bild.



Grafische Darstellung der Wöhlerlinie

Übernahme der FE-Daten

Nach Anklicken des Menüpunktes öffnet sich folgende Tabelle. Die Anzahl der Zeilen in der folgenden Tabelle entspricht der angegebenen Anzahl der Knoten im Methode Menü.

Index	FE Ergebnis Datei	FE Spannungsgradient	1/faktor
1		...	1
2		...	1
3		...	1
4		...	1
5		...	1
6		...	1
7		...	1

Pfad :

☐ Normalenvektor verwenden

☐ Temperatur verwenden

Polynom A1 = 100,000 B1 = 0,400 C1 = 1,550

FE Vergl.- Sp. Hypothese

Export Datei

Knoten

☒ Alle Knoten verwenden

☐ Grenze Spannung

☐ Größe Knoten

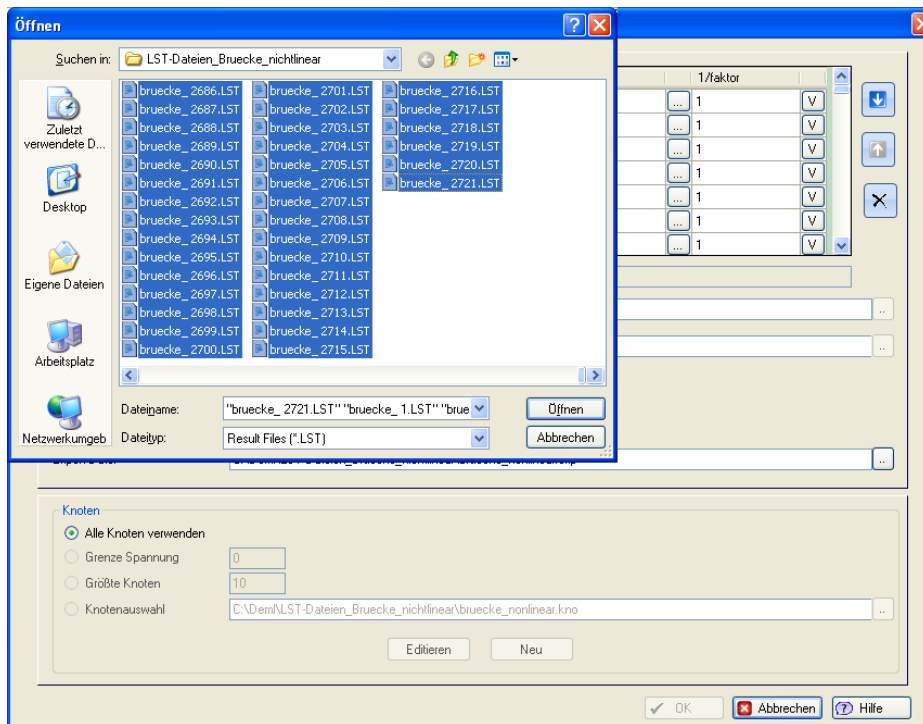
☐ Knotenauswahl

Auswahl der Daten aus der FE-Berechnung(leere Maske vor Auswahl der Dateien)

Zur Datenübernahme aus den *.lst Dateien wird der Button mit den 2 Punkten angeklickt.

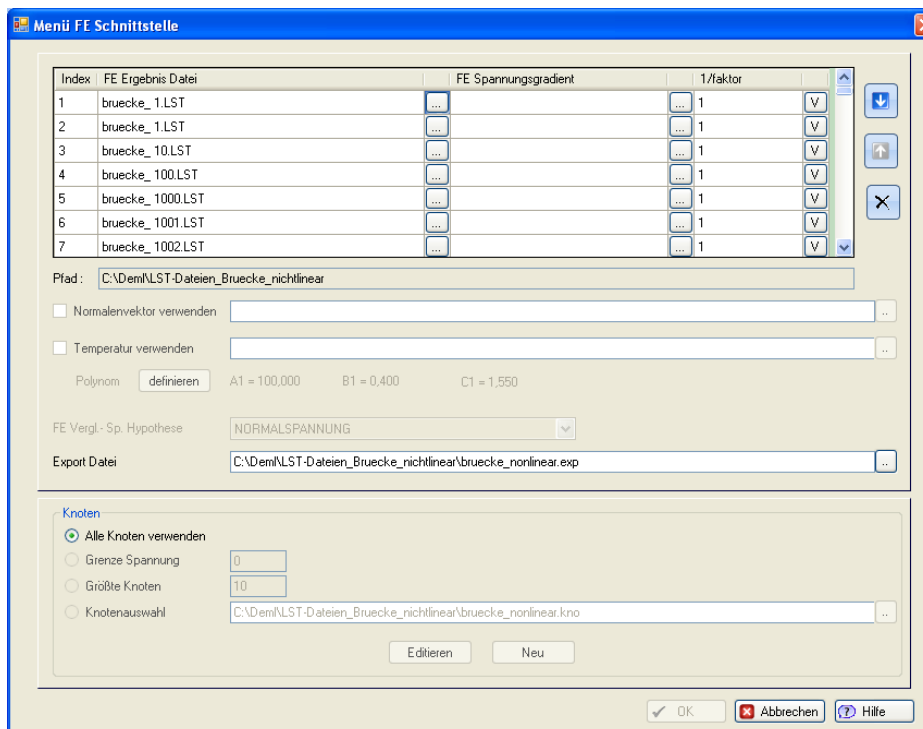
Es ist dann das Verzeichnis zu öffnen, in dem die Dateien gespeichert wurden.

Durch Mehrfachauswahl (erste Datei markieren, Shift-Taste gedrückt halten und die letzte Datei markieren) werden alle Dateien gewählt und in der Tabelle angezeigt. Die ausgewählten Dateien sind dann im Auswahlfenster blau markiert.



Markieren der Dateien. Mehrfachauswahl ist unverzichtbar bei sehr vielen Dateien (erste Datei und letzte Datei markieren, linke Maustaste und Shift !!)

Die ausgewählten Dateien erscheinen dann in der Tabelle (s. n. Bild).



Ergebnis der Auswahl

Berechnung/Parameter

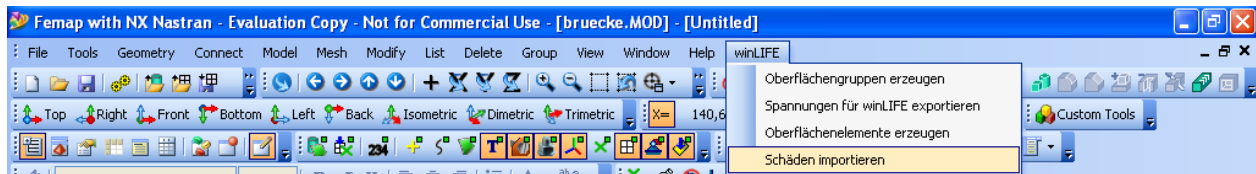
Die Parametereingabe für das vorliegende Beispiel wird hier nicht näher erläutert, sie kann dem Video entnommen werden.:

Ergebnisse

Die Ergebnisse können in winLIFE 4.0 wie in den Beispielen zuvor auch dargestellt werden. winLIFE 4.0 erzeugt einen Neutralfile, der die Schädigungssumme, Sicherheit gegen Dauerfestigkeit und äquivalente Amplituden darstellt.

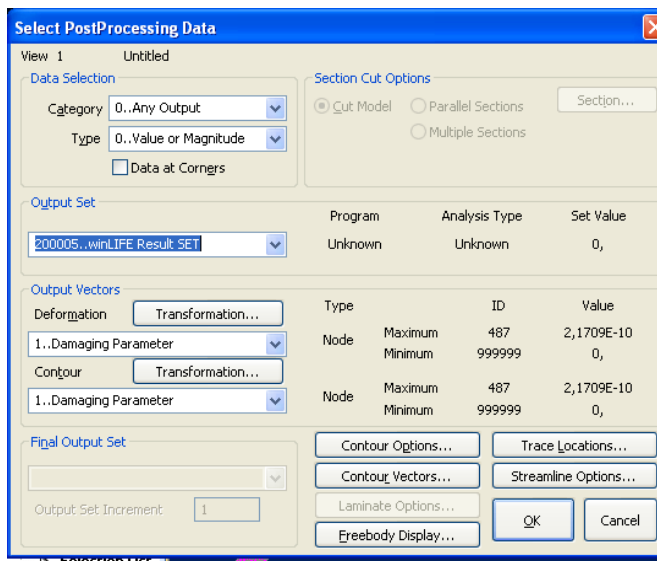
Darstellung der Ergebnisse in FEMAP

Die Ergebnisse können und auch in FEMAP dargestellt werden. Dazu muss man in FEMAP im winLIFE-Menüpunkt Schäden importieren anklicken.



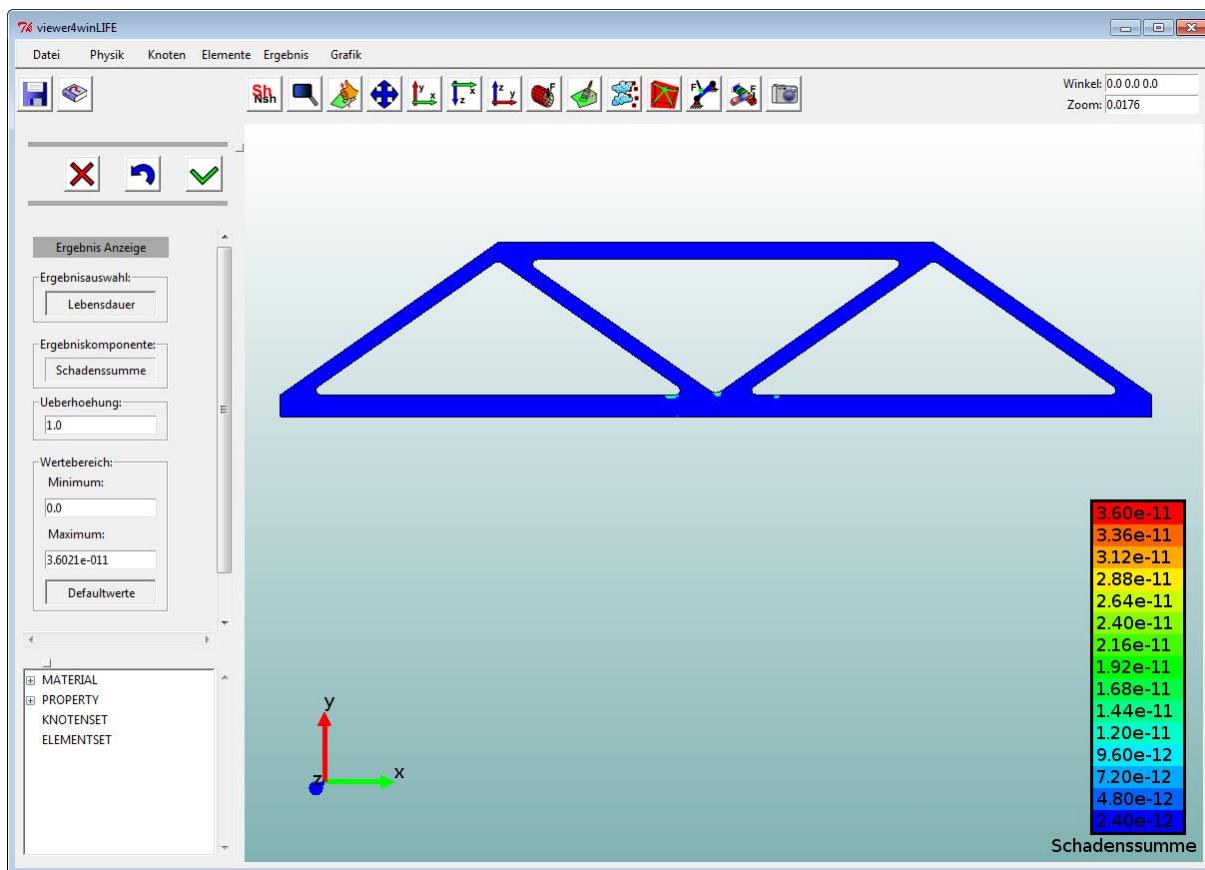
Menü in FEMAP: Importieren der Ergebnisse der Lebensdauerberechnung Datenexports aus winLIFE zur Darstellung in FEMAP

Beim der Darstellung ist im Output-Set der von winLIFE 4.0 erzeugte Damaging Parameter zu wählen.



Dialog in FEMAP zur Auswahl der winLIFE-Ergebnisdateien

Das Ergebnis der Schadenssumme zeigt das folgende Bild:



Ergebnisdarstellung in FEMAP

17. Beispiel 17 / Datenschnittstelle zu ANSYS

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des ANSYS-Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

In dem Video wird eine Lebensdauerberechnung mit ANSYS und winLIFE 4.0 gezeigt. Eine abgesetzte Welle wird in ANSYS modelliert, die Daten werden nach winLIFE 4.0 exportiert und eine Lebensdauerberechnung durchgeführt. Die Ergebnisse werden dann wieder unter ANSYS dargestellt.

18. Beispiel 18a / Dauerfestigkeitsnachweis (winLIFE QUICK CHECK)

18.1. Ablaufbeschreibung an einem Beispiel

Hinweis: Die Daten dieses Beispiels – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – sind unter Beispiel 18 auf der winLIFE 4.0 -CD zu finden. Unterverzeichnis `\examples_wl_30\examp_18\LST-Dateien`

Die Erstellung des FE-Modells in FEMAP wird hier nicht beschrieben. Die dabei erzeugten Daten sind aber alle auf der winLIFE 4.0 -CD gespeichert, so dass dieses Beispiel in winLIFE 4.0 ohne Vorarbeiten nachvollzogen werden kann.

18.1.1. Grundregeln bei der Bedienung von winLIFE QUICK CHECK

Regel 1:

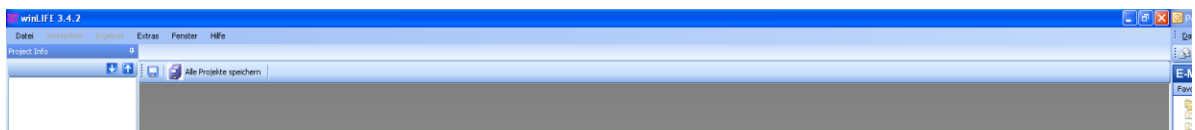
Das Menü ist von links nach rechts durchzuarbeiten.

Regel 2:

Nur aktive Menü-Punkte können vom Benutzer betätigt werden (aktiv=schwarz, inaktiv = grau). Auf diese Weise sollen unzulässige Eingaben vermieden werden.

18.1.2. Start von winLIFE

Durch Doppelklick auf das winLIFE 4.0 -Icon starten Sie winLIFE 4.0 . Es erscheint das folgende Fenster. Im der oberen Menüleiste ist nur der Punkt **Datei** aktiv (scharze Farbdarstellung = aktiv, graue Farbdarstellung = inaktiv).

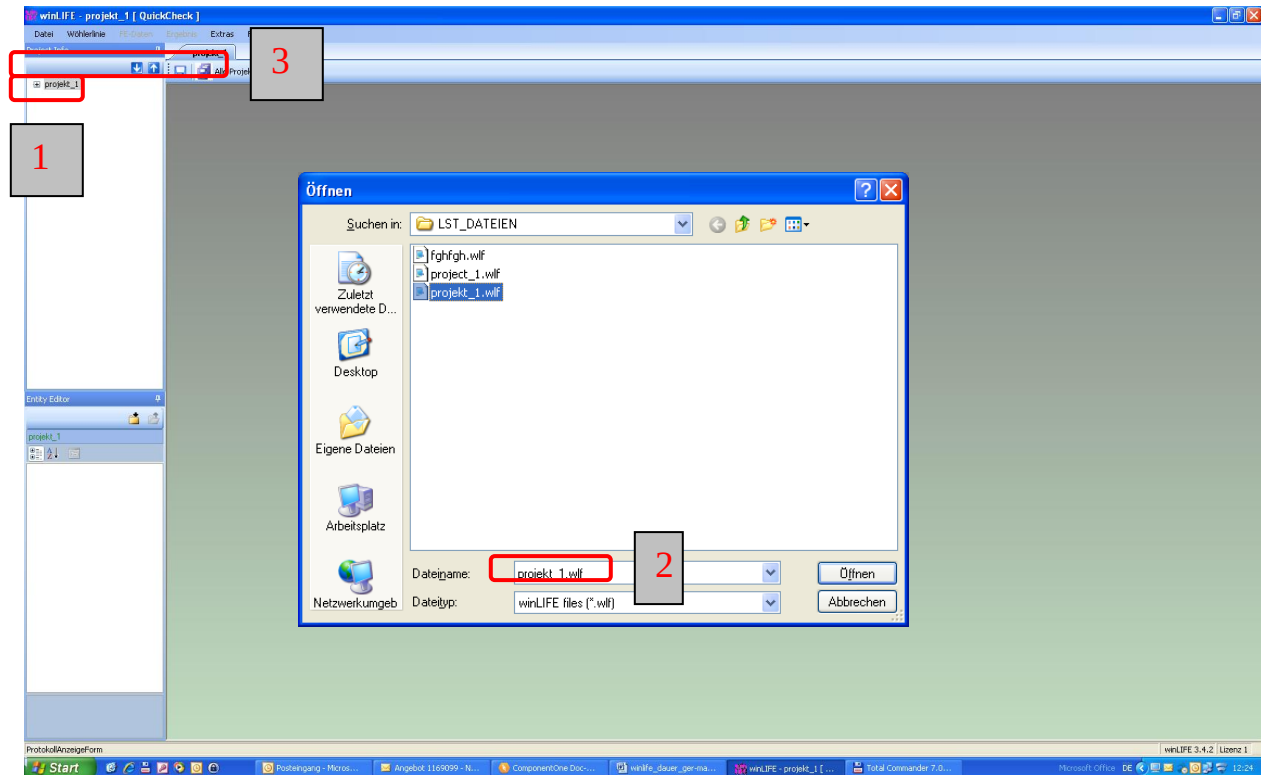


obere Menüleiste von winLIFE nach dem Start des Programms

18.1.3. Erstellen eines Projektes

Wählen Sie aus dem Menü: **Datei / Neu (Dauerfestigkeit)** und geben Sie einen Namen für Ihr Projekt z.B. projekt_1 ein.

Der eingegebene Projektname erscheint danach in der Statuszeile oben und der Menüpunkt Wöhlerlinie ist aktiviert (scharze Farbdarstellung = aktiv, graue Farbdarstellung = inaktiv). In dem folgenden Bild ist die Reihenfolge der Benutzeraktivitäten nummeriert.

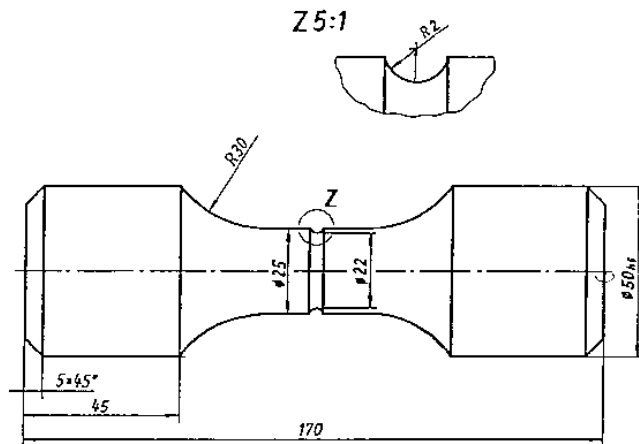


: Eingabe des Namens eines Quick Check Projekts

18.2. Aufgabenstellung

18.2.1. Bauteilgeometrie

Es soll für ein Bauteil, dessen Konstruktionszeichnung mit Bemaßung in dem folgenden Bild dargestellt ist, ein Dauerfestigkeitsnachweis erfolgen. Aus didaktischen Gründen wird dieser Nachweis zunächst für die einzelnen Lastfälle separat durchgeführt. Zum Schluß wird die gleichzeitige Wirkung der Lastfälle untersucht.



FE-Modell „gekerbte Welle“

18.2.2. Bauteilbelastung (Einheitslasten)

Die Belastung des feststehenden Bauteils erfolgt durch folgende drei Größen, die jeweils zu einer Nennspannung von 1N/mm^2 in der Kerbe führen.

Lastfall Nr.	Belastungsart	Einheitslast, die genau 1N/mm^2 Nennspannung erzeugt.	Zeitlicher Verlauf	Oberlast
1	Zugkraft	Zugkraft in Stirnfläche in x-Richtung 380 N	konstant	$380\text{ N} \cdot 20 = 7\,000\text{ N}$
2	Biegung	Moment in y-Richtung auf Stirnfläche $M_y = 1045\text{ Nmm}$	wechselnd	$1045\text{ Nmm} \cdot 40 = 41\,800\text{ Nmm}$
3	Torsion	Moment in x-Richtung $M_x = 2091\text{ Nmm}$	schwellend	$2091\text{ Nmm} \cdot 30 = 62\,730\text{ Nmm}$

18.2.3. Werkstoffdaten

Werkstoffbezeichnung	42 CrMoS 4V
Mechanische Werte	
Zugfestigkeit R_m	920 MPa
0,2 % Dehngrenze	743 MPa
E-Modul	210 MPa
Beanspruchungsart für Generierung:	Biegung (bei Überlagerung mehrerer Lastfälle wird Biegung empfohlen)

Bauteildaten

Oberfläche, Rautiefe R_z	8 μm	
Randschichtfaktor K_v	1,0	=keine Oberflächenverfestigung
Schutzschichtfaktor K_s	1,0	=keine Schutzschicht
Temperatur	20,0	
$D_{\text{eff}}=D_{\text{effN}}$	7,5	statistischer Größeneinfluß wird ignoriert
α_{adm}	0,01	technologischer Größeneinfluss wird ignoriert
Anisotropie	1	isotropes Verhalten
K_{NL}	1	lineares Spannungs-Dehnungs-Verhalten
Sicherheitsfaktor	1	kein Sicherheitsaufschlag

18.3. Generierung der Wöhlerlinie

Auf Grund der gegebenen statischen Werkstoffkennwerte und der Bauteileigenschaften kann eine Wöhlerlinie generiert werden. Dies erfolgt nach der FKM-Richtlinie. Da der interessierende Werkstoff nicht in der FKM-Datenbank vorliegt, wird hier gezeigt, wie die Eingabe erfolgt. Dabei werden auch die Eingabewerte kurz erläutert.

Durch Anklicken von

Wöhlerkurve / EDIT professional

öffnet sich eine Eingabemaske. Oben links in der Maske wird **Generator** angeklickt und die Maske erweitert sich.

Hinweis: In der Maske sind Daten aus der letzten Eingabe vorhanden. Diese werden durch die Eingaben des Benutzers überschrieben.

Es sind die in der Maske rechts rot eingerahmten Daten bekannt, die nun in die Maske eingegeben werden müssen.

Wöhlerlinie

Generator >> Ausfallwahrsch. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=1)

Rm (Biegung)	920.000	[N/mm ²]
Re (Zug-Druck)	743.000	[N/mm ²]
Steigung (*)	5.000	
Steigung 2 (*)	5.000	
Zug/Druck w.	414.000	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit (*)	384.822	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit 2 (*)	384.822	[N/mm ²]
Ecklastspielzahl (*)	1000000	
Ecklastspielzahl 2 (*)	1000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,2220000	
Belastung (*)	Biegung	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,73310	

Identifikation

Kurzname: bsp 18qc

Werkstoffnummer: 1.7227

Bemerkung: 42CrMoS4
Vergütungsstahl im vergüteten Zustand nach DIN EN 10 083-1 (Oktober 1996)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Parameter

Berechnungsmethode	FKM	
Werkstoff	Stahl	
Belastung	Biegung	
Randschichtverfahren	ohne	
Rm	920.000	[N/mm ²]
Re	743.000	[N/mm ²]
χ^*	0,00000	...
$\chi^*(d)$	0,00000	
K _F	2,0000	
Rauhtiefe	8,00	[µm]
K _v	1,000	
K _s	1,00	?
Temperatur	20,0	[°C]
D _{eff}	7,5	[mm]
D _{effN}	7,5	[mm]
adm	0,01	<-
Anisotropie	1,00	<-
K _{NL}	1,000	
Sicherheitsfaktor (jD)	1,0000	...

generieren ☒ Protokoll anzeigen

Eingabe der Wöhlerlinie

Klickt man auf **generieren**, so werden die Daten der Wöhlerkurve (linke Seite der Maske) erzeugt. Ein Protokoll wird ausgegeben, aus dem die Einzelheiten der Generierung hervorgehen.

```

Protokoll-Generierung der Wöhlerlinie nach FKM

K_d,m      = 1,000 (D_eff < D_eff,N,m)

R_m        = 920,000
            = R_m,N * K_A * K_d,m
            = 920,000 * 1,000 * 1,000

K_T,D      = 1,000

Sigma_W,zd  = 414,000
            = f_W,sigma * R_m * K_T,D
            = 0,450 * 920,000 * 1,00

K_R,sigma   = 0,868 (Zug-Druck / Biegung)
            = 1 - alpha_F,sigma * lg(R_z[mue m]) * lg(2*R_m / R_m,N,min)
            = 1 - 0,220 * lg(8,000) * lg(2*920,000/400,000)

n_sigma     = 1,000 (Zug-Druck / Biegung)
            = 1 + G_0 * 10^-(a_G-0,5+R_m/b_G)
            = 1 + 0,000 * 10^-(0,500-0,5+920,000/2700,000)

K_WK,sigma  = 1,076
            = 1/n_sigma * (1 + 1/K_fu * (1/K_R - 1)) * 1/(K_V * K_S) =
            = 1/1,000 * (1 + 1/2,000 * (1/0,868 - 1)) * 1/(1,000 * 1,000)

S_WK        = 384,822
            = sigma_W,zd / K_WK,sigma / (J_C / K_T,D)
            = 414,000 / 1,076 / (1,000)

M_sigma     = 0,2220000
            = a_M * R_m * 10^-3 + b_M
            = 0,350 * 920,000 * 10^-3 + -0,100

k_sigma     = 5,000

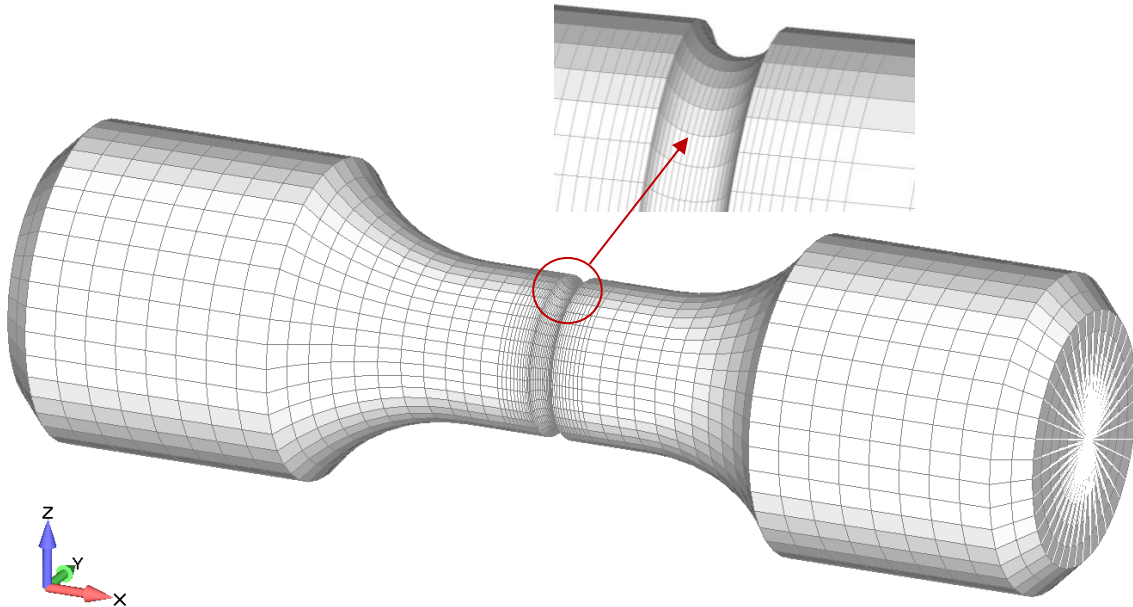
N_D         = 1000000,000

```

Protokoll der Generierung der Wöhlerkurve

18.4. Modellbildung

Das Modell wurde so realisiert, dass eine genügend feine Vernetzung in der Kerbe erfolgte. Das folgende Bild zeigt das FE-Modell mit dem Netz.



FE-Modell mit feinem Netz in der Kerbe

18.5. Ergebnisse für Spannungen und Auslastungsgrad der einzelnen FE - Berechnungen mit Femap / Nastran

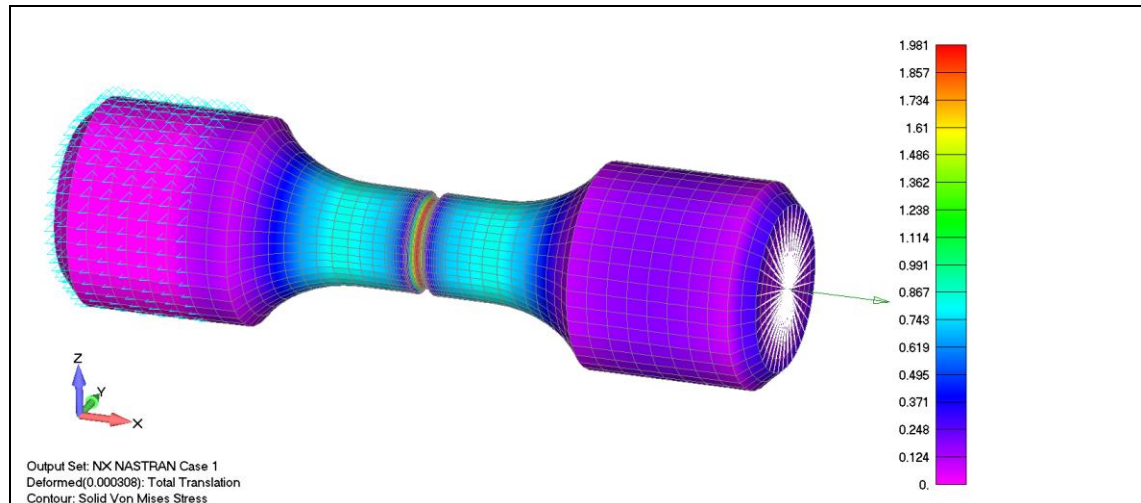
Nur zum Verständnis werden hier zunächst die einzelnen Lastfälle separat dargestellt, da man deren Ergebnisse einfacher nachvollziehen kann.

18.5.1. Lastfall Zug

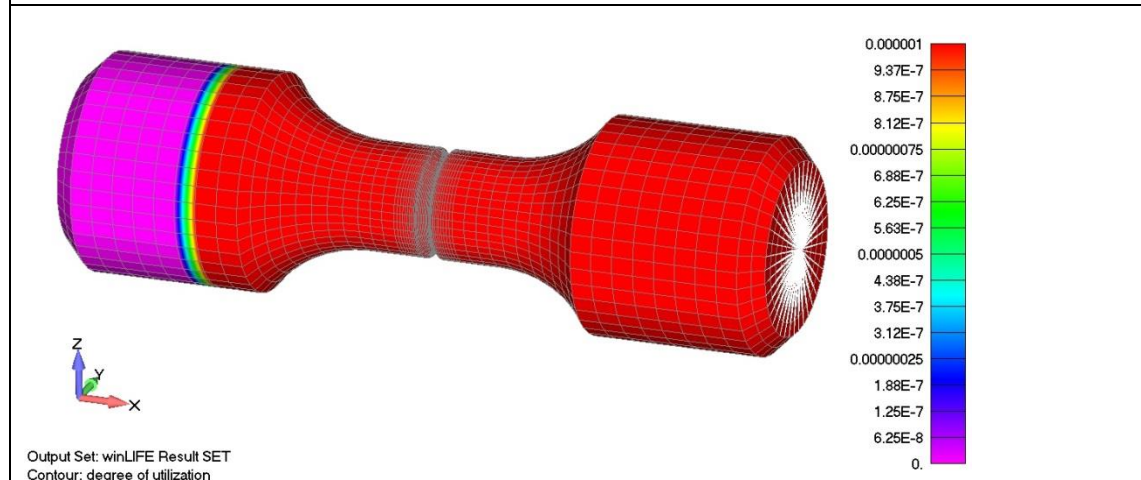
Die Verteilung der von Mises Vergleichsspannung ist in dem folgenden Bild dargestellt. Die Nennspannung in der Kerbe beträgt 1 N/mm^2 , die Belastung F_x beträgt 350 N.



Eingabe der FE-Datei mit Belastungsart und Multiplikator



Die Nennspannung in der Kerbe beträgt 1 N/mm^2 , die Belastung F_x beträgt 380 N.



Der Auslastungsgrad für konstante Zugspannung in der Kerbe = $20 \cdot 1 \text{ N/mm}^2$, bewirkt durch die Belastung $F_x = 380 \cdot 20 \text{ N}$. Man beachte, dass die Auslastung praktisch gleich Null ist, da keine Spannungsschwingweite auftritt.

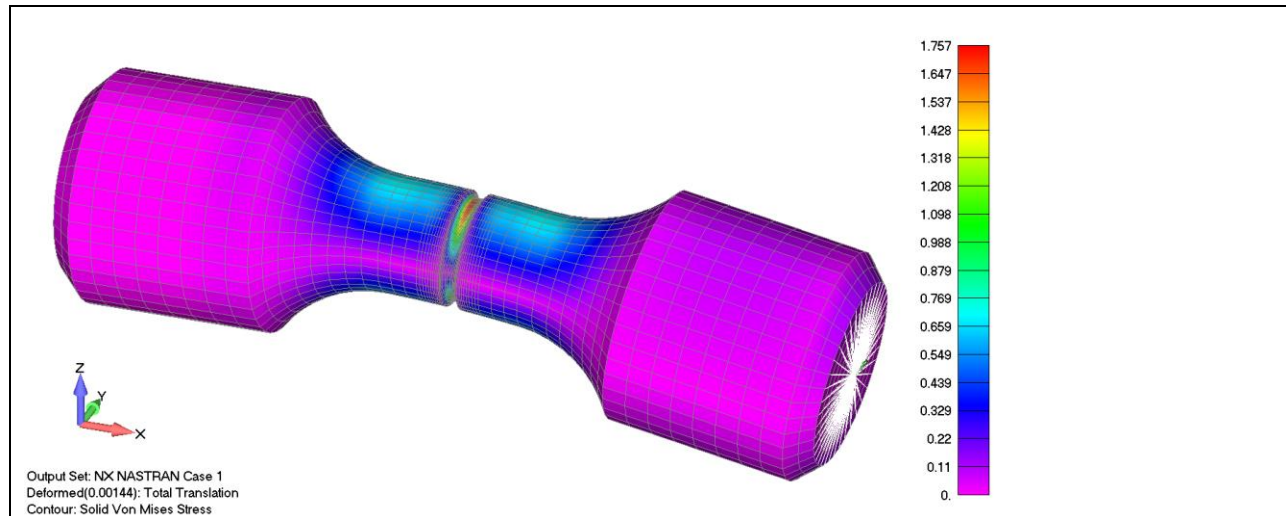
18.5.2. Lastfall Biegung

Die Verteilung der von Mises Vergleichsspannung ist in dem folgenden oberen Bild dargestellt. Die Nennspannung in der Kerbe beträgt 1N/mm^2 , die Belastung M_y beträgt 1045 Nmm .

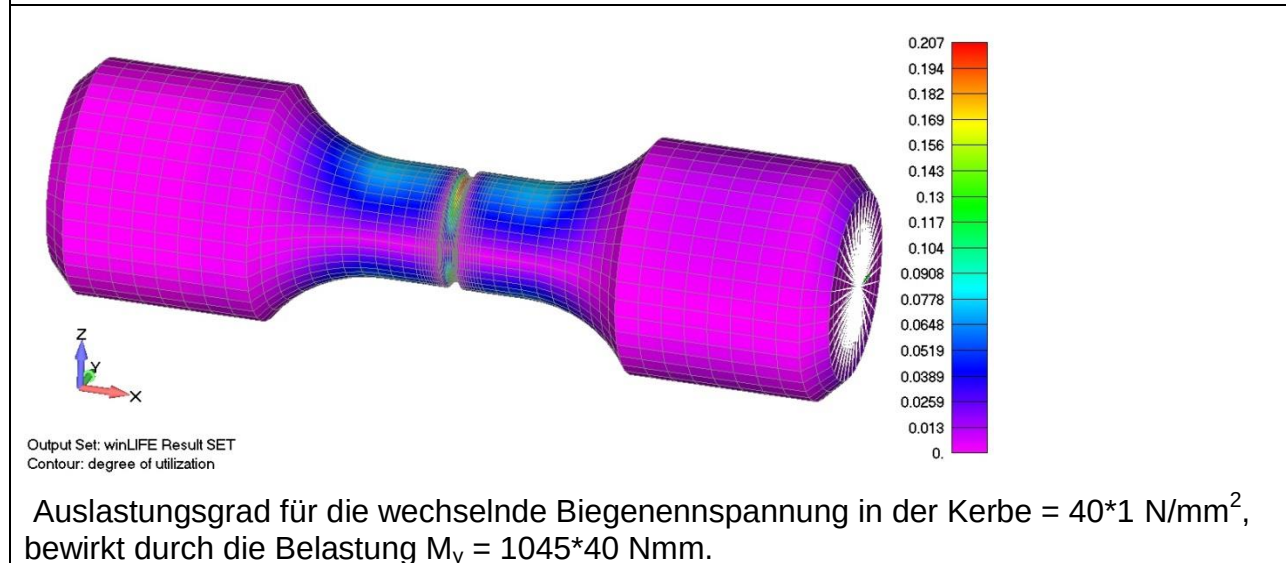


Index	FE Ergebnis Datei	FE Spannungsgradient	Spannungsverhältnis	R_Wert	Multiplikator
1	gekerbteWelle-Biegung.LST	☐	wechselnd	-1.0	40
2		☐	schwellend	0.0	1.0
3		☐	schwellend	0.0	1.0
4		☐	schwellend	0.0	1.0
5		☐	schwellend	0.0	1.0
6		☐	schwellend	0.0	1.0
7		☐	schwellend	0.0	1.0

Eingabe der FE-Datei mit Belastungsart und Multiplikator



Biegeennspannung in der Kerbe von 1 N/mm^2 , bewirkt durch die Belastung $M_y = 1045 \text{ Nmm}$.



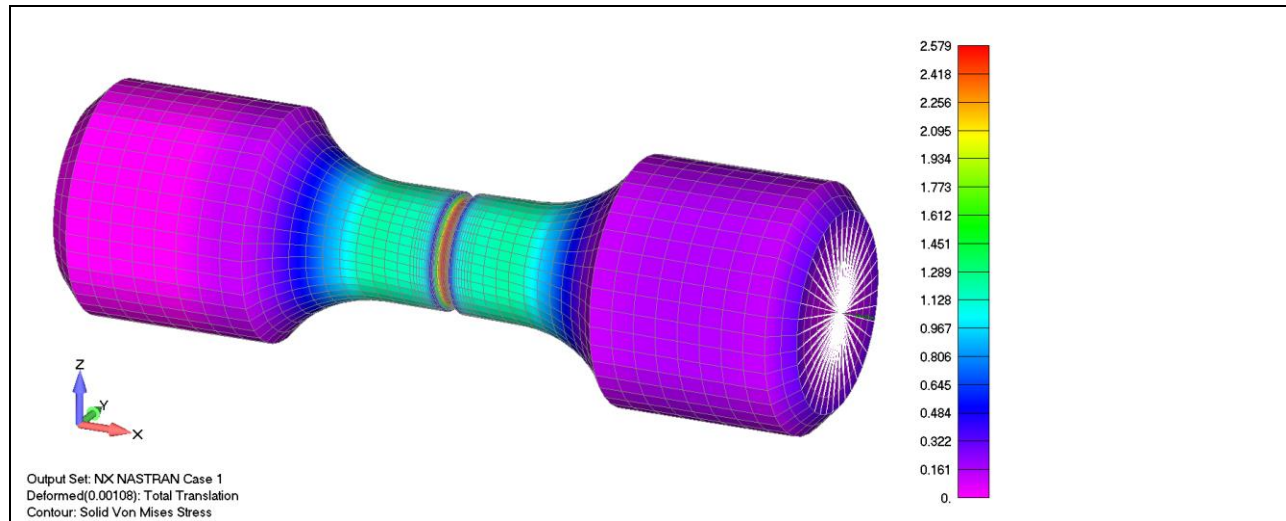
Auslastungsgrad für die wechselnde Biegeennspannung in der Kerbe = $40 \cdot 1 \text{ N/mm}^2$, bewirkt durch die Belastung $M_y = 1045 \cdot 40 \text{ Nmm}$.

18.5.3. LastfallTorsion

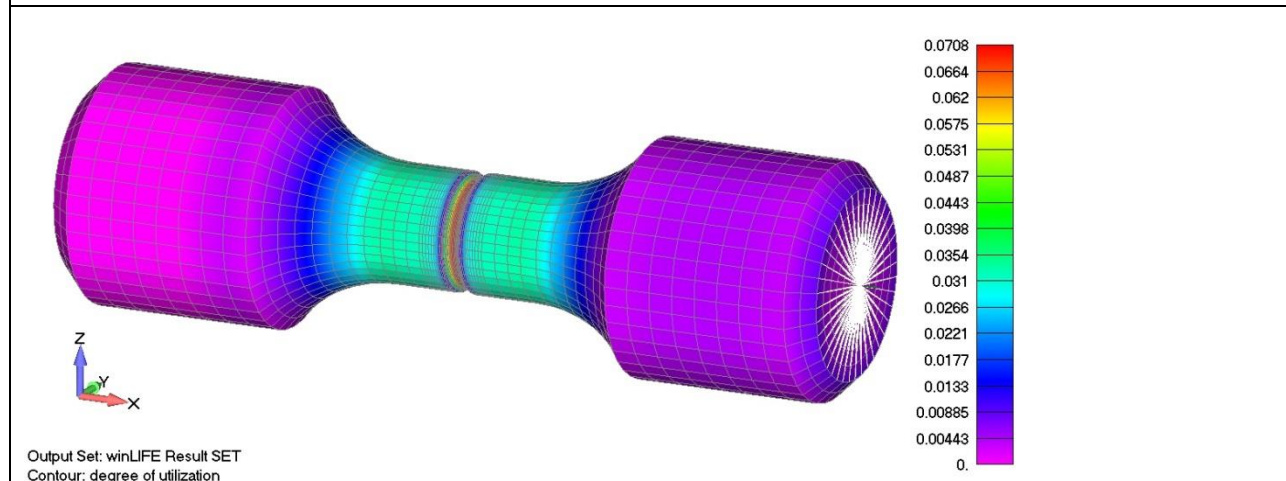
Die Verteilung der von Mises Vergleichsspannung ist in dem folgenden Bild dargestellt. Die Nennspannung in der Kerbe beträgt 1N/mm^2 , die Belastung M_x beträgt 2091 Nmm .



Eingabe der FE-Datei mit Belastungsart und Multiplikator



Torsionsnennspannung in der Kerbe von 1 N/mm^2 , bewirkt durch die Belastung $M_x = 2091 \text{ Nmm}$.



Auslastungsgrad für die schwelende Torsionsnennspannung in der Kerbe = $30 \cdot 1 \text{ N/mm}^2$, bewirkt durch die Belastung $M_x = 2091 \cdot 30 \text{ Nmm}$.

18.6. Dauerfestigkeitsnachweis (uniaxiale Vereinfachung)

Da die Last als Funktion der Zeit nicht bekannt ist, ist auch eine Berücksichtigung der Drehung der Hauptspannungen spekulativ. Ein Worst-Case-Annahme durch **uniaxiale** Vereinfachung ist daher ein plausibler Weg, der in der Regel zu einem konservativen (auf der sicheren Seite) liegenden Ergebnis führen wird (wird bei Solid-Elementen angewendet)..

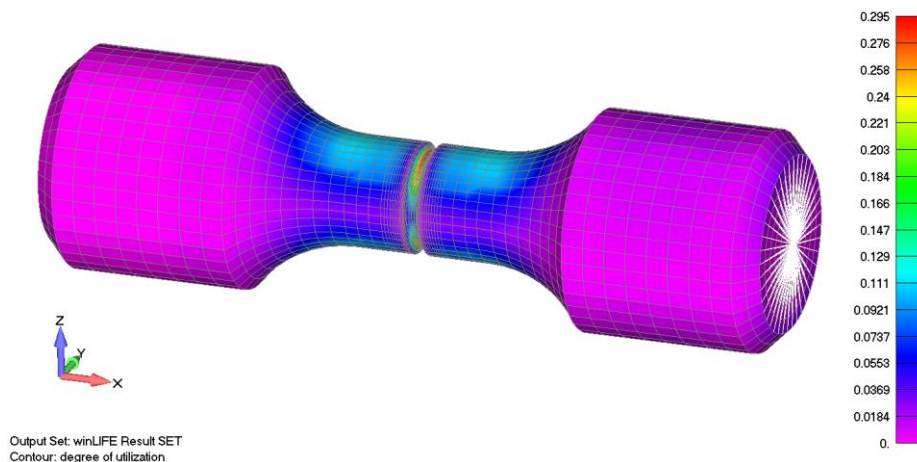
Eine andere Variante ist die Berücksichtigung der Drehung der Hauptspannungen und die Wahl der ungünstigsten Abfolge, was als **multiaxiale** Variante bezeichnet wird. Beides wird hier in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Das Zusammenwirken aller drei Lastfälle wird dadurch erreicht, dass in der Eingabemaske die drei Belastungen gleichzeitig gewählt werden.



Eingabe der FE-Datei mit Belastungsart und Multiplikator

Das Zusammenwirken der drei Lastfälle wird durch den sich ergebenden Auslastungsgrad gekennzeichnet, der in folgendem Bild angegeben ist. Der Auslastungsgrad gleich 1 würde bedeuten, dass die Dauerfestigkeit erreicht ist. Der hier erreichte Wert von 0,295 besagt, dass die Dauerfestigkeit zu 29,5 % ausgenutzt wird. Die Sicherheit gegen Dauerfestigkeit entspricht dem Kehrwert des Auslastungsgrades und beträgt damit $1/0,295 = 3,38$.



Auslastungsgrad für alle drei Belastungen unter der Annahme der ungünstigsten Überlagerung.

Diese Ergebnisse können auch aus dem Protokoll entnommen werden, das am Ende für den kritischen Knoten alle Ergebnisse der Kombinationen darstellt. Die Kombination mit der höchsten Schädigung wird in der zweiten Spalte mit 5 Sternen markiert. In unserem Fall lesen wir in der Spalte Auslastungsgrad 0,295 ab, was auch in dem Ergebnisausdruck als Maximalwert zu finden ist. In der Spalte rechts ist der Winkel der Schnittebenenänderung zu finden. Es ist ersichtlich, dass dieser Winkel von maximal 135 Grad zu einer multiaxialen Beanspruchung im Bauteil führen kann.

t / QuickCheck - Bauteil] - [Protokoll]											
[Ergebnis Extras Fenster Hilfe]											
annung_z_05 feder_spannung_z_04 feder_spannung_z_03 hub_mait_2_kopie ABC punkt_komma bez_spg_grad bez_spg_grad_02 ueber_last_sm_const ueber_last_smax_const ueber_last_R_const ueber_last_smir											
[] Alle Projekte speichern											
3805	1 V	6.62314E+01	-3.34662E+01	4.98488E+01	1.63826E+01	5.34857E+01	1.38988E-01	7.195		46.3	
19712	1 V	6.62316E+01	-3.34658E+01	4.98487E+01	1.63829E+01	5.34857E+01	1.38988E-01	7.195		134.1	
11465	1 V	6.62313E+01	-3.34662E+01	4.98488E+01	1.63826E+01	5.34857E+01	1.38988E-01	7.195		130.3	
26648	1 V	6.62316E+01	-3.34658E+01	4.98487E+01	1.63829E+01	5.34857E+01	1.38988E-01	7.195		134.1	
12613	1 V	6.60801E+01	-3.32141E+01	4.96471E+01	1.64330E+01	5.32952E+01	1.38493E-01	7.221		134.7	
25606	1 V	6.60802E+01	-3.32139E+01	4.96471E+01	1.64331E+01	5.32952E+01	1.38493E-01	7.221		90.2	
4953	1 V	6.60801E+01	-3.32140E+01	4.96470E+01	1.64330E+01	5.32952E+01	1.38493E-01	7.221			
18668	1 V	6.60801E+01	-3.32138E+01	4.96470E+01	1.64331E+01	5.32951E+01	1.38493E-01	7.221		135.0	
11081	1 V	6.58787E+01	-3.34462E+01	4.96624E+01	1.62162E+01	5.32624E+01	1.38408E-01	7.225			
26994	1 V	6.58787E+01	-3.34461E+01	4.96624E+01	1.62163E+01	5.32624E+01	1.38408E-01	7.225		134.7	
3421	1 V	6.58786E+01	-3.34461E+01	4.96623E+01	1.62162E+01	5.32623E+01	1.38408E-01	7.225		134.7	
20058	1 V	6.58786E+01	-3.34461E+01	4.96623E+01	1.62162E+01	5.32623E+01	1.38408E-01	7.225		134.7	
17262	1 V	6.68930E+01	-3.08427E+01	4.88678E+01	1.80252E+01	5.28694E+01	1.37387E-01	7.279		135.4	
24202	1 V	6.68930E+01	-3.08425E+01	4.88677E+01	1.80252E+01	5.28693E+01	1.37386E-01	7.279		103.7	
14129	1 V	6.68918E+01	-3.08438E+01	4.88678E+01	1.80240E+01	5.28691E+01	1.37386E-01	7.279		134.2	
6469	1 V	6.68919E+01	-3.08437E+01	4.88678E+01	1.80241E+01	5.28691E+01	1.37386E-01	7.279		45.8	
24904	1 V	6.61913E+01	-3.17227E+01	4.89570E+01	1.72343E+01	5.27830E+01	1.37162E-01	7.291		133.7	
17965	1 V	6.61913E+01	-3.17227E+01	4.89570E+01	1.72343E+01	5.27830E+01	1.37162E-01	7.291		46.3	
13372	1 V	6.61905E+01	-3.17236E+01	4.89570E+01	1.72334E+01	5.27828E+01	1.37162E-01	7.291		104.7	
5712	1 V	6.61905E+01	-3.17236E+01	4.89570E+01	1.72334E+01	5.27828E+01	1.37162E-01	7.291		134.8	
18662	1 V	6.55902E+01	-3.26021E+01	4.90961E+01	1.64941E+01	5.27578E+01	1.37097E-01	7.294		46.6	
4947	1 V	6.55892E+01	-3.26031E+01	4.90961E+01	1.64931E+01	5.27576E+01	1.37096E-01	7.294		133.9	
25600	1 V	6.55896E+01	-3.26019E+01	4.90958E+01	1.64938E+01	5.27574E+01	1.37096E-01	7.294		133.4	
12607	1 V	6.55886E+01	-3.26029E+01	4.90958E+01	1.64929E+01	5.27572E+01	1.37095E-01	7.294		100.0	
21427	1 V	6.62629E+01	-3.15207E+01	4.88918E+01	1.73711E+01	5.27482E+01	1.37072E-01	7.295		46.8	
28363	1 V	6.62629E+01	-3.15207E+01	4.88918E+01	1.73711E+01	5.27482E+01	1.37072E-01	7.295		78.4	
1873	1 V	6.62620E+01	-3.15214E+01	4.88917E+01	1.73703E+01	5.27479E+01	1.37071E-01	7.295		46.8	
9533	1 V	6.62619E+01	-3.15214E+01	4.88917E+01	1.73703E+01	5.27479E+01	1.37071E-01	7.295		91.3	
20052	1 V	6.52259E+01	-3.30871E+01	4.91565E+01	1.60694E+01	5.27239E+01	1.37009E-01	7.299		47.1	
3415	1 V	6.52250E+01	-3.30880E+01	4.91565E+01	1.60685E+01	5.27237E+01	1.37008E-01	7.299		47.1	
26988	1 V	6.52251E+01	-3.30871E+01	4.91561E+01	1.60690E+01	5.27234E+01	1.37007E-01	7.299		99.0	
11075	1 V	6.52242E+01	-3.30880E+01	4.91561E+01	1.60681E+01	5.27232E+01	1.37007E-01	7.299		90.2	
27680	1 V	6.54913E+01	-3.25630E+01	4.90272E+01	1.64642E+01	5.26822E+01	1.36900E-01	7.305		73.4	
20744	1 V	6.54913E+01	-3.25630E+01	4.90272E+01	1.64642E+01	5.26822E+01	1.36900E-01	7.305		47.3	
110308	1 V	6.54907E+01	-3.25636E+01	4.90272E+01	1.64635E+01	5.26821E+01	1.36900E-01	7.305		90.2	
2648	1 V	6.54907E+01	-3.25637E+01	4.90272E+01	1.64635E+01	5.26821E+01	1.36900E-01	7.305		47.3	
12614	1 V	6.54337E+01	-3.23237E+01	4.88787E+01	1.65550E+01	5.25539E+01	1.36567E-01	7.322		134.1	
25607	1 V	6.54340E+01	-3.23233E+01	4.88786E+01	1.65554E+01	5.25539E+01	1.36567E-01	7.322		133.5	
4954	1 V	6.54335E+01	-3.23238E+01	4.88787E+01	1.65549E+01	5.25539E+01	1.36567E-01	7.322		45.9	
18669	1 V	6.54338E+01	-3.23234E+01	4.88786E+01	1.65552E+01	5.25538E+01	1.36567E-01	7.322		134.5	
11082	1 V	6.50765E+01	-3.27564E+01	4.89164E+01	1.61600E+01	5.25040E+01	1.36437E-01	7.329		134.9	
26995	1 V	6.50767E+01	-3.27561E+01	4.89164E+01	1.61603E+01	5.25040E+01	1.36437E-01	7.329		134.1	
20059	1 V	6.50765E+01	-3.27562E+01	4.89163E+01	1.61601E+01	5.25039E+01	1.36437E-01	7.329		134.1	
3422	1 V	6.50763E+01	-3.27565E+01	4.89164E+01	1.61599E+01	5.25039E+01	1.36437E-01	7.329		134.1	
Kritischer Knoten: 19299 V (Solid)											
Lc	L1 L2 L3	L1 L2 L3	S Lc1	S Lc2	Amplitude	Mittelspg.	Ampl.modif.	Auslastungsgr.	Sicherheit		
1-2	1 -1 0	1 -1 1	-3.47866E+01	-6.79699E+01	16.592	51.378	23.069	0.060	16.681		
1-3	1 -1 0	1 1 0	-3.47866E+01	1.24873E+02	79.830	45.043	89.829	0.233	4.284		
1-4	1 -1 0	1 1 1	-3.47866E+01	1.42416E+02	88.601	53.814	100.548	0.261	3.827		
2-3	1 -1 1	1 1 0	-6.79699E+01	1.24873E+02	96.421	28.451		0.267	3.746		
2-4	*****	1 -1 1	1 1 1	-6.79699E+01	1.42416E+02	105.193	37.223	0.295	3.392		
3-4	1 1 0	1 1 1	1.24873E+02	1.42416E+02	8.771	133.644		0.032	31.554		
<											

Protokoll der Berechnung für alle drei Belastungen unter der Annahme der ungünstigsten Überlagerung.

Der Auslastungsgrad ergibt sich als Quotient aus der transformierten Amplitude und der Dauerfestigkeit also

$$113,456 / 384,8=0,295$$

18.7. Dauerfestigkeitsnachweis (Schnittebenenverfahren)

Soll eine Berücksichtigung von Schnittebenen erfolgen, so kann eine Worst-Case-Analyse erfolgen, wobei dann die Normalspannung in der Schnittebene zur Beurteilung verwendet wird und die ungünstigste Variant gesucht wird.

Voraussetzung ist, dass der Datenexport aus FE als ebener Spannungszustand erfolgt, was dadurch realisiert werden kann, dass Plattenelemente auf die Oberfläche gelegt werden (FEMAP).

Wenn hingegeben OP2-Dateien exportiert werden, dann wird dort der ebene Spannungszustand berechnet und die Ausgabe erfolgt im winLIFE 4.0 -Format.

Die Änderungen des Ablaufs werden folgend beschrieben:

18.7.1. Datei / Kopieren (nur Einstellungen)

Mit Hilfe von

Datei / Kopieren (nur Einstellungen)

Erzeugen wir ein Projekt mit dem Dateinamen:

example_18qc_op2.wlf

18.7.2. Berechnung (FE-Schnittstelle)

Die Eingabe sieht folgendermaßen aus:

Eingabemaske für die Schnittstelle zu den FE-Modellen

Man beachte, dass im oberen Bereich der Maske die Auswahl

winLIFE

gewählt wurde.

Die Anzahl der Schnittebenen stellen wir auf 10.

Nachdem wir auf **Berechnen** geklickt haben, startet die Berechnung und nach Klicken auf **OK** können wir das Ergebnisfenster anschauen.

Im unteren Bereich finden wir:

Kritischer Knoten: 19299 02 (Plate Oberseite Schnittebene : Nr. 2:10)													
Lc	L1	L2	L3	S_Lc1	S_Lc2	Amplitude	Mittelspg.	Ampl.modif.	Auslastungsgrad	Sicherheit			
1-2	1	-1	0	1	-1	1	-3.22141E+01	-5.96125E+00	13.126	19.088	16.542	23.263	
1-3	1	-1	0	1	1	0	-3.22141E+01	1.15687E+02	73.950	41.736	83.216	4.624	
1-4	*****	1	-1	0	1	1	1	-3.22141E+01	1.41939E+02	87.077	54.863	99.256	3.877
2-3		1	-1	1	1	0		-5.96125E+00	1.15687E+02	60.824	54.863	73.003	5.271
2-4		1	-1	1	1	1		-5.96125E+00	1.41939E+02	73.950	67.989	89.044	4.322
3-4		1	1	0	1	1	1	1.15687E+02	1.41939E+02	13.126	128.813	18.251	21.085

Protokolldatei mit den Belastungskombinationen (kritische Kombination ist mit ***** markiert)

Der Auslastungsgrad beträgt 0,258

19. Beispiel 18b / Dauerfestigkeitsnachweis mit Zeitverläufen

Im Beispiel 18a wurde mit winLIFE FKM QUICKCHECK gearbeitet und es wurde mit wenigen Eingaben der Dauerfestigkeitsnachweis geführt. Dabei wurden alle Lastfallkombinationen berechnet und die ungünstigste Variante als relevant verwendet.

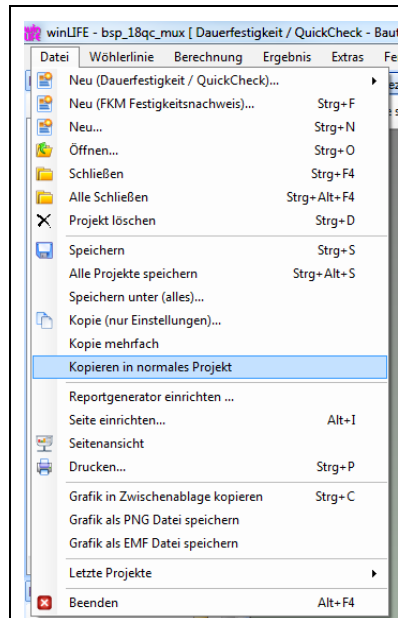
Die der Analyse zugrundeliegende Theorie ist im Gegenatz zur einfachen Handhabung der Analyse nicht trivial. Die Komplexität besteht darin, dass alle Kombinationen gefunden und in geeigneter Weise berechnet werden müssen.

Zur Erläuterung der Methodik wird das Problem im Zeitbereich – also mit Last-Zeit-Funktionen – in diesem Beispiel abgebildet. Es wird gezeigt, dass das Vorgehen im Zeitbereich zu dem gleichen Ergebnis führt wie es mit der Worst Case Analyse in winLIFE FKM QUICKCHECK erhalten wurde.

Es besteht in winLIFE 4.0 Möglichkeit, ein mit Hilfe von winLIFE FKM QUICKCHECK berechnetes Problem auf einfache Weise in ein normales Projekt umzuwandeln, so dass die bereits eingegebenen Daten weiter verwendet werden. Bei neuen und unbekannten Problemstellungen bietet es sich daher an, zunächst eine Analyse mit winLIFE FKM QUICKCHECK durchzuführen. Möglicherweise wird sich herausstellen, dass die Sicherheit gegen Dauerfestigkeit so hoch ist, dass gar keine weiteren Analysen und damit kein weiterer Aufwand nötig sind.

Es wird von den bereits im Beispiel 18a verwendeten Daten und Dateien ausgegangen.

19.1. Projekt erzeugen



Eingabe zur Erzeugung
des Projektes

Unser bereits berechnetes Dauerfestigkeitsprojekt wollen wir verwenden, um die bereits eingegebenen Informationen zu verwenden. Dazu wählen wir aus dem Datei-Menü

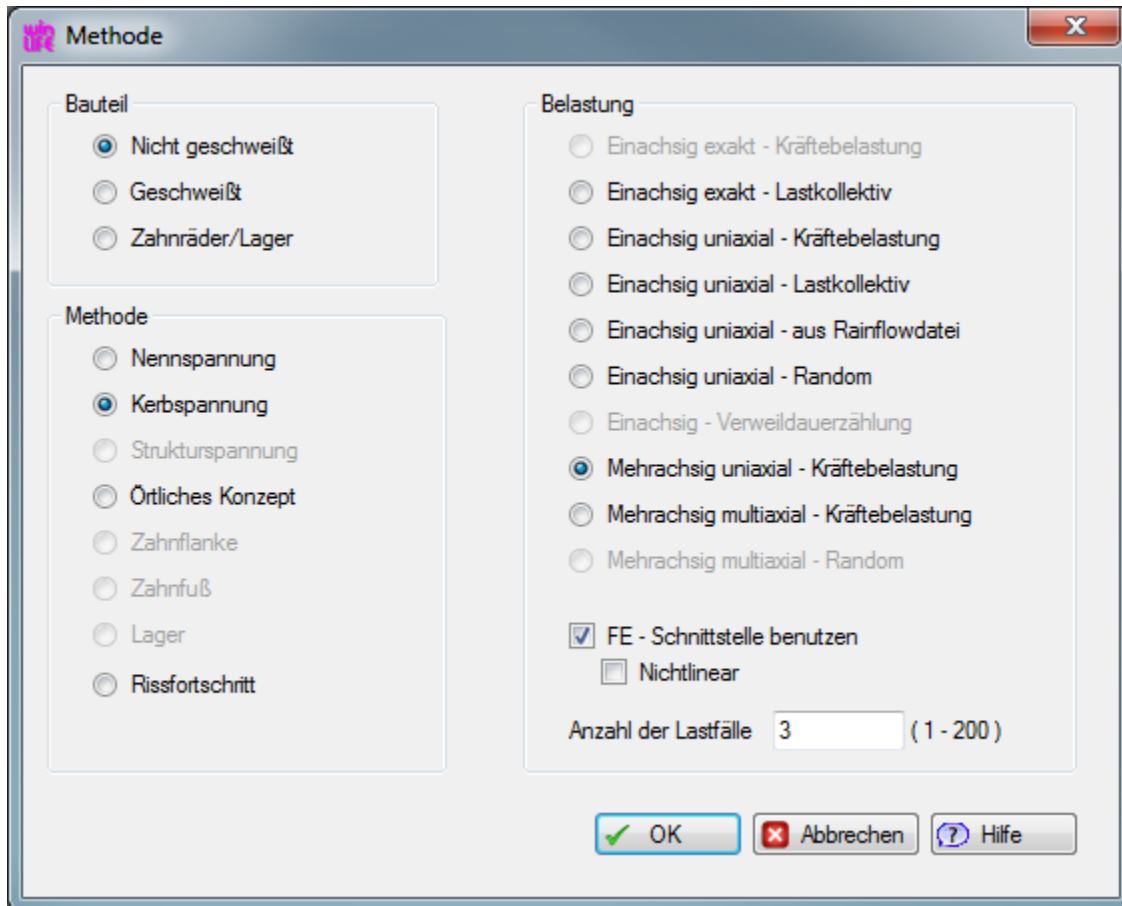
Kopieren in normales Projekt

Wir nennen das Projekt *example_18_op2_normal*

Wir müssen nun zusätzliche Informationen und Daten eingeben.

19.2. Methode festlegen

Im Menü werden folgende Eingaben gemacht



Eingabe zur Erzeugung des Projektes

Die Wahl der Option **Mehrachsig uniaxial – Kräftebelastung** bewirkt, dass die Richtungsänderung der Hauptspannungen ignoriert wird.

19.3. Wöhlerlinie übernehmen

Die Wöhlerlinie wird aus dem alten Projekt übernommen. Wir können uns davon überzeugen, indem wir **Wöhlerlinie EDIT** anklicken. Wir sehen dann in der Eingabemaske die bereits bekannte Dauerfestigkeit von 384 MPa

Wöhlerlinie [X]

Generator >> Ausfallwahrsch. >>

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=-1)

Rm (Torsion)	920,000	[N/mm²]
Re (Zug-Druck)	743,000	[N/mm²]
Steigung (*)	5,000	
Steigung 2 (*)	5,000	
Torsion w.	414,000	[N/mm²]
Dauerfestigkeit (*)	384,822	[N/mm²]
Dauerfestigkeit 2 (*)	384,822	[N/mm²]
Ecklastspielzahl (*)	1000000	
Ecklastspielzahl 2 (*)	1000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,2220000	
Belastung (*)	Torsion	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,73310	

Identifikation

Kurzname bsp 18qc

Werkstoffnummer 1.7227

Bemerkung
42CrMoS4
Vergütungsstahl im vergüteten Zustand nach DIN EN 10 083-1 (Oktober 1996)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Kontrolle der Daten der Wöhlerlinie

Wöhlerlinie

Generator >> Ausfallwarsch. >>

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=-1)

Rm (Torsion)	920,000	[N/mm²]
Re (Zug-Druck)	743,000	[N/mm²]
Steigung (*)	5,000	
Steigung 2 (*)	5,000	
Torsion w.	414,000	[N/mm²]
Dauerfestigkeit (*)	384,822	[N/mm²]
Dauerfestigkeit 2 (*)	384,822	[N/mm²]
Ecklastspielzahl (*)	1000000	
Ecklastspielzahl 2 (*)	1000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,2220000	
Belastung (*)	Torsion	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,73310	

Identifikation

Kurzname bsp 18qc

Werkstoffnummer 1.7227

Bemerkung

42CrMoS4
Vergütungsstahl im vergüteten Zustand nach DIN EN
10 083-1 (Oktober 1996)

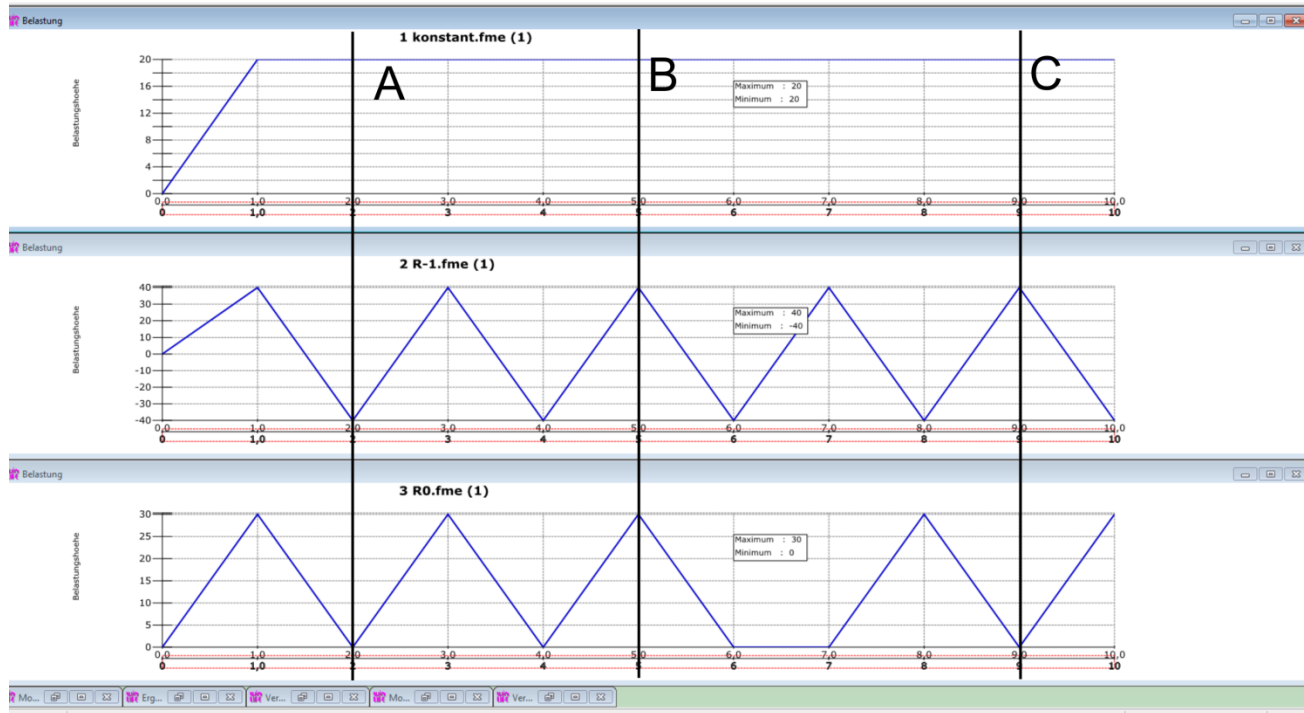
☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Eingabe zur Erzeugung des Projektes

Zunächst muß für die drei Lastfälle je ein Zeitverlauf definiert werden. Von diesen sind aber nur der Maximalwert und das Spannungsverhältnis bekannt.

19.4. Belastung erzeugen



Wir wählen aus dem Menü

Belastung / Generieren / Kräftebelastung

und geben dann drei Last-Zeitverläufe ein, wobei wir der Einfachheit nur die Werte 1 eingeben. Durch Hinzufügen eines Multiplikators erhalten wir später die gewünschten Ergebnisse.

Kräftebelastung - konstant

	Last
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	1
7	1
8	1
9	1
10	1
* 11	

Maximum: 1

Minimum: 1

Anzahl: 10

Speichern unter | Speichern | OK | Abbrechen | Hilfe

Kräftebelastung - R-1

	Last
1	1
2	-1
3	1
4	-1
5	1
6	-1
7	1
8	-1
9	1
10	-1
* 11	

Maximum: 1

Minimum: -1

Anzahl: 10

Speichern unter | Speichern | OK | Abbrechen | Hilfe

Kräftebelastung - R0

	Last
1	1
2	0
3	1
4	0
5	1
6	0
7	0
8	1
9	0
10	1
* 11	

Maximum: 1

Minimum: 0

Anzahl: 10

Speichern unter | Speichern | OK | Abbrechen | Hilfe

konstant.fme
R-1.fme
R0.fme

Eingabe der Lastverläufe

Die so definierten Dateien – sie stehen auch bereits in den Beispieldaten zur Verfügung - werden nun durch

Belastung / Import aus Dateien

gewählt und der Multiplikator eingegeben.

Belastung

Zyklen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor

Belastungswerte werden mit dem Multiplikator verändert, z.B. 1,1 bedeutet Belastungserhöhung um 10%

Last-fall	Datei	...	...	...	...	...	...
1	V konstant.fme	20	1	1	V 2		
2	V R-1.fme	40	1	1	V 2		
3	V R0.fme	30	1	1	V 2		

Pfad \

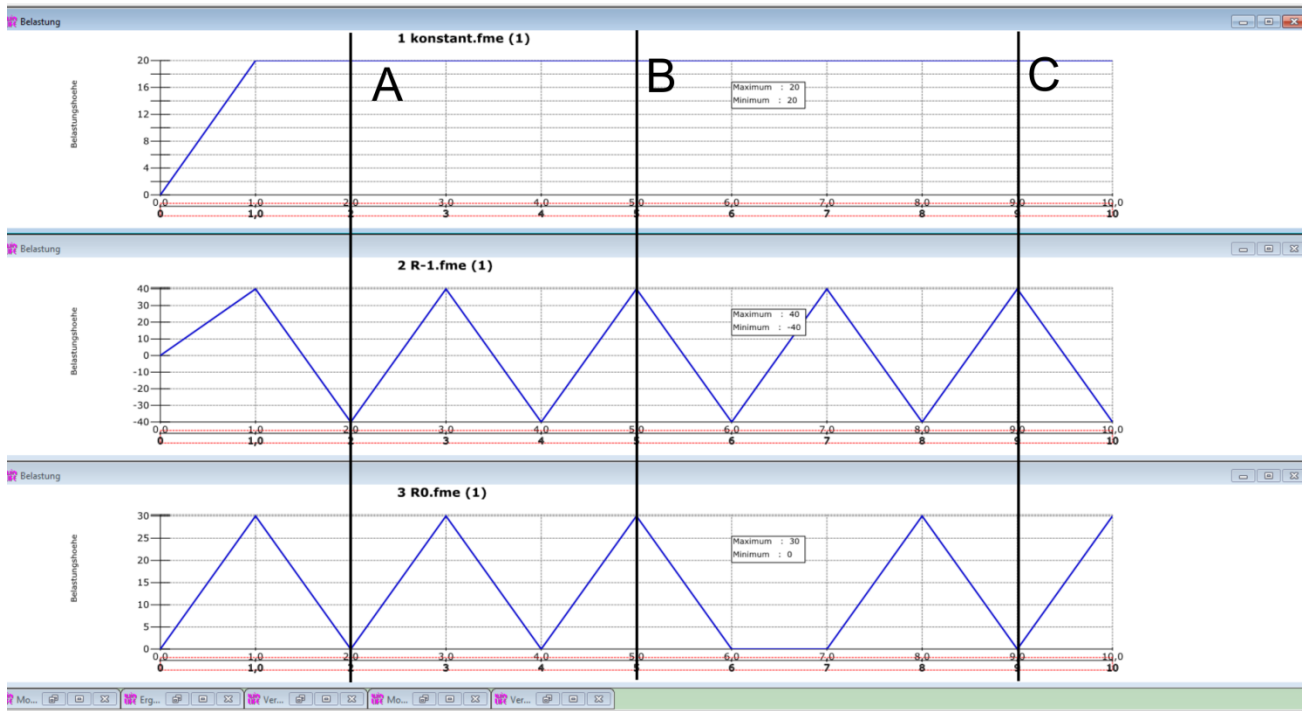
☐ Zuordnungsmatrix verwenden

☒ Typ 1 ☐ Typ 2

Einlesen der Lasten und Eingabe Multiplikator

Die visuelle Kontrolle zeigt die folgenden Verläufe.

Mit **Belastung / View** und Wahl der drei Dateien erhält man folgendes Bild:



Last-Zeit-Verlauf

Auf Grund der Komplexität des Bauteils ist es nicht ohne weiteres möglich vorherzusagen, welche Lastfall-Kombination zur größten Schädigung führt. Entscheidend ist es daher, dass die Zeitverläufe so definiert werden, dass alle Kombinationen der Extrembelastungen enthalten sind. Die drei Fälle A, B, und C stellen die ungünstigen Kombinationen dar. Es sind natürlich beliebig viele andere Zeitverläufe denkbar, die ebenfalls diesen Anforderungen genügen.

19.5. FE-Schnittstelle (OP2-Datenübernahme)

Es werden mit Hilfe der Auswahl

FE-Daten / Import von FE-Software

die Berechnungsergebnisse der Einheitslastfälle aus der FE-Berechnung eingelesen. Dabei wurden jedoch für dieses Beispiel eine OP2-Datei (Spannungsergebnisse) und Geometriedatei erzeugt. Diese werden nun eingelesen.

LST-Datei Einstellung : winlifeFE

Index	FE Spannung	FE Kraft	Lastfall
1	example_18_qc.op2	1	ZUGBELASTUNG
2	example_18_qc.op2	1	BIEGEBELASTUNG
3	example_18_qc.op2	1	TORSIONSBELASTUNG

Pfad :

☐ Spannungsgradient

☐ Temperatur verwenden

Polynom definieren A1 = 100,000 B1 = 0,400 C1 = 1,550

FE Vergl.- Sp. Hypothese NORMALSPANNUNG

Export Datei D:\winlife_test\quick_check_woma\bsp_18qc_op2_gw_normal.exp

FE Geometrie \gekerbte_Welle.dat

Knoten

☒ Alle Knoten verwenden ☐ Grenze Spannung 0 ☐ GröÙte Knoten 10

☐ Knotenauswahl \19299.kno

Editieren Neu

OK Abbrechen Hilfe

Eingabemaske für die Datenschnittstelle zu den FE-Modellen

19.6. Berechnung / Parameter festlegen

Es wird mit folgenden Berechnungsparametern gerechnet.

Festigkeitshypothese	Normalspannungshypothese aus betragsmäßig größter Hauptspannung	
Klassierung	100 Klassen Hysterese ja Automatisches Berechnen der oberen und unteren Grenze	
Mittelspannungseinfluß	Amplitudentransformation	
Multiaxial	Default-Werte übernehmen	
Residuum	berücksichtigen	
Schadensakkumulation	Elementare Form	
Zeitraffung	Keine	
Betriebsfaktor	Default-Werte übernehmen	

19.7. Ergebnis / Protokoll auswerten

Dw/Tw		1.7331							
knot	Rm*	Dauerfest.	Sig.Mi	Sig.Am	Sig.Am_mod	n	Schadensanteil	von	bis
19299	920.00	384.82	28.52	97.52	103.85	1.0	1.431407e-09	92	1
19299	920.00	384.82	45.48	80.56	90.66	1.0	7.255990e-10	92	17
19299	920.00	384.82	70.92	72.08	87.82	0.5	3.095583e-10	100	33
19299	920.00	384.82	37.00	106.00	114.21	0.5	1.151508e-09	1	100
19299	920.00	384.82	53.96	89.04	101.02	2.0	2.493149e-09	17	100

Auszug aus dem Protokollausdruck mit der kritischen Beanspruchungsamplitude

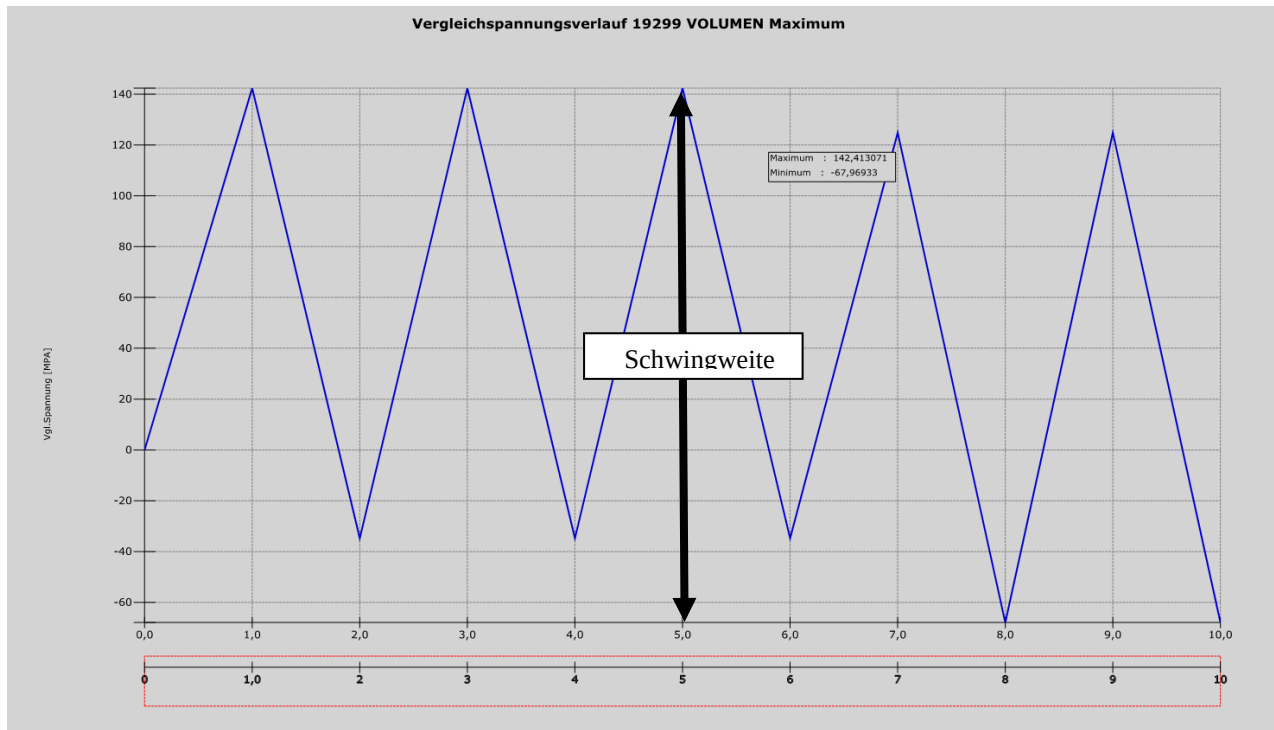
Der Auslastungsgrad ergibt sich als Quotient aus der größten transformierten Amplitude und der Dauerfestigkeit also:

$$114,21 / 384,8 = 0,296$$

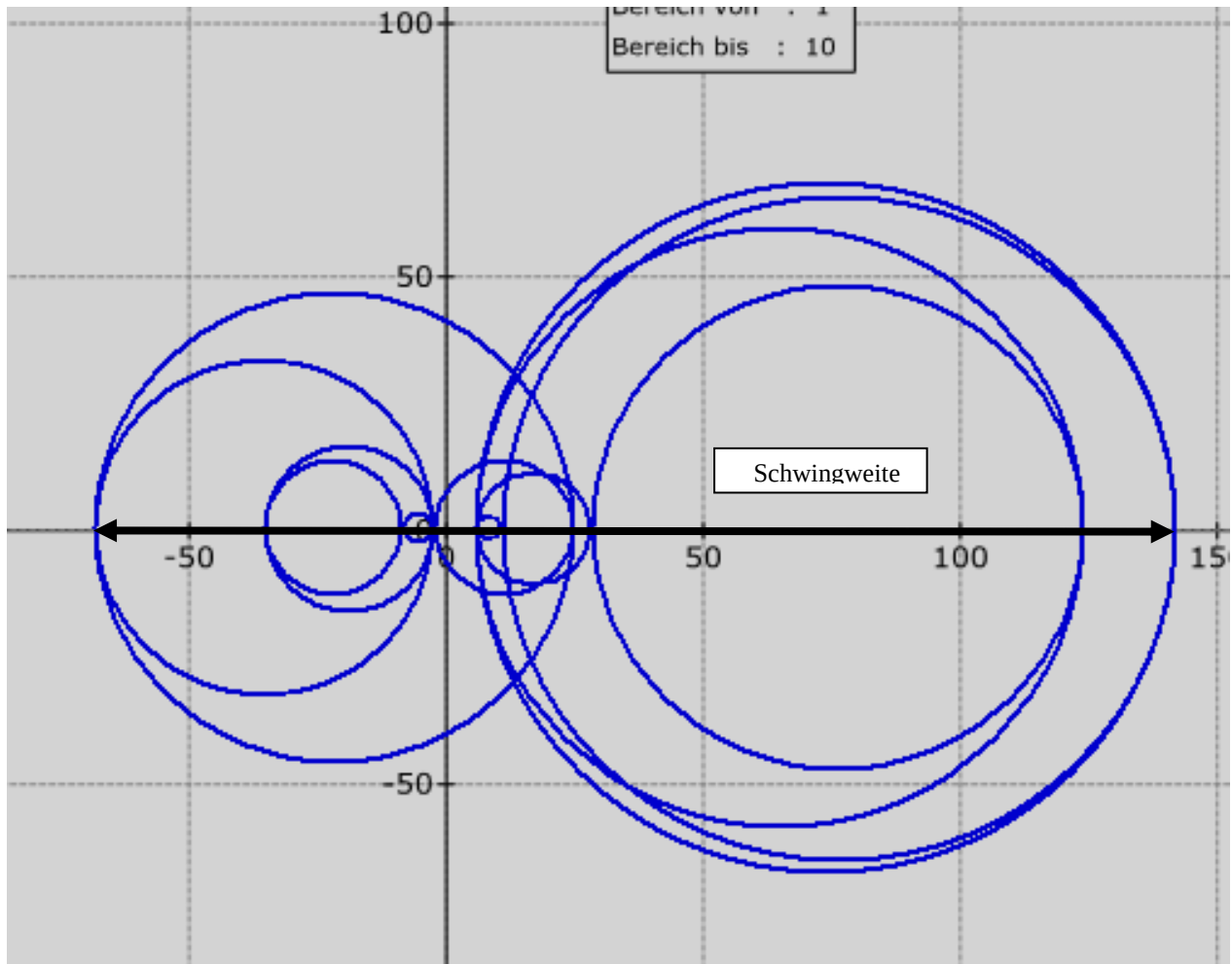
Damit wird das gleiche Ergebnis wie im Dauerfestigkeitsnachweis erhalten.

Eine Analyse des Spannungszustandes ist mit Hilfe des Vergleichsspannungsverlaufs möglich. Man wähle dazu:

Ergebnis / Vergleichsspannungsverlauf



Vergleichsspannungsverlauf und maximale Schwingweite



Mohrscher Kreis für alle Zeitschritte

19.7.1. Multiaxiale Berechnung / kritische Schnittebene

Um nach dem Verfahren der kritischen Schnittebene zu rechnen, muß in dem bestehenden Projekt die Eingabe im Methode Dialog geändert werden. Es wird nun **Mehrachsig multiaxial – Kräftebelastung** markiert

Methode

Bauteil

☒ Nicht geschweißt

☐ Geschweißt

☐ Zahnräder/Lager

Methode

☐ Nennspannung

☒ Kerbspannung

☐ Strukturspannung

☐ Örtliches Konzept

☐ Zahnflanke

☐ Zahnfuß

☐ Lager

☐ Rissfortschritt

Belastung

☐ Einachsig exakt - Kräftebelastung

☐ Einachsig exakt - Lastkollektiv

☐ Einachsig uniaxial - Kräftebelastung

☐ Einachsig uniaxial - Lastkollektiv

☐ Einachsig uniaxial - aus Rainflowdatei

☐ Einachsig uniaxial - Random

☐ Einachsig - Verweildauerzählung

☐ Mehrachsig uniaxial - Kräftebelastung

☒ Mehrachsig multiaxial - Kräftebelastung

☐ Mehrachsig multiaxial - Random

☒ FE - Schnittstelle benutzen

☐ Nichtlinear

Anzahl der Lastfälle (1 - 200)

OK Abbrechen Hilfe

Eingaben im Methode Menü

Eine Neuberechnung liefert dann folgendes Ergebnis:

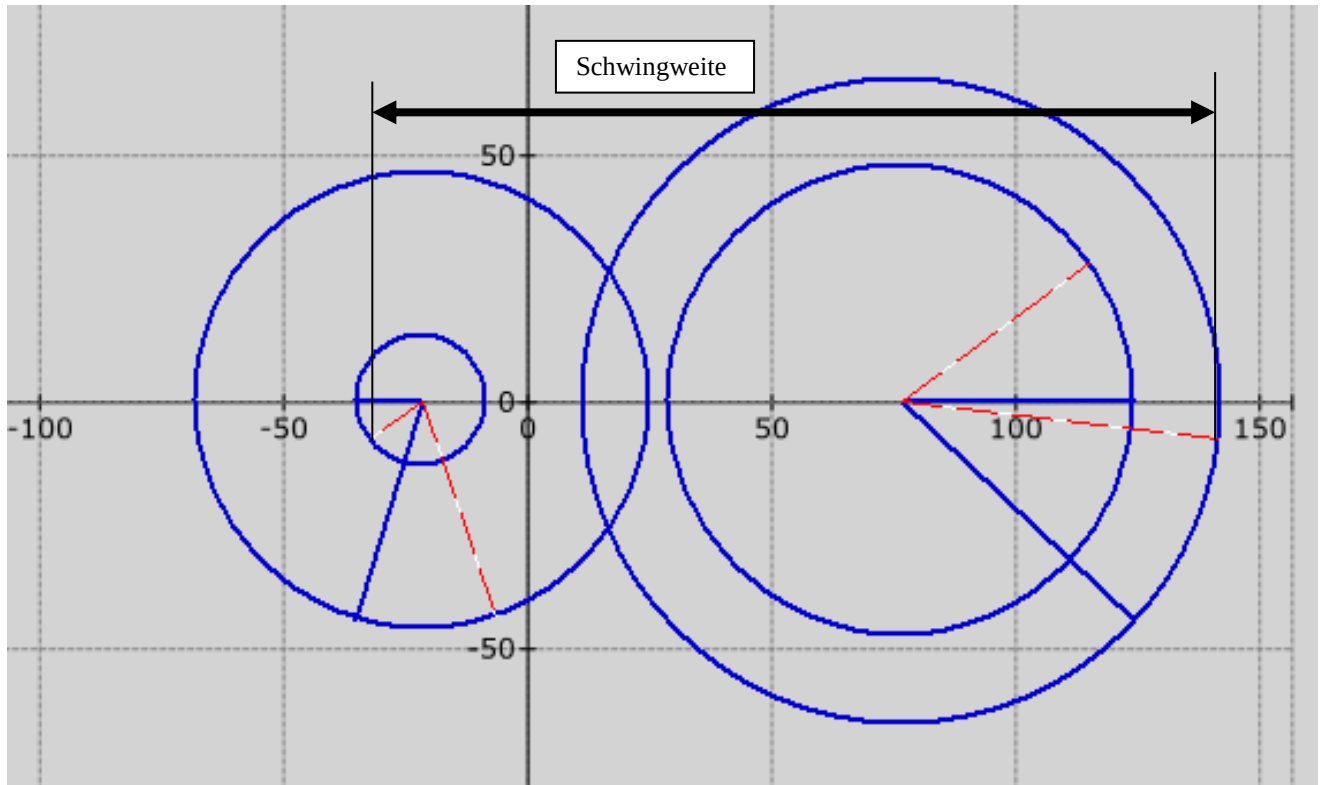
Dw/Tw		1.7331								
knot	Rm*	Dauerfest.	Sig.Mi	Sig.Am	Sig.Am_mod	n	Schadensanteil	von	bis	
19299	920.00	384.82	41.82	74.12	83.40	0.5	2.391146e-10	85	1	
19299	920.00	384.82	70.60	71.50	87.18	0.5	2.983068e-10	100	19	
19299	920.00	384.82	54.90	61.04	73.23	1.5	3.742587e-10	16	85	
19299	920.00	384.82	54.90	87.20	99.39	2.5	2.872804e-09	1	100	

Auszug aus der Protokolldatei

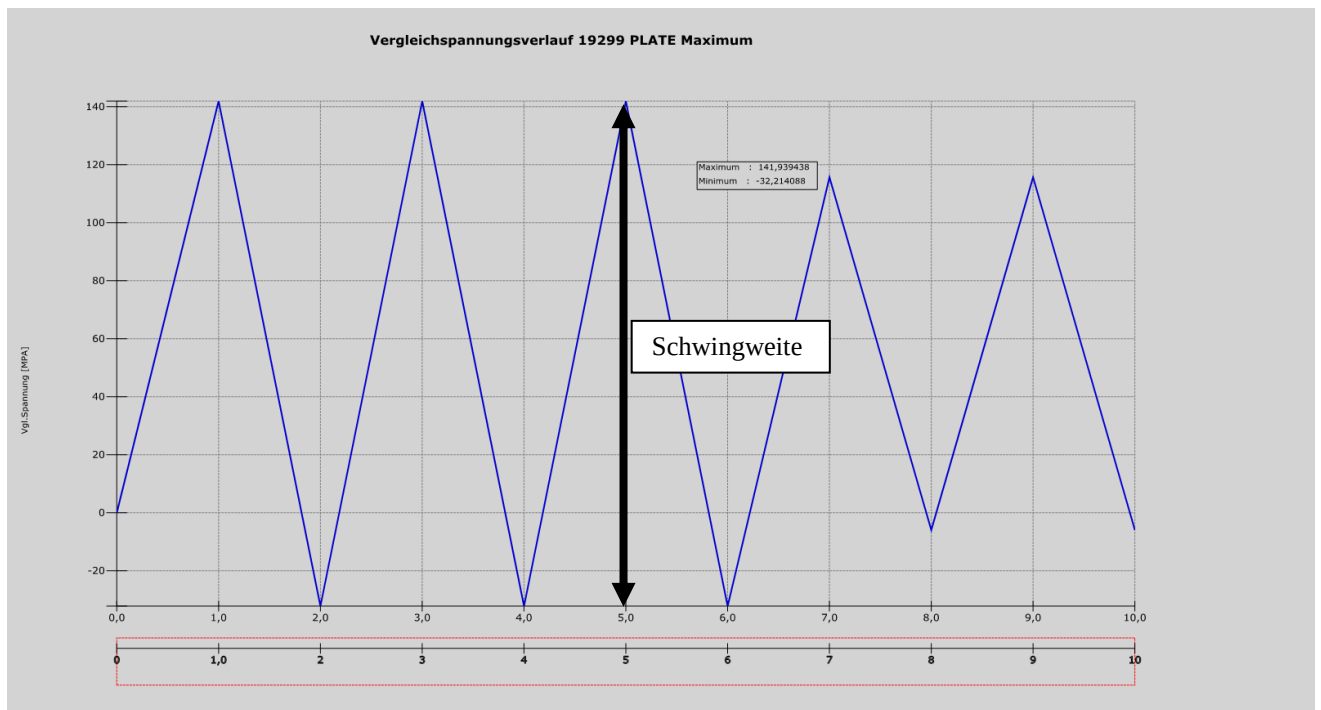
Der Quotient

$$99,3/384,8=0,258$$

Liefert den Auslastungsgrad, der mit dem Ergebnis aus QUICK CHECK übereinstimmt.



Mohrscher Kreis für alle Zeitschritte



Vergleichsspannungsverlauf für alle Zeitschritte

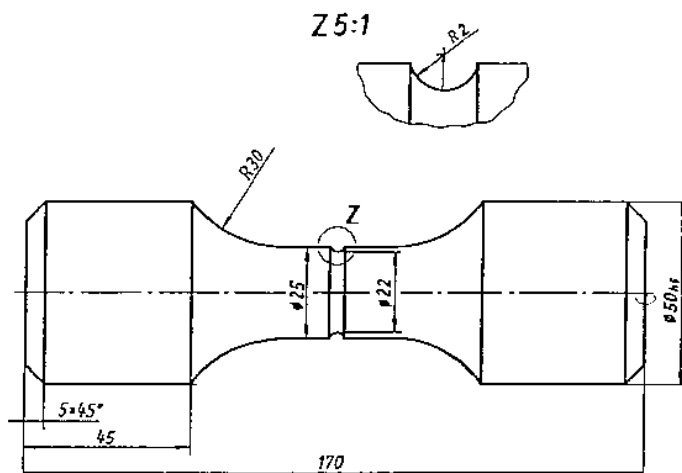
20. Beispiel 19 / bezogener Spannungsgradient

Hinweis: Für diese Beispiel sind die FE-Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – auf unserer Homepage und auf CD vorhanden.

20.1. Aufgabenstellung

20.1.1. Bauteilgeometrie

Für ein rotationssymmetrisches Bauteil, dessen Konstruktionszeichnung mit Bemaßung in dem folgenden Bild dargestellt ist, sollen die bezogenen Spannungsgradienten im Kerbbereich bestimmt werden. Dieses Bauteil findet ebenfalls im Beispiel 18 Verwendung.



FE-Modell „gekerte Welle“

20.1.2. Werkstoffdaten

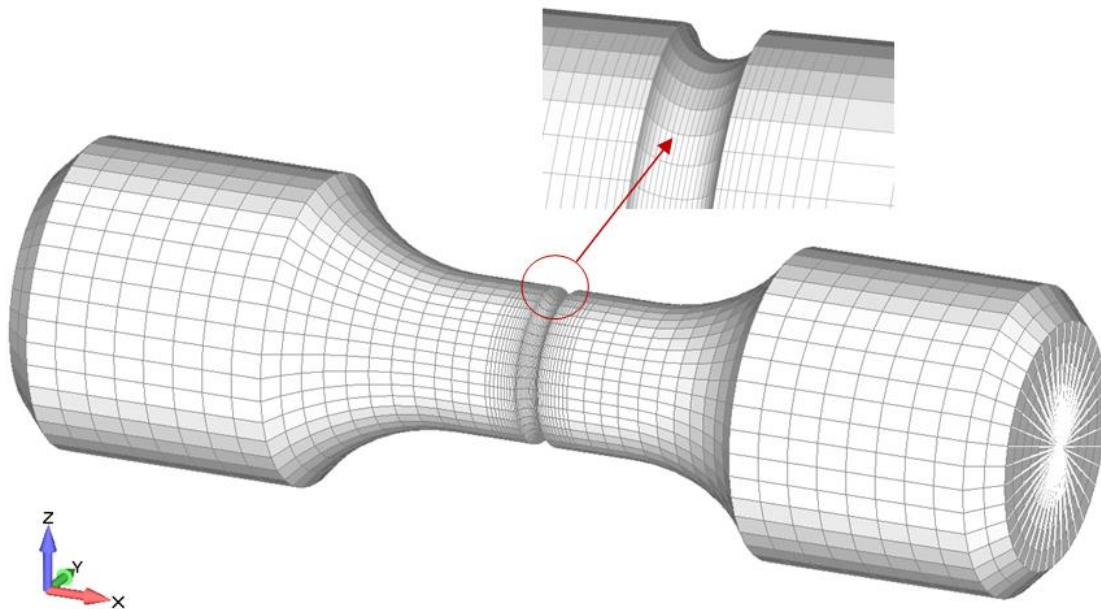
Es liegen folgende Materialangaben vor:

Werkstoffname: 42 CrMoS 4V

E-Modul: 210.000 MPa

20.1.3. Modellbildung

Das Modell wurde so realisiert, dass eine genügend feine Vernetzung in der Kerbe erfolgte. Das folgende Bild zeigt das FE-Modell mit dem Netz.



FE-Modell mit feinem Netz in der Kerbe

20.1.4. Bauteilbelastung (Einheitslasten)

Die Belastung des feststehenden Bauteils erfolgt durch folgende drei Größen, die jeweils zu einer Nennspannung von 1N/mm^2 in der Kerbe führen.

Lastfall Nr.	Belastungsart	Einheitslast, die genau 1 N/mm^2 Nennspannung erzeugt.	Größte Haupt-Spannung im Kerbgrund	Kerbformzahl
1	Zug	Zugkraft in Stirnfläche in x-Richtung 380 N	$2,25\text{ N/mm}^2$	2,25
2	Biegung	Moment in y-Richtung auf Stirnfläche $M_y = 1045\text{ Nmm}$	$2,0\text{ N/mm}^2$	2,0
3	Torsion	Moment in x-Richtung $M_x = 2091\text{ Nmm}$	$1,49\text{ N/mm}^2$	1,49

20.2. Bestimmung des Spannungsgradienten direkt aus dem FE-Modell in Femap

Der bezogene Spannungsgradient wird nach diesem Verfahren direkt aus den Spannungsergebnissen des FE-Modells bestimmt. Hierzu wird das Schnittstellenprogramm winLIFE – Femap aufgerufen.

Schnittstellenprogramm winLIFE-Femap ab V10.01 (V3.4.2)

Export für folgende Berechnungsart

- ☐ Uniaxialer Export
- ☐ Dauerfestigkeitsnachweis
- ☐ Multiaxialer Export
- ☐ Nichtlinearer Export
- ☐ Export Schweißnaht
- ☐ Datei erzeugen für die Regressionsanalyse des Spannungsgradienten
- ☒ Spannungsgradient für wenige Solids erzeugen

Knotenspannungen für folgende Elemente exportieren

- ☒ Solids
- ☐ Plates
- ☐ Beam
- ☐ Rod
- ☐ Bar

Materialachsen der Schalenelemente transformieren

☐ Transformieren

Element Vektor im Basic Rectangular

X: 1,0 Y: 0,0 Z: 0,0

Faktoren der Extrapolation

- ☒ lineare extr.
- ☐ quadratische extr.

F.innen: 1,67 F: 0,67 F.aussen: 0,72

Berechnungsmethode

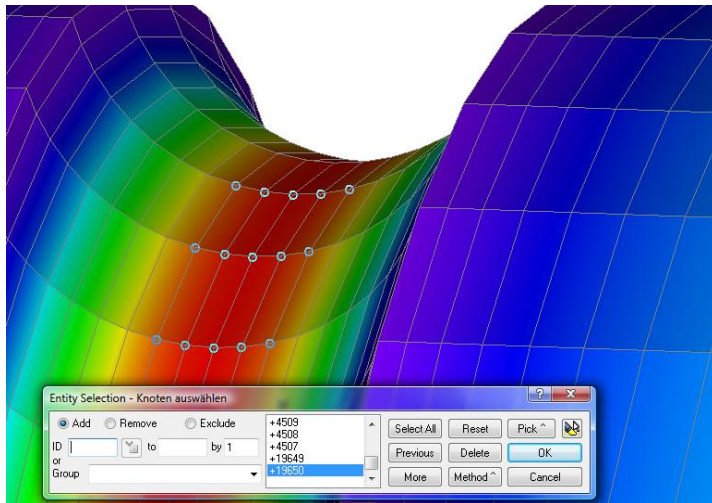
- ☒ Average
- ☐ Max

☐ Gruppe der exportierten Knoten erzeugen 9999

Export starten Abbrechen

Wahl der Exportoptionen

Nach dem hier vorgestellten Verfahren sollten nur wenige Knoten gewählt werden, für die der bezogene Spannungsgradient bestimmt wird. Bei der Auswahl vieler Knoten dauert die Ermittlung der zugehörigen Spannungsgradienten entsprechend länger.



Knotenauswahl am FE-Modell

Die bezogenen Spannungsgradienten für die gewählten Knoten sind in der Ergebnisdatei *.LSS aufgeführt:

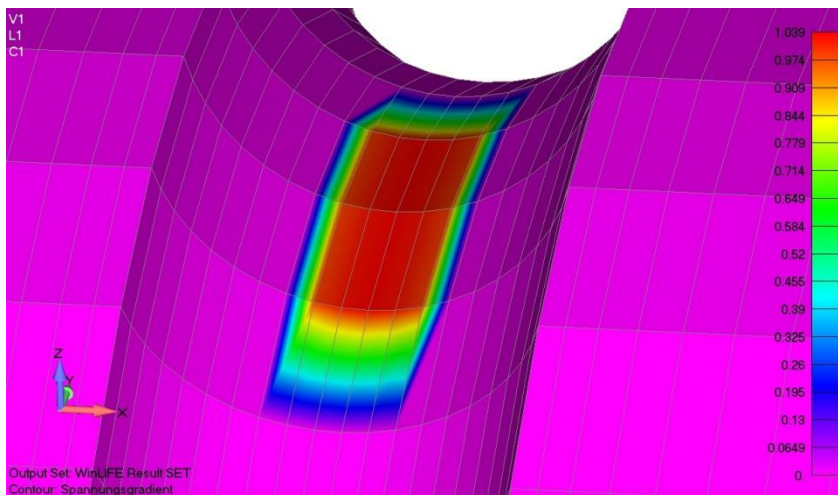
```

3741  1.039055
3742  1.025881
3743  0.984132
4125  1.025888
4126  0.984153
4507  1.039056
4508  1.025882
4509  0.984134
18953 1.025652
18954 0.982078
19299 1.039027
19300 1.025660
19301 0.982098
19649 1.025653
19650 0.982080

```

Spannungsgradienten an den Knoten

In Femap kann die Ergebnisdatei *.NEU zur Visualisierung der Spannungsgradienten eingelesen werden. Es ergibt sich das folgende Bild mit einem bezogenen Spannungsgradienten von 1,039 1/mm in der Kerbmitte.



Darstellung der Spannungsgradienten in der Kerbe

20.3. Bestimmung des Spannungsgradienten aus einer Regressionsanalyse

20.3.1. Eingabeoptionen

Der bezogene Spannungsgradient wird nach diesem Verfahren aus einer Regressionsanalyse bestimmt. Hierzu wird zunächst eine *.GRD Datei geschrieben.

Schnittstellenprogramm winLIFE-Femap ab V10.01 (V3.4.3)

Export für folgende Berechnungsart

☐ Uniaxialer Export ☐ Export Schweißnaht

☐ Dauerfestigkeitsnachweis ☒ Datei erzeugen für die Regressionsanalyse des Spannungsgradienten

☐ Multiaxialer Export ☐ Spannungsgradient für wenige Solids erzeugen

☐ Nichtlinearer Export

Knotenspannungen für folgende Elemente exportieren

☒ Solids ☐ Beam ☐ Rod

☒ Plates ☐ Bar

Materialachsen der Schalenelemente transformieren

☐ Transformieren

Element Vektor im Basic Rectangular

X Y Z

Faktoren der Extrapolation

☒ lineare extr. ☐ quadratische extr.

F.innen F F.aussen

Berechnungsmethode

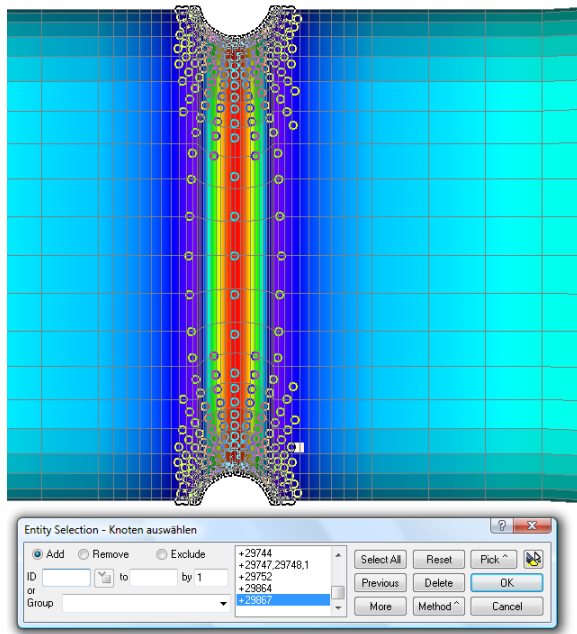
☒ Average ☐ Max

☐ Gruppe der exportierten Knoten erzeugen

Export starten Abbrechen

Wahl der Exportoptionen

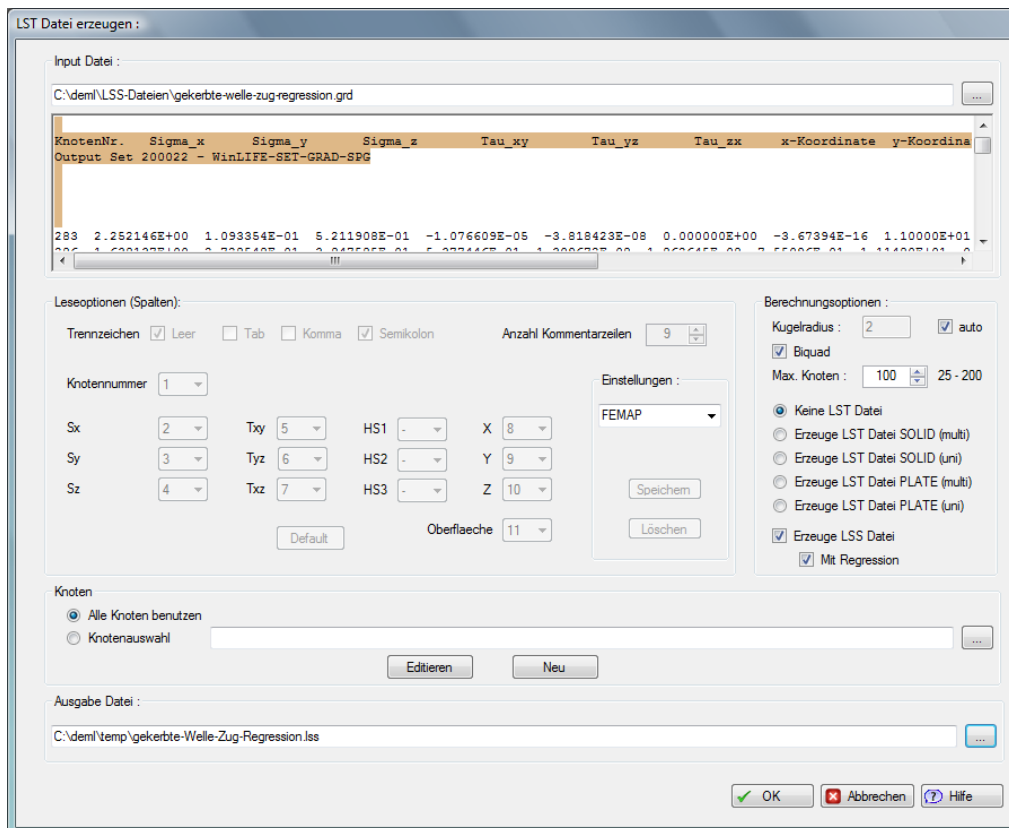
Ein Vorteil dieses Verfahrens im Vergleich zum vorherigen Verfahren ist eine schnelle Berechnung der Spannungsgradienten. Folglich können viele Knoten für die Auswertung herangezogen werden.



Knotenauswahl am FE-Modell

Die resultierende *.GRD-Datei enthält Knotenwerte wie Spannungen, Koordinaten und eine Angabe, ob es sich bei dem jeweiligen Knoten um einen Oberflächenknoten oder um einen Knoten im Material handelt. Diese GRD-Datei wird dann in winLIFE 4.0 eingelesen und die Spannungsgradienten bestimmt.

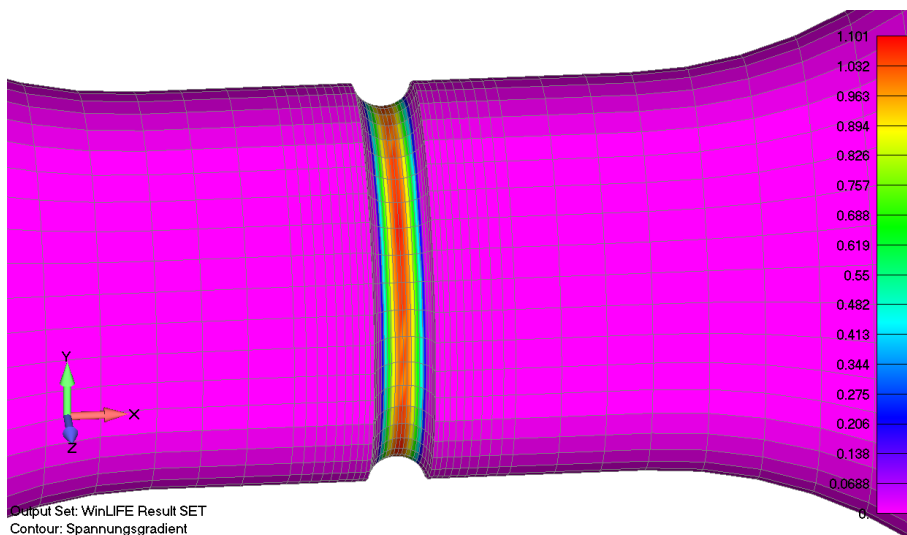
Hierbei sind mehrere Einstellungen für die Berechnung des Spannungsgradienten möglich. In diesem Beispiel wird eine Regression mit der Einstellung „auto“ durchgeführt und es wird eine Auswertung mit biquadratischem Verlauf der Regressionsfunktion gewählt. Die max. Knotenanzahl erhält den Wert 100.



Import der GRD-Datei in winLIFE

20.3.2. Ergebnis

Neben der LSS-Datei wird für Femap die Ergebnisdatei *.NEU geschrieben zur Visualisierung der Spannungsgradienten. Es ergibt sich das folgende Bild mit einem bezogenen Spannungsgradienten von ca. 1,1 1/mm im Kerbgrund.



Darstellung der Spannungsgradienten in der Kerbe

20.4. Bestimmung des Spannungsgradienten nach der Peilstab-Methode

Eingabeoptionen

Wie in dem vorherigen Verfahren mit Regression wird zunächst eine *.GRD Datei geschrieben.

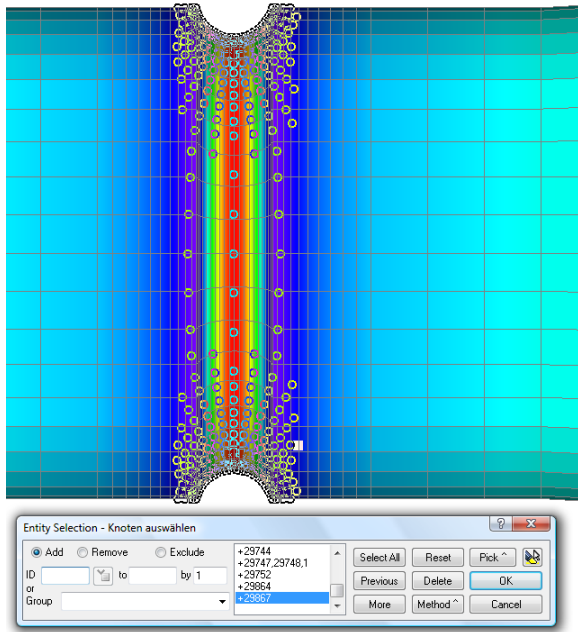
The screenshot shows a dialog box titled "Schnittstellenprogramm winLIFE-Femap ab V10.01 (V3.4.3)". It contains several sections for configuring the export of stress gradients:

- Export für folgende Berechnungsart:** Radio buttons for "Uniaxialer Export", "Export Schweißnaht", "Dauerfestigkeitsnachweis", "Regressionsanalyse des Spannungsgradienten" (selected), "Multiaxialer Export", "Spannungsgradient für wenige Solids erzeugen", and "Nichtlinearer Export".
- Knotenspannungen für folgende Elemente exportieren:** Checkboxes for "Solids" (checked), "Plates" (checked), "Beam", "Rod", and "Bar".
- Materialachsen der Schalenelemente transformieren:** A checkbox for "Transformieren" and a section for "Element Vektor im Basic Rectangular" with input fields for X (1,0), Y (0,0), and Z (0,0).
- Faktoren der Extrapolation:** Radio buttons for "lineare extr." (selected) and "quadratische extr.", and input fields for F.innen (1,67), F (0,67), and F.aussen (0,72).
- Berechnungsmethode:** Radio buttons for "Average" (selected) and "Max".
- Gruppe der exportierten Knoten erzeugen:** A checkbox and an input field with the value 9999.

At the bottom are two buttons: "Export starten" and "Abbrechen".

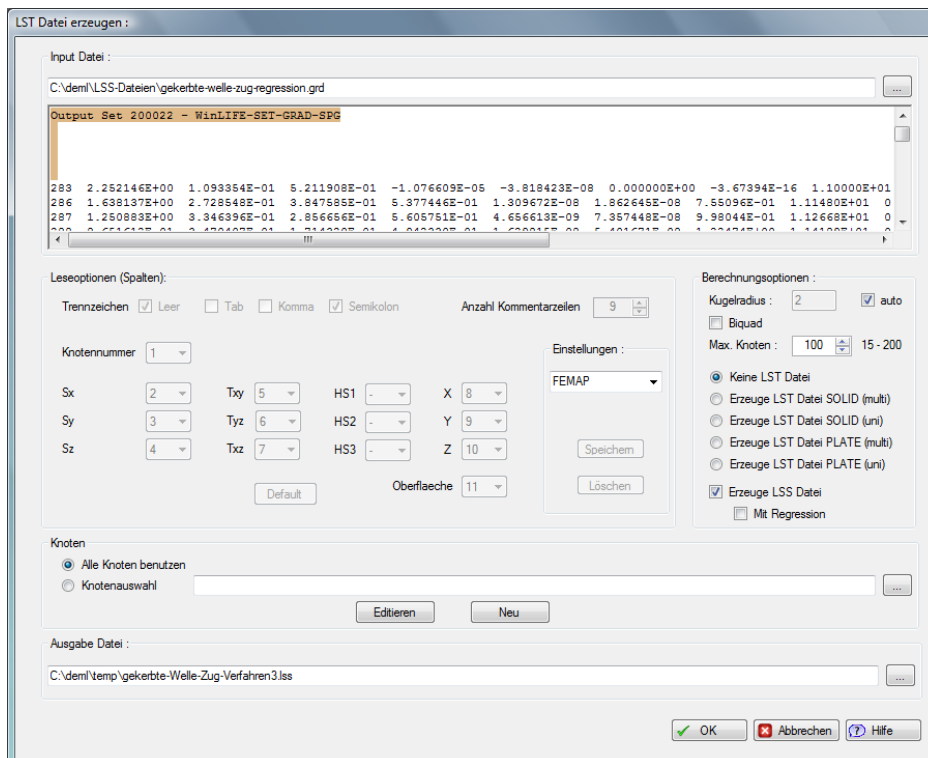
Wahl der Exportoptionen

Im nächsten Schritt werden wieder Knoten gewählt, für die der bezogene Spannungsgradient bestimmt wird. Das Verfahren ist vergleichsweise schnell, daher kann eine größere Anzahl Knoten gewählt werden.



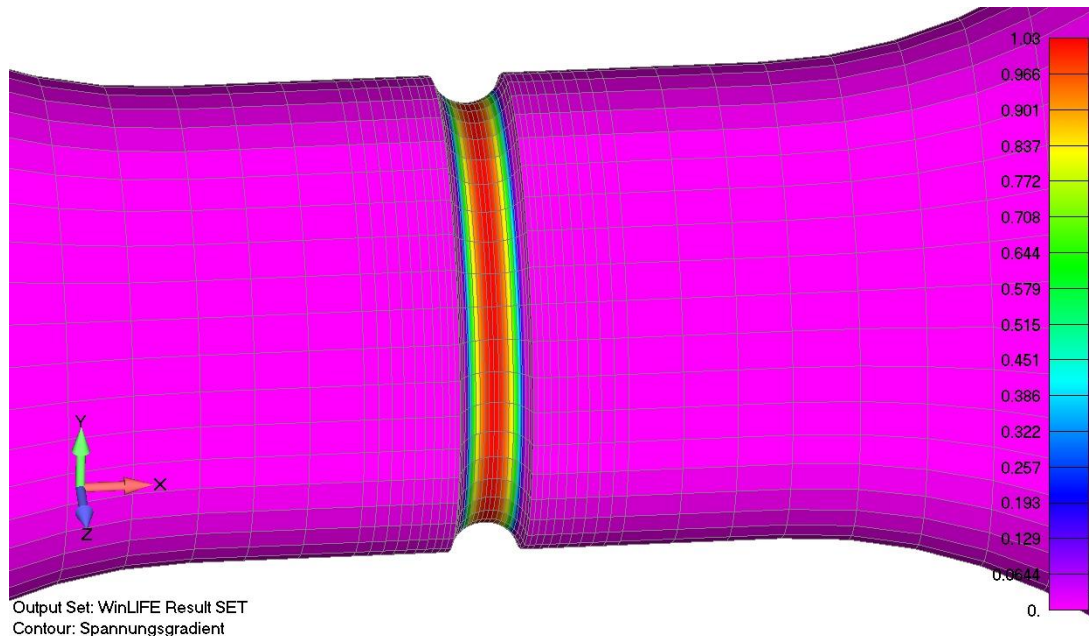
Knotenauswahl am FE-Modell

Die resultierende *.GRD-Datei wird dann in winLIFE eingelesen. Auch hier sind mehrere Einstellungen für die Bestimmung des Spannungsgradienten möglich. Zunächst wird eine Regression mit den Einstellungen auto durchgeführt und es werden max. 100 Knoten in der Analyse berücksichtigt.



Import der grd-Datei in winLIFE

Neben der LSS-Datei wird für Femap die Ergebnisdatei *.NEU geschrieben zur Visualisierung der Spannungsgradienten. Es ergibt sich das folgende Bild mit einem bezogenen Spannungsgradienten von ca. 1,03 1/mm im Kerbgrund.



Darstellung der Spannungsgradienten in der Kerbe

20.5. Bestimmung des Spannungsgradienten aus FEM Originaldateien

Beschreibung

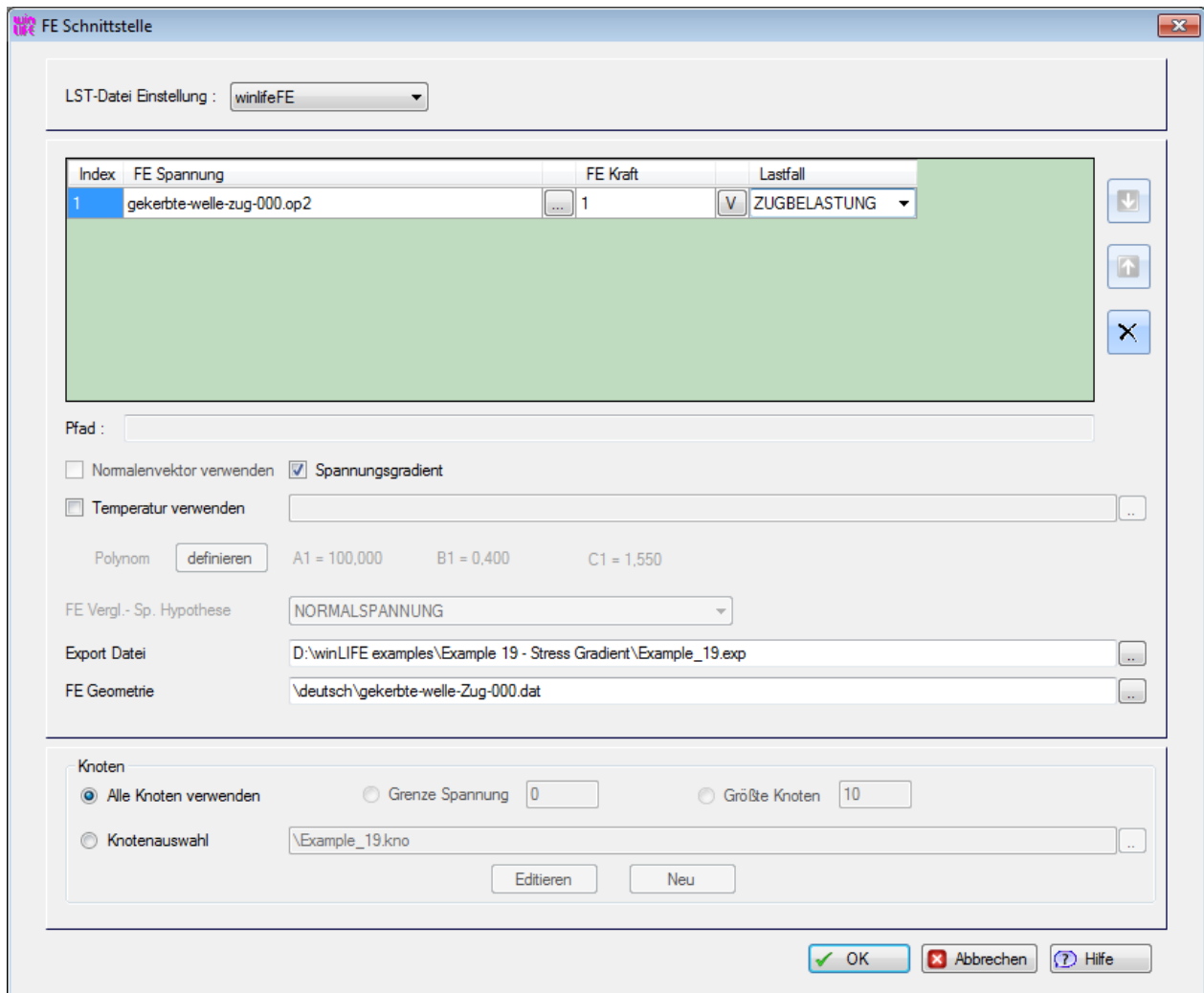
Seit der winLIFE Version 3.8.1 können FEM Ergebnisdateien (z.B. NX Nastran op2-, Abaqus fil-, ANSYS rst-Dateien) direkt in winLIFE importiert werden.

Zur Ermittlung der bezogenen Spannungsgradienten wird der winLIFE Viewer verwendet. Der winLIFE Viewer ist ein zusätzliches Modul, das die Darstellung des Berechnungsmodells erlaubt. In der winLIFE Hilfe wird dieses Modul näher beschrieben.

Der Anwender wählt im winLIFE Menü die Befehle

FE-Daten → Import from FE-Software...

Im folgenden Dialog wird für die LST-Datei Einstellung *winLIFE* gewählt. Die aus Nastran stammende op2-Datei wird in die Tabelle eingetragen. Die op2-Datei enthält den Lastfall *Zugbelastung*.

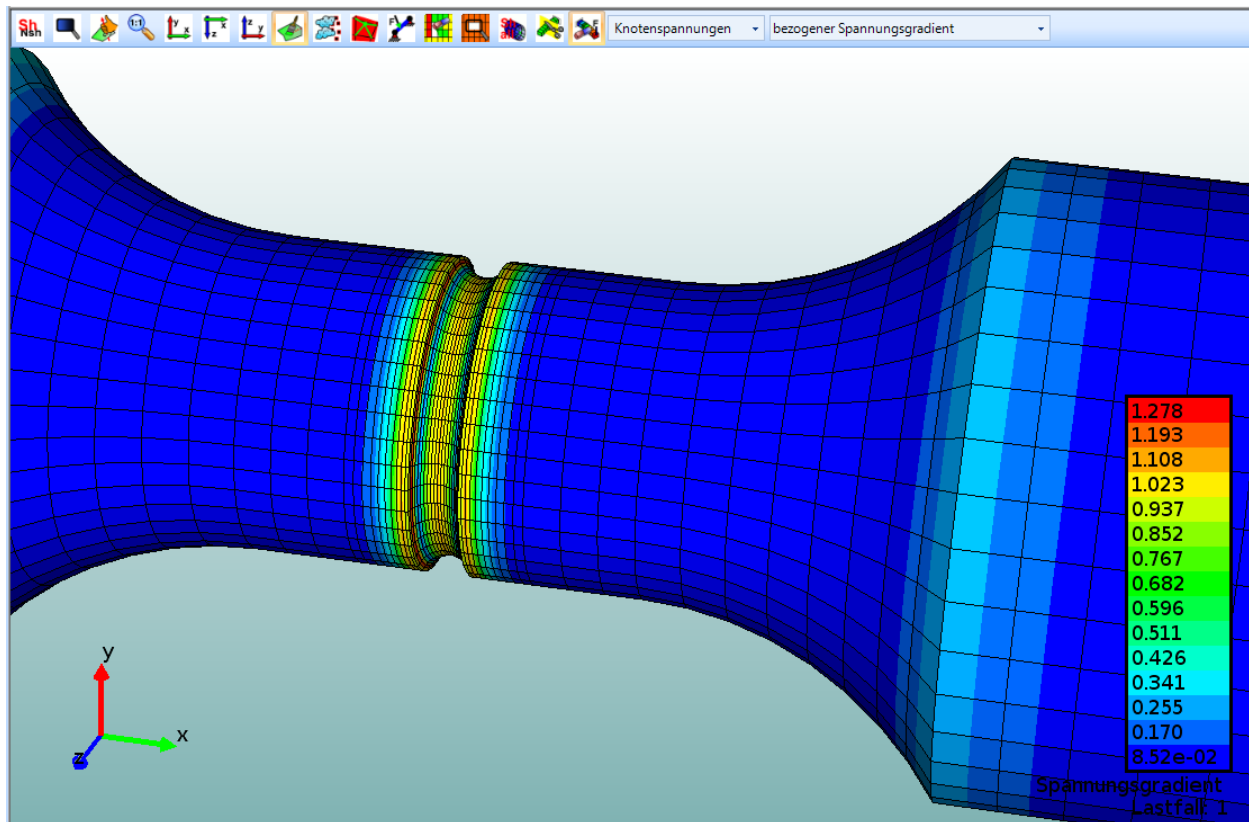


Wahl einer FE-Originaldatei op2 als Belastung

Entscheidend ist es das Feld *Spannungsgradient* zu markieren. Zur Darstellung des FE-Modells wird die Geometrie (FE-Netz) als dat-Datei eingetragen.

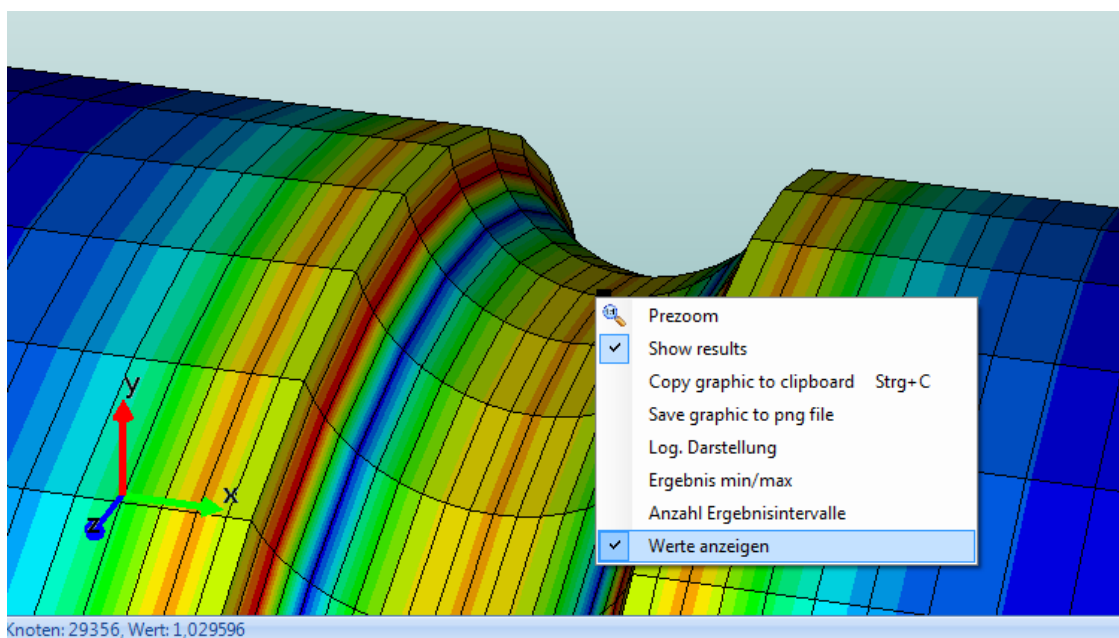
Nun wird gewählt: *FE-Daten* → *View* → *Lastfall – ZUGBELASTUNG*

Die Spannungsgradienten werden angezeigt, wenn die Auswahllisten entsprechend auf *Knotenspannungen* und *bezogener Spannungsgradient* gestellt werden.



Darstellung des bezogenen Spannungsgradienten

Die Werte der Spannungsgradienten können knotenweise angezeigt werden. Die rechte Maustaste wird gedrückt und es wird die Option Werte anzeigen gewählt. Im unteren linken Teil des Fensters wird der Wert für den bezogenen Spannungsgradienten eingeblendet.



Anzeigen der Werte für die Spannungsgradienten

Außerdem hat winLIFE 4.0 mittlerweile eine LST-Datei geschrieben, die sich im Ordner der op2-Datei befindet. Die LST-Datei enthält die Spannungstensoren und bezogenen Spannungsgradienten. Mit der LST-Datei führt winLIFE 4.0 die Lebensdauer-Rechnung durch.

20.6. Ergebnis

Die bezogenen Spannungsgradienten werden für die Biege- und Torsionsbelastung ebenfalls nach diesen vier vorgestellten Verfahren bestimmt. In der folgenden Tabelle sind die entsprechenden Spannungsgradienten eingetragen und den Werten aus der FKM-Richtlinie gegenübergestellt.

Lastfall Nr.	Belastungsart	Einheitslast, die genau 1 N/mm^2 Nennspannung erzeugt.	Größte Spannung im Kerbgrund	bezogener Spannungsgradient mit winLIFE bestimmt [1/mm]				Spannungsgradient Literatur nach FKM Richtlinie [1/mm]
				Femap-Interface	Regression*	Peilstab-Methode *	Auswertung von FE-Original-dateien	
1	Zug	Zugkraft in Stirnfläche in x-Richtung 380 N	2,25 N/mm^2	1,04	1,1	1,03	1,03	1,0
2	Biegung	Moment in y-Richtung auf Stirnfläche $M_y = 1045 \text{ Nmm}$	2,0 N/mm^2	1,08	1,1	1,07	1,07	1,091
3	Torsion	Moment in x-Richtung $M_x = 2091 \text{ Nmm}$	1,49 N/mm^2	0,498	0,5	0,514	0,497	0,591

* gewählte Optionen in winLIFE 4.0 : auto, biquad, max. Knotenanzahl 100

21. Beispiel 20 / Containerprojekte

21.1. Aufgabenstellung

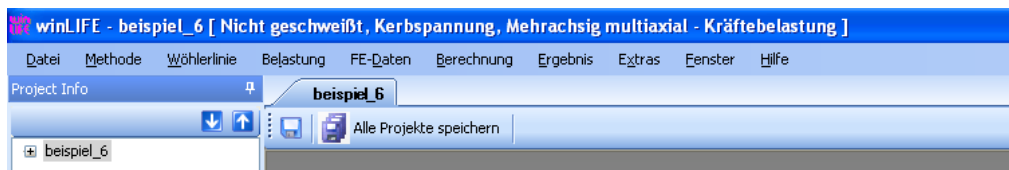
Dieses Beispiel führt in die Verwendung von Containerprojekten ein. Containerprojekte sind außerordentlich hilfreich, wenn eine große Zahl von Projekten extrapoliert und summiert werden sollen, wobei sich nur die Belastung der Teilprojekte unterscheiden darf.

Neben der resultierenden Schadenssumme wird auch der Betriebsfaktor, die resultierende Rainflow-Matrix, Bereichspaarzählung etc. bestimmt.

Hinweise: Jede Lastdatei muss alle Kanäle einschließlich des Zeitkanals enthalten. Die verschiedenen Kanäle sind dann in Spalten angeordnet, deren Spaltennummer dann zur Identifizierung angegeben wird.

21.2. Laden eines existierenden Projektes

Um ein Containerprojekt zu erzeugen, muss zunächst ein Standard Einzelprojekt existieren. Wir wählen aus dem Menü **Datei / Öffnen** und laden dazu das Projekt Beispiel_6.wlf .



Dieses Projekt muss alle Daten zur Berechnung enthalten, Zur Sicherheit kann man eine Berechnung durchführen und prüfen, ob ein Ergebnis erhalten wird.

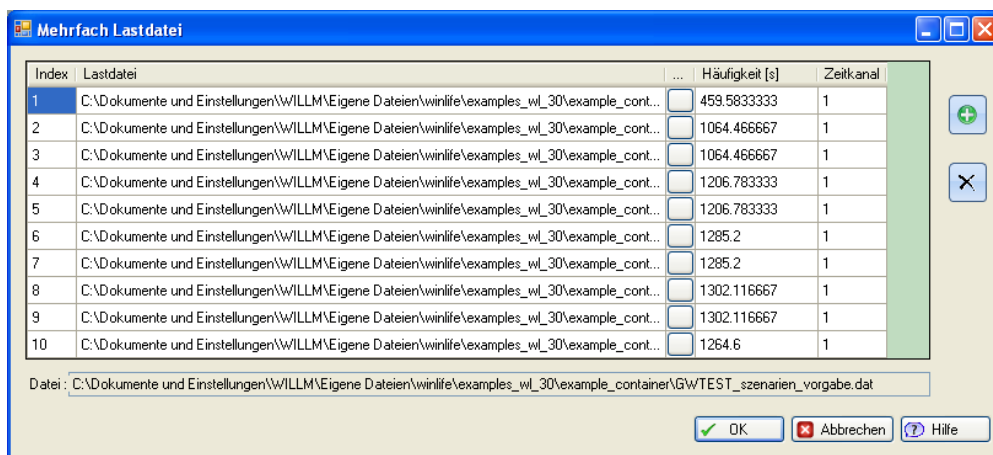
21.3. Vorbereitung der Mehrfach Lastdatei

Durch Wahl von **Extras / Werkzeuge / Mehrfach Lastdatei** öffnet sich eine Eingabetabelle, in der die im Containerprojekt zu verarbeitenden Lastdateien aufgeführt werden müssen.

Weiterhin ist in dieser Tabelle in der Spalte Häufigkeit die Sollzeit anzugeben. Weiterhin muss angegeben werden, wo sich die Spalte mit der Meßzeit befindet. In unserem Beispiel ist die Zeit in Spalte 1 angeordnet.

Ist zum Beispiel die Häufigkeit (=Sollzeit) 36000 Sekunden, die Meßzeit aber nur 600 Sekunden, so wird ein Multiplikator $36000/600 = 60$ berechnet. Mit diesem Multiplikator werden dann die Zählungen der Beanspruchungsstufen in der Rainflow-Matrix und die Schädigung multipliziert.

Aus der Messdatei wird mit Hilfe des Zeitkanals die Meßdauer bestimmt und mit Hilfe der in der Tabelle angegebenen Häufigkeit wird ein Multiplikator berechnet, mit dem die Ergebnisse (Schadenssumme, Zählungen der Rainflow-Matrix, etc.) multipliziert werden.

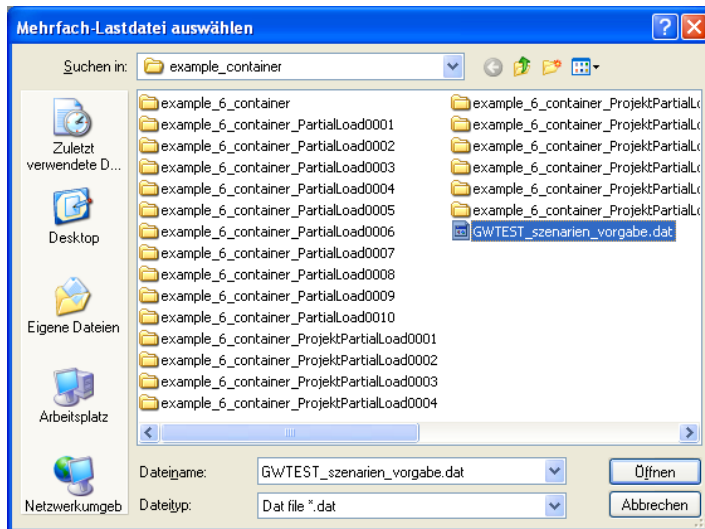


Liste der Dateinamen mit Sollzeit (Spalte Häufigkeit) und Zeitkanal

Wichtig: Jede Lastdatei muss alle Kanäle einschließlich des Zeitkanals enthalten. Die Datei wird mit einem vom Benutzer festzulegenden Namen in unserem Beispiel GWTEST_szenarien_vorgabe.dat benannt.

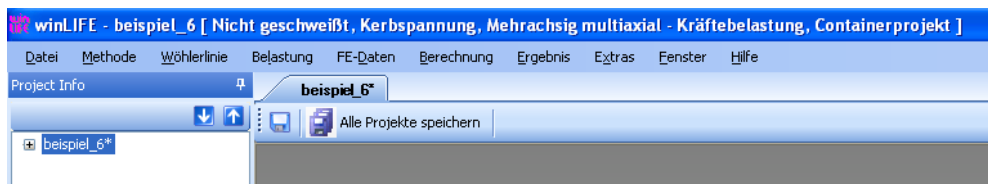
21.4. Umwandeln in ein Containerprojekt

Durch Wahl von **Datei / Umwandeln in Containerprojekt** öffnet sich eine Auswahlmaske zur Wahl der Mehrfach Lastdatei, deren Erzeugung im Kapitel zuvor beschrieben wurde.



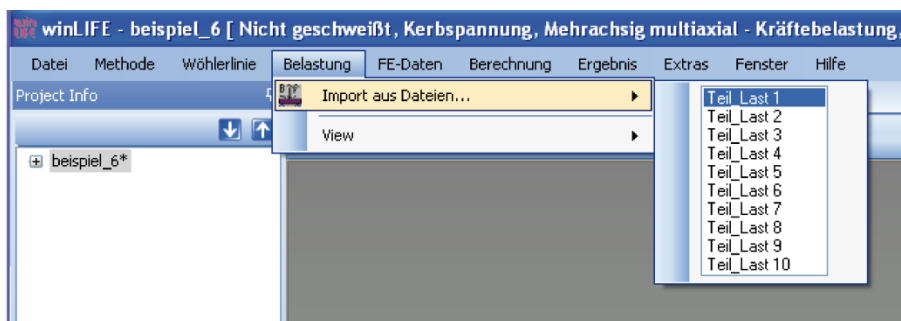
Dialog zur Festlegung des Dateinamens (Namen merken, er muß später gewählt werden)

Nach Wahl der Mehrfach Lastdatei wird das Containerprojekt erzeugt, was in winLIFE 4.0 in der obersten Zeile des Fensters angezeigt wird (s. nächstes Bild). Dort erscheint „Containerprojekt“.



Menüansicht (s. Kopfzeile mit Text „Containerprojekt“)

Die gesamten Lastdateien sind bereits definiert, wovon man sich durch Wahl von **Belastung / Import aus Dateien** überzeugen kann. Dort sind (s. Bild unten) die Lasten Teil_Last1 bis Teil_Last10 zugeordnet.



Ansicht der geladenen Lasten im Menü Belastung

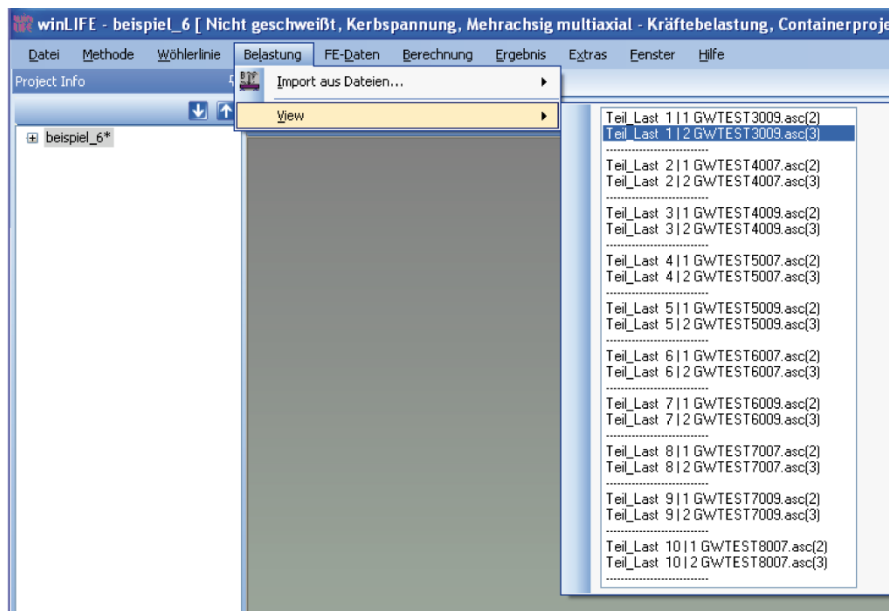
Belastung

Zylen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor Diese Einstellungen gelten für alle Teillasten.

Index	Datei	...	Multiplikator	Wiederholungen	Spalte	1. Datenreihe	Bereich
1	☐ GWTEST3009_mod.asc	...	10	1	2	7	
2	☐ GWTEST3009_mod.asc	...	5	1	3	7	

Pfad

Wählt man **Belastung View**, so werden die einzelnen, grafisch darstellbaren Kanäle aufgeführt (s. Bild unten). Wir sehen, dass je Teillast 2 Kanäle definiert sind.



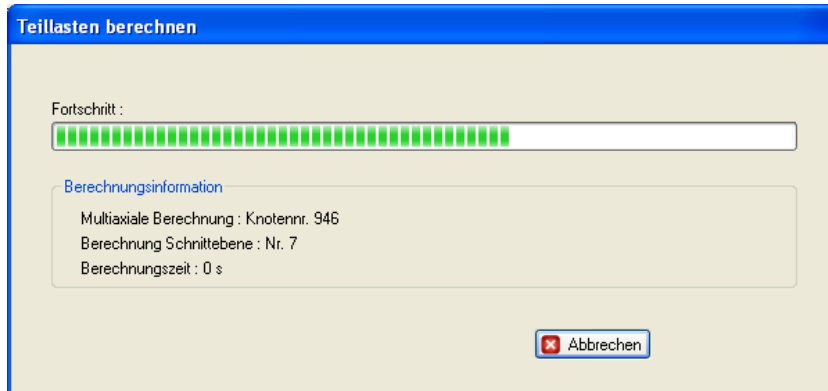
Die Zuordnung zu den FE-Daten wird übernommen aus dem Ausgangsprojekt. Sie ist für alle Teillasten identisch.

21.5. Berechnung / Lebensdauer für Teillasten

Der Start der Berechnung erfolgt indem

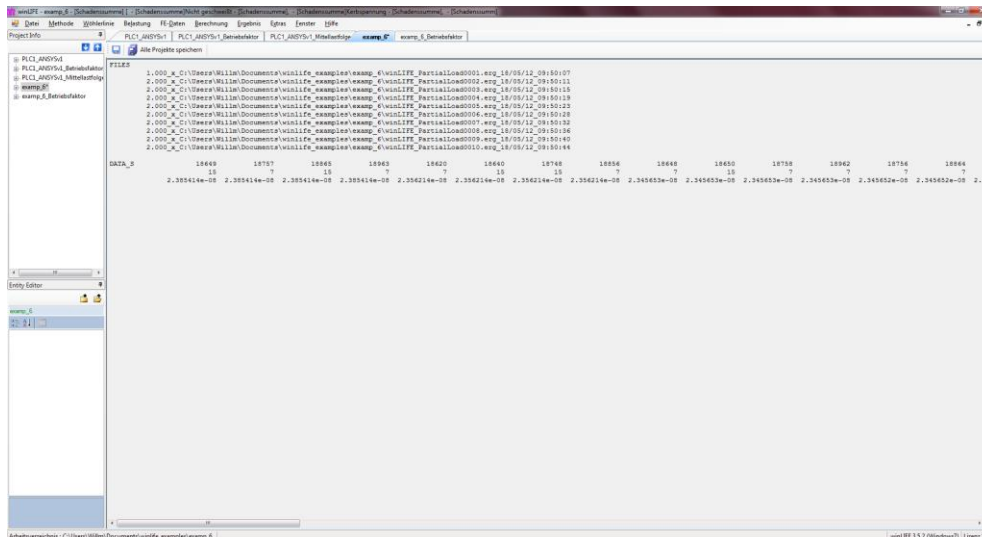
Berechnung / Lebensdauer berechnen für Teillasten

Gewählt wird. Der Fortschritt der Berechnung wird durch einen Balken angezeigt.



Fortschrittsbalken bei der Berechnung

Nach Abschluss der Berechnung öffnet sich ein Fenster, in dem im oberen Teil die verwendeten Dateien angegeben werden. Danach folgt die Knotennummer des FE-Modells, die Schnittebene, Schadenssumme.



Ergebnisdarstellung der Teilprojekte nach Abarbeitung eines Containerprojektes

21.6. Berechnung / Betriebsfaktor erzeugen

Die Berechnung des Betriebsfaktors bewirkt die Erzeugung des Gesamtkollektivs und des Betriebsfaktors für das Gesamtkollektiv. Es erlaubt eine detaillierte Auswertung und Analyse des Ergebnisses der Addition und Extrapolation der Einzelkollektive.

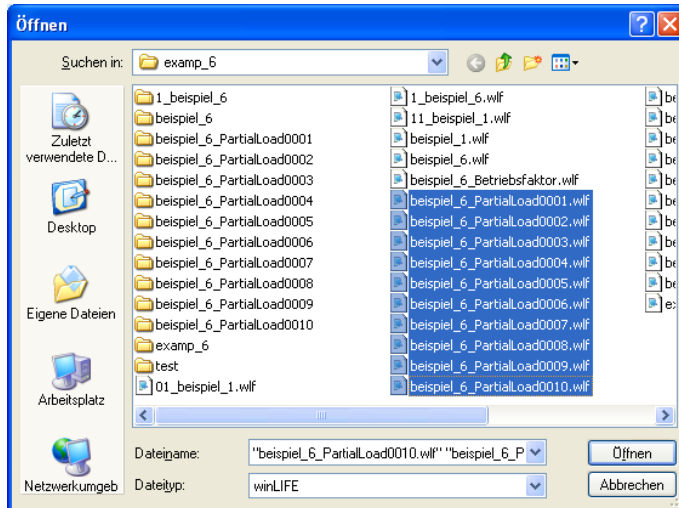
Es wird die Geamtschädigung für alle Projekte angegeben.

[illegible]

beispielhafte Darstellung der Ergebnisse für den kritischen Knoten

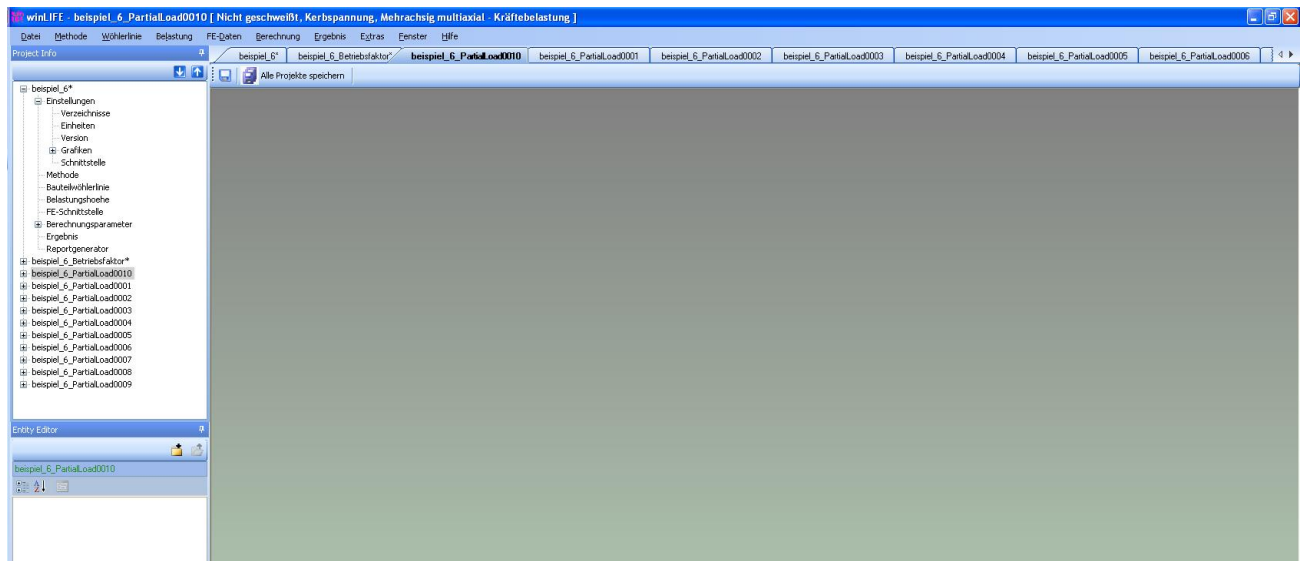
21.7. Einzelprojekte laden

Für jede Belastung wurde ein Standard-Einzelprojekt erzeugt, das der Benutzer nachträglich laden kann. Wir wählen aus dem Menü Datei / Öffnen und markieren alle 10 Einzelprojekte (s. Bild).



Nachträgliches Laden einzelner Projekte für die vertiefte Analyse

Diese Projekte stehen anschließend als Standard Einzelprojekte (s. nächste Bild) zur Verfügung und können auf diese Weise zur Kontrolle der einzelnen Teillasten eingesetzt werden.



Nach Laden der Einzelprojekte werden diese als „Reiter“ im Menü angezeigt. Alle Ergebnisse stehen in dem zugehörigen Fenster zur Verfügung

21.8. Schadensanteil von Einzelprojekten

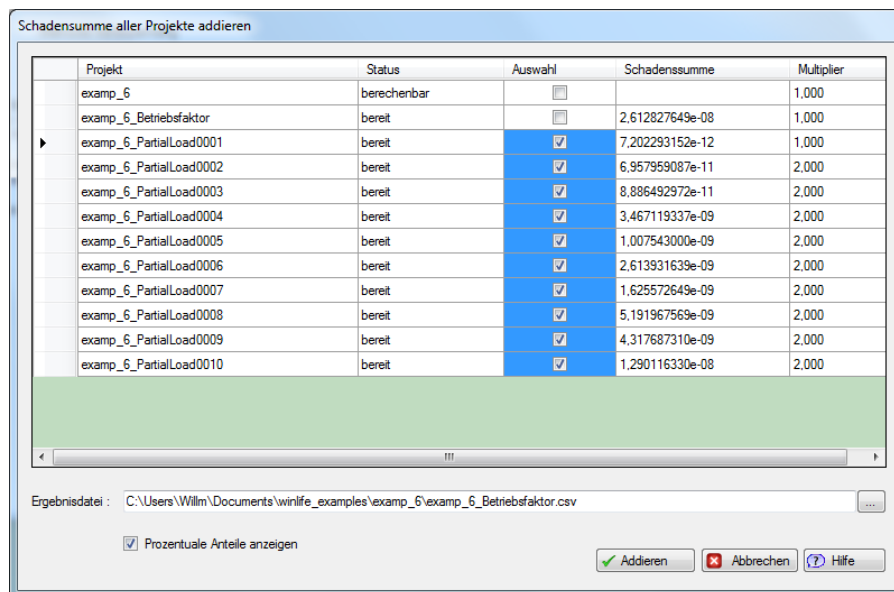
Will man nun den Schadensanteil der einzelnen Teilprojekte ermitteln, so wählt man im Menü:

Extras / Schadenssumme

und eine Auswahlmaske mit allen geöffneten Projekten erscheint (Bild unten). In dieser Maske kann man Projekte durch Markieren auswählen und die Schadenssumme addieren. Die einzelnen Schädigungsanteile der Teilprojekte können angezeigt werden, wenn das entsprechende Kästchen

Prozentuale Anteile anzeigen

markiert ist.



Mehrfachauswahl von Teilprojekten für eine gewichtete Summation

Als Ergebnis werden dann alle Projekte und ihr prozentualer Schadensanteil dargestellt (nächstes Bild).

The screenshot displays the winLIFE 3.5.3 (Windows7) interface. On the left, a project tree lists various scenarios like 'exampl_6_Betriebsfaktor' and 'exampl_6_PartialLoad0001'. The main window shows a data table with the following structure:

		Nr.1	Nr.2	Nr.3	Nr.4	Nr.5	Nr.6	Nr.7	Nr.8	Nr.9	Nr.10
1.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0001.erg_18/05/12_13:49:07											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0002.erg_18/05/12_13:49:11											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0003.erg_18/05/12_13:49:15											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0004.erg_18/05/12_13:49:19											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0005.erg_18/05/12_13:49:23											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0006.erg_18/05/12_13:49:27											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0007.erg_18/05/12_13:49:31											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0008.erg_18/05/12_13:49:35											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0009.erg_18/05/12_13:49:39											
2.000_x_C:\Users\Willm\Documents\winlife_examples\exampl_6\winlife_PartialLoad0010.erg_18/05/12_13:49:43											
18649 15 4,770537e-08	0,006	0,146	0,099	5,845	1,866	3,625	5,579	10,645	18,101	54,087	
18737 7 4,770537e-08	0,006	0,146	0,099	5,845	1,866	3,625	5,579	10,645	18,101	54,087	
18845 15 4,770537e-08	0,006	0,146	0,099	5,845	1,866	3,625	5,579	10,645	18,101	54,087	
18963 7 4,770537e-08	0,006	0,146	0,099	5,845	1,866	3,625	5,579	10,645	18,101	54,087	
18620 7 4,712142e-08	0,006	0,146	0,100	5,840	1,866	3,646	5,561	10,716	18,221	53,999	
18660 15 4,712142e-08	0,006	0,146	0,100	5,840	1,866	3,646	5,561	10,716	18,221	53,999	
18748 15 4,712142e-08	0,006	0,146	0,100	5,840	1,866	3,646	5,561	10,716	18,221	53,999	
18856 7 4,712142e-08	0,006	0,146	0,100	5,840	1,866	3,646	5,561	10,716	18,221	53,999	
18648 7 4,691020e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18650 15 4,691020e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18758 7 4,691020e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18962 7 4,691020e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18756 7 4,691018e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18664 7 4,691018e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18666 15 4,691018e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18964 7 4,691018e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,638	5,508	10,697	18,225	53,906	
18644 7 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18646 15 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18752 15 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18762 7 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18860 7 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18870 15 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18958 7 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18968 7 4,689555e-08	0,006	0,146	0,099	5,863	1,911	3,639	5,505	10,699	18,222	53,910	
18643 7 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18655 15 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18751 15 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18763 7 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18859 7 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18871 15 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18957 7 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18969 7 4,689520e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18662 7 4,689519e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18636 15 4,689519e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18744 7 4,689519e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18956 7 4,689519e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18750 15 4,689507e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18858 7 4,689507e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18872 15 4,689507e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18970 7 4,689507e-08	0,006	0,146	0,099	5,865	1,911	3,639	5,505	10,698	18,219	53,911	
18647 7 4,689468e-08	0,006	0,146	0,099	5,864	1,904	3,638	5,505	10,704	18,225	53,910	

Ergebnisdarstellung der Einzel-Projekte mit zugehörigem Schadensanteil

Hinweis: Bei der Berechnung des Betriebsfaktors erfolgt die Schadensberechnung indem die extrapolierten Rainflow-Matrizen addiert und dann aus der Gesamt-Rainflow-Matrix die Schadenssumme berechnet wird.

Bei der Addition der Schadenssummen hingegen werden die extrapolierten Schadenssummen der Einzelprojekte addiert, was in der Summe zu geringfügig anderen Ergebnissen führt! Die Schadenssumme ist in diesem Fall kleiner!

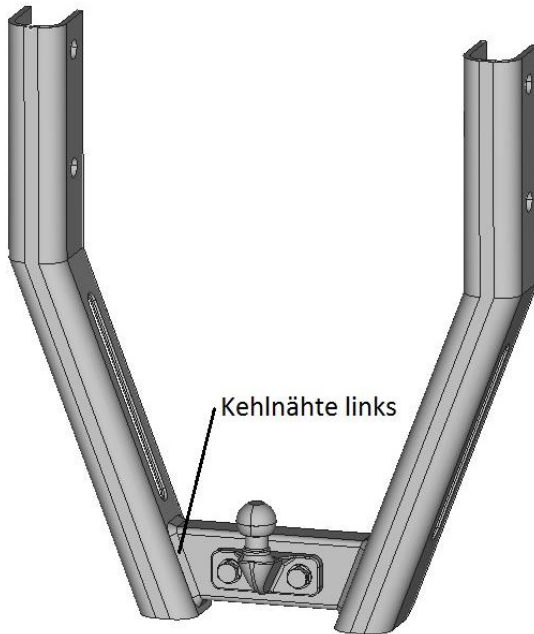
22. Beispiel 21 / Schweissnaht einer Anhängervorrichtung

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

22.1. Aufgabenstellung

22.1.1. Bauteilgeometrie

Für den dargestellten Kugelkopfanhängebock sollen Schweißnähte nach dem Strukturspannungskonzept berechnet werden. Es werden in diesem Beispiel nur die Kehlnähte auf der linken Seite zwischen dem U-Profil und dem Rechteckprofil betrachtet, siehe Abbildung 1-1.



Geometrie des Kugelkopfanhängebocks

22.1.2. Werkstoffdaten

Die verwendeten Rechteck- und U-Profile bestehen aus dem Feinkornbaustahl S700MC:

Werkstoffname:	S700MC
E-Modul:	ca. 210.000 MPa
Re	≥ 700 MPa
Rm	750-950 MPa
Querkontraktionszahl:	0,3

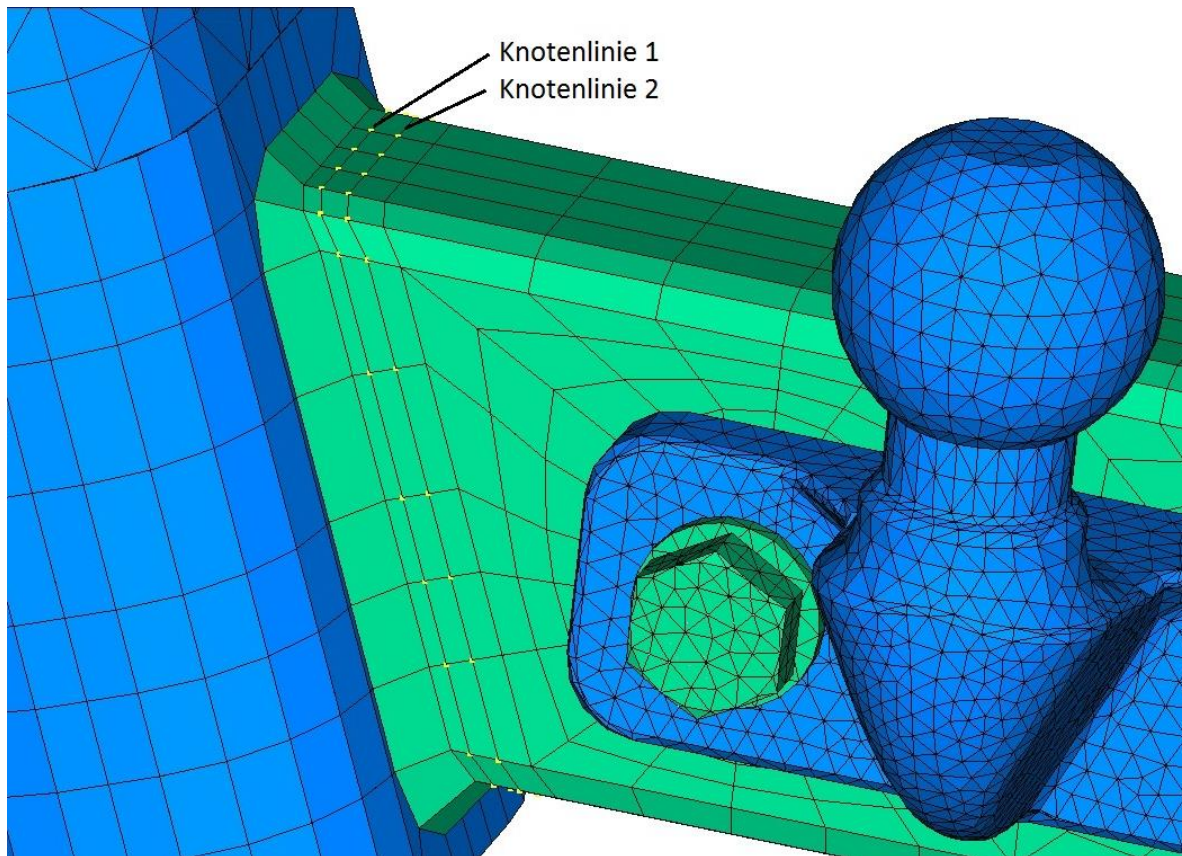
Die Flanschkugel besteht aus dem Material 42CrMo4:

Werkstoffname:	42CrMo4
E-Modul:	ca. 210.000 MPa
Querkontraktionszahl:	0,3

22.1.3. Modellbildung

Das Modell ist überwiegend aus Tetraeder-Elementen aufgebaut. Die Bereiche der zu untersuchenden Schweißnähte sind mit Hexaeder-Elementen vernetzt. Für das Strukturspannungskonzept mit linearer Extrapolation werden dabei definierte Abstände der Knotenreihen von der Kehlnaht eingehalten wie die gelb markierten Knoten in der Abbildung zeigen.

Der Abstand der Knotenlinie 1 beträgt $0,4 \times$ Blechdicke von der Schweißnaht und der Abstand der Knotenlinie 2 beträgt $1 \times$ Blechdicke von der Schweißnaht. Mit der Blechdicke des Rechteckprofils von 7,1mm ist die Knotenlinie 1 somit 2,84mm und die Knotenlinie 2 folglich 7,1mm von der Kehlnaht entfernt.



Knotenlinien an der Kehlnaht für das Strukturspannungskonzept

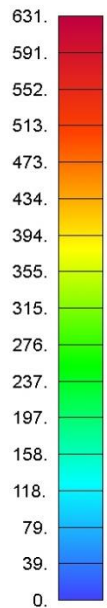
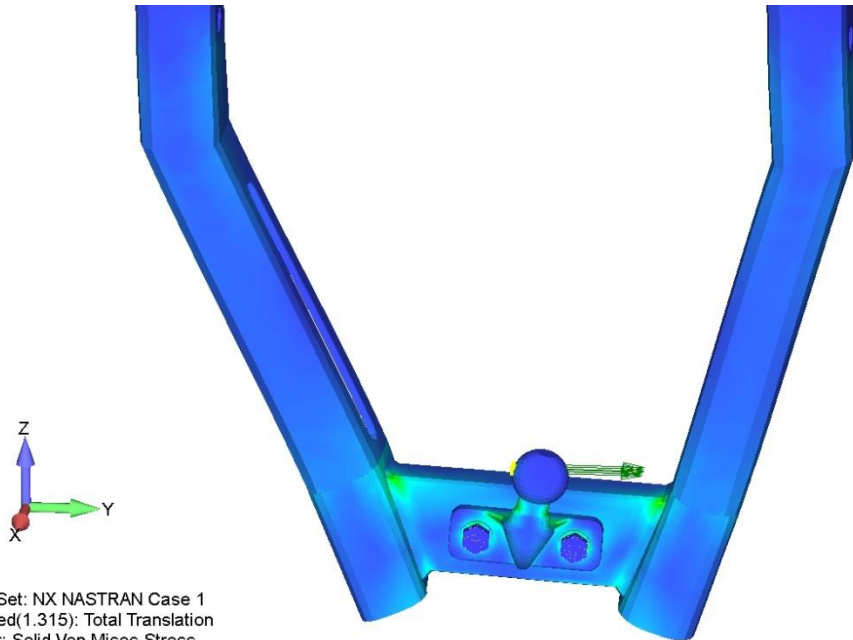
22.1.4. Bauteilbelastung

An dem Kugelkopf wirken 2 Lastfälle, die zunächst getrennt dargestellt werden. In der folgenden Lebensdauerberechnung in winLIFE 4.0 werden diese zwei Lastfälle gleichzeitig wirken.

Die Enden der U-Profile werden im Bereich der Bohrungen fixiert.

Lastfall Nr.	Belastungsart	Last
1	Seitenlast	Zugkraft in y-Richtung $F_y = 20000 \text{ N}$
2	Vertikal- und Horizontallast	Zugkraft in x-Richtung $F_x = 21700 \text{ N}$ und Druckkraft in z-Richtung von $F_z = -12000 \text{ N}$

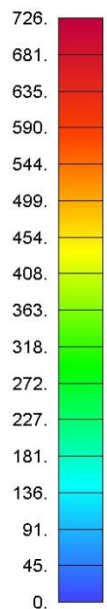
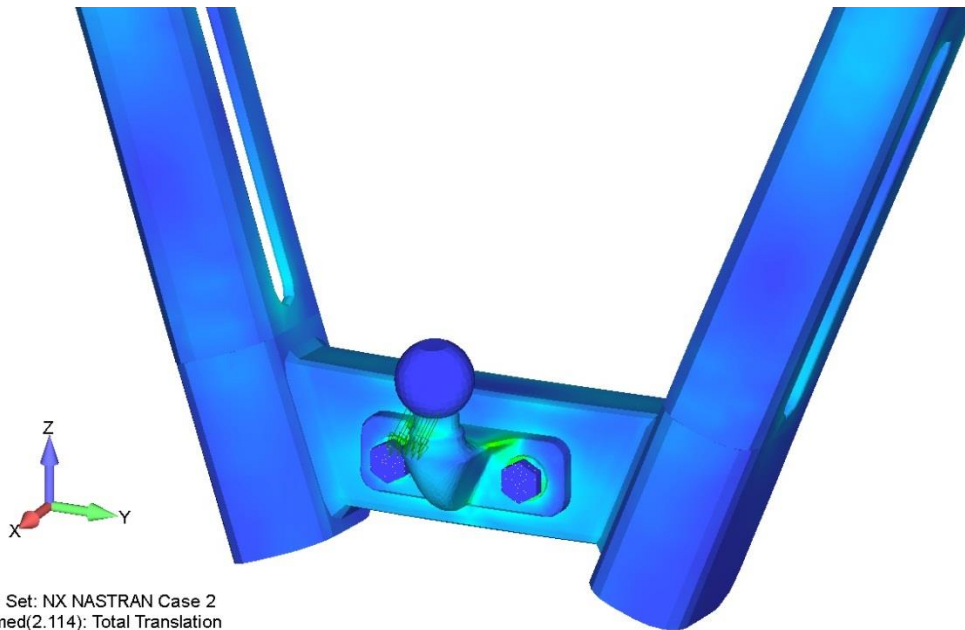
V1
L1
C2



Output Set: NX NASTRAN Case 1
Deformed(1.315): Total Translation
Contour: Solid Von Mises Stress

Anhängebock unter Seitenlast (Lastfall Nr. 1)

V1
L2
C2

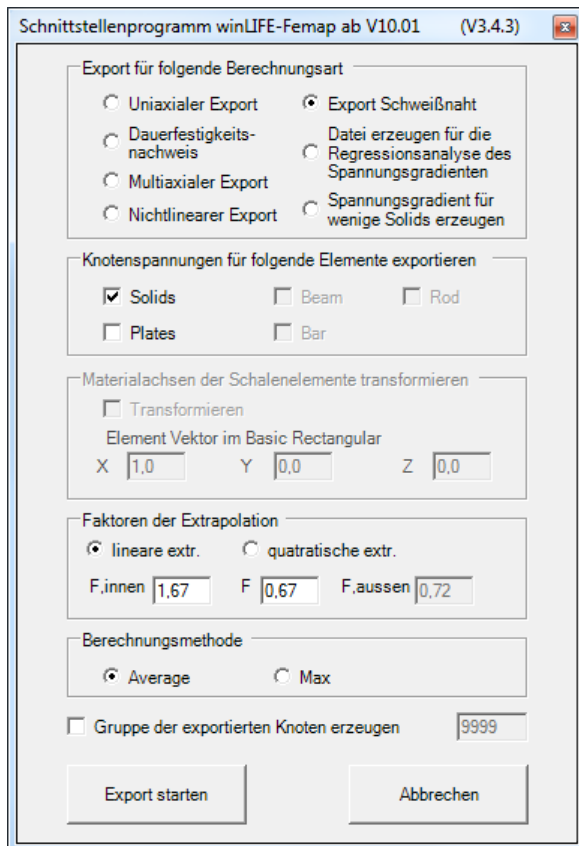


Output Set: NX NASTRAN Case 2
Deformed(2.114): Total Translation
Contour: Solid Von Mises Stress

Anhängebock unter Vertikal- und Horizontallast (Lastfall Nr. 2)

22.2. Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Strukturspannungskonzept

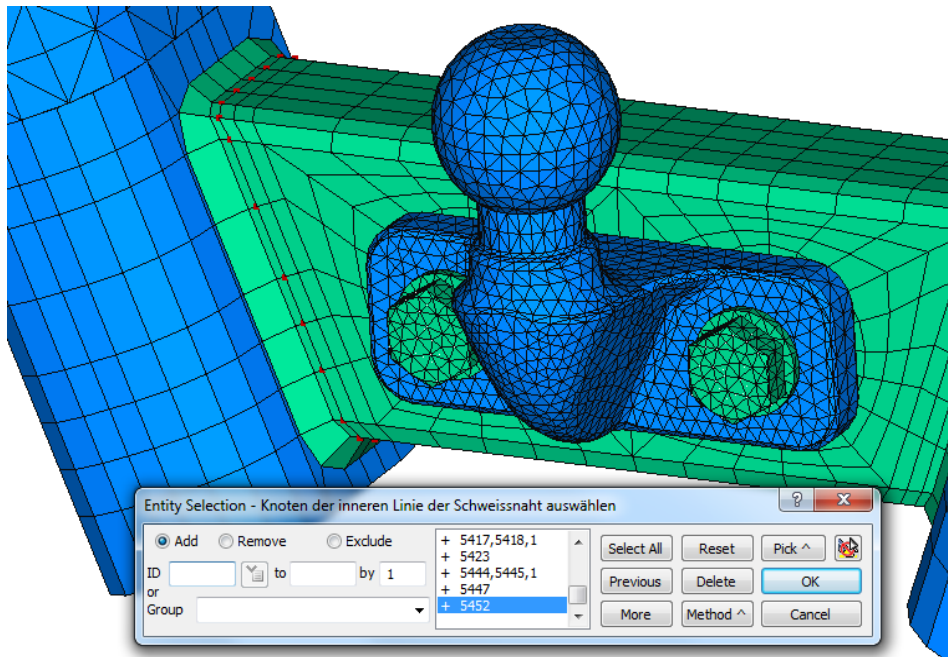
Die Knotenspannungen werden aus Femap exportiert. Hierzu wird das Schnittstellenprogramm winLIFE – Femap aufgerufen. In dem Dialogfenster wird eine lineare Extrapolation der Spannungen gewählt. Die Werte für die Extrapolation sind standardmäßig auf 1,67 und 0,67 gesetzt.



Wahl der Exportoptionen

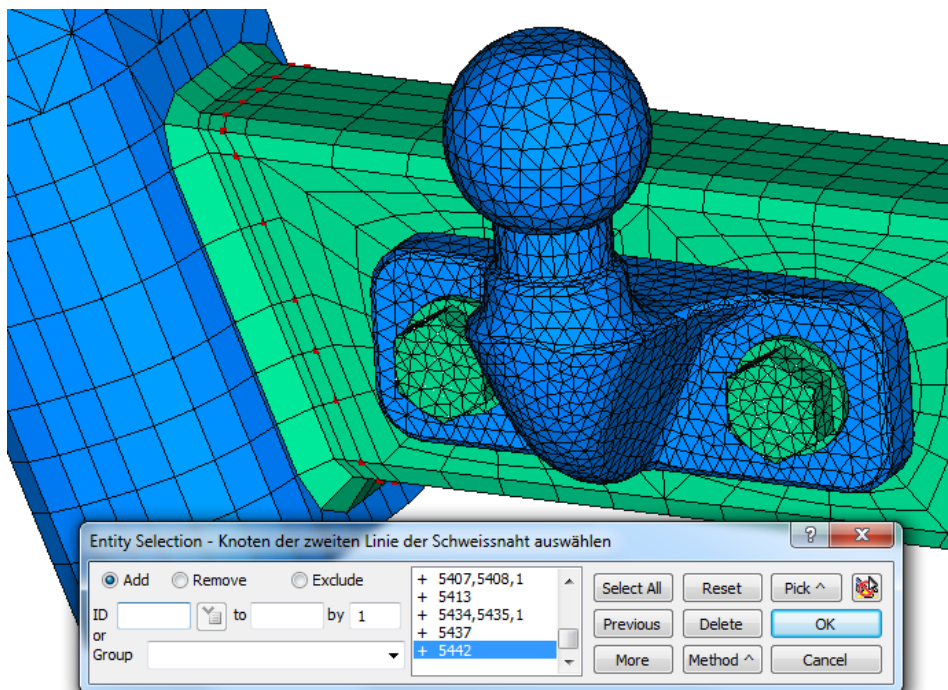
Der Export der Spannungen wird nacheinander für die beiden Lastfälle durchgeführt. In dieser Dokumentation wird der Export für den Lastfall 1 beschrieben.

Im folgenden Dialogfenster wird dann die Knotenlinie 1 als innere Linie der Schweißnaht gewählt. Die Knotenlinie 1 ist bereits als Gruppe in Femap definiert und kann zur Selektion verwendet werden.



Knotenauswahl am FE-Modell

Die Knotenlinie 2 wird in dem nächsten Dialogfenster gewählt als Knoten der zweiten Linie der Schweißnaht. Die Knotenlinie 2 ist ebenfalls als Gruppe in Femap vorhanden.



Knotenauswahl am FE-Modell

In winLIFE 4.0 erfolgt nun die Projektdefinition. Es wird die Einstellung „Geschweißt“ gewählt und als Methode „Kerbspannung“. Als Belastung wird „Mehrachsig uniaxial – Kräftebelastung“ eingestellt. Die FE-Schnittstelle wird mit 2 Lastfällen verwendet.

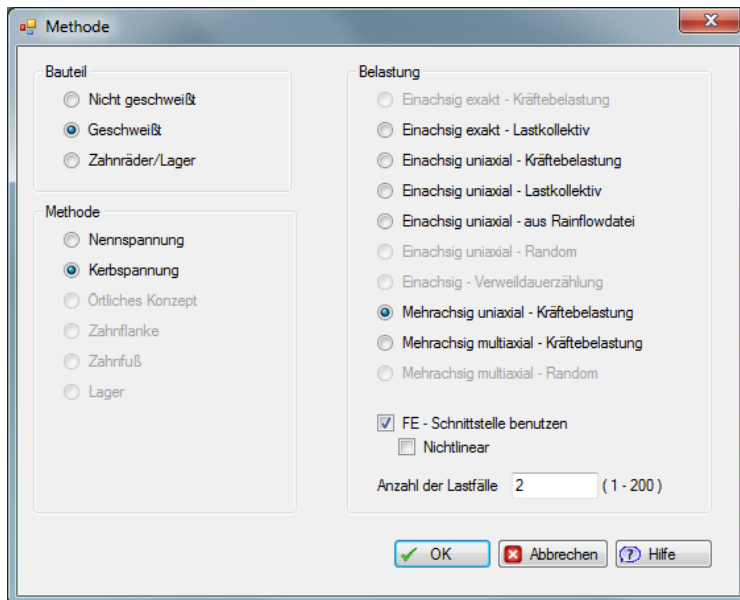


Bild 22-8: Einstellungen zu der Projektmethode

Für den Stahl S700MC wird eine Wöhlerlinie nach FKM generiert. Die Wöhlerlinie gilt für die Verwendung des Strukturspannungskonzepts. Die Materialkennwerte für den Stahl S700MC sind für die Zugfestigkeit R_m 750 N/mm² und für die Streckgrenze R_e 700 N/mm².

Wöhlerlinie

Gener.FKM>> Gener. GL >> Ausfallwarsch. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=-1)

Rm (Biegung) 750,000 [N/mm²]
 Re (Zug-Druck) 700,000 [N/mm²]
 Steigung (*) 3,000
 Steigung 2 (*) 3,000
 Zug/Druck w. 92,000 [N/mm²]
 Dauerfestigkeit (*) 51,520 [N/mm²]
 Ecklastspielzahl (*) 5000000
 Mittelspannungsempf. (*) 0,1500000
 Belastung (*) Biegung
 Werkstoff Feinkombastahl
 Ausfallwahrscheinlichkeit 2,5000 [%]
 ZDw/Tw (*, nur MUX) 1,60240

Identifikation
 Kurzname S700MC
 Werkstoffnummer 1,8974
 Bemerkung

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

dynamische Schweißnähte nach FKM

☐ Kerbspannungskonzept ☒ Strukturspannungskonzept

Werkstoff Feinkombastahl
 Schutzschichtdicke 0,00 [µm]
 Belastung Biegung
 Bauteilform flächenförmig
 Rm 750,000 [N/mm²]
 Re 700,000 [N/mm²]
 Bauteilklasse 100 ?
 Kv 1,000 ?
 Temperatur 20,0 [°C]
 Eigenspannungen mäßig
 Eigenspannungsfaktor 1,00 ?
 Blechdicke 7,10 [mm]
 Art der Schweißverbindung Fall 1 ?
☐ Sicherheitsfaktor (j) automatisch generieren ?
 Bruchdehnung 0,010 [%]
 Sicherheitsfaktor (j) 1,0000

generieren

Bild 22-9:Definition der Wöhlerlinie nach FKM

Änderungen in der FKM-Richtlinie führen in der neuen Version zu $Z_{dw}/T_w = 1,61119$. Um zu denselben Ergebnissen wie in dem Video zu kommen, muß $Z_{dw}/T_w = 1,60240$ eingegeben werden, falls die Generierung nachvollzogen werden soll.

Der Belastungsverlauf wird anschließend für die beiden Lastfälle mit einem Multiplikator eingetragen. In diesem Beispiel wird der Wert von 2000 als Multiplikator gewählt.

Zylen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor 1

Index	Datei	Multiplikator	Wiederholungen	Spalte	1. Datenreihe	Bereich
1	Lastverlauf_Seitenlast.fme	2000	1	1	2	
2	Lastverlauf_Horizontallast.fme	2000	1	1	2	

Bild 22-10:Angabe der Belastungsverläufe

In dem Menü FE-Schnittstelle sind die Ergebnisse aus der FE-Simulation anzugeben. Es werden die vorher erzeugten LST Dateien für die beiden Lastfälle eingetragen.

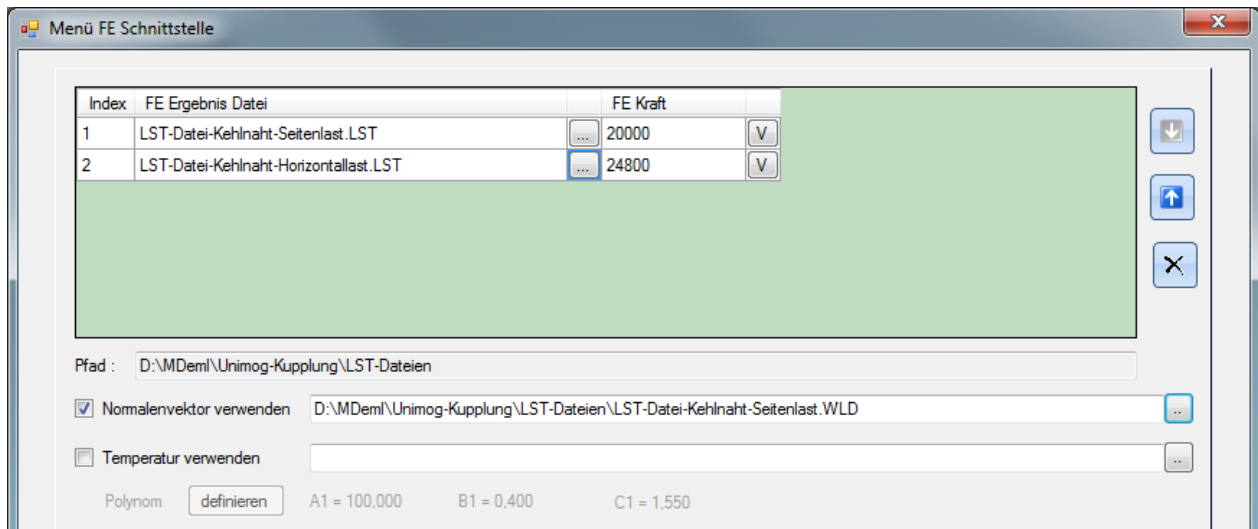


Bild 22-11: Angabe der FE-Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen als Berechnungsparameter.

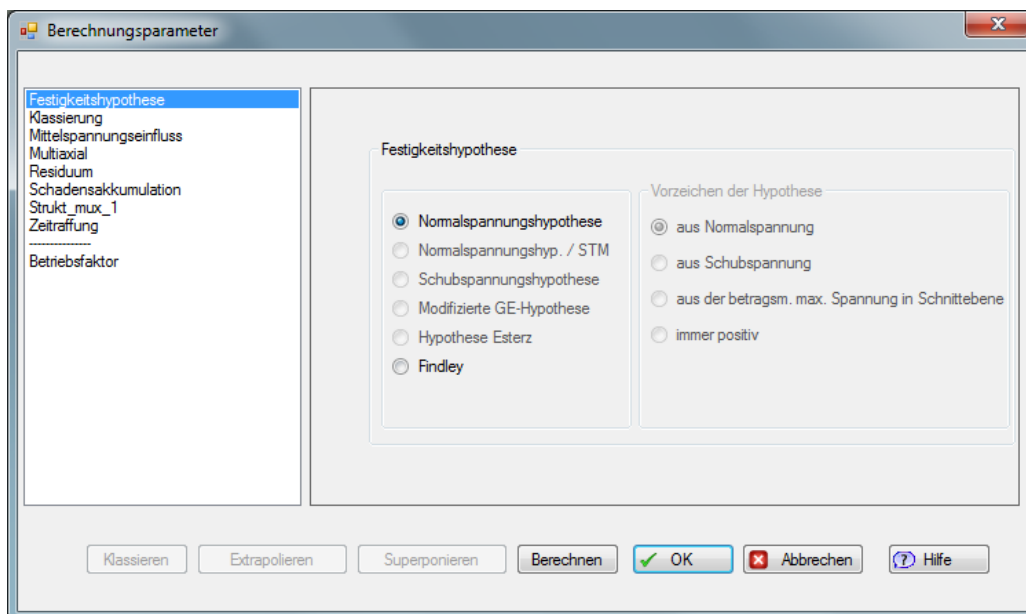


Bild 22-12: Wahl der Festigkeithypothese

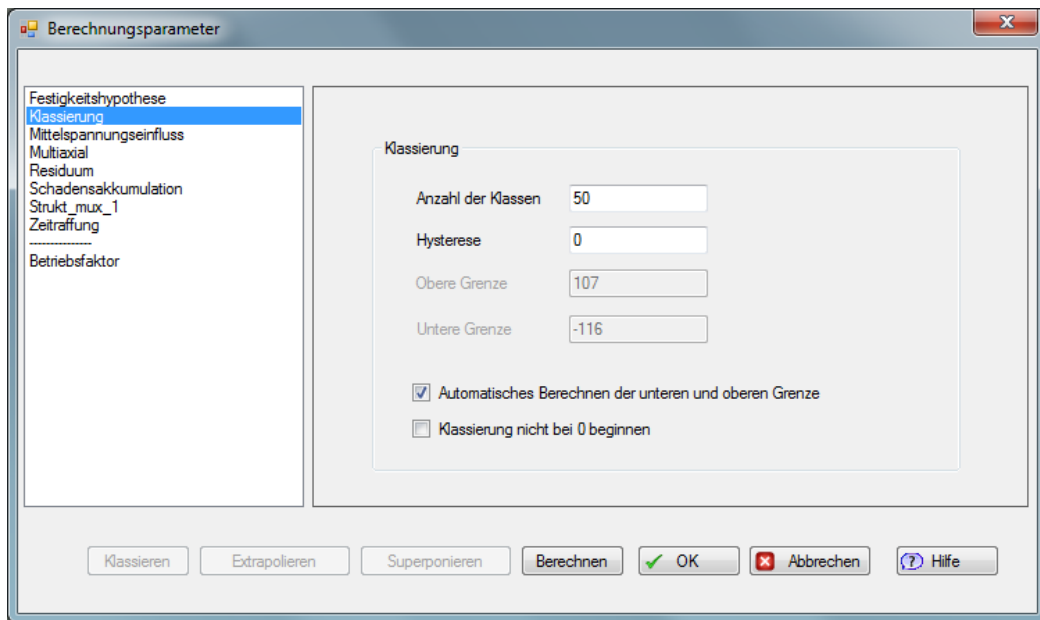


Bild 22-13: Angaben zur Klassierung

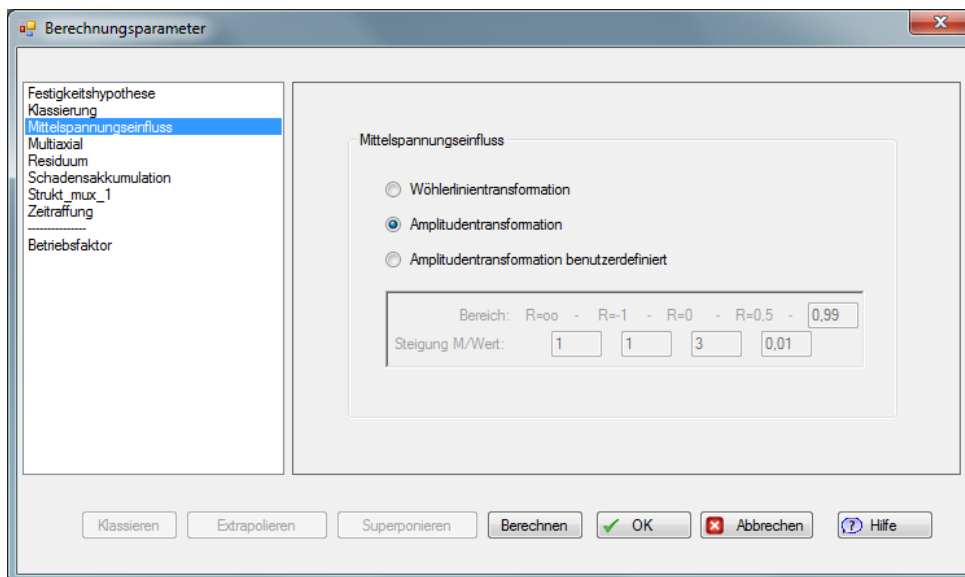


Bild 22-14: Angabe zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses

Bei den Angaben zur Schadensakkumulation sollte die Option „Zugfestigkeit nicht beachten“ gesetzt werden.

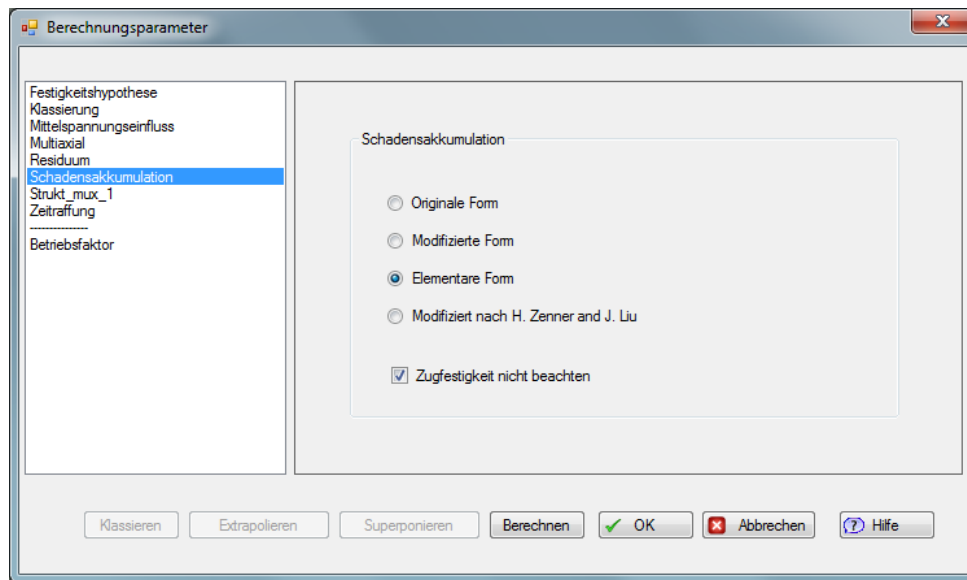


Bild 22-15: Einstellungen zur Schadensakkumulation

22.3. Ergebnis

Schadenssumme

Mit den gewählten Angaben erfolgt in winLIFE 4.0 nun die Berechnung der Lebensdauer der Kehlnaht. Es ergibt sich eine maximale Schadenssumme im Knoten Nr. 5445 in Höhe von 0,00567. Damit tritt nach $1/0,00567 = 176,4$ Belastungszyklen das Versagen auf.

Die maximal berechnete Schadenssumme im Knoten:

5445(VOLUMEN) beträgt 0,00567

Es können 176,4 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.
Betriebsfaktor(1,000) = 5,6083
vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000 \%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

Projekt: Anhaengekupplung_Struktur.pwlf
Protokoll: D:\MDem\Unimog-Kupplung\Anhaengekupplung_Struktur.ppk
Berechnet am: Keine Protokolldatei gefunden.

Methode:
Bauteil: Geschweißt
Belastung: Mehrachsige uniaxial - Kräftebelastung
Methode: Kerbspannung

Wöhlerlinie:
Kurzname: S700MC
Belastung (*): Biegung
Rm: 750,000
Re: 700,000
K: 3,000
Werkstoff:
Dauerfestigkeit (*): 51,520
Ecklastspielzahl (*): 5000000
Werkstoffnummer: 1,8974
Ausfallwahrscheinlichkeit: 2,5000
Zug/Druck w.: 92,000
Mittelspannungsempf. (*): 0,1500000
Zdw/Tw: 1,60240

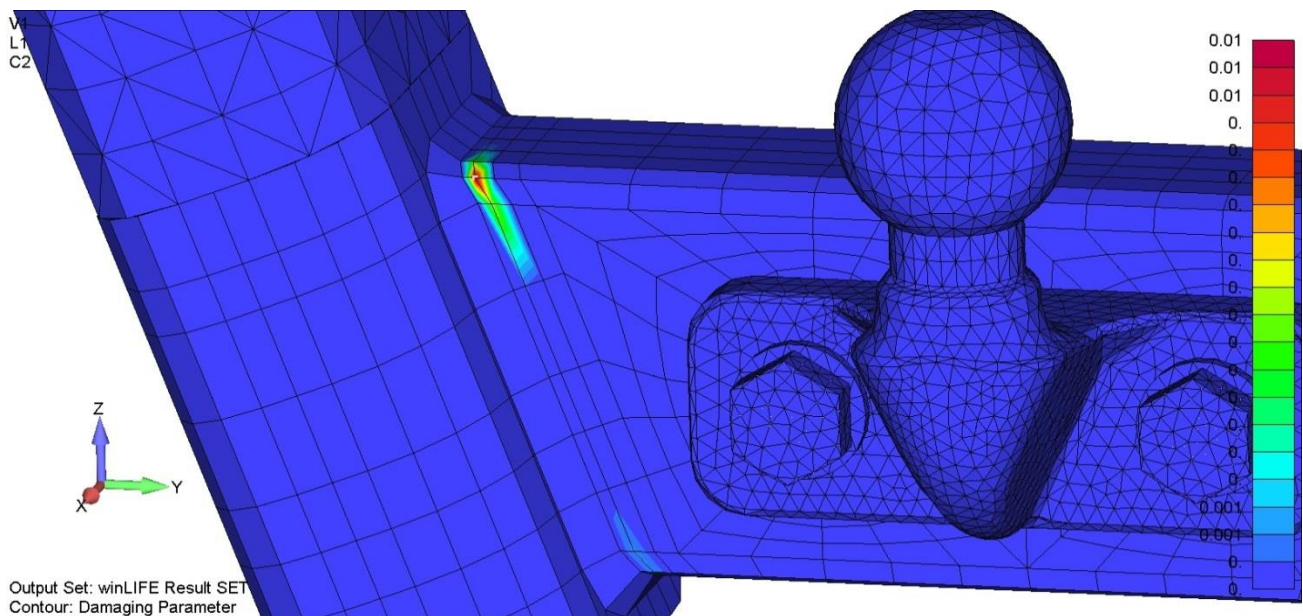
Berechnungsparameter:
Klassierung
Anzahl der Klassen: 50
Obere Grenze: 113
Residuum berücksichtigen: nein
Amplitudentransformation
Elementare Form
Normalspannungshypothese algebr. größter Wert
Normalspannung
Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor: 1
Hysteresis: 0
Untere Grenze: -121
Nachklassierung des Residuum: nein
Zugfestigkeit nicht beachten: ja

Einheiten
Spannung: 1 [[N/mm²]]

Belastungshohe
Normalenvektor Datei:
L1: Lastverlauf_Seitenlast.fme
Multiplikator: 2000
1. Datenreihe: 2
FE: LST-Datei-Kehlnaht-Seitenlast.LST
FE - Kraft: 20000
D:\MDem\Unimog-Kupplung\LST-Dateien\LST-Datei-Kehlnaht-Seitenlast.WLD
Spalte: 1
Zeitraffung: nein
L2: Lastverlauf_Horizontallast.fme
Multiplikator: 2000
1. Datenreihe: 2
FE: LST-Datei-Kehlnaht-Horizontallast.LST
FE - Kraft: 24800
Spalte: 1
Zeitraffung: nein

größte Schadenssumme

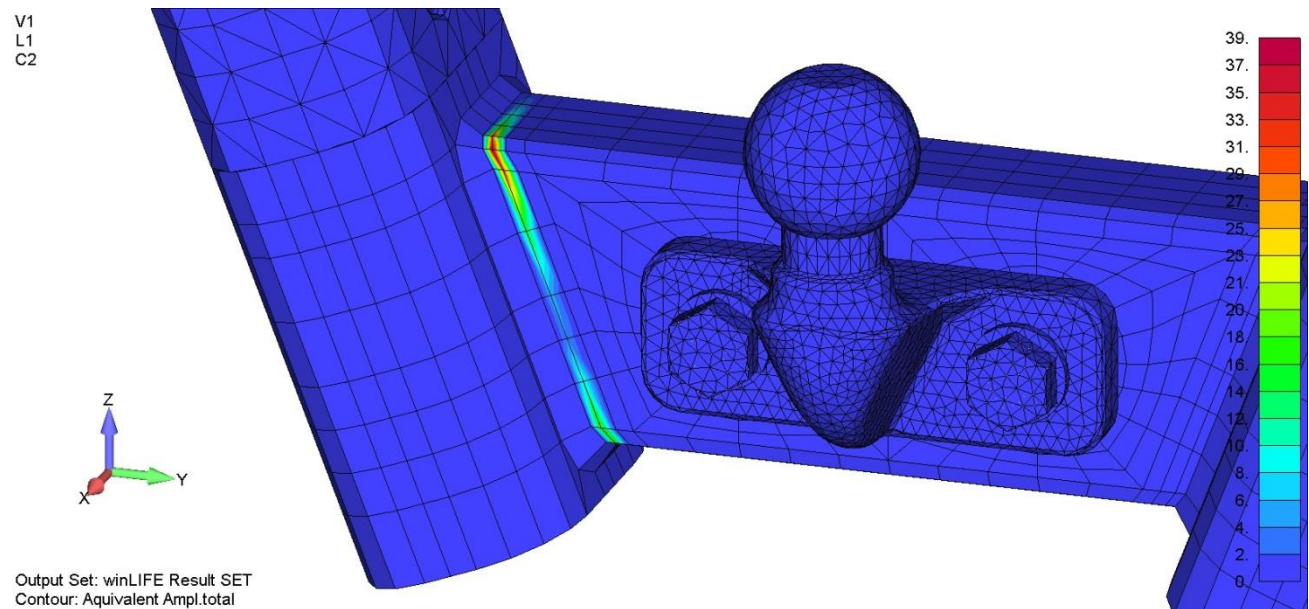
Die bei der Berechnung in winLIFE 4.0 entstehende Ergebnisdatei *.NEU wird in Femap zur Visualisierung der Schadenssumme und des Auslastungsgrads eingelesen. Es ergibt sich das folgende Bild für die Verteilung der Schadenssumme an der Kehlnaht mit dem Maximum für den Knoten Nr. 5445 in Höhe von 0,00567 im Eckbereich des Rechteckprofils.



Schadenssumme

22.3.2. Äquivalente Amplitude

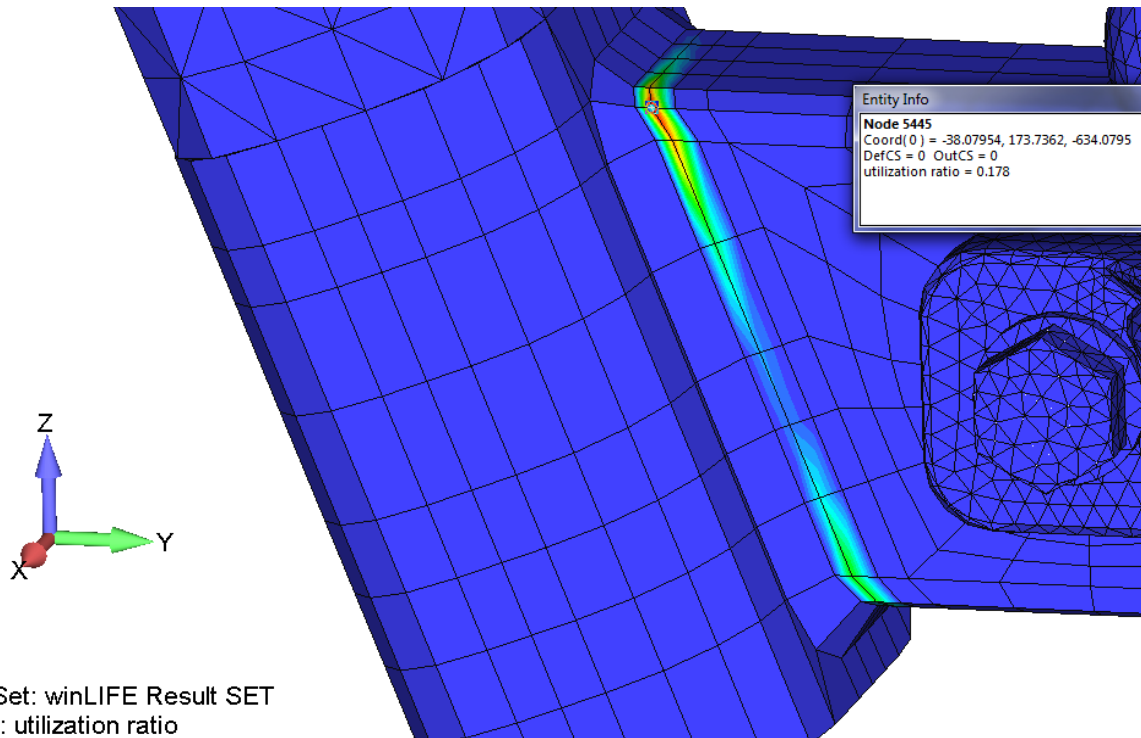
Die Beanspruchung lässt sich auf eine schädigungsgleiche Lastamplitude umrechnen wie in folgender Abbildung dargestellt.



äquivalente Amplitude

22.3.3. Auslastungsgrad

Der Auslastungsgrad ist in folgender Abbildung dargestellt. Ein Auslastungsgrad von 0,178 bedeutet eine 17,8%-Ausnutzung der Dauerfestigkeit.



Auslastungsgrad der Kehlnaht

22.3.4. Gesamtstruktur

Der komplette Kugelkopfanhängebock soll nun vereinfacht hinsichtlich Lebensdauer untersucht werden. Dabei wird für das komplette Modell, also auch für die Schweißungen, Stahl im Grundzustand verwendet.

Es ergibt sich die Schädigungssumme und die äquivalente Amplitude wie in den folgenden Abbildungen dargestellt. Wie man erkennt, bewirkt bereits die Geometrie der Schweißnähte eine Schädigungszunahme im Eckbereich zwischen U-Profil und Rechteckprofil. Bei diesen Ergebnissen für die Gesamtstruktur ist die Festigkeitsabnahme des Werkstoffs in den Schweißungen wie bereits erwähnt nicht berücksichtigt.

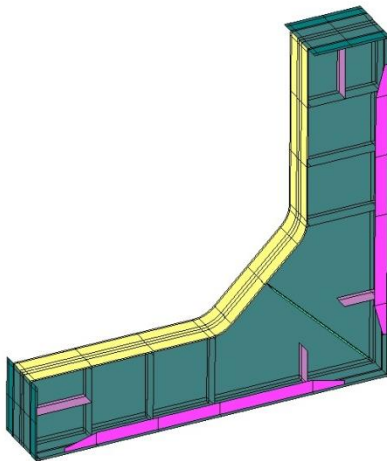
23. Beispiel 22 / Hot Spot Suche an einer geschweißten Rahmenecke

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

23.1. Aufgabenstellung

23.1.1. Bauteilgeometrie

Eine Rahmenecke aus dem Schiffbau soll hinsichtlich der Festigkeit ihrer Schweißverbindungen untersucht werden. Hierbei wird zunächst eine Suche nach den kritischen Stellen der Schweißnähte durchgeführt. Diese Suche erfolgt nach dem Hot-Spot Suchverfahren. Diese Lebensdauerergebnisse werden anschließend verglichen mit den Berechnungsergebnissen nach dem Strukturspannungskonzept. Die Geometrie des Rahmenelements ist dem Buch “Fatigue assessment of welded joints by local approaches” [47] von D. Radaj und C.M. Sonsino entnommen.



Geometrie des geschweißten Rahmenelements

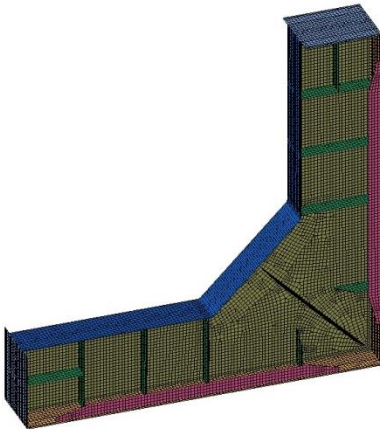
23.1.2. Werkstoffdaten

Als Werkstoffe werden niedrigfeste Stähle der Gruppe S235JR verwendet.

Werkstoffname:	S235JR
E-Modul:	ca. 210.000 MPa
Re	≥ 235 MPa
Rm	≥ 360 MPa
Querkontraktionszahl:	0,3

23.1.3. Modellbildung

Das Modell ist aus ebenen plate-Elementen aufgebaut. Für die Anwendbarkeit der „Hot-Spot Suche“ ist bei der Vernetzung darauf zu achten, dass Bleche, die durch Schweißnähte verbunden sind, unterschiedlichen Properties zugewiesen werden. Hinsichtlich der zu erzielenden Aussagekraft dieses Verfahrens orientiert sich die Elementkantenlänge an den Blechdicken. Wie bei Betrachtung des Modells ersichtlich ist, werden in den Bereichen der Schweißnähte bevorzugt Viereckselemente verwendet.



Finite-Elemente Modell mit unterschiedlichen Blech-Properties

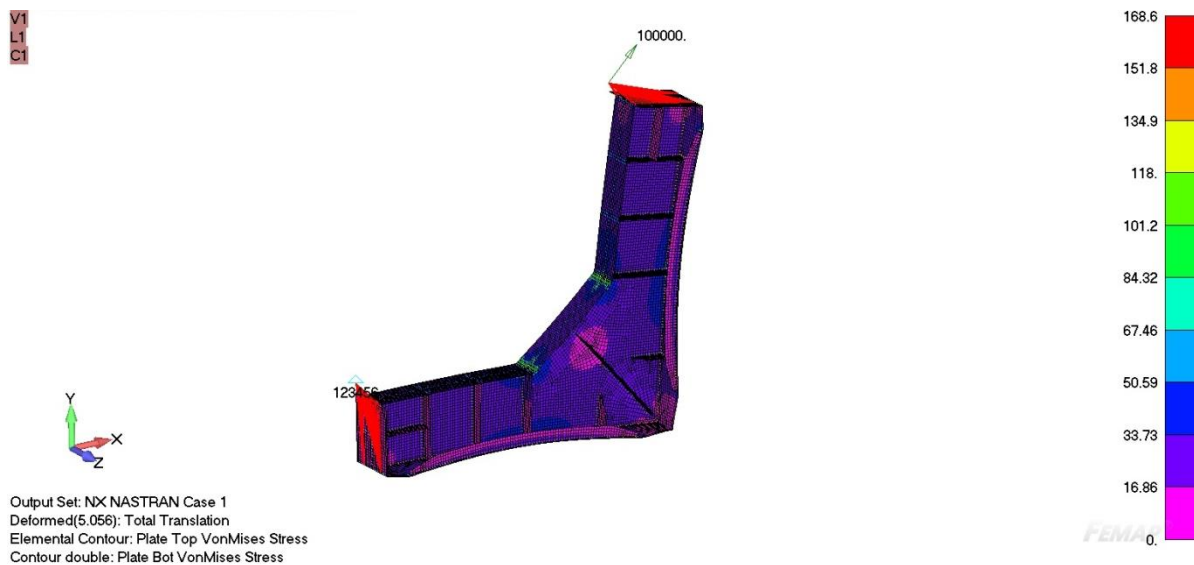
23.1.4. Bauteilbelastung

An den Enden der Struktur wirkt eine zeitlich veränderliche Last. Wir werden eine schwellende Belastung untersuchen und einen Belastungsverlauf der in der Praxis realistischer ist.

In Femap wird dazu ein Einheits-Lastfall definiert, der später in winLIFE 4.0 skaliert wird.

Lastfall	Belastungsart	Last
1	Zugkraft	Kraft $F = 100.000$ N

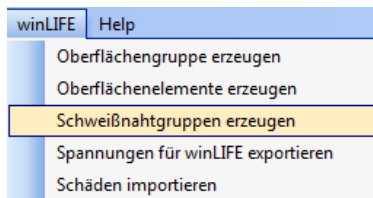
Die sich ergebenden Vergleichsspannungen für die Einheitslast sind in folgender Abbildung gezeigt.



Vergleichsspannungen unter Zugbelastung

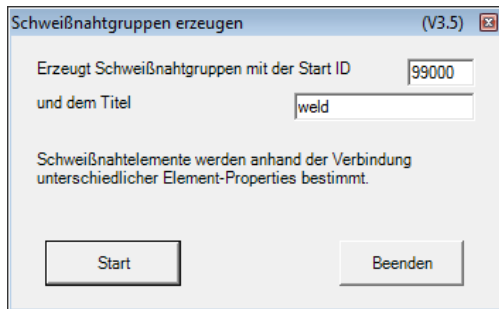
23.1.5. Schweißnahtidentifikation

Die unterschiedlichen Properties der Bleche ermöglichen nun die Identifikation von Schweißnähten. Dabei werden Bleche gesucht, die miteinander durch Knoten verbunden sind. Die gefundenen Knoten sind Stöße der Bleche und kennzeichnen die Schweißnähte. Es werden alle Elemente, die an diesen Knoten der Stöße liegen zu Schweißnahtgruppen zusammengefaßt. Die Erzeugung der Gruppen erfolgt mit dem Befehl „Schweißnahtgruppen erzeugen“ aus dem winLIFE 4.0 Menü.



Befehl Schweißnahtgruppen erzeugen

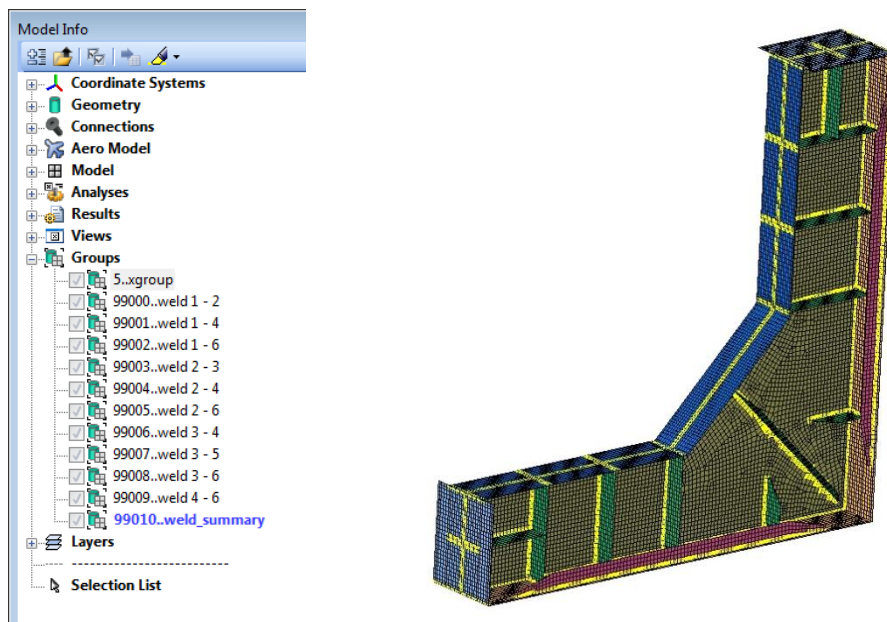
Im folgenden Fenster werden die Startnummer und die Titel für die zu erzeugenden Gruppen festgelegt.



Festlegen der Gruppenparameter

Daraufhin erscheint das Femap Dialogfenster und es wird die Auswahl der zu betrachtenden Elemente durchgeführt. Hier wählen wir „Select All“.

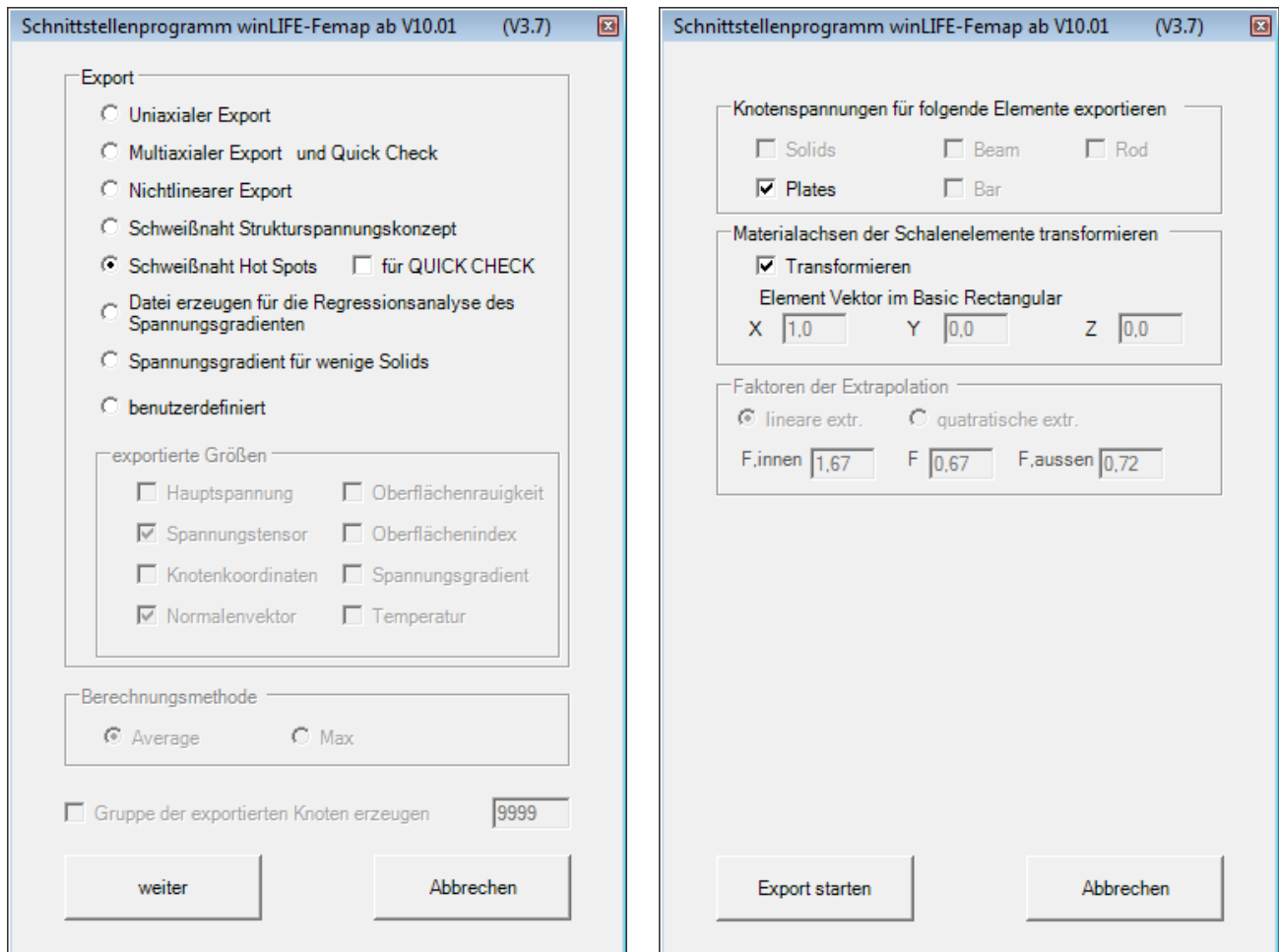
In Femap werden Schweißnahtgruppen nach dem oben beschriebenen Suchverfahren angelegt wie in folgender Darstellung gezeigt.



identifizierte Schweißnahtelemente

23.2. Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Hot Spot Suchverfahren

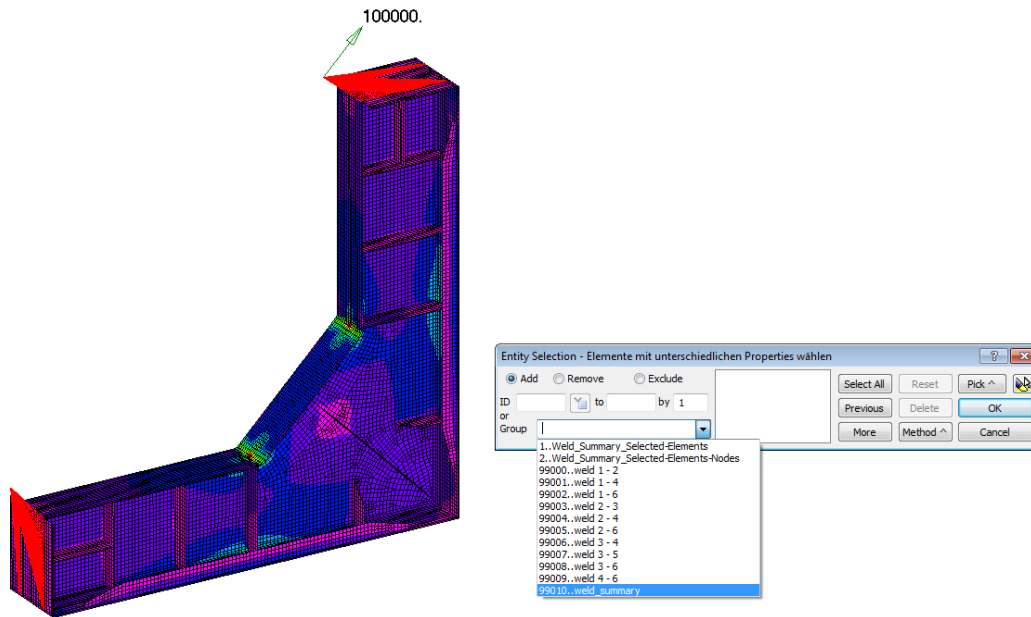
Nach dem Hot-Spot Suchverfahren werden jetzt Elementspannungen aus Femap exportiert. Hierzu wird das Schnittstellenprogramm winLIFE – Femap aufgerufen (siehe Abbildung). In dem Dialogfenster wird der Punkt „Schweißnaht Hot Spot“ gewählt. Das Verfahren ist nur für plate Elemente verfügbar. Standardmäßig wird die Transformation der Materialachsen aktiviert.



Wahl der Exportoptionen

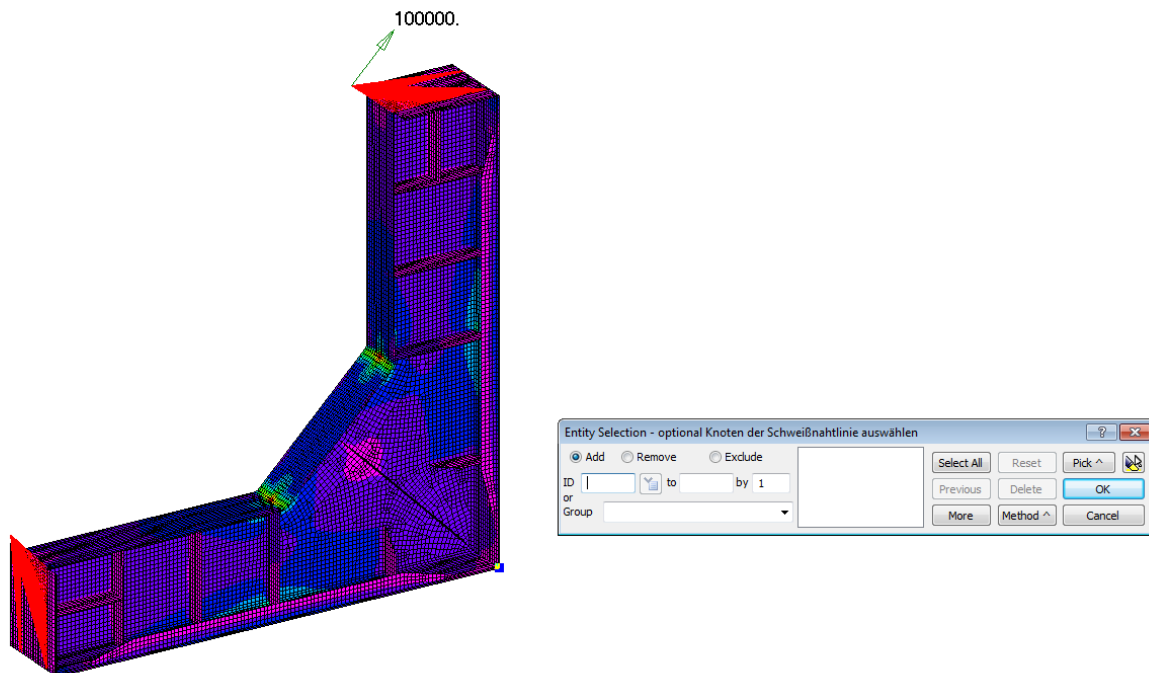
Der Export der Spannungen wird für den in Femap vorliegenden Lastfall durchgeführt.

Im folgenden Dialogfenster können die zuvor erzeugten Nahtgruppen gewählt werden und bei Bedarf noch weitere Elemente. Die Schweißnähte werden nun identifiziert durch die unterschiedlichen Properties der verbundenen Bleche wie oben geschildert.



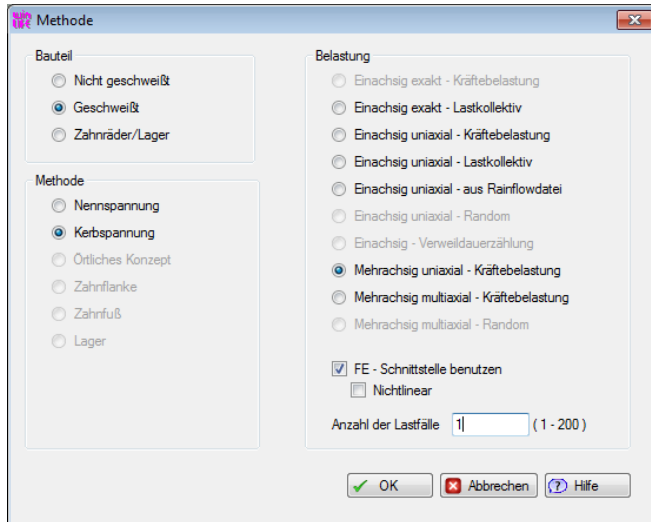
Wahl von Schweißnahtelementen für den Spannungsexport

In einer weiteren Selektion können Knoten einer Schweißnaht direkt gewählt werden. Diese Selektion bietet sich besonders dann an, wenn die miteinander verbundenen Bleche keine unterschiedlichen Properties haben und damit eine Schweißnahtsuche über Properties nicht erfolgen kann. In unserem Modell braucht keine Selektion von Schweißnahtknoten durchgeführt werden, da alle Schweißnähte durch den zuvor verwendeten Befehl „Schweißnahtgruppen erzeugen“ gefunden wurden. Der Export der Spannungen durchgeführt.



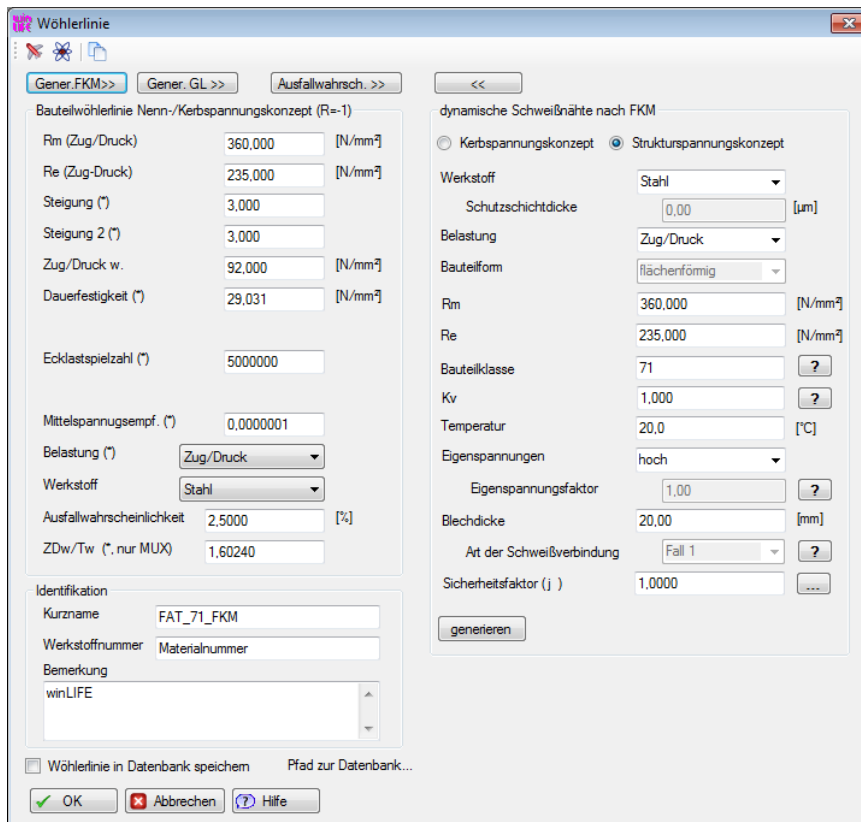
Knotenauswahl am FE-Modell

In winLIFE 4.0 wird ein neues Projekt angelegt und es erfolgt die Angabe der Projektmethode. Es wird die Einstellung „Geschweißt“ gewählt und als Methode „Kerbspannung“. Als Belastung wird „Mehrachsig uniaxial – Kräftebelastung“ eingestellt. Die FE-Schnittstelle wird mit einem Lastfall verwendet.



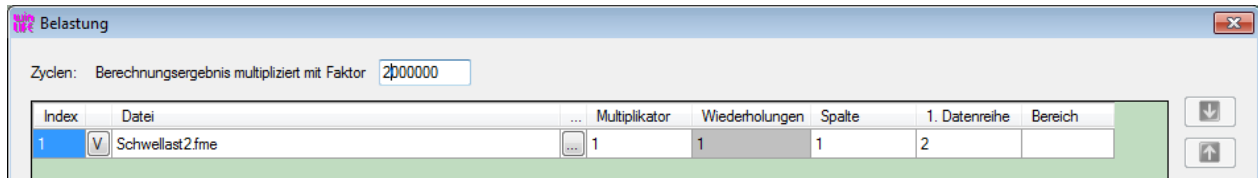
Einstellungen zu der Projektmethode

Für den Stahl S235JR wird eine Wöhlerlinie nach FKM generiert. Die Wöhlerlinie gilt für die Verwendung des Strukturspannungskonzepts. Die Materialkennwerte für den Stahl S235JR betragen für die Zugfestigkeit R_m 360 N/mm² und für die Streckgrenze R_e 235 N/mm². Es wird die Bauteilklasse (FAT-Klasse) 71 gewählt.



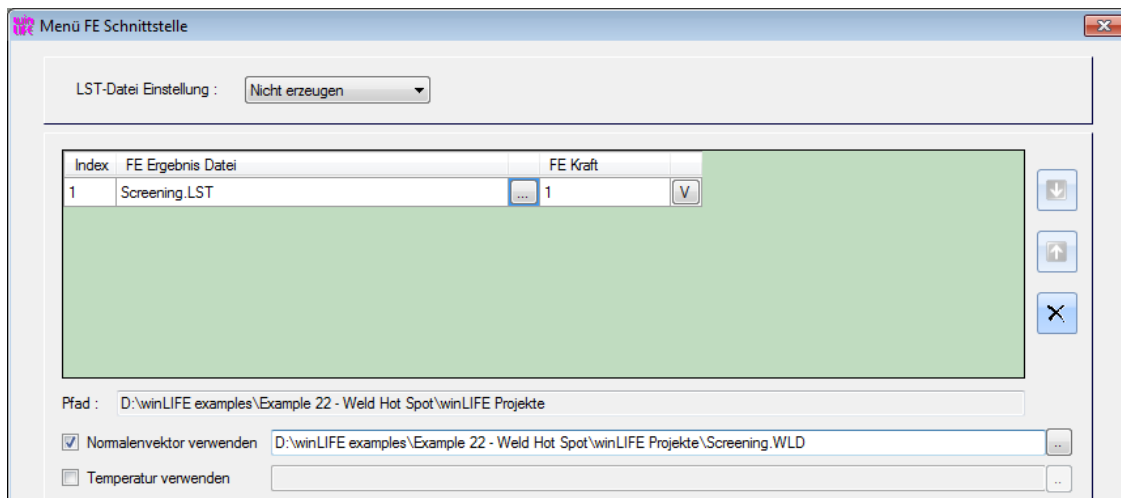
Definition der Wöhlerlinie nach FKM

Der Belastungsverlauf wird anschließend für den Lastfall mit einem Multiplikator eingetragen. In diesem Beispiel wird das Berechnungsergebnis mit dem Wert 2000000 multipliziert.



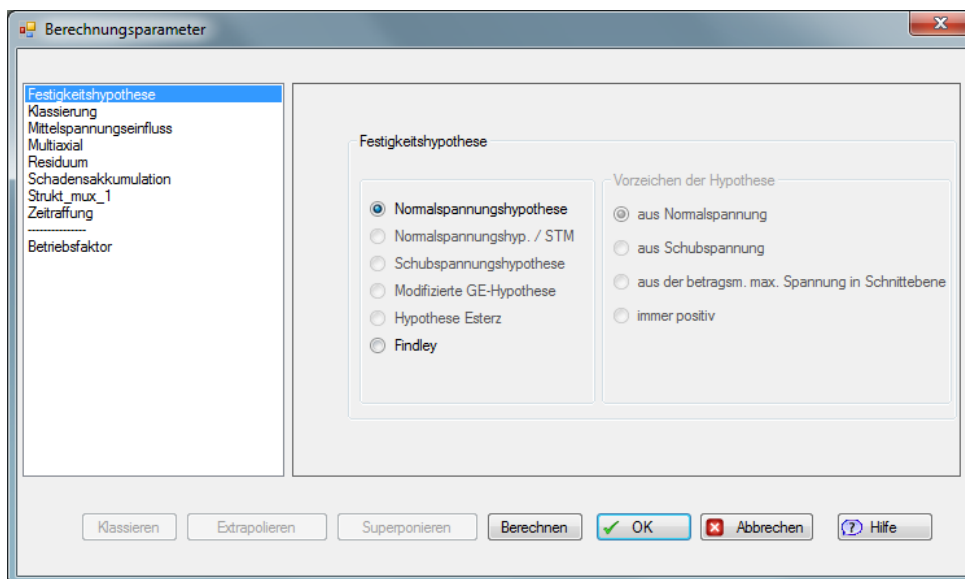
Angabe des Belastungsverlaufs

In dem Menü FE-Schnittstelle sind die Ergebnisse aus der FE-Simulation anzugeben. Es wird die vorher erzeugte LST-Datei für die Zuglast eingetragen.



Angabe der FE-Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen als Berechnungsparameter.



Wahl der Festigkeithypothese

The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Klassierung' tab selected. The left sidebar lists various parameters, with 'Klassierung' highlighted. The main area contains the following settings:

- Anzahl der Klassen: 100
- Hysteresis: 0
- Obere Grenze: 101
- Untere Grenze: 0
- ☒ Automatisches Berechnen der unteren und oberen Grenze
- ☒ Klassierung nicht bei 0 beginnen

At the bottom, there are buttons for 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Angaben zur Klassierung

The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Mittelspannungseinfluss' tab selected. The left sidebar lists various parameters, with 'Mittelspannungseinfluss' highlighted. The main area contains the following settings:

- ☐ Wöhlerlinientransformation
- ☒ Amplitudentransformation
- ☐ Amplitudentransformation benutzerdefiniert

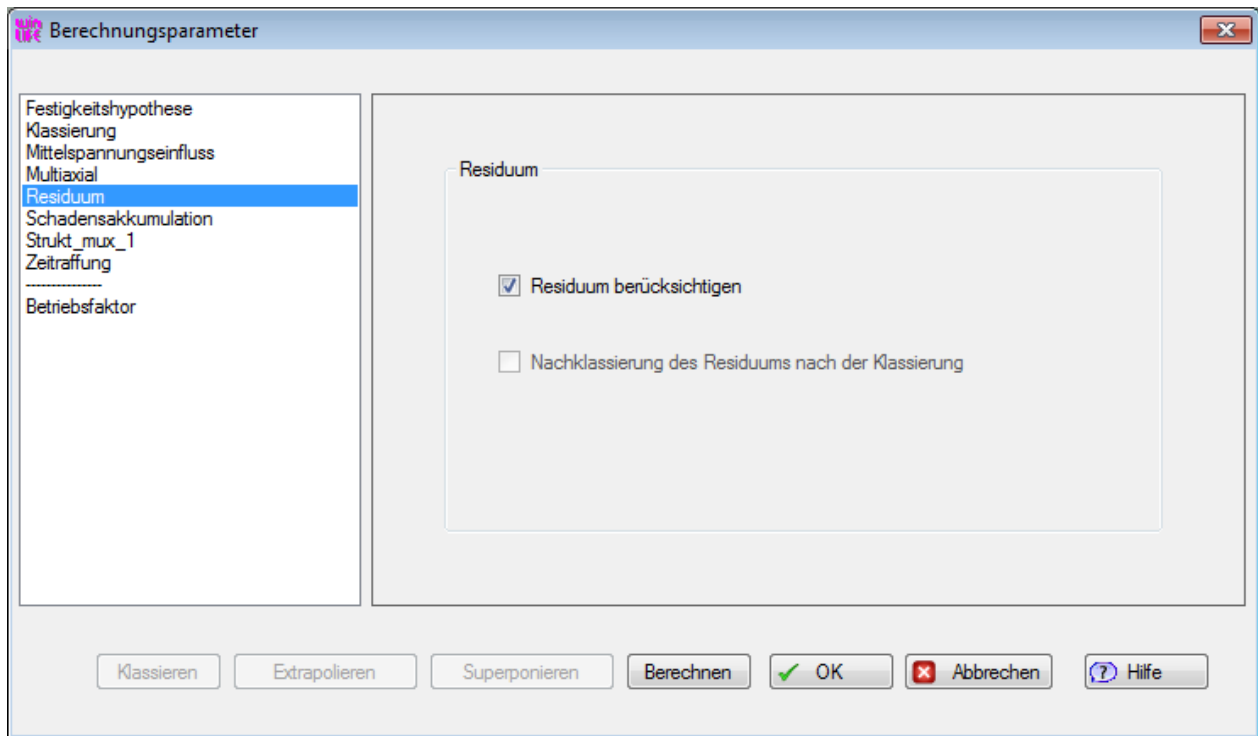
Below the radio buttons, there is a section for 'Bereich' and 'Steigung M-Wert':

Bereich: $R=\infty$ - $R=-1$ - $R=0$ - $R=0,5$ - 0,99

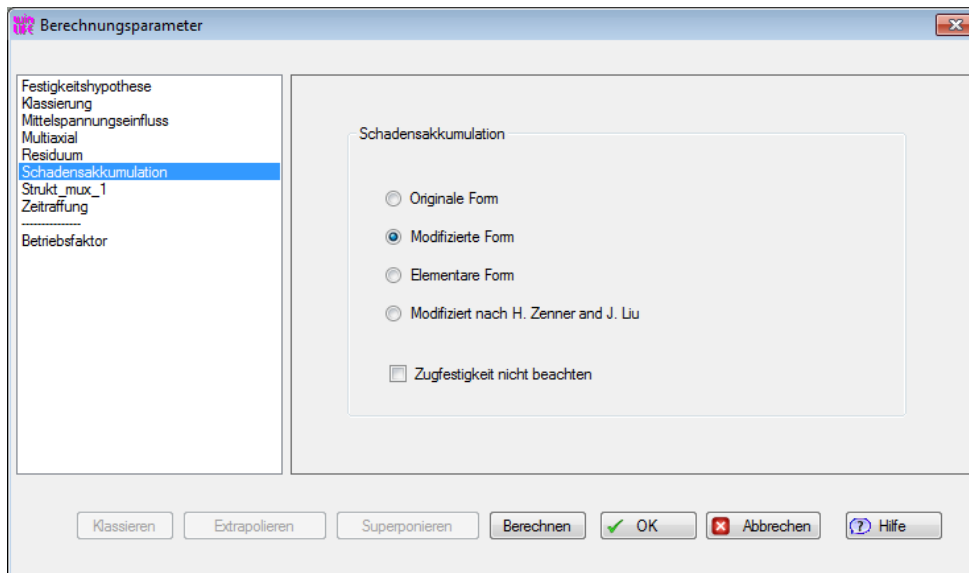
Steigung M-Wert: 1 1 3 0,01

At the bottom, there are buttons for 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

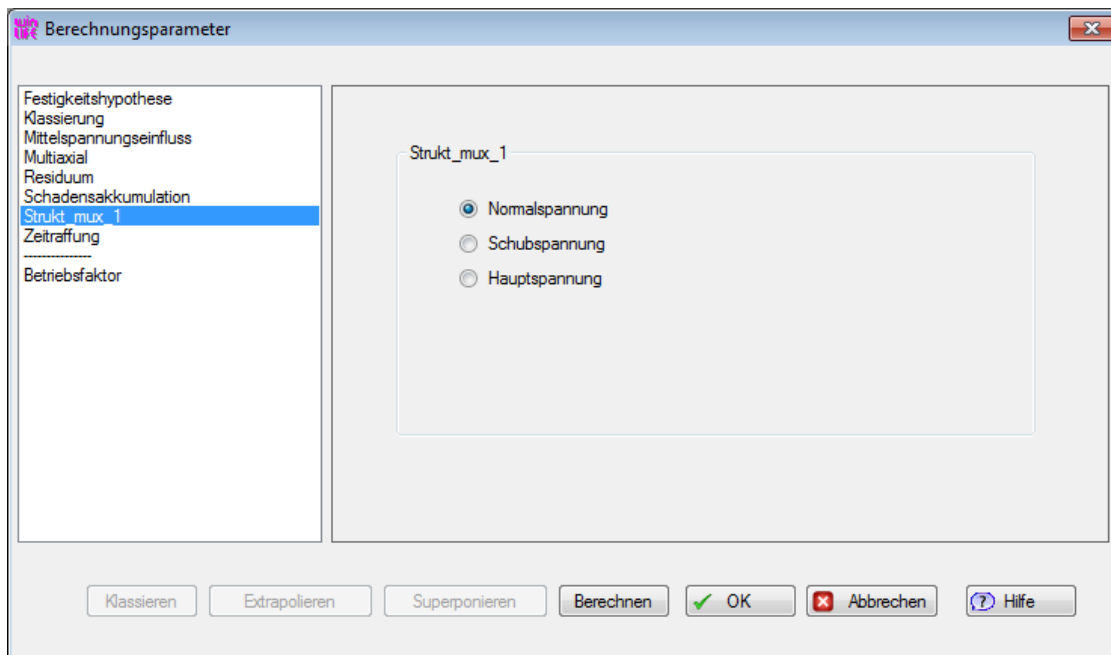
Angaben zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses



Berücksichtigung des Residuums



Einstellungen zur Schadensakkumulation



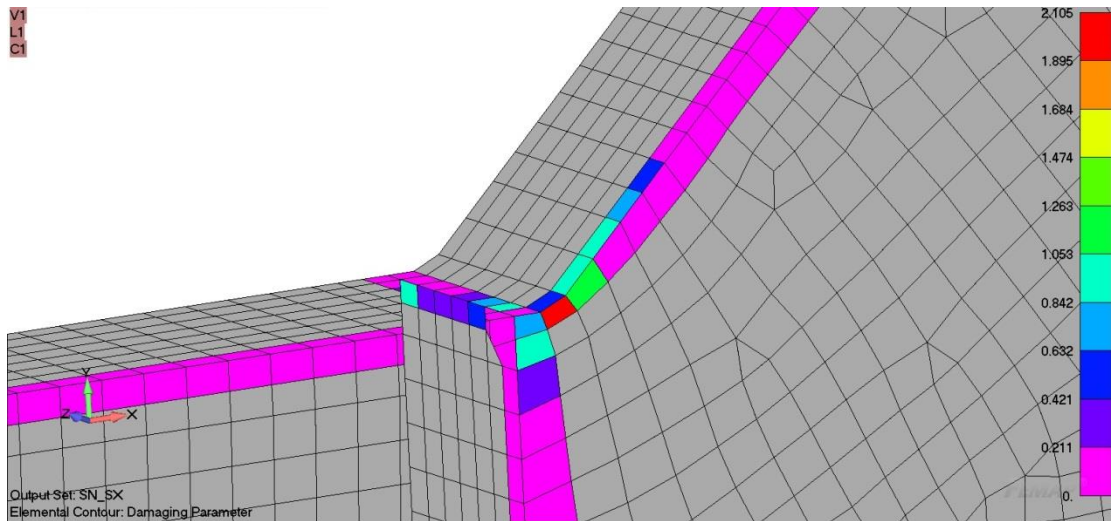
Einstellungen zur Multiaxialität

23.3. Ergebnis Hot Spot

23.3.1. Schadenssumme

Mit den gewählten Angaben erfolgt in winLIFE die Berechnung der Lebensdauer der Schweißnähte nach dem Hot-Spot Suchverfahren. Die bei der Berechnung in winLIFE entstehende Ergebnisdatei *.NEU wird in Femap zur Visualisierung der Schadenssumme und des Auslastungsgrads eingelesen.

Es tritt eine maximale Schadenssumme von 2,105 zwischen dem Obergurt und dem Steg auf (siehe Abbildung). Eine Schadenssumme von 0,922 tritt zwischen Obergurt und Quersteife auf.



Schadenssummen nach dem Hot-Spot Suchverfahren

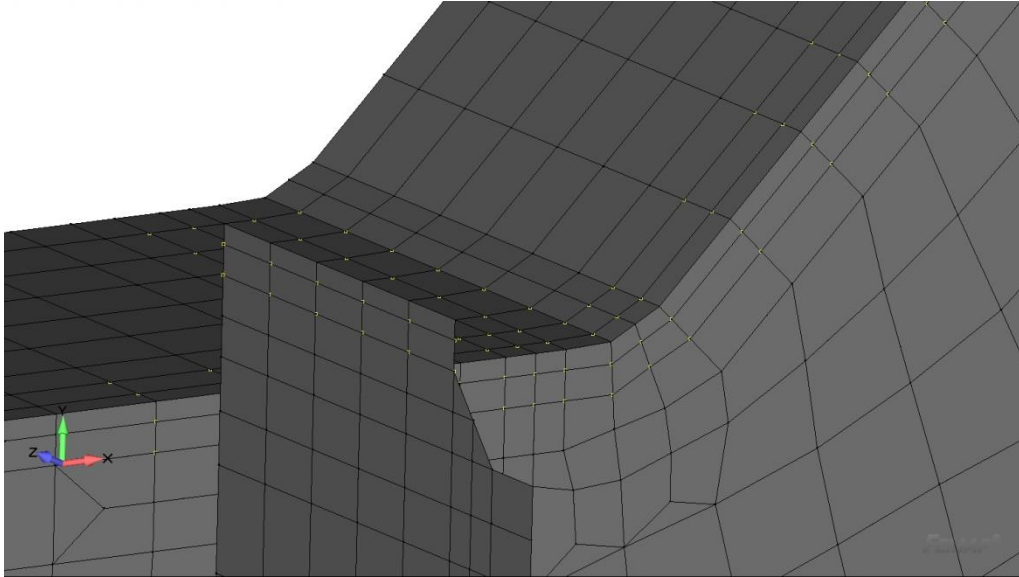
23.4. Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Strukturspannungskonzept

Nun wird eine Berechnung der Lebensdauer nach dem Strukturspannungskonzept durchgeführt.

23.4.1. Modellbildung

Das Modell ist ebenfalls aus ebenen plate-Elementen aufgebaut. Für das Strukturspannungskonzept mit linearer Extrapolation werden dabei definierte Abstände der Knotenreihen von der Kehlnaht eingehalten wie die gelb markierten Knoten in der Abbildung zeigen.

Der Abstand der Knotenlinie 1 beträgt $0,4 \times$ Blechdicke von der Schweißnaht und der Abstand der Knotenlinie 2 beträgt $1 \times$ Blechdicke von der Schweißnaht. Es sind die jeweiligen Blechdicken zu verwenden.



Vernetztes Modell nach dem Strukturspannungskonzept

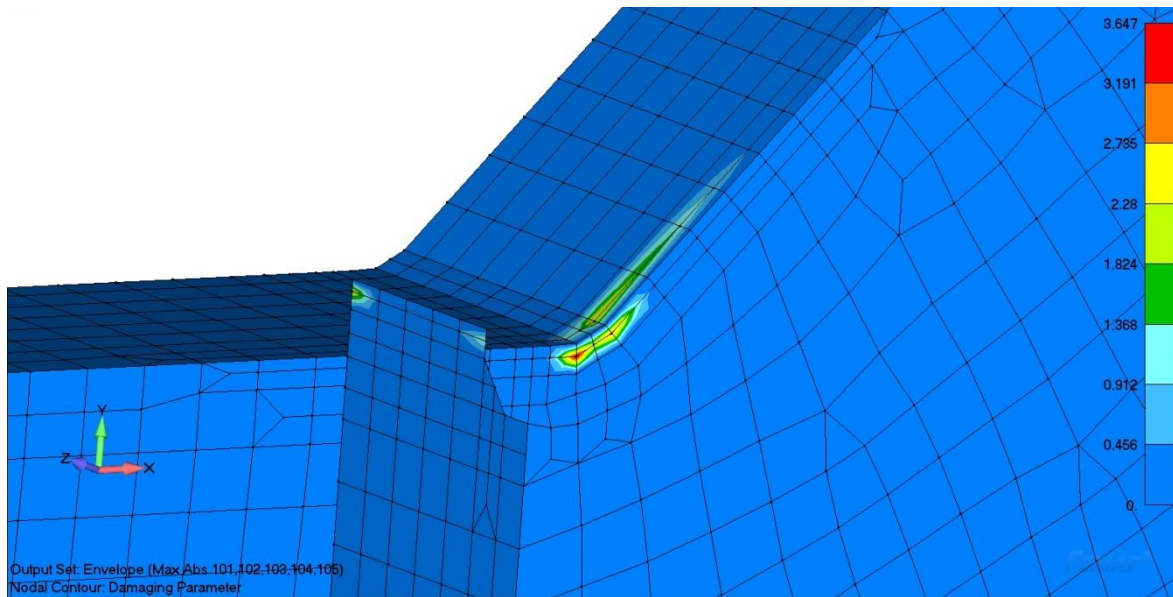
Die Spannungen werden nun entsprechend dem Vorgehen nach dem Strukturspannungskonzept exportiert und eine Lebensdauerberechnung in winLIFE durchgeführt. Das Beispiel 21 schildert den Ablauf einer rechnerischen Lebensdauerbestimmung nach dem Strukturspannungskonzept.

23.5. Ergebnis Strukturspannungskonzept

23.5.1. Schadenssumme

Mit den gewählten Angaben erfolgt in winLIFE 4.0 die Berechnung der Lebensdauer der Schweißnähte nach dem Strukturspannungskonzept. Das Verfahren wird für planare Elemente und für Volumenelemente angewendet.

Die bei der Berechnung in winLIFE 4.0 entstehende Ergebnisdatei *.NEU wird in Femap zur Visualisierung der Schadenssumme und des Auslastungsgrads eingelesen.



Schadenssummen nach dem Strukturspannungskonzept

Es tritt eine maximale Schadenssumme von 3,65 zwischen dem Obergurt und dem Steg auf. Eine Schadenssumme von 2,39 tritt zwischen Obergurt und Quersteife auf.

23.6. Ergebnis Vergleich Schadenssummen

Die Berechnungsergebnisse zwischen den einzelnen Verfahren werden nun verglichen. In folgender Tabelle sind die höchsten Schadenssummen für die unterschiedlichen Berechnungsverfahren eingetragen.

Verfahren	Extrapolationsart	Elementtyp	Schadenssumme Obergurt-Steg	Schadenssumme Obergurt-Quersteife
Hot-Spot Suche (Screening Verfahren)	keine	Plates 4 Knoten und 3 Knoten	2,11	0,92
Strukturspannungskonzept	linear	Plates 4 Knoten und 3 Knoten	3,65	2,39
Strukturspannungskonzept	quadratisch	Plates 4 Knoten und 3 Knoten	4,11	2,25
Strukturspannungskonzept	linear	Solid 8 Knoten	4,54	2,52

Die Stellen der höchsten Schadenssumme stimmen bei der Hot-Spot Suche und dem Strukturspannungskonzept überein.

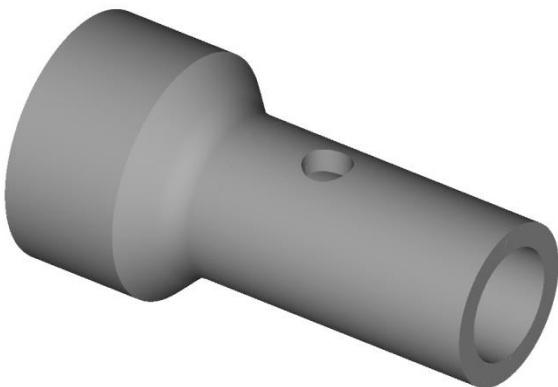
24. Beispiel 23 / rotierende Welle

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE-CD.

24.1. Aufgabenstellung

Bauteilgeometrie

Die folgende Abbildung zeigt eine abgesetzte Welle mit einer Innenbohrung und Querbohrung. Für dieses Bauteil soll eine Lebensdauerberechnung für eine Rotationsbewegung um die Mittelachse durchgeführt werden. Dabei soll auf das dünnere Wellenende zunächst eine stehende konstante Last wirken und anschließend eine zeitlich veränderliche Last. Die Rotation soll in diesem Beispiel verhältnismäßig langsam erfolgen, so dass Fliehkräfte unberücksichtigt bleiben.



Geometrie der rotierenden Welle

Werkstoffdaten

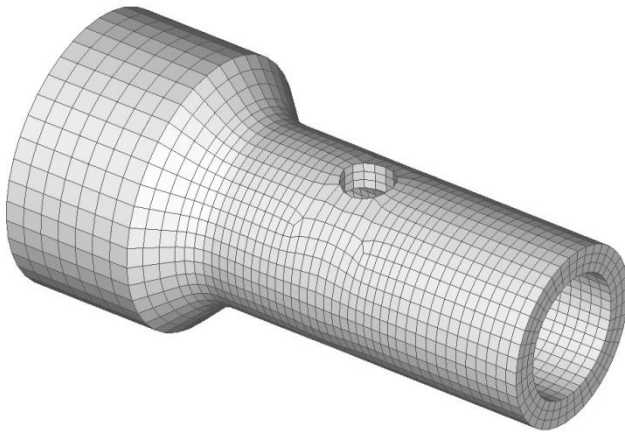
Es liegen folgende Materialangaben vor:

Werkstoffname: 42 CrMo 4
E-Modul: 210.000 N/mm²

Die Oberflächenrauigkeit beträgt $R_z = 100 \mu\text{m}$

24.2. Finite Elemente BerechnungModellbildung

Das FE-Modell wurde in Femap/NX NASTRAN so realisiert, dass für die Vernetzung Hexaeder Elemente Verwendung fanden. Das folgende Bild zeigt das FE-Modell mit der Netzaufteilung.

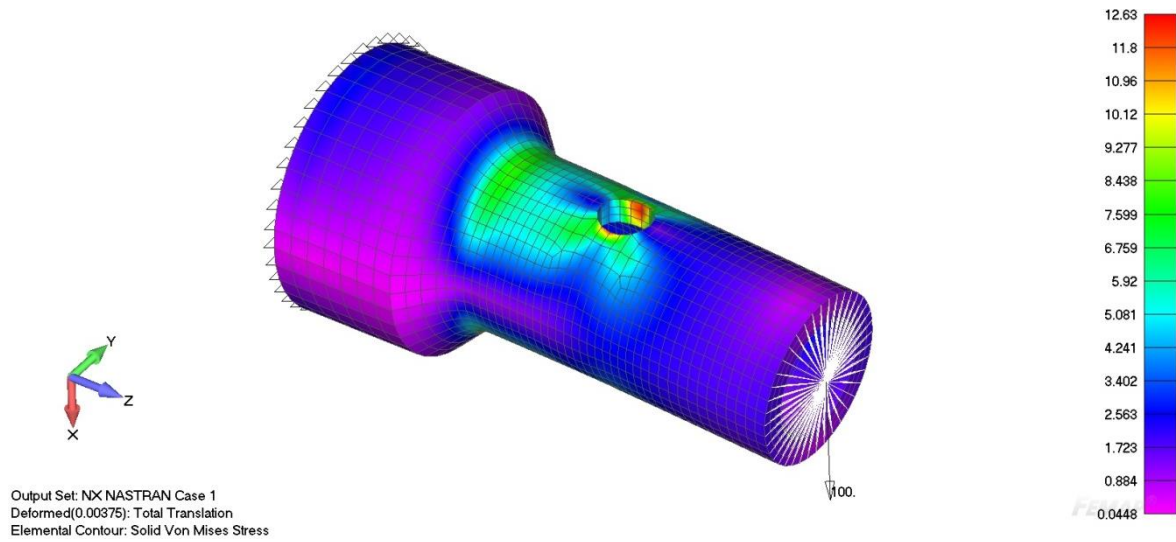


FE-Modell der rotierenden Welle

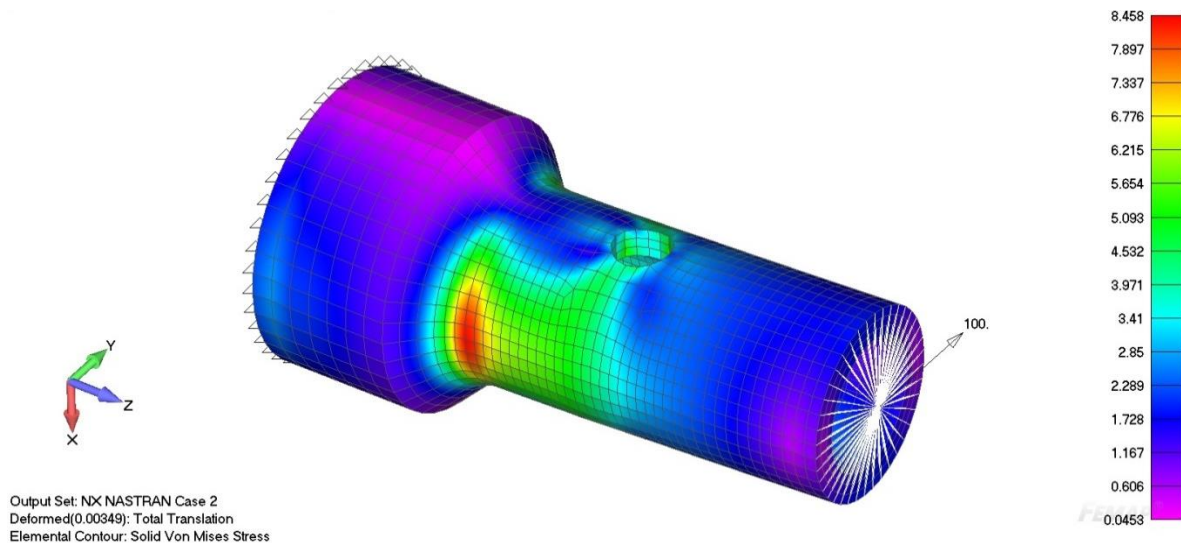
Bauteilbelastung (Einheitslasten)

In der Simulation wird nun für den Bewegungs- und Belastungsverlauf der Welle eine veränderte Betrachtungsweise herangezogen. Anstelle der Drehbewegung der Welle mit stehender Last wird die Sichtweise genau umgedreht: Die Welle steht und die Last rotiert um die Welle.

Dabei wird die Belastung der nun feststehenden Welle in Winkelinkrementen aufgegeben. In diesem Beispiel wird ein Winkelfenster von 90° gewählt und es ergeben sich damit Lastangriffswinkel von 0°, 90°, 180° und 270° für eine Einheitslast von 100N. Die kontinuierliche Rotationsbewegung wird also durch vier Lastfälle abgebildet. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die Vergleichsspannungen im Bauteil unter einer Last von 100N bei 0° und 90° Lastangriffswinkel.



belastete Welle unter 0° Lastangriffswinkel



belastete Welle unter 90° Lastangriffswinkel

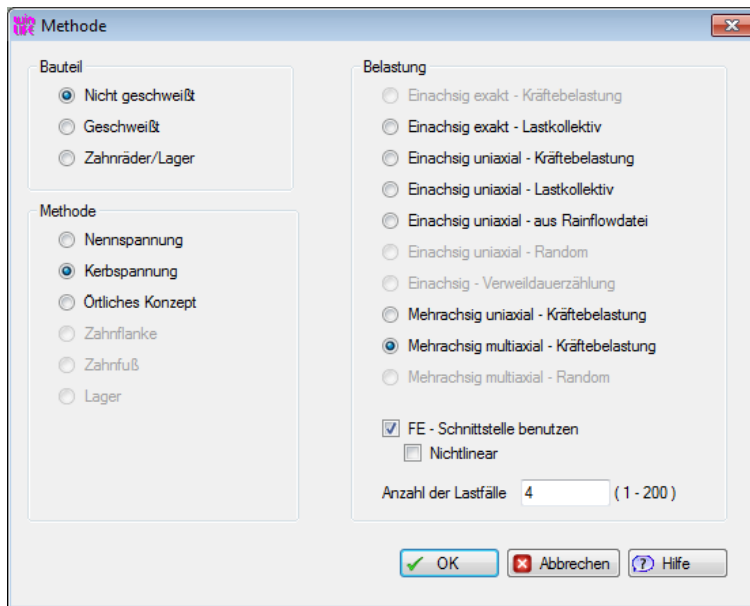
Die unten stehende Tabelle dokumentiert die Verwendung von 4 Einheits-Lastfällen zur Beschreibung des drehenden Belastungsverlaufs. Je nach Aufgabenstellung, Bauteilgeometrie und gewünschter Genauigkeit der Berechnungsergebnisse empfiehlt sich die Wahl kleinerer Winkelfenster.

Lastfall Nr.	Kraft	Lastwinkel	Größte Vergleichsspannung (v. Mises) in der Querbohrung	Größte Vergleichsspannung (v. Mises) am Querschnittsprung
1	100 N	0°	12,63 N/mm ²	8,11 N/mm ²
2	100 N	90°	5,67 N/mm ²	8,46 N/mm ²
3	100 N	180°	12,63 N/mm ²	8,11 N/mm ²
4	100 N	270°	5,67 N/mm ²	8,46 N/mm ²

24.3. Lebensdauerberechnung in winLIFE mit konstanter Last

Projektdefinition

Es wird in winLIFE 4.0 ein neues Projekt angelegt und die im folgenden Fenster angegebenen Methodeneinstellungen gewählt.



Methodeneinstellungen

Generierung der Wöhlerlinie

In einem weiteren Schritt wird die FKM Wöhlerlinie für 42CrMo4 geladen und entsprechend den Bauteil- und Belastungsgegebenheiten angepasst:

Wöhlerlinie

Generator >> Ausfallwarsch. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=1)

Rm (Biegung)	1071,472	[N/mm²]
Re (Zug-Druck)	876,659	[N/mm²]
Steigung (°)	5,000	
Steigung 2 (°)	5,000	
Zug/Druck w.	482,162	[N/mm²]
Dauerfestigkeit (°)	390,069	[N/mm²]
Dauerfestigkeit 2 (°)	390,069	[N/mm²]
Ecklastspielzahl (°)	1000000	
Ecklastspielzahl 2 (°)	1000000	
Mittelspannungsempf. (°)	0,2750151	
Belastung (°)	Biegung	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (°, nur MUX)	1,73310	

Identifikation

Kurzname: 42 CrMo 4

Werkstoffnummer: 1.7225

Bemerkung: 42CrMo4 quenched and tempered steel in the quenched and tempered condition, after DIN EN 10 083-1

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Parameter

Berechnungsmethode: FKM

Werkstoff: Stahl

Belastung: Biegung

Bearbeitung: unbearbeitet

Rm: 1100,000 [N/mm²]

Re: 900,000 [N/mm²]

χ^* : 0,00000

$\chi^*(d)$: 0,00000

Kt: ☐ 1,0000

Rauhtiefe: 100,00 [µm]

Kv: 1,000

Temperatur: 20,0 [°C]

D_eff: 20,0 [mm]

D_effN: 16,0 [mm]

adm: 0,32

Anisotropie: 1,0

K_NL: 1,000

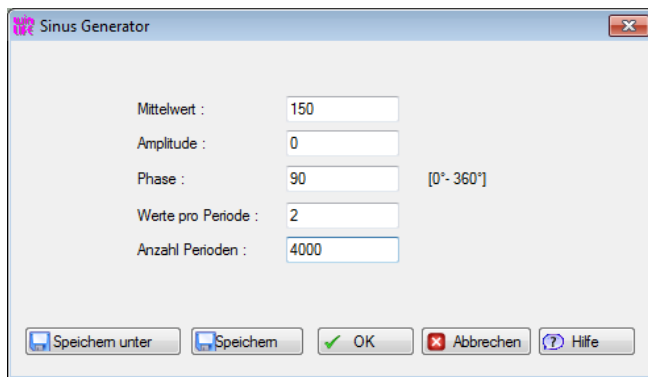
Sicherheitsfaktor (i): 1,0000

generieren

Angaben zu der Wöhlerlinie

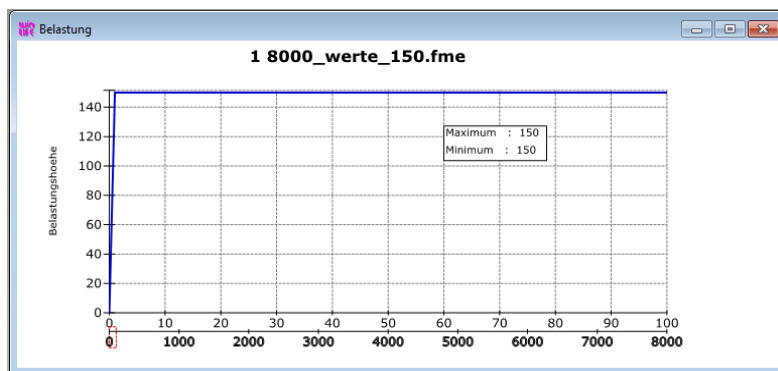
Definition des Belastungsverlaufs

In diesem Beispiel soll zuerst der Einfluss einer konstanten Last auf die Lebensdauer untersucht werden. Dazu wird in winLIFE 4.0 mittels Sinus Generator eine größere Anzahl von Werten erzeugt. Der Eintrag Mittelwert 150 stellt die Spannung dar, die später maximal wirkt. Die Angabe Phase 90 ist die gewählte Winkelgröße in der FE-Berechnung. Hier sollen 1000 Umdrehungen der Welle berechnet werden. Wegen der 4 Winkelfenster beträgt der Wert für Anzahl Periode 4000 (4000 = 1000 Umdrehungen * 4 Perioden/Umdrehung).



Verwendung des Sinus Generators

Es ergeben sich 8000 Werte, die bis auf den Startwert, alle konstant 150 betragen.



konstante Belastung

Der Belastungsverlauf für die Umlaufbiegung wird mit dem Befehl Lastdatei aufteilen erzeugt. Dabei wird die eben mittels Sinus Generator erhaltene Datei konvertiert.

Lastaufteilung

Belastungsdatei :
D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekte\8000_werte_150.fme

150,0000
150,0000
150,0000
150,0000
150,0000
150,0000
150,0000
150,0000

Anzahl der Kommentarzeilen
0

Spalten :
1

Konfiguration :

☒ Werte pro Winkelfenster :
Anzahl Werte pro Winkelfenster : 2 Wertespalte : 1 Anzahl Winkelfenster pro Umdrehung : 4

☐ Zeit pro Winkelfenster :
Zeitinkrement : 1 Zeitspalte : 1 Wertespalte : 1 Anzahl Winkelfenster pro Umdrehung : 2

☐ Winkel pro Winkelfenster :
Winkelinkrement : 90 Winkelspalte : 0 Wertespalte : 0 Anzahl Winkelfenster pro Umdrehung : 4

Neue Belastungsdatei :
D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekte\8000_werte_150_00.fme

OK Abbrechen Hilfe

Aufteilung der Last

Die Umwandlung mittels Lastaufteilung erzeugt eine neue Datei, hier in diesem Fall die Datei 8000_werte_150_00.fme.

Belastung

Zyklen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor 1

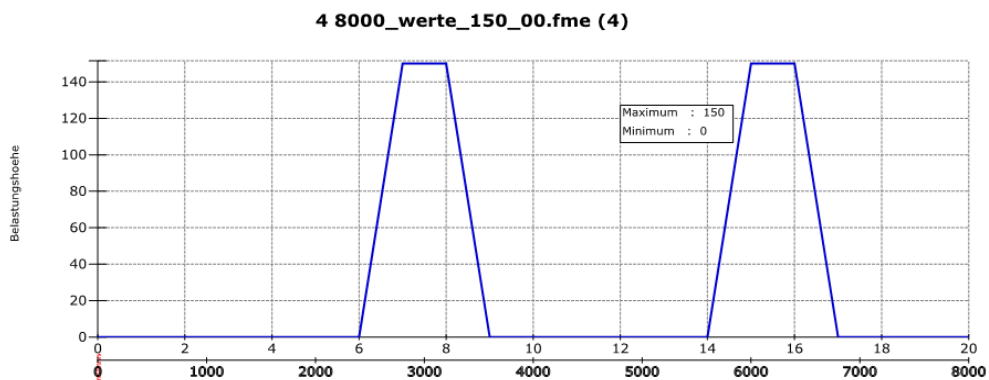
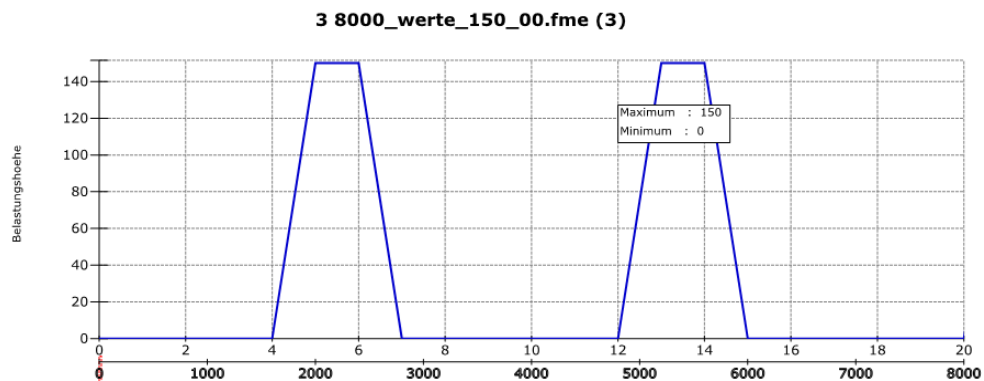
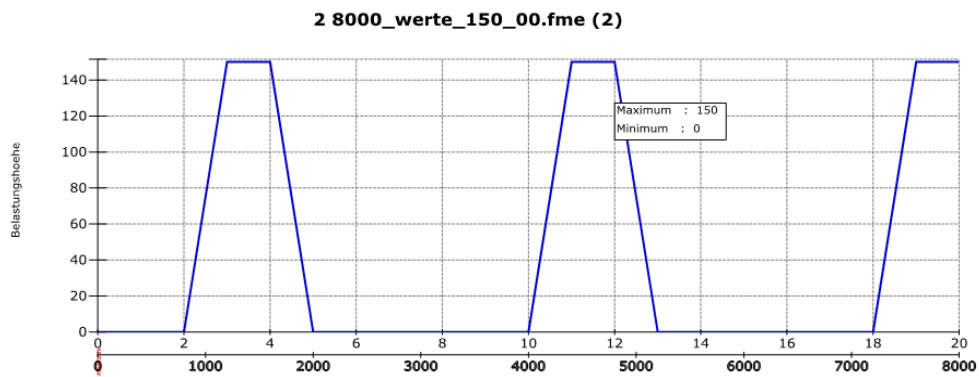
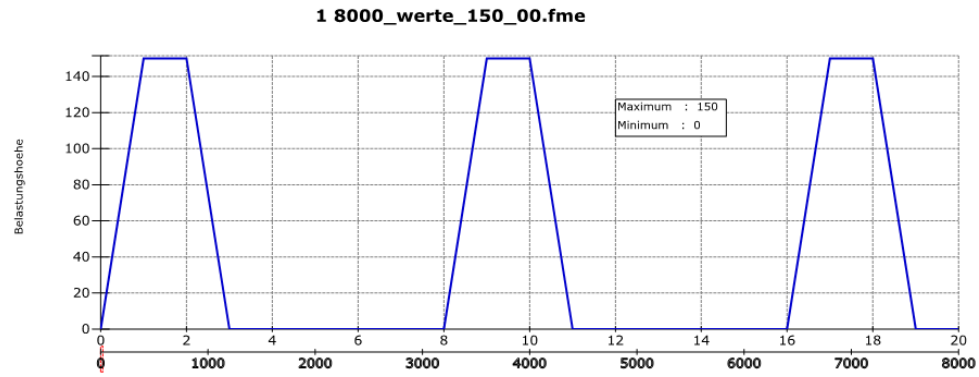
Index	Datei	...	Multiplikator	Wiederholungen	Spalte	1. Datenreihe	Bereich
1	V 8000_werte_150.fme	...	1	1	1	2	
2	V 8000_werte_150.fme	...	1	1	2	2	
3	V 8000_werte_150.fme	...	1	1	3	2	
4	V 8000_werte_150.fme	...	1	1	4	2	

Pfad D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekte

OK Abbrechen Hilfe

Angabe der Belastungsverläufe

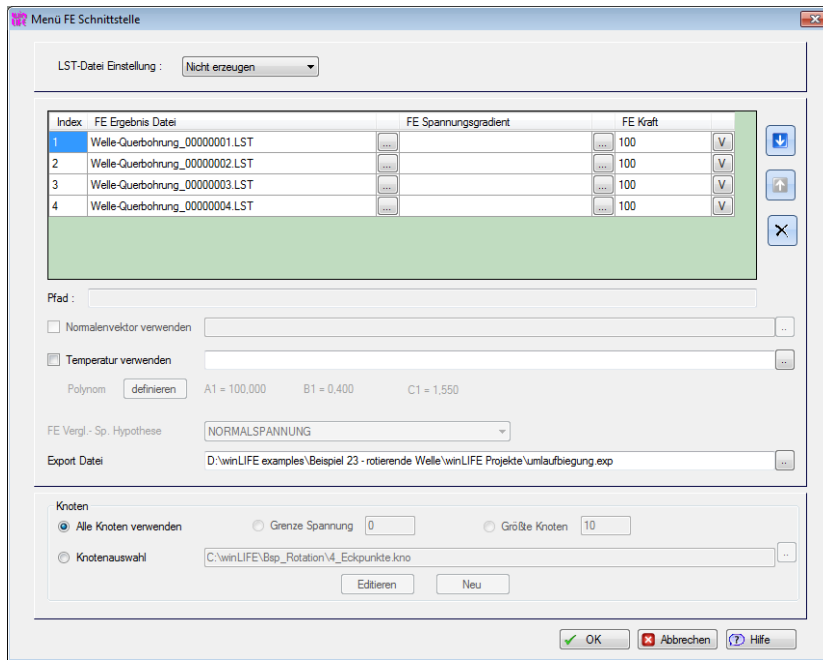
Die Belastung lässt sich grafisch anzeigen. Jede Winkelposition wird einem Belastungsverlauf zugeordnet.



Belastungsverläufe für jeweilige Winkelpositionen

FE-Daten Zuordnung

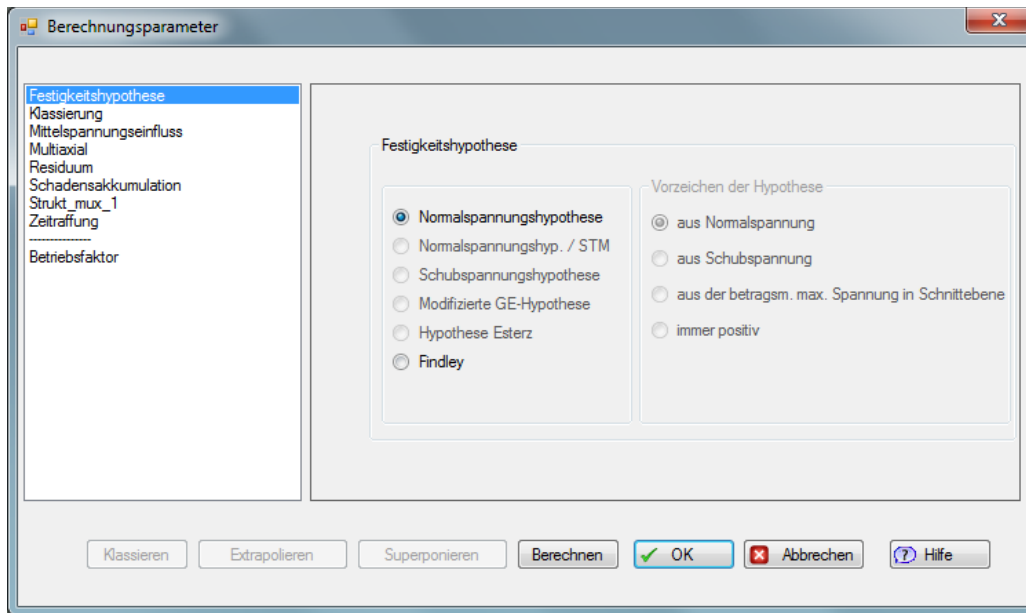
In Femap werden die Spannungsergebnisse der 4 Lastfälle exportiert und dann in winLIFE 4.0 im Menü FE-Schnittstelle eingetragen.



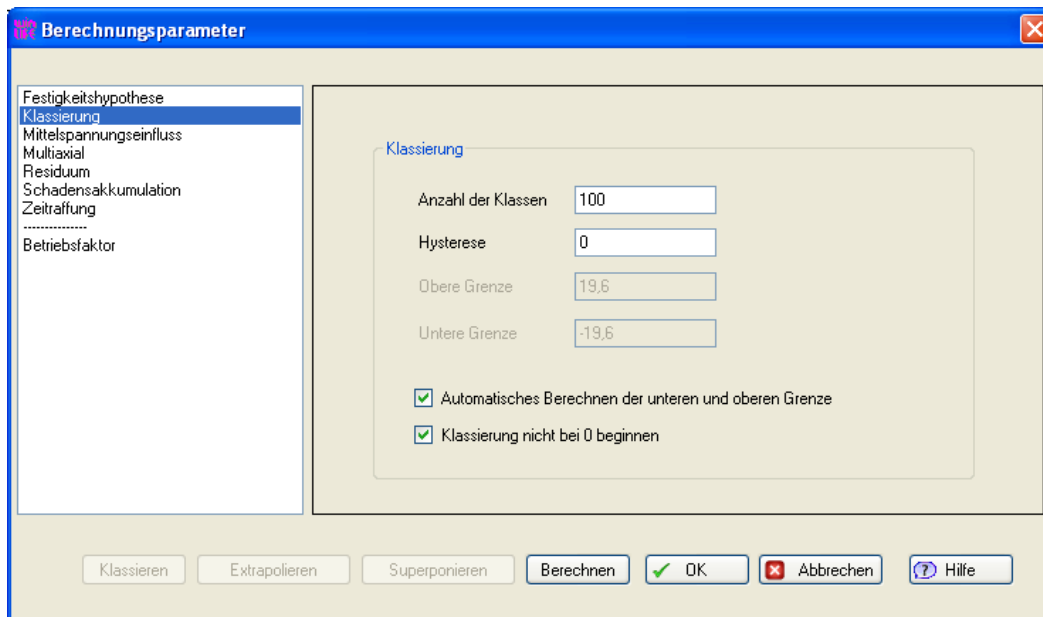
Belastungsverläufe für jeweilige Winkelpositionen

Berechnungsparameter

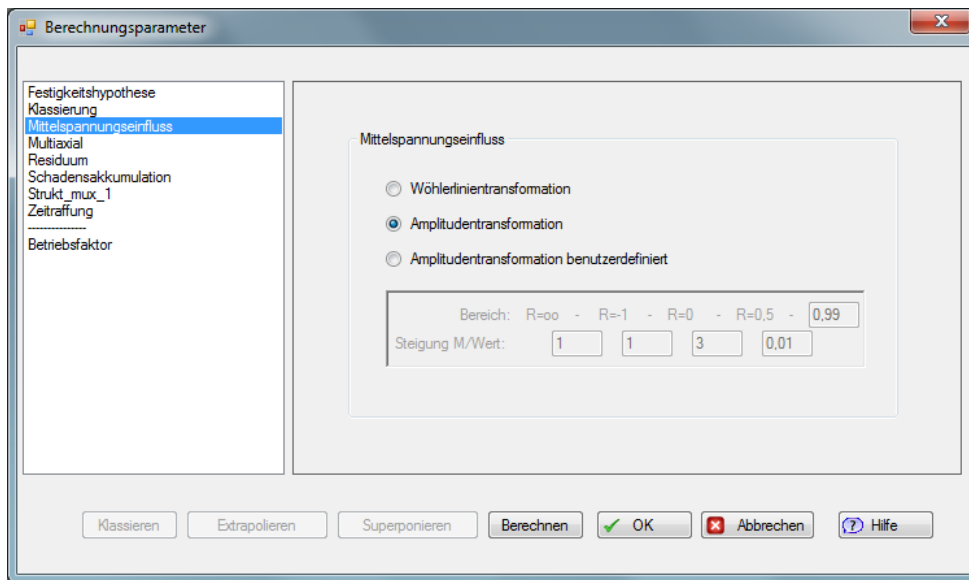
Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen für die Berechnungsparameter.



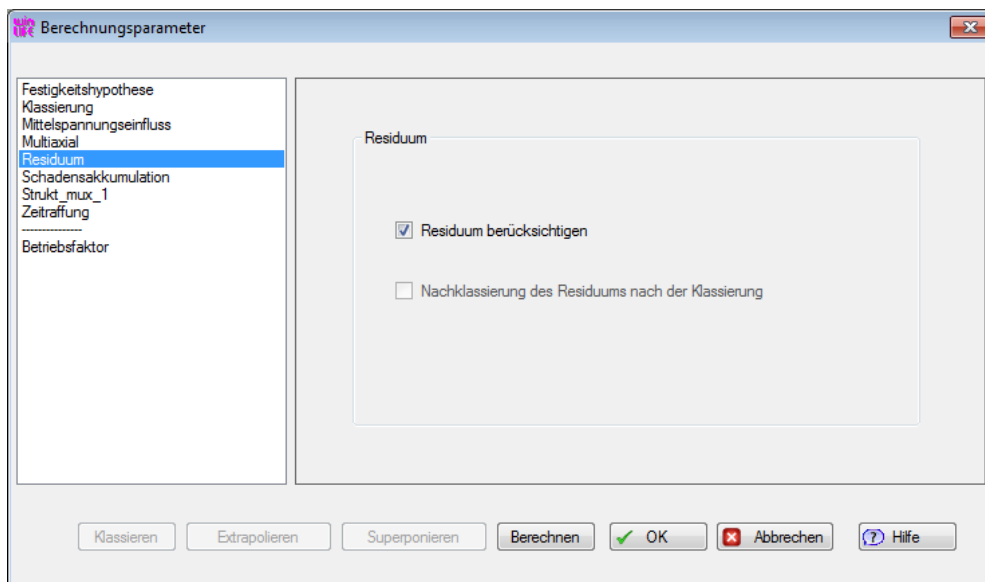
Wahl der Festigkeitshypothese



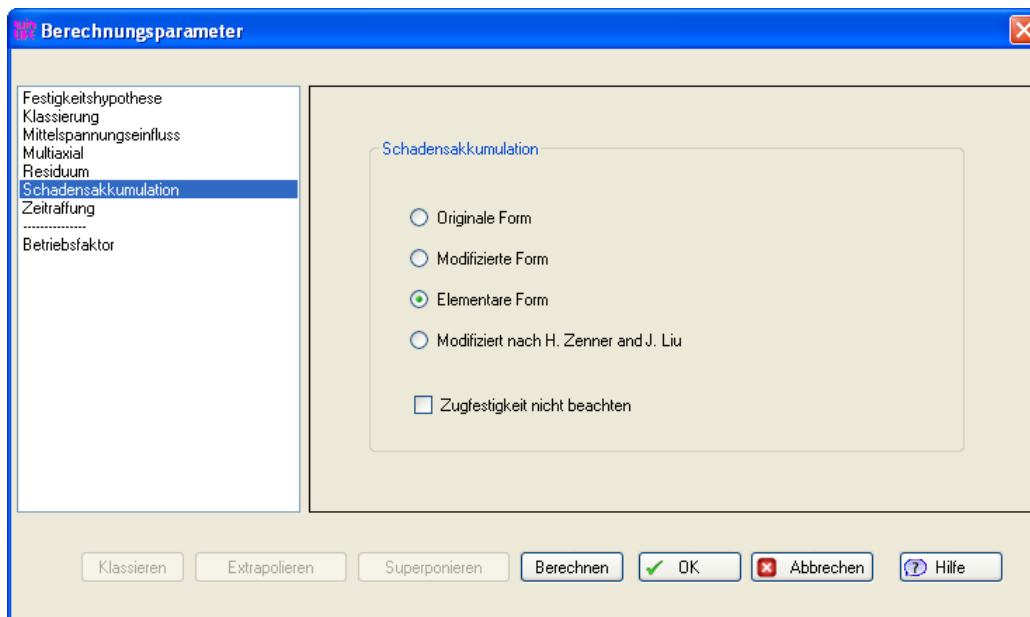
Angaben zur Klassierung



Angaben zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses



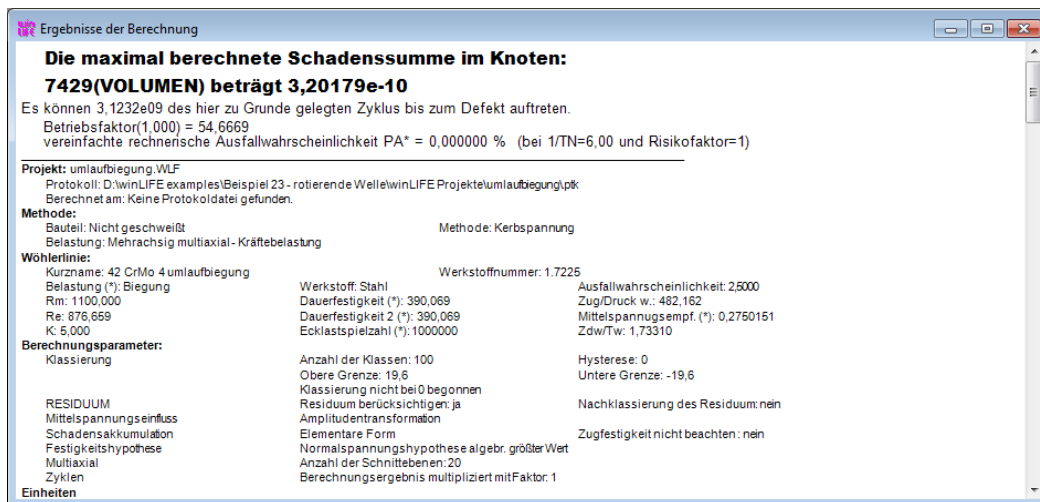
Berücksichtigung des Residuums



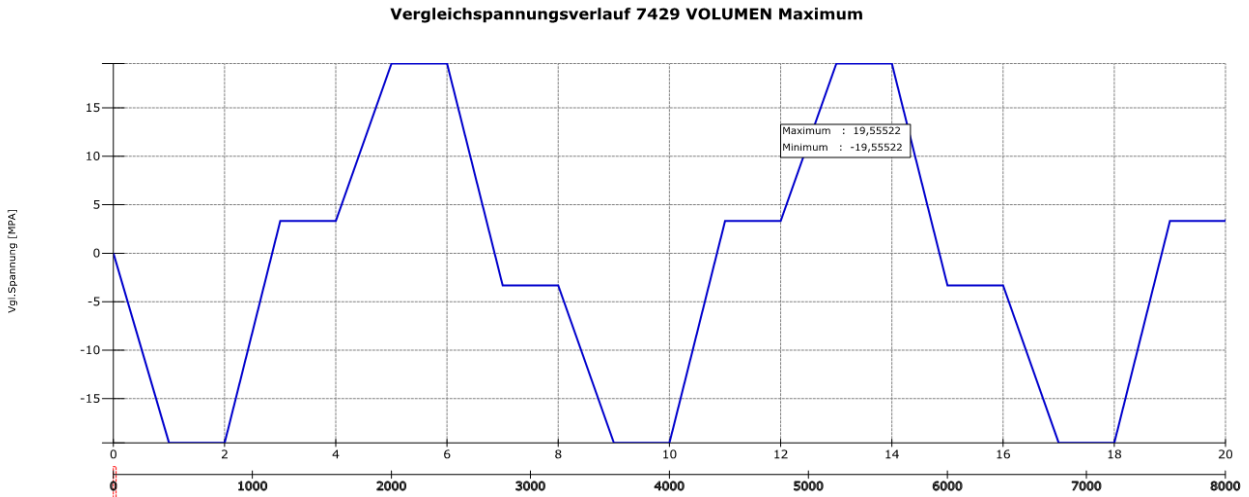
Einstellungen zur Schadensakkumulation

Ergebnis

Es ergibt sich das Ergebnis für die konstante stehende Last:



Ergebnis der Lebensdauerberechnung



Vergleichsspannungsverlauf

24.4. Lebensdauerberechnung in winLIFE mit veränderlicher Last

Projektdefinition, Projektangaben

Das winLIFE 4.0 Projekt kann weitgehend so belassen werden wie es gerade für die konstante Last definiert wurde. D. h. die Projektmethode und die Wöhlerlinie werden übernommen.

Definition des Belastungsverlaufs

Im Folgenden soll jetzt der Einfluss einer zeitlich veränderlichen Last auf die Lebensdauer untersucht werden. Hierzu werden Messdaten verwendet. In der Datei der Messdaten werden die Winkelangaben in einer Spalte benötigt und die Lastdaten in einer weiteren Spalte. Bei den Winkelangaben handelt es sich um kumulierte Winkelwerte.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Messdaten-Datei und zu tätige Angaben für die Lastaufteilung. Entsprechend der FEM Berechnung wurden 4 Winkelfenster mit je 90° Winkelinkrement verwendet.

Lastaufteilung

Belastungsdatei :
D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekte\Belastungsverlauf-Praxis.fme

0,1	60,245	60,245	1834,7	1834,7	0	1	0	0	0	0	C
0,2	66,512	66,512	1853,9	1853,9	0	1	0	0	0	0	C
0,3	72,781	72,781	1830	1830	0	0	1	0	0	0	C
0,4	79,05	79,05	1805,8	1805,8	0	0	1	0	0	0	C
0,5	85,321	85,321	1841,3	1841,3	0	0	1	0	0	0	C
0,6	91,593	91,593	1875,9	1875,9	0	0	1	0	0	0	C
0,7	97,868	97,868	1882,3	1882,3	0	0	1	0	0	0	C
0,8	104,15	104,15	1903,3	1903,3	0	0	1	0	0	0	C

Anzahl der Kommentarzeilen: 0

Spalten: 21

Konfiguration:

☐ Werte pro Winkelfenster:

Anzahl Werte pro Winkelfenster: 2 Wertespalte: 1 Anzahl Winkelfenster pro Umdrehung: 4

☐ Zeit pro Winkelfenster:

Zeitinkrement: 1 Zeitspalte: 1 Wertespalte: 1 Anzahl Winkelfenster pro Umdrehung: 2

☒ Winkel pro Winkelfenster:

Winkelinkrement: 90 Winkelspalte: 3 Wertespalte: 4 Anzahl Winkelfenster pro Umdrehung: 4

Neue Belastungsdatei :
D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekte\Belastungsverlauf-Praxis_00.fme

OK Abbrechen Hilfe

Aufteilung der Last

Die erzeugte Datei, hier in diesem Fall die Datei Belastungsverlauf-Praxis_00.fme wird nun im winLIFE 4.0 Menü Belastung angegeben.

Belastung

Zyklen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor 1

Index	Datei	...	Multiplikator	Wiederholungen	Spalte	1. Datenreihe	Bereich
1	V Belastungsverlauf-Praxis_00.fme	...	1	1	1	2	
2	V Belastungsverlauf-Praxis_00.fme	...	1	1	2	2	
3	V Belastungsverlauf-Praxis_00.fme	...	1	1	3	2	
4	V Belastungsverlauf-Praxis_00.fme	...	1	1	4	2	

Pfad: D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekte

OK Abbrechen Hilfe

Angabe der Belastungsverläufe

FE-Daten Zuordnung und Berechnungsparameter

Die FE-Datenzuordnung und die Berechnungsparameter bleiben so wie sie aus dem Beispiel für die konstante Last bereits vorliegen.

Ergebnis

Es ergibt sich als Ergebnis der Lebensdauerberechnung:

Ergebnisse der Berechnung

Die maximal berechnete Schadenssumme im Knoten:
5332(VOLUMEN) beträgt 2,98329e-06

Es können 3,3520e05 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.
Betriebsfaktor(1,000) = 3,0353
vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000 \%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

Projekt: umlaufbiegung-praxis.WLF
Protokoll: D:\winLIFE examples\Beispiel 23 - rotierende Welle\winLIFE Projekt\umlaufbiegung-praxis.pk
Berechnet am: Keine Protokoldatei gefunden.

Methode:
Bauteil: Nicht geschweißt
Belastung: Mehrachsige multiaxial - Kräftebelastung
Methode: Kerbspannung

Wöhlerlinie:
Kurzname: 42 CrMo 4 umlaufbiegung
Belastung (*): Biegung
Rm: 1100,000
Re: 876,659
K: 5,000
Werkstoff: Stahl
Dauerfestigkeit (*): 390,069
Dauerfestigkeit 2 (*): 390,069
Ecklastspielzahl (*): 1000000
Werkstoffnummer: 1.7225
Ausfallwahrscheinlichkeit: 2,6000
Zug/Druck w.: 482,162
Mittelspannungsempf. (*): 0,2750151
Zdw/Tw: 1,73310

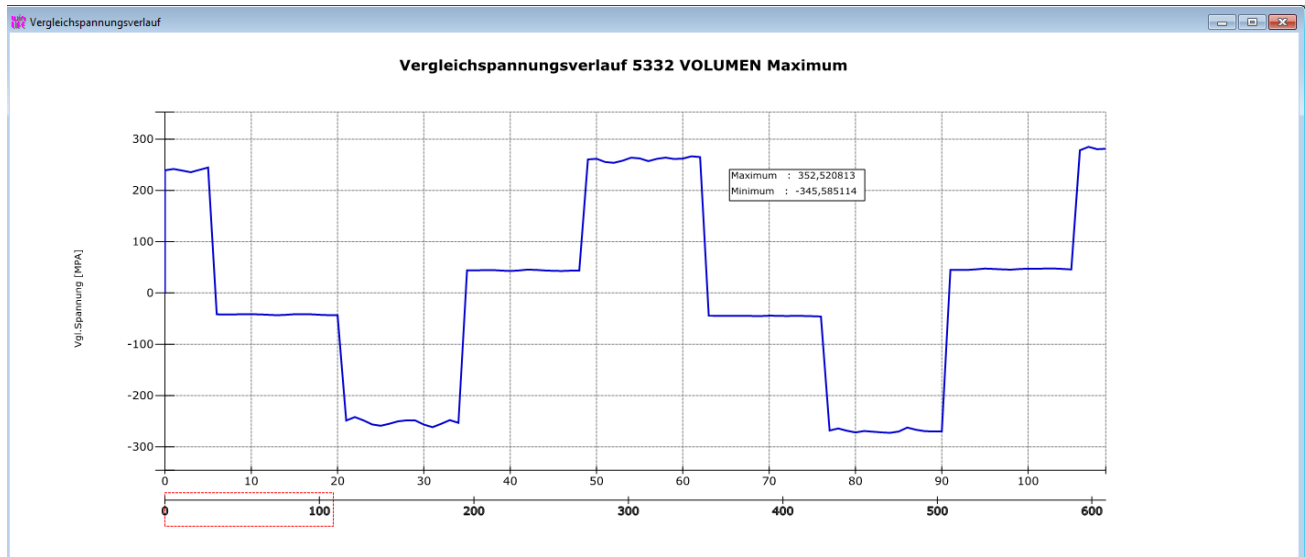
Berechnungsparameter:
Klassierung
Anzahl der Klassen: 100
Obere Grenze: 353
Klassierung nicht bei 0 begonnen
Residuum berücksichtigen: ja
Amplitudentransformation
Elementare Form
Normalspannungshypothese algebr. größter Wert
Anzahl der Schnittebenen: 20
Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor: 1
Hysteresis: 0
Untere Grenze: -346
Nachklassierung des Residuum: nein
Zugfestigkeit nicht beachten: nein

RESIDUUM
Mittelspannungseinfluss
Schadensakkumulation
Festigkeithypothese
Multiaxial
Zyklen

Einheiten
Spannung: 1 [[N/mm²]]

Belastungshöhe
L1: Belastungsverlauf-Praxis_00.fme
Multiplikator: 1
1. Datenreihe: 2
FE: Welle-Querbohrung_00000001.LST
FE - Kraft: 100
Spalte: 1
Zeitraffung: nein
L2: Belastungsverlauf-Praxis_00.fme
Multiplikator: 1
1. Datenreihe: 2
FE: Welle-Querbohrung_00000002.LST
FE - Kraft: 100
Spalte: 2
Zeitraffung: nein
L3: Belastungsverlauf-Praxis_00.fme
Multiplikator: 1
1. Datenreihe: 2
FE: Welle-Querbohrung_00000003.LST
FE - Kraft: 100
Spalte: 3
Zeitraffung: nein
L4: Belastungsverlauf-Praxis_00.fme
Multiplikator: 1
1. Datenreihe: 2
FE: Welle-Querbohrung_00000004.LST
FE - Kraft: 100
Spalte: 4
Zeitraffung: nein

Ergebnis der Lebensdauerberechnung



Vergleichsspannungsverlauf

25. Beispiel 24 / Rissfortschrittsberechnung

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

1.1 Aufgabenstellung

25.1.1. Bauteilgeometrie

Für eine rissbehaftete Scheibe, die in der folgenden Abbildung dargestellt ist, soll eine Rissfortschrittsberechnung durchgeführt werden. Der vorhandene Randriss hat eine Anfangslänge von 10mm. Es soll die Zyklenzahl bestimmt werden bis der Riss infolge einer Last auf 20mm Länge gewachsen ist.

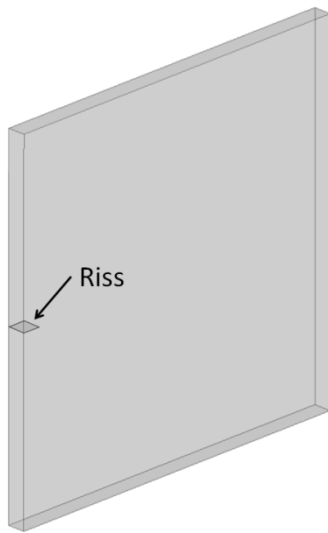


Bild 25-1: Scheibe mit vorhandenem Riss

25.1.2. Belastung

Auf das Bauteil wirkt eine vertikale wechselnde Last mit einer Spannungsamplitude von 1 N/mm^2 wie im folgenden Bild dargestellt. Es wird nun davon ausgegangen, dass der Riss sich infolge der Zugbeanspruchung senkrecht zur Rissebene öffnet. Daher wird für die Charakterisierung der Rissöffnungsart der Modus I verwendet. Die Scheibenbreite, Wert d , beträgt 200 mm .

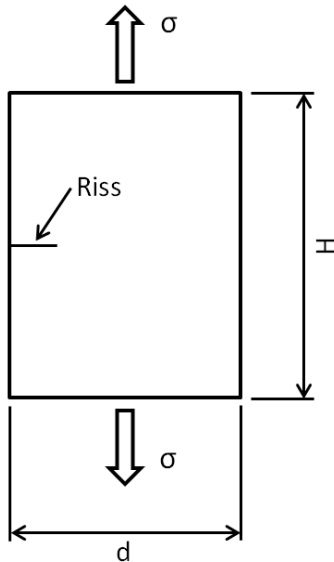


Bild 25-2: Scheibe mit Riss unter Zugbelastung (nicht maßstäblich)

25.1.3. Werkstoffdaten

Es liegen folgende Materialangaben ($R = -1$) der Paris-Gleichung vor:

Werkstoffname	42CrMo4	
Streckgrenze	$R_{p0,2} = 1050 \text{ MPa}$	
kritischer Spannungsintensitätsfaktor	$K_{IC} = 1992,25 \text{ Nmm}^{-3/2}$	bei Raumtemperatur
Schwellen-Spannungsintensitätsfaktor	$\Delta K_{I,th} = 221,36 \text{ Nmm}^{-3/2}$	
Materialkonstante	$m = 3,05$	
Materialkonstante	$C = 3,592 \cdot 10^{-14}$	

1.2 Lebensdauerberechnung nach Paris

25.1.4. Projektdefinition

Es wird in winLIFE 4.0 ein neues Projekt angelegt und die im folgenden Fenster angegebenen Methodeneinstellungen gewählt.

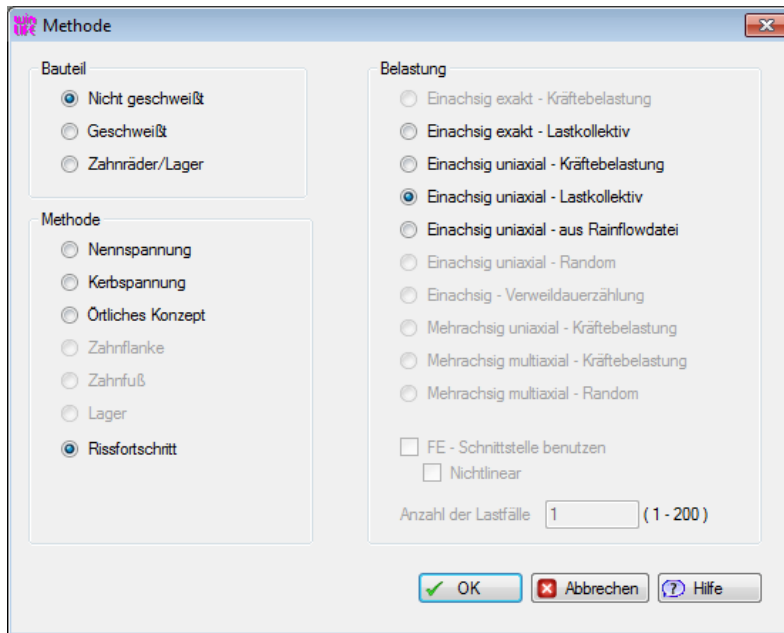


Bild 25-3: Methodeneinstellungen

25.1.5. Generierung der Rissfortschrittskurve

In einem weiteren Schritt wird die Rissfortschrittskurve basierend auf den Materialangaben erzeugt. Wir verwenden in diesem Beispiel zunächst die Rissfortschrittsgleichung nach Paris und anschließend nach Erdogan-Ratwani.

Wöhlerlinie

Rissfortschritt

ΔK_{th} 2,21360e+02

K_c 1,99225e+03

Paris-Gleichung

C 3,59200e-14

m 3,05000e+00

Erdogan-Ratwani

C 1,12400e-07

m 2,12000e+00

OK Abbrechen Hilfe

Bild 25-4: Angaben zur Rissfortschrittskurve

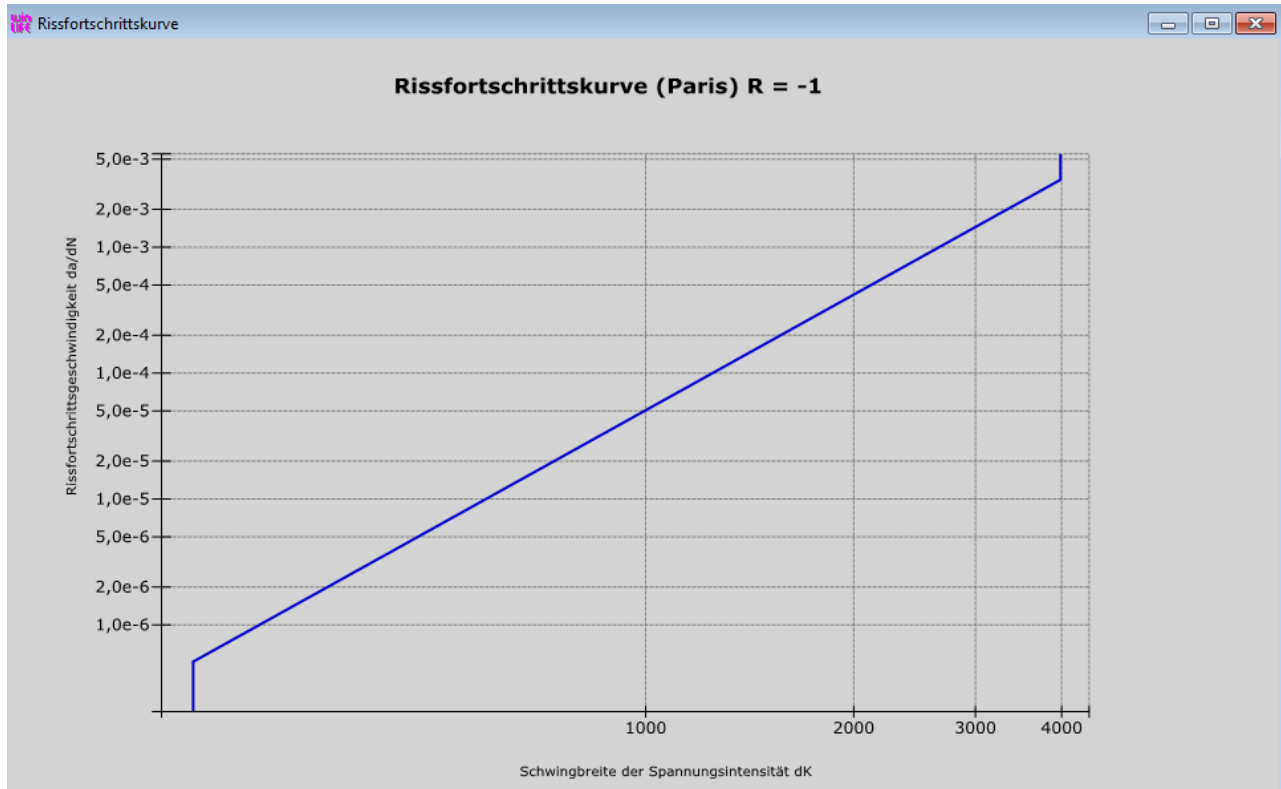


Bild 25-5: Rissfortschrittskurve nach Paris

25.1.6. Definition des Belastungsverlaufs

In diesem Beispiel wird ein wechselndes Last-Kollektiv definiert. Die Amplitude beträgt 200MPa und die Anzahl der Wiederholungen soll zunächst 10000 betragen. Das Berechnungsergebnis wird zeigen, ob diese 10000 Lastwechsel ausreichen, um die Risslänge auf 20mm zu erhöhen.

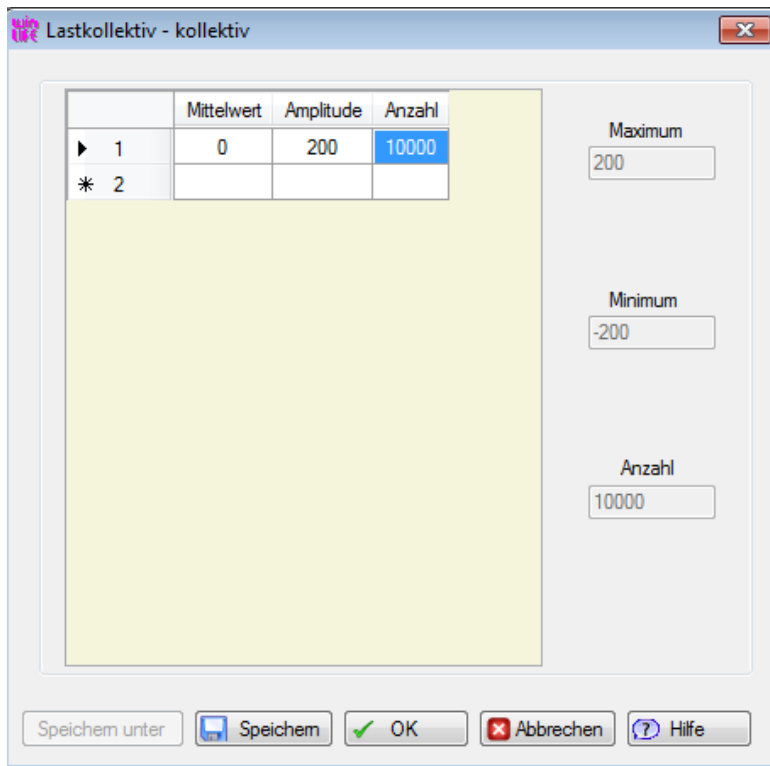


Bild 25-6: Definition eines Last-Kollektivs

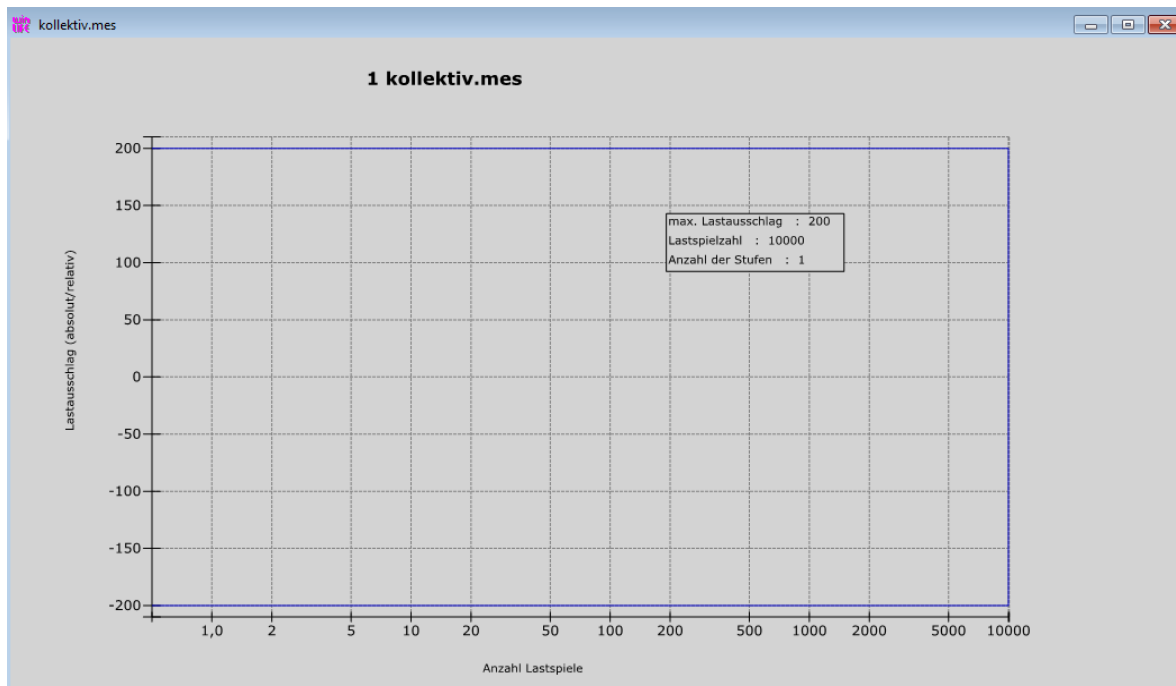


Bild 25-7: Belastungskollektiv

25.1.7. Berechnungsparameter

Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen für die Berechnungsparameter.

The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Klassierung' tab selected. The left sidebar lists 'Klassierung', 'Rissfortschritt', and 'Rissfortschritt'. The main area contains the following settings:

- Anzahl der Klassen: 100
- Hysterese: 0
- Obere Grenze: 201
- Untere Grenze: -201
- ☒ Automatisches Berechnen der unteren und oberen Grenze
- ☒ Klassierung nicht bei 0 beginnen

At the bottom, there are buttons: 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Bild 25-8: Angaben zur Klassierung

Anschließend wird unten links auf den Button Klassieren gedrückt.

The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Residuum' tab selected. The left sidebar lists 'Klassierung', 'Residuum', and 'Rissfortschritt'. The main area contains the following settings:

- ☒ Residuum berücksichtigen
- ☐ Nachklassierung des Residuums nach der Klassierung

At the bottom, there are buttons: 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Bild 25-9: Angaben zum Residuum

Die Angaben zum Rissfortschritt enthalten u.A. die Anfangsrisslänge, in diesem Beispiel 10mm und die Endrisslänge von 20mm. Der Geometriefaktor Y ergibt sich durch Auswahl der entsprechenden Geometrie aus der Tabelle. Der Wert d der Scheibe beträgt 200mm. Der anfängliche Geometriefaktor Y ergibt sich zu 1,1224.

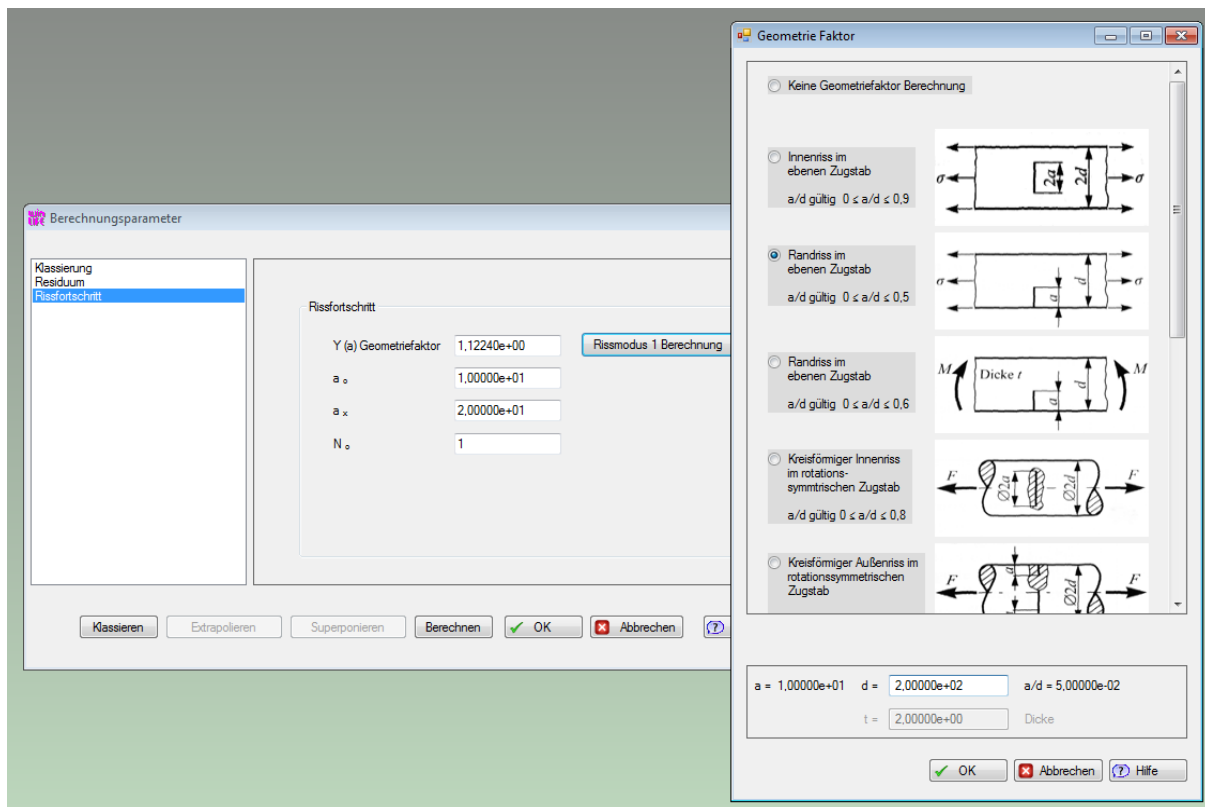


Bild 25-10: Angaben zum Rissfortschritt

25.1.8. Ergebnis nach der Paris-Gleichung

Nach 10000 Lastwechseln sind 100% der angegebenen Endrisslänge von 20mm erreicht:

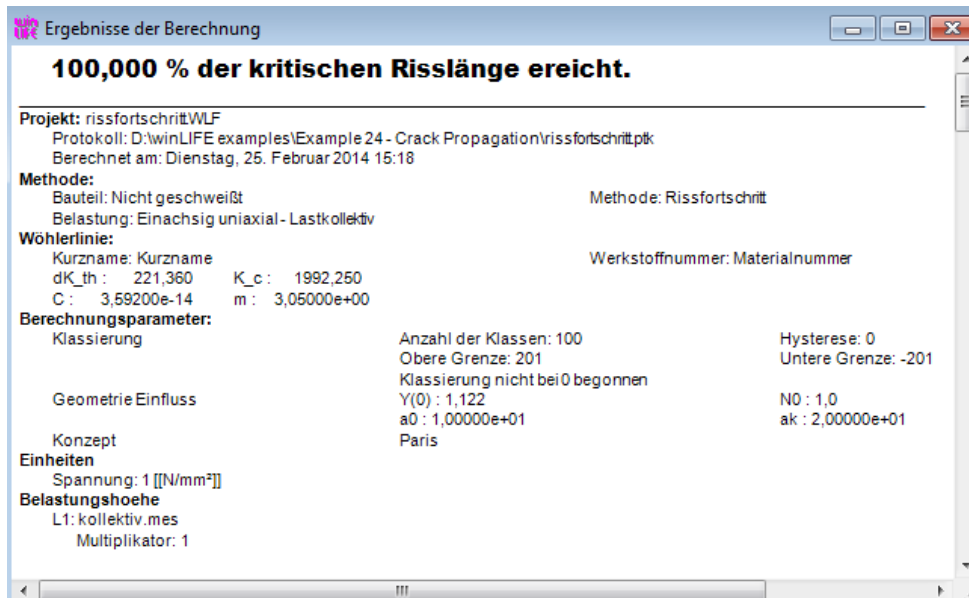


Bild 25-11: Ergebnis der Rissfortschrittsberechnung

Die Rissergebniskurve stellt das Risslängenwachstum dar.

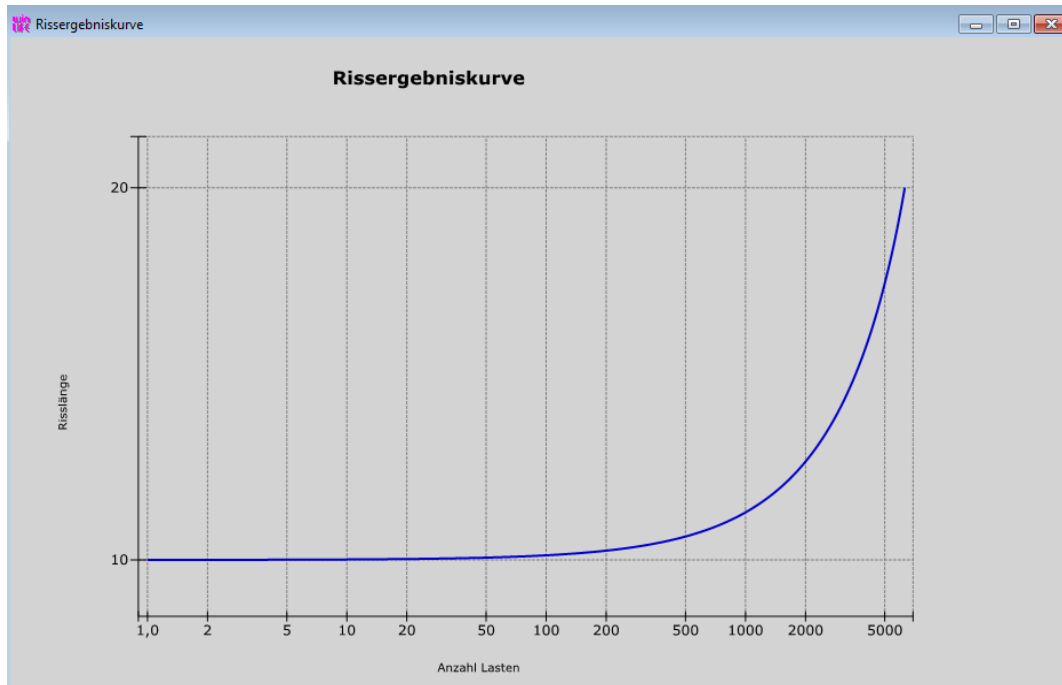


Bild 25-12: Rissergebniskurve

Das Protokoll zeigt für jedes Schwingspiel den Zuwachs der Risslänge und den sich daraus ergebenden neuen Spannungsintensitätsfaktor. Nach 6297 Schwingspielen wird die Endrisslänge von 20mm erreicht.

Protokoll

Projekt : D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\rissfortschritt
 Protokoll : D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\rissfortschritt.ptk
 Berechnet am : Donnerstag, 27. Februar 2014

Rissfortschrittsmethode : Paris Gleichung
 Belastung : D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\kollektiv.mes
 Anzahl Klassen 100 Untere Grenze -201,00 Obere Grenze 201,00
 Werkstoffdaten :
 $Y = 1,12$ $a_0 = 1,000000e+01$ $ax = 2,000000e+01$ $N_0 = 1$
 $dK_{th} = 221,36$ $K_c = 1992,25$
 $C = 1,12400e-07$ $m = 2,12000e+00$

Delta Riss	Risslaenge	N_gesamt	Delta_K	Y_a	K_max	von	bis	R
8,59665905e-04	1,00000000e+01	1,0	2528,9989	1,12240000e+00	1264,50	100	1	-1,00
8,59787688e-04	1,00008597e+01	2,0	2529,1164	1,12240389e+00	1264,56	100	1	-1,00
8,59912093e-04	1,00025794e+01	3,0	2529,2364	1,12240888e+00	1264,62	100	1	-1,00
8,60036523e-04	1,00034394e+01	4,0	2529,3564	1,12241388e+00	1264,68	100	1	-1,00
8,60160981e-04	1,00042996e+01	5,0	2529,4764	1,12241888e+00	1264,74	100	1	-1,00
8,60285466e-04	1,00051598e+01	6,0	2529,5964	1,12242388e+00	1264,80	100	1	-1,00
2,96959322e-03	1,99873010e+01	6292,0	3797,1915	1,19211102e+00	1898,60	100	1	-1,00
2,97044464e-03	1,99902715e+01	6293,0	3797,5484	1,19213450e+00	1898,77	100	1	-1,00
2,97129646e-03	1,99932428e+01	6294,0	3797,9055	1,19215799e+00	1898,95	100	1	-1,00
2,97214867e-03	1,99962149e+01	6295,0	3798,2626	1,19218149e+00	1899,13	100	1	-1,00
2,97300128e-03	1,99991879e+01	6296,0	3798,6198	1,19220500e+00	1899,31	100	1	-1,00
2,97385428e-03	2,00021618e+01	6297,0	3798,9771	1,19222851e+00	1899,49	100	1	-1,00

* Risslaenge 2,00021618e+01 > a_x 2,00000000e+01

Bild 25-13: Auszug aus dem Protokoll der Rissfortschrittsberechnung

Nun soll die Belastungsanzahl auf 2000 Zyklen reduziert werden, um die dann vorliegende Risslänge zu bestimmen.

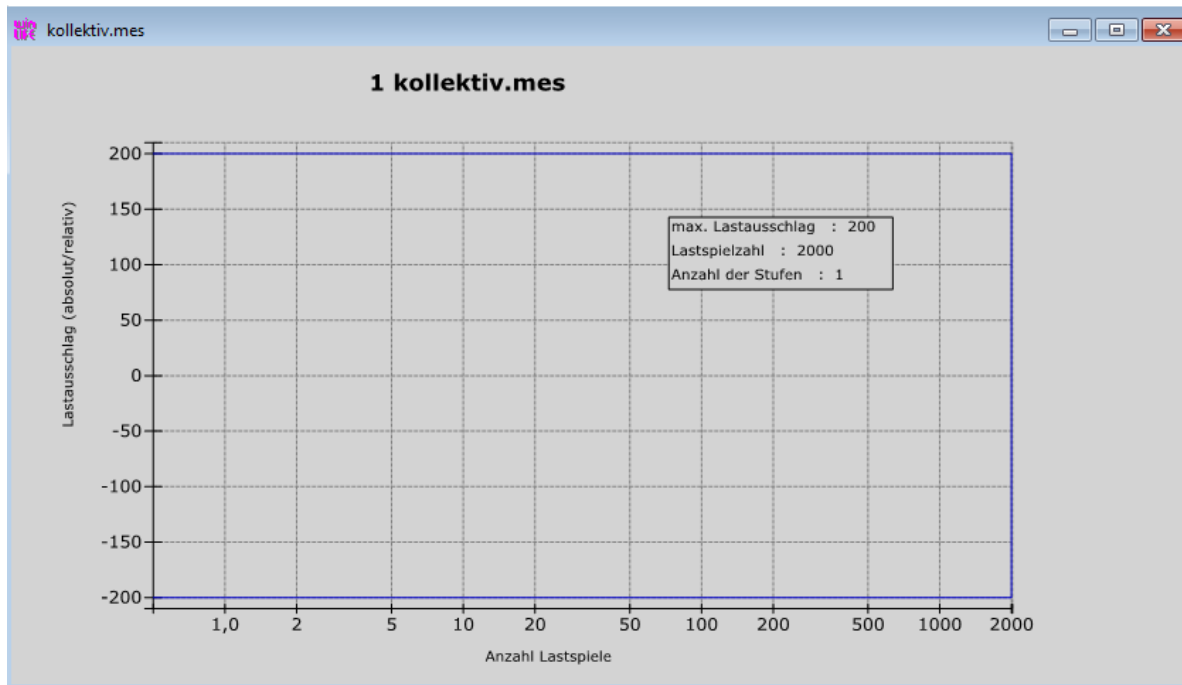


Bild 25-14: Belastungskollektiv mit 2000 Lastspielen

Nach 2000 Lastwechseln sind also 20,099% der Endrisslänge erreicht. Der Riss ist also $10\text{mm} + 2,0099\text{mm} = 12,0099\text{mm}$ lang. Dieses Ergebnis ist auch der Rissergebniskurve (Bild 1-12) zu entnehmen.

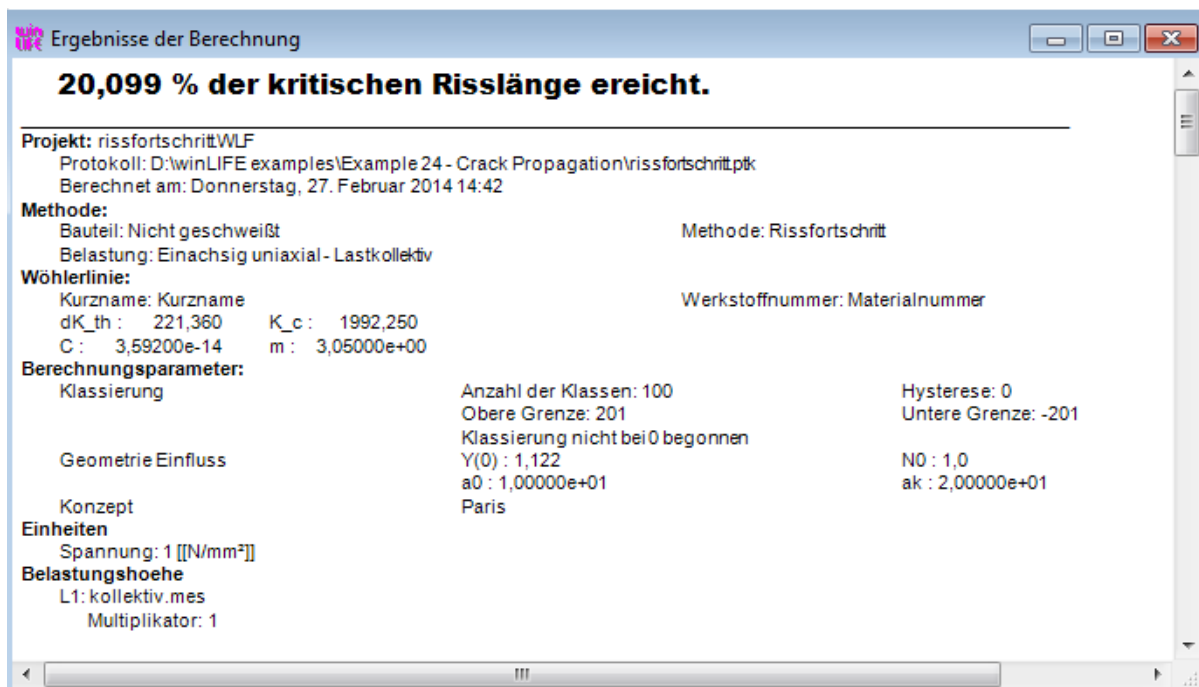


Bild 25-15: Ergebnis der Rissfortschrittsberechnung

1.3 Lebensdauerberechnung nach Erdogan-Ratwani

25.1.9. Berechnung nach Erdogan-Ratwani

Nun wird die Rissfortschrittskurve nach Erdogan-Ratwani für die Lebensdauer-Berechnung verwendet.

25.1.10. Umrechnung von Werkstoffdaten

Es liegen wie bereits weiter oben angegeben folgende Materialangaben ($R = -1$) der Paris-Gleichung vor:

Werkstoffname	42CrMo4	
Streckgrenze	$R_{p0,2} = 1050 \text{ MPa}$	
kritischer Spannungsintensitätsfaktor	$K_{IC} = 1992,25 \text{ Nmm}^{-3/2}$	bei Raumtemperatur
Schwellen-Spannungsintensitätsfaktor	$\Delta K_{I,th} = 221,36 \text{ Nmm}^{-3/2}$	
Materialkonstante	$m = 3,05$	
Materialkonstante	$C = 3,592 \cdot 10^{-14}$	

Diese Werkstoffangaben werden nun für die Verwendung der Erdogan-Ratwani Gleichung umgerechnet:

Die Paris-Gleichung wird durch folgende Funktion beschrieben:

$$\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^m \quad \text{mit } \Delta K_{th} < \Delta K < \Delta K_c$$

Die Rissfortschrittsgleichung nach Erdogan-Ratwani lautet:

$$\frac{da}{dN} = \frac{C_2 (\Delta K - \Delta K_{th})^{m_2}}{(1 - R_K) K_c - \Delta K}$$

Die Konstanten C_2 und m_2 der Erdogan-Ratwani Gleichung sollen nun bestimmt werden. Hierzu werden aus dem mittleren Bereich der Paris-Rissfortschrittskurve zwei Wertepaare gewählt:

$$\text{Wertepaar 1: } \Delta K = 1000 \text{ Nmm}^{-3/2} ; \frac{da}{dN} = 5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}}$$

$$\text{Wertepaar 2: } \Delta K = 1500 \text{ Nmm}^{-3/2} ; \frac{da}{dN} = 1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}}$$

Durch Einsetzen der Wertepaare in die Gleichung nach Erdogan-Ratwani ergeben sich zwei Gleichungen mit den unbekannten Parametern C_2 und m_2 :

$$\text{Gleichung 1 für Wertepaar 1: } 5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = \frac{C_2 (1000 \text{ Nmm}^{-3/2} - 221,36 \text{ Nmm}^{-3/2})^{m_2}}{(1 - (-1)) \cdot 1992,25 \text{ Nmm}^{-3/2} - 1000 \text{ Nmm}^{-3/2}}$$

$$5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = \frac{C_2 (778,64 \text{ Nmm}^{-3/2})^{m_2}}{2984,5 \text{ Nmm}^{-3/2}} \quad \text{mit } R_K = -1$$

$$\text{Gleichung 2 für Wertepaar 2: } 1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = \frac{C_2 (1500 \text{ Nmm}^{-3/2} - 221,36 \text{ Nmm}^{-3/2})^{m_2}}{(1 - (-1)) \cdot 1992,25 \text{ Nmm}^{-3/2} - 1500 \text{ Nmm}^{-3/2}}$$

$$1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = \frac{C_2 (1278,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{m_2}}{2484,5 \text{Nmm}^{-3/2}} \quad \text{mit } R_K = -1$$

Die Unbekannten C_2 und m_2 werden nun bestimmt. Dazu wird die Gleichung 1 nach C_2 aufgelöst:

$$C_2 = \frac{5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} \cdot 2984,5 \text{Nmm}^{-3/2}}{(778,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{m_2}}$$

und in die Gleichung 2 eingesetzt:

$$1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = \frac{5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} \cdot 2984,5 \text{Nmm}^{-3/2}}{(778,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{m_2}} \cdot \frac{(1278,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{m_2}}{2484,5 \text{Nmm}^{-3/2}}$$

$$1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = \frac{5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} \cdot 2984,5 \text{Nmm}^{-3/2}}{2484,5 \text{Nmm}^{-3/2}} \cdot \frac{(1278,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{m_2}}{(778,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{m_2}}$$

$$1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} = 6,095 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} \cdot \left(\frac{1278,64 \text{Nmm}^{-3/2}}{778,64 \text{Nmm}^{-3/2}} \right)^{m_2}$$

$$\frac{1,747 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}}}{6,095 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}}} = \left(\frac{1278,64 \text{Nmm}^{-3/2}}{778,64 \text{Nmm}^{-3/2}} \right)^{m_2}$$

$$2,866 = 1,642^{m_2}$$

$$m_2 = \frac{\log 2,866}{\log 1,642} = 2,12$$

Für den Parameter C_2 folgt:

$$C_2 = \frac{5,074 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}}{\text{LZ}} \cdot 2984,5 \text{Nmm}^{-3/2}}{(778,64 \text{Nmm}^{-3/2})^{2,12}} = 1,124 \cdot 10^{-7}$$

Für die Anwendung der Erdogan-Ratwani Gleichung können somit folgende Materialangaben verwendet werden:

Werkstoffname	42CrMo4	
kritischer Spannungsintensitätsfaktor	$K_{IC} = 1992,25 \text{Nmm}^{-3/2}$	bei Raumtemperatur
Schwellen-Spannungsintensitätsfaktor	$\Delta K_{I,th} = 221,36 \text{Nmm}^{-3/2}$	
Materialkonstante	$m_2 = 2,12$	
Materialkonstante	$C_2 = 1,124 \cdot 10^{-7}$	

25.1.11. Ergebnis nach Erdogan-Ratwani

Unter Verwendung des Lastkollektivs mit der Schwingenspielzahl von 10000 Zyklen, wird die Rissfortschrittsberechnung nach Erdogan-Ratwani durchgeführt.

Das Ergebnis zeigt, dass nach 3707 Lastwechseln die Endrisslänge von 20mm erreicht ist. Zum Vergleich: unter Verwendung der Paris-Gleichung beträgt die Lastwechselzahl 6297 Zyklen, um die Risslänge von 20mm zu erreichen.

Protokoll

Projekt : D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\rissfortschritt
 Protokoll : D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\rissfortschritt.ptk
 Berechnet am : Donnerstag, 27. Februar 2014

Rissfortschrittsmethode : Erdogan-Ratwani Gleichung
 Belastung : D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\kollektiv.mes
 Anzahl Klassen 100 Untere Grenze -201,00 Obere Grenze 201,00
 Werkstoffdaten :
 Y = 1,12 a0 = 1,00000e01 ax = 2,00000e01 NO = 1
 dK_th = 221,36 K_c = 1992,25
 C = 1,12400e-07 m = 2,12000e00

Delta Riss	Risslaenge	N_gesamt	Delta_K	Y_a	K_max	von	bis	R
1,04152487e-03	1,00000000e+01	1,0	2528,9989	1,12240000e+00	1264,50	100	1	-1,00
1,04176378e-03	1,00020833e+01	2,0	2529,1418	1,12240494e+00	1264,57	100	1	-1,00
1,04200698e-03	1,00031253e+01	3,0	2529,2871	1,12241100e+00	1264,64	100	1	-1,00
1,04225029e-03	1,00041675e+01	4,0	2529,4325	1,12241706e+00	1264,72	100	1	-1,00
1,81723868e-02	1,98264991e+01	3698,0	3776,0278	1,19072177e+00	1888,01	100	1	-1,00
1,83889129e-02	1,98448880e+01	3699,0	3778,2138	1,19086497e+00	1889,11	100	1	-1,00
1,86127364e-02	1,98635007e+01	3700,0	3780,4257	1,19100994e+00	1890,21	100	1	-1,00
1,88442750e-02	1,98823450e+01	3701,0	3782,6642	1,19115673e+00	1891,33	100	1	-1,00
1,90839803e-02	1,99014290e+01	3702,0	3784,9304	1,19130540e+00	1892,47	100	1	-1,00
1,93323420e-02	1,99207613e+01	3703,0	3787,2253	1,19145602e+00	1893,61	100	1	-1,00
1,95898916e-02	1,99403512e+01	3704,0	3789,5497	1,19160866e+00	1894,77	100	1	-1,00
1,98572075e-02	1,99602084e+01	3705,0	3791,9049	1,19176340e+00	1895,95	100	1	-1,00
2,01349203e-02	1,99803433e+01	3706,0	3794,2920	1,19192031e+00	1897,15	100	1	-1,00
2,04237188e-02	2,00007671e+01	3707,0	3796,7122	1,19207948e+00	1898,36	100	1	-1,00

* Risslaenge 2,00007671e+01 > a_x 2,00000000e+01

Bild 25-16: Protokoll, Berechnung nach Erdogan-Ratwani

Nun wird das Lastkollektiv auf 2000 Lastwechsel geändert. Die Rissfortschrittsberechnung nach Erdogan Ratwani ergibt für die Endrisslänge ca. 12,7932mm. Wie oben bereits ermittelt, ergibt die Berechnung nach Paris eine Endrisslänge von ca. 12,0099mm.

Ergebnisse der Berechnung

27,932 % der kritischen Risslänge erreicht.

Projekt: rissfortschrittWLF
 Protokoll: D:\winLIFE examples\Example 24 - Crack Propagation\rissfortschritt.ptk
 Berechnet am: Donnerstag, 27. Februar 2014 14:46

Methode:
 Bauteil: Nicht geschweißt Methode: Rissfortschritt
 Belastung: Einachsige uniaxial- Lastkollektiv

Wöhlerlinie:
 Kurzname: Kurzname Werkstoffnummer: Materialnummer
 dK_th : 221,360 K_c : 1992,25
 C : 1,12400e-07 m : 2,12000e00

Berechnungsparameter:
 Klassierung Anzahl der Klassen: 100 Hysterese: 0
 Obere Grenze: 201 Untere Grenze: -201
 Klassierung nicht bei 0 begonnen
 Geometrie Einfluss Y(0) : 1,122 NO : 1,0
 Konzept a0 : 1,00000e+01 ak : 2,00000e+01
 Einheiten Erdogan-Ratwani
 Spannung: 1 [[N/mm²]]
 Belastungshoehe
 L1: kollektiv.mes
 Multiplikator: 1

Bild 25-17: Berechnungsergebnis nach Erdogan-Ratwani

1.4 Zusammenfassung der Lebensdauerberechnung

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse der oben durchgeführten Berechnungen zusammen. In dem hier gezeigten Beispiel wird die Endrisslänge von 20mm nach Erdogan-Ratwani früher erreicht als nach Paris. Ebenfalls zeigt sich, dass der Riss für eine Berechnung nach Erdogan-Ratwani nach 2000 Zyklen eine größere Länge aufweist. Diese Ergebnisse müssen jedoch nicht repräsentativ sein für andere Fragestellungen.

Rissfortschrittsberechnung	nach Paris	nach Erdogan-Ratwani
Lastwechselzahl bis 20mm Risslänge erreicht wird	6297	3707
Risslänge nach 2000 Zyklen	12,01mm	12,79mm

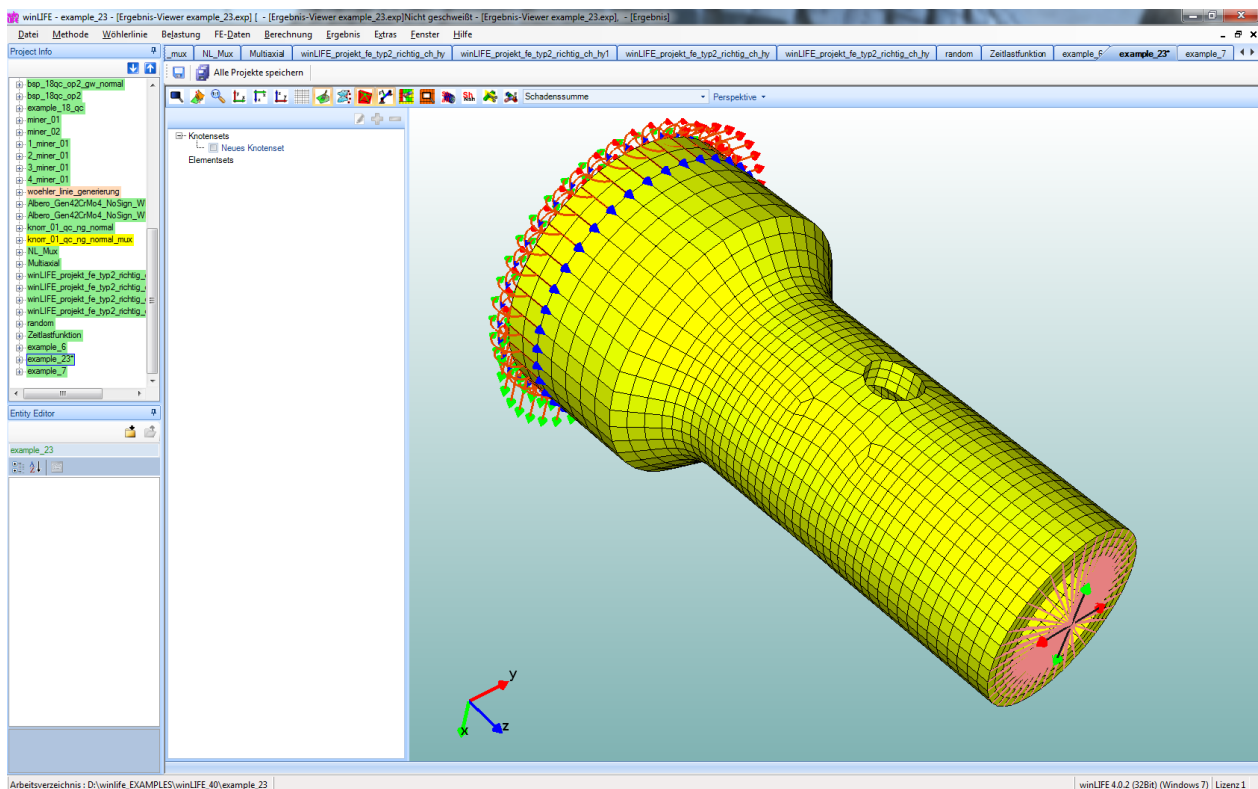
Vergleich der Ergebnisse nach Paris und nach Erdogan-Ratwani

26. Beispiel 25 / Einführung in den winLIFE Viewer

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

Die folgende Einführung in den VIEWER4WINLIFE basiert auf dem Beispiel 23 - der rotierenden Welle.

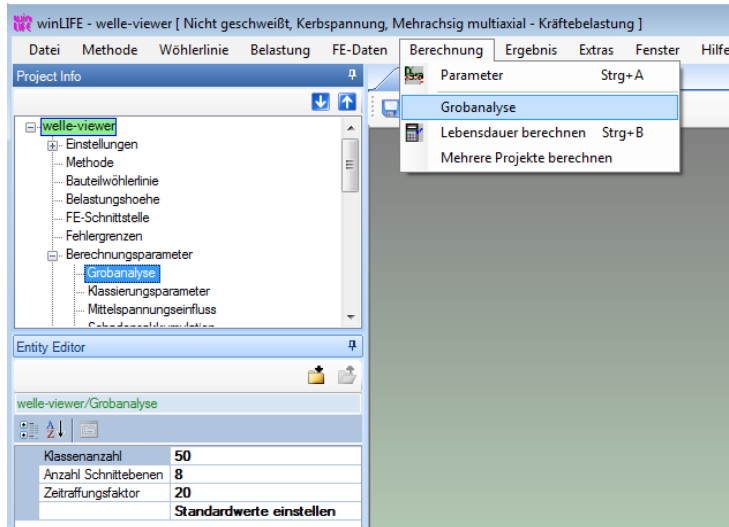
Es empfiehlt sich, das zugehörige Video anzuschauen, da dort die Menüfolge im VIEWER4WINLIFE festgehalten ist. Die untere Abbildung zeigt im Viewer das FE-Modell der Welle mit den Lagerungsbedingungen und Kräften OHNE Ergebnisse.



Darstellung des Modells mit Lasten und Randbedingungen im VIEWER4WINLIFE

26.1. Berechnung aller Knoten der Oberfläche

In der ersten winLIFE 4.0 Berechnung wird eine Grobanalyse von allen Knoten des Modells durchgeführt. Hierzu werden die gezeigten Einstellungen verwendet.



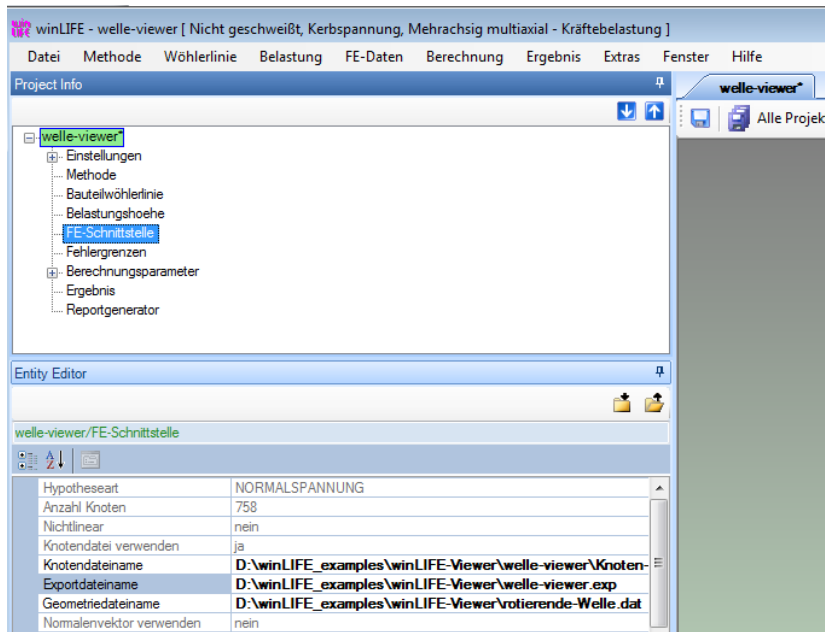
Einstellung der Grobanalyse

Es ergibt sich als Ergebnis für die Grobanalyse:



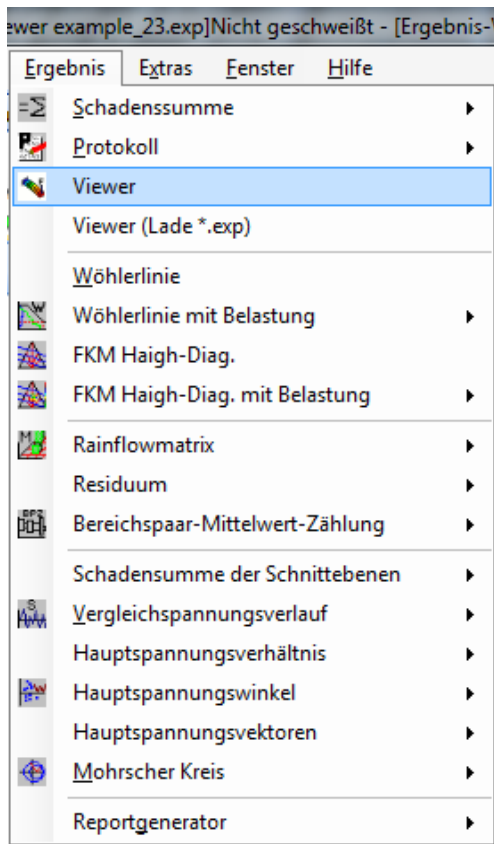
Ergebnis der Grobanalyse

Der Viewer benötigt für die Darstellung die winLIFE 4.0 Ergebnisdatei (*.exp) und beispielsweise die Nastran Input Datei (*.dat). Die Pfade zu diesen beiden Dateien werden, soweit es noch nicht automatisch erfolgt ist, im Menü FE-Schnittstelle eingetragen.



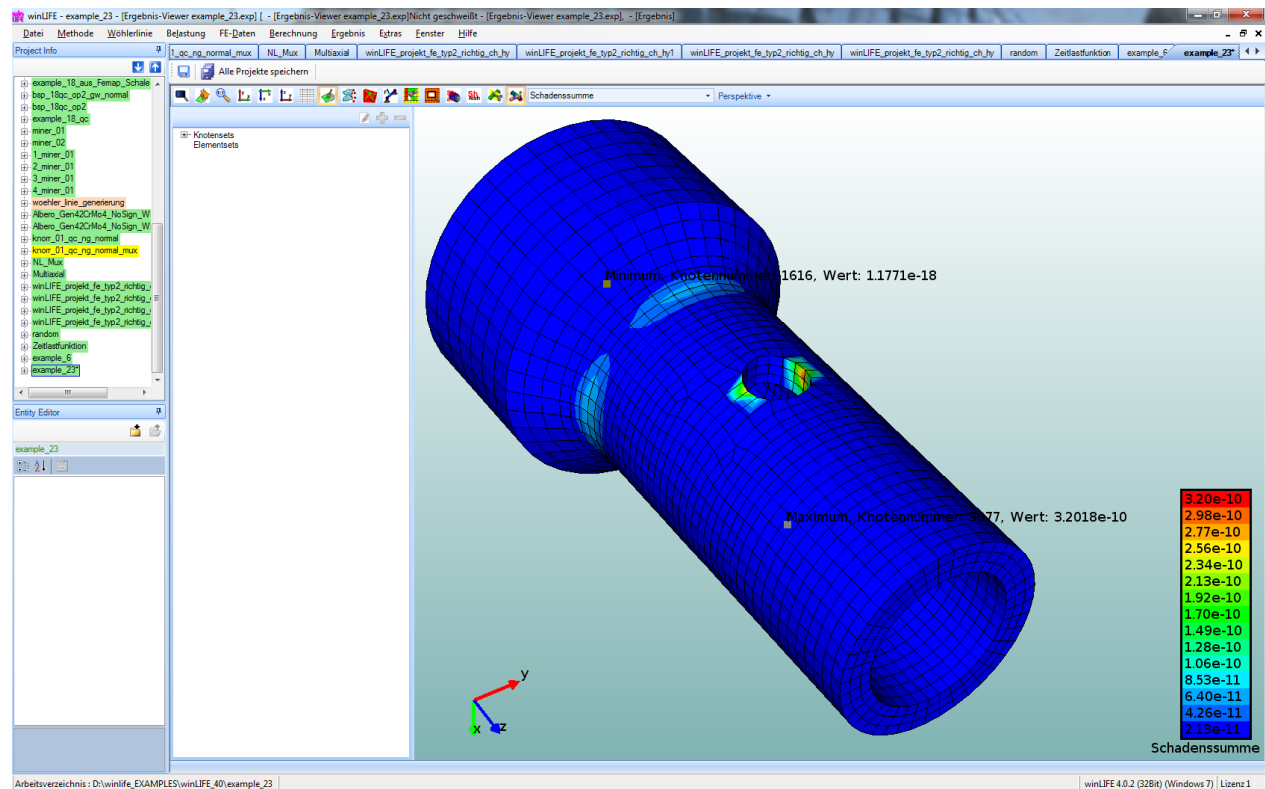
Angaben im Menü FE-Schnittstelle

Die Berechnungsergebnisse können nun in winLIFE 4.0 visualisiert werden. Hierzu wird der Befehl Viewer aus dem Ergebnismenü gewählt.



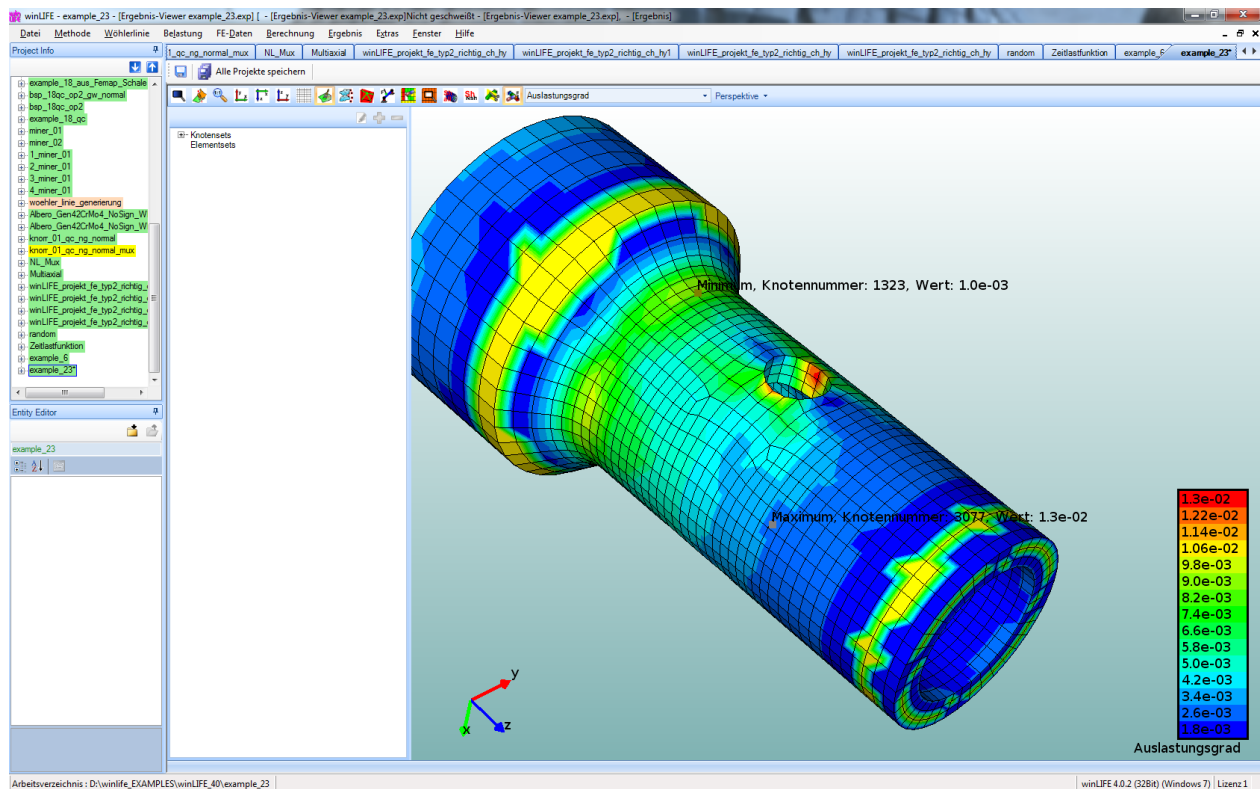
Aufruf des VIEWER4WINLIFE

Die Ergebnisse zeigen im Bereich der Querbohrung die höchsten Schadenssummen. Neben der Schadenssumme können auch die äquivalenten Amplituden oder der Auslastungsgrad gewählt werden.



Darstellung der Schadenssumme im VIEWER4WINLIFE

In folgender Abbildung ist der Auslastungsgrad gezeigt. Auch in dieser Darstellung ist die Querbohrung als kritische Stellen zu bewerten.



Darstellung des Auslastungsgrads im VIEWER4WINLIFE

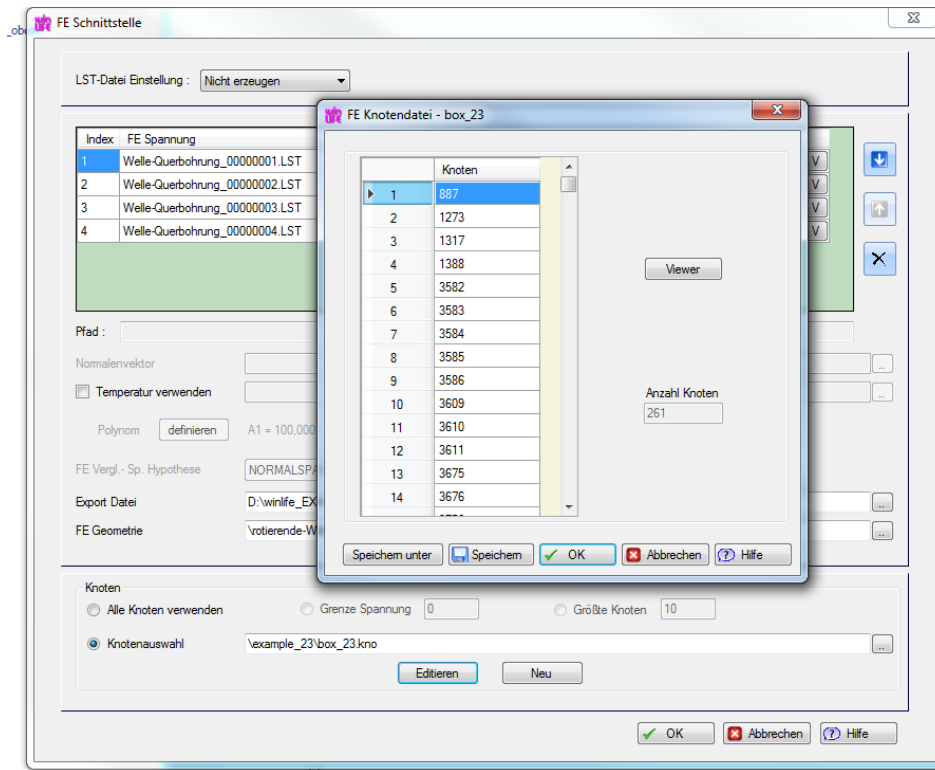
26.2. Berechnung einer Knotenauswahl

In vielen Fällen ist eine Berechnung nur weniger, ausgewählter Knoten oder Elemente sinnvoll, da so die Rechenzeit reduziert werden kann. Dazu soll ein Knotenset aus dem Bereich der Querbohrung erzeugt werden. Nur mit diesen Knoten wird in winLIFE 4.0 dann eine Lebensdauerberechnung durchgeführt.

Dazu wird im Menü

FE-Daten

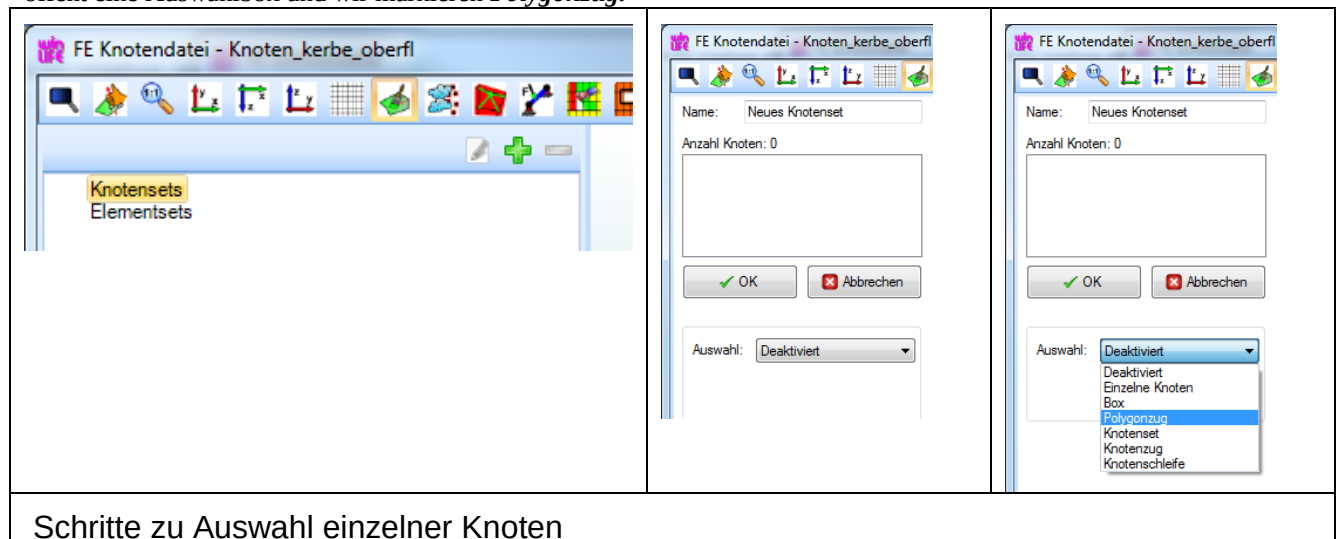
Angeklickt und es erscheint die Maske **FE-Schnittstelle**. Dort wird der Menüpunkt **Knotenauswahl** markiert.



Maske zur Auswahl einzelner Knoten

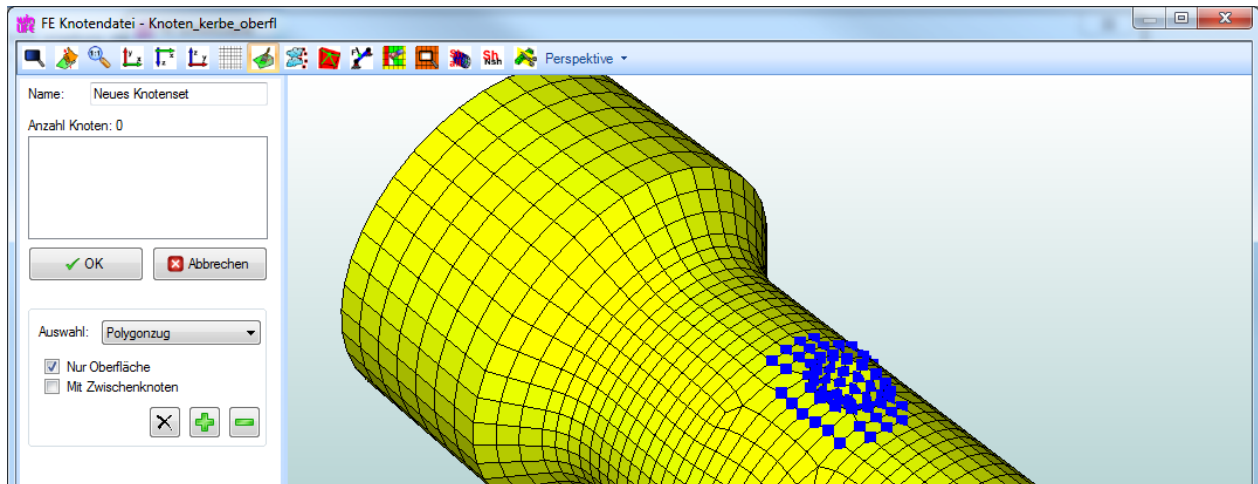
Es erscheint dann das folgende Bild. Eine bereits existierende Auswahl (hier box_23.kno) wird angezeigt. Wir wollen aber eine neue Auswahl erzeugen und wählen dazu **Viewer** und es wird das im Projekt gewählte Modell angezeigt.

Wir klicken das grüne **Plus** an und das Aussehen des Auswahlfensters ändert sich. Anklicken des Button **Deaktiviert** öffnet eine Auswahlbox und wir markieren **Polygonzug**.



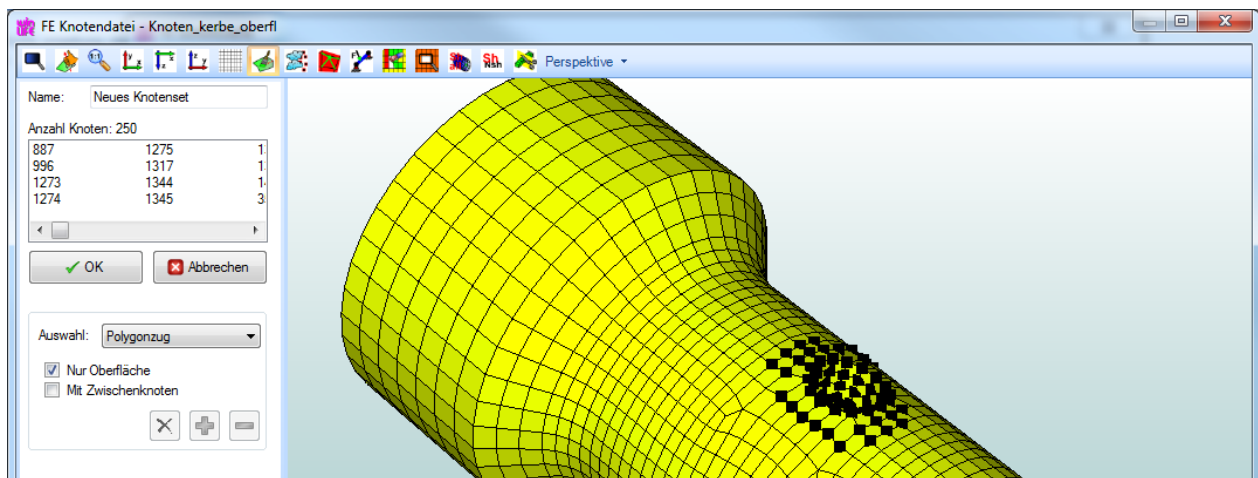
Schritte zu Auswahl einzelner Knoten

Durch punktweises Anklicken erzeugen wir einen Linienzug um die Bohrung herum, markieren das Kästchen **Nur Oberfläche**. Nach Drücken der rechten Maustaste und Auswahl OK erscheint folgendes Bild.



Schritte zu Auswahl einzelner Knoten

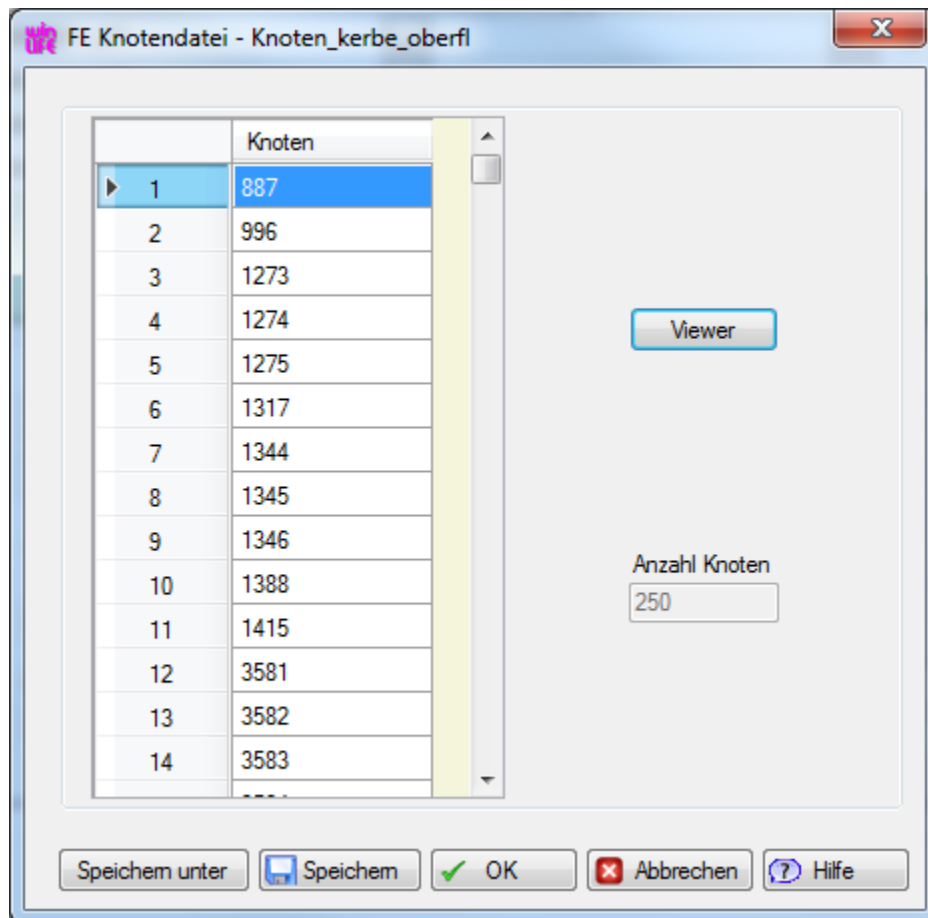
Durch Klicken auf das grüne Plus werden die gewählten Knoten in das Auswahlfenster übernommen (s. nächstes Bild).



Schritte zu Auswahl einzelner Knoten

Wir ändern noch den Namen des Knotensets indem wir **neues Knotenset** durch **Knoten_kerbe_oberfl** ersetzen. Die endgültige Übernahme der Daten erfolgt durch Schließen des Fensters (oben rechts x anklicken).

Nach Verlassen des Viewers erscheint eine Tabelle mit allen gewählten Knoten (nächstes Bild), die wir nun unter dem Namen **Knoten_kerbe_oberfl.kno** abspeichern.

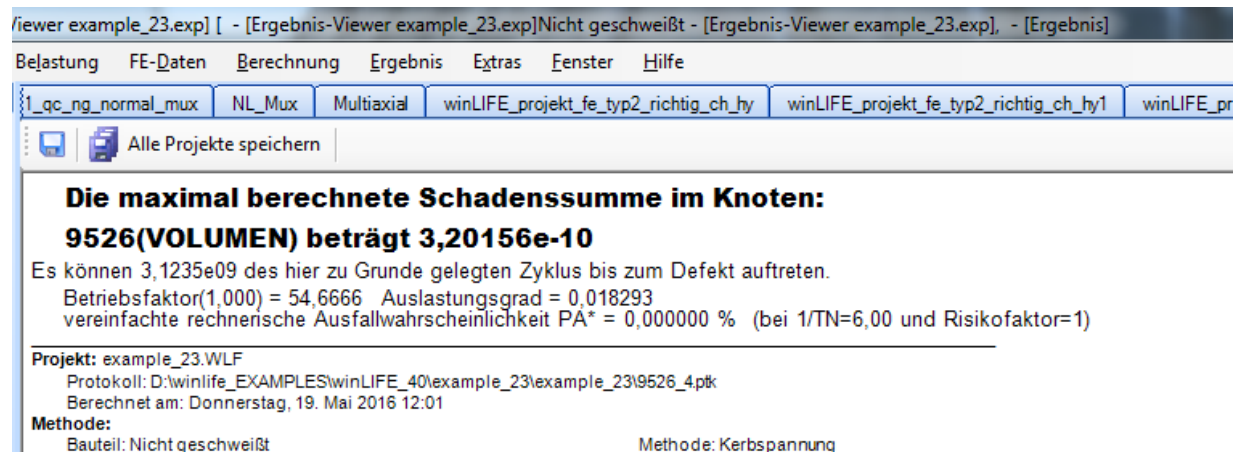


Ergebnis der Auswahl als Knotenliste

Eine erneute Berechnung nur für diese Knoten starten wir durch

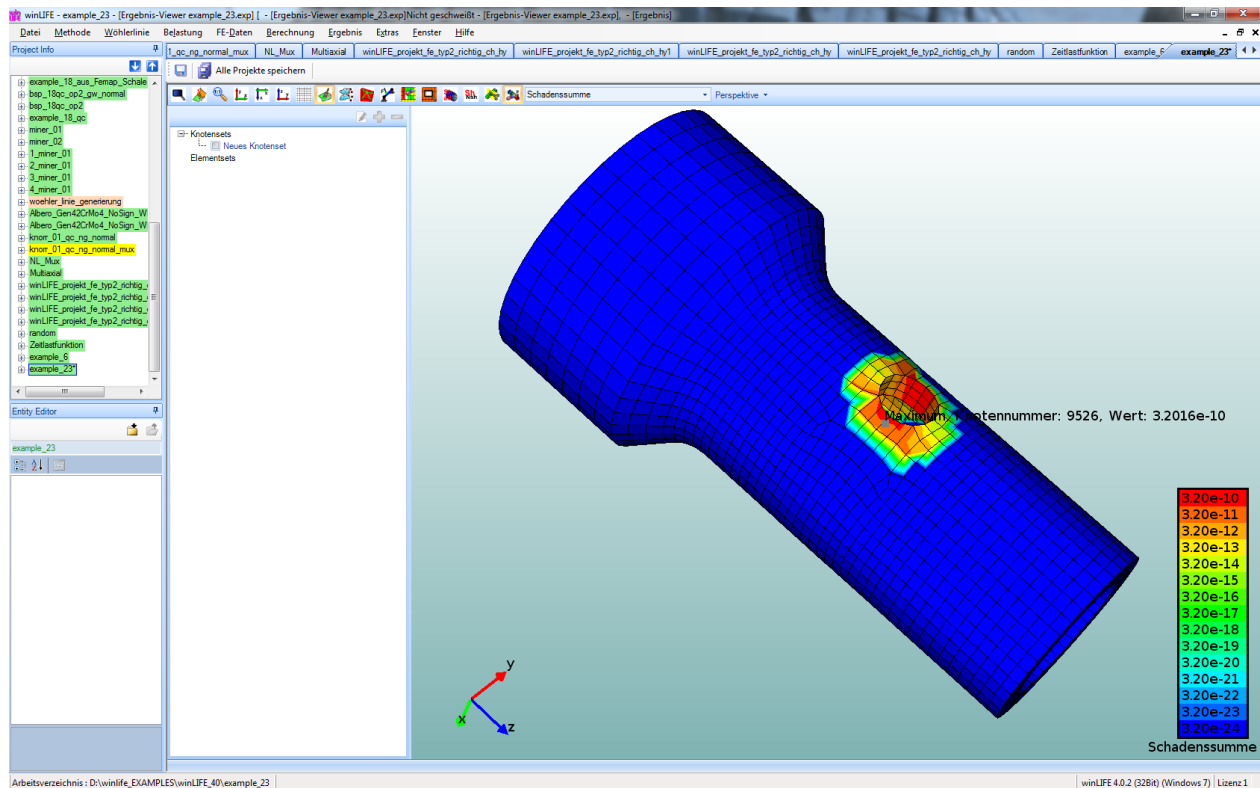
Berechnung / Lebensdauer Berechnen

Nach Abschluß der Berechnung wird die folgende Maske angezeigt



Ergebnisfenster nach Abschluß der Berechnung

Wir wählen nach Abschluß der Berechnung **Ergebnis /Viewer** und sehen nun die Ergebnisse, die nun nur für die gewählten Knoten erzeugt wurden.



grafische Ergebnisdarstellung der Berechnung der ausgewählten Knoten

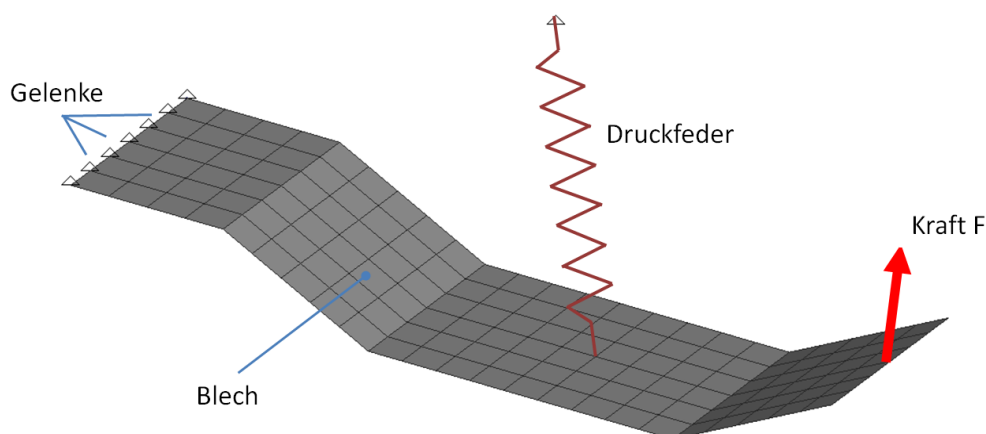
27. Beispiel 26 / Nichtlinearität eines Federblechs

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

27.1. Aufgabenstellung

27.1.1. Bauteilgeometrie

In dieser Aufgabe wird ein Federblech hinsichtlich seiner Festigkeit untersucht. Dabei soll das nichtlineare Verhalten der Struktur unter großen Verformungen berücksichtigt werden. Die am rechten Rand des Blechs wirkende Kraft (rot) bewegt das Blech nach oben. Das linke Ende des Blechs ist drehbar gelagert. Eine Feder wirkt der Bewegung des Blechs entgegen.



Geometrie des Federblechs

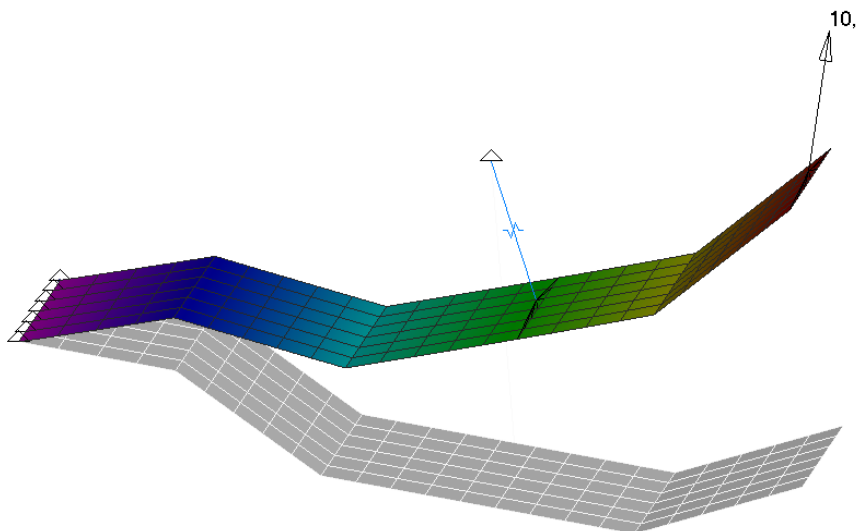
27.1.2. Werkstoffdaten

Als Werkstoffe werden niedrigfeste Stähle der Gruppe S235JR verwendet.

Werkstoffname:	S235JR
E-Modul:	ca. 210.000 MPa
Re	≥ 235 MPa
Rm	≥ 360 MPa
Querkontraktionszahl:	0,3

27.1.3. Modellbildung

Das Modell ist in Femap aus ebenen Schalen-Elementen (plates) aufgebaut. Die Verformung unter der maximal wirkenden Last von 10N zeigt folgendes Bild. Die Verformung ist von Ihrer Größe her realistisch dargestellt.



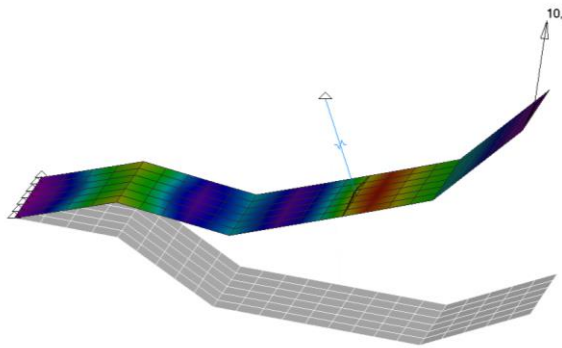
Verformung unter der größten Last

27.1.4. Bauteilbelastung

Am Enden der Struktur wirkt eine zeitlich veränderliche Last. Wir werden eine schwellende Belastung untersuchen. Die Last wird für die nichtlineare FE-Analyse schrittweise auf die Struktur gegeben.

Lastfall	Belastungsart	Höchste Kraft
1	Zugkraft	max. Kraft $F = 10$ N

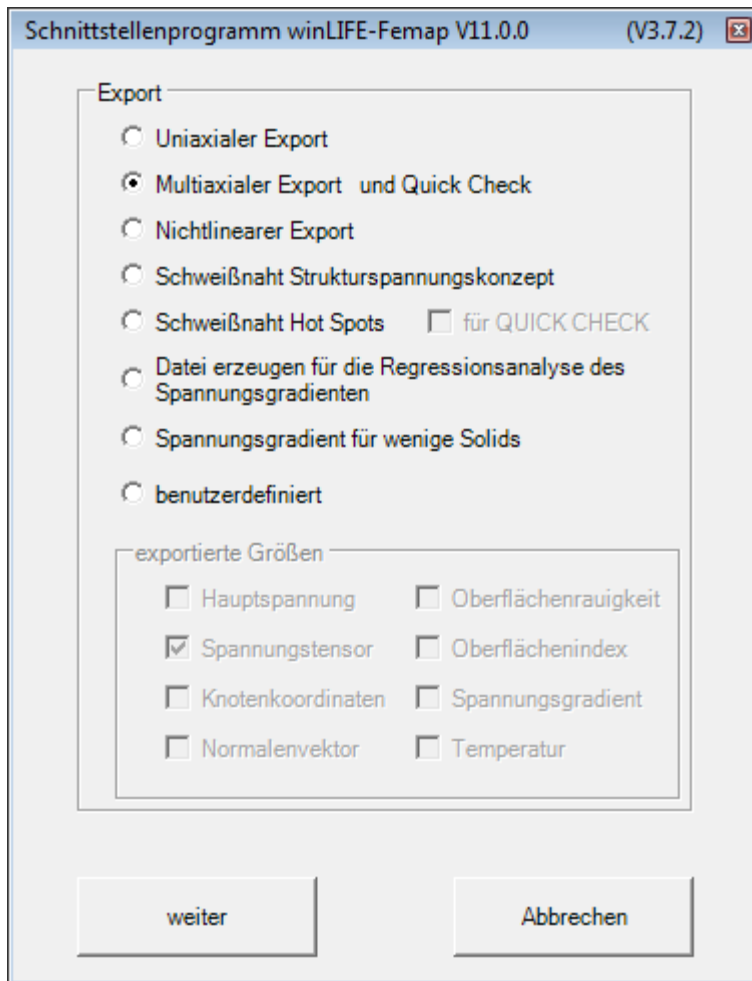
Die sich ergebenden Vergleichsspannungen für die maximale Kraft sind in folgender Abbildung gezeigt.



Vergleichsspannungen unter Zugbelastung

27.2. Durchführung einer Lebensdauerberechnung

Die Spannungen für jeden Knoten werden zu bestimmten Zeitschritten herausgeschrieben. Alle 0,05s wird der vollständige Spannungstensor exportiert. Ein Zeitschritt von 0,05s entspricht dabei einer Last von 0,5N. Für die richtige Mittelung der Knotenspannungen müssen die Materialachsen der plate Elemente in eine Richtung transformiert werden. Wir wählen die z-Richtung des globalen Koordinatensystems.



Vergleichsspannungen unter Zugbelastung

Schnittstellenprogramm winLIFE-Femap V11.0.0 (V3.7.2) 

Spannungsexport

Spannungsart
☒ Knoten ☐ Element

Spannungen für folgende Elemente exportieren
☐ Solids ☐ Beam ☐ Rod
☒ Plates ☐ Bar

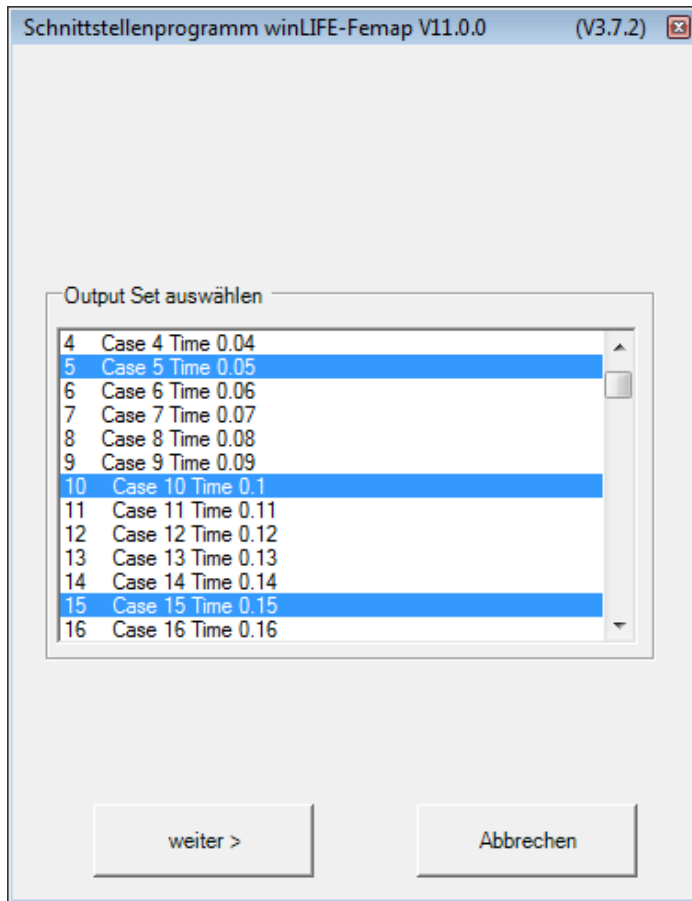
Berechnungsmethode
☒ Average ☐ Max

Materialachsen der Schalenelemente transformieren
☒ Transformieren
 Element Vektor im Basic Rectangular
 X Y Z

Faktoren der Extrapolation
☒ lineare extr. ☐ quatratische extr.
 F,innen F F,aussen

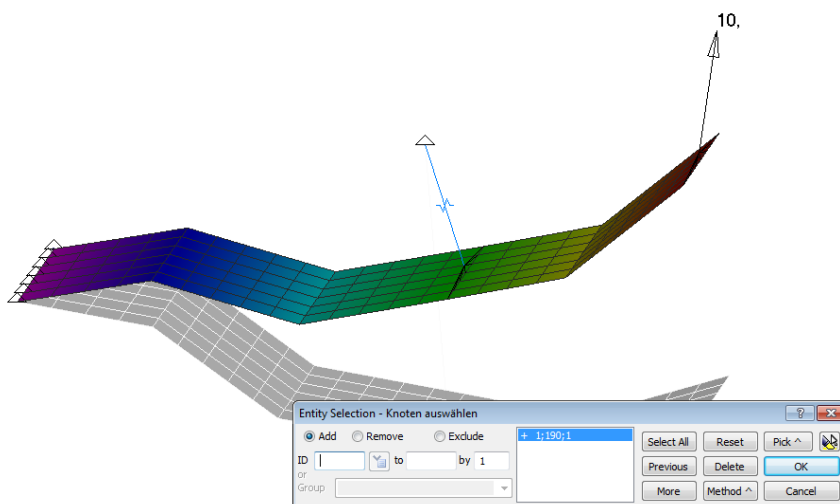
☐ Export-Gruppe der Knoten/Elemente erzeugen

Wahl der Exportoptionen



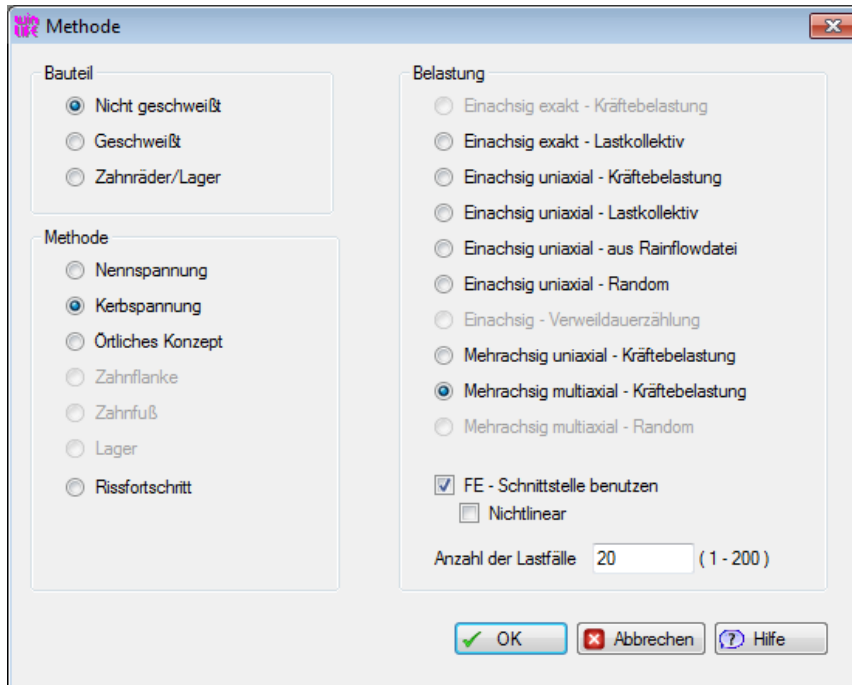
Maske zur Auswahl der Zeitschritte

Der Export der Spannungen wird für die Zeitschritte 0,05; 0,10; 0,15; usw. durchgeführt. Nach Bestätigung des Buttons weiter wird die Knotenauswahl durchgeführt. Es sollen die Spannungen für alle Knoten in eine LST-Datei geschrieben werden.



Spannungsexport für alle Knoten

In winLIFE 4.0 wird ein neues Projekt angelegt und es erfolgt die Angabe der Projektmethode. Bei dem zu betrachtenden Blech handelt es sich um ein nichtgeschweißtes Bauteil. In der Lebensdauerberechnung sollen örtliche Spannungen verwendet werden, daher wird als Methode „Kerbspannung“ gewählt. Als Belastung wird „Mehrachsig multiaxial“ eingestellt, so erfolgen mehr Auswertungen bei der Lebensdauerberechnung. Eine Berechnung „Einachsig uniaxial“ wäre aber auch möglich, da nur ein Lastfall vorliegt. Die FE-Schnittstelle wird mit den 20 exportierten Lastfällen verwendet.



Einstellungen zu der Projektmethode

Für den Stahl S235JR wird eine Wöhlerlinie nach FKM generiert. Hierzu kann aus der winLIFE 4.0 Datenbank der Werkstoff gewählt werden. Menü **Wöhlerlinie** → **Laden FKM**. Es wird von überwiegender Biegebeanspruchung ausgegangen. Die Materialkennwerte für den Stahl S235JR betragen für die Zugfestigkeit R_m 360 N/mm² und für die Streckgrenze R_e 235 N/mm². Die Oberflächenqualität (Rauhtiefe) wird mit R_z 25 angesetzt. Die Blechdicke beträgt 0,4mm.

Wöhlerlinie

Generator >> Ausfallwahrsh. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=1)

Rm (Biegung)	360,000	[N/mm ²]
Re (Zug-Druck)	235,000	[N/mm ²]
Steigung (*)	5,000	
Steigung 2 (*)	5,000	
Zug/Druck w.	162,000	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit (*)	155,381	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit 2 (*)	155,381	[N/mm ²]
Ecklastspielzahl (*)	1000000	
Ecklastspielzahl 2 (*)	1000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,0260000	
Belastung (*)	Biegung	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,73310	

Identifikation

Kurzname: St 37-2

Werkstoffnummer: 1.0037

Bemerkung: S235JR
unlegierter Baustahl nach DIN EN 10 025 (März 1994)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Parameter

Berechnungsmethode: FKM

Werkstoff: Stahl

Belastung: Biegung

Bearbeitung: unbearbeitet

Rm: 360,000 [N/mm²]

Re: 235,000 [N/mm²]

χ^* : 0,00000

$\chi^*(d)$: 0,00000

K_{σ} : ☐ 2,0000

Rauhtiefe: 25,00 [µm]

Kv: 1,000

Ks: 1,00 ?

Temperatur: 20,0 [°C]

D_eff: 0,4 [mm]

D_effN: 40,0 [mm]

adm: 0,15

Anisotropie: 1,00

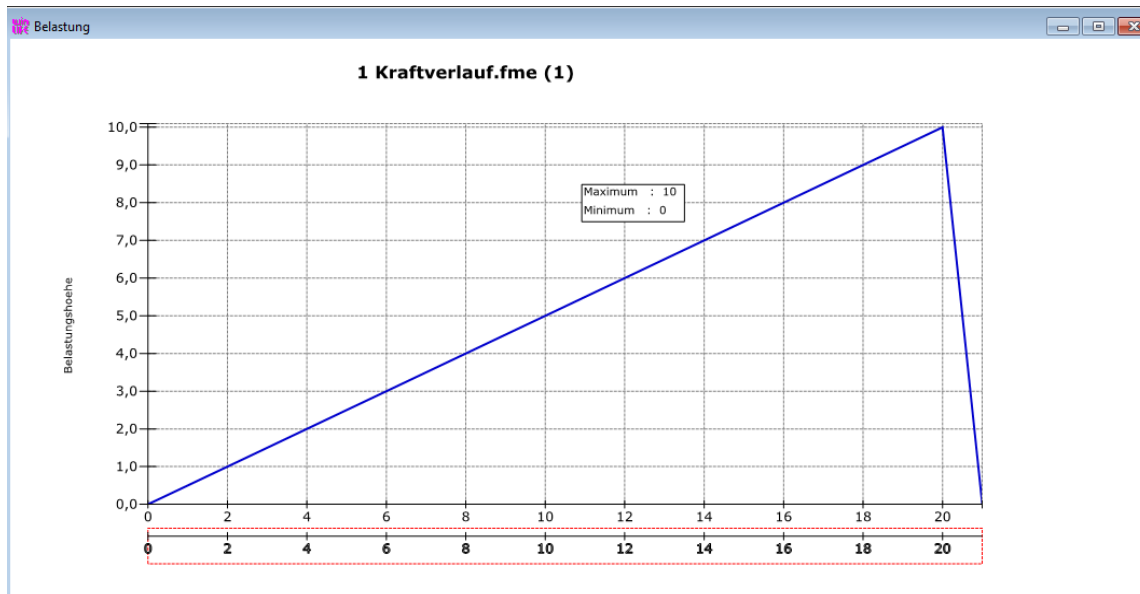
K_NL: 1,000

Sicherheitsfaktor (j): 1,0000

generieren ☐ Protokoll anzeigen

Definition der Wöhlerlinie nach FKM

Der Kraftverlauf wird in 20 Schritte definiert: Menü **Belastung** → **Kräftebelastung** → **Generieren**. D.h. die Last steigt von 0 auf 10N in Schritten von 0,5N. Anschließend geht die Last auf den Wert Null zurück.



Definition des Kraftverlaufs

Für den nichtlinearen Zusammenhang zwischen Kraft und Spannungen wird eine sogenannte Zuordnungsmatrix verwendet. Hier wird der Zusammenhang zwischen dem Kraftwert und der dazugehörigen Spannung hergestellt. Da wir Kraftwerte vorgeben, handelt es sich um den Zuordnungsmatrix-Typ 2. Der Zuordnungsmatrix-Typ 1 verwendet Klasseneinteilungen.

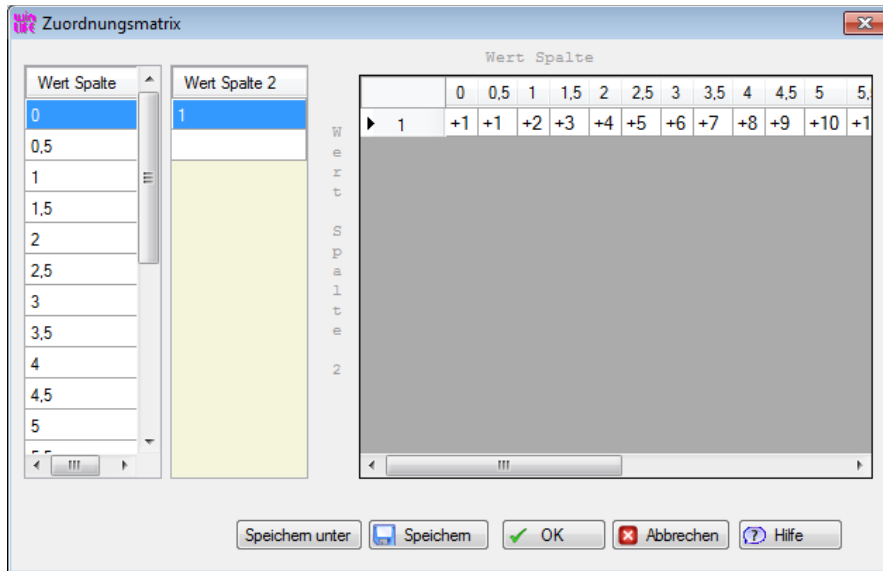
In den Spalten wird die Kraft angegeben. In unserem Fall 0,0N; 0,5N; 1,0N; usw.. In der darunterliegenden Zeile wird die Nummer der LST-Datei angegeben, die im FE-Datendialog in der Liste dann eingetragen wird. Da nur ein Lastfall vorhanden ist, liegt nur eine Zeile in der Matrix vor.

The 'Belastung' dialog box contains the following information:

- Zyklen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor 1
- ☐ Formeldatei verwenden
- Table:

Lastfall	Datei	Multiplikator	Wiederholungen	Spalte	Spalte 2	1. Datenreihe
1	Kraftverlauf.fme	1	1	1	1	2
- Pfad:
- ☒ Zuordnungsmatrix verwenden: \blech_06.vz4
- ☐ Debug Datei schreiben
- Buttons: Editieren, Neu, Generieren
- Buttons: OK, Abbrechen, Hilfe

Eingabe des Belastungsverlaufs



Angabe der Zuordnungsmatrix

Für die Kraft 0N wird die erste LST-Datei verwendet. Hier bräuchten wir eigentlich eine LST-Datei, die für den Spannungstensor nur aus Nullen besteht. Ein kleiner Fehler ist also in der Berechnung enthalten. Dieselbe erste LST-Datei wird für das Kraftniveau 0,5 N verwendet.

In dem Menü FE-Schnittstelle sind die Ergebnisse aus der FE-Simulation anzugeben. Es werden die vorher erzeugten LST- Dateien für die einzelnen Kraftschritte eingetragen.

Menü FE Schnittstelle

LST-Datei Einstellung : Nicht erzeugen

Index	FE Ergebnis Datei	FE Spannungsgradient	FE Kraft
1	Spannungen_multiaxial_00000005.LST	...	1
2	Spannungen_multiaxial_00000010.LST	...	1
3	Spannungen_multiaxial_00000015.LST	...	1
4	Spannungen_multiaxial_00000021.LST	...	1
5	Spannungen_multiaxial_00000026.LST	...	1
6	Spannungen_multiaxial_00000031.LST	...	1
7	Spannungen_multiaxial_00000036.LST	...	1

Pfad :

☐ Normalenvektor verwenden

☐ Temperatur verwenden

Polynom definieren A1 = 100,000 B1 = 0,400 C1 = 1,550

FE Vergl.- Sp. Hypothese NORMALSPANNUNG

Export Datei D:\winLIFE examples\Example 26 - Blank Nonlinear\Blech_Nichtlinear_Matrix.exp

FE Modell Datei (Viewer) D:\winLIFE examples\Example 26 - Blank Nonlinear\Federblech.dat

Knoten

☒ Alle Knoten verwenden ☐ Grenze Spannung ☐ Größte Knoten

☐ Knotenauswahl D:\winLIFE examples\Example 26 - Blank Nonlinear\2.kno

Editieren Neu

OK Abbrechen Hilfe

Angabe der FE-Ergebnisse

Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen als Berechnungsparameter.

The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Festigkeithypothese' tab selected. The left sidebar lists several options: Festigkeithypothese (highlighted), Klassierung, Mittelspannungseinfluss, Multiaxial, Residuum, Schadensakkumulation, and Betriebsfaktor. The main area is titled 'Festigkeithypothese' and contains two groups of radio buttons. The first group, 'Festigkeithypothese', includes: Normalspannungshypothese, Normalspannungshyp. / STM, Schubspannungshypothese, **Modifizierte GE-Hypothese** (selected), Hypothese Esterz, and Findley. The second group, 'Vorzeichen der Hypothese', includes: aus Normalspannung, aus Schubspannung, aus der betragsm. max. Spannung in Schnittebene, immer positiv, **aus betragsmäßig größter Hauptspannung** (selected), and aus größter Hauptspannung. At the bottom, there are buttons for 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK' (with a green checkmark), 'Abbrechen' (with a red X), and 'Hilfe' (with a question mark).

Wahl der Festigkeithypothese

The screenshot shows the 'Berechnungsparameter' dialog box with the 'Klassierung' tab selected. The left sidebar lists several options: Festigkeithypothese, **Klassierung** (highlighted), Mittelspannungseinfluss, Multiaxial, Residuum, Schadensakkumulation, and Betriebsfaktor. The main area is titled 'Klassierung' and contains input fields for 'Anzahl der Klassen' (100), 'Hysterese' (0), 'Obere Grenze' (65), and 'Untere Grenze' (-169). Below these fields are two checked checkboxes: 'Automatisches Berechnen der unteren und oberen Grenze' and 'Klassierung nicht bei 0 beginnen'. At the bottom, there are buttons for 'Klassieren', 'Extrapolieren', 'Superponieren', 'Berechnen', 'OK' (with a green checkmark), 'Abbrechen' (with a red X), and 'Hilfe' (with a question mark).

Angaben zur Klassierung

Berechnungsparameter

Festigkeitshypothese
 Klassierung
Mittelspannungseinfluss
 Multiaxial
 Residuum
 Schadensakkumulation

 Betriebsfaktor

Mittelspannungseinfluss

☐ Wöhlerlinientransformation Rm 360,000 [[N/mm²]]
☒ Amplitudentransformation
☐ Amplitudentransformation benutzerdefiniert

Bereich: R=-∞ - R=-1 - R=0 - R=0,5 - 0,99
 Steigung M/Wert: 2 1 2 2

Klassieren Extrapolieren Superponieren Berechnen OK Abbrechen Hilfe

Angaben zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses

Berechnungsparameter

Festigkeitshypothese
 Klassierung
 Mittelspannungseinfluss
Multiaxial
 Residuum
 Schadensakkumulation

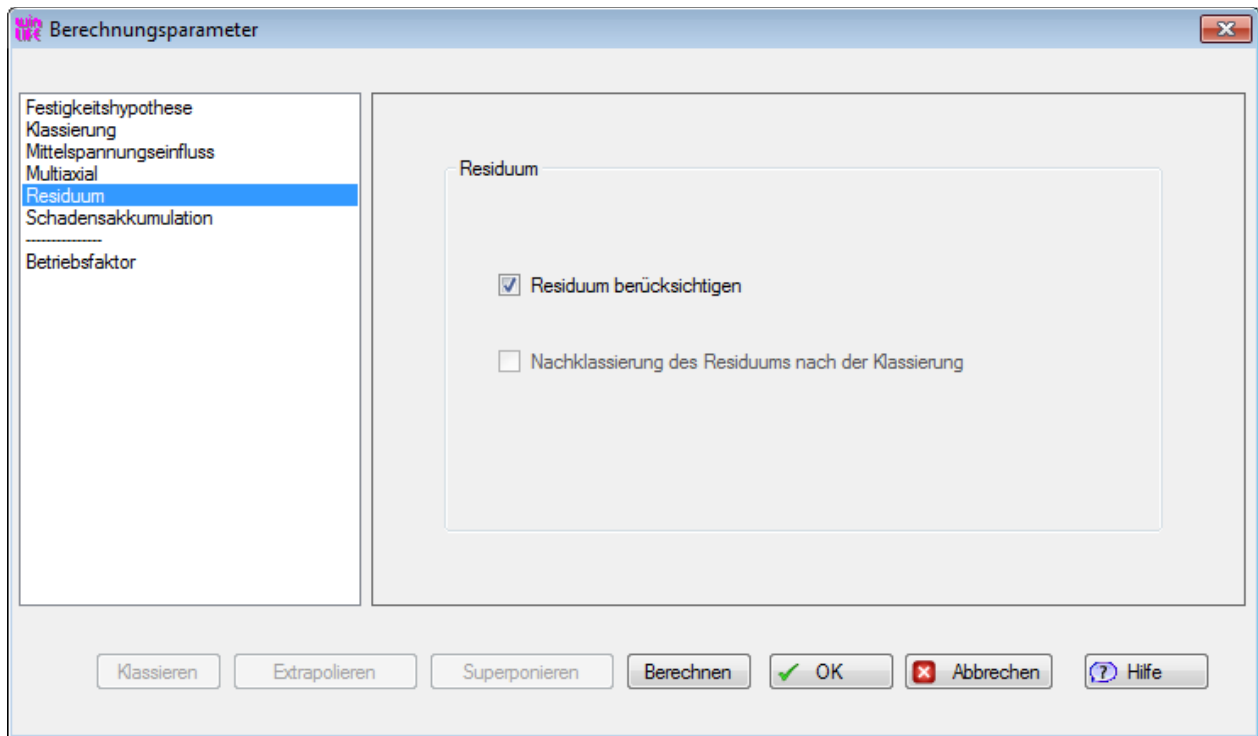
 Betriebsfaktor

Multiaxial

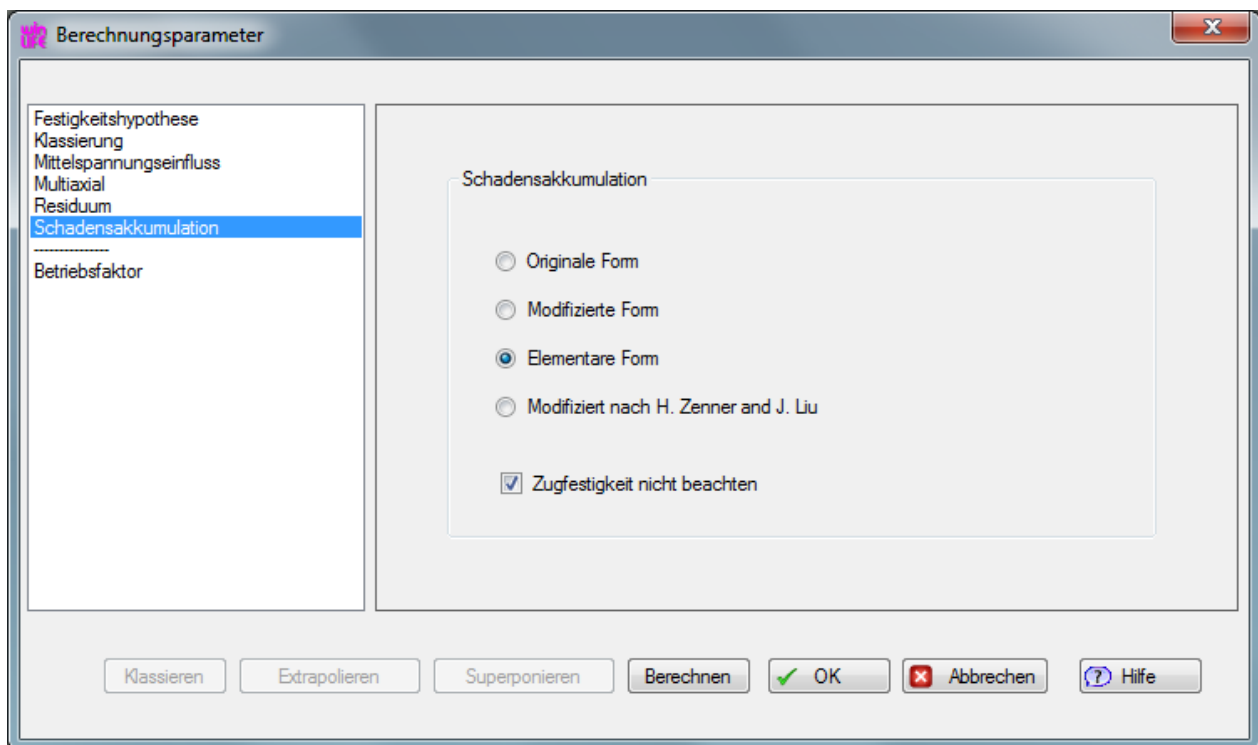
20 Anzahl der Schnittebenen
 1 Anzahl der Ergebnisdateien, die gespeichert werden
☐ Nur das Ergebnis der Schnittebene mit der maximalen Schadenssumme
☐ Einzelne Schnittebene berechnen Nr.: 1
 Transformationsmatrix für Solids
☐ Speichern
☒ Nicht speichern
☐ Verwenden
 D:\winLIFE examples\Example 26 - Blank Nonlinear\F...

Klassieren Extrapolieren Superponieren Berechnen OK Abbrechen Hilfe

Einstellungen zur Schnittebenenauswertung



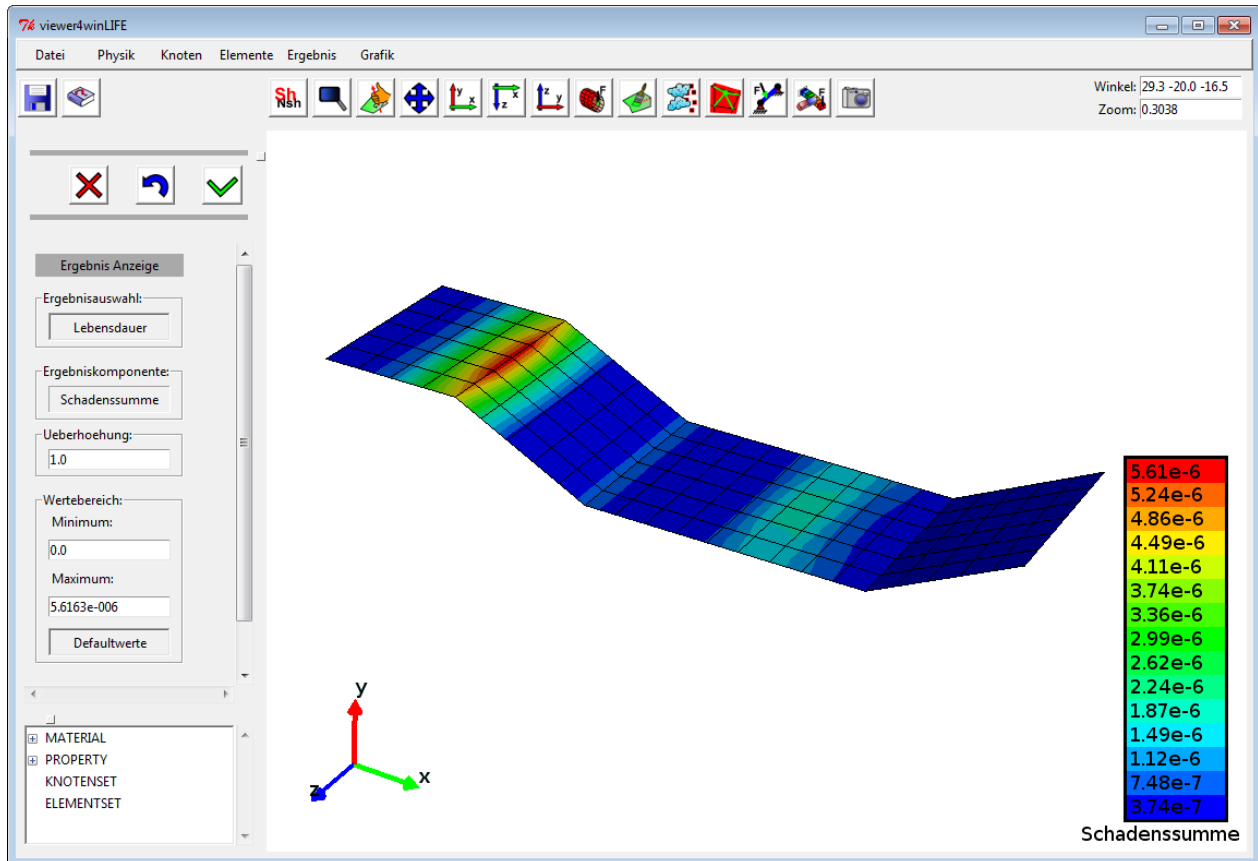
Berücksichtigung des Residuums



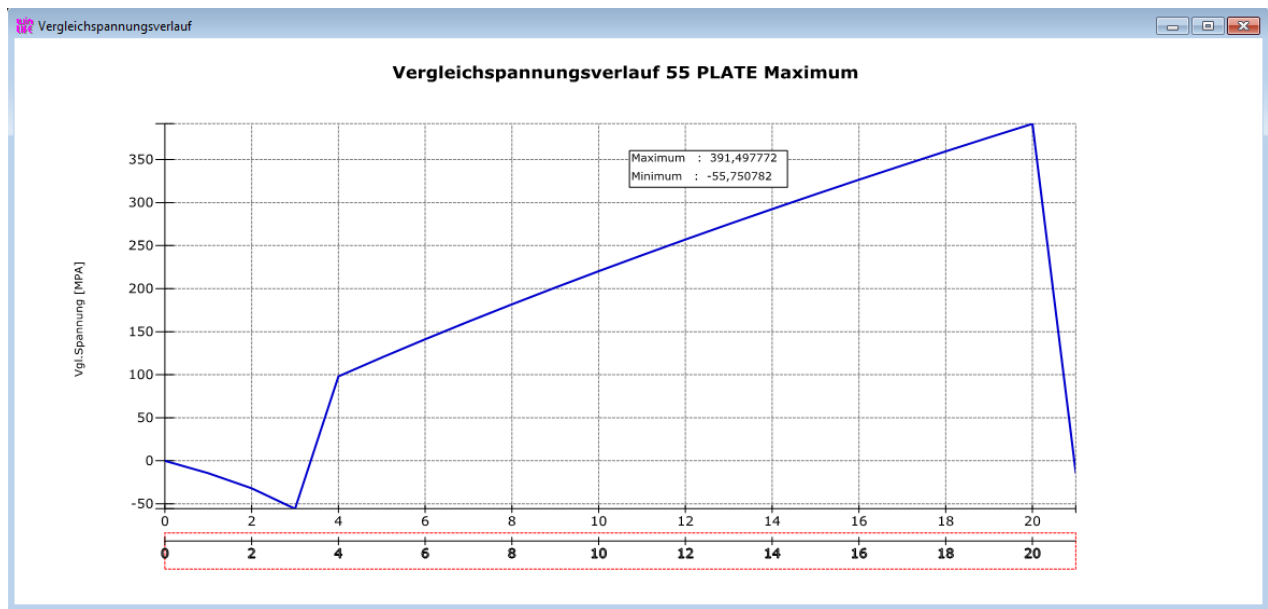
Einstellungen zur Schadensakkumulation

Mit den gewählten Angaben erfolgt in winLIFE 4.0 die Berechnung der Lebensdauer des Bleches. Die bei der Berechnung in winLIFE 4.0 entstehende Ergebnisdatei *.NEU kann in Femap zur Visualisierung der Schadenssumme und des Auslastungsgrads eingelesen werden. Hier werden die Ergebnisse im VIEWER4WINLIFE dargestellt.

Es tritt eine maximale Schadenssumme von $5,61\text{E-}06$ auf.



Schadenssummen am Blech



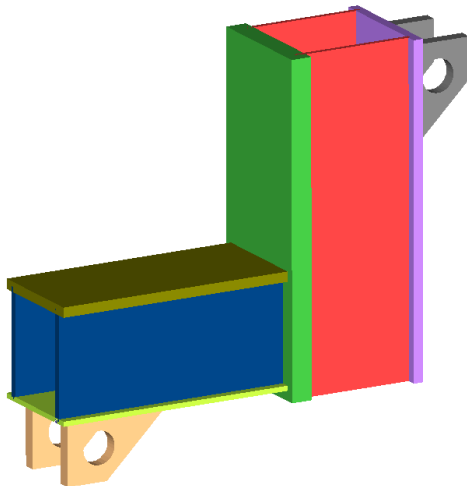
Verlauf der Vergleichsspannung für den Knoten höchster Schädigung

28. Beispiel 27 / Berechnung einer Schweißkonstruktion

28.1. Aufgabenstellung

Die hier gezeigte Schweißkonstruktion wird hinsichtlich dynamischer Festigkeit untersucht. Die Struktur ist dem Vortrag „*Optimization of Welded Structures with Hot Spot Stress Constraints Evaluated Using Consistent Finite Element Meshing*“ von Norio Takeda und Panos Y. Papalambros entnommen.

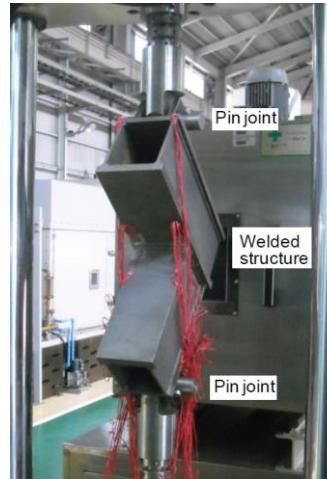
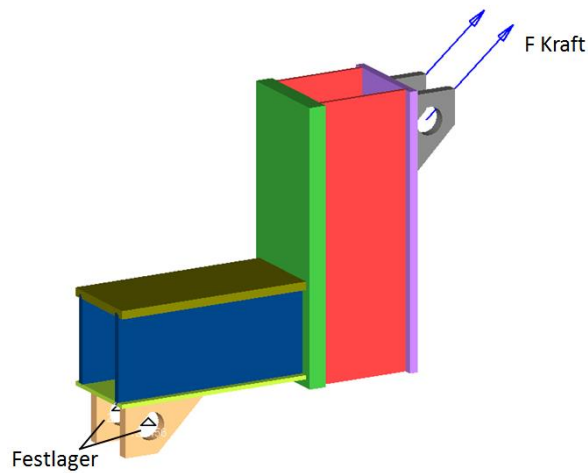
Zunächst soll ein einfaches Hot-Spot Suchverfahren zum Einsatz kommen, um die kritischen Stellen der Naht zu ermitteln. Anschließend werden die erkannten kritischen Stellen nach dem Strukturspannungskonzept genauer betrachtet. Der Vergleich mit Versuchswerten wird durchgeführt.



Modell der Schweißkonstruktion

28.2. Geometrie und Last

Die Geometrie mit ihren Maßen ist der oben angegebenen Quelle zu entnehmen. Die Last wirkt in den Bohrungsmittelpunkten und zwar in Richtung der Verbindungslinie der Bohrungen vom unteren zum oberen Kastenprofil. Die Bohrung des unteren Profils wird komplett fixiert wie die untere Abbildung zeigt.



Randbedingungen in der Simulation und Versuchsaufbau

28.3. Hot-Spot Suchverfahren

Das Hot-Spot Suchverfahren verwendet Blech-Properties für die Schweißnahtsuche. Dazu werden die Bleche aus Schalen-Elementen grob vernetzt. Die Elementgröße orientiert sich dabei an den Blechdicken. Das hier gezeigte Modell ist mit der Elementkantenlänge von 10mm vernetzt, obwohl die Bleche unterschiedlich stark sind wie das obere Bild zeigt.

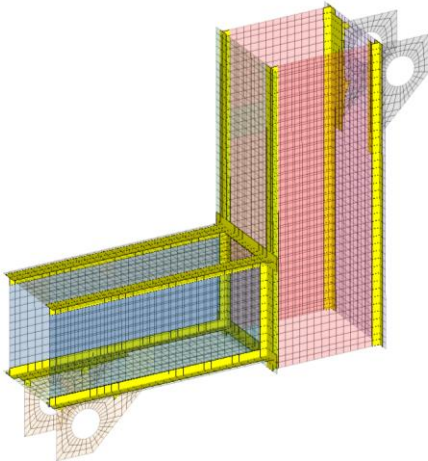
Für das Schweißnahtsuchverfahren wird die winLIFE 4.0 Schnittstelle in Femap benutzt.

In Femap wird gewählt:

Menü *winLIFE* → *Schweißnahtgruppen erzeugen* → *OK*.

In der nächsten Abfrage wählt man: *select all*

Das Beispiel Nummer 22 in der winLIFE 4.0 Hilfe geht näher auf die Schweißnahtidentifikation ein. Hier kann der interessierte Leser weitere Informationen erhalten.



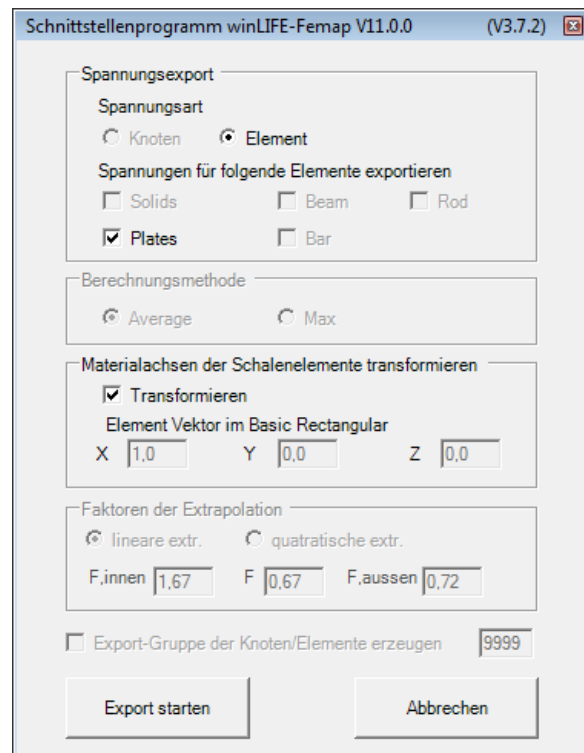
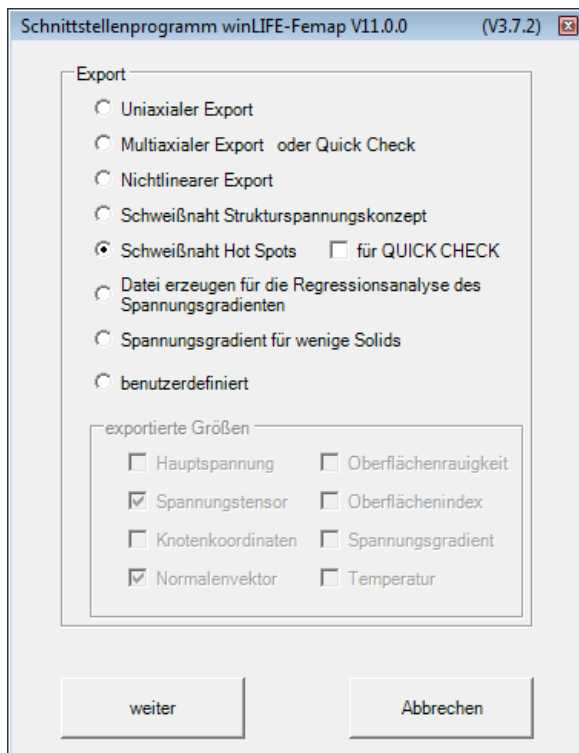
Ermittelte Schweißnahtgruppen

Die zur Schweißnaht angrenzenden Elemente werden durch das Suchverfahren gefunden, wie im oberen Bild in gelb gezeigt ist. Der Spannungsexport für diese Elemente wird nun durchgeführt.

In Femap wird gewählt:

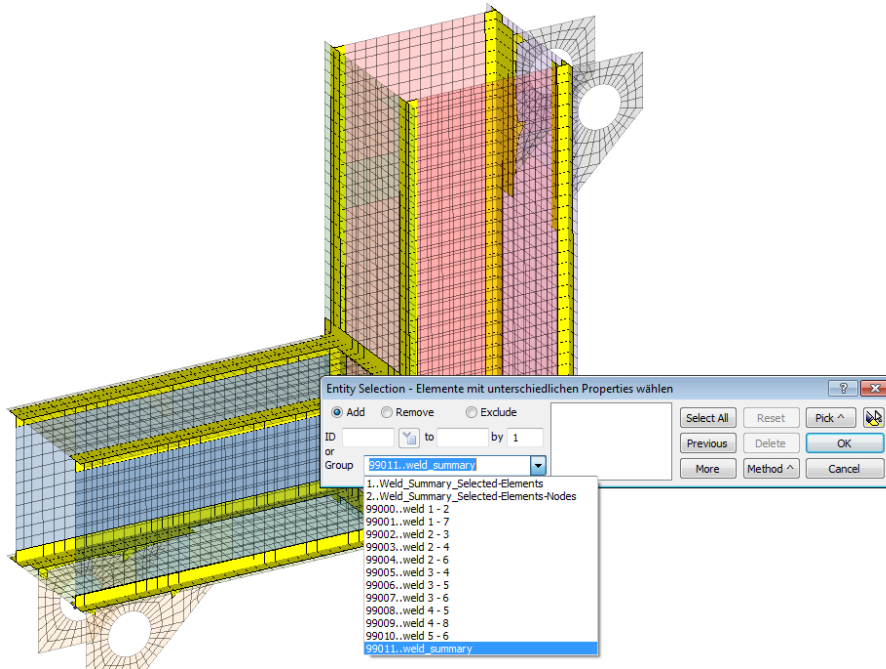
Menü *winLIFE* → *Spannungen für winLIFE exportieren*

Die folgenden Fenster werden wie dargestellt ausgefüllt.



Export der Spannungen nach dem Hot-Spot Verfahren

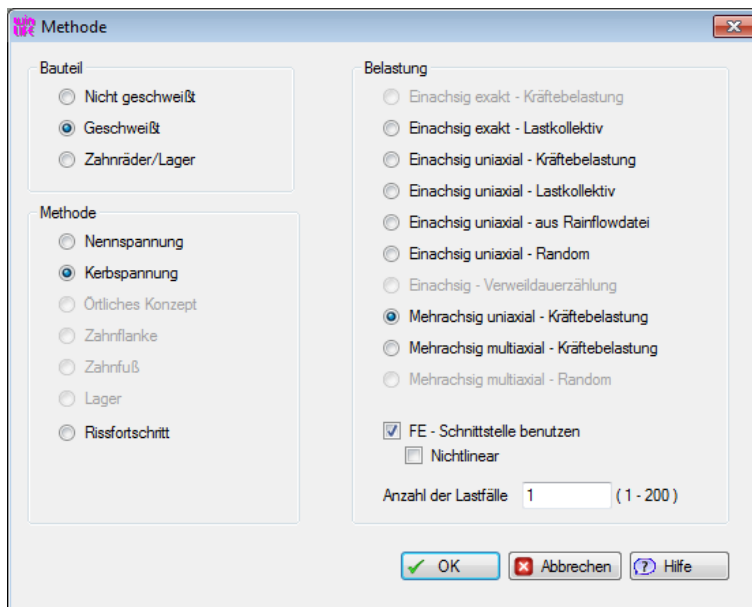
Die Nahtgruppe für den Export wird ausgewählt. Das dann folgende Fenster kann geschlossen werden, da von Hand keine weitere Schweißnaht durch Knotenselektion definiert wird.



Export der Nahtgruppe nach dem Hot-Spot Verfahren

28.4. Projektaufbau in winLIFE

In winLIFE 4.0 erfolgt die Projektdefinition für die Schweißkonstruktion. Es wirkt ein Lastfall mit einem schwelenden Spannungsverhältnis.



Methodeneinstellungen in winLIFE

Die Wöhlerlinie wird generiert. Gewählt wird aus der FKM Datenbank der Stahl S355JR. Wie in der Literaturstelle (siehe oben) wird die FAT-Klasse 90 gewählt. Eigenspannungen werden als mäßig angenommen. Der Einfluss der Blechdicke auf die Wöhlerlinie ist für die verwendeten Blechdicken der Struktur (6mm bis 25mm) nicht von Bedeutung. Es wird daher der Wert 10mm als Blechdicke verwendet.

Wöhlerlinie

Gener.FKM>> Gener.GL>> Ausfallwahrsch.>> <<

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=1)

Rm (Biegung)	510,000	[N/mm²]
Re (Zug-Druck)	355,000	[N/mm²]
Steigung (*)	3,000	
Steigung 2 (*)	3,000	
Zug/Druck w.	35,699	[N/mm²]
Dauerfestigkeit (*)	44,981	[N/mm²]
Ecklastspielzahl (*)	5000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,1500000	
Belastung (*)	Biegung	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	5,0000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,61119	

Identifikation

Kurzname: -

Werkstoffnummer: 1.0045

Bemerkung: S355JR
unlegierter Baustahl nach DIN EN 10 025 (März 1994)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

dynamische Schweißnähte nach FKM

☐ Kerbspannungskonzept ☒ Strukturspannungskonzept

Werkstoff: Stahl

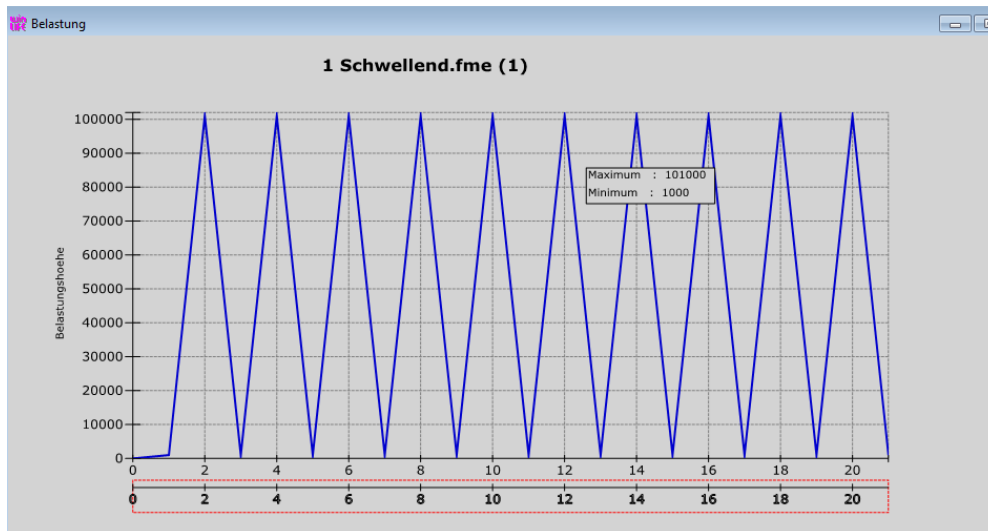
Belastung: Biegung

Rm	510,000	[N/mm²]
Re	355,000	[N/mm²]
Bauteilkategorie	90	?
Kv	1,000	?
Temperatur	20,0	[°C]
Eigenspannungen	mäßig	?
Eigenspannungsfaktor	1,26	
Blechedicke	10,00	[mm]
Art der Schweißverbindung	Fall A1	?
Sicherheitsfaktor (j)	1,0000	...

generieren ☐ Protokoll anzeigen

Wöhlerliniengenerierung

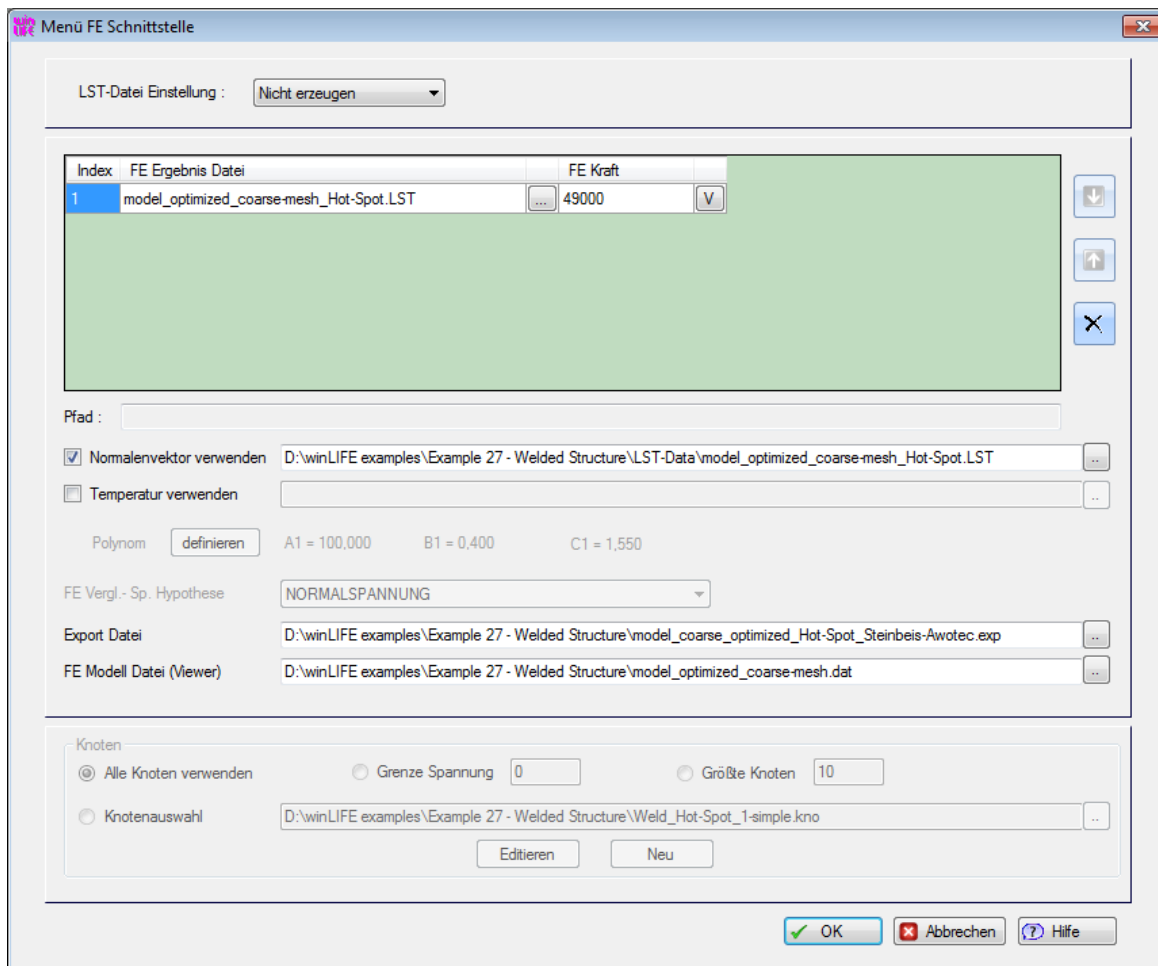
Als Belastung werden 10 schwellende Zyklen vorgegeben.



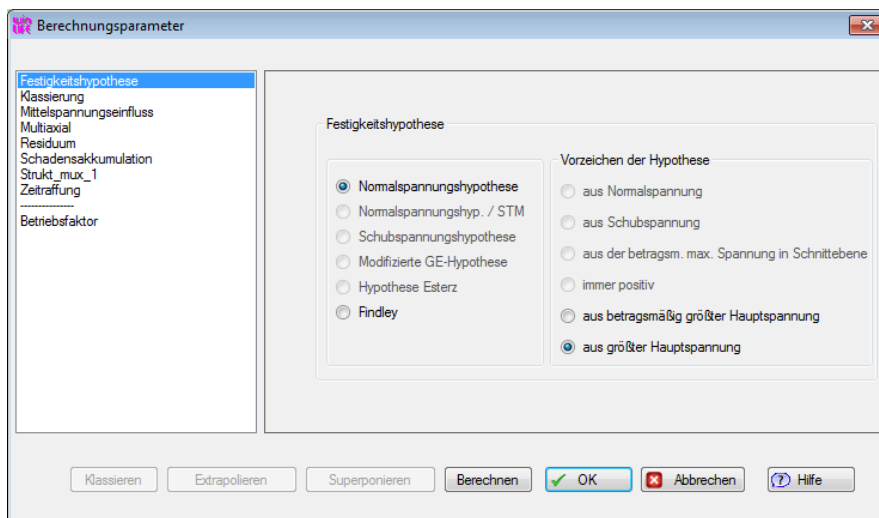
Last-Zeitverlauf

Die Kraft in der FEM-Berechnung beträgt 49000N. Ebenfalls muss der Normalenvektor wie unten gezeigt angegeben werden. Dieser ist in der exportierten LST-Datei enthalten.

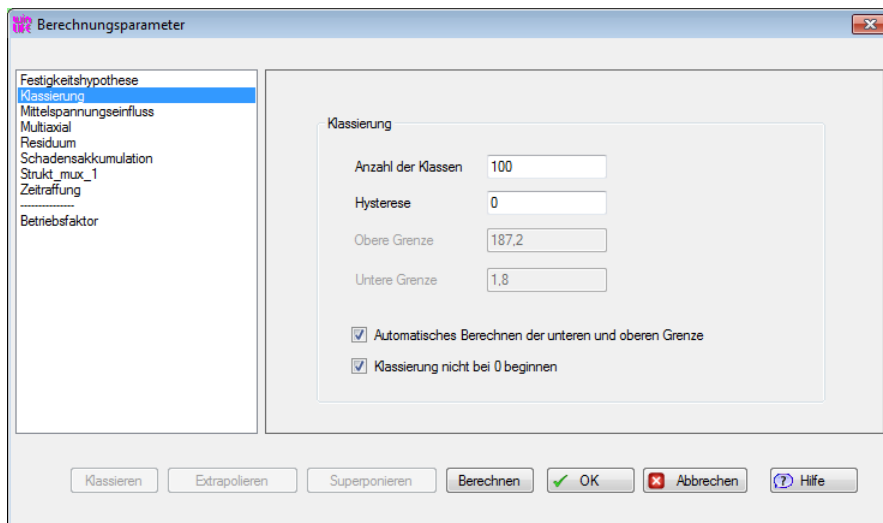
Die Angabe der FE-Modell Datei für den VIEWER4WINLIFE erfolgt hier durch die NASTRAN (*.dat) Datei.



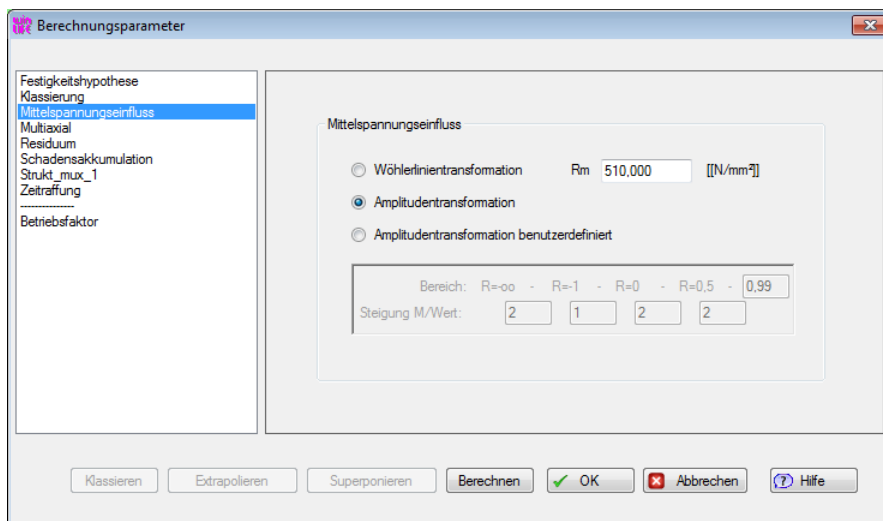
FE-Dialog



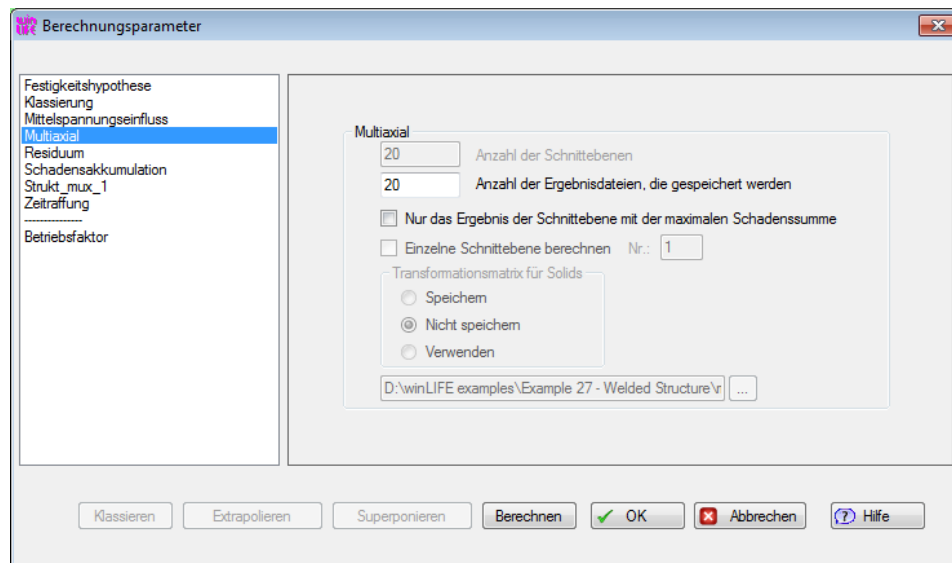
Parametereinstellungen



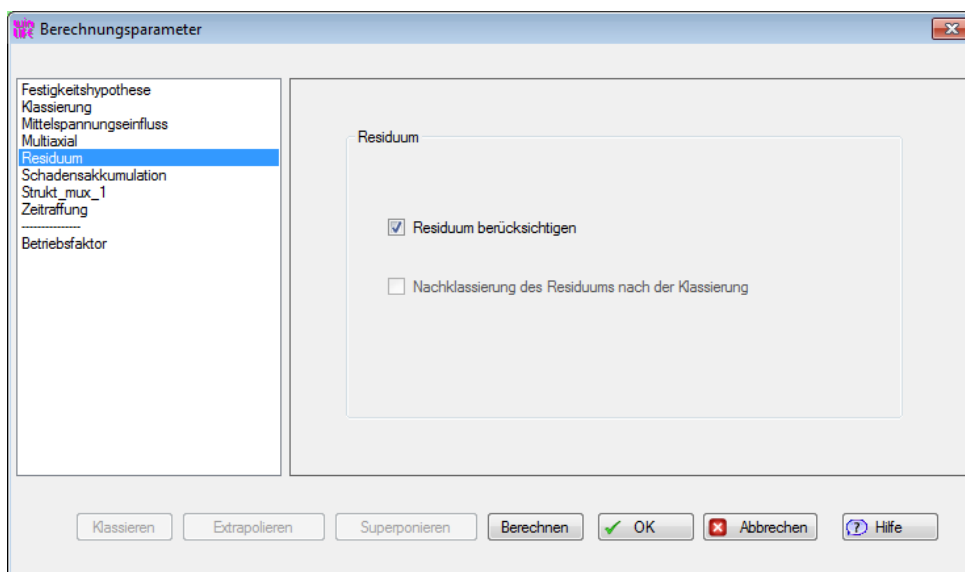
Einstellung der Klassierung



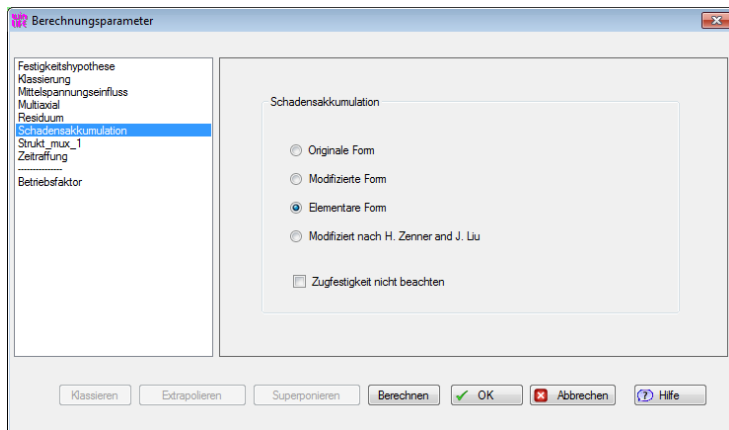
Berücksichtigung der Mittelspannung



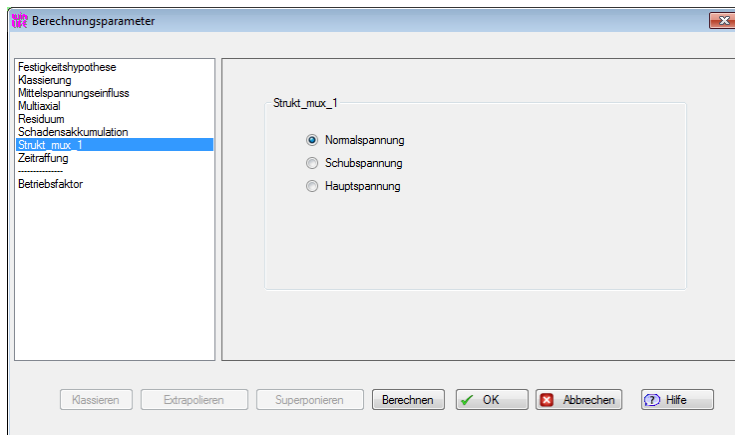
Optionen für den Parameter Multiaxial



Berücksichtigung des Residuums

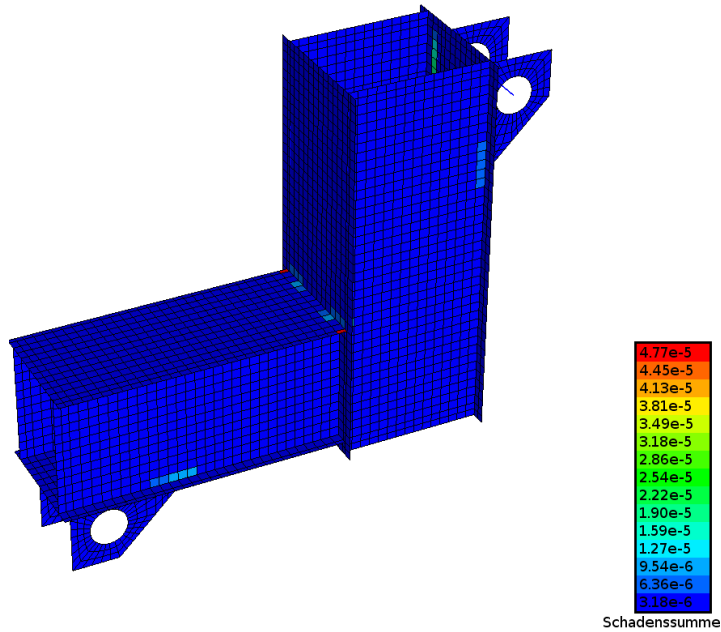


Einstellung der Schadensakkumulation



Wahl einer Spannungsart

Die kritischen Stellen werden nun dargestellt. In einem weiteren Schritt werden diese Stellen mit dem Strukturspannungskonzept ausgewertet.



Schadenssummen nach dem Hot-Spot Verfahren

28.5. Strukturspannungskonzept

Das Berechnungsmodell wird fein vernetzt. Die Elementkantenlängen betragen 2mm. Die Auswertung der Spannungen erfolgt in Abständen von 4mm, 8mm und 12mm zur Schweißnaht. Die Spannungen werden quadratisch extrapoliert auf die Schweißnaht. Der Spannungsexport für diese Elemente wird durchgeführt.

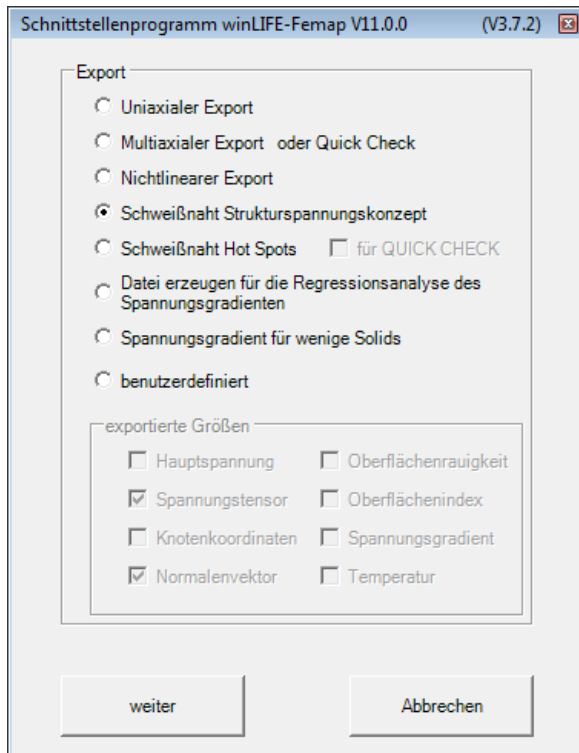
Die kritischen Stellen aus dem Hot-Spot Verfahren sind also genauer untersucht worden. Das Ergebnis der Schadenssumme ist folgend gezeigt.

28.6. Schweißnaht-Export

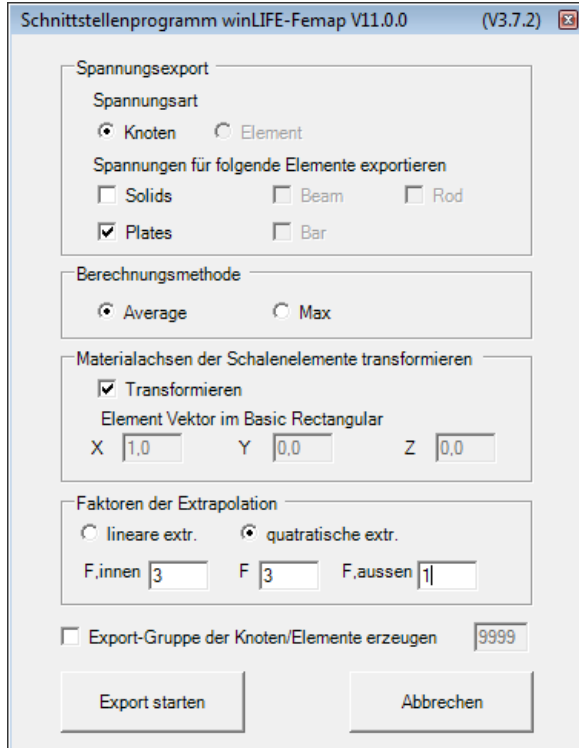
In Femap wird gewählt:

Menü *winLIFE* → *Spannungen für winLIFE exportieren*

Die folgenden Fester werden wie dargestellt ausgefüllt.

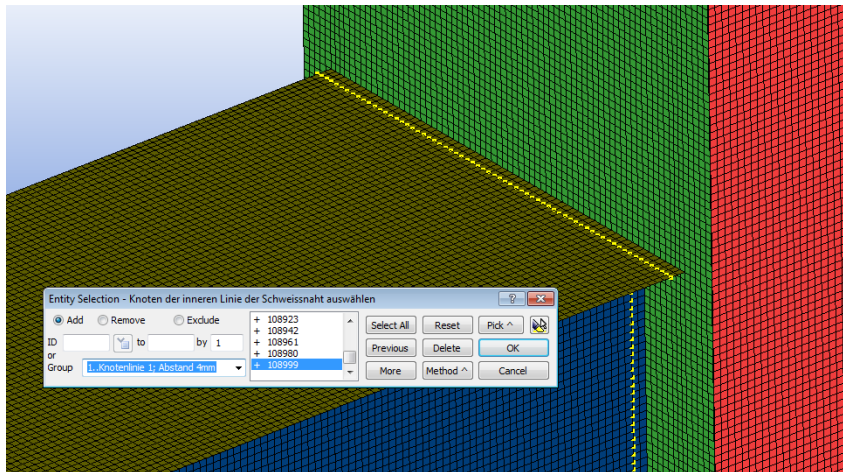


Export nach dem Strukturspannungskonzept



Export von Knotenspannungen

Nacheinander werden die Knotenlinien (Knoten-Gruppen) für die Schweißnahtdefinition ausgewählt. Diese Knotenlinien sind in den Übungsbeispielen bereits vorhanden.



Auswahl von Knoten für den Spannungsexport

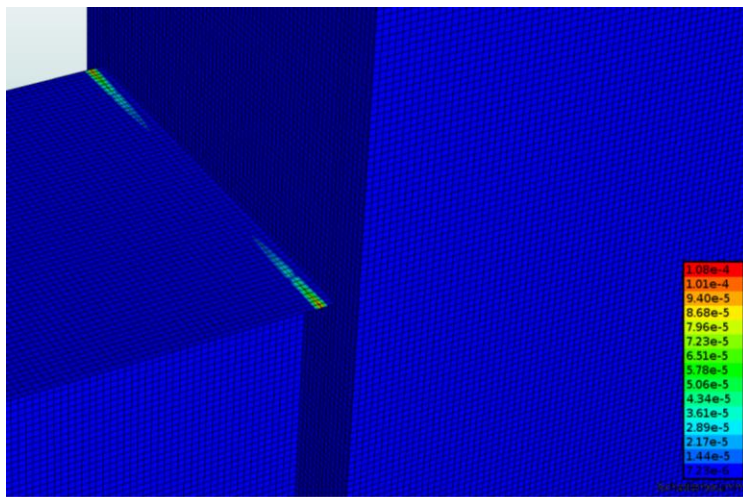
Nach Bestätigung durch Klicken von OK, wird die zweite (mittlere) Schweißnahtlinie im Abstand von 8mm gewählt. Und schließlich wird die äußere Linie gewählt im Abstand von 12mm.

28.7. Projektaufbau in winLIFE

Es kann das vorhandene winLIFE 4.0 Projekt der Hot-Spot Auswertung kopiert werden. Die FE-Daten nach dem Strukturspannungskonzept werden eingetragen und die Parametereinstellungen werden beibehalten.

28.8. Ergebnis

Es ergibt sich nach dem Strukturspannungskonzept die folgende Verteilung der Schädigung



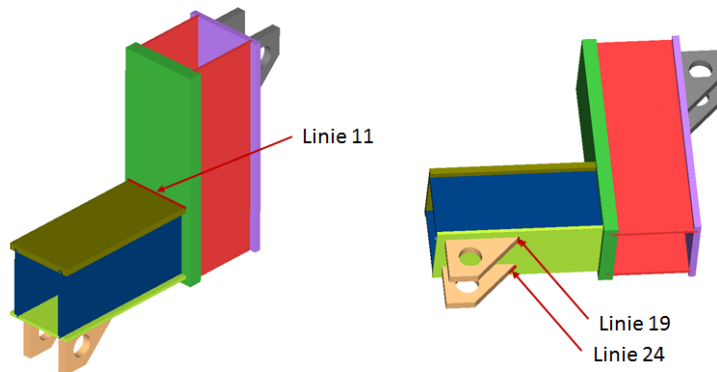
Schadenssummen nach dem Hot-Spot Verfahren

Die Strukturen wurden im Versuch auf Ermüdungsfestigkeit geprüft. Es liegen Versuchsergebnisse von zwei Proben vor. In folgender Aufstellung sind die Versuchsergebnisse und die berechneten Ergebnisse aufgeführt.

	Schwingspiele bis zum Versagen		
Versagensort (siehe Bild unten)	Linie 11	Linie 19	Linie 24
Versuch Probe1 und Probe 2	keine Angabe	5,94E+04 1,60E+05	keine Angabe
Hot-Spot Verfahren	2,1E+05 (20961)	2,63E+05	5,62E+05
Strukturspannungskonzept (quadratisch)	9,21E+04	3,37E+05	2,07E+05

Lebensdauervergleich aus Versuch und Berechnung

Die obere Tabelle zeigt die Lebensdauern aus dem Versuch und der Berechnung. Die Versuche weisen als Versagensort die Linie 19 auf (siehe Bild unten). Das Hot-Spot Verfahren sowie das Strukturspannungskonzept ermitteln die Linie 11 als Versagensort. Außerdem ist ersichtlich, dass die berechnete Lebensdauer um den Faktor 2 bis 4 höher ist als die experimentell gewonnene Lebensdauer. Die Ergebnisse aus dem Hot-Spot- und Strukturspannungs-Konzept unterscheiden sich etwa um den Faktor 2 bis 3 in ihrer Lebensdauer.

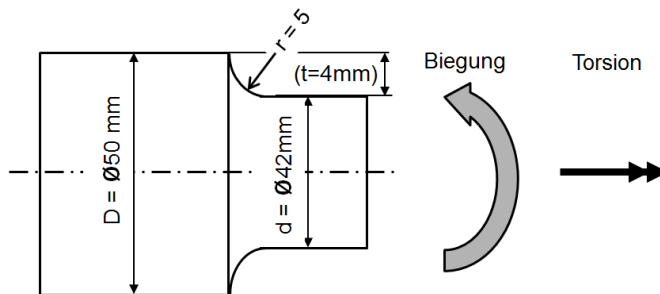


Versagensorte der Schweißkonstruktion

29. Beispiel 28 / FKM Beispiel Wellenabsatz

29.1. Aufgabenstellung

Der Wellenabsatz aus der FKM Richtlinie, Kapitel 6.1, soll hier mit dem winLIFE FKM QUICKCHECK / FKM nachgerechnet werden. Die untere Abbildung zeigt die Geometrie der Welle und die wirkenden Lasten Biegung und Torsion.



Zeichnung des Wellenabsatzes mit Belastung

29.2. Materialangabe und örtliche Spannungen

Die Welle besteht aus dem Werkstoff 41 Cr 4. Es handelt sich um einen Vergütungsstahl und der Werkstoff liegt im vergüteten Zustand vor.

Für den Nachweispunkt sind die folgenden Spannungen angegeben (vgl. FKM-Richtlinie Kapitel 6.1.4):

$$\sigma_{a,x} = 45\text{MPa} \quad \sigma_{m,x} = 0\text{MPa}$$

$$\sigma_{a,y} = 247\text{MPa} \quad \sigma_{m,y} = 0\text{MPa}$$

$$\tau_{a,xy} = 103\text{MPa} \quad \tau_{m,xy} = 64\text{MPa}$$

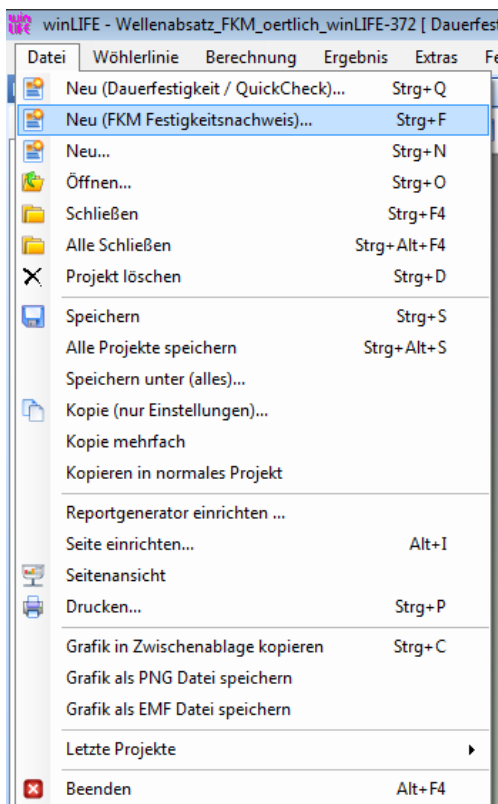
Für den Festigkeitsnachweis nach FKM in winLIFE 4.0 werden örtliche Spannungen verwendet.

29.3. Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM

In winLIFE FKM QUICKCHECK erfolgt nun die Projektdefinition. Dazu wird gewählt:

Menü **Datei / Neu (FKM Festigkeitsnachweis)...**

Das folgende Fenster stellt die Befehlsfolge dar:



Wahl des Festigkeitsnachweises in winLIFE

Ein Dateiname für das winLIFE FKM QUICKCHECK Projekt wird gewählt, z.B. eignet sich: *Wellenabsatz_FKM.wlf*.

Die Beanspruchbarkeit des Werkstoffs wird im Menü *Wöhlerlinie* festgelegt. Der Werkstoff 41 Cr 4 im vergüteten Zustand liegt in der winLIFE 4.0 FKM Datenbank vor und kann gewählt werden.

Menü **Wöhlerlinie / Laden FKM...**

Im folgenden Fenster wird für die *Bezeichnung nach DIN* der Werkstoff: 41 Cr 4 eingetragen. Daraufhin findet man den gesuchten Werkstoff und wählt diesen aus durch Klicken auf OK.

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN : Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

41 Cr 4 Biegung

	Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	adm	adp	Härte
▶	Stahl	41 Cr 4	41Cr4	Vergütungsstahl im vergüteten Zustand ...	1.7035		1000	800	11	0,3	0,44	

Nennstärke :

Bruchdehnung :

Bemerkung :

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffauswahl aus FKM Datenbank

Die zu ergänzenden Werkstoffangaben können der FKM Richtlinie entnommen werden. Der Sicherheitsfaktor wird hier durch entsprechende Angaben im gezeigten Fenster bestimmt. Schließlich ergibt sich folgende Abbildung für die Eingaben zu der Wöhlerlinie.

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff: Vergütungsstahl, ver

Rm: 1000,000 [N/mm²] Kv: 1,000

Rp: 800,000 [N/mm²] Ks: 1,00 ?

A: 11,00 [%] Temperatur: 20,0 [°C]

Anisotropie: 1,00 Anisotropie: <- Temperaturdauer: 0 [h]

Rauhtiefe: 10,00 [µm] D_eff: 42,0 [mm]

Randschichtverfahren: ohne D_eff,N,m: 16,0 [mm]

ad,m: 0,30 <-

D_eff,N,p: 16,0 [mm]

ad,p: 0,44

Sicherheitsfaktor (jD): 1,2500 ...

Sicherheitsfaktor (ges): 1,4000

Identifikation

Kurzname: 41 Cr 4

Werkstoffnummer: 1.7035

Bemerkung: 41Cr4
Vergütungsstahl im vergüteten Zustand nach DIN EN 10 083-1 (Oktober 1996)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Sicherheitsfaktor FKM

Schadensfolgen: mittel

Häufiges Auftreten der größten Last: ☒

regelmäßige Inspektion: ☒

Teil-Sicherheitsfaktor für Gussbauteile: nicht zerstörungsfrei geprüfte Gussstücke

j_m = 1,85 j_p = 1,40 j_{mt} = 1,40 j_{pt} = 1,00 j_G = 1,00 delta_j = 0,000

Sicherheitsfaktor (jD): 1,2500

Materialsicherheitsfaktor (jges): 1,4000

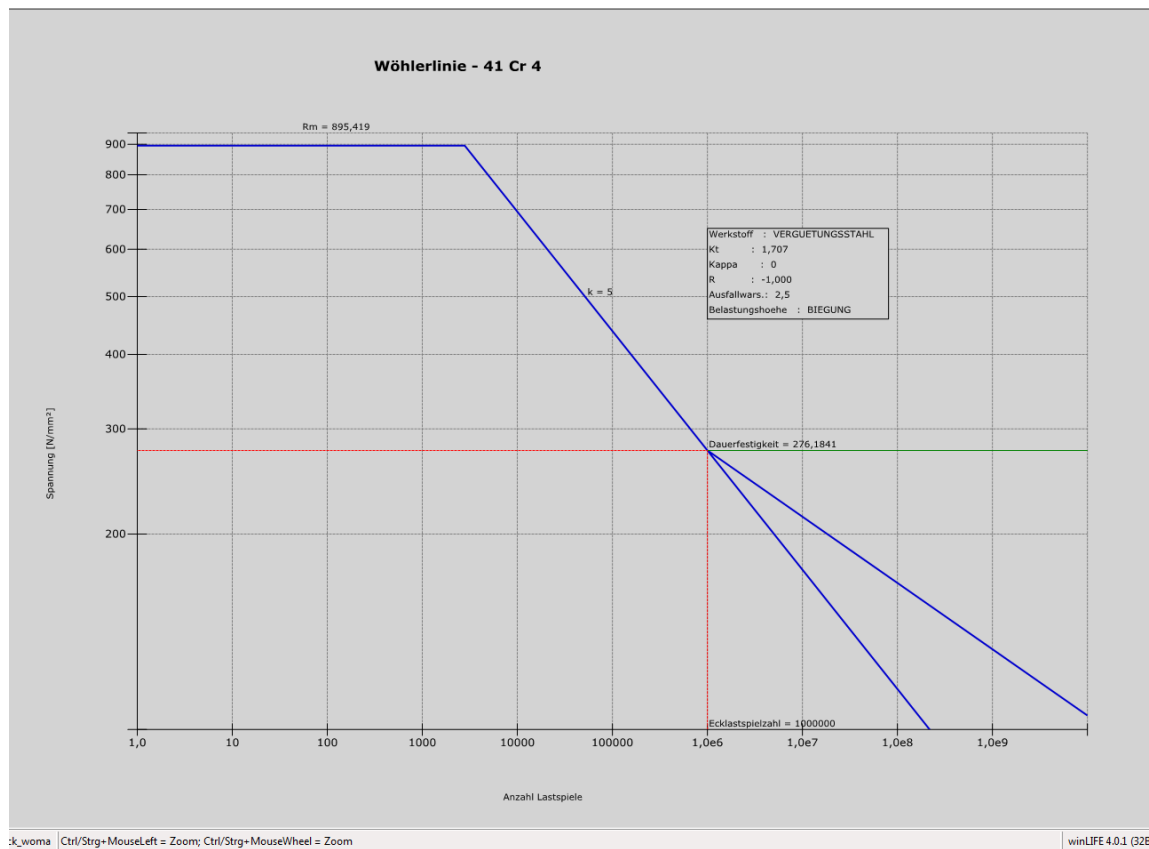
OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffangaben

Aus den gerade getätigten Eingaben wird eine Wöhlerlinie erzeugt. Über die Befehlsfolge

Menü **Wöhlerlinie/ Wöhlerlinie**

Wird diese gezeigt.



Wöhlerlinie für das Material 41 Cr 4

Nun folgt der Schritt der Belastungseingabe. Das Vorgehen wird hier dokumentiert.

Menü **Berechnung** das unten dargestellte Bild erscheint

Hier werden also die Angaben zur Belastung gemacht.

Eingabedaten -> Berechnung

Index	FE Ergebnis Datei	Multiplikator
1	Edit...	1.0
2	Edit...	1.0
3	Edit...	1.0
4	Edit...	1.0
5	Edit...	1.0
6	Edit...	1.0
7	Edit...	1.0

Pfad :

Konstruktionskennwerte

Knotennummer 1

plastische Formzahl Kp 1,9500

Spannungsgradient

☐ aus FE file

☐ aus Kerbradius r

☒ manuelle Eingabe

☐ Kf~ aus FKM Tabelle

☒ Kf~ 1,7070

☐ Kf~ (Kl(deff, Kerbradius(G), n(G)/G))

☐ Kf~ (Kl(deff, Kerbradius r, n(G))

Bezogenes Spannungsgefälle G

G_{xx} 0,3570

G_{yy} 0,3470

G_z 0,2080

Kerbradius r

r_x 0,0000

r_y 0,0000

r_z 0,0000

Lastverhältnis

R-Eingabe

R -1,0000

R -1,0000

R -0,2340

Berechnungsverfahren

Dauerfestigkeit

N_{quer x} 0

N_{quer y} 0

N_{quer z} 0

Berechnen OK Abbrechen Hilfe

Angaben im Dialog Berechnung

Zunächst erfolgt die Eingabe der örtlichen Spannungen am Nachweispunkt. Dazu wird in der ersten Zeile auf die Schaltfläche **Edit** geklickt (obere Abbildung). Es öffnet sich ein neues Fenster. Hier wird der Spannungstensor angegeben. Für den vorliegenden Fall des ebenen Spannungszustandes soll der Spannungstensor für ein Plattenelement selektiert werden. In der Spalte **TC** wird daher **Platte** aus der Drop-Down Liste gewählt.

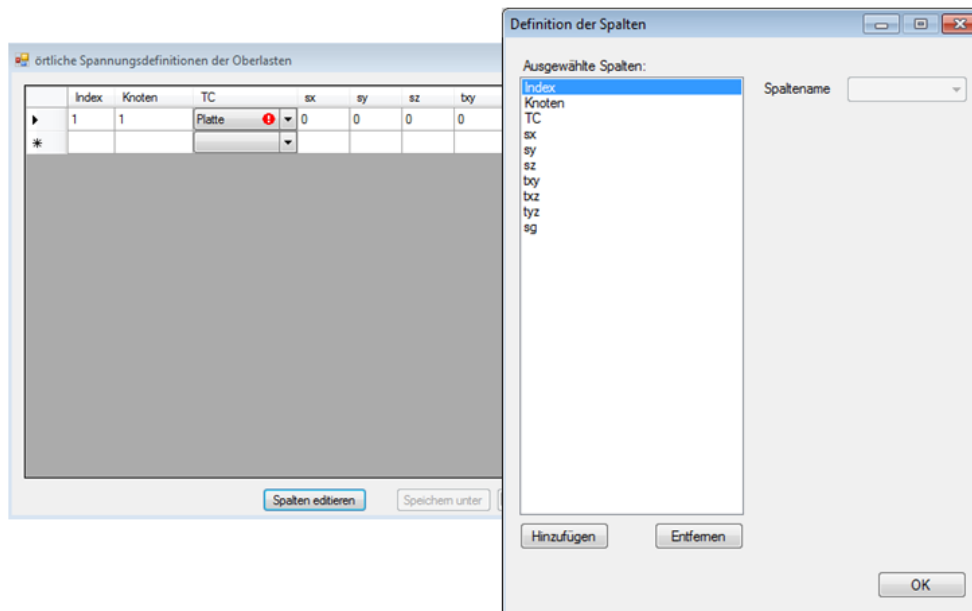
örtliche Spannungsdefinitionen der Oberlasten

Index	Knoten	TC	sx	sy	sz	bx	by	bxz	byz	sg
1	1	Volumen	0	0	0	0	0	0	0	0
*		Plattenelement								
		Volumen								
		Platte								

Spalten editieren Speichern unter Speichern OK Abbrechen

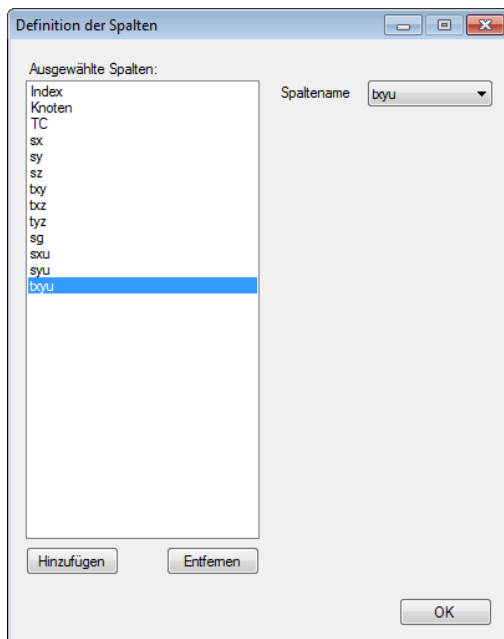
Angabe der örtlichen Spannungen

Die Spaltenüberschriften müssen nun für die Plattenelemente vorbereitet werden. Dazu geht man auf den Button **Spalten editieren**.



Definition von Spaltenüberschriften

Fortlaufend wird jetzt auf **Hinzufügen** geklickt und der benötigte Spaltenname aus der rechten Drop-Down Liste gewählt. Es sind 3 neue Spalten hinzuzufügen. Es handelt sich um die Spalten **sxu**, **syu** und **txyu** wie unten gezeigt ist.



Definition von Spaltenüberschriften

Nachdem die drei neuen Überschriften definiert sind wird **OK** geklickt und der Spannungstensor wird in die Tabelle eingetragen.

örtliche Spannungsdefinitionen der Oberlasten

	Index	Knoten	TC	sx	sy	sz	bx	txz	tyz	sg	sxu	syu	bxu
	1	1	Platte	45	247	0	167	0	0	0	0	0	0
*													

Spalten editieren Speichern unter  Speichern  OK  Abbrechen

Angabe des Spannungstensors

Die Datei enthält also die auftretenden Spannungen am Nachweispunkt. Die Datei wird gespeichert. Klicken Sie bitte hierzu auf den Button *Speichern unter*. In diesem Beispiel lautet der Dateiname *Spannungstensor_Biegung-Torsion_oertlspannungen.LST*. Aber der Anwender ist in der Wahl des Dateinamens natürlich frei.

Nun werden die weiteren Angaben im unten gezeigten Fenster durchgeführt.

Die plastische Formzahl wird gemäß der FKM Richtlinie ermittelt zu 1,95. Die bezogenen Spannungsgefälle berechnen sich mit Hilfe der Spannungen am Nachbarpunkt (siehe bitte hierzu die FKM-Richtlinie Kapitel 6.1.4). Als Kerbwirkungszahl wird 1,707 für die y-Spannungskomponente verwendet, da diese Spannungskomponente aufgrund ihrer Höhe als relevant anzusehen ist. Als weitere Eingaben folgen die Spannungsverhältnisse und das Berechnungsverfahren, hier **Dauerfestigkeit**. Schließlich sollte das Fenster so ausgefüllt sein wie die untere Abbildung zeigt.

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	Spannungstensor_Biegung-Torsion_oertlspannungen.LST	Edit...	1

Pfad :

FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
 ☒ Einzelner Knoten: 1

Konstruktionskennwerte

Spannungsgradient

☐ aus FE file
☐ aus Kerbradius r
☒ manuelle Eingabe

☐ $K_f \sim$ aus FKM Tabelle
☒ $K_f \sim$ 1,7070
☐ $K_f \sim$ (K_t (deff, Kerbradius(G), n(G)G)
☐ $K_f \sim$ (K_t (deff, Kerbradius r, n(G))

plastische Formzahl K_p 1.9500

Bezogenes Spannungsgefälle G

$G_{c,x}$ 0,3570
 $G_{c,y}$ 0,3470
 G_z 0,2080

Kerbradius r

r_x 0,0000
 r_y 0,0000
 r_z 0,0000

Lastverhältnis

R-Eingabe

R_x -1,0000
 R_y -1,0000
 R_z -0,2340

Berechnungsverfahren

Dauerfestigkeit

$N_{quer,x}$ 0
 $N_{quer,y}$ 0
 $N_{quer,z}$ 0

Auslastungsgrad = 39,3%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht
Auslastungsgrad = 91,7%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

Berechnen OK Abbrechen Hilfe

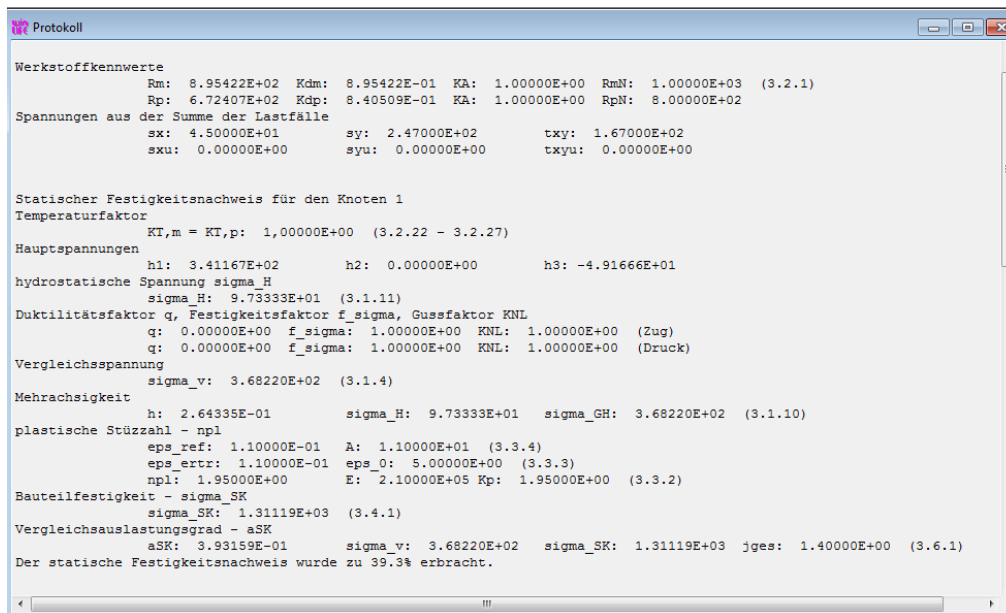
Berechnungsangaben

Die Festigkeitsberechnung wird durchgeführt durch Klicken auf den Button **Berechnen**. Es ergeben sich die Auslastungsgrade für die statische Festigkeit von 39,3% und für die Ermüdungsfestigkeit von 91,7%. Diese entscheidenden Ergebnisse werden jetzt unten links eingeblendet.

29.4. Ergebnis

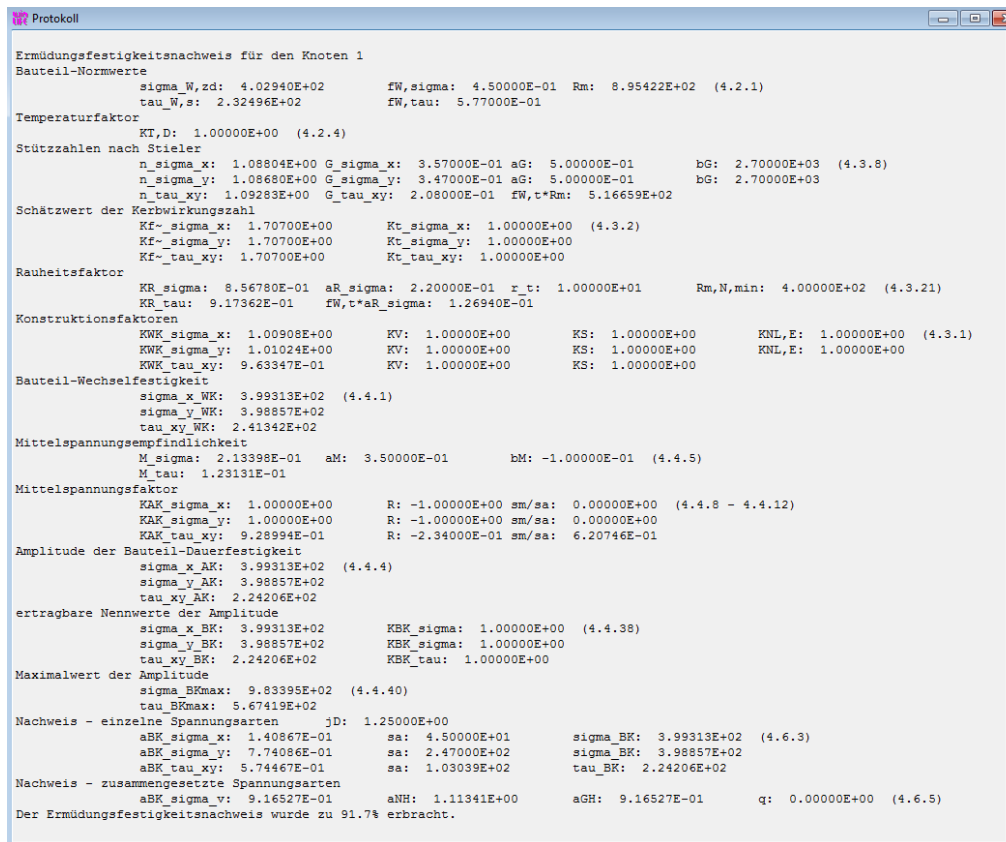
Das Protokoll in winLIFE FKM QUICKCHECK zeigt neben den Auslastungsgraden für die statische Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit auch Zwischenergebnisse der Berechnung. Der Anwender kann somit die Berechnungen gut nachvollziehen und die Zwischenschritte mit den Gleichungen aus der FKM-Richtlinie gegenüberstellen.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Ergebnis-Protokoll für den statischen Festigkeitsnachweis. Dabei ist ganz unten der Auslastungsgrad aufgeführt, hier 39,3%.



Protokoll der Festigkeitsberechnung, statischer Nachweis

Nun wird der Ausschnitt aus dem Ergebnis-Protokoll gezeigt, der für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit relevant ist. Der Auslastungsgrad bezogen auf die Dauerfestigkeit beträgt 91,7% wie man der untersten Zeile entnehmen kann.



Protokoll der Festigkeitsberechnung, Ermüdungsnachweis

29.5. Berücksichtigung von Finite-Elemente-Ergebnisse

Das aktuelle winLIFE FKM-Modul ist in der Lage Finite-Elemente Ergebnisse einzulesen und auszuwerten. Die NASTRAN Ergebnisse (op2-Datei) werden ausgewählt und der relevante Lastfall eingestellt. Der Spannungsgradient wird aus dem FE-Modell bestimmt und die Kerbwirkungszahl wird der FKM-Tabelle entnommen. Die plastische Formzahl wurde hier nicht mit der FE-Methode bestimmt, sondern der FKM-Richtlinie entnommen. Für Anwender des VIEWER4WINLIFE empfiehlt es sich die NASTRAN dat-Datei einzulesen, um die Ergebnisse im Anschluss an die Berechnung darstellen zu können.

Werden alle Knoten verwendet, kann von mehreren Minuten Berechnungszeit ausgegangen werden.

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : winlifeFE

Index	FE Ergebnis Datei	Multiplikator	Lastfall
1	welle_fkm_614.op2	1	LAGERUNG - SO

Pfad :
FE Geometrie \Welle_FKM_614.dat

☒ Alle Knoten verwenden ☐ Einzelner Knoten: 25295

Konstruktionskennwerte

Spannungsgradient

☒ aus FE file ☐ aus Kerbradius r ☐ manuelle Eingabe

☒ Kf~ aus FKM Tabelle ☐ Kf~ (Kt(def, Kerbradius(G), n(G)G)) ☐ Kf~ (Kt(def, Kerbradius r, n(G))

plastische Formzahl Kp 1,9500

Bezogenes Spannungsgefälle G

G _{ox}	G _{zy}	G _z
0,3570	0,3470	0,2080

Kerbradius r

r _x	r _y	r _z
0,0000	5,0000	0,0000

Lastverhältnis R-Eingabe

R _x	R _y	R _z
-1,0000	-1,0000	-0,2340

Berechnungsverfahren

Dauerfestigkeit

N _{quer x}	N _{quer y}	N _{quer z}
0	0	0

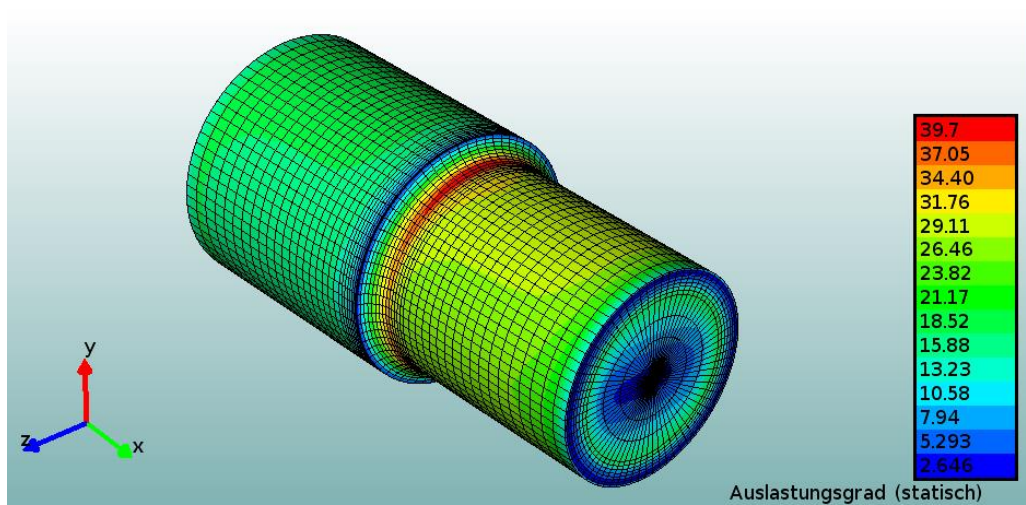
Auslastungsgrad = 39,7%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 2903 wurde erbracht
Auslastungsgrad = 91,8%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 2903 wurde erbracht

Berechnen OK Abbrechen Hilfe

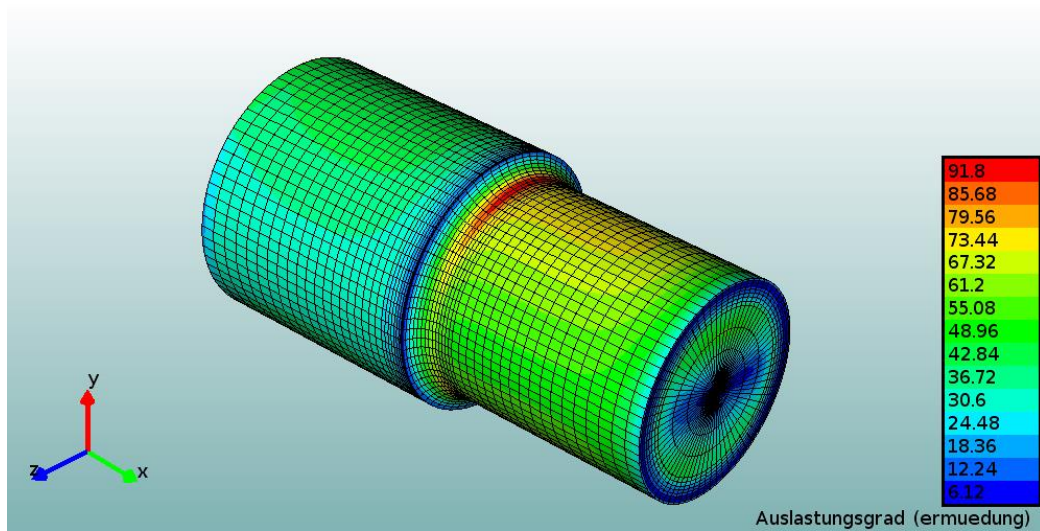
Einstellungen für die Verwendung von NASTRAN Ergebnisse

Die Ergebnisse betragen für den statischen Auslastungsgrad 39,7% und für den dynamischen Auslastungsgrad 91,8%. Die Auslastungsgrade nach der FKM-Richtlinie für das Beispiel 6 sind angegeben mit 39% (statisch) und 92% (dynamisch). Die Abweichungen zu der FKM-Richtlinie sind also gering.

Die Ergebnisse der Auslastungsgrade sind folgend dargestellt.



Ergebnis der statischen Auslastung



Ergebnis der dynamischen Auslastung

30. Beispiel 29 / FKM Beispiel Gussbauteil

30.1. Aufgabenstellung

Das Gussbauteil aus der FKM Richtlinie, Kapitel 6.2, soll hier mit dem winLIFE FKM QUICKCHECK / FKM nachgerechnet werden. Die untere Abbildung zeigt die Geometrie des Bauteils mit dem Nachweispunkt.

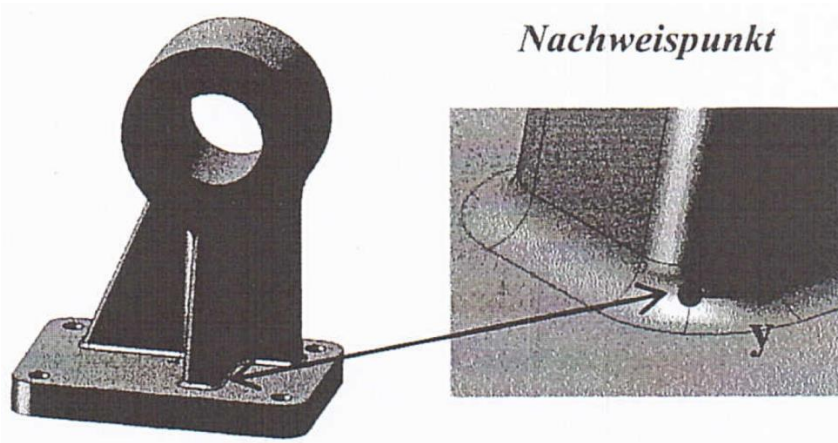


Abbildung des Gussbauteils [FKM Richtlinie]

30.2. Materialangabe und örtliche Spannungen

Der Lagerbock besteht aus dem Werkstoff EN-GJL-250 (alt GG-25).

Die Rauheit der Oberfläche beträgt $R_z = 200\mu\text{m}$.

Für den Nachweispunkt sind die folgenden Spannungen aus einer FEM-Analyse gegeben (vgl. FKM-Richtlinie Kapitel 6.2.0):

Oberlastfall:

$$\sigma_{x,o} = 60\text{MPa}$$

$$\sigma_{y,o} = 16\text{MPa}$$

Unterlastfall:

$$\sigma_{x,u} = -34\text{MPa}$$

$$\sigma_{y,u} = -8\text{MPa}$$

$$\tau_{xy,0} = 1\text{MPa}$$

$$\tau_{xy,U} = -1\text{MPa}$$

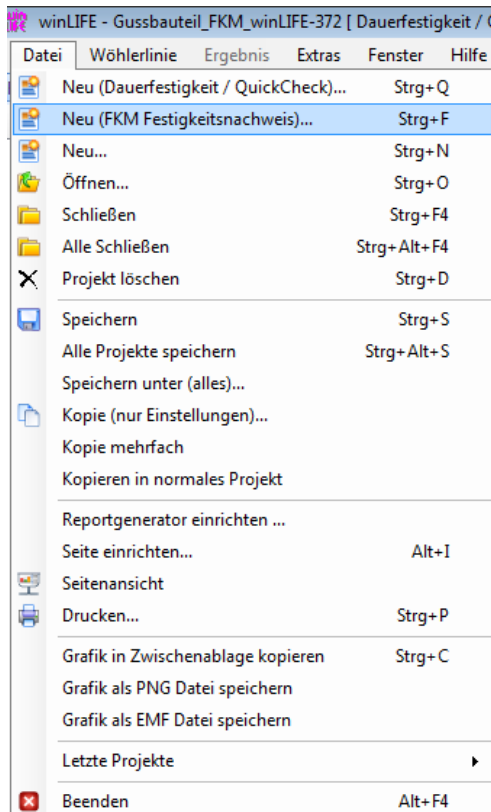
Für den Festigkeitsnachweis nach FKM in winLIFE werden örtliche Spannungen verwendet.

30.3. Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM

In winLIFE 4.0 erfolgt nun die Projektdefinition. Dazu wird gewählt:

Menü **Datei / Neu (FKM Festigkeitsnachweis)...**

Das folgende Fenster stellt die Befehlsfolge dar:



Wahl des Festigkeitsnachweises in winLIFE

Der Anwender wählt nun einen Dateiname für das winLIFE FKM QUICKCHECK Projekt, z.B. eignet sich: *Gussbauteil_FKM.wlf*.

Als nächstes wird die Beanspruchbarkeit des Werkstoffs im Menü *Wöhlerlinie* festgelegt.

Der Werkstoff EN-GJL-250 liegt in der winLIFE 4.0 FKM Datenbank vor und kann wie folgt gewählt werden:

Menü **Wöhlerlinie / Laden FKM...**

Daraufhin öffnet sich ein neues Fenster und es wird im Feld *Sorte* der Werkstoff: EN-GJL-250 eingetragen. Der gesuchte Werkstoff erscheint nun und man wählt diesen aus durch Klicken auf OK.

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN: Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

Werkstoff : GG-25 Bezeichnung nach DIN: EN-GJL-250 Sorte: EN-GJL-250 Belastung: Biegung FKM Richtlinie:

Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	adm	ad
Grauguss (GG)	GG-25	EN-GJL-250	Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) nach DIN E...	EN-JL1040 (0.6...		250	165	0	0	0

Nennstärke :
Bruchdehnung :
Bemerkung :

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffauswahl aus der FKM Datenbank

Die zu ergänzenden Werkstoffangaben können der FKM Richtlinie entnommen werden. Der Sicherheitsfaktor wird hier durch entsprechende Angaben im gezeigten Fenster bestimmt. Schließlich ergibt sich folgende Abbildung für die Eingaben zu der Wöhlerlinie.

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff: Grauguss(GJL 250)

Rm: 250.000 [N/mm²] Kv: 1.000

Rp: 165.000 [N/mm²] Ks: 1.00

A: 0.60 [%] Temperatur: 20.0 [°C]

Anisotropie: 1.00 <- Temperaturdauer: 0 [h]

Rauttiefe: 200.00 [µm] D_eff: 50.0 [mm]

Randschichtverfahren: ohne D_eff.N.m: 20.0 [mm]

ad.m: 0.00

D_eff.N.p: 20.0 [mm]

ad.p: 0.00

Sicherheitfaktor (jD): 2.1000

Sicherheitfaktor (jges): 2.4419

Identifikation

Kurzname: GG-25

Werkstoffnummer: EN-JL1040 (0.6025)

Bemerkung: EN-GJL-250
Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) nach DIN
EN 1561 (August 1997)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Sicherheitfaktor FKM

Schadensfolgen: hoch

Häufiges Auftreten der größten Last: ☒

regelmäßige Inspektion: ☐

Teil-Sicherheitfaktor für Gussbauteile:
nicht zerstörungsfrei geprüfte Gussstücke

j_m = 2.00 j_p = 1.50 j_{mt} = 1.50 j_{pt} = 1.00 j_G = 1.40 delta_j = 0.342

Sicherheitfaktor (jD): 2.1000

Material-sicherheits-faktor (jges): 2.4419

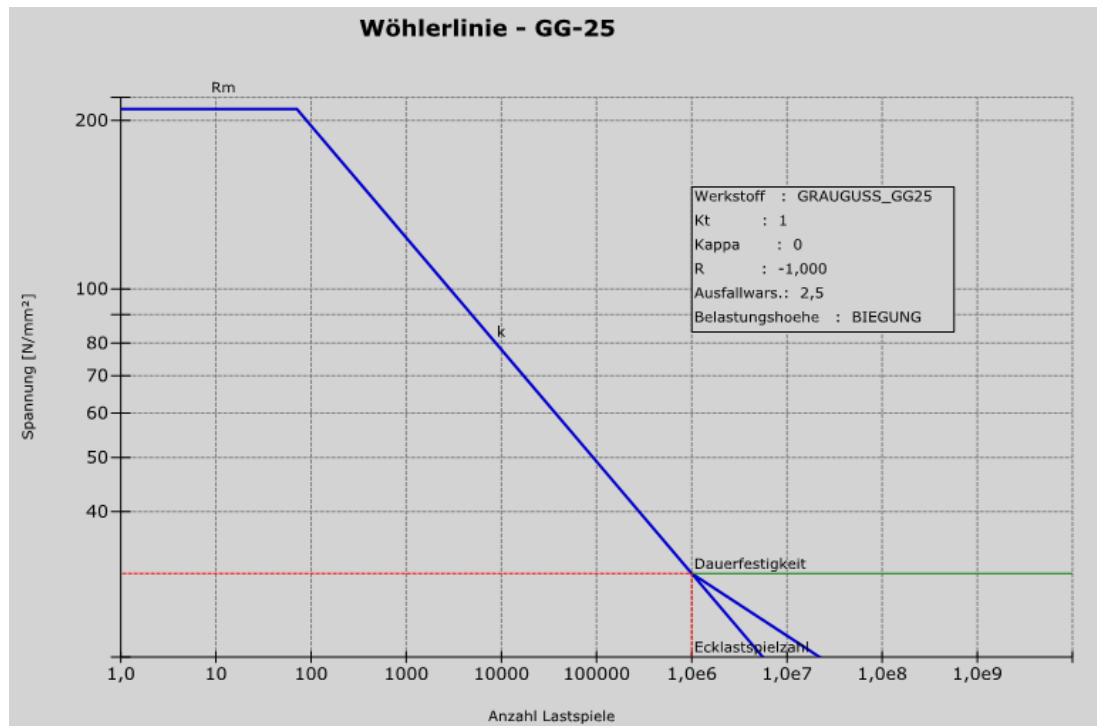
OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffangaben

Aus den gerade getätigten Eingaben wird eine Wöhlerlinie erzeugt. Über die Befehlsfolge

Menü **Wöhlerlinie / Wöhlerlinie**

wird diese gezeigt.

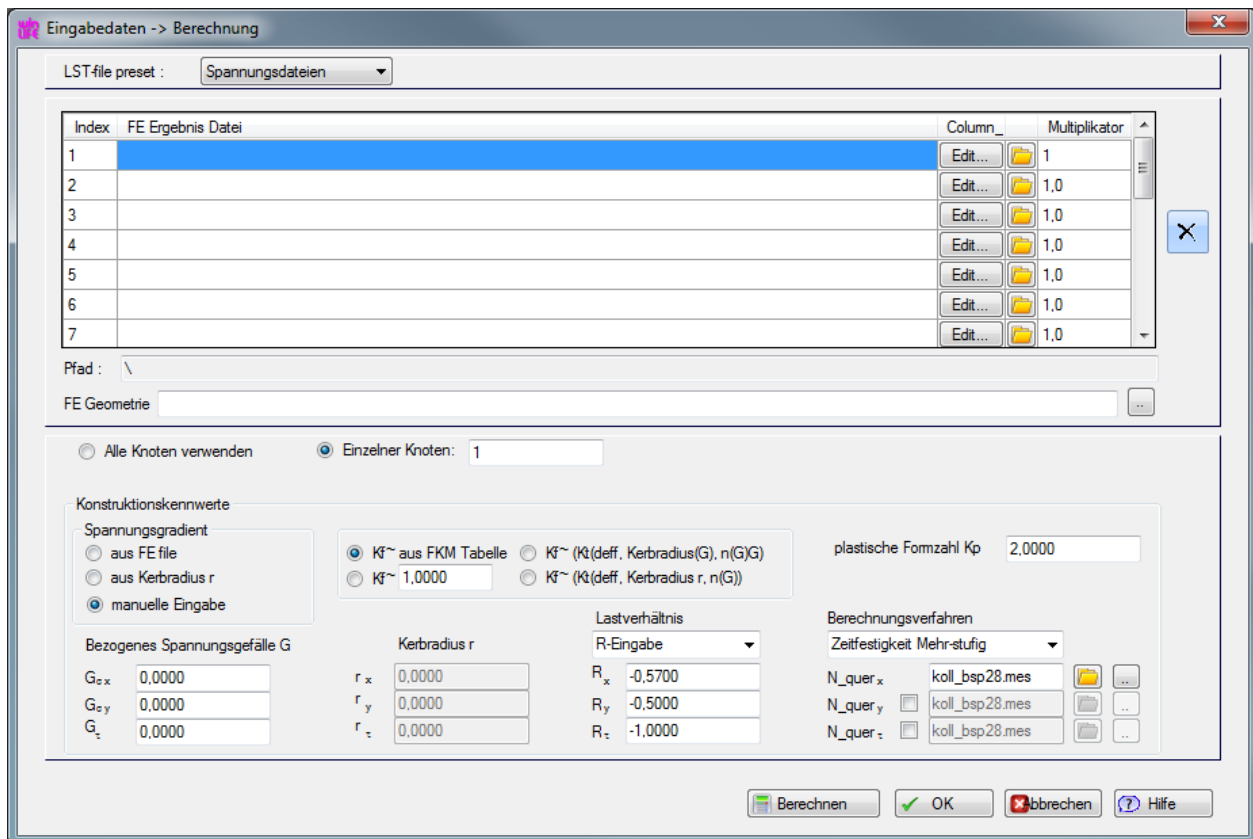


Wöhlerlinie für das Material EN-GJL-250 (GG-25)

Nun folgt der Schritt der Belastungseingabe. Das Vorgehen wird hier dokumentiert.

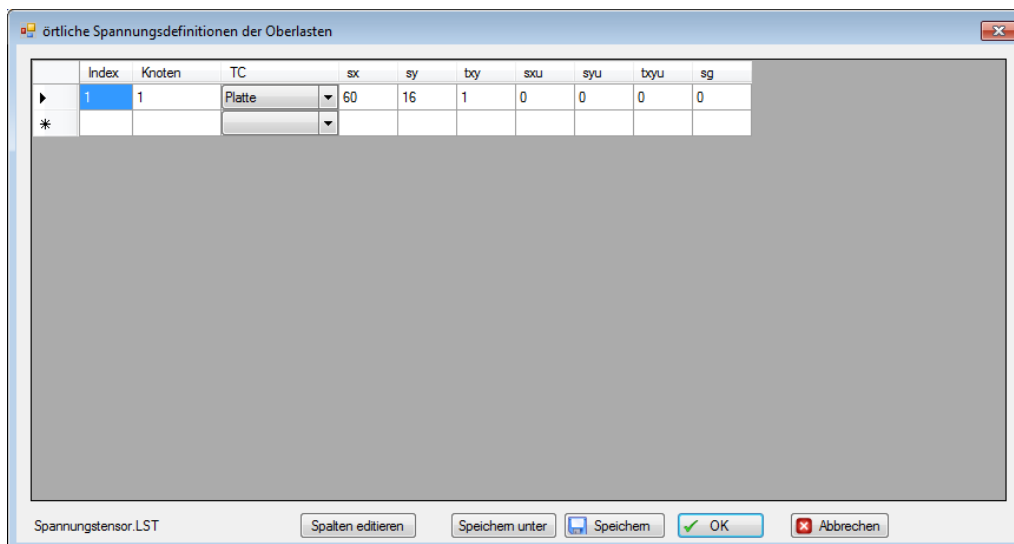
Menü **Berechnung** das unten dargestellte Bild erscheint

Hier werden also die Angaben zur Belastung gemacht.



Angaben im Dialog Berechnung

Zunächst erfolgt die Eingabe der örtlichen Spannungen am Nachweispunkt. Dazu wird die vorhandene Datei *Spannungstensor.LST* geöffnet, indem in der ersten Zeile auf die Schaltfläche mit dem Ordnersymbol geklickt wird (obere Abbildung). In dieser Datei ist der folgende Spannungstensor angegeben:



Angabe der örtlichen Spannungen

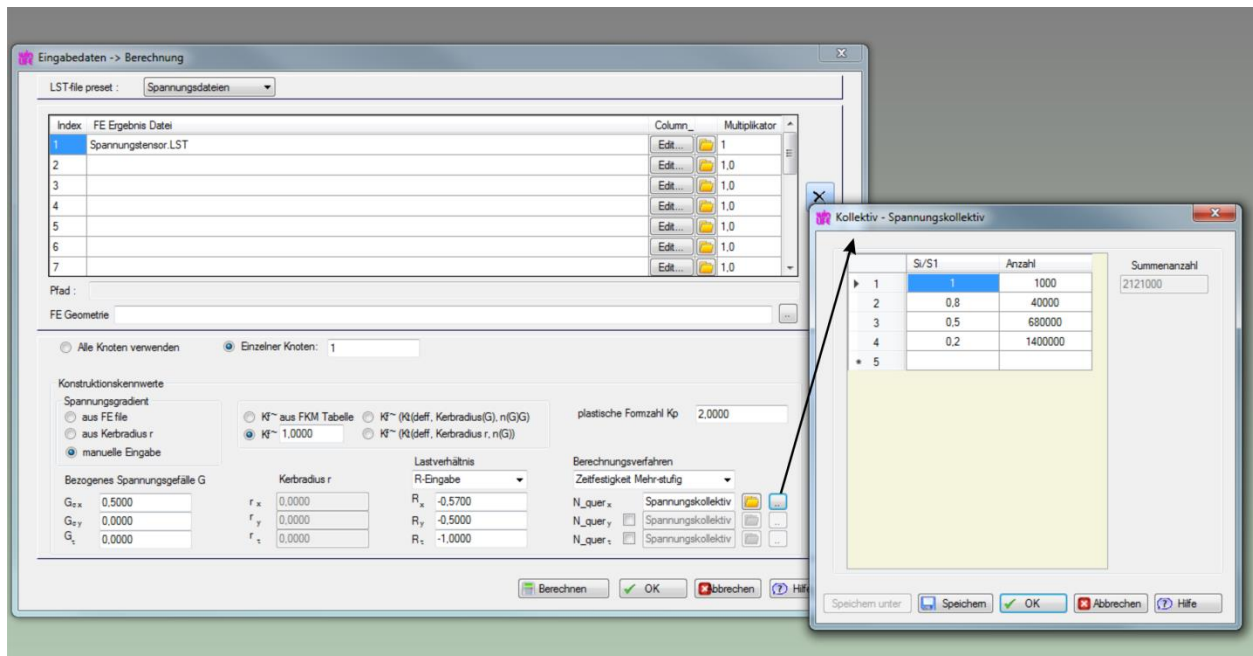
Die Datei enthält also die auftretenden Spannungen am Nachweispunkt. Im vorherigen winLIFE 4.0 Beispiel wird die Erstellung und Änderung einer solchen LST-Datei beschrieben.

Nun werden die weiteren Angaben im unten gezeigten Fenster getätigt.

Der Wert für die plastische Formzahl K_p braucht laut FKM nicht berechnet werden - damit wird hier für die plastische Stützzahl die Plastizitätszahl des Werkstoffs verwendet. Als weitere Eingaben folgen das Spannungsgefälle, die Spannungsverhältnisse und das Berechnungsverfahren, hier **Zeitfestigkeit Mehr-stufig**.

Die wirkende mehrstufige Belastung auf das Bauteil, wird in Tabellenform angegeben (siehe Abbildung unten). Für die drei Spannungsponenten x , y und τ wirkt nach Aufgabenstellung das gleiche Kollektiv.

Schließlich sollte das Fenster so ausgefüllt sein wie die untere Abbildung zeigt.



Eingabe des Spannungskollektivs

Nun wird die Festigkeitsberechnung durchgeführt durch Klicken auf den Button **Berechnen**. Es ergeben sich die Auslastungsgrade für die statische Festigkeit von 93,1% und für die Ermüdungsfestigkeit von 92,2%. Diese Ergebnisse werden im Fenster links eingeblendet (siehe bitte Abbildung unten).

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	Spannungstensor.LST	Edit...	1

Pfad :

FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
 ☒ Einzelner Knoten: 1

Konstruktionskennwerte

Spannungsgradient

☐ aus FE file
☐ aus Kerbradius r
☒ manuelle Eingabe

☐ K_f aus FKM Tabelle
☒ $K_f \sim 1,0000$
☐ $K_f \sim (K_t(\text{def}, \text{Kerbradius}(G), n(G)G))$
☐ $K_f \sim (K_t(\text{def}, \text{Kerbradius } r, n(G)))$

plastische Formzahl K_p 2,0000

Bezogenes Spannungsgefälle G

$G_{c,x}$ 0,5000
 $G_{c,y}$ 0,0000
 G_z 0,0000

Kerbradius r

r_x 0,0000
 r_y 0,0000
 r_z 0,0000

Lastverhältnis R-Eingabe

R_x -0,5700
 R_y -0,5000
 R_z -1,0000

Berechnungsverfahren

Zeitfestigkeit Mehrstufig

$N_{\text{quer } x}$ Spannungskollektiv
 $N_{\text{quer } y}$ ☐ Spannungskollektiv
 $N_{\text{quer } z}$ ☐ Spannungskollektiv

Auslastungsgrad = 93,1%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht
 Auslastungsgrad = 92,2%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

Berechnen OK Abbrechen Hilfe

Eingaben und Ergebnisse der Auslastungsgrade

30.4. Ergebnis

Das Protokoll in winLIFE FKM QUICKCHECK zeigt neben den Auslastungsgraden für die statische Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit auch Zwischenergebnisse der Berechnung. Der winLIFE Anwender kann somit die Berechnungen gut nachvollziehen und die Zwischenschritte mit den Gleichungen aus der FKM-Richtlinie gegenüberstellen.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Ergebnis-Protokoll für den statischen Festigkeitsnachweis. Dabei ist ganz unten der Auslastungsgrad aufgeführt, hier 93,1%.



Protokoll

Werkstoffkennwerte

Rm: 2.09552E+02 Kdm: 8.38208E-01 KA: 1.00000E+00 RmN: 2.50000E+02 (3.2.1)

Rp: 1.38304E+02 Kdp: 8.38208E-01 KA: 1.00000E+00 RpN: 1.65000E+02

Spannungen aus der Summe der Lastfälle

sx: 6.00000E+01 sy: 1.60000E+01 txy: 1.00000E+00

sxu: 0.00000E+00 syu: 0.00000E+00 txyu: 0.00000E+00

Statischer Festigkeitsnachweis für den Knoten 1

Temperaturfaktor

KT,m = KT,p: 1,00000E+00 (3.2.22 - 3.2.27)

Hauptspannungen

h1: 6.00227E+01 h2: 1.59773E+01 h3: 0.00000E+00

hydrostatische Spannung sigma_H

sigma_H: 2.53333E+01 (3.1.11)

Duktilitätsfaktor q, Festigkeitsfaktor f_sigma, Gussfaktor KNL

q: 1.00000E+00 f_sigma: 1.00000E+00 KNL: 1.10000E+00 (Zug)

q: 1.00000E+00 f_sigma: 2.50000E+00 KNL: 9.10000E-01 (Druck)

Vergleichsspannung

sigma_v: 5.45661E+01 (3.1.5)

Mehrrachsigkeit

h: 4.70509E-01 sigma_H: 2.53333E+01 sigma_GH: 5.38424E+01 (3.1.10)

plastische Stützzahl - npl

eps_ref: 2.40000E-03 A: 6.00000E-01 (3.3.5)

eps_ext: 1.48097E-03 eps_0: 1.38304E-03 (3.3.3)

npl: 1.03480E+00 E: 1.00000E+05 Kp: 2.00000E+00 (3.3.2)

Bauteilfestigkeit - sigma_SK

sigma_SK: 1.43117E+02 (3.4.1)

Vergleichsauslastungsgrad - aSK

aSK: 9.31016E-01 sigma_v: 5.45661E+01 sigma_SK: 1.43117E+02 jges: 2.44189E+00 (3.6.1)

Auslastungsgrad = 93.1%, statischer Festigkeitsnachweis wurde erbracht.

Protokoll der Festigkeitsberechnung, statischer Nachweis

Nun wird der Ausschnitt aus dem Ergebnis-Protokoll gezeigt, der für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit relevant ist. Der Auslastungsgrad bezogen auf die Dauerfestigkeit beträgt 92,2% wie man der untersten Zeile entnehmen kann.

Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Knoten 1									
Bauteil-Normwerte									
sigma_W,zd: 7.12477E+01		FW,sigma: 3.40000E-01		Rm: 2.09552E+02		(4.2.1)			
tau_W,s: 7.12477E+01		FW,tau: 1.00000E+00							
Temperaturfaktor									
KT,D: 1.00000E+00		(4.2.4)							
Stützzahlen nach Stieler									
n_sigma_x: 1.68234E+00		G_sigma_x: 5.00000E-01		aG: -5.00000E-02		bG: 3.20000E+03		(4.3.8)	
n_sigma_y: 1.00000E+00		G_sigma_y: 0.00000E+00		aG: -5.00000E-02		bG: 3.20000E+03			
n_tau_xy: 1.00000E+00		G_tau_xy: 0.00000E+00		FW,t*Rm: 2.09552E+02					
Schätzwert der Kerbwirkungszahl									
Kf~sigma_x: 1.00000E+00		Kt_sigma_x: 1.00000E+00		(4.3.2)					
Kf~sigma_y: 1.00000E+00		Kt_sigma_y: 1.00000E+00							
Kf~tau_xy: 1.00000E+00		Kt_tau_xy: 1.00000E+00							
Rauheitsfaktor									
KR_sigma: 9.14081E-01		aR_sigma: 6.00000E-02		r_t: 2.00000E+02		Rm,N,min: 1.00000E+02		(4.3.21)	
KR_tau: 9.14081E-01		FW,t*aR_sigma: 6.00000E-02							
Konstruktionsfaktoren									
KWK_sigma_x: 6.19316E-01		KV: 1.00000E+00		KS: 1.00000E+00		KNL,E: 1.05000E+00		(4.3.1)	
KWK_sigma_y: 1.04190E+00		KV: 1.00000E+00		KS: 1.00000E+00		KNL,E: 1.05000E+00			
KWK_tau_xy: 1.09399E+00		KV: 1.00000E+00		KS: 1.00000E+00					
Bauteil-Wechselhaftigkeit									
sigma_x_WK: 1.15043E+02		(4.4.1)							
sigma_y_WK: 6.83825E+01									
tau_xy_WK: 6.51262E+01									
Mittelspannungsempfindlichkeit									
M_sigma: 5.00000E-01		aM: 0.00000E+00		bM: 5.00000E-01		(4.4.5)			
M_tau: 5.00000E-01									
Mittelspannungsfaktor									
KAK_sigma_x: 8.79552E-01		R: -5.70000E-01		sm/sa: 2.73885E-01		(4.4.8 - 4.4.12)			
KAK_sigma_y: 8.57143E-01		R: -5.00000E-01		sm/sa: 3.33333E-01					
KAK_tau_xy: 1.00000E+00		R: -1.00000E+00		sm/sa: 0.00000E+00					
Amplitude der Bauteil-Dauerfestigkeit									
sigma_x_AK: 1.01186E+02		(4.4.4)							
sigma_y_AK: 5.86136E+01									
tau_xy_AK: 6.51262E+01									
ertragbare Nennwerte der Amplitude									
sigma_x_BK: 1.96938E+02		KBK_sigma: 1.94630E+00		(4.4.38)					
sigma_y_BK: 1.14080E+02		KBK_sigma: 1.94630E+00							
tau_xy_BK: 1.15287E+02		KBK_tau: 1.77021E+00							
Maximalwert der Amplitude									
sigma_BKmax: 1.07338E+02		(4.4.40)							
Begrenzung der Maximalamplitude									
sigma_x_BK: 1.07338E+02		KBK_sigma_x: 1.06080E+00		(4.4.42)					
Begrenzung der Maximalamplitude									
sigma_y_BK: 1.07338E+02		KBK_sigma_y: 1.83128E+00							
Begrenzung der Maximalamplitude									
tau_xy_BK: 1.07338E+02		KBK_tau_xy: 1.64815E+00							
Nachweis - einzelne Spannungsarten									
aBK_sigma_x: 9.21484E-01		sa: 4.71000E+01		sigma_BK: 1.07338E+02		(4.6.3)			
aBK_sigma_y: 2.34773E-01		sa: 1.20000E+01		sigma_BK: 1.07338E+02					
aBK_tau_xy: 1.95644E-02		sa: 1.00000E+00		tau_BK: 1.07338E+02					
Nachweis - zusammengesetzte Spannungsarten									
aBK_sigma_v: 9.22041E-01		aNH: 9.22041E-01		aGH: 8.29635E-01		q: 1.00000E+00		(4.6.5)	
Auslastungsgrad = 92.2%, Ermüdungsfestigkeitsnachweis wurde erbracht.									

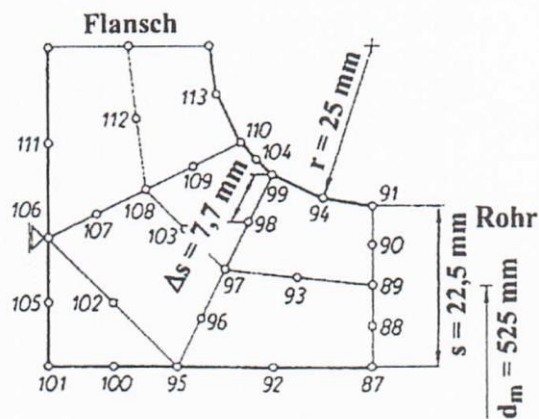
Protokoll der Festigkeitsberechnung, Ermüdungsnachweis

31. Beispiel 30 / FKM Beispiel Verdichterflansch

31.1. Aufgabenstellung

Als weiteres Beispiel wird ein Verdichterflansch aus Grauguss hinsichtlich seiner Festigkeit bewertet. Auch dieses Bauteil stammt wie die beiden vorherigen Beispiele aus der FKM Richtlinie (Kapitel 6.3).

Die Berechnung erfolgt mit dem winLIFE FKM QUICKCHECK /FKM Die untere Abbildung zeigt die Geometrie des Bauteils mit dem Nachweispunkt (Knotenpunkt 99).



FE-Modell des Verdichterflansches [FKM Richtlinie]

31.2. Materialangabe und örtliche Spannungen

Der Verdichterflansch besteht aus dem Werkstoff GJL-300 (alt GG-30).

Die Rauheit der Oberfläche beträgt $R_z = 200 \mu\text{m}$.

Für den Nachweispunkt (Knotenpunkt 99) sind die folgenden Spannungen in den Richtungen 1 (Längsrichtung) und 2 (Umfangsrichtung) gegeben (vgl. FKM-Richtlinie Kapitel 6.3.0):

$$\sigma_1 = \sigma_{1,m} \pm \sigma_{1,a} = 15,0 \text{ MPa} \pm 18,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{2,m} \pm \sigma_{2,a} = 5,0 \text{ MPa} \pm 6,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = 0$$

Als Hinweis: Für den Festigkeitsnachweis nach FKM in winLIFE FKM QUICKCHECK /FKM werden örtliche Spannungen verwendet.

31.3. Umgebungsbedingungen

Der Verdichterflansch soll für Temperaturen von 380°C bei 100.000h ausgelegt werden.

31.4. Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM

In winLIFE 4.0 erfolgt nun die Projektdefinition. Dazu wird gewählt:

Menü **Datei/ Neu (FKM Festigkeitsnachweis)...**

Der Anwender wählt einen Dateinamen für das winLIFE Projekt, z.B. eignet sich: *Verdichterflansch_FKM.wlf*.

Als nächstes wird der Werkstoff im Menü *Wöhlerlinie* festgelegt. Der Werkstoff EN-GJL-300 liegt in der winLIFE 4.0 FKM Datenbank vor und kann wie folgt gewählt werden:

Menü **Wöhlerlinie / Laden FKM...**

Daraufhin öffnet sich ein neues Fenster und es wird im Feld *Sorte* der Werkstoff: EN-GJL-300 eingetragen. Der gesuchte Werkstoff erscheint nun und man wählt diesen aus durch Klicken auf OK.

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN: Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

gjl-300 Biegung aktuelle

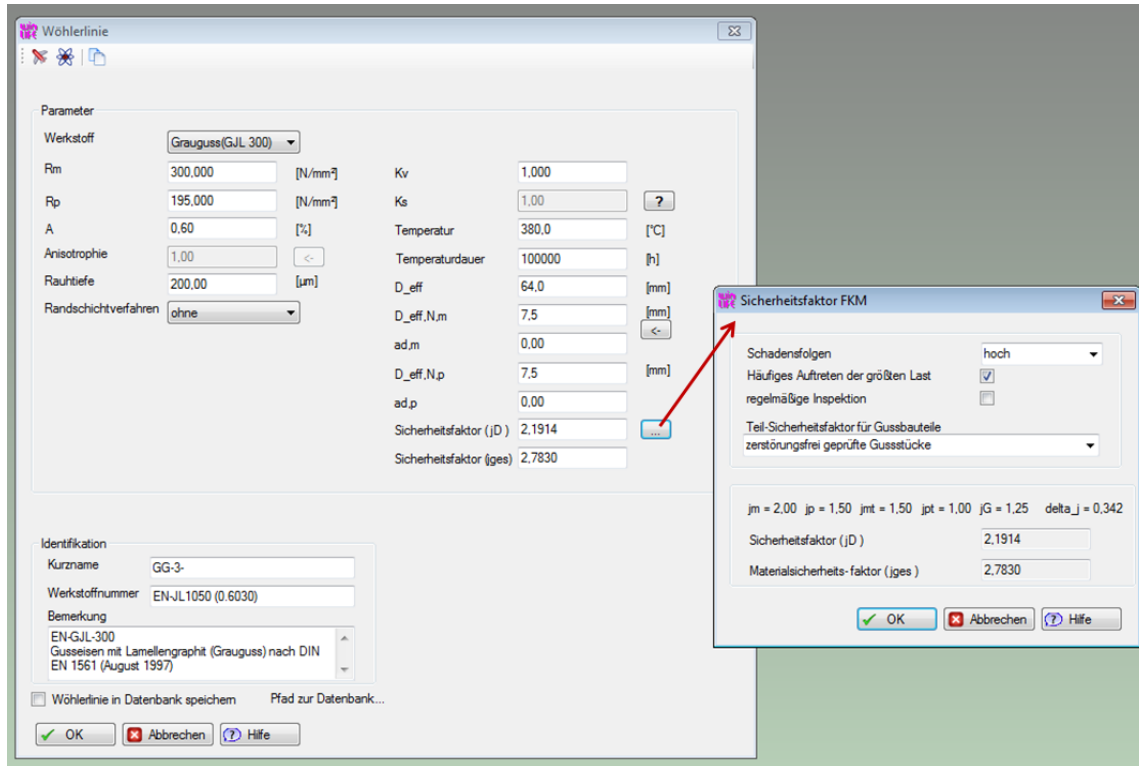
Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	adm	adp
Gauguss (GG)	GG-3	EN-GJL-300	Gusseisen mit Lamellengraphit (Gauguss) nach DIN...	EN-JL1050 (0.6...	300	195	0	0	0	0

Nennstärke :
Bruchdehnung :
Bemerkung :

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffauswahl aus der FKM Datenbank

Die zu ergänzenden Werkstoffangaben können der FKM Richtlinie entnommen werden. Der Sicherheitsfaktor wird hier durch entsprechende Angaben im gezeigten Fenster bestimmt. Schließlich ergibt sich folgende Abbildung für die Eingaben zu der Wöhlerlinie.

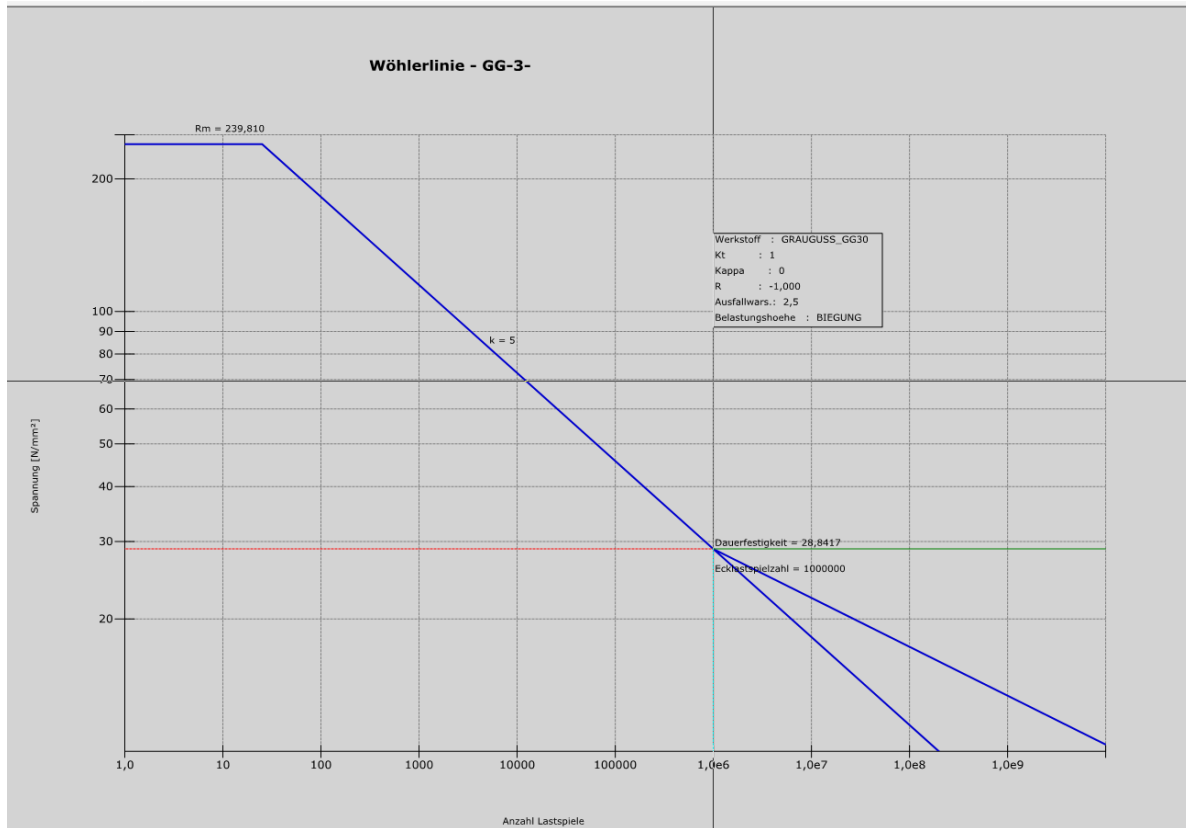


Werkstoffangaben

Aus den gerade getätigten Eingaben wird eine Wöhlerlinie erzeugt. Über die Befehlsfolge

Menü **Wöhlerlinie / Wöhlerlinie**

wird diese gezeigt. Bei Bedarf kann die Wöhlerlinie skaliert werden. Dazu wird die rechte Maustaste gedrückt, wenn man sich über eine Achse befindet, und aus dem Kontextmenü *Min/Max-Wert* gewählt.

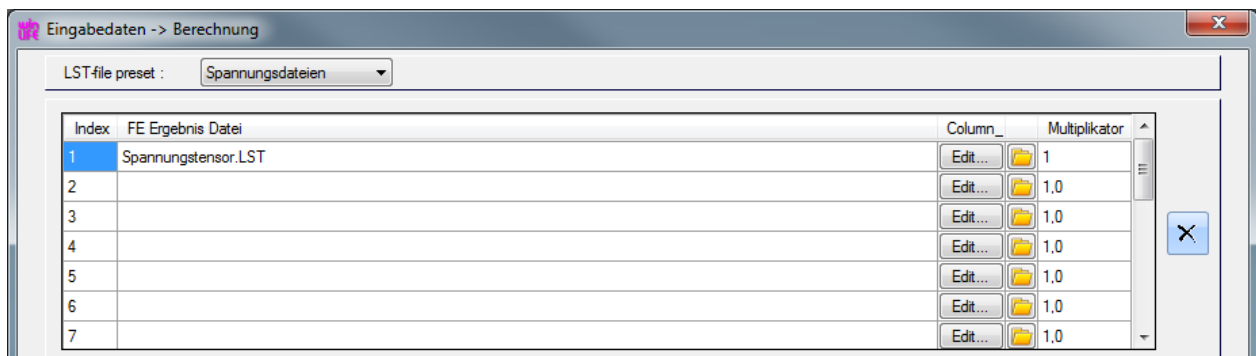


Wöhlerlinie für das Material EN-GJL-300 (GG-30)

Nun folgt der Schritt der Belastungseingabe:

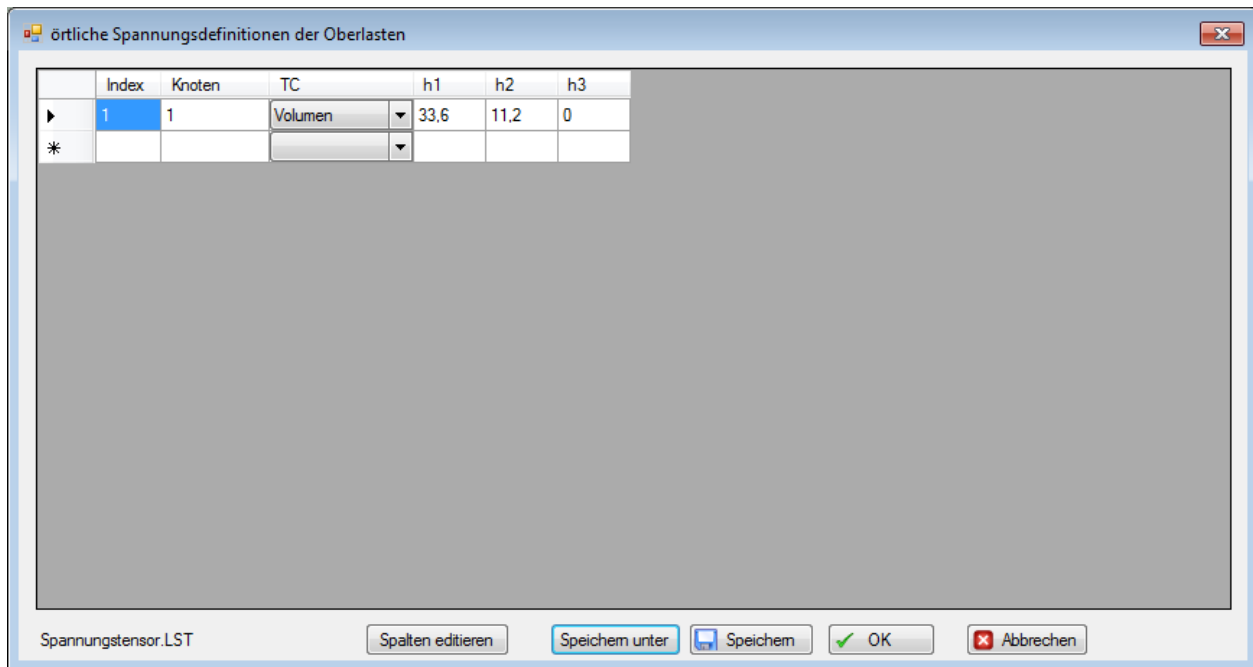
Menü **Berechnung** das unten dargestellte Bild erscheint

Hier werden also die Angaben zur Belastung gemacht.



Angaben im Dialog Berechnung

Zunächst erfolgt die Eingabe der örtlichen Spannungen am Nachweispunkt. Dazu wird die vorhandene Datei *Spannungstensor.LST* geöffnet, indem in der ersten Zeile auf die Schaltfläche mit dem Ordnersymbol geklickt wird (obere Abbildung). In dieser Datei sind folgende Hauptspannungen angegeben:



Angabe der örtlichen Spannungen

Die Datei enthält also die auftretenden Spannungen am Nachweispunkt. Im winLIFE 4.0 Beispiel 28 wird die Erstellung und Änderung einer solchen LST-Datei beschrieben.

Nun werden die weiteren Angaben im unten gezeigten Fenster getätigt.

Der Wert für die plastische Formzahl K_p braucht laut FKM nicht berechnet werden - damit wird hier für die plastische Stützzahl die Plastizitätszahl des Werkstoffs verwendet. Als weitere Eingaben folgen die Spannungsgefälle, die Spannungsverhältnisse und das Berechnungsverfahren, hier *Dauerfestigkeit*. Schließlich sollte das Fenster so ausgefüllt sein wie die untere Abbildung zeigt.

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column	Multiplikator
1	Spannungstensor.LST	Edit...	1
2		Edit...	1,0
3		Edit...	1,0
4		Edit...	1,0
5		Edit...	1,0
6		Edit...	1,0
7		Edit...	1,0

Pfad :

FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
 ☒ Einzelner Knoten:

Konstruktionskennwerte

Spannungsgradient

☐ aus FE file
☐ aus Kerbradius r
☒ manuelle Eingabe

☐ K_f aus FKM Tabelle
☐ K_f 1,0000
☒ K_f (K_t(deff, Kerbradius r, n(G)))

plastische Formzahl K_p

Bezogenes Spannungsgefälle G

G_{cx}
 G_{cy}
 G_z

Kerbradius r

r_x
 r_y
 r_z

Lastverhältnis R-Eingabe

R_x
 R_y
 R_z

Berechnungsverfahren

Dauerfestigkeit

N_{quer x}
 N_{quer y}
 N_{quer z}

Berechnungsangaben

Nun wird die Festigkeitsberechnung durchgeführt durch Klicken auf den Button *Berechnen*. Es ergeben sich die Auslastungsgrade für die statische Festigkeit von 56,4% und für die Ermüdungsfestigkeit von 63,6%. Diese Ergebnisse werden im Fenster links eingeblendet (siehe bitte Abbildung unten).

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	Spannungstensor.LST	Edit...	1

Pfad :

FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
 ☒ Einzelner Knoten:

Konstruktionskennwerte

Spannungsgradient

☐ aus FE file
☐ aus Kerbradius r
☒ manuelle Eingabe

☐ K_f aus FKM Tabelle
☐ K_f 1,0000
☒ K_f (K_f(def, Kerbradius r, n(G)))

plastische Formzahl K_p

Bezogenes Spannungsgefälle G

G_{z,x}
 G_{z,y}
 G_z

Kerbradius r

r_x
 r_y
 r_z

Lastverhältnis R-Eingabe

R_x
 R_y
 R_z

Berechnungsverfahren

Dauerfestigkeit

N_{quer x}
 N_{quer y}
 N_{quer z}

Auslastungsgrad = 56,4%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht
Auslastungsgrad = 63,6%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

Berechnungsangaben und Ergebnisse der Bauteilauslastung

31.5. Ergebnis

Das Protokoll in winLIFE FKM QUICKCHECK zeigt neben den Auslastungsgraden für die statische Festigkeit und Ermüdungsfestigkeit auch Zwischenergebnisse der Berechnung. Der winLIFE Anwender kann somit die Berechnungen gut nachvollziehen und die Zwischenschritte mit den Gleichungen aus der FKM-Richtlinie gegenüberstellen.

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem Ergebnis-Protokoll für den statischen Festigkeitsnachweis. Dabei ist ganz unten der Auslastungsgrad aufgeführt, hier 56,4%.

```

Protokoll

Werkstoffkennwerte
Rm: 2.39810E+02 Kdm: 7.99367E-01 KA: 1.00000E+00 RmN: 3.00000E+02 (3.2.1)
Rp: 1.55877E+02 Kdp: 7.99367E-01 KA: 1.00000E+00 RpN: 1.95000E+02
Spannungen aus der Summe der Lastfälle
h1: 3.36000E+01 h2: 1.12000E+01 h3: 0.00000E+00

Statischer Festigkeitsnachweis für den Knoten 1
Temperaturfaktor
KT,m = KT,p: 7.68960E-01 (3.2.22 - 3.2.27)
KT,m: 5.12067E-01 (3.2.29)
KT,p: 5.12067E-01 (3.2.29)
Hauptspannungen
h1: 3.36000E+01 h2: 1.12000E+01 h3: 0.00000E+00
hydrostatische Spannung sigma_H
sigma_H: 1.49333E+01 (3.1.11)
Duktilitätsfaktor q, Festigkeitsfaktor f_sigma, Gussfaktor KNL
q: 1.00000E+00 f_sigma: 1.00000E+00 KNL: 1.05000E+00 (Zug)
q: 1.00000E+00 f_sigma: 2.50000E+00 KNL: 9.50000E-01 (Druck)
Vergleichsspannung
sigma_v: 3.20000E+01 (3.1.5)
Mehrrachsigkeit
h: 5.03953E-01 sigma_H: 1.49333E+01 sigma_GH: 2.96324E+01 (3.1.10)
plastische Stützzahl - npl
eps_ref: 2.40000E-03 A: 6.00000E-01 (3.3.5)
eps_ertr: 1.60031E-03 eps_0: 1.55877E-03 (3.3.3)
npl: 1.01324E+00 E: 1.00000E+05 Kp: 2.00000E+00 (3.3.2)
Bauteilfestigkeit - sigma_SK
sigma_SK: 1.57940E+02 (3.4.1)
Vergleichsauslastungsgrad - aSK
aSK: 5.63859E-01 sigma_v: 3.20000E+01 sigma_SK: 1.57940E+02 jges: 2.78300E+00 (3.6.1)
Auslastungsgrad = 56.4%, statischer Festigkeitsnachweis wurde erbracht.

```

Protokoll der Festigkeitsberechnung, statischer Nachweis

Nun wird der Ausschnitt aus dem Ergebnis-Protokoll gezeigt, der für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit relevant ist. Der Auslastungsgrad bezogen auf die Dauerfestigkeit beträgt 63,6% wie man der untersten Zeile entnehmen kann.

```

Protokoll

Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Knoten 1
Bauteil-Normwerte
sigma_W,zd: 8.15354E+01 fW,sigma: 3.40000E-01 Rm: 2.39810E+02 (4.2.1)
Temperaturfaktor
KT,D: 8.55600E-01 (4.2.4)
Stützzahlen nach Stieler
n_sigma_1: 1.17915E+00 G_sigma_1: 6.00000E-02 aG: -5.00000E-02 bG: 3.20000E+03 (4.3.7)
n_sigma_2: 1.05643E+00 G_sigma_2: 1.89000E-02 aG: -5.00000E-02 bG: 3.20000E+03
Schätzwert der Kerbwirkungszahl
Kf~_sigma_1: 1.07901E+00 Kt_sigma_1: 1.27232E+00 (4.3.2)
Kf~_sigma_2: 1.00000E+00 Kt_sigma_2: 1.00000E+00
Rauheitsfaktor
KR_sigma: 9.05994E-01 aR_sigma: 6.00000E-02 r_t: 2.00000E+02 Rm,N,min: 1.00000E+02 (4.3.21)
Konstruktionsfaktoren
KWK_sigma_1: 9.06949E-01 KV: 1.00000E+00 KS: 1.00000E+00 KNL,E: 1.02500E+00 (4.3.1)
KWK_sigma_2: 1.01932E+00 KV: 1.00000E+00 KS: 1.00000E+00 KNL,E: 1.02500E+00
Bauteil-Wechselhaftigkeit
sigma_1_WK: 8.99008E+01 (4.4.1)
sigma_2_WK: 7.99902E+01
Mittelspannungsempfindlichkeit
M_sigma: 5.00000E-01 aM: 0.00000E+00 bM: 5.00000E-01 (4.4.5)
Mittelspannungsfaktor
KAK_sigma_1: 7.12584E-01 R: -1.07000E-01 sm/sa: 8.06685E-01 (4.4.8 - 4.4.12)
KAK_sigma_2: 7.12584E-01 R: -1.07000E-01 sm/sa: 8.06685E-01
Amplitude der Bauteil-Dauerfestigkeit
sigma_1_AK: 6.40619E+01 (4.4.4)
sigma_2_AK: 5.69998E+01
ertragbare Nennwerte der Amplitude
sigma_1_BK: 6.40619E+01 KBK_sigma: 1.00000E+00 (4.4.38)
sigma_2_BK: 5.69998E+01 KBK_sigma: 1.00000E+00
Maximalwert der Amplitude
sigma_BKmax: 1.18455E+02 (4.4.40)
Nachweis - einzelne Spannungsarten
jD: 2.19140E+00
aBK_sigma_1: 6.36178E-01 sa: 1.85976E+00 sigma_BK: 6.40619E+01 (4.6.3)
aBK_sigma_2: 2.38333E-01 sa: 6.19920E+00 sigma_BK: 5.69998E+01
Nachweis - zusammengesetzte Spannungsarten
aBK_sigma_v: 6.36178E-01 aNH: 6.36178E-01 aGH: 5.56689E-01 q: 1.00000E+00 (4.6.5)
Auslastungsgrad = 63.6%, Ermüdungsfestigkeitsnachweis wurde erbracht.

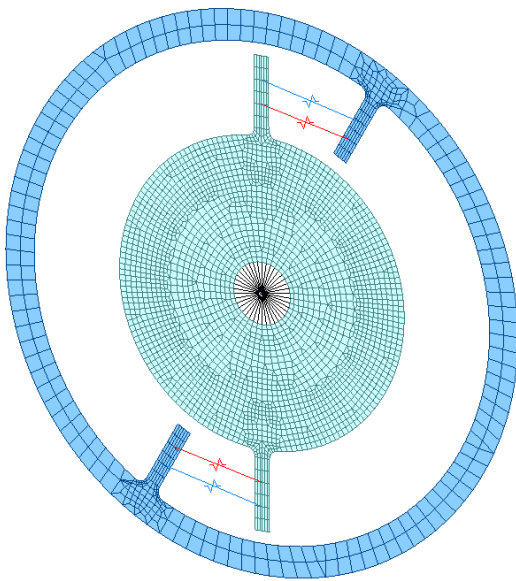
```

Protokoll der Festigkeitsberechnung, Ermüdungsnachweis

32. Beispiel 31 / Kupplung mit nichtlinearem Verhalten

32.1. Aufgabenstellung

Die hier gezeigte Kupplung, die aus einem äußeren Ring und einer drehbaren Innenscheibe besteht, wird hinsichtlich dynamischer Festigkeit untersucht. Die Innenscheibe wird durch ein zeitlich veränderliches Drehmoment belastet. Die Kraftübertragung von der Innenscheibe zum Außenring erfolgt durch Federn mit nichtlinearem Verformungs-Verhalten.



FE-Modell der Kupplung

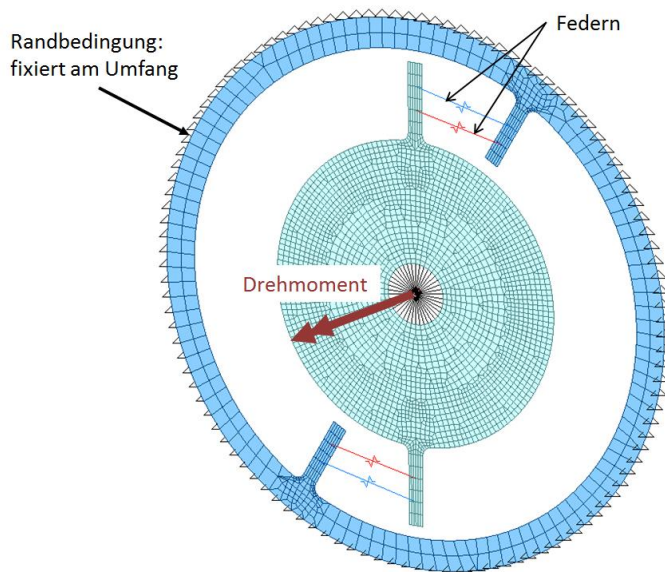
32.1.1. Geometrie und Last

Die Innenscheibe und die Außenscheibe der Kupplung sind in der Finite-Elemente Simulation (Femap / Nastran NX) aus Schalenelementen aufgebaut. Die Innenscheibe der Kupplung wird durch ein Drehmoment belastet. In der FE-Berechnung steigt das Drehmoment linear an. Später in winLIFE 4.0 wird ein praxisnaher, realistischer

Drehmomentverlauf verwendet. Der Außenring wird festgehalten und die Federn übertragen die Kräfte zwischen der Innenscheibe und dem Außenring.

Die zwei in der unteren Abbildung rot dargestellten Federn weisen eine lineare Verformungs-Kennlinie auf und die blau dargestellten Federn eine nichtlineare Kennlinie. Auf diese Weise ergibt sich ein nichtlineares Verhalten zwischen dem wirkenden Drehmoment und der auftretenden Spannung in den Kupplungsteilen.

Für die wirkenden Drehmomente werden später in winLIFE 4.0 realistische Messwerte verwendet. Außerdem wird in winLIFE 4.0 als weitere Einflussgröße die Drehzahl aufgenommen.



Belastung und Randbedingungen am FE-Modell

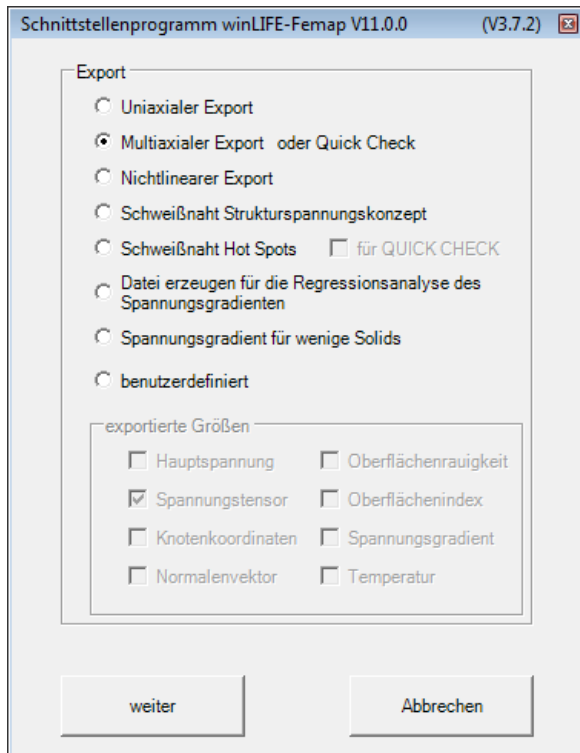
32.1.2. Export der Spannungen

Die in den Kupplungsteilen auftretenden Spannungen werden für die Lebensdauerberechnung in winLIFE benötigt. Daher wird ein Export der Spannungen durchgeführt. Die winLIFE 4.0 Schnittstelle in Femap wird benutzt.

In Femap wird gewählt:

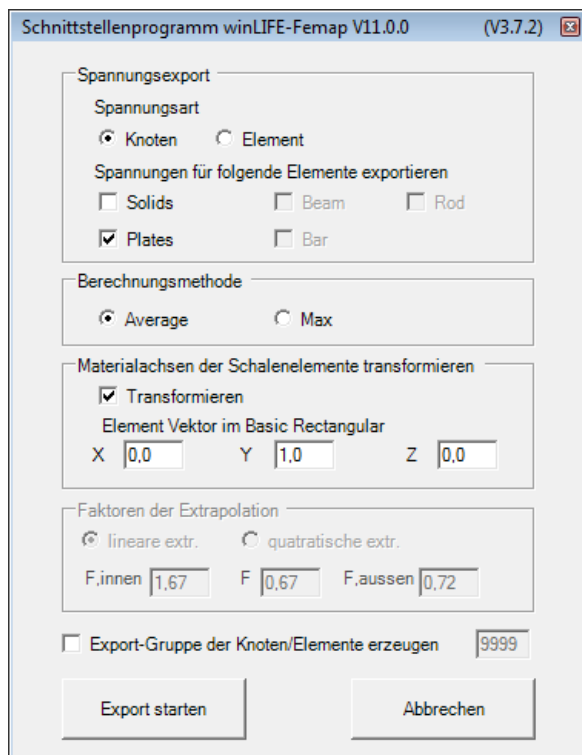
Menü *winLIFE* → *Spannungen für winLIFE exportieren*

Im nächsten Fenster werden folgende Einstellungen vorgenommen und dann auf *weiter* geklickt.



Spannungsexport als Multiaxialer Export

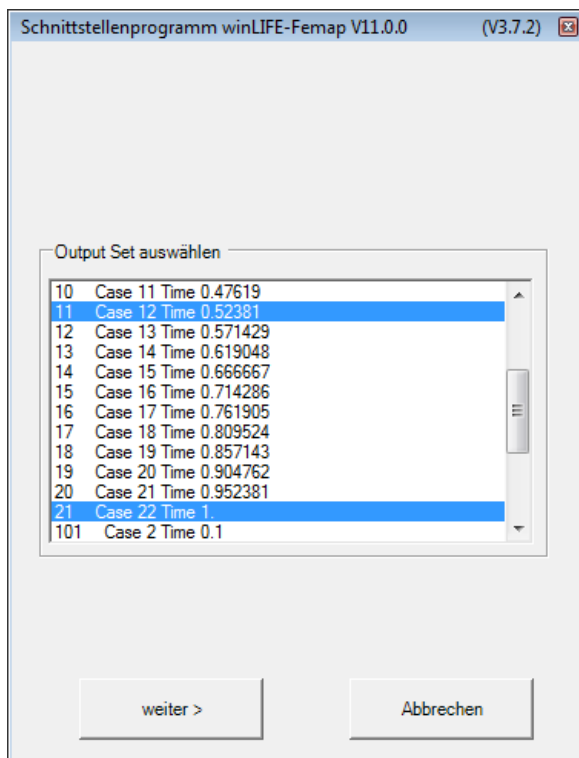
Es werden dann Einstellungen gesetzt zum Export von Knotenspannungen für die vorhandenen Plate Elemente. Die Spannungen werden in die z.B. y-Richtung transformiert, um sicherzustellen, dass alle Spannungen gleich orientiert sind. Anschließend wird der Button *Export starten* gewählt.



Export der Spannungen aus Femap

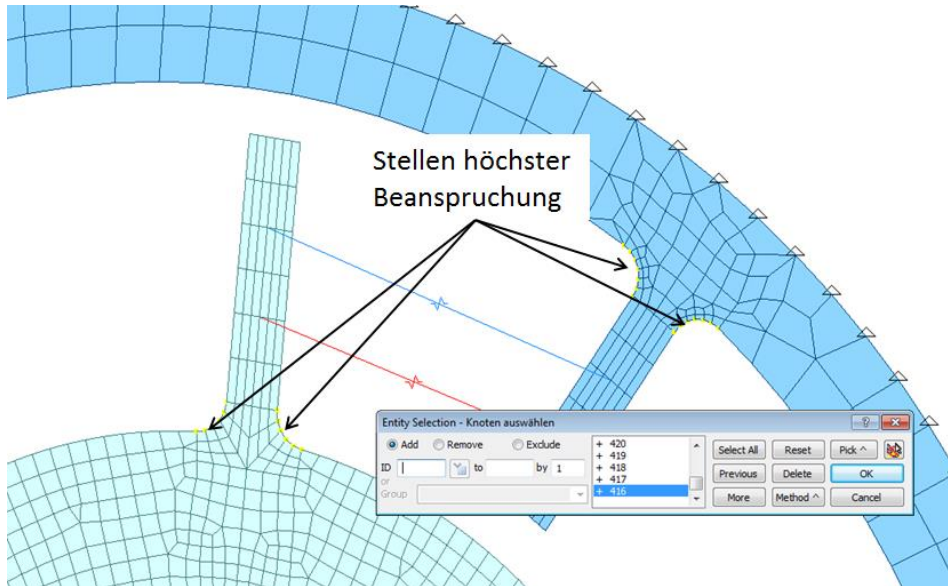
Es wird dann ein Name für eine Ausgabedatei festgelegt. In diese Datei werden die Spannungstensoren geschrieben.

Wie in der unteren Abbildung ersichtlich ist, liegen eine größere Anzahl von Output Sets (Spannungs-Ergebnisse) vor. Das Systemverhalten der Kupplung wurde durch die Federn so eingestellt, dass der Zusammenhang zwischen dem wirkenden Drehmoment und der auftretenden Spannung in den Kupplungsteilen anfänglich linear ist. Nämlich bis zum Output Set 11 und dann mit einer anderen Steigung weiter linear bis zum Output Set 21. Das Output Set 110 beschreibt die Umkehrung des Drehmoments (negatives Drehmoment). Es werden also folgende Output Sets gewählt: 11, 21 und 110.



Export der Spannungen

Anschließend werden Knoten aus den höchst beanspruchten Bereichen ausgewählt.

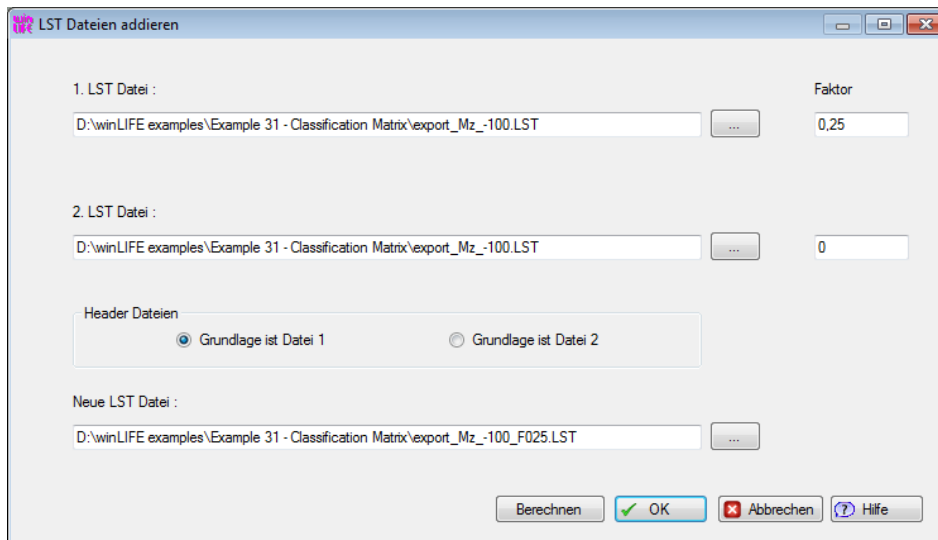


Auswahl der Knoten

Schließlich ergeben sich 4 Lastdateien (LST-Dateien). Der Anwender kann diese Lastdateien wahlweise umbenennen. Diese Lastdateien werden dann in winLIFE 4.0 noch mit dem Faktor 0,25 multipliziert. Denn eine reale Kupplung würde mehrfach die oben gezeigten Kraftübertragungselemente (Arme + Federn) enthalten, z.B. die vierfache Anzahl. Die Spannungen würden sich demzufolge um den Faktor 4 reduzieren. In winLIFE 4.0 findet der Anwender unter

Extras → Werkzeuge FE Daten → LST Dateien addieren

Möglichkeiten die vorliegenden LST-Dateien entsprechend zu modifizieren:

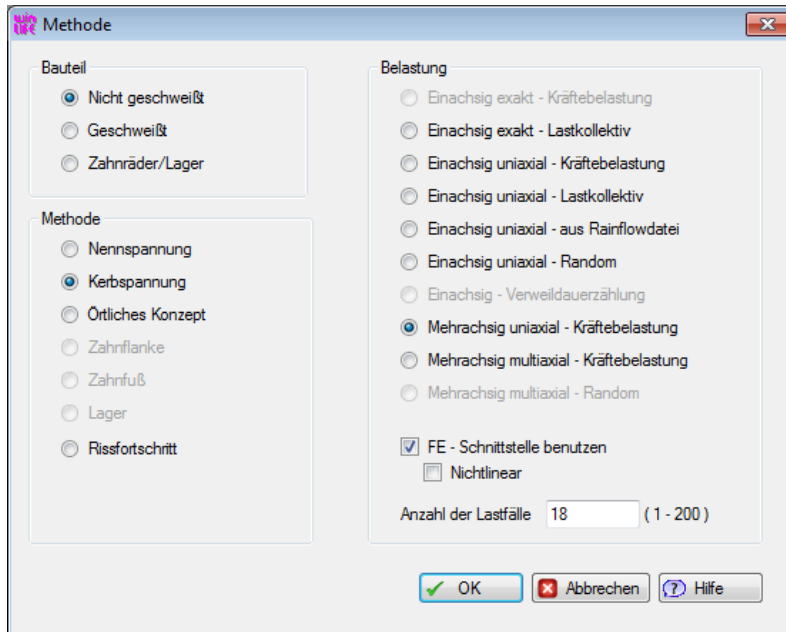


Skalierung der Lastdateien in winLIFE

Es werden also die 4 vorliegenden LST-Dateien wie in der oberen Abbildung gezeigt, mit dem Faktor 0,25 skaliert.

32.1.3. Projektaufbau in winLIFE

In winLIFE 4.0 erfolgt die Projektdefinition für die Kupplung. Da wie später gezeigt wird, die Drehzahl mit in die Berechnung aufgenommen wird, werden 18 Lastfälle eingetragen. Würde nur das Drehmoment berücksichtigt werden wären 3 Lastfälle ausreichend. Nämlich die 3 Lastfälle, die wie oben beschrieben bereits exportiert wurden.



Methodeneinstellungen in winLIFE

Die Wöhlerlinie wird generiert. Gewählt wird aus der FKM Datenbank der Stahl 42 CrMo 4.

Menü *Wöhlerlinie* → *Laden FKM...*

Es wird in dem Feld *Bezeichnung nach DIN* der Werkstoffname *42 CrMo 4* geschrieben. Die Auswahlliste enthält mehrfach den gewünschten Stahl. Es wird der Stahl für die Belastung Biegung gewählt.

Die Oberflächenrauhtiefe wird zu 25µm gesetzt. Der Wert für die effektive Dicke ist 5mm. Die folgende Abbildung zeigt diese Einstellungen. Mit dem Button *generieren* wird die Wöhlerlinie mit den Kennwerten erzeugt.

Wöhlerliniengenerierung

Nun wird die Belastung angegeben. Die Datei

SIM-Stadt 150-1440_Bereich.dat

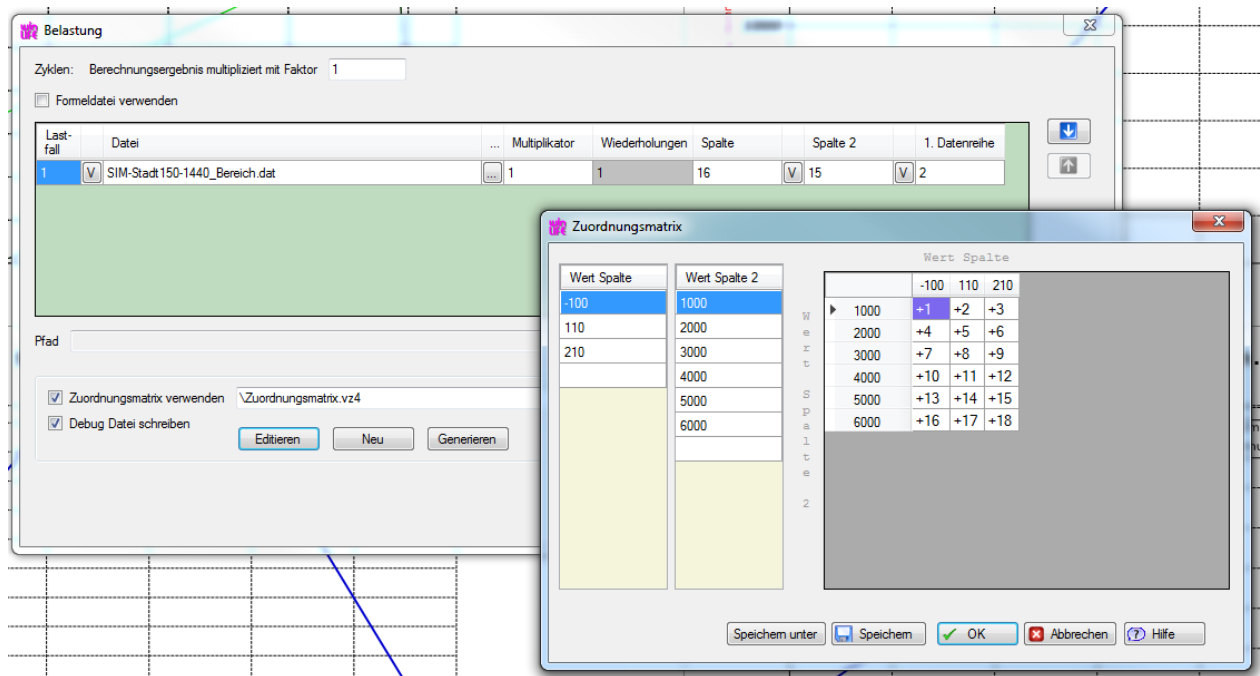
wird angegeben. Diese Datei enthält u.a. das aus einem Praxisfall kommende Drehmoment (Spalte 16) und die zugehörige Drehzahl (Spalte 15). Diese Spaltennummern werden wie die Abbildung zeigt angegeben.

Eine Zuordnungsmatrix wird angelegt. Dabei wird das wirkende Drehmoment in der Spalte 1 (-100Nm, 110Nm und 210Nm) den entsprechenden Lastdateien zugeordnet. Die Lastdatei enthält die exportierten Spannungen für die gewählten Knoten. Zwischen den Spaltenwerten wird eine lineare Interpolation der Spannungen durchgeführt. Die Lastdateien werden später in einem weiteren Dialog namentlich angegeben. In der Zuordnungsmatrix wird nur die Nummer der Datei gebraucht.

Zusätzlich ist hier die Drehzahl mit berücksichtigt. Die Drehzahlwerte in der Zuordnungsmatrix betragen 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 und 6000 1/min. Wir haben der Einfachheit halber die drei vorliegenden Lastdateien aus dem Export aus Femap herangezogen und mit Faktoren skaliert, um den Fliehkrafteinfluss abzubilden. Der Skalierungsfaktor beträgt dabei je nach Drehzahl $(n/1000)^2$. Das bedeutet für 2000 1/min berechnet sich der Skalierungsfaktor zu $(2000/1000)^2 = 4$. Für 3000 1/min berechnet sich der Skalierungsfaktor 9. In winLIFE 4.0 findet der Anwender unter

Extras → Werkzeuge FE Daten → LST Dateien addieren

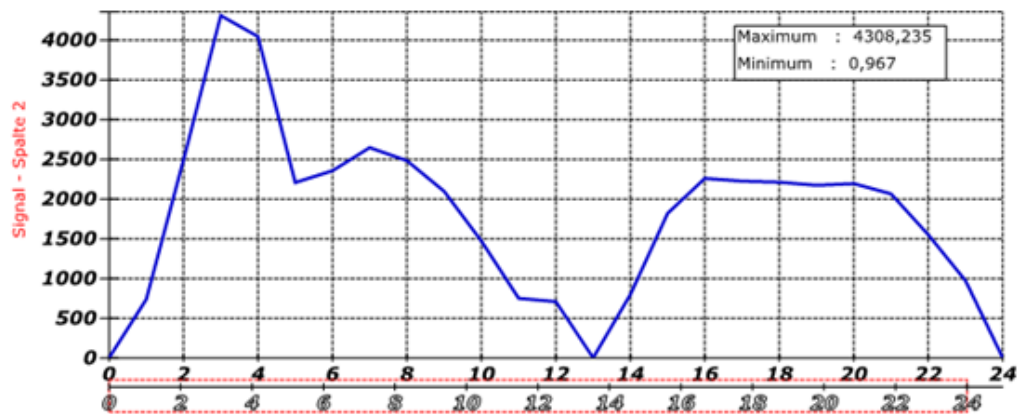
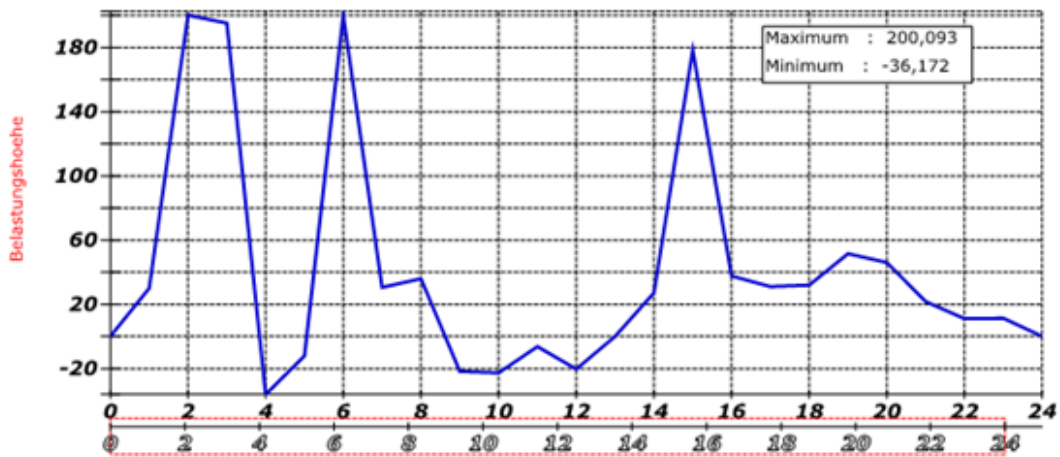
Möglichkeiten die vorliegenden LST-Dateien entsprechend zu modifizieren. Auf diese Weise ergeben sich weitere Lastdateien, die in der Zuordnungsmatrix angegeben werden.



Definition der Belastung

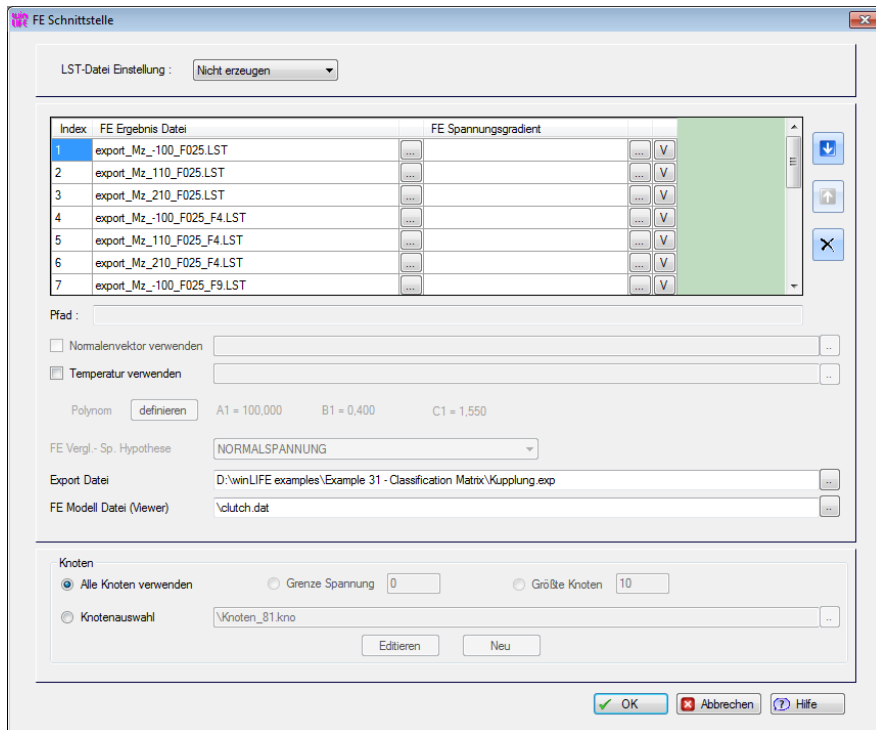
Wird in der Maske oben **Debug Datei schreiben** markiert, so wird eine Datei erzeugt, in der die Bedingungen für die Erzeugung der Pfade angegeben wird.

Die Verläufe des Drehmoments und der Drehzahl sind folgend untereinander dargestellt.

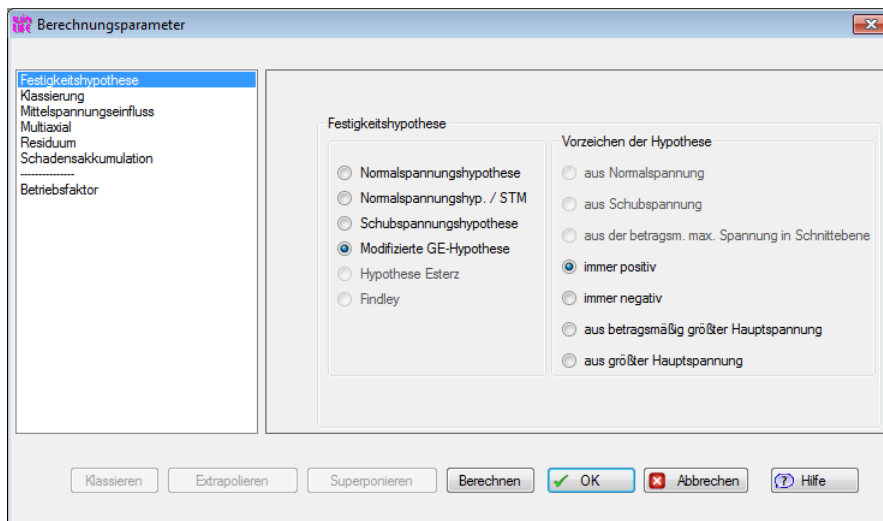


Verläufe des Drehmoments (oben) und der Drehzahl (unten)

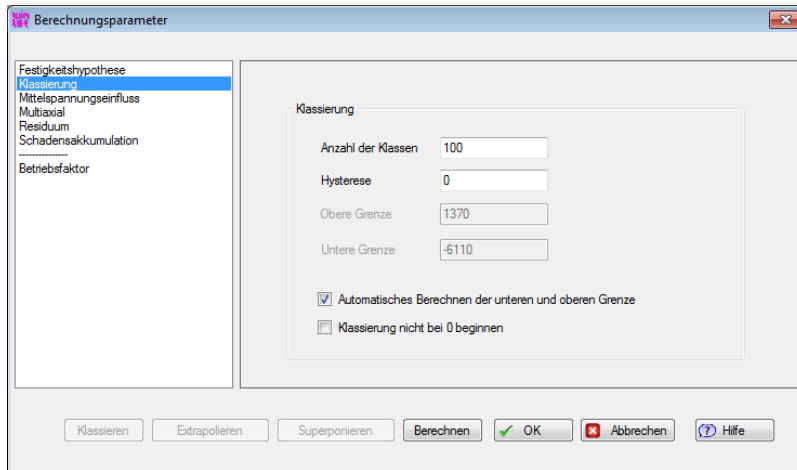
Jetzt kommen wir zum Menüpunkt FE-Daten. Die drei vorliegenden Lastdateien (*.LST) werden hier angegeben sowie die weiteren skalierten Lastdateien. Die Angabe der FE-Modell Datei für den VIEWER4WINLIFE erfolgt hier durch die NASTRAN (*.dat) Datei.



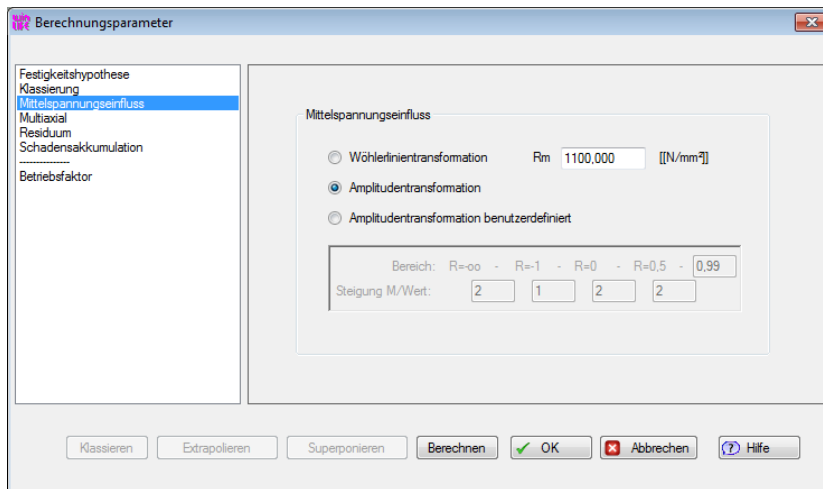
FE-Dialog



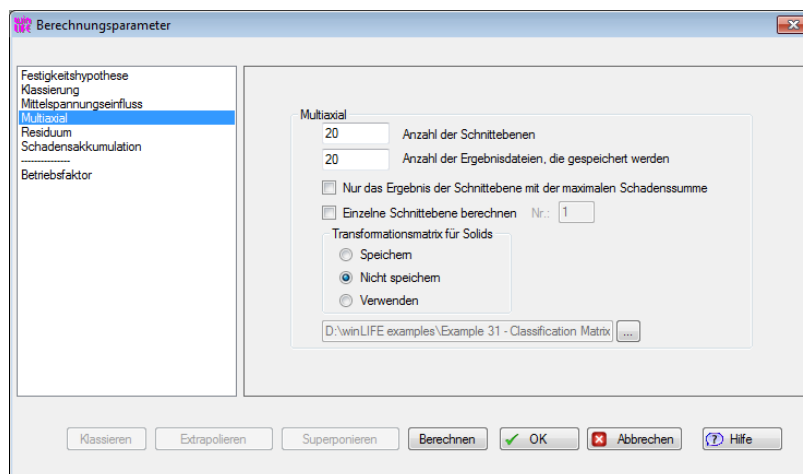
Parametereinstellungen Festigkeitshypothese



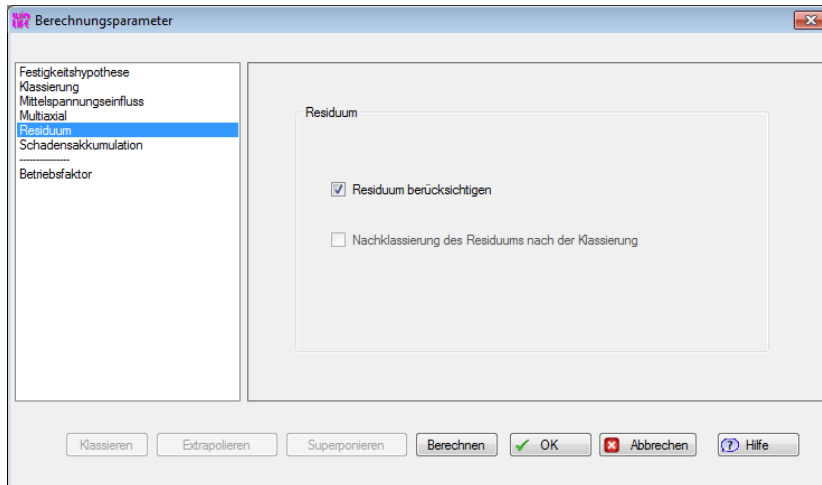
Einstellung der Klassierung



Berücksichtigung der Mittelspannung

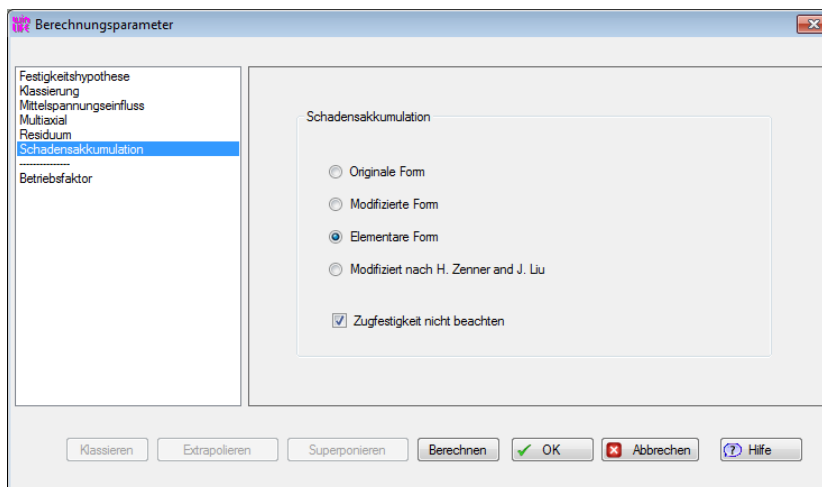


Angaben zu der Option Multiaxial



Berücksichtigung des Residuums

In der Einstellung zur Schadensakkumulation wird die Option Zugfestigkeit nicht beachten aktiviert. Wie sich später zeigt, liegen die linear berechneten Spannungen teilweise deutlich über der Zugfestigkeit des Werkstoffs. Hier in diesem Beispiel liegt die Vorstellung zu Grunde, dass sich die hohen linear berechneten Spannungen in der Realität abbauen können (Plastizität) und damit in dieser vollen Höhe nicht wirksam werden.



Einstellung der Schadensakkumulation

Es wird die Berechnung der Lebensdauer durchgeführt.

Ergebnis

Es ergibt sich die maximale Schadenssumme von ca. 0,00006006 für den Knoten 421. Die winLIFE 4.0 Berechnung gibt als Ergebnis an, dass etwa 16075 mal der komplette Verlaufs-Zyklus aufgegeben werden kann.

Die maximal berechnete Schadenssumme im Knoten:

421(PLATE) beträgt 0,000062208

Es können 16075,0 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.

Betriebsfaktor(1,000) = 6,9379 Auslastungsgrad = 0,144135

vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000\%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

Projekt: example_31.WLF

Protokoll: D:\winlife_example_40\example_31\example_31\421_7.ptk

Berechnet am: Dienstag, 20. Juni 2017 15:31

Methode:

Bauteil: Nicht geschweißt

Methode: Kerbspannung

Belastung: Mehrachsig uniaxial - Kräftebelastung

Wöhlerlinie:

Kurzname: 42 CrMo 4

Werkstoffnummer: 1.7225

Belastung (*): Biegung

Werkstoff: Stahl

Ausfallwahrscheinlichkeit: 2,5000

Rm: 1100,000

Dauerfestigkeit (*): 431,405

Zug/Druck w.: 495,000

Re: 900,000

Dauerfestigkeit 2 (*): 431,405

Mittelspannungsempf. (*): 0,2850000

K: 5,000

Ecklastspielzahl (*): 1000000

Zdw/Tw: 1,73310

Berechnungsparameter:

Klassierung

Anzahl der Klassen: 100

Hysterese: 0

RESIDUUM

Obere Grenze: 1533

Untere Grenze: 0

Mittelspannungseinfluss

Residuum berücksichtigen: ja

Nachklassierung des Residuum: nein

Schadensakkumulation

Amplitudentransformation

Zugfestigkeit nicht beachten : ja

Festigkeitshypothese

Elementare Form

Modifizierte GE-Hypothese

Vorzeichen der Hypothese: immer positiv

Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor: 1

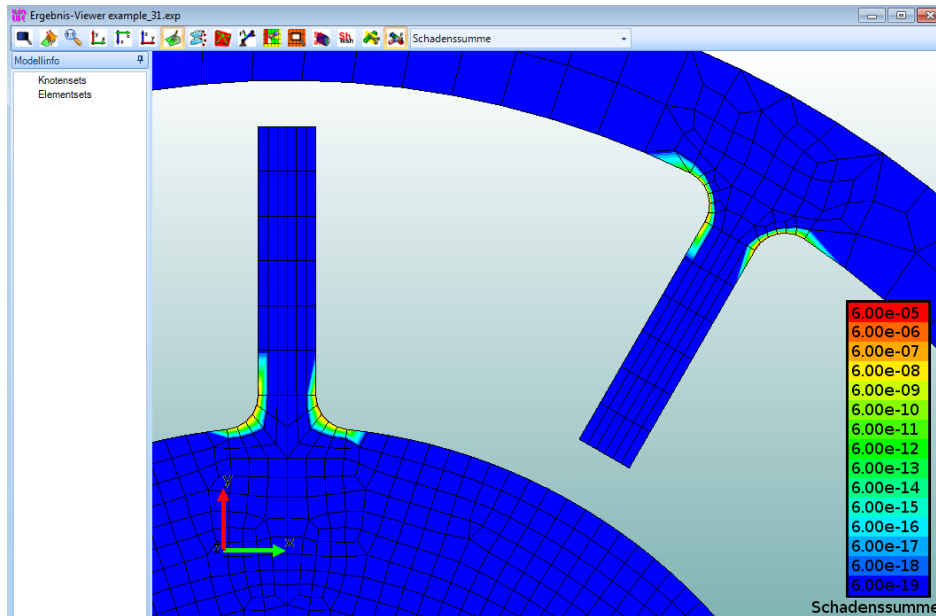
Zyklen

Einheiten

Einheiten: 1,000000

Ergebnis der Lebensdauerberechnung

Die Beanspruchung an der Kupplung kann am 3D-Modell gezeigt werden. In diesem Beispiel verwenden wir zur Darstellung den VIEWER4WINLIFE. Der Auslastungsgrad ist im unteren Bild erkennbar.



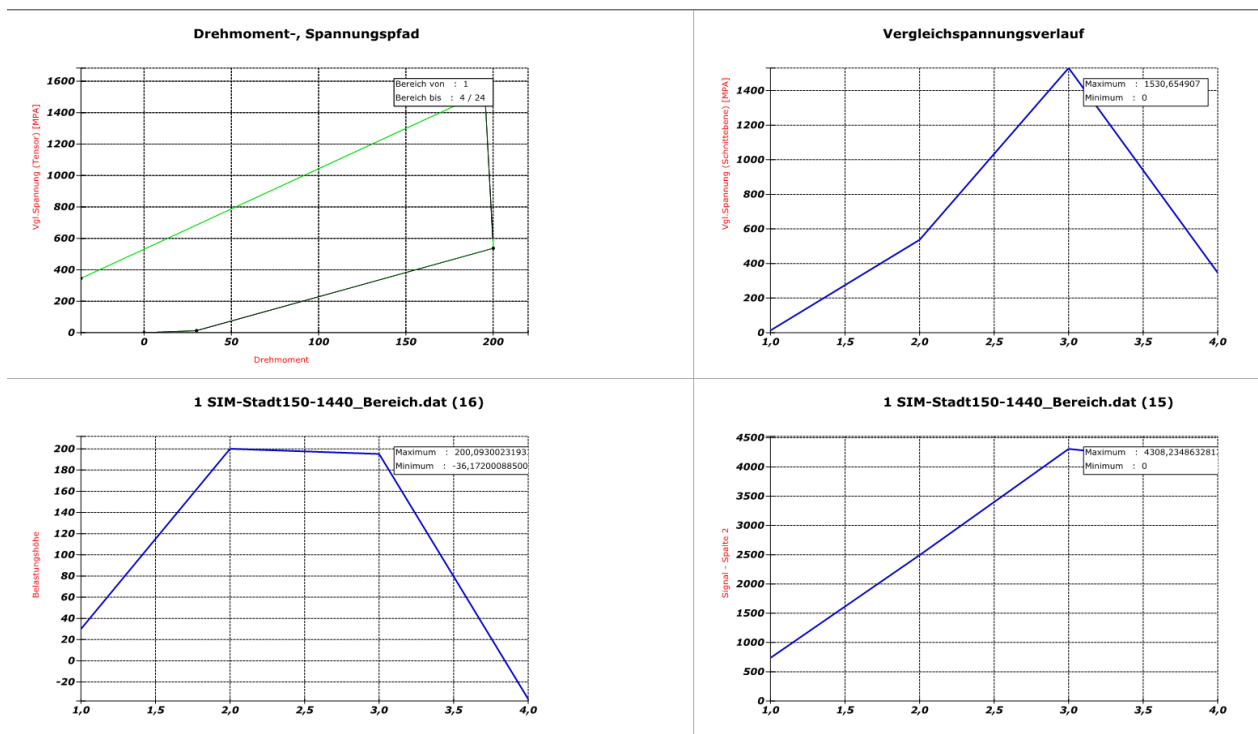
Schadenssumme im winLIFE viewer dargestellt

Über die Befehlsfolge

Ergebnis → *Drehmoment-, Spannungspfad*

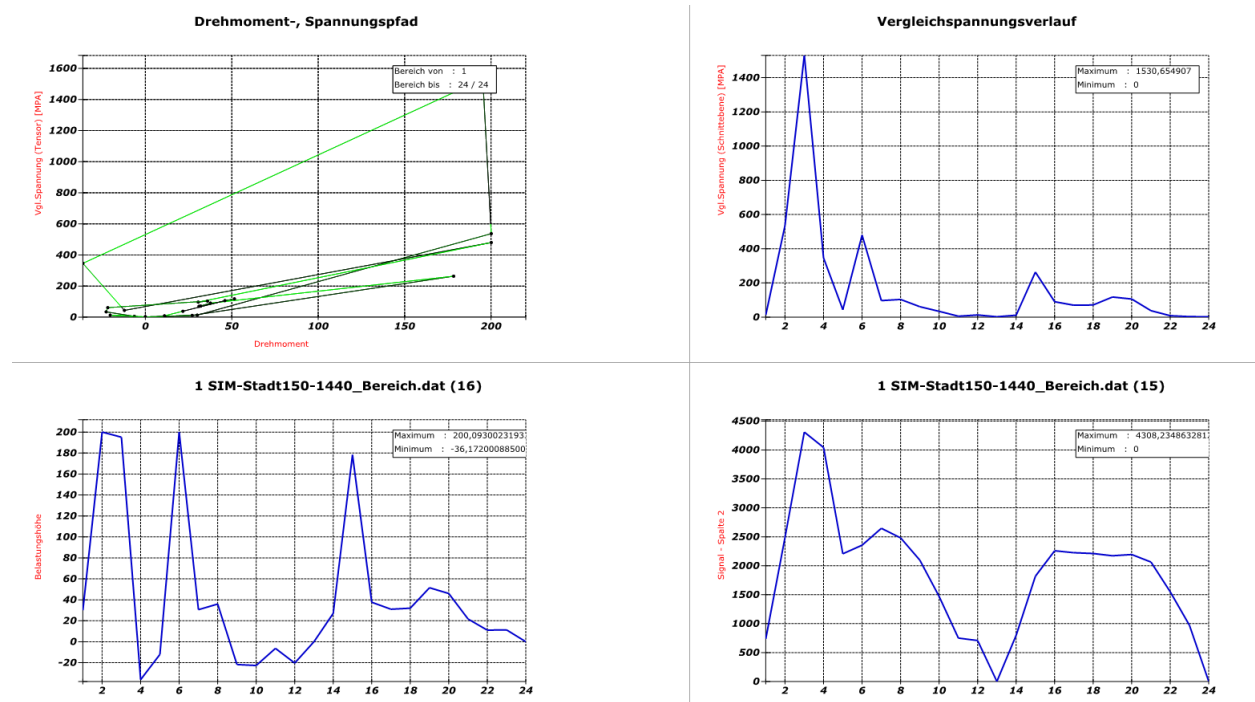
öffnen sich diese vier unten dargestellten Diagramme. Das Diagramm links oben zeigt die auftretenden Spannungen in Abhängigkeit vom Drehmoment.

Für diese Darstellung wurden nur 5 Zeilen (Messwerte) aus den Belastungsverläufen wegen der Übersichtlichkeit verwendet.



Ergebnis der Lebensdauerberechnung

Der Spannungspfad (Diagramm links oben) wird mit unterschiedlicher Farbintensität dargestellt. Bereiche in denen die Drehzahlen gering sind, werden dunkler dargestellt. Bei höheren Drehzahlen wird die Farbe heller. Werden eine größere Anzahl Messpunkte geplottet, ergeben sich z.B. die folgenden Funktionen.



Ergebnis der Lebensdauerberechnung

Die Protokolldateien sind im Projektverzeichnis zu finden. Sie erlauben es dem mit dem Algorithmus einigermaßen vertrauten Benutzer für jeden Knoten die Ergebnisse nachzuvollziehen. Die Datei verwendet als Namen eine Kombination aus Knotennummer, Elementtyp und Dateierweiterung txt. Für den kritischen Knoten lautet der Name 421_7.txt. Damit ist der Knoten 421 mit dem Elementtyp 7 beschrieben.

Die Datei unseres Beispiels sieht folgendermaßen aus, wobei die ersten 13 Spalten im Bild oben, die folgenden Spalten im Bild unten dargestellt sind. Einige Spalten sind leer, was auf den vergleichsweise einfachen Verlauf des Signals zurückzuführen ist.

Spalte1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NF: 1 steigend L1:	30.0 L2:	737.4	---	L1: 1 0.4 L2: 1 0.0 L3: 2 0.6 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	0.0	L_max_mfn_neu:	30.0	S_max_mfn:	13.1	---		
NF: 2 steigend L1:	200.1 L2:	2493.0	---	L1: 5 0.1 L2: 6 0.0 L3: 6 0.5 L4: 9 0.4	L_max_mfn_alt:	20.0	L_max_mfn_neu:	200.1	S_max_mfn:	537.1	---		
NF: 3 steigend L1:	195.2 L2:	4088.2	---	L1:11 0.1 L2:16 0.0 L3:12 0.6 L4:15 0.3	L_max_mfn_alt:	200.1	L_max_mfn_neu:	195.2	S_max_mfn:	1530.2	---		
NF: 4 steigend L1:	36.2 L2:	4043.1	---	L1:10 0.5 L2:13 0.0 L3:11 0.3 L4:14 0.0	L_max_mfn_alt:	195.2	L_max_mfn_neu:	36.2	S_max_mfn:	346.2	---		
NF: 5 steigend L1:	12.1 L2:	2206.5	---	L1: 4 0.1 L2: 7 0.1 L3: 5 0.3 L4: 8 0.1	L_max_mfn_alt:	36.2	L_max_mfn_neu:	12.1	S_max_mfn:	43.7	---		
NF: 6 steigend L1:	200.1 L2:	2355.2	---	L1: 5 0.1 L2: 6 0.0 L3: 6 0.6 L4: 9 0.3	L_max_mfn_alt:	12.1	L_max_mfn_neu:	200.1	S_max_mfn:	479.9	---		
NF: 7 steigend L1:	30.6 L2:	2484.7	---	L1: 4 0.1 L2: 7 0.2 L3: 5 0.2 L4: 8 0.4	L_max_mfn_alt:	200.1	L_max_mfn_neu:	30.6	S_max_mfn:	86.9	---		
NF: 8 steigend L1:	36.0 L2:	2481.8	---	L1: 4 0.2 L2: 7 0.2 L3: 5 0.3 L4: 8 0.3	L_max_mfn_alt:	30.6	L_max_mfn_neu:	36.0	S_max_mfn:	103.7	---		
NF: 9 steigend L1:	21.8 L2:	2056.4	---	L1: 4 0.6 L2: 7 0.1 L3: 5 0.3 L4: 8 0.0	L_max_mfn_alt:	36.0	L_max_mfn_neu:	21.8	S_max_mfn:	61.3	---		
NF: 10 steigend L1:	22.7 L2:	1470.4	---	L1: 1 0.3 L2: 4 0.3 L3: 2 0.2 L4: 5 0.2	L_max_mfn_alt:	21.8	L_max_mfn_neu:	22.7	S_max_mfn:	34.1	---		
NF: 11 steigend L1:	6.3 L2:	750.6	---	L1: 1 0.6 L2: 3 0.0 L3: 2 0.4 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	22.7	L_max_mfn_neu:	6.3	S_max_mfn:	5.7	---		
NF: 12 steigend L1:	20.3 L2:	708.6	---	L1: 1 0.6 L2: 3 0.0 L3: 2 0.4 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	6.3	L_max_mfn_neu:	20.3	S_max_mfn:	12.9	---		
NF: 13 steigend L1:	0.0 L2:	1.0	---	L1: 1 0.5 L2: 3 0.0 L3: 2 0.5 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	20.3	L_max_mfn_neu:	0.0	S_max_mfn:	7.4	---		
NF: 14 steigend L1:	27.1 L2:	798.6	---	L1: 1 0.4 L2: 3 0.0 L3: 2 0.6 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	0.0	L_max_mfn_neu:	27.1	S_max_mfn:	11.6	---		
NF: 15 steigend L1:	178.3 L2:	1819.7	---	L1: 2 0.1 L2: 5 0.1 L3: 3 0.1 L4: 6 0.6	L_max_mfn_alt:	27.1	L_max_mfn_neu:	178.3	S_max_mfn:	261.5	---		
NF: 16 steigend L1:	37.7 L2:	2238.9	---	L1: 4 0.1 L2: 5 0.1 L3: 5 0.5 L4: 8 0.2	L_max_mfn_alt:	178.3	L_max_mfn_neu:	37.7	S_max_mfn:	90.4	---		
NF: 17 steigend L1:	31.0 L2:	2224.8	---	L1: 4 0.1 L2: 5 0.1 L3: 5 0.5 L4: 8 0.1	L_max_mfn_alt:	37.7	L_max_mfn_neu:	31.0	S_max_mfn:	69.8	---		
NF: 18 steigend L1:	32.0 L2:	2211.1	---	L1: 4 0.1 L2: 5 0.1 L3: 5 0.5 L4: 8 0.1	L_max_mfn_alt:	31.0	L_max_mfn_neu:	32.0	S_max_mfn:	71.4	---		
NF: 19 steigend L1:	31.5 L2:	217.7	---	L1: 4 0.2 L2: 5 0.0 L3: 5 0.6 L4: 8 0.1	L_max_mfn_alt:	32.0	L_max_mfn_neu:	31.5	S_max_mfn:	117.8	---		
NF: 20 steigend L1:	46.0 L2:	2193.6	---	L1: 4 0.2 L2: 5 0.0 L3: 5 0.6 L4: 8 0.1	L_max_mfn_alt:	31.5	L_max_mfn_neu:	46.0	S_max_mfn:	106.2	---		
NF: 21 steigend L1:	21.7 L2:	2064.4	---	L1: 4 0.4 L2: 5 0.0 L3: 5 0.5 L4: 8 0.0	L_max_mfn_alt:	46.0	L_max_mfn_neu:	21.7	S_max_mfn:	38.0	---		
NF: 22 steigend L1:	11.0 L2:	1350.5	---	L1: 1 0.2 L2: 4 0.0 L3: 2 0.2 L4: 5 0.3	L_max_mfn_alt:	21.7	L_max_mfn_neu:	11.0	S_max_mfn:	8.7	---		
NF: 23 steigend L1:	11.3 L2:	971.6	---	L1: 1 0.5 L2: 4 0.0 L3: 2 0.5 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	11.0	L_max_mfn_neu:	11.3	S_max_mfn:	3.4	---		
NF: 24 steigend L1:	0.0 L2:	1.0	---	L1: 1 0.5 L2: 4 0.0 L3: 2 0.5 L4: 2 0.0	L_max_mfn_alt:	11.3	L_max_mfn_neu:	0.0	S_max_mfn:	2.4	---		

13	14	15	16	17	18	19	20	verwendeter Spannungstensor
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -7.4 Sy -7.4 txy -6.2
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -303.9 Sy -304.9 txy -255.5
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -866.4 Sy -866.4 txy -728.1
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 199.3 Sy 192.8 txy 164.7
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 25.4 Sy 24.1 txy 20.8
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -271.5 Sy -272.4 txy -228.3
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -55.0 Sy -54.8 txy -46.1
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -59.0 Sy -58.6 txy -49.3
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 35.4 Sy 34.0 txy 29.2
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 19.7 Sy 19.0 txy 16.2
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 3.3 Sy 3.1 txy 2.7
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 7.5 Sy 7.2 txy 6.2
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 1.4 Sy 1.3 txy 1.2
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -6.6 Sy -6.6 txy -5.5
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -149.4 Sy -149.3 txy -125.3
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -51.4 Sy -51.0 txy -43.0
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -39.7 Sy -39.5 txy -33.2
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -40.6 Sy -40.4 txy -34.0
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -67.2 Sy -66.4 txy -56.0
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -60.5 Sy -59.9 txy -50.5
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -21.5 Sy -21.6 txy -18.1
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -4.8 Sy -5.1 txy -4.1
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx -1.9 Sy -2.0 txy -1.6
---	---	---	---	---	---	---	---	Spannungstensor Sx 1.4 Sy 1.3 txy 1.2

Die Bedeutung der Spalten ist folgende:

Spalte Nr.	Bedeutung
1	Nr: fortlaufende Nummer in der Lastdatei
2	steigend/fallen, wir befinden uns auf dem steigenden bzw. fallenden Ast
3	L1: Moment zum Lastpunkt Nr.x
4	L2: Drehzahl zum Lastpunkt Nr.x
5	Zw: --- L1 und L2 werden direkt verwendet
5	L1.....L2:..... Die Momentenschrittweite geht über diesen Eckpunkt, so muss dieser als Zwischenpunkt berechnet werden
6 bis 9	die 4 FE-Lastfallnummern (Spannungsdateien), innerhalb denen interpoliert wird
6	L1: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
7	L2: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
8	L3: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
9	L4: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
10	L_Max_min_alt: letztes max. Moment beim steigenden Ast oder letztes min. Moment beim fallenden Ast
11	L_Max_min_neu: aktuelle Last
12	S_Max_min: aktuelle Vergleichsspannung
13-20	nur belegt, wenn ein steigendes Moment im fallenden Ast auftritt oder wenn ein fallendes Moment im steigenden Ast auftritt
13	wenn ein Zwischenmaximum oder Zwischenminimum auftritt Version 1: Man befindet sich auf dem steigenden Ast, das Moment fällt, aber die Vergleichsspannung ist größer -> Zwischenmaxima "steigender Ast, Moment fällt, S_Vgl(S_Max_min) ist größer Version 2: Man befindet sich auf dem fallenden Ast, das Moment steigt, aber die Vergleichsspannung ist kleiner -> Zwischenmaxima "fallender Ast, Moment steigt, S_Vgl(S_Max_min) ist kleiner Es wird bei gleicher Last die Spannung gesucht, welche auf dem entgegengesetzten Ast ist. Wenn wir uns auf dem steigenden Ast befinden, wird die Spannung des fallenden Astes gesucht berechnet, wenn wir uns auf dem fallenden Ast befinden, wird die Spannung auf dem steigenden Ast gesucht. Spalte 14-17: die 4 FE-Lastfallnummern (Spannungsdateien), innerhalb denen interpoliert wird
14-17	die 4 FE-Lastfallnummern (Spannungsdateien), innerhalb denen interpoliert wird
14	L1: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
15	L2: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
16	L3: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
17	L4: FE-Lastfallnummer Interpolationsanteil in %/100
18	Die berechnete Vergleichsspannung des entgegengesetzten Astes 'S_Vgl_fallender Ast .xx.' oder 'S_Vgl_steigender Ast .xx.'
19	Die letzte max. oder min. Spannung im Vergleich '(< .x.(L:.x.))' or '(> .x. (L:.x.)) und die zugehörige Last
20	steigend->steigend / fallend->fallend: es wird auf dem Ast geblieben steigend->fallend / fallend->steigend: der Ast wird gewechselt

33. Beispiel 32 / Mehrkörperdynamik und Lebensdauer

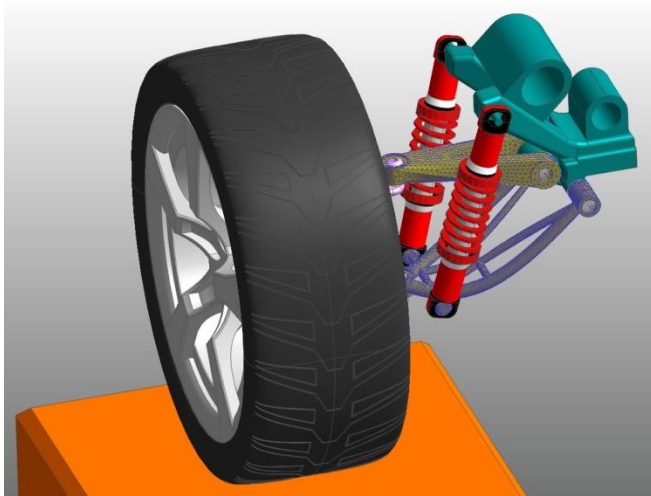
Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

33.1. Aufgabenstellung

33.1.1. Radaufhängung

Mit dem MKS-Programm RecurDyn wird das Modell einer Radaufhängung simuliert. Das Modell stammt aus dem RecurDyn Beispiel mit dem Titel FFlex Mesher Suspension.

Das Rad wird mehrfach auf und ab bewegt und überträgt Kräfte auf die Verbindungselemente. Es treten nichtlineare Zusammenhänge auf, die in der Lebensdauerrechnung mit winLIFE 4.0 berücksichtigt werden.



Modell der Radaufhängung

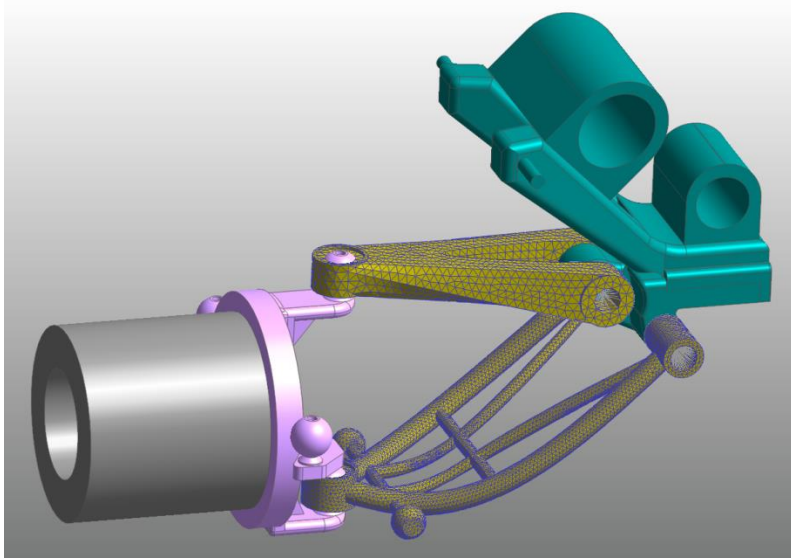
33.1.2. Werkstoffdaten

Die beiden auszuwertenden Teile der Aufhängung bestehen aus dem Stahl SAE 1020 (entspricht Werkstoffnummer 1.1151).

Werkstoffname:	1.1151 (Ck22)
E-Modul:	ca. 200.000 MPa
Re	≥ 340 MPa
Rm	≥ 500 MPa
Querkontraktionszahl:	0,3

33.1.3. Modellbildung

Um eine Lebensdauerberechnung in winLIFE 4.0 durchführen zu können werden Spannungen benötigt. RecurDyn bietet die Möglichkeit direkt im MKS-Modell mit Finiten Elementen zu rechnen. Diese sogenannte Full Flex Funktion wird jetzt genutzt. Die Erzeugung der Netze ist in dem RecurDyn-Beispiel FFlex Mesher Suspension beschrieben. Die folgende Abbildung zeigt zwei Teile der Aufhängung, die aus einem Finite-Elemente Netz bestehen.



Finite-Elemente im MKS-Modell

Diese beiden vernetzten Teile sind somit flexibel und ermöglichen die Spannungsbestimmung.

33.1.4. Bauteilbelastung

Das Rad wird von der Rüttelvorrichtung (Shaker) bewegt. Das Gestell (grün-blauer Körper) bleibt ortsfest. Die Belastung ist hier also ein Bewegungsverlauf, der zu Verformungen und Spannungen in den Teilen führt.

Die Berechnung in RecurDyn erfolgt in mehreren Zeitschritten. Die Spannungen werden dann für diese Zeitpunkte ausgegeben.

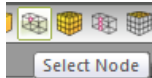
33.2. Durchführung einer Lebensdauerberechnung

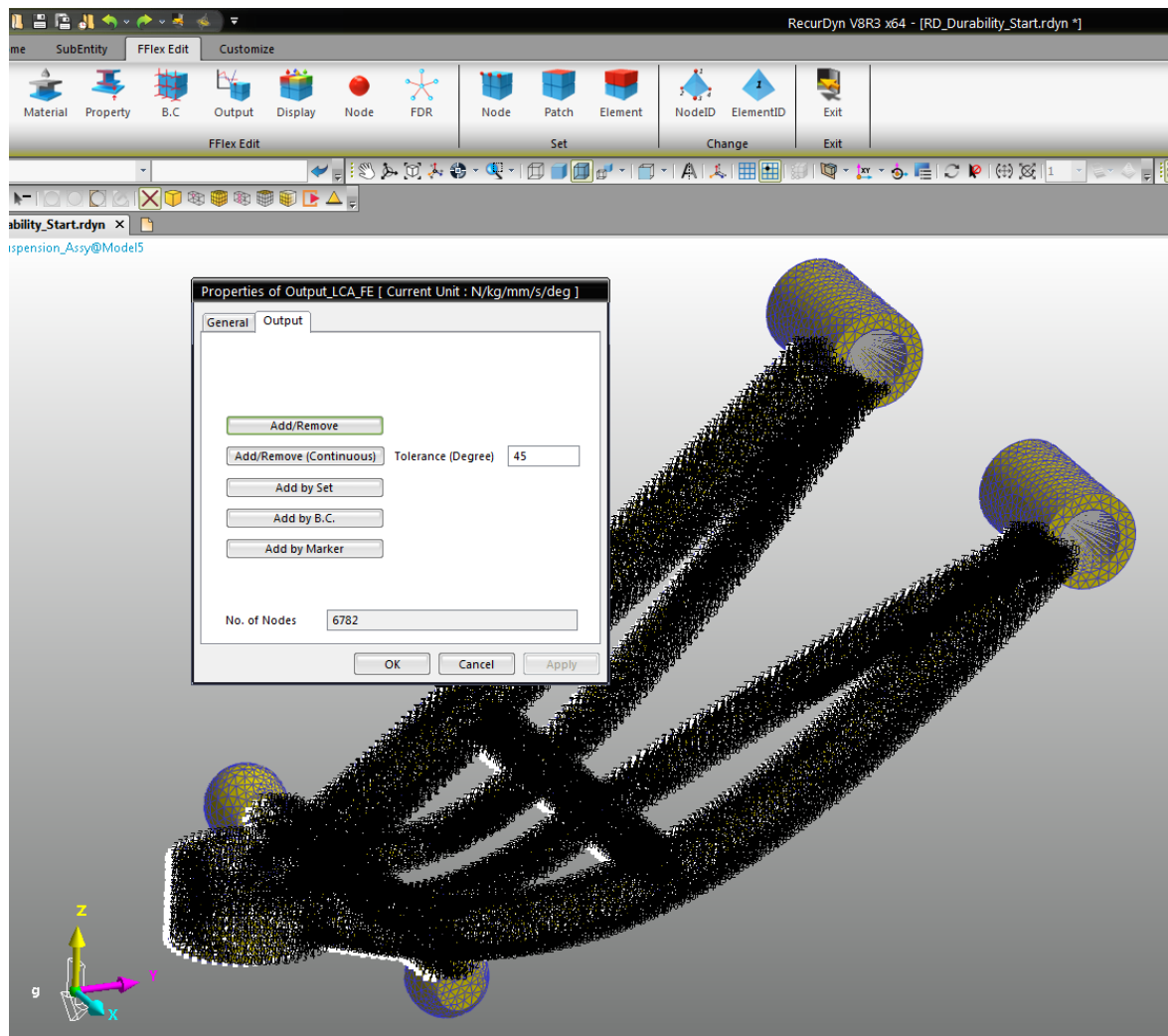
Grundlage für eine Lebensdauerberechnung in winLIFE 4.0 sind Spannungstensoren für jeden Zeitschritt. Hierzu wird der Export über ein RecurDyn Makro durchgeführt.

Zunächst definieren wir einen sogenannten Output. Wir öffnen dazu das vernetzte Bauteil und wählen aus der Registerkarte *FFlex Edit* den Befehl *Output*. Wir selektieren mit dem Befehl *Add/Remove (Continuous)* Knoten der Bauteiloberfläche. Bereiche der Randbedingungen / Gelenke sind schwierig auszuwerten und daher hier ausgespart. Anschließend starten wir die Simulation erneut.

Bemerkung: mit einem großen Winkelwert im Feld *Tolerance (Degree)* können große Bereiche der Oberfläche schnell selektiert werden.

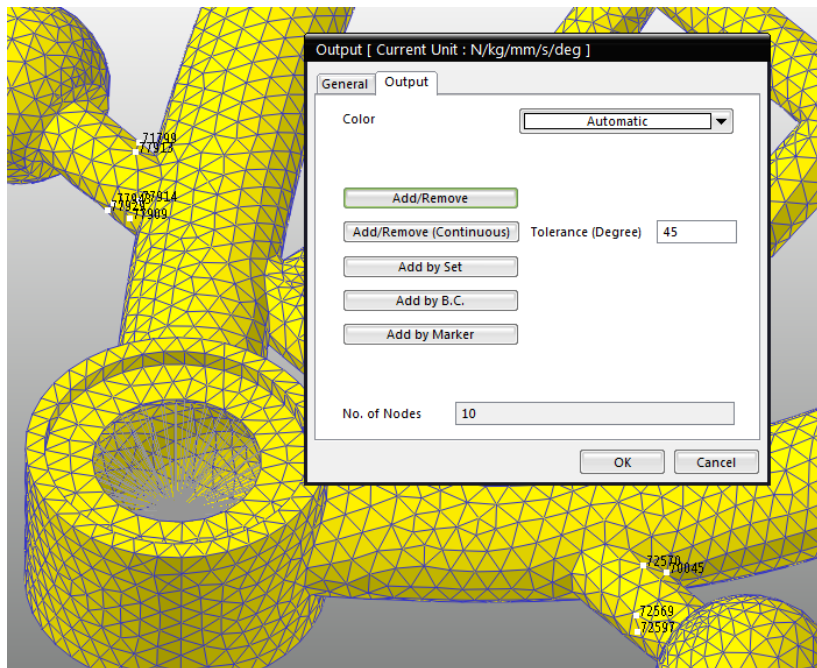
Falls die Selektionsmethode noch nicht auf Knoten eingestellt ist wird der entsprechende Befehl verwendet:





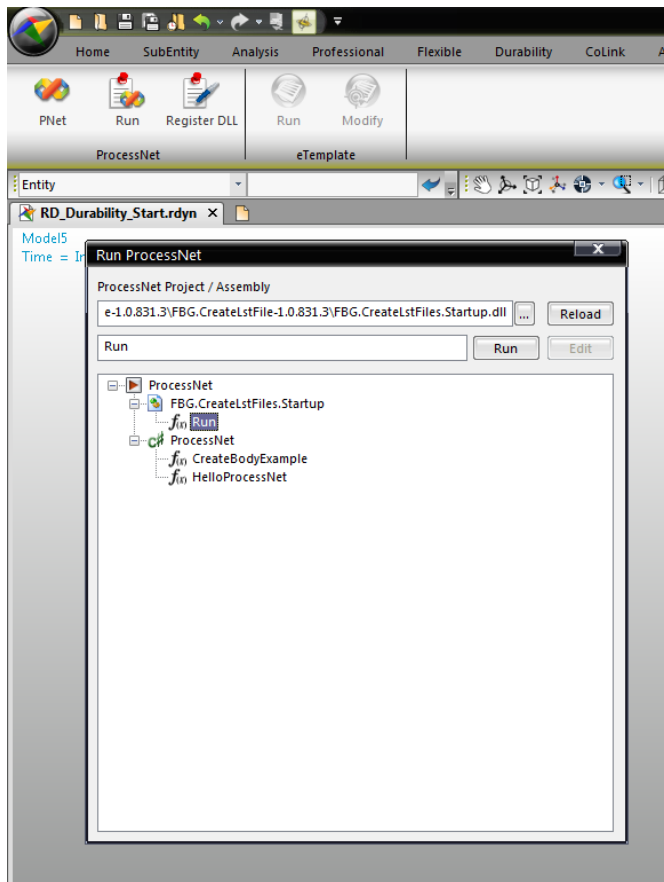
Gruppe von zu exportierenden Knoten

Für das Beispiel hier in winLIFE 4.0 werden lediglich 10 Knoten verwendet. Die Datenmenge wird dadurch erheblich reduziert und das Beispiel bleibt handhabbar.



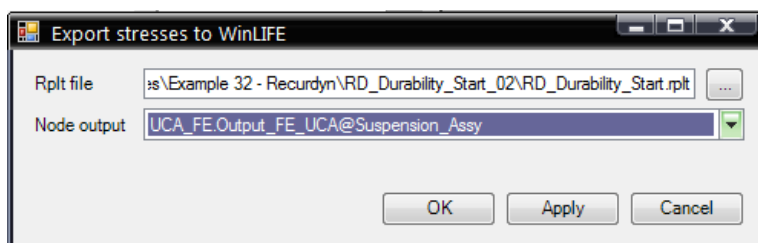
Gruppe von zu exportierenden Knoten (10 Stück)

Nun wird der Export der Spannungen durchgeführt. Wir starten dazu das RecurDyn Export-Makro. Es wird die Registerkarte *Customize* gewählt und hier auf *Run* geklickt. In dem sich öffnenden Dialogfenster muss die Datei *FBG.CreateLstFiles.Startup.dll* registriert werden. Anschließend wählt man den Button *Run*.



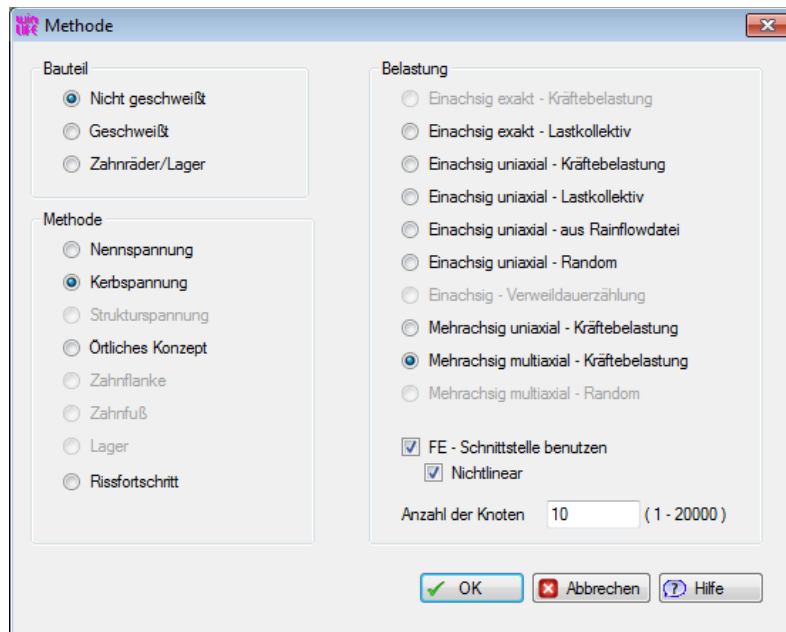
Wahl des Exportmakros

Es wird die rplt-Datei gewählt und das zuvor definierte Output.



Knotenauswahl am FE-Modell

In winLIFE 4.0 wird ein neues Projekt angelegt und es erfolgt die Angabe der Projektmethode. Es wird die Einstellung „Nicht geschweißt“ gewählt und als Methode „Kerbspannung“. Als Belastung wählen wir „Mehrachsig multiaxial – Kräftebelastung“. Die FE-Schnittstelle wird verwendet. Dabei nutzen wir die Option „Nichtlinear“. In diesem Beispiel wurden 6782 Knoten in RecurDyn gewählt und deren Spannungstensoren exportiert.



Einstellungen zu der Projektmethode

Für den Stahl 1.1151 wird eine Wöhlerlinie nach FKM generiert. Dieser Werkstoff ist in der winLIFE 4.0 Datenbank verfügbar. Es wird gewählt:

Wöhlerlinie → Laden FKM ...

In dem Feld *Bezeichnung nach DIN* wird eingetragen *Ck 22*. Aus der Suchliste wählt man den Werkstoff für eine Biegebelastung, da diese womöglich überwiegend vorhanden ist.

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN : Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Belastung	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	Mittelspe
Stahl	Ck 22	C22E	Zug/Druck	Vergütungsstahl im vergüteten Zustand na...	1.1151		500	340	20	0,071429
Stahl	Ck 22	C22E	Biegung	Vergütungsstahl im vergüteten Zustand na...	1.1151		500	340	20	0,071429
Stahl	Ck 22	C22E	Schub	Vergütungsstahl im vergüteten Zustand na...	1.1151		500	340	20	0,071429
Stahl	Ck 22	C22E	Torsion	Vergütungsstahl im vergüteten Zustand na...	1.1151		500	340	20	0,071429
Stahl	Ck 22	C22E	Zug/Druck	Vergütungsstahl im normalgeglühten Zusta...	1.1151		430	240	24	0,054054
Stahl	Ck 22	C22E	Biegung	Vergütungsstahl im normalgeglühten Zusta...	1.1151		430	240	24	0,054054
Stahl	Ck 22	C22E	Schub	Vergütungsstahl im normalgeglühten Zusta...	1.1151		430	240	24	0,054054
Stahl	Ck 22	C22E	Torsion	Vergütungsstahl im normalgeglühten Zusta...	1.1151		430	240	24	0,054054
Schmiedestahl	Ck 22	Ck 22	Zug/Druck	größere Schmiedestücke nach SEW 550 (...)	1.1151		410	225	0	0,064516
Schmiedestahl	Ck 22	Ck 22	Biegung	größere Schmiedestücke nach SEW 550 (...)	1.1151		410	225	0	0,064516
Schmiedestahl	Ck 22	Ck 22	Schub	größere Schmiedestücke nach SEW 550 (...)	1.1151		410	225	0	0,064516
Schmiedestahl	Ck 22	Ck 22	Torsion	größere Schmiedestücke nach SEW 550 (...)	1.1151		410	225	0	0,064516
Schmiedestahl	Ck 22	Ck 22	Zug/Druck	größere Schmiedestücke nach SEW 550 (...)	1.1151		410	225	0	0,064516
Schmiedestahl	Ck 22	Ck 22	Biegung	größere Schmiedestücke nach SEW 550 (...)	1.1151		410	225	0	0,064516

Nennstärke :

Bruchdehnung :

Bemerkung :

OK Abbrechen Hilfe

Wahl des Werkstoffs aus der Datenbank

Die Wöhlerlinie wird an folgenden Stellen noch verändert: Die Rauhtiefe wird zu 25µm gesetzt und der effektive Durchmesser zu 25mm was dem Durchmesser der breitesten Stangen entspricht.

Wöhlerlinie

Generator >> Ausfallwahrsch. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=-1)

Rm (Biegung)	485,133	[N/mm ²]
Re (Zug-Druck)	329,890	[N/mm ²]
Steigung (*)	5,000	
Steigung 2 (*)	5,000	
Zug/Druck w.	218,310	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit (*)	204,578	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit 2 (*)	204,578	[N/mm ²]
Ecklastspielzahl (*)	1000000	
Ecklastspielzahl 2 (*)	1000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,0697966	
Belastung (*)	Biegung	
Werkstoff	Stahl	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,73310	

Identifikation

Kurzname: Ck 22

Werkstoffnummer: 1.1151

Bemerkung: C22E
Vergütungsstahl im vergüteten Zustand nach DIN EN 10 083-1 (Oktober 1996)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Parameter

Berechnungsmethode: FKM

Werkstoff: Stahl

Belastung: Biegung

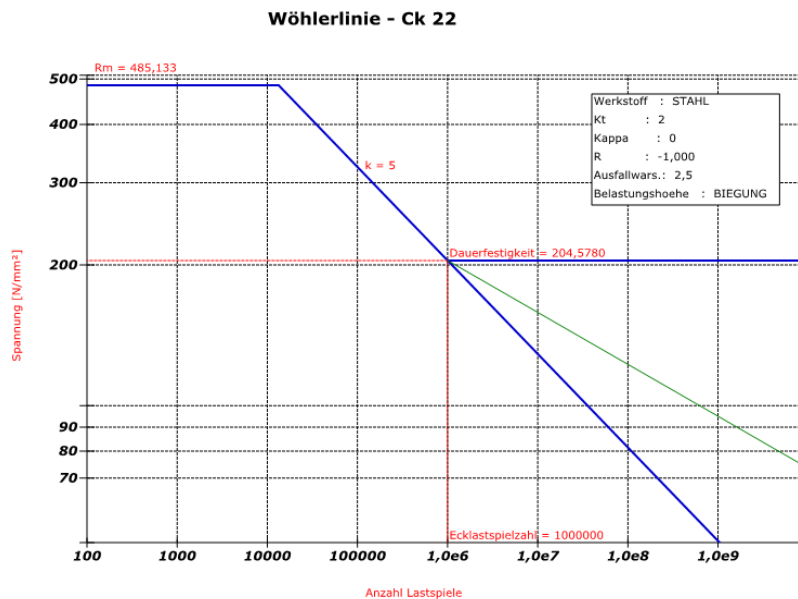
Randschichtverfahren: ohne

Rm	500,000	[N/mm ²]
Re	340,000	[N/mm ²]
χ *	0,00000	
χ * (d)	0,00000	
K _F	2,0000	
Rauhtiefe	25,00	[μm]
K _v	1,000	
K _s	1,00	?
Temperatur	20,0	[°C]
D _{eff}	25,0	[mm]
D _{effN}	16,0	[mm]
adm	0,19	
Anisotropie	1,00	
K _{NL}	1,000	
Sicherheitsfaktor (jD)	1,0000	

generieren ☐ Protokoll anzeigen

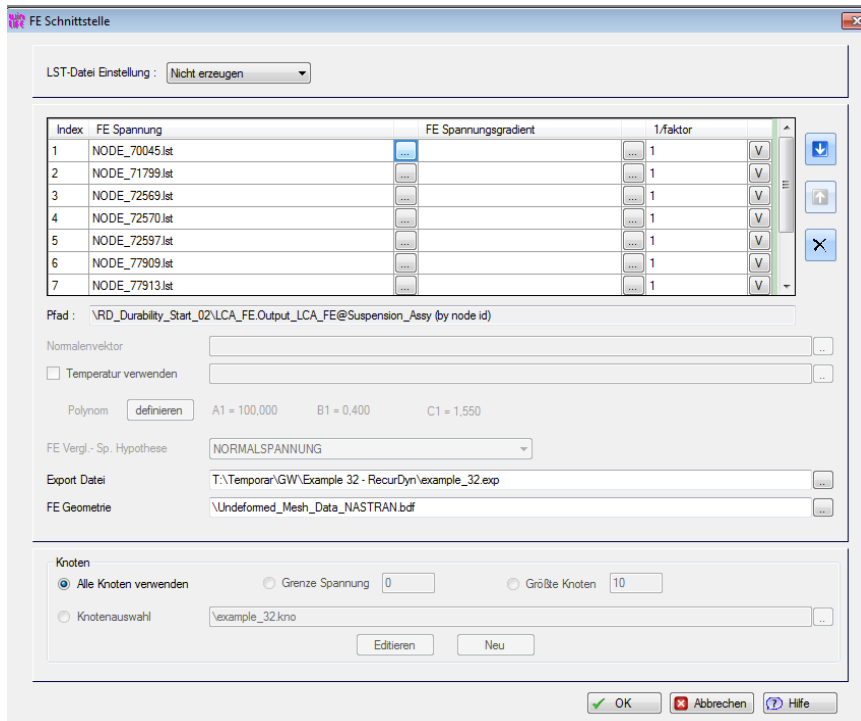
Wöhlerlinie

Über den Befehl *Wöhlerlinie* → *Wöhlerlinie* wird die gerade generierte Wöhlerlinie des Bauteils dargestellt.

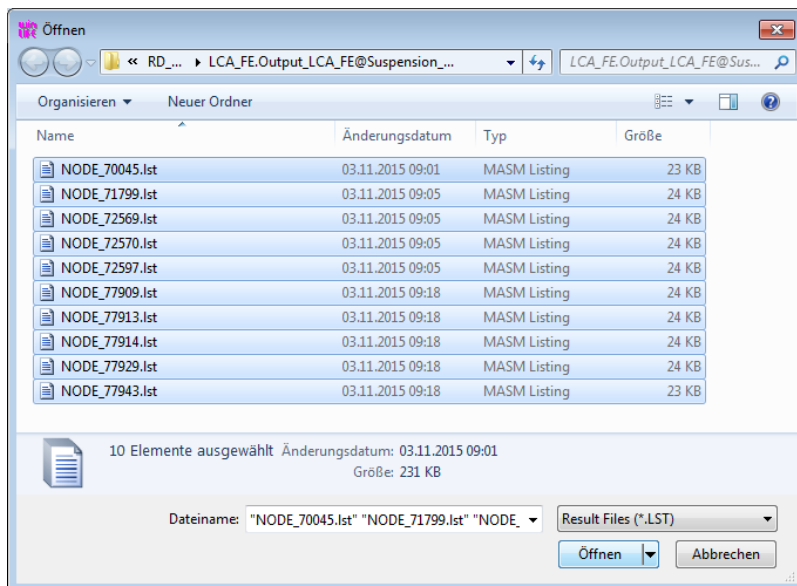


Bauteil-Wöhlerlinie

In dem Menü FE-Schnittstelle sind die Ergebnisse aus der FE-Simulation in RecurDyn anzugeben. Es werden die vorher erzeugten LST- Dateien angegeben. Hierzu wird auf das Feld  geklickt (unteres Bild). In dem sich öffnenden Fenster werden sämtliche LST-Dateien gleichzeitig gewählt.



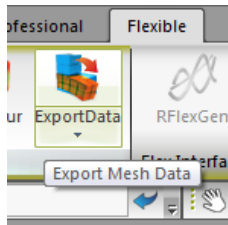
Angabe der FE-Ergebnisse



Wahl der Spannungen aus RecurDyn

Für die spätere Visualisierung der Ergebnisse im VIEWER4WINLIFE (zusätzliches winLIFE Modul) wird an dieser Stelle das Finite-Elemente Netz angegeben.

RecurDyn bietet die Möglichkeit das FE-Netz zu exportieren als bdf-Datei. Hierzu wird in RecurDyn der Befehl *Export Mesh Data* gewählt (Registerkarte *Flexible*). Der Anwender wählt daraufhin zweckmäßige Export-Optionen für das FE-Netz.



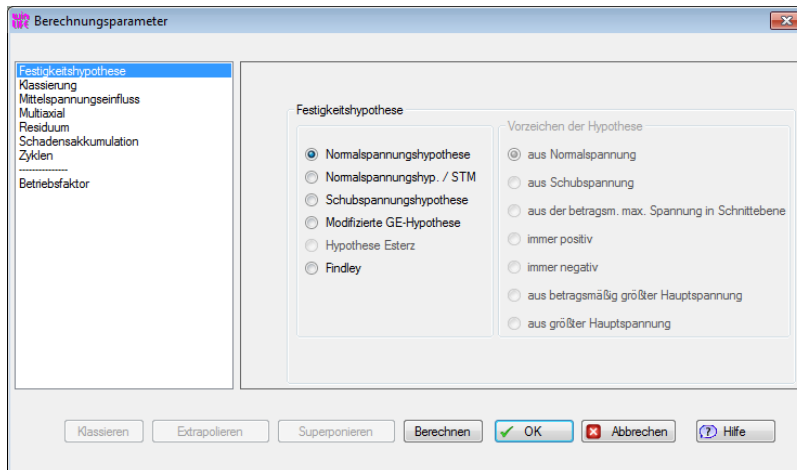
Export des FE-Netzes aus RecurDyn

 A screenshot of the 'Export Mesh Data' dialog box. The settings are as follows:

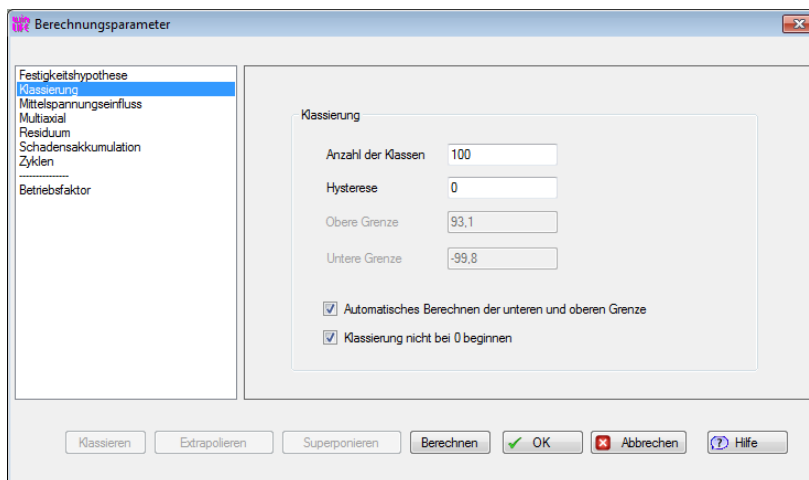
- Export Format:** Nastran
- FFlex Body:** LCA_FE@Suspension_A:
- Reference Frame:** LCA_FE@Suspension_ M
- Export Time:** Time: 0, Frame: 1
- Mesh Data:**
 - ☒ Node
 - ☒ Element
 - ☐ Property
 - ☐ Material
 - ☐ Constraint (BC)
 - ☐ Set (NodeSet, ElementSet)
- Unit of Target:**
 - Force: newton (MKS)
 - Mass: kilogram (MMKS)
 - Length: millimeter (CGS)
 - Time: second (IPS)
 - Angle: radian (FPS)
 - ☒ Use Force Unit
- Export File Name:** Deformed_Mesh_Data_Nastran
- Buttons:** Export, Close
- ☒ Use Large Field Format

Optionen für den Export des FE-Netzes aus RecurDyn

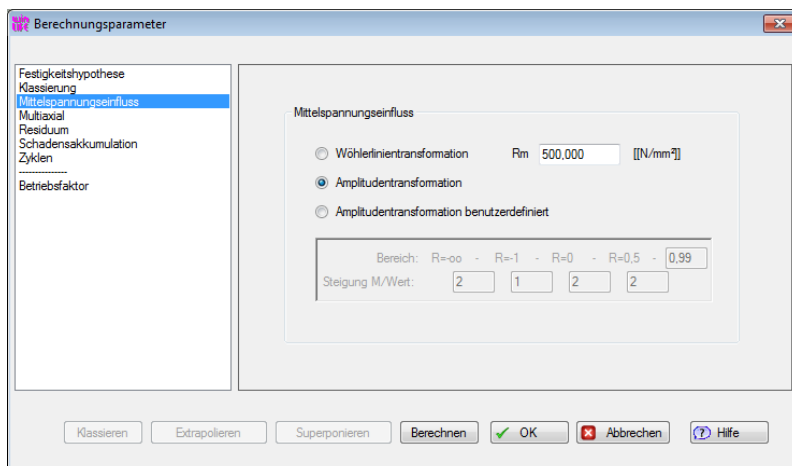
Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen als Berechnungsparameter.



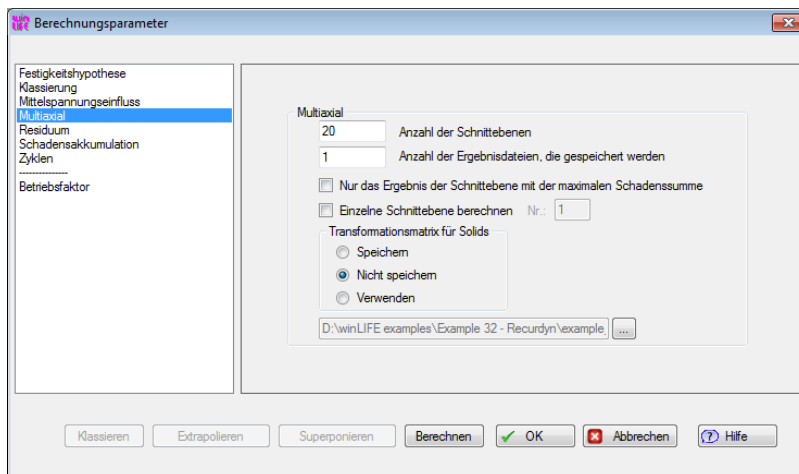
Wahl der Festigkeitshypothese



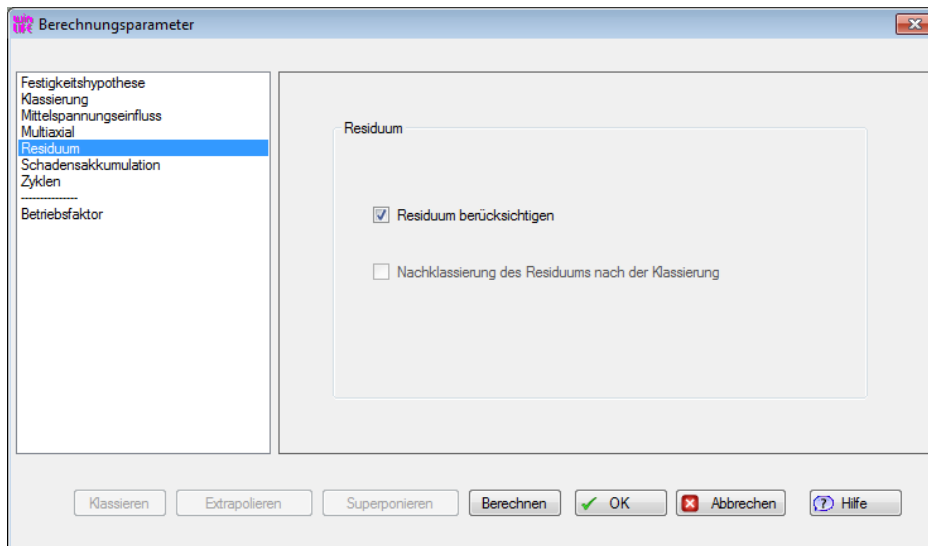
Angaben zur Klassierung



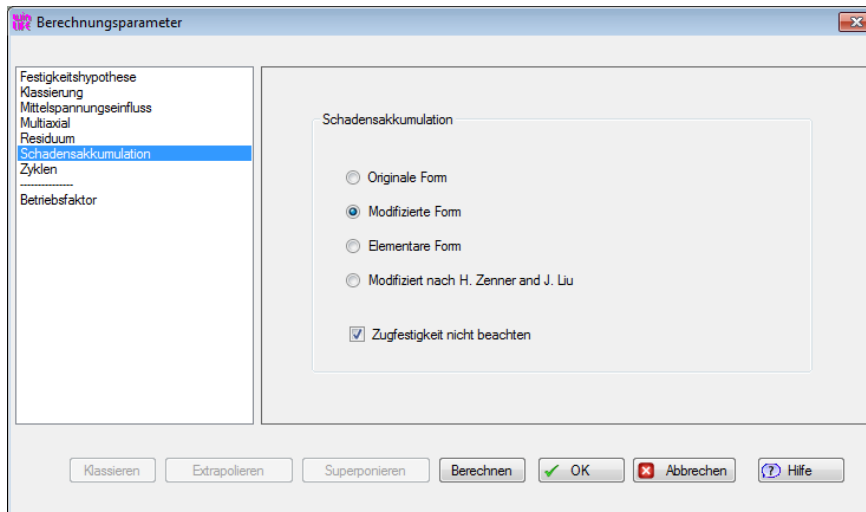
Angaben zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses



Einstellungen zur Multiaxialität



Einstellungen zum Residuum

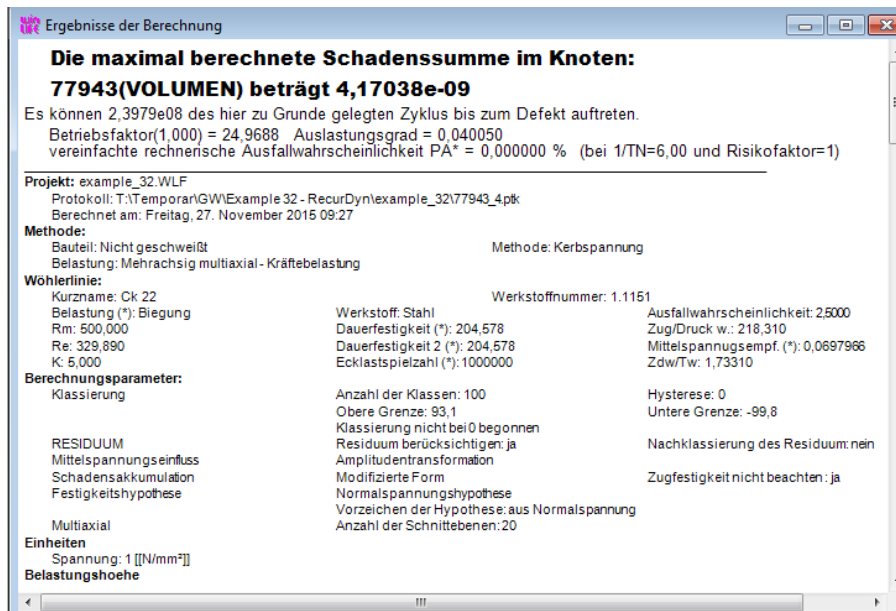


Einstellungen zur Schadensakkumulation

Es wird dann auf *Berechnen* geklickt.

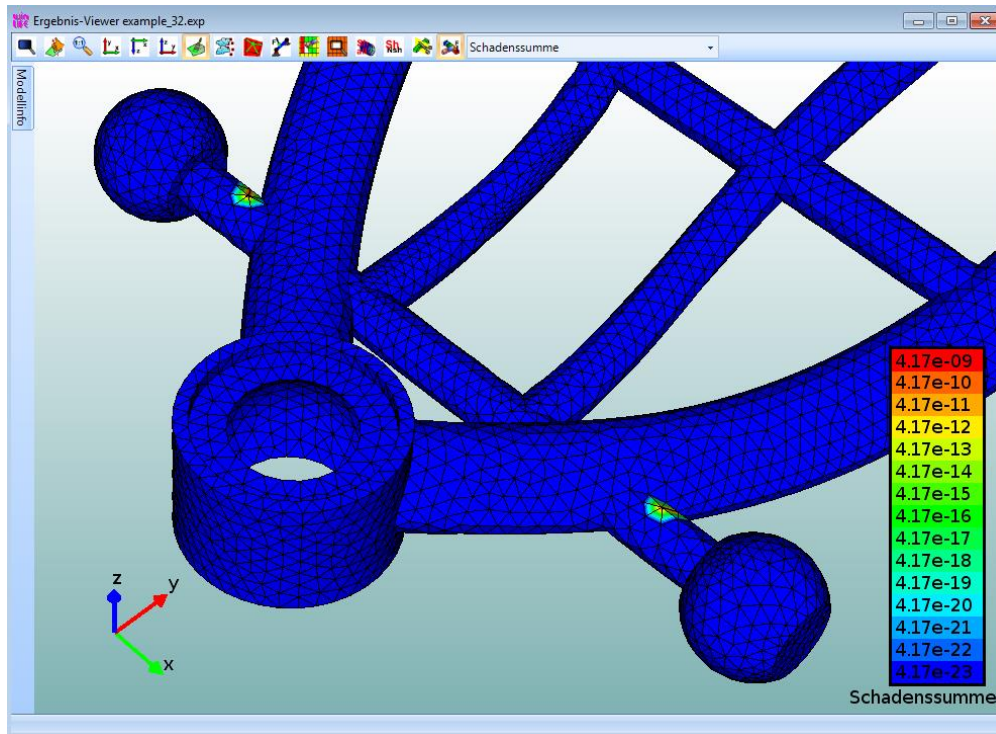
33.3. Ergebnis Schadenssumme

Mit den gewählten Angaben erfolgt in winLIFE 4.0 die Berechnung der Lebensdauer. Es tritt eine maximale Schadenssumme von 4,17E-09 auf (siehe Abbildung).



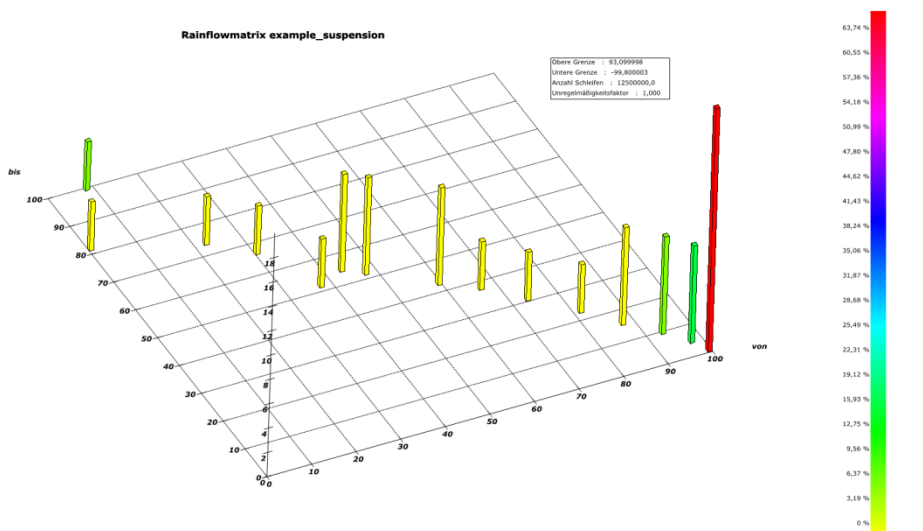
Schadenssummen nach dem Hot-Spot Suchverfahren

Der Befehl *Ergebnis* → *Viewer* ermöglicht die Darstellung der Ergebnisse.



Darstellung der Schadenssumme

Die Rainflow-Matrix liefert einen Überblick welche Spannungs-Amplituden wie häufig auftreten.



Rainflowmatrix

Die Schadenssummen sind auf den beiden Seiten des Bauteils unterschiedlich, obwohl die Belastung und das Bauteil symmetrisch sind. Hier ist die Vernetzung der beiden Seiten aber unterschiedlich, so dass die Ergebnisse ebenfalls unterschiedlich sind. Die Lebensdauer wird aus Spannungen des FE-Modells hergeleitet und ist damit ebenfalls netzabhängig. Ein besser gestaltetes FE-Modell ist also erforderlich.

Die Lebensdauerberechnung weiterer Teile der Radaufhängung kann bei Bedarf in gleicher Weise erfolgen.

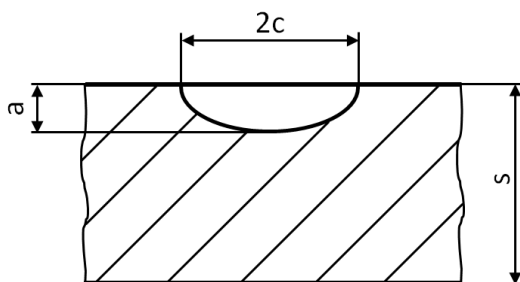
34. Beispiel 33 / Rissfortschrittsrechnung an einem Druckbehälter

Hinweis: Dieses Beispiel ist als Video Datei auf unserer Homepage und auf CD vorhanden. Alle Daten – auch die Daten des FEMAP/NASTRAN Modells – befinden sich auf der winLIFE 4.0 -CD.

34.1. Aufgabenstellung

34.1.1. Bauteilgeometrie

Es ist die Lebensdauer eines Druckbehälters ausgehend von einem rissartigen Fehler abzuschätzen. Das Beispiel ist entnommen aus dem Buch „Bruch- und Beurteilungskriterien in der Festigkeitslehre“ von Sähn und Göldner (1993). Die folgende Abbildung zeigt den in Längsrichtung liegenden Oberflächenfehler mit seinen Abmessungen in der Schnittansicht.



Riss in der Behälterwand

Die geometrischen Daten des Behälters betragen:

Durchmesser	$D = 5500\text{mm}$
Wanddicke	$s = 15\text{mm}$
Länge	mehrere Meter

Der Oberflächenriss hat zu Beginn folgende Maße:

Risstiefe	a = 2mm	
Risslänge	2c = 4mm	siehe obere Abbildung

34.1.2. Belastung

Es tritt ein Innendruck von $\Delta p = 1,5 \text{ MPa}$ auf (15bar). Der Behälter wird täglich 4mal „an- und abgefahren“. Aus der Druckbelastung und der Geometrie des Druckbehälters folgt die wirkende Nennspannung in der Wandung.

$$\Delta \sigma_n = \Delta p \frac{D}{2s} = 1,5 \text{ MPa} \frac{5500}{2 \cdot 15} = 275 \text{ MPa}$$

34.1.3. Werkstoffdaten

Es liegen folgende Materialangaben für den Stahl X8CrNiMoTi8.11 vor:

Streckgrenze	$R_e = 330 \text{ MPa}$
Zugfestigkeit	$R_m = 675 \text{ MPa}$
kritischer Spannungsintensitätsfaktor	$K_{IC} = 4111 \text{ Nmm}^{-3/2}$

Der Schwellenwert ΔK_{th} und die Rissausbreitungsgeschwindigkeit $\frac{da}{dN}$ werden nach der FKM-Richtlinie geschätzt, weil die entsprechenden Werte für den Werkstoff nicht verfügbar sind.

Zum Schwellenwert ΔK_{th} :

Folgende Grenzen für ΔK_{th} werden bestimmt:

$$E \cdot 2 \cdot 10^{-5} (1 - R_K)^{0,31} \leq \Delta K_{th} \leq E \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} (1 - R_K)^{0,31} \quad \text{mit } E = 200.000 \text{ MPa folgt:}$$

$$200000 \text{ MPa} \cdot 2 \cdot 10^{-5} (1 - (0))^{0,31} \leq \Delta K_{th} \leq 200000 \text{ MPa} \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} (1 - (0))^{0,31}$$

$$4 \text{ MPa} \sqrt{m} \leq \Delta K_{th} \leq 7 \text{ MPa} \sqrt{m}$$

Wie sich noch zeigt, werden beide Schwellenwerte ΔK_{th} bei Belastung überschritten. D.h. es ist auf jeden Fall mit Risswachstum zu rechnen. Es wird im Folgenden der niedrigere Schwellenwert

$$\Delta K_{th} = 4 \text{ MPa} \sqrt{m} \text{ verwendet.}$$

Umrechnung des Schwellenwerts auf die Einheit $\text{Nmm}^{-\frac{3}{2}}$:

$$\Delta K_{th} = 4 \cdot 31,623 \text{ Nmm}^{-\frac{3}{2}} = 126,5 \text{ Nmm}^{-\frac{3}{2}}$$

Zum Rissfortschrittsgesetz:

$$\frac{da}{dN} = 1,37 \cdot 10^{-7} \cdot \Delta K^{2,25}$$

$$\text{bezogen auf die Paris-Gleichung} \quad \frac{da}{dN} = C \cdot \Delta K^m$$

ergeben sich folgende Rissfortschrittskennwerte:

$$m = 2,25$$

$$C = 1,37 \cdot 10^{-7} \text{ in } MPa\sqrt{m} \quad \text{Umrechnung: } C = 1,37 \cdot 10^{-7} \cdot 0,031623^{2,25} = 5,78 \cdot 10^{-11} Nmm^{\frac{3}{2}}$$

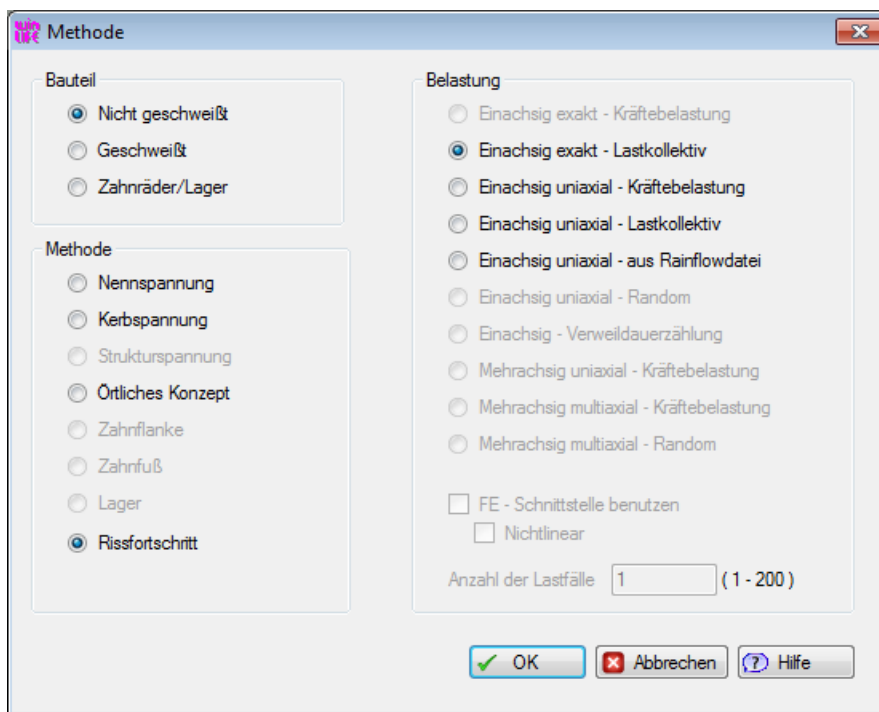
1.5 Lebensdauerberechnung nach dem Paris-Gesetz

34.2.1. Projektdefinition

Es wird in winLIFE 4.0 ein neues Projekt angelegt mit den gezeigten Methodeneinstellungen.

In winLIFE 4.0 wird gewählt:

Datei → Neu... ein Projektname z.B. *Example_33* wird festgelegt



Methodeneinstellungen

34.2.2. Generierung der Rissfortschrittskurve

In einem weiteren Schritt wird die Rissfortschrittskurve basierend auf den Materialangaben erzeugt. Wir verwenden in diesem Beispiel die Rissfortschrittsgleichung nach Paris.

Wöhlerlinie → Neu...

Wöhlerlinie

Rissfortschritt

ΔK_{th} 1,26500e+02

K_c 4,11100e+03

Paris-Gleichung

C 5,78000e-11

m 2,25000e+00

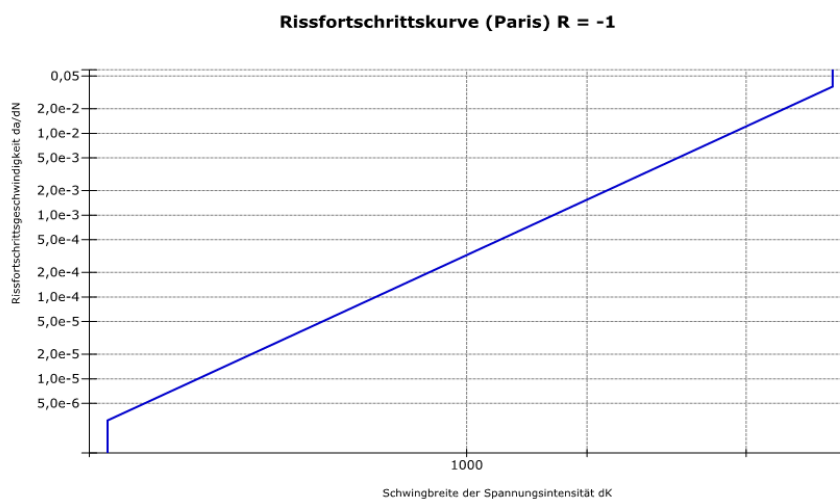
Erdogan-Ratwani

C 6,10000e-06

m 2,08000e+00

OK Abbrechen Hilfe

Angaben zum Rissfortschrittsgesetz



34.2.3. Definition des Belastungsverlaufs

Aus der Druckbelastung und der Geometrie des Druckbehälters ergibt sich die in Umfangsrichtung wirkende Nennspannung in der Wandung.

$$\Delta\sigma_n = \Delta p \frac{D}{2s} = 1,5 \text{ MPa} \frac{5500}{2 \cdot 15} = 275 \text{ MPa} \quad \text{1. Kesselformel}$$

In winLIFE 4.0 wird ein schwellendes Last-Kollektiv definiert.

Belastung → *Generieren* → *Lastkollektiv*

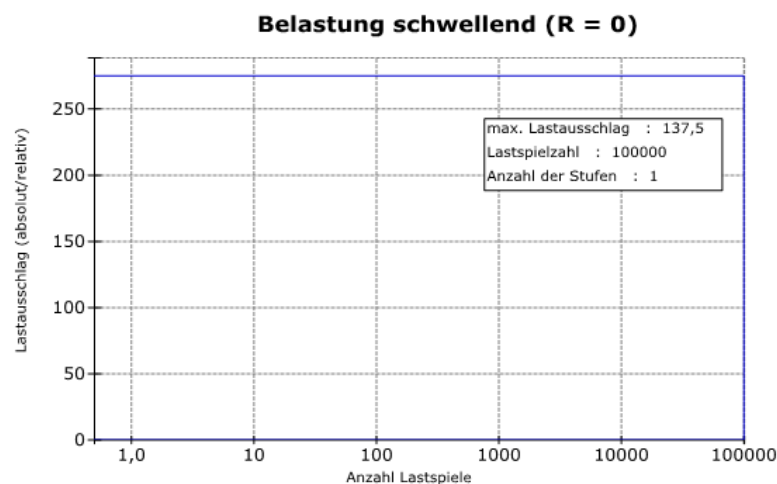
Der Mittelwert und die Amplitude betragen $275 \text{ MPa} / 2 = 137,5 \text{ MPa}$ und die Anzahl der Wiederholungen wird auf 100.000 gesetzt.

	Mittelwert	Amplitude	Anzahl
▶ 1	137,5	137,5	100000
* 2			

Maximum: 275
Minimum: 0
Anzahl: 100000

Buttons: Speichern unter, Speichern, OK, Abbrechen, Hilfe

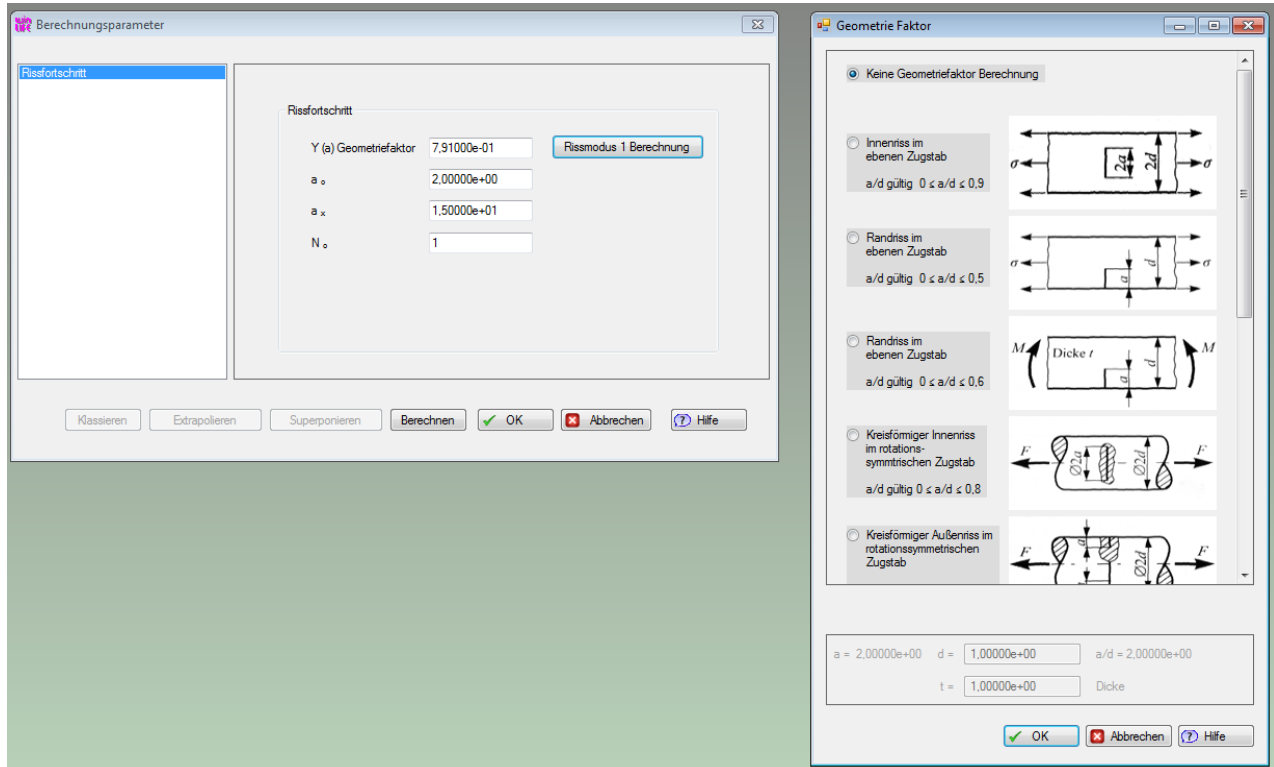
Definition eines Last-Kollektivs



34.2.4. Berechnungsparameter

Die folgende Abbildung zeigt die gewählten Angaben für die Berechnungsparameter. Der Geometriefaktor $Y(a)$ für diesen Riss wird weiter unten ermittelt. Er beträgt etwa 0,791 und wird hier konstant gelassen, da seine Änderung im Verlauf des Risswachstums nicht stark variiert.

Die Anfangsrisslänge beträgt $a_0 = 2\text{mm}$ und die kritische Risslänge $a_x = 15\text{mm}$ (Wandstärke). Der Wert für den ersten Zyklus N_0 wird 1 gesetzt. Die Berechnung wird durchgeführt.



Angaben zum Rissfortschritt

Bestimmung des Geometriefaktors $Y(a)$ für winLIFE 4.0 :

Der Geometriefaktor für diese Rissgeometrie ist in der Gleichung für den Spannungsintensitätsfaktor K enthalten.

$$K_{\max} = \Delta K = \Delta \sigma_m \sqrt{\pi a} \sqrt{\frac{1,2}{Q}} Y_{F/R}^A Y_B \quad \text{der Geometriefaktor ist dabei :} \quad Y(a) = \sqrt{\frac{1,2}{Q}} Y_{F/R}^A Y_B$$

Annahme $Y_B = 1$ (Spannungserhöhungen durch Bohrungen, ...).

$$Y_{F/R}^A \approx 1,13 - 0,09 \frac{a}{c} + \left[\frac{0,89}{0,2 + \frac{a}{c}} - 0,54 \right] \left(\frac{a}{s} \right)^2 + \left[0,5 - \frac{1}{0,65 + \frac{a}{c}} + 14 \left(1 - \frac{a}{c} \right)^{24} \right] \left(\frac{a}{s} \right)^4$$

Bei der Rissausbreitung wird angenommen, dass sich das Verhältnis $a/c = 1$ nicht verändert. Es folgt:

$$Y_{F/R}^A \approx 1,04 + 0,202 \left(\frac{a}{s} \right)^2 - 0,106 \left(\frac{a}{s} \right)^4$$

Für die Anfangsrissgröße $\frac{a}{s} = \frac{2}{15}$ folgt:

$$Y_{F/R}^A = 1,044$$

Für die Endrissgröße $\frac{a}{s} = \frac{15}{15} = 1$ folgt:

$$Y_{F/R}^A = 1,136$$

Da die Änderung von $Y_{F/R}^A$ gering ist für $a/c = 1$ vom Rissbeginn bis zum Rissdurchtritt wird zur Abschätzung der Lebensdauer $Y_{F/R}^A \approx$ konstant gesetzt. Annahme $Y_{F/R}^A = 1,1$

$$Q = \Phi^2 - 0,212 \left(\frac{\Delta \sigma_n}{\sigma_s} \right)^2$$

mit

$$\Phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[1 - \frac{c^2 - a^2}{c^2} \sin^2 \Theta \right] d\Theta = \frac{\pi}{2} \quad \text{für } a/c = 1$$

$$\Delta \sigma_n = \Delta p \frac{D}{2s} = 1,5 \text{ MPa} \frac{5500}{2 \cdot 15} = 275 \text{ MPa}$$

$$Q = \left(\frac{\pi}{2} \right)^2 - 0,212 \left(\frac{275}{330} \right)^2 = 2,32$$

Der Geometriefaktor beträgt dann:

$$Y(a) = \sqrt{\frac{1,2}{Q}} Y_{F/R}^A Y_B = \sqrt{\frac{1,2}{2,32}} \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,791$$

Es kann noch der Spannungsintensitätsfaktor bestimmt werden.

$$\Delta K = \Delta \sigma_n \sqrt{\pi a_A} \sqrt{\frac{1,2}{Q}} Y_{F/R}^A Y_B \quad \text{mit } a_A = 2 \text{ mm Anfangsrisslänge}$$

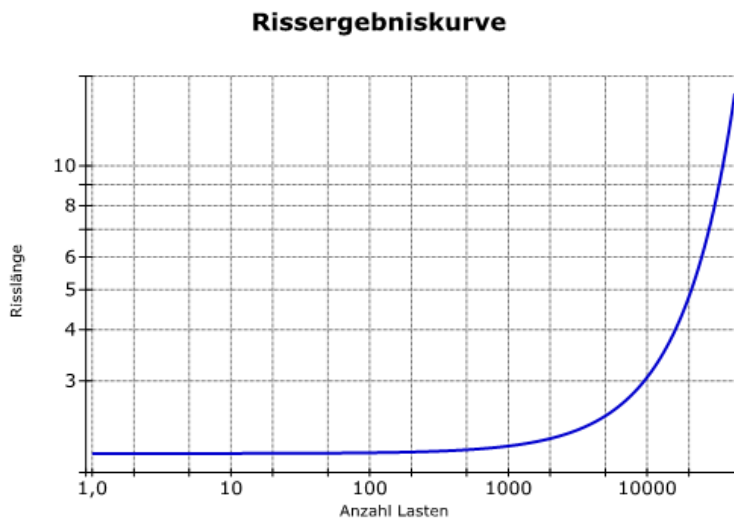
$$= 275 \text{ MPa} \sqrt{\pi \cdot 0,002 \text{ m}} \sqrt{\frac{1,2}{2,32}} \cdot 1,1 \cdot 1$$

$$\Delta K = 17,24 \text{ MPa} \sqrt{\text{m}}$$

Umrechnung des Werts auf die Einheit $\text{Nmm}^{-\frac{3}{2}}$: $\Delta K_I = 17,24 \cdot 31,623 \text{ Nmm}^{-\frac{3}{2}} = 545,3 \text{ Nmm}^{-\frac{3}{2}}$

34.2.5. Ergebnis nach der Paris-Gleichung

Die Rissergebniskurve vermittelt einen Eindruck wie der Riss in Abhängigkeit von den Lastwechseln wächst. Im Diagramm kann über das Kontextmenü der rechten Maustaste das *Anzeigefenster für Werte* aufgerufen werden.



Rissergebniskurve

Um genaue Werte zu dem Risswachstum zu erhalten, öffnet man das Protokoll. Das Protokoll zeigt für jedes Schwingenspiel den Zuwachs der Risslänge und den sich daraus ergebenden neuen Spannungsintensitätsfaktor. Der Durchtritt des Risses durch die Wandung (Dicke 15mm) erfolgt nach 42903 Schwingspielen.

Protokoll									
Werkstoffdaten :									
Y = 0,79 a0 = 2,00000e00 ax = 1,50000e01 N0 = 1									
dK_th = 126,50 K_c = 4111,00									
C = 5,78000e-11 m = 2,25000e00									
Delta Riss	Risslaenge	N_gesamt	Delta_K	Y_a	K_max	S_m	S_a	R	
	2,00000000e+00	1,0							
8,30378009e-05	2,00008304e+00	2,0	545,2543	7,91000000e-01	545,25	137,50	137,50	0,00	
8,30416795e-05	2,00016608e+00	3,0	545,2656	7,91000000e-01	545,27	137,50	137,50	0,00	
8,30455583e-05	2,00024913e+00	4,0	545,2770	7,91000000e-01	545,28	137,50	137,50	0,00	
8,30494373e-05	2,00033217e+00	5,0	545,2883	7,91000000e-01	545,29	137,50	137,50	0,00	
8,00976974e-04	1,49977395e+01	42900,0	1493,0880	7,91000000e-01	1493,09	137,50	137,50	0,00	
8,01025101e-04	1,49985405e+01	42901,0	1493,1279	7,91000000e-01	1493,13	137,50	137,50	0,00	
8,01073232e-04	1,49993416e+01	42902,0	1493,1678	7,91000000e-01	1493,17	137,50	137,50	0,00	
8,01121365e-04	1,50001427e+01	42903,0	1493,2077	7,91000000e-01	1493,21	137,50	137,50	0,00	
* Risslaenge 1,50001427e+01 > a_x 1,50000000e+01									

Protokollanfang und -ende der Rissfortschrittsberechnung

Die Lebensdauer in Jahren beträgt:

$$t_B = \frac{\Delta N}{4 \cdot 365} \text{ Jahre} = \frac{42903}{4 \cdot 365} \text{ Jahre} = 29,4 \text{ Jahre}$$

Somit kann der Wert aus der Literaturstelle von 42900 Zyklen oder 29,4 Jahre bestätigt werden.

35. Beispiel 34 / Signalmodifikation mit Hilfe des Formelgenerators

35.1. Aufgabenstellung

Der Fahrversuch und die entsprechende Meßtechnik ist aufwendig und oftmals werden erforderliche Signale nicht erfaßt, weil schlicht vergessen wurde, sie zu erfassen oder aber weil eine Messung sehr aufwendig ist oder aber der Sensor versagt hat. In diesem Beispiel wird demonstriert, wie man aus einer Messung Daten für eine Lebensdauerberechnung aufbereiten kann.

35.1.1. einfache Umrechnung und Kanalerzeugung

Der erste einfache Schritt soll darin bestehen, aus den gemessenen Größen eine neue Datei zu erzeugen, in der alle für eine Lebensdauerberechnung notwendigen Parameter enthalten sind. Dabei werden fehlende Größen berechnet und zusätzliche Parameter hinzugefügt.

35.1.2. Generierung hochfrequenter Signalanteile für gemessene Mittelwert-Signale

Das tatsächlich wirkende Drehmoment bei Verbrennungsmotoren ist eine stark schwankende Größe, da die Motorzündungen hohe Drehmomentschwankungen bewirken. Die Messung dieses dynamischen Momentes ist sehr aufwendig. Es ist jedoch möglich, aus dem mittleren Drehmoment, der Motordrehzahl und der Zylinderzahl den wirklichen Verlauf des Drehmomentes so abzuschätzen, dass die für die Lebensdauerberechnung auftretenden Umkehrpunkte brauchbar bestimmt werden können. Für die Erzeugung ist es eine Zeitinformation erforderlich, die als Zeitkanal in der Ergebnisdatei vorliegen kann. Ist die Abtastrate konstant, dann ist kein Zeitkanal erforderlich.

35.2. Dateitypen

Es werden folgende Dateien benötigt:

Verwendungszweck	Extension	Hinweis
Ausgangsdatei mit spaltenweise angeordneten Messkanälen (ASCII-Format)	*.dat oder beliebig	Alle Kanäle, die für eine Berechnung verwendet werden sollen, müssen in einer Datei vorliegen. Jede Zeile entspricht einem Zeitpunkt, die Abtastrate muß nicht konstant sein, wenn ein Zeitkanal vorliegt.
Ausgangsdatei aus Turbolab Ausgangsdatei aus FAMOS	*.daff *.DAT	Alle Kanäle, die für eine Berechnung verwendet werden sollen, müssen in einer Datei vorliegen. Jede Zeile entspricht einem Zeitpunkt, die Abtastrate muß nicht konstant sein, wenn ein Zeitkanal vorliegt
Formeldatei (von winLIFE erzeugt)	*.wfd	Enthält die Formeln und kann modifiziert werden.
Modulationsdatei (von winLIFE erzeugt):	*.wdm	Beschreibt die Regeln zur Erzeugung der modulierten Datei. Änderungen sollten nicht in einem externen Editor erfolgen.
Ergebnisdatei (von winLIFE erzeugt)	*.fme oder *.dat	Jeder in dem Formeleditor erzeugte winLIFE-Kanal wird in eine Spalte geschrieben.

35.3. Erzeugung einer neuen Datei mit Hilfe des Formeleditors / Beispiel

Das folgende Beispiel setzt Grundkenntnisse der Meßtechnik und Fahrzeugtechnik voraus. Dadurch soll der Aufwand zur Beschreibung nicht zu umfangreich werden.

Eine bei einer realen Fahrzeugmessung erhaltene Datei soll modifiziert und erweitert werden. Die dynamischen Anteile der Motoranregung fehlen in der Messdatei und sollen ergänzt werden. Diese Problemstellung ist typisch bei der Verwendung von Messdaten aus Fahrversuchen.

Wir legen ein neues winLIFE 4.0 Projekt example_34 an. Die Methode wählen wir wie im folgenden Bild gezeigt.

Methode

Bauteil

☒ Nicht geschweißt
☐ Geschweißt
☐ Zahnräder/Lager

Methode

☒ Nennspannung
☐ Kerbspannung
☐ Strukturspannung
☐ Ortliches Konzept
☐ Zahnflanke
☐ Zahnfuß
☐ Lager
☐ Risfortschritt

Belastung

☐ Einachsig exakt - Kräftebelastung
☐ Einachsig exakt - Lastkollektiv
☒ Einachsig uniaxial - Kräftebelastung
☐ Einachsig uniaxial - Lastkollektiv
☐ Einachsig uniaxial - aus Rainflowdatei
☐ Einachsig uniaxial - Random
☐ Einachsig - Verweildauerzählung
☐ Mehrachsig uniaxial - Kräftebelastung
☐ Mehrachsig multiaxial - Kräftebelastung
☐ Mehrachsig multiaxial - Random

☐ FE - Schnittstelle benutzen
☐ Nichtlinear

Anzahl der Lastfälle: 1 (1 - 200)

OK
 Abbrechen
 Hilfe

Wöhlerlinie

Generator >>

Ausfallwahrsch. >>

Bauteilwöhlerlinie Nenn-/Kerbspannungskonzept (R=1)

Rm (Biegung)

310,000

[N/mm²]

Re (Zug-Druck)

185,000

[N/mm²]

Steigung (*)

5,000

Steigung 2 (*)

5,000

Zug/Druck w.

155,000

[N/mm²]

Dauerfestigkeit (*)

155,000

[N/mm²]

Dauerfestigkeit 2 (*)

155,000

[N/mm²]

Ecklastspielzahl (*)

1000000

Ecklastspielzahl 2 (*)

1000000

Mittelspannungsempf. (*)

0,0144928

Belastung (*)

Biegung

Werkstoff

Stahl

Ausfallwahrscheinlichkeit

2,5000

[%]

ZDw/Tw (*, nur MUX)

1,73310

Identifikation

Kurzname

St 33

Werkstoffnummer

1.0035

Bemerkung

S185
unlegierter Baustahl nach DIN EN 10 025 (März 1994)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern

Pfad zur Datenbank...

OK
 Abbrechen
 Hilfe

Eingaben für die Methode und Wöhlerlinie

Als Wöhlerlinie wählen wir aus der FKM-Datenbank St 33 für Biegung. Die Wöhlerlinie ist hier zunächst nicht relevant, dochwinLIFE 4.0 es wird für jedes Projekt eine Wöhlerlinie benötigt. Im Menüpunkt Belastung wählen wir die Datei source_from_vehicle_measurement.dat und die Spalte 5, die der Geschwindigkeit entspricht.

Belastung

Zyklen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor 1

☐ Use formula file

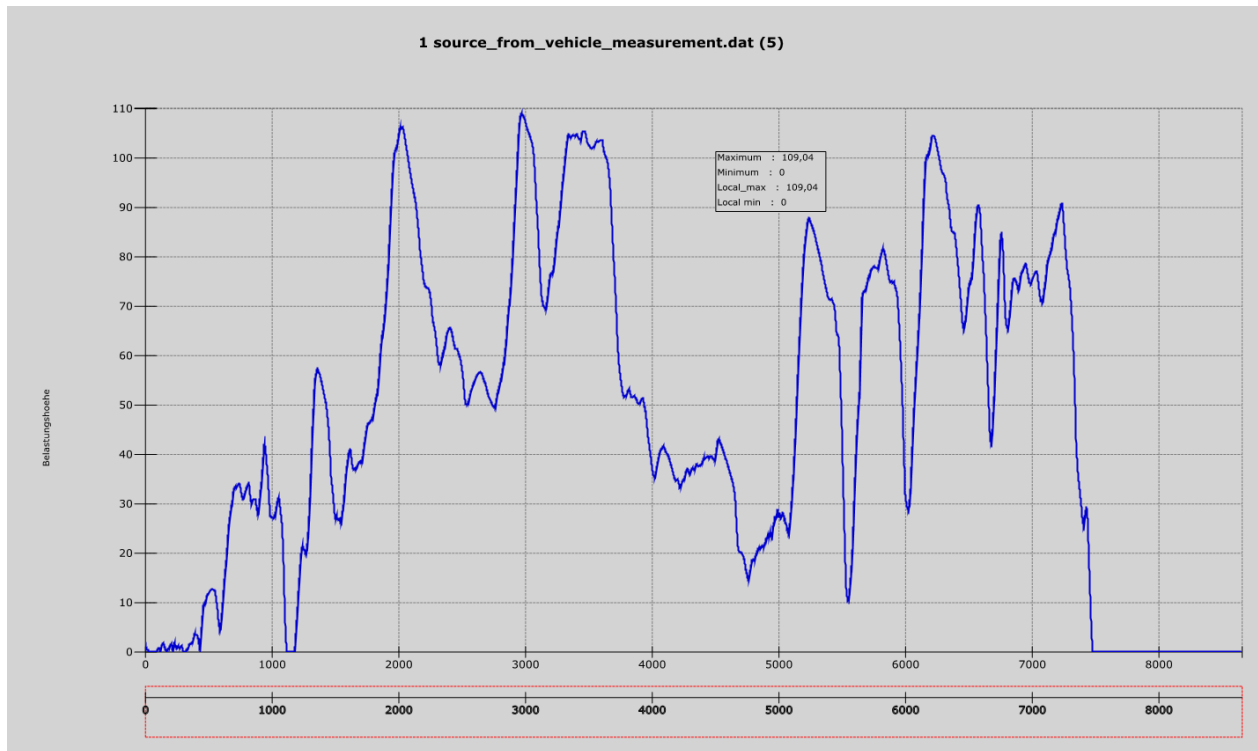
Lastfall	Datei	Multiplikator	Wiederholungen	Spalte	1. Datenreihe	Bereich
1	source_from_vehicle_measurement.dat	1	1	5	1	

Pfad

OK
 Abbrechen
 Hilfe

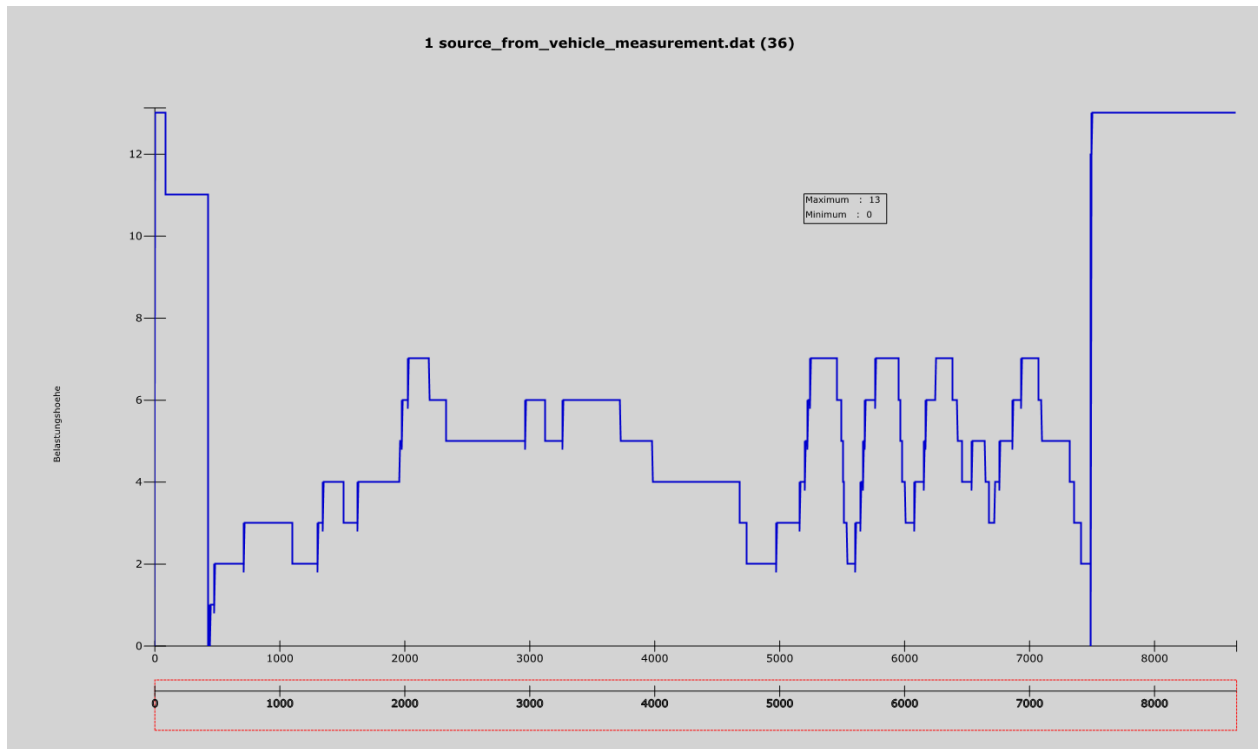
Eingabe der Belastung

Diese Datei lassen wir uns zur Kontrolle anzeigen.



Signalverlauf des Ausgangsdrehmomentes

Nun wählen wir die Spalte 36 (**Belastung/Import aus Dateien** **Belastung / View**) und lassen auch diese anzeigen. Es handelt sich um den Getriebegang. Es handelt sich um ein 7 Gang Automatikgetriebe.



Signalverlauf des Getriebegangs

35.3.1. Berechnung der Motordrehzahl aus Geschwindigkeit und Gang

In unserem Szenario unterstellen, dass keine Ergebnis für die Drehzahl in der Messdatei vorliegt. Da wird die Motordrehzahl für die dynamische Modulation des Drehmomentes benötigen, wollen wir diese erzeugen.

Da die Geschwindigkeit als Messkanal vorliegt, können wird eine Brechnung der Drehzahl aus der Geschwindigkeit unter Vernachlässigung des Schlupfes mit Hilfe der folgenden Formel vornehmen:

$$n_{\text{Motor}} = v * 30 \cdot i(g) * i_{\text{Achse}} / (\pi * r_{\text{dyn}} * 3,6)$$

Die folgenden Daten seien gegeben (Beispieldaten, keine realen Werte)

$i_{\text{Achse}}=1,5$ (Achsenübersetzung) $r_{\text{dyn}}=0,3$ m (Reifenradius)

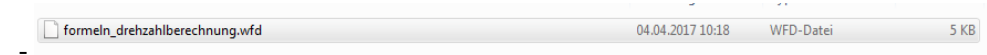
Gang	Übersetzung
1	17,1467764
2	10,2880658
3	6,17283951
4	3,7037037
5	2,2222222

6	1,33333333
7	0,8

Wir wählen dazu aus dem Menü:

EXTRAS/Werkzeuge Lastdateien/Formeleditor

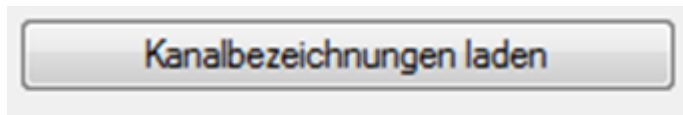
Und legen eine Datei an:



Die Maske sieht dann wie folgt aus:

Eingabemaske zur Erzeugung der Formeln

Bei der Formeleingabe wird Bezug auf die Spalten der Messdatei genommen. Liegt eine Datei vor, in der eine Benennung der Spalte existiert (z.B. FAMOS-Datei), so können die Spaltennamen als Text angezeigt. Dazu muß



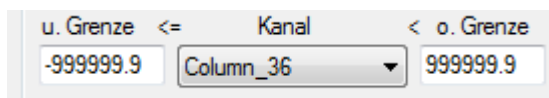
Angeklickt werden. Liegt – wie in diesem Beispiel - keine Benennung vor, so werden die Spalten mit **winLIFE Channel** und der Spaltennummer angezeigt.

Bedeutung



Der Kanal (Channel = Kanal) kann hier gewählt, hinzugefügt oder aber gelöscht werden.

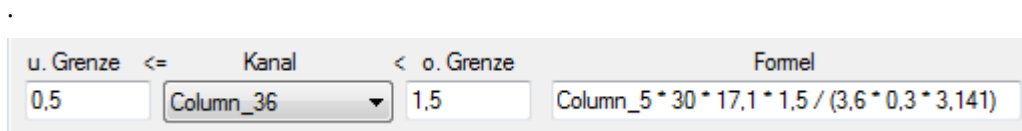
Für die Eingabe einer Formel muß der Gültigkeitsbereich definiert sein. Beim erstmaligen Öffnen werden Default-Werte festgelegt, die den gesamten Dateibereich abdecken sollen. Diese Default-Werte kann der Benutzer ändern.



In unserem Beispiel soll eine Bedingung definiert werden, die für den ersten Gang gilt. Der Gang steht in Spalte 36.

Die exakte Bedingung wäre erfüllt, wenn der Kanal 36 (=Column 36) exakt =1 wäre. Da Messdaten vorliegen ist es aber denkbar, dass der Wert des Kanals nicht exakt =1,000000 ist sondern z.B. 1,00001. Das Abfragen mit einer Bedingung = 1 würde damit nicht zu der gewünschten Auswahl führen.

Es wird daher als Bedingung immer mit Ungleichungen gearbeitet, die hier mit 0,5 als untere und 1,5 als obere Grenze zu der gewünschten Auswahl führen.



Die nachfolgende Formel bewirkt eine Multiplikation der

Spalte 5 mit $30 \cdot 17,1 \cdot 1,5 / (3,6 \cdot 0,3 \cdot 3,141)$

So dass sich als Ergebnis die Morordrehzahl ergibt. Das Ergebnis wird in Kanal 1 (=Spalte 1) geschrieben.

Die weiteren 6 Zeilen in dem folgenden Bild bewirken die Berechnung in den Gängen 2 bis 7.

Formula editor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Edit Channel: winLIFE Channel 1 + - Load Channeldefinition

Lower Limit <= Channel < Upper Limit Formula Create Delete

Lower Limit	Channel	Upper Limit	Formula
0,5	Column...	1,5	Column_5 * 30 * 17,1 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)
1,5	Column...	2,5	Column_5 * 30 * 10,2 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)
2,5	Column...	3,5	Column_5 * 30 * 6,1 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)
3,5	Column...	4,5	Column_5 * 30 * 3,7 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)
4,5	Column...	5,5	Column_5 * 30 * 2,22 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)
5,5	Column...	6,5	Column_5 * 30 * 1,33 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)
6,5	Column...	7,5	Column_5 * 30 * 0,8 * 1,5 / (3,6 * 0,3 * 3,141)

Modulation file: \formeln_dynamic.wdm ...

Apply formula ^

Load file: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Count of comment rows: 0

New load file: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Show Result Calculate

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formeln zur Erzeugung eines Kanals (channel 1) mit der Drehzahl

35.3.2. Erzeugung einer Spalte mit dem Drehmoment

Die neue Belastungsdatei soll in der zweiten Spalte das Drehmoment enthalten. Dazu muß ein zweiter Kanal erzeugt werden, der hier ganz einfach gleich dem Drehmomentenkanal (Kanal 40) gesetzt wird. Das Drehmoment wurde in der Messdatei bereits erfasst und wird nur in die neue Datei kopiert.

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 2 + - Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze <= Kanal < o. Grenze Formel

0,1 Column_36 20 Column_40 erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
0,1	Column...	20	Column_40

Modulation file: \formeln_dynamic.wdm ...

Apply formula ↑

Load file: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Count of comment rows: 0

New load file: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Show Result Calculate

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formel zur Erzeugung eines Kanals (channel 2) mit dem Drehmoment (durch Kopieren von Kanal 40)

35.3.3. Erzeugung einer Spalte mit einem berechneten Drehmoment

Die dritte Spalte (Kanal 3) soll ein Drehmoment enthalten, das 90% des Drehmomentes aus Spalte 2 entspricht. ApL

Sie dient der Motorsteuerung. Als Grenzbedingung wird -9999 und 9999 angegeben, das bedeutet, dass alle Werte des Kanals Nr. 40 (sie liegen alle in diesem Bereich) entsprechend umgerechnet werden. Natürlich hätte man auch andere Kanäle für die Wahl der Grenzen auswählen können. Wichtig ist, dass immer eine untere und obere Grenze angegeben werden müssen. Liegt der Wert außerhalb dieses Bereiches, wird der bearbeitete Kanalwert auf 0 gesetzt !

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 3 + - Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze <= Kanal < o. Grenze Formel

-9999 Column_40 99999 Column_40 * 0,9 erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
-9999	Column...	9999	Column_40 * 0,9

Modulation file: \formeln_dynamic.wdm ...

Formeln anwenden ↑

Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Anzahl Kommentarzeilen: 0

Neue Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Ergebnis anzeigen Berechnen

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formel zur Erzeugung eines Kanals (channel 3) mit einem Drehmoment, das 90 % des Momentes aus Kanal 40 entspricht

35.3.4. Wandler-Zustands-Variable erzeugen

Das Getriebe arbeitet im ersten Gang nur im Wandlerbetrieb (Statusvariable hat den Wert = 0).

Es wird in der Spalte 4 nun eine Status-Variable erzeugt, die den Wandlerzustand repräsentieren soll. In den Gängen 2 bis 7 ist der die Wandlerkupplung geschlossen (Status = 1), d.h. der Wert der Variable ist gleich 1, so wie dies in der Formel definiert ist.

Liegt der Wert des Kanals 36 nicht zwischen 1,5 und 7,5, was nur für den 1. Gang zutrifft, so wird der Wert des Kanals 4 auf 0 gesetzt. Null bedeutet, dass der Wandler arbeitet.

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 4 + x Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze <= Kanal < o. Grenze Formel

1,5 Column_36 7,5 1 erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
1,5	Column...	7,5	1

Modulation file: \formeln_dynamic.wdm ...

Apply formula ⬆

Load file: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Count of comment rows: 0

New load file: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Show Result Calculate

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formel zur Erzeugung eines Kanals (channel 4) mit der Status-Variablen für den Wandlerzustand

35.3.5. Status-Variable zur Zylinderabschaltung

Dies Annahme ist stark vereinfacht und soll lediglich die Funktionsweise zeigen. Es wird angenommen, dass für eine gefahrene Strecke <4000 m die Hälfte der Zylinder abgeschaltet ist, bei Werten > 4000 m arbeiten alle 6 Zylinder.

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 5 + x Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze <= Kanal < o. Grenze Formel

4000 Column_2 80000 3 erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
4000	Column_2	80000	3
-1	Column_2	4000	6

Modulation file: \formeln_dynamic.wdm ...

Apply formula ⬆

Load file: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Count of comment rows: 0

New load file: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Show Result Calculate

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formeln zur Erzeugung eines Kanals (channel 5) mit der Anzahl der arbeitenden Zylinder (Status Zylinderabschaltung)

35.3.6. Zeit Spalte erzeugen

Der Zeitkanal wird aus der Datei Original-Messdatei kopiert und in Spalte 6 geschrieben. Der Zeitkanal wird für die Berechnung der drehzahlabhängigen Abstände der Drehmomentspitzen benötigt.

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 6 + - Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze	<=	Kanal	<	o. Grenze	Formel	
0		Column_1		99999	Column_1	erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
0	Column_1	99999	Column_1

Modulation file: \formeln_dynamic.wdm ...

Apply formula ⬆

Load file: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Count of comment rows: 0

New load file: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Show Result Calculate

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formel zur Erzeugung eines Kanals (channel 6) mit der Zeit (Spalte 1 der Quelldatei wird nach Spalte 6 kopiert

Der Zeitkanal wird aus der Datei kopiert und in Spalte 6 geschrieben.

35.3.7. Weg Spalte erzeugen

Der Wegkanal wird aus der Datei kopiert und in Spalte 7 geschrieben. Dies ist zur Berechnung nicht erforderlich und dient nur zur Demonstration der Handhabung des Formeleditors.

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 7   Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze <= Kanal < o. Grenze Formel erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
0	Column_2	1000000	Column_2

Modulationsdatei: ...

Formeln anwenden ↑

Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Anzahl Kommentarzeilen:

Neue Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

☒ dyn. modulation ☐ Ergebnis anzeigen Berechnen

OK Cancel Help

Eingabemaske mit Formel zur Erzeugung eines Kanals (channel 7) mit der Weginformation. Es wird Kanal 2 aus der Quelldatei nach Kanal 7 kopiert.

35.3.8. Laststufe erzeugen

Es wird eine Laststufe auf einfache Weise aus Drehmomentbereichen erzeugt. Auch dies ist zur Berechnung nicht erforderlich und dient nur zur Demonstration der Handhabung des Formeleditors.

The screenshot shows the 'Formeleditor' window with the title 'formeln_drehzahlberechnung.wfd'. The 'Bearbeite Kanal:' dropdown is set to 'winLIFE Channel 8'. The 'Kanalbezeichnungen laden' button is visible. The main table defines the channel ranges and formulas:

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
0	Column...	100	1
100	Column...	200	2
200	Column...	300	3
300	Column...	1000	4

Below the table, the 'Modulationsdatei:' field is empty. The 'Formeln anwenden' section shows the 'Belastungsdatei:' as 'D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat' and the 'Anzahl Kommentarzeilen:' as '0'. The 'Neue Belastungsdatei:' is 'D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat'. The 'dyn. modulation' checkbox is checked, and the 'Ergebnis anzeigen' checkbox is unchecked. The 'Berechnen' button is visible. At the bottom, there are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Eingabemaske mit Formeln zur Erzeugung eines Kanals (channel 8) mit der Laststufe

35.3.9. Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit wird in die 9. Spalte übertragen, wenn sie zwischen 0 und 300 km/h liegt (Vorwärtsfahrt). Auch dies ist zur Berechnung nicht erforderlich und dient nur zur Demonstration der Handhabung des Formeleditors.

Formeleditor - formeln_drehzahlberechnung.wfd

Bearbeite Kanal: winLIFE Channel 9 + x Kanalbezeichnungen laden

u. Grenze	<=	Kanal	<	o. Grenze	Formel	
0		Column_5		300	Column_5	erstellen löschen

u. Grenze	Kanal	o. Grenze	Formel
0	Column_5	300	Column_5

Modulationsdatei: ...

Formeln anwenden ⬆

Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\source_from_vehicle_measurement.dat ...

Anzahl Kommentarzeilen:

Neue Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat ...

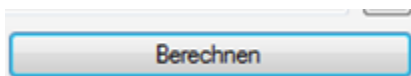
☒ dyn. modulation
 ☐ Ergebnis anzeigen
 Berechnen

OK
Cancel
Help

Eingabemaske mit Formeln zur Erzeugung eines Kanals (channel 9) mit der Fahrgeschwindigkeit

35.3.10. Ergebnis

Anschließend klicken wir auf den Button



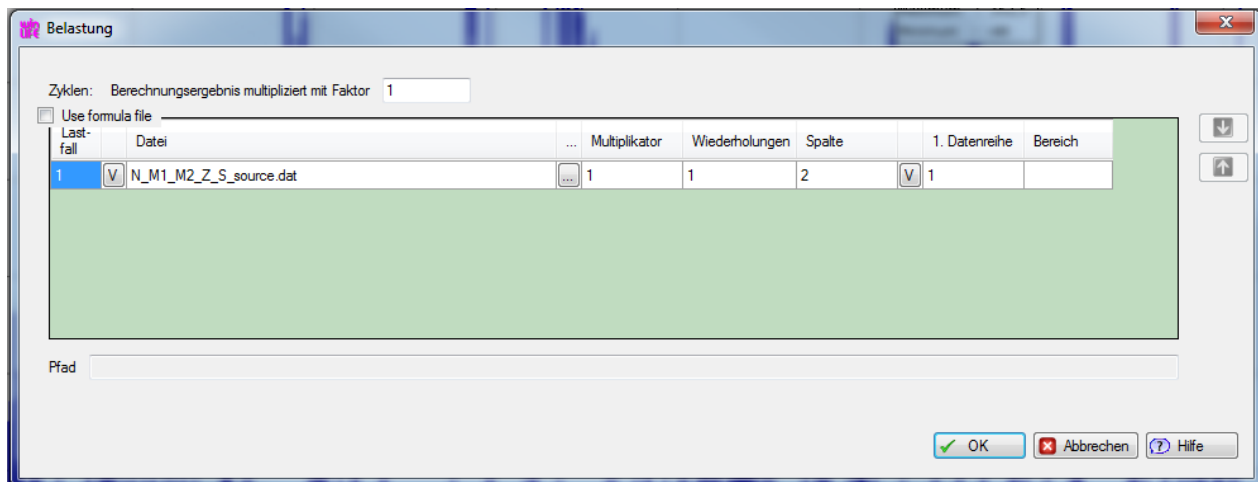
Und es wird dann die Datei N_M1_M2_Z_S_source.dat erzeugt.

Wir schauen uns den Inhalt der Datei an und sehen, dass neun Spalten vorliegen.

0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,000	0,000	1,000	0,660
0,000	5,500	4,950	0,000	6,000	0,100	0,000	1,000	0,650
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,200	0,000	1,000	0,640
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,300	0,000	1,000	0,640
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,400	0,000	1,000	0,640
0,000	7,000	6,300	0,000	6,000	0,500	0,000	1,000	0,570
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,600	0,790	1,000	0,550
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,700	1,550	1,000	0,570
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,800	2,290	1,000	0,640
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	0,900	2,980	1,000	0,590
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	1,000	3,600	1,000	0,530
0,000	7,000	6,300	0,000	6,000	1,100	4,140	1,000	0,490
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	1,200	4,570	1,000	0,450
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	1,300	4,900	1,000	0,420
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	1,400	5,120	1,000	0,390
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	1,500	5,290	1,000	0,370
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	1,600	5,290	1,000	0,370
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	1,700	5,290	1,000	0,370
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	1,800	5,290	1,000	0,390
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	1,900	5,290	1,000	0,420
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	2,000	5,570	1,000	0,450
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	2,100	5,970	1,000	0,400
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	2,200	6,480	1,000	0,350
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	2,300	7,100	1,000	0,300
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	2,400	7,800	1,000	0,250
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	2,500	8,540	1,000	0,200
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	2,600	9,300	1,000	0,150
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	2,700	10,060	1,000	0,100
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	2,800	10,790	1,000	0,050
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	2,900	11,490	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	3,000	12,120	1,000	0,000
0,000	5,800	5,220	0,000	6,000	3,100	12,700	1,000	0,000
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	3,200	12,700	1,000	0,000
0,000	6,500	5,850	0,000	6,000	3,300	12,700	1,000	0,000
0,000	6,800	6,120	0,000	6,000	3,400	12,700	1,000	0,000
0,000	6,800	6,120	0,000	6,000	3,500	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	3,600	12,700	1,000	0,000
0,000	7,000	6,300	0,000	6,000	3,700	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	3,800	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	3,900	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	4,000	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	4,100	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	4,200	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	4,300	12,700	1,000	0,000
0,000	7,800	7,020	0,000	6,000	4,400	12,700	1,000	0,000
0,000	7,000	6,300	0,000	6,000	4,500	12,700	1,000	0,000
0,000	6,200	5,580	0,000	6,000	4,600	12,700	1,000	0,000

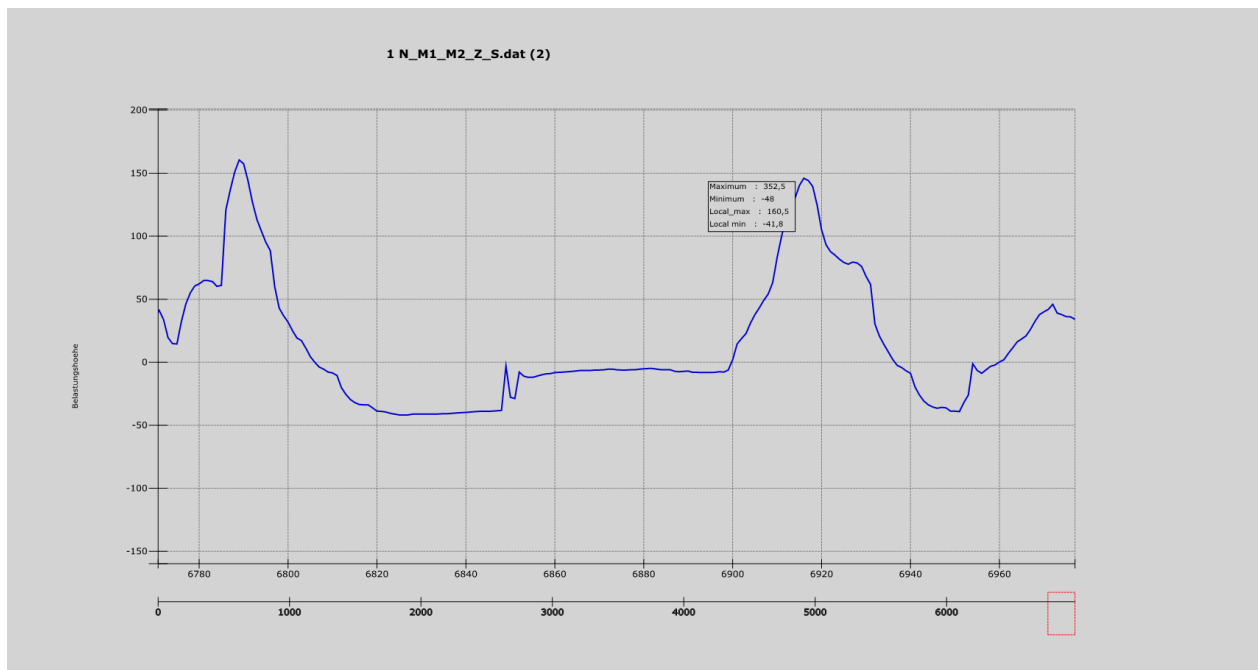
Ergebnisdatei, die mit Hilfe der zuvor beschriebenen Formeln erzeugt wird.

Wir wollen das Ergebnis grafisch darstellen. Dazu laden wir die Datei N_M1_M2_Z_S_source.dat und wählen die Spalte 2 aus.



Auswahl der Ergebnisdatei

Das Ergebnis zeigt das folgende Bild, zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus dieser Datei.



grafische Darstellung des Kanals 2 (Spalte 2)

35.4. Erzeugung neuer Kanäle unter Integration hochdynamischer Phänomene

Um eine dynamische Modulation zu erzeugen wählt man im Menü

Extras /Werkzeuge Lastdateien / dyn. Modulation

so lassen sich unter bestimmten Bedingungen fehlende Signalanteile nachträglich aufmodulieren. Weitere Details sind [hier](#) dargestellt.

Ausgangspunkt soll die im Kapitel zuvor erzeugte Beispieldatei N_M1_Z_S_source.dat sein, die wir in der folgenden Maske auswählen.

dynamische Modulation - formeln_dynamic.wdm

Belastungsdatei
D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_M2_Z_S_source.dat

Dateiaufbau

Anzahl der Kommentarzeilen: 0

☐ Abtastrate ☒ Zeitspalte

Spalte Status Kennlinie: 4

Spalte aktive Zylinder: 5

Spalte Drehzahl: 1

Spalte Drehmoment Kennlinie: 2

Spalte Drehmoment aufmodelliert: 3

zusätzliche Kanäle einfügen z.B. 7, 8, 10 - 15

Status

Anzahl: 2 Nr.: 1

Kennliniendatensatz

Anzahl: 5 Nr.: 1 Editieren

Kennliniendatei: D:\winlife_test\dynModulation\daten_gw_V01\motor_V01.vz5

neue Belastungsdatei: D:\winlife_example_40\example_34\N_M1_target.fme

Berechnen OK Cancel Help

Bild 35-1: Eingabemaske zur Festlegung der Zuordnungen der Dateien und Kennlinien

Wird nun der **Berechnen** Button angeklickt, so wird die neue Belastungsdatei mit den dynamisch modulierten Momenten erzeugt. Die neue Belastungsdatei enthält folgende Kanäle (in dieser Reihenfolge): Drehzahl, Drehmoment, zusätzliche Kanäle wie vom Benutzer in der Textbox „zusätzliche Kanäle einfügen“ angegeben.

Zusätzlich wird eine Protokolldatei mit dem Namen **Dynmodulptk.csv** geschrieben. Diese Datei soll es dem Benutzer ermöglichen, die **Rechenschritte der dynamischen Modulation** nachzuvollziehen. Die Bedeutung aller Größen ist in dem Dateikopf angegeben, so dass der Benutzer in der Lage ist, die Berechnungsschritte nachzuvollziehen.

Einen Ausschnitt der Datei zeigt das folgende Bild:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	ReadBelastung->beendet mit ret_val: 0																
2	Perioden_berechnen->start																
3	Perioden_berechnen->Belastungsanzahl: 8657																
4	Perioden_berechnen->ende																
5	DrehzalDrehmomentVerlauf_berechnen->start																
6	Zeit																
7	Drehzahl	Zwischen den Zeitschritten interpolierte Drehzahl															
8	Moment_ip	Zwischen den Zeitschritten interpoliertes Drehmoment. Mit diesem Drehmoment wird in die Kennlinie gegangen															
9	Moment_ttu	Zwischen den Zeitschritten interpoliertes Drehmoment. Auf dieses Drehmoment wird aufmodelliert															
10	Statuskl	Nummer der Statuskennlinie, interpoliert zwischen den Zeitschritten															
11	KI1	Nummer der verwendeten Kennlinie 1															
12	KI2	Nummer der verwendeten Kennlinie 2															
13	Moment KI1	Mittleres Moment der Momentenkennlinie 1 bei Drehzahl															
14	Moment KI2	Mittleres Moment der Momentenkennlinie 2 bei Drehzahl															
15	M-wk+/-																
16	M_wk KI1	Wk-Moment der Momentenkennlinie 1 bei Drehzahl															
17	M_wk KI2	Wk-Moment der Momentenkennlinie 2 bei Drehzahl															
18	Methode	Methode zur Berechnung des Wk-Moment zwischen den Momentenkennlinie															
19	M_wk	Verwendetes Wk-Moment															
20	M_diff	additives Peakmoment															
21	Drehmomenten Ergebnis																
22	Zeit	Drehzahl	Moment_ip	Moment_ttu	Statuskl.	KI1	KI2	Moment KI1	Moment KI2	M-wk+/-	M_wk KI1	M_wk KI2	Methode	M_wk	M_diff	Drehmoment	
23		47,6	1844,85	21,23	19,11	1	4	5	94,65	-18,45	'+'	99,39	-19,37	untere TL	99,39	4,73	23,84
24		47,6	1804,84	21,37	19,23	1	4	5	95,85	-18,05	'-'	91,06	-17,15	untere TL	91,06	-4,79	14,44
25		47,6	1764,84	21,51	19,36	1	4	5	97,05	-17,65	'+'	101,91	-18,53	untere TL	101,91	4,85	24,21
26		47,6	1724,84	21,65	19,49	1	4	5	98,25	-17,25	'-'	93,34	-16,39	untere TL	93,34	-4,91	14,58
27		47,6	1684,84	21,79	19,62	1	4	5	99,45	-16,85	'+'	104,43	-17,69	untere TL	104,43	4,97	24,59
28		47,6	1644,83	21,94	19,74	1	4	5	100,66	-16,45	'-'	95,62	-15,63	untere TL	95,62	-5,03	14,71
29		47,6	1604,83	22,08	19,87	1	4	5	101,86	-16,05	'+'	106,95	-16,85	untere TL	106,95	5,09	24,96
30		47,6	1564,83	22,22	20	1	4	5	103,06	-15,65	'-'	97,9	-14,87	untere TL	97,9	-5,15	14,84
31		47,6	1524,82	22,36	20,12	1	4	5	104,26	-15,25	'+'	109,47	-16,01	untere TL	109,47	5,21	25,34

Bild 35-2: Protokoll der Rechenschritte der dynamischen Modulation

Um das Ergebnis der dynamischen Simulation anzuschauen, wählen wir aus dem Menü Belastung folgendes aus:

Belastung

Zyklen: Berechnungsergebnis multipliziert mit Faktor 1

☒ Use formula file

Lastfall

Datei

1. Datenreihe

Formula file

1

source_from_vehicle_measurement.dat

1

formeln_drehzahlberechnung.wfd

Pfad

OK

Abbrechen

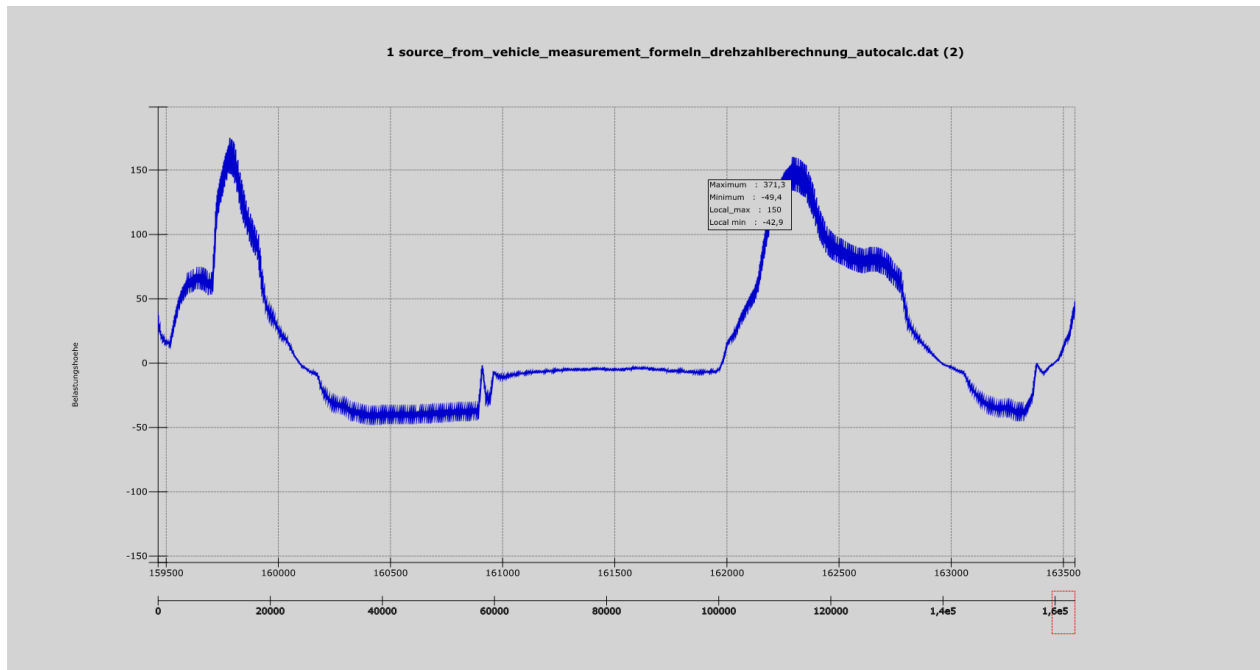
Hilfe

Eingabemaske zur Auswahl der Ausgangsdatei, der Formeldatei

Anschließend wählen wir

Belastung / View

Und stellen das Ergebnis dar. Wir zoomen das Ergebnis auf den gleichen Bereich wie im Bild zuvor und erkennen, dass der Signalverlauf um die dynamischen Schwinganteile erweitert wurde.



Signalverlauf des erzeugten dynamisch modulierten Momentes

36.2. Materialangabe

Das Bauteil besteht aus dem Werkstoff EN-AW 6061.T6 mit einer Bruchdehnung von $A = 8\%$.

Der Schweißzusatzwerkstoff ist SG-AlMg5

36.3. Belastungen

Längskraft $L = 60\text{kN}$

Biegemoment $M_{by} = 2,5\text{kN}$

Querkraft $Q_z = 12\text{kN}$

36.4. Projektaufbau in winLIFE

In winLIFE FKM QUICKCHECK /FKM erfolgt nun die Projektdefinition. Es werden zwei Projekte angelegt. Ein Projekt für die statische Berechnung des Grundwerkstoffs (GW) + Wärmeeinflusszone (WEZ) und ein Projekt für die Schweißnaht (SN).

Es wird gewählt:

Menü **Datei / Neu (FKM Festigkeitsnachweis)/ Geschweißt**

Als Name für das erste Projekt wird gewählt: **example_35_FKM_stat_WEZ.wlf**

36.5. Statischer Nachweis mit örtlichen Spannungen für GW + WEZ

Das Projekt **example_35_FKM_stat_WEZ.wlf** wird aktiviert und eine Wöhlerlinie erzeugt. Hier ist es sinnvoll den Werkstoff EN AW-6061.T6 aus der FKM Datenbank zu wählen.

Menü **Wöhlerlinie / Laden FKM...**

Im Feld Sorte gibt man den Text **EN AW-6061** an. Aus der Liste wird der Zustand T6 gewählt mit $R_m = 290\text{MPa}$ und $R_e = R_p = 240\text{MPa}$. Abschließend wird auf OK gedrückt.

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN : EN AW-6061 Sorte : Belastung : Biegung FKM Richtlinie

Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	adm	adp
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff, gezogenen Stang...	3.3211	O, H111	150	110	16	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff, gezogenen Stang...	3.3211	T4	205	110	16	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff, gezogenen Stang...	3.3211	T6	290	240	10	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	O, H111	150	110	16	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	O, H111	150	110	16	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	O, H111	150	110	16	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	O, H111	150	110	16	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T4	180	110	15	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T4	180	110	15	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T4	180	110	15	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T4	180	110	15	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T6	260	240	8	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T6	260	240	8	0	0
Aluknet	AlMg1SiCu	EN AW-6061	Aluminiumknetwerkstoff für stranggepresste...	3.3211	T6	260	240	8	0	0

Neurndicke : Stangen von - bis 80 Rohre von - bis 20

Bruchdehnung : Bruchdehnung A [%] 10; Bruchdehnung A50 [%] 8;

Bemerkung : Zustand T6; für die Berechnung ist die Bruchdehnung A anzuwenden; Rundstange Durchmesser D; Vierkant-, Sechskantstange Schlüsselweite S; Rechteckstange Dicke S; Rohr Wanddicke e; Rm und Re sind nach DIN EN 755-2 als Maximalwerte angegeben; Bei Aluminiumknetwerkstoff wird der Größtenfaktor vernachlässigt (ad,m = 0)

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffauswahl aus der FKM Datenbank

Die zu ergänzenden Werkstoffangaben werden im Wöhlerliniendialog eingetragen. Es handelt sich um den Entfestigungsfaktor, die Blechdicke und den Sicherheitsfaktor 1,6366. Die Bruchdehnung wird auf 8% gesetzt. Angaben, die zur Ermüdungsfestigkeit verwendet werden, brauchen nicht eingetragen werden. Schließlich ergibt sich folgende Abbildung für die Wöhlerlinie.

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff : Aluknet Kv : 1,000

Rm : 290.000 [N/mm²] Temperatur : 20.0 [°C]

Rp : 240.000 [N/mm²] Temperaturdauer : 0 [h]

A : 8.00 [%] Eigenspannungen : mäßig

Rautiefe : 1.00 [µm] Eigenspannungsfaktor : 1,26

Randschichtverfahren : ohne Sicherheitsfaktor (jD) : 1,0000

Bauteilklasse : 100 Sicherheitsfaktor (iges) : 1,6366

Bauteilklasse T II : 100 Sicherheitsfaktor (SN) : 1,6366

Schweißnaht, Zug : 1,00 Blechdicke : 10,00 [mm]

Schweißnaht, Druck : 1,00 Art der Schweißverbindung : Fall A4

Schweißnaht, Schub : 1,00

Entfestigungsfaktor : 0,61

Identifikation

Kurzname : AlMg1SiCu

Werkstoffnummer : 3.3211

Bemerkung : EN AW-6061 Aluminiumknetwerkstoff, gezogenen Stangen und Rohre nach DIN EN 754-2 (August 1997)

Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Sicherheitsfaktor FKM

Schadensfolgen : niedrig

Häufiges Auftreten der größten Last : ☒

regelmäßige Inspektion : ☒

Teil-Sicherheitsfaktor für Gussbauteile : nicht zerstörungsfrei geprüfte Gussstücke

j_m = 1,75 j_p = 1,30 j_{mt} = 1,30 j_{pt} = 1,00 j_G = 1,13 j_W = 1,13 delta_j = 0,000

Sicherheitsfaktor (jD) : 1,0000

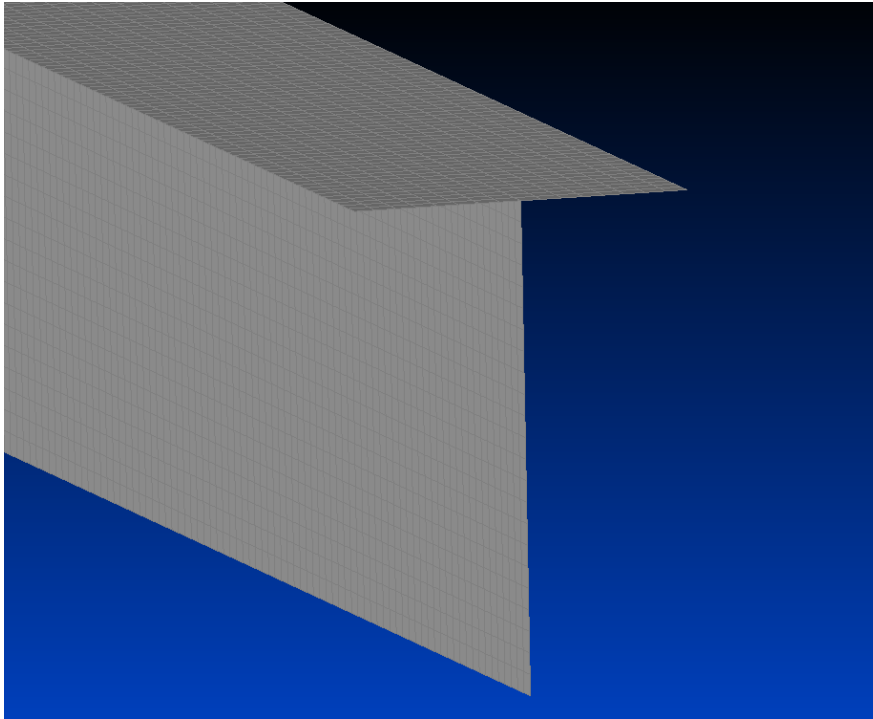
Material-sicherheits-faktor (iges) : 1,6366

Material safety factor (WD) : 1,6366

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffangaben

Die Belastung wurde auf ein entsprechendes FE-Modell aufgegeben. Die sich ergebenden Spannungen in den Elementen sind somit örtliche Spannungen.



Finite-Elemente Modell des T-Profils

Nun folgt der Schritt der Belastungseingabe:

Menü ***Berechnung***

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	Export_Laengskraft_WEZ_GW.LST	Edit...	1
2	Export_Querkraft_WEZ_GW.LST	Edit...	-1

Pfad :

FE Geometrie \T-Stoss_FKM_6_5-000.dat

☒ Alle Knoten verwenden
 ☐ Einzelner Knoten: 6835
 ☒ Primär beanspruchte Nähte

Konstruktionskennwerte

Lastverhältnis: wechselnd

Berechnungsverfahren: Dauerfestigkeit

plastische Formzahl Kp: 1,7900

R_x: 0,0000
 R_y: 0,0000
 R_z: 0,0000

N_{quer x}: 0
 N_{quer y}: 0
 N_{quer z}: 0

Auslastungsgrad = 63,0%, statischer Festigkeitsn. des Elements 6834 wurde erbracht
 Auslastungsgrad = 280,9%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Elements 6834 wurde nicht erbracht

Berechnen OK Abbrechen Hilfe

Angaben im Dialog Belastung

Zunächst erfolgt die Eingabe der örtlichen Spannungen an der Wärmeeinflusszone und am Grundwerkstoff. Diese Spannungen werden dem FE-Modell entnommen. Es sind die Dateien **Export_Laengskraft_WEZ_GW.lst** und **Export_Querkraft_WEZ_GW.lst**. Die plastische Formzahl beträgt 1,79 nach FKM.

Es ergibt sich der statische Auslastungsgrad von 63%. Die Berechnung mit Nennspannungen (siehe FKM) ergibt eine statische Auslastung von 78%.

36.6. Statischer Nachweis mit örtlichen Spannungen für SN

Das vorhandene Projekt *example_35_FKM_stat_WEZ.wlf* wird kopiert. Zum Beispiel durch Wahl des Befehl *Kopieren* aus dem Kontextmenü des rechten Maus-Buttons. Als Name gibt man ein *example_35_FKM_stat_SN*.

Die Wöhlerlinie wird verändert. Der Parameter Schweißnahtfaktor für Schub wird zu 0,62 gesetzt. Die anderen Werte werden behalten.

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff	Aluknet	Kv	1,000
Rm	290,000 [N/mm²]	Temperatur	20,0 [°C]
Rp	240,000 [N/mm²]	Temperaturdauer	0 [h]
A	16,00 [%]	Eigenspannungen	mäßig ?
Rauhtiefe	1,00 [µm]	Eigenspannungsfaktor	1,26
Randschichtverfahren	ohne	Sicherheitsfaktor (jD)	1,0000 ...
Bauteilklasse	100 ?	Sicherheitsfaktor (jges)	1,6366
Bauteilklasse T II	100 ?	Sicherheitsfaktor (SN)	1,6366
Schweißnahtf. Zug	1,00 ?	Blechdicke	10,00 [mm]
Schweißnahtf. Druck	1,00 ?	Art der Schweißverbindung	Fall A4 ?
Schweißnahtf. Schub	0,62 ?		
Entfestigungsfaktor	0,61 ?		

Identifikation

Kurzname: AlMg1SiCu

Werkstoffnummer: 3.3211

Bemerkung: EN AW-6061
Aluminiumknetwerkstoff, gezogenen Stangen und Rohre nach DIN EN 754-2 (August 1997)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffangaben

Die Berechnung wird für die Schweißnahtelemente durchgeführt. Eine plastische Stützzahl wird nicht verwendet.

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	Export_Laengkraft_SN.LST	Edit...	1
2	Export_Querkraft_SN.LST	Edit...	-1

Pfad :

FE Geometrie

☒ Alle Knoten verwenden
 ☐ Einzelner Knoten: 6857
 ☒ Primär beanspruchte Nähte

Konstruktionskennwerte

Lastverhältnis: wechselnd
 Berechnungsverfahren: Dauerfestigkeit
 plastische Formzahl Kp: 1,0000

R_x: 0,0000
 R_y: 0,0000
 R_z: 0,0000
 N_{quer x}: 0
 N_{quer y}: 0
 N_{quer z}: 0

Auslastungsgrad = 23,1%, statischer Festigkeitsn. des Elements 3358 wurde erbracht
 Auslastungsgrad = 24,5%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Elements 3358 wurde erbracht

Berechnen OK Abbrechen Hilfe

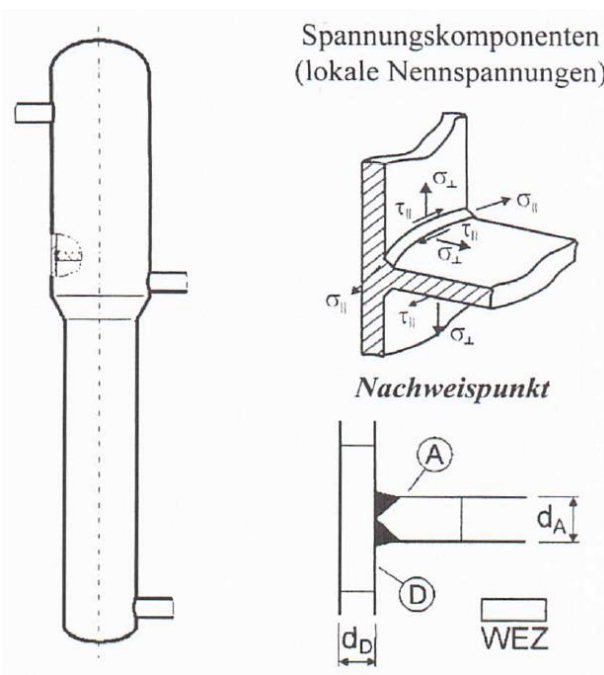
Berechnung

Als statische Auslastung ergibt sich 23,1%. Die FKM Berechnung mit Nennspannungen ergibt 22%.

37. Beispiel 36 / FKM Beispiel 6.6 geschweißte Aluminiumkonstruktion

Aufgabenstellung

In winLIFE FKM QUICKCHECK /FKM soll die geschweißte Aluminiumkonstruktion aus der FKM-Richtlinie, Beispiel 6.6 berechnet werden. Die untere Abbildung zeigt die Geometrie des Bauteils mit den Nachweispunkten A und D an einem geschweißten T-Stoß.



Bauteil und Detailbereich mit Spannungskomponenten [FKM Richtlinie]

Der Nachweis erfolgt für den Grundwerkstoff, die Wärmeübergangszone und die Schweißnaht für den statischen und Ermüdungslastfall.

37.2. Materialangabe und örtliche Spannungen

Das Bauteil besteht aus dem Werkstoff EN-AW 5083 H22 (DIN EN 485-2).

Für den Nachweispunkt A (siehe Abbildung oben) liegen die Normal-Spannungen in senkrechter Richtung und in paralleler Richtung zur Naht vor (vgl. FKM-Richtlinie Kapitel 6.6). Die Schubspannung wird als parallel wirkend zur Nahtichtung dargestellt. Die Amplituden und Mittelwerte im Punkt A sind identisch.

$$\sigma_{a,\perp} = \sigma_{m,\perp} = 17\text{MPa}$$

$$\sigma_{a,\parallel} = \sigma_{m,\parallel} = 8\text{MPa}$$

$$\tau_a = \tau_m = 7\text{MPa}$$

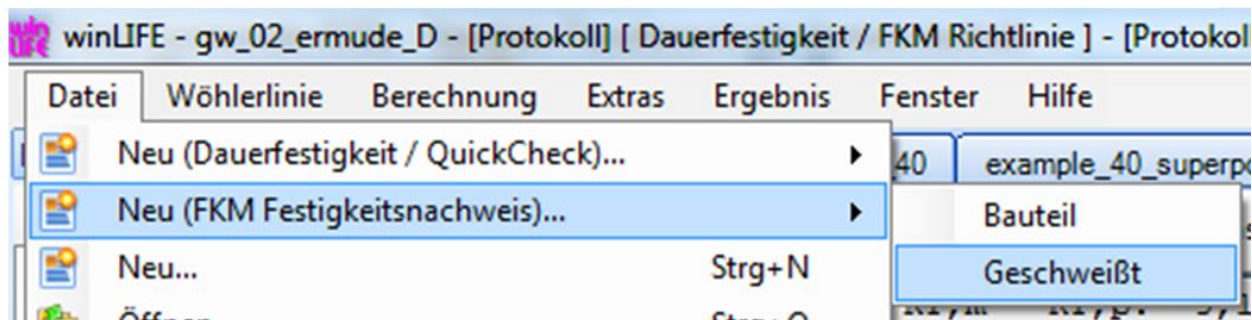
37.3. Umgebungsbedingungen

Die geschweißte Kolonne wird bei Temperaturen von 120°C und 10 000 h Dauer eingesetzt.

37.4. Nachweis statisch WEZ Punkt D

37.4.1. Projekt erstellen

Wir wählen im Menü wie dargestellt:



Als Projektnamen wählen wir:

example_36_FKM_stat_WEZ

37.4.2. Wöhlerlinie

Wir wählen aus dem Menü:

Wöhlerlinie / Laden FKM

Und wählen den entsprechenden Werkstoff aus dem Menü

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN : Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

Werkstoff : Bezeichnung nach DIN : Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	adm	adp
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	5	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	6	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	7	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	8	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	10	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	9	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H24/H34	340	250	4	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H24/H34	340	250	5	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H24/H34	340	250	6	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H24/H34	340	250	7	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H24/H34	340	250	7	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H24/H34	340	250	7	0	0
Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H26/H36	360	280	2	0	0
Aluknet	AlMn4,5Mn-.7	EN AW-5083	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H26/H36	360	280	3	0	0

Neurndicke : Neurndicke von 6 bis 12,5

Bruchdehnung : Bruchdehnung A [%] 10;

Bemerkung : Bruchdehnung A mit Messlänge = 5x Probendurchmesser; Bei Aluminiumknetwerkstoff wird der Größenfaktor vernachlässigt (ad,m = 0)

OK Abbrechen Hilfe

Nach der Auswahl erscheint die folgende Maske:

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff	Aluknet n. aushärtbar	Kv	1,000
Rm	305,000 [N/mm ²]	Temperatur	120,0 [°C]
Rp	215,000 [N/mm ²]	Temperaturdauer	100000 [h]
A	11,00 [%]	Eigenspannungen	maße ?
Rauhtiefe	1,00 [µm]	Eigenspannungsfaktor	1,26
Randschichtverfahren	ohne	Sicherheitsfaktor (jD)	1,5284 ...
Bauteilklasse	100 ?	Sicherheitsfaktor (ges)	2,8200
Bauteilklasse T	100 ?	Sicherheitsfaktor (SN)	2,8200
Schweißnahtf. Zug	1,00 ?	Blechdicke	35,00 [mm]
Schweißnahtf. Druck	1,00 ?	Art der Schweißverbindung	Fall A4 ?
Schweißnahtf. Schub	1,00 ?		
Entfestigungsfaktor	0,88 ?		

Identifikation

Kurzname AlMg4,5Mn-7

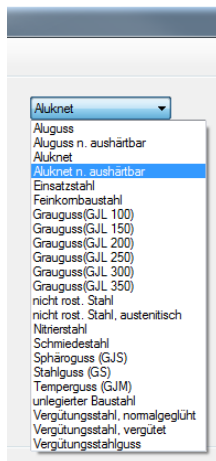
Werkstoffnummer 0

Bemerkung
EN AW-5083
Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach
DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Die Daten werden aus der Datenbank übernommen. Die Information, dass der Werkstoff nicht aushärtbar ist, müssen wir ergänzen, indem auf den Button AluKnet geklickt und die Werkstoffauswahl korrigiert wird.



Weiterhin müssen nun die Angaben aus der Aufgabenstellung eingetragen werden, so dass die Maske dann wie folgt aussieht:

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff	Aluknet n. aushärtbar	Kv	1,000
Rm	305,000 [N/mm²]	Temperatur	120,0 [°C]
Rp	215,000 [N/mm²]	Temperaturdauer	100000 [h]
A	11,00 [%]	Eigenspannungen	mäßig
Rauhtiefe	1,00 [µm]	Eigenspannungsfaktor	1,26
Randschichtverfahren	ohne	Sicherheitsfaktor (jD)	1,5284
Bauteilklasse	100	Sicherheitsfaktor (jges)	2,8200
Bauteilklasse T II	100	Sicherheitsfaktor (SN)	2,8200
Schweißnahtf. Zug	1,00	Blechdicke	35,00 [mm]
Schweißnahtf. Druck	1,00	Art der Schweißverbindung	Fall A4
Schweißnahtf. Schub	1,00		
Entfestigungsfaktor	0,88		

Identifikation

Kurzname: AlMg4,5Mn-7

Werkstoffnummer: 0

Bemerkung: EN AW-5083 Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Sicherheit FKM

Schadensfolgen: hoch

Häufiges Auftreten der größten Last: ☒

regelmäßige Inspektion: ☐

Teil-Sicherheitsfaktor für Gussbauteile: nicht zerstörungsfrei geprüfte Gussstücke

jm = 2,00 jp = 1,50 jmt = 1,50 jpt = 1,00 jG = 1,13 jw = 1,13 delta_j = 0,000

Sicherheitsfaktor (jD): 1,5284

Materialsicherheitsfaktor (jges): 3,2586

Material safety factor (WD): 3,2586

OK Abbrechen Hilfe

Umrechnungsfaktor: f_FAT_sigma: 3.68403E-01

Eine weitere Änderung erfolgt:

In der FKM-Richtlinie liegt ein Fehler bei der Berechnung des Sicherheitsfaktors vor (wurde von FKM auf Nachfrage bestätigt), statt 3.258 (wäre richtig) ist dort 2,81 angegeben.

Wir übernehmen jedoch diesen fehlerhaften Wert aus der FKM-Richtlinie, um die weiteren Ergebnisse mit der FKM-Richtlinie vergleichen zu können. Dazu überschreiben wir in der Maske die Ergebnisse für den

Sicherheitsfaktor SN

Sicherheitsfaktor (ges)

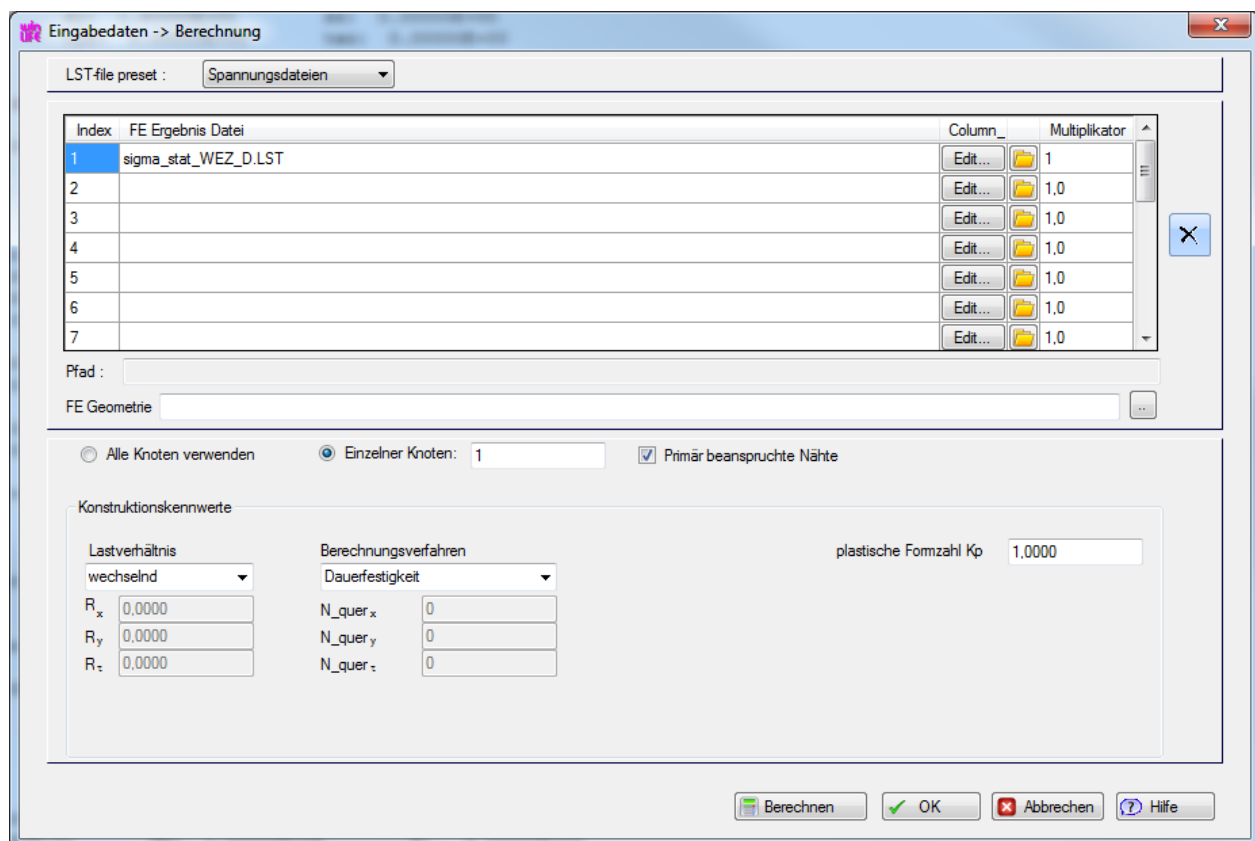
mit dem Wert 2,82. Wir klicken auf OK und schließen damit die Maske.

37.4.3. Berechnung

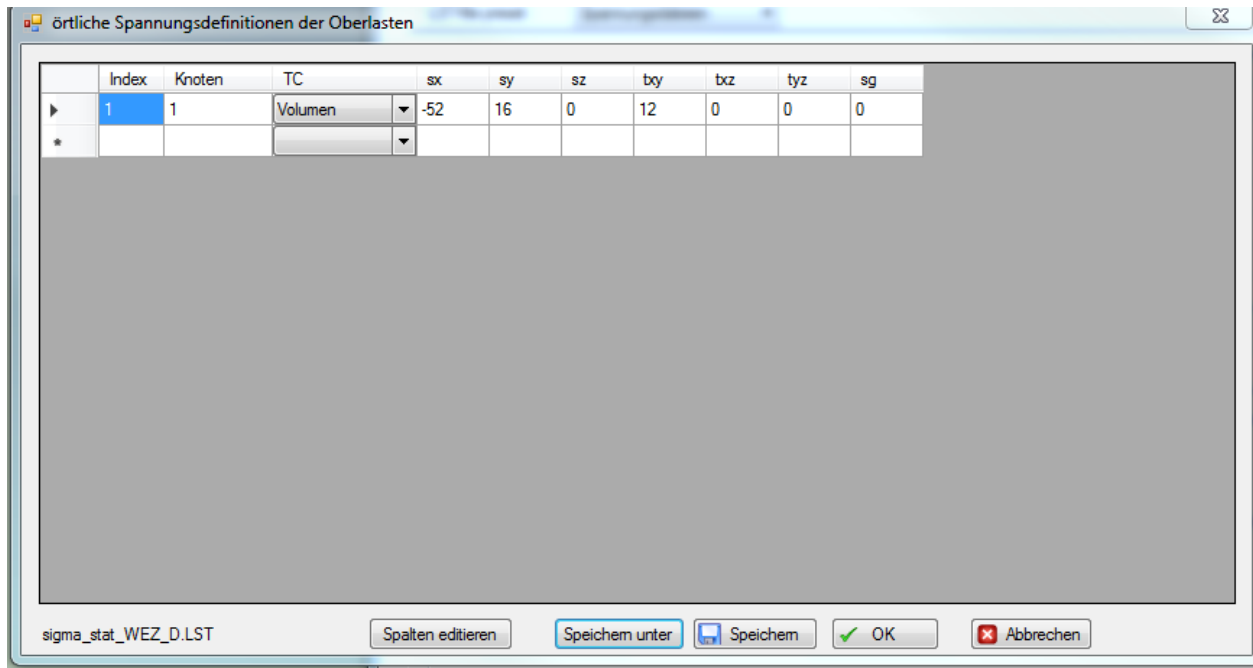
Wir klicken auf Berechnung und tragen unter

plastische Formzahl

1,0 ein. Weiterhin wird primär beanspruchte Nähte markiert.



Anschließend wird in der ersten Zeile auf EDIT geklickt. Zur Eingabe der Spannungen des Nachweispunktes in unserem Fall für den Bereich D erscheint das folgende Menü.



Wir speichern diesen Spannungszustand unter dem Namen sigma_stat_WEZ_D.LST ab.

Wir klicken auf den Button

Berechnen

und erhalten folgenden Liste, die neben unserem gewünschte Ergebnis für den Auslastungsgrad auch Zwischenergebnisse enthält, so dass wir das Ergebnis nachvollziehen können.

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column	Multiplikator
1	sigma_stat_WEZ_D.LST		

Pfad :
 FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
☒ Einzelner Knoten: ☒ Primär beanspruchte Nähe

Konstruktionskennwerte

Lastverhältnis wechselnd R _x 0.0000 R _y 0.0000 R _z 0.0000	Berechnungsverfahren Dauerfestigkeit N _{quer_x} 0 N _{quer_y} 0 N _{quer_z} 0	plastische Formzahl K _p 1.0000
---	---	--

Auslastungsgrad = 96,9%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht
Auslastungsgrad = 89,0%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

```

Protokoll: D:\winlife_test\fk_m_pure\example_36_FKM_stat_WEZ.ptk
26.04.2017 17:28:21

Werkstoffkennwerte
      Rm: 3.05000E+02  RP: 2.15000E+02
Spannungen aus der Summe der Lastfälle
      sx: -5.20000E+01      sy: 1.60000E+01      sz: 0.00000E+00
      txy: 1.20000E+01      tyz: 0.00000E+00      txz: 0.00000E+00

Statischer Festigkeitsnachweis für den Knoten 1
Temperaturfaktor
      KT,m = KT,p: 9,10000E-01 (3.2.22 - 3.2.27)
      KTt,m: 3,66667E-01 (3.2.29)
      KTt,p: 3,66667E-01 (3.2.29)
Hauptspannungen
      h1: 1.80555E+01      h2: 0.00000E+00      h3: -5.40555E+01
Duktilitätsfaktor q, Festigkeitsfaktor f_sigma, Gussfaktor KNL
      f_sigma: 0.00000E+00  q: 1.00000E+00  KNL: 1.00000E+00 (Zug)
      f_sigma: 0.00000E+00  q: 1.00000E+00  KNL: 1.00000E+00 (Druck)
      f_tau: 5.77000E-01
Vergleichsspannung
      sigma_v : 6.49923E+01 (3.1.4)
      sigma_vw: 5.33667E+01 (3.1.14)
plastische Stützzahl - npl
      eps_ref: 5.00000E-02  Entfestigungsfaktor: 8.80000E-01
      npl: 1.00000E+00  E: 2.10000E+05  Kp: 1.00000E+00 (3.3.13/14)
Bauteilfestigkeit - sigma_SK
      sigma_SK: 1.89200E+02 (3.4.2/3)  sigma_SKw: 1.89200E+02 (3.4.4/5)
Vergleichsauslastungsgrad - aSK
      aSK: 9.68701E-01  sigma_v: 6.49923E+01  sigma_SK: 1.89200E+02  jges: 2.82000E+00 (3.6.14/15)
      aSKw: 7.95423E-01  sigma_vw: 5.33667E+01  sigma_SKw: 1.89200E+02  jges: 2.82000E+00 (3.6.16/17)
Auslastungsgrad = 96.9%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht
  
```

Das Protokoll zeigt uns für den Auslastungsgrad

ask = 0,967

an. Dies ist damit mit dem Ergebnis aus dem FKM-Beispiel von 0,97 praktisch identisch.

Der Auslastungsgrad ***askw*** stellt den Wert für eine Schweißnaht dar, was in unserem Fall aber nicht relevant interessant ist, da an dieser Stelle gar keine Schweißnaht vorliegt. Die Berechnung erfolgte auf der Basis der Default-Werte der Eingabemaske.

37.5. Nachweis statisch SN Punkt A

Wir kopieren das Projekt und benennen es

example_36_FKM_stat_SN.wlf

37.5.1. Wöhlerlinie

Wir wählen

Wöhlerlinie / EDIT

Und geben die Daten unserer Schweißnaht ein, die in der Aufgabenstellung genannt sind.

Wöhlerlinie
✕

Parameter

Werkstoff	Aluknet n. aushärtbar ▾		Kv	1,000	
Rm	305,000	[N/mm²]	Temperatur	120,0	[°C]
Rp	215,000	[N/mm²]	Temperaturdauer	100000	[h]
A	11,00	[%]	Eigenspannungen	maße ▾	?
Rauhtiefe	1,00	[µm]	Eigenspannungsfaktor	1,26	
Randschichtverfahren	ohne ▾		Sicherheitsfaktor (jD)	1,5284	...
Bauteilklasse	40	?	Sicherheitsfaktor (ges)	2,8200	
Bauteilklasse T	28	?	Sicherheitsfaktor (SN)	2,8200	
Schweißnahtf. Zug	0,55	?	Blechdicke	35,00	[mm]
Schweißnahtf. Druck	1,00	?	Art der Schweißverbindung	Fall A4 ▾	?
Schweißnahtf. Schub	1,00	?			
Entfestigungsfaktor	0,88	?			

Identifikation

Kurzname

Werkstoffnummer

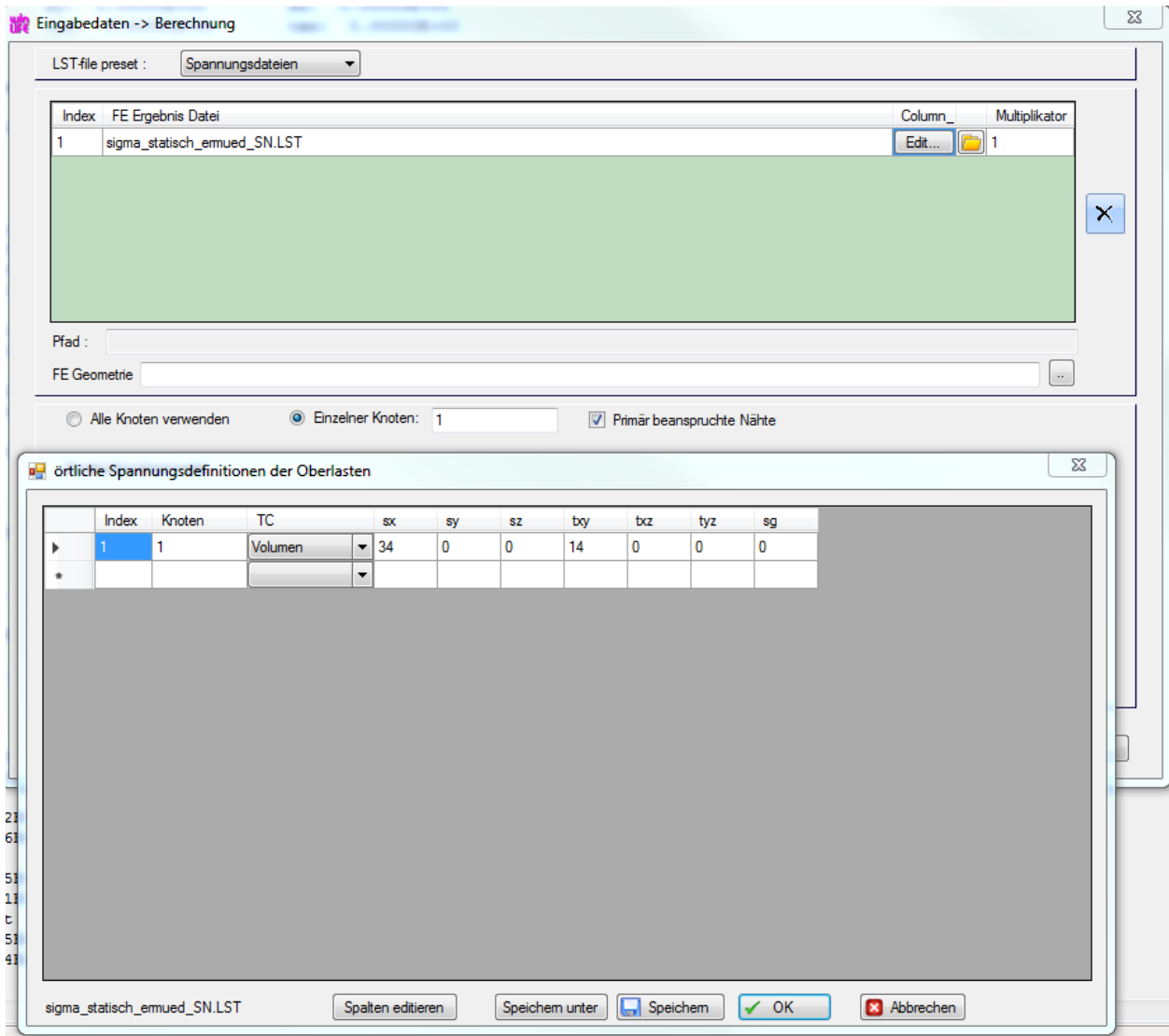
Bemerkung

EN AW-5083
 Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach
 DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

37.6. Berechnung

Es werden die Daten der gegebenen Spannungen eingetragen.



Anschließend wird auf Berechnen geklickt

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	sigma_statisch_ermued_SN.LST	Edit...	1

Pfad :

FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
 ☒ Einzelner Knoten:
☒ Primär beanspruchte Nähte

Konstruktionskennwerte

Lastverhältnis: wechselnd
 R_x:
 R_y:
 R_z:

Berechnungsverfahren: Dauerfestigkeit
 N_{quer_x}:
 N_{quer_y}:
 N_{quer_z}:

plastische Formzahl K_p:

Auslastungsgrad = 99,6%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht
Auslastungsgrad = 285,5%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde nicht erbracht

Das Ergebnis des statischen Auslastungsgrades wird sofort erhalten. Im Protokoll werden Details angegeben.

Protokoll: D:\winlife_test\fkM_pure\example_36_FKM_stat_SN.ptk
26.04.2017 17:36:41

Werkstoffkennwerte

R_m: 3.05000E+02 RP: 2.15000E+02

Spannungen aus der Summe der Lastfälle

s_x: 3.40000E+01 s_y: 0.00000E+00 s_z: 0.00000E+00
 t_{xy}: 1.40000E+01 t_{yz}: 0.00000E+00 t_{xz}: 0.00000E+00

Statischer Festigkeitsnachweis für den Knoten 1

Temperaturfaktor

K_{T,m} = K_{T,p}: 9,10000E-01 (3.2.22 - 3.2.27)
 K_{Tt,m}: 3,66667E-01 (3.2.29)
 K_{Tt,p}: 3,66667E-01 (3.2.29)

Hauptspannungen

h₁: 3.90227E+01 h₂: 0.00000E+00 h₃: -5.02272E+00

Duktilitätsfaktor q, Festigkeitsfaktor f_{sigma}, Gussfaktor K_{NL}

f_{sigma}: 0.00000E+00 q: 1.00000E+00 K_{NL}: 1.00000E+00 (Zug)
 f_{sigma}: 0.00000E+00 q: 1.00000E+00 K_{NL}: 1.00000E+00 (Druck)
 f_{tau}: 5.77000E-01

Vergleichsspannung

sigma_v: 4.17612E+01 (3.1.4)
 sigma_{vw}: 3.67696E+01 (3.1.14)

plastische Stützzahl - n_{pl}

eps_{ref}: 5.00000E-02 Entfestigungsfaktor: 8.80000E-01
 n_{pl}: 1.00000E+00 E: 2.10000E+05 K_p: 1.00000E+00 (3.3.13/14)

Bauteilfestigkeit - sigma_{SK}

sigma_{SK}: 1.89200E+02 (3.4.2/3) sigma_{SKw}: 1.04060E+02 (3.4.4/5)

Vergleichsauslastungsgrad - a_{SK}

a_{SK}: 6.22445E-01 sigma_v: 4.17612E+01 sigma_{SK}: 1.89200E+02 j_{ges}: 2.82000E+00 (3.6.14/15)
 a_{SKw}: 9.96446E-01 sigma_{vw}: 3.67696E+01 sigma_{SKw}: 1.04060E+02 j_{ges}: 2.82000E+00 (3.6.16/17)

Auslastungsgrad = 99,6%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

Auslastungsgrad = 99,6%, statischer Festigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

Das Ergebnis von 0,996 stimmt gut mit dem Wert von 1,0 aus der FKM-Richtlinie überein.

37.7. Nachweis Ermüdungsfestigkeit SN Punkt A

37.8. Wöhlerlinie

Die Wöhlerlinie wird unverändert übernommen.

The screenshot shows the 'Wöhlerlinie' software window. It contains two main sections: 'Parameter' and 'Identifikation'.

Parameter Section:

Parameter	Value	Unit
Werkstoff	Aluknet n. aushärtbar	
Rm	305,000	[N/mm ²]
Rp	215,000	[N/mm ²]
A	11,00	[%]
Rauhtiefe	1,00	[µm]
Randschichtverfahren	ohne	
Bauteilklasse	40	
Bauteilklasse T	28	
Schweißnahtf. Zug	0,55	
Schweißnahtf. Druck	1,00	
Schweißnahtf. Schub	1,00	
Entfestigungsfaktor	0,88	
Kv	1,000	
Temperatur	120,0	[°C]
Temperaturdauer	100000	[h]
Eigenspannungen	mäßig	
Eigenspannungsfaktor	1,26	
Sicherheitsfaktor (jD)	1,5284	
Sicherheitsfaktor (ges)	2,8200	
Sicherheitsfaktor (SN)	2,8200	
Blechdicke	35,00	[mm]
Art der Schweißverbindung	Fall A4	

Identifikation Section:

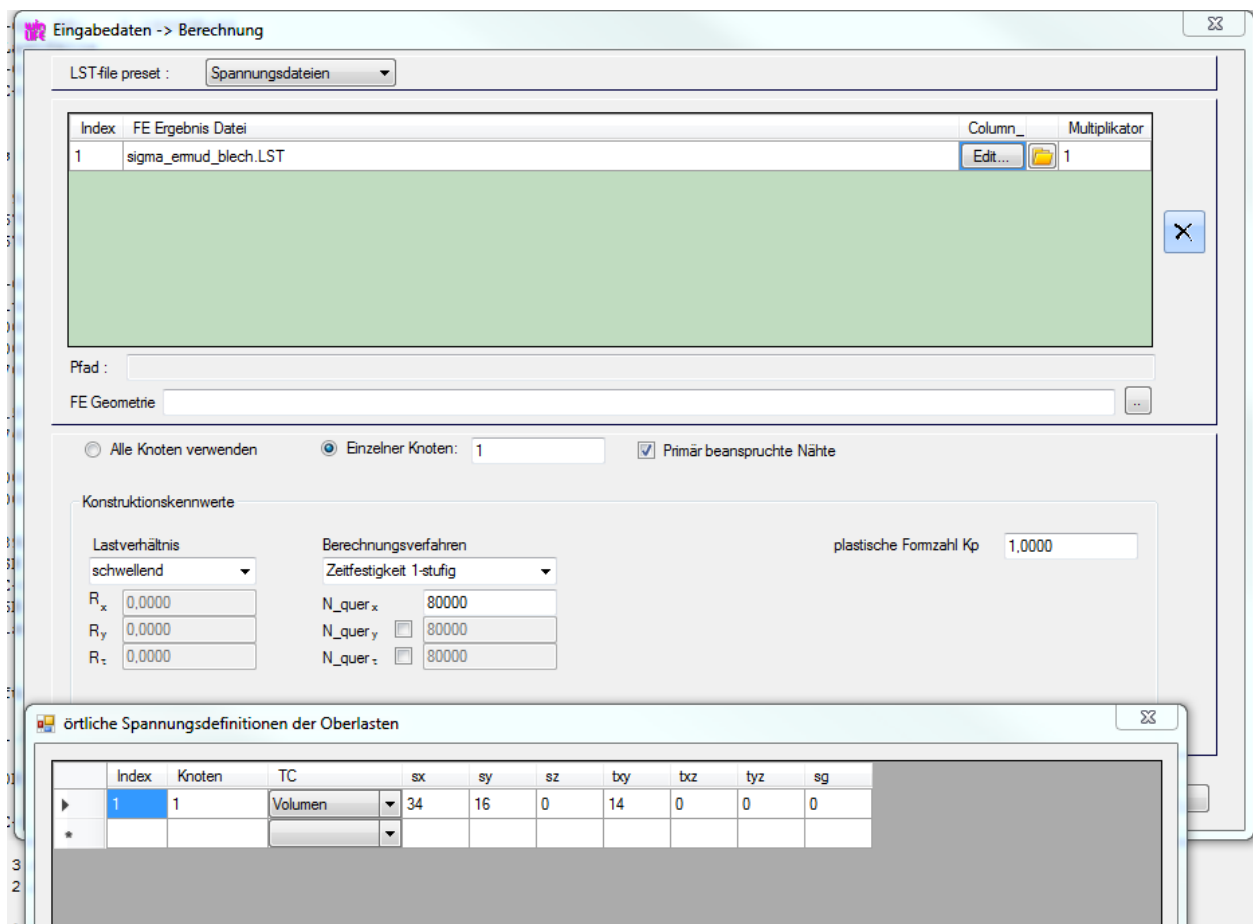
Kurzname: AlMg4,5Mn-7
Werkstoffnummer: 0
Bemerkung: EN AW-5083 Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

Buttons: OK, Abbrechen, Hilfe

37.8.1. Berechnung

Die gegebenen Spannungen sind als Oberspannungen mit korrektem Spannungsverhältnis anzugeben. Die geforderte Zyklenzahl ist einzugeben.



Auslastungsgrad = 70,1%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

Das Ergebnis von 70,1 % weicht geringfügig von dem FKM-Ergebnis ab. Ursache sind Rundungsungenauigkeiten.

```

Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Knoten 1
Bauteil-Normwerte
    sigma_W,zd: 1.37250E+02      fW,sigma: 4.50000E-01  Rm: 3.05000E+02 (4.2.1)
Temperaturfaktor
    KT,D: 9.16000E-01 (4.2.4)
Dickenfaktor
    f_t: 9.03986E-01 (4.3.23-27)
Umrechnungsfaktor
    f_FAT_sigma: 3.68403E-01      ND: 5.00000E+06      k: 3.00000E+00      NC: 2.00000E+06 (4.3.22)
    f_FAT_tau: 2.28653E-01      ND: 1.00000E+08      k: 5.00000E+00
Bauteil-Wechselhaftigkeit
    sigma_s_WK: 1.33212E+01      FAT: 4.00000E+01      KV: 1.00000E+00      KNL,E: 1.00000E+00 (4.4.2)
    tau_WK: 5.78756E+00      FAT: 2.80000E+01      KV: 1.00000E+00      KNL,E: 1.00000E+00
Mittelspannungsfaktor
    KAK_sigma_s: 8.69565E-01      R: 0.00000E+00      sm/sa: 1.00000E+00
    KAK_tau: 9.17431E-01      R: 0.00000E+00      sm/sa: 1.00000E+00
Amplitude der Bauteil-Dauerfestigkeit
    sigma_s_AK: 1.45955E+01      K_e: 1.26000E+00      K_AK: 8.69565E-01      M: 1.50000E-01 (4.4.7)
    tau_AK: 6.10614E+00      K_e: 1.15000E+00      K_AK: 9.17431E-01      M: 9.00000E-02
ertragbare Nennwerte der Amplitude
    sigma_s_BK: 5.79221E+01      KBK_sigma: 3.96850E+00 (4.4.39)
    tau_BK: 2.54184E+01      KBK_tau: 4.16277E+00
Maximalwert der Amplitude
    sigma_BKmax_s: 7.80450E+01 (4.4.41)
    tau_BKmax: 1.41900E+02
Nachweis - einzelne Spannungsarten      jD: 1.52840E+00
    aBK_sigma_s: 4.48582E-01      sa: 1.70000E+01      sigma_BK: 5.79221E+01 (4.6.4)
    aBK_tau: 4.20907E-01      sa: 7.00000E+00      tau_BK: 2.54184E+01
Nachweis - zusammengesetzte Spannungsarten
    aBK_sigma_wv: 7.01228E-01 (4.6.13)
Auslastungsgrad = 70.1%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

```

37.9. Nachweis Ermüdungsfestigkeit durchgehendes Blech Punkt D

37.9.1. Wöhlerlinie

Die Wöhlerlinie wird übernommen. Die Wanddickenänderung ist one Einfluß auf den Sciehrehthiwsfaktor, da dieser entsprechend der FKM Richtlinie übernommen wurde.

Wöhlerlinie

Parameter

Werkstoff	Aluknet n. aushärtbar		Kv	1,000	
Rm	305,000	[N/mm ²]	Temperatur	120,0	[°C]
Rp	215,000	[N/mm ²]	Temperaturdauer	100000	[h]
A	11,00	[%]	Eigenspannungen	maße	?
Rauhtiefe	1,00	[µm]	Eigenspannungsfaktor	1,26	
Randschichtverfahren	ohne		Sicherheitsfaktor (jD)	1,5284	...
Bauteilklasse	40	?	Sicherheitsfaktor (ges)	2,8200	
Bauteilklasse T	28	?	Sicherheitsfaktor (SN)	2,82	
Schweißnahtf. Zug	0,55	?	Blechdicke	28,00	[mm]
Schweißnahtf. Druck	1,00	?	Art der Schweißverbindung	Fall A4	?
Schweißnahtf. Schub	1,00	?			
Entfestigungsfaktor	0,88	?			

Identifikation

Kurzname
AlMg4,5Mn-,7

Werkstoffnummer
0

Bemerkung
EN AW-5083
Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach
DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern
Pfad zur Datenbank...

37.9.2. Berechnung

Eingabedaten -> Berechnung

LST-file preset : Spannungsdateien

Index	FE Ergebnis Datei	Column_	Multiplikator
1	sigma_emued_durchg_blech.LST	Edit...	1

Pfad :

FE Geometrie

☐ Alle Knoten verwenden
 ☒ Einzelner Knoten:
☒ Primär beanspruchte Nähte

Konstruktionskennwerte

Lastverhältnis: R-Eingabe
 R_x
 R_y
 R_z

Berechnungsverfahren: Zeitfestigkeit 1-stufig
 N_{quer x}
 N_{quer y}
 N_{quer z}

plastische Formzahl Kp

örtliche Spannungsdefinitionen der Oberlasten

Index	Knoten	TC	sx	sy	sz	bxy	bcx	tyz	sg
1	1	Volumen	-16	0	0	12	0	0	0

Man beachte, dass die Oberspannung einzugeben ist und die Spannungsponenten unterschiedliche Spannungsverhältnisse aufweisen.

Das Protokoll zeigt das Ergebnis von 55,7 % an. Die Ergebnisse sind vergleichbar, jedoch ist in der FKM-Richtlinie ist der Sicherheitsfaktor j_D falsch berechnet. Dort wurde mit $j_D=1,457$ gerechnet, der korrekte Wert muß jedoch 1,52 betragen. Auch dieser Fehler wurde von FKM bestätigt.

Auslastungsgrad = 55,7%. Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

```

Ermüdungsfestigkeitsnachweis für den Knoten 1
Bauteil-Normwerte
    sigma_W,zd: 1.37250E+02      fW,sigma: 4.50000E-01  Rm: 3.05000E+02  (4.2.1)
Temperaturfaktor
    KT,D: 9.16000E-01  (4.2.4)
Dickenfaktor
    f_t: 9.66573E-01  (4.3.23-27)
Umrechnungsfaktor
    f_FAT_sigma: 3.68403E-01      ND: 5.00000E+06      k: 3.00000E+00      NC: 2.00000E+06  (4.3.22)
    f_FAT_tau: 2.28653E-01      ND: 1.00000E+08      k: 5.00000E+00
Bauteil-Wechselhaftigkeit
    sigma_s_WK: 1.42435E+01      FAT: 4.00000E+01      KV: 1.00000E+00      KNL,E: 1.00000E+00  (4.4.2)
    tau_WK: 6.18826E+00      FAT: 2.80000E+01      KV: 1.00000E+00      KNL,E: 1.00000E+00
Mittelspannungsfaktor
    KAK_sigma_s: 1.17647E+00      R: 3.25000E+00      sm/sa: -1.88889E+00
    KAK_tau: 9.17431E-01      R: 0.00000E+00      sm/sa: 1.00000E+00
Amplitude der Bauteil-Dauerfestigkeit
    sigma_s_AK: 2.11140E+01      K_e: 1.26000E+00      K_AK: 1.17647E+00      M: 1.50000E-01  (4.4.7)
    tau_AK: 6.52890E+00      K_e: 1.15000E+00      K_AK: 9.17431E-01      M: 9.00000E-02
ertragbare Nennwerte der Amplitude
    sigma_s_BK: 8.37908E+01      KBK_sigma: 3.96850E+00  (4.4.39)
    tau_BK: 2.71783E+01      KBK_tau: 4.16277E+00
Maximalwert der Amplitude
    sigma_BKmax_s: 7.80450E+01  (4.4.41)
Begrenzung der Maximalamplitude
    sigma_s_BK: 7.80450E+01      KBK_sigma_s: 3.69637E+00
    tau_BKmax: 1.41900E+02
Nachweis - einzelne Spannungsarten      jD: 1.52840E+00
    aBK_sigma_s: 3.52504E-01      sa: 1.80000E+01      sigma_BK: 7.80450E+01  (4.6.4)
    aBK_tau: 3.37416E-01      sa: 6.00000E+00      tau_BK: 2.71783E+01
Nachweis - zusammengesetzte Spannungsarten
    aBK_sigma_wv: 5.56929E-01  (4.6.13)
Auslastungsgrad = 55.7%, Ermüdungsfestigkeitsn. des Knoten 1 wurde erbracht

```

37.10. Berechnung mit Zeitsignalen

Ziel der folgenden Berechnung des zuvor behandelten Beispiels – nun jedoch mit dem winLIFE BASIC -Modul – ist es zu zeigen, wie eine Berechnung mit einem Zeitsignal aussehen würde. Aufwändiger ist dies deshalb, weil deutlich mehr Eingaben und Daten dazu erforderlich sind. Für den Fall, dass die vereinfachenden Annahmen in der FKM-Richtlinie ausreichen, ist die Anwendung nach FKM-Richtlinie empfehlenswert. Oftmals sind die Randbedingungen der Aufgabenstellung deutlich komplexer, so dass dann die FKM-Richtlinie nicht mehr ausreicht und hier nachfolgend beschriebene Weg beschritten werden kann.

37.11. Auswertung der Normalspannung $\sigma_{\perp}$

Zunächst wird ein Projekt für die Normalspannung $\sigma_{\perp}$ erzeugt: *example_36_Sigma_vertical.wlf*

Es wird der Werkstoff im Menü *Wöhlerlinie* festgelegt. Der Werkstoff EN-AW 5083H22 liegt in der winLIFE 4.0FKM-Datenbank vor und kann wie folgt gewählt werden:

Menü *Wöhlerlinie* → *Laden FKM...*

Daraufhin öffnet sich ein Fenster und es wird im Feld *Sorte* der Werkstoff: *EN AW-5083* eingetragen. Der gesuchte Werkstoff erscheint und man wählt aus der Liste den Zustand *H22/H32* mit der Bruchdehnung 9%. Die Belastung ist *Zug/Druck* für die Normalspannung.

FKM Wöhlerlinie laden

Filter : Werkstoff : Bezeichnung nach DIN : Sorte : Belastung : FKM Richtlinie

	Werkstoff	Bezeichnung nach DIN	Sorte	Belastung	Bezeichnung	Werkstoff Nr.	Zustand	Rm	Re	A	Mittel
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Torsion	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	7	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Zug/Druck	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	8	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Biegung	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	8	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Schub	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	8	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Torsion	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	8	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Zug/Druck	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	10	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Biegung	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	10	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Schub	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	10	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Torsion	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	10	0,28%
▶	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Zug/Druck	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	9	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Biegung	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	9	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Schub	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	9	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Torsion	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	9	0,28%
	Aluknet	AlMg4,5Mn-.7	EN AW-5083	Zug/Druck	Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, P...	0	H22/H32	305	215	9	0,28%

Neurndicke : Neurndicke von 12,5 bis 40

Bruchdehnung : Bruchdehnung A [%] 9;

Bemerkung : Bruchdehnung A mit Messlänge = 50mm; Bei Aluminiumknetwerkstoff wird der Größenfaktor vernachlässigt (ad,m = 0)

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffauswahl aus der FKM Datenbank

Die zu ergänzenden Werkstoffangaben werden auf der rechten Seite im Wöhlerliniendiagramm eingetragen. Es handelt sich um die Bauteilklasse 40 (FAT-Klasse), die Blechdicke 35mm, die Art der Schweißverbindung A4 und den Sicherheitsfaktor 1,457. Schließlich ergibt sich folgende Abbildung für die Eingaben zu der Wöhlerlinie. Es wird *generieren* gedrückt.

Wöhlerlinie

Gener.FKM>> Gener. GL >> Ausfallwahrsch. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Strukturspannungskonzept (R=-1)

Rm (Zug/Druck) 305,000 [N/mm²]
Re (Zug-Druck) 215,000 [N/mm²]
Steigung (*) 3,000
Steigung 2 (*) 3,000
Zug/Druck w. 14,736 [N/mm²]
Dauerfestigkeit (*) 11,520 [N/mm²]
Eeklastspielzahl (*) 5000000
Mittelspannungsempf. (*) 0,1500000
Belastung (*) Zug/Druck
Werkstoff Aluknet n. aushärtba
Ausfallwahrscheinlichkeit 2,5000 [%]
ZDw/Tw (*, nur MUX) 1,61119

dynamische Schweißnähte nach FKM

Werkstoff Aluknet n. aushärtba
Belastung Zug/Druck
Rm 305,000 [N/mm²]
Re 215,000 [N/mm²]
Bauteilklasse 40 ?
Kv 1,000 ?
Temperatur 120,0 [°C]
Eigenspannungen mäßig ?
Eigenspannungsfaktor 1,26
Blechdicke 35,00 [mm]
Art der Schweißverbindung Fall A4 ?
Sicherheitsfaktor (j) 1,4570 ...

generieren ☒ Protokoll anzeigen

Identifikation

Kurzname Bsp_neu_FKM6_6_ENAW5083H22Al
Werkstoffnummer 0
Bemerkung
EN AW-5083
Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach
DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Werkstoffangaben

```

Protokoll-Generierung der Wöhlerlinie für dyn. Schweißnähte nach FKM

K_T,D      = 0,916
K_E,sigma  = 1,260
f_t        = 0,904
K_NL,E     = 1,000
N_D,sigma  = 5000000,000
k,sigma    = 3,000
f_FAT,sigma = 0,368
            = 0,500 * (2000000 / N_D,sigma)^(1/k_sigma)
            = 0,500 * (2000000 / 5000000,000)^(1/3,000)

S_WK,sigma = 14,736
            = FAT * f_FAT,sigma
            = 40,000 * 0,368

Sigma_WK,sigma = 13,321
            = S_WK,sigma * f_t * K_V * K_NL,E
            = 14,736 * 0,904 * 1,000 * 1,000

j_ges      = 1,457
M_sigma    = 0,1500000
S_AK,sigma = 11,520
            = Sigma_WK,sigma * K_E,sigma/j_ges
            = 13,321 * 1,260 / 1,457

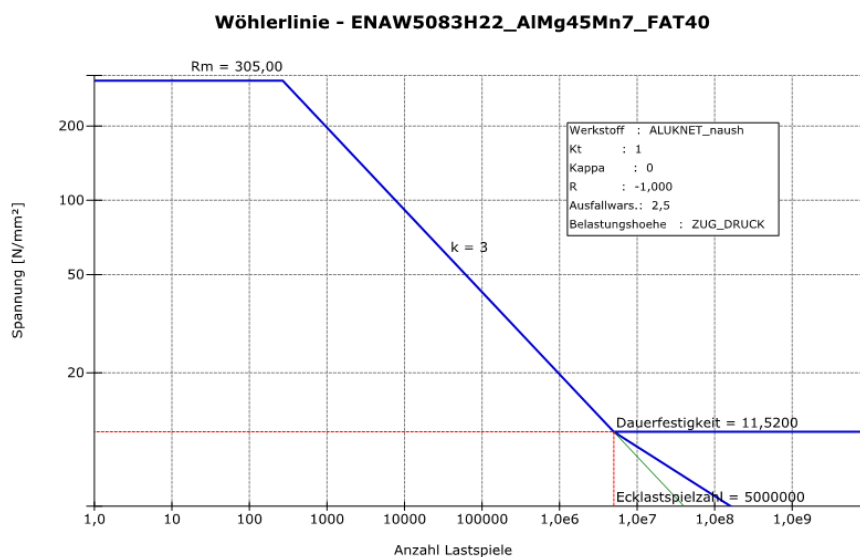
```

Protokoll über die Wöhlerliniengenerierung

Aus den gerade getätigten Eingaben wird eine Wöhlerlinie erzeugt. Über die Befehlsfolge

Menü *Wöhlerlinie* → *Wöhlerlinie*

wird diese gezeigt. Bei Bedarf kann die Wöhlerlinie skaliert werden. Dazu wird die rechte Maustaste gedrückt, wenn man sich über eine Achse befindet und aus dem Kontextmenü *Min/Max-Wert* gewählt.

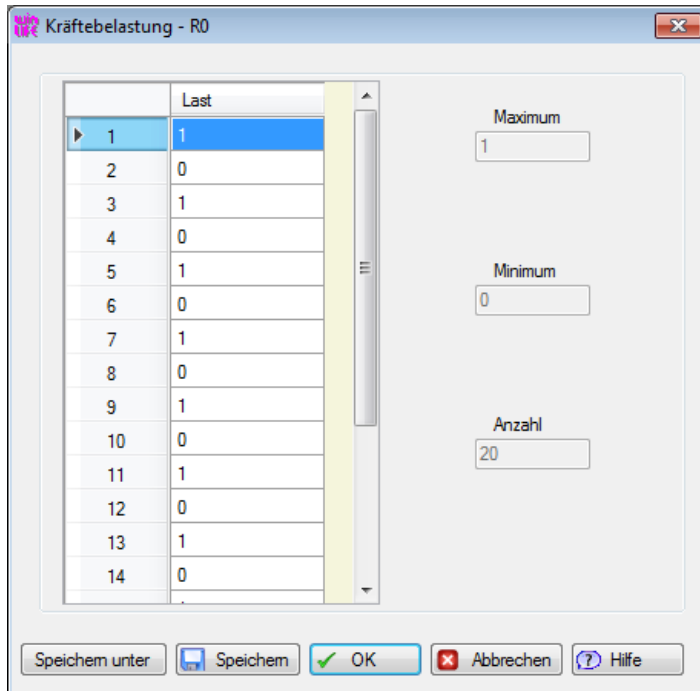


Wöhlerlinie für das Material EN-AW 5083 H22

Nun folgt der Schritt der Belastungseingabe:

Menü *Belastung* → *Generieren* → *Kräftebelastung*

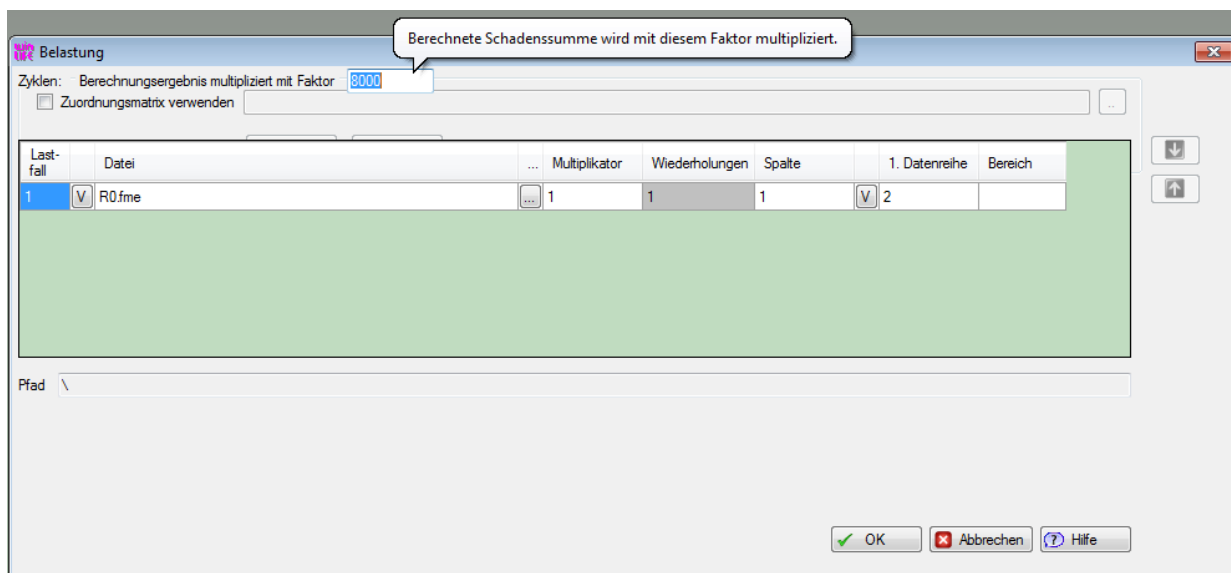
Für die schwellende Belastung werden die Umkehrpunkte angegeben. Hier sind insgesamt 20 Werte eingetragen, die somit 10 Zyklen darstellen. Diese Liste wird z.B. als *R0.fme* gespeichert.



Definition der Kräftebelastung

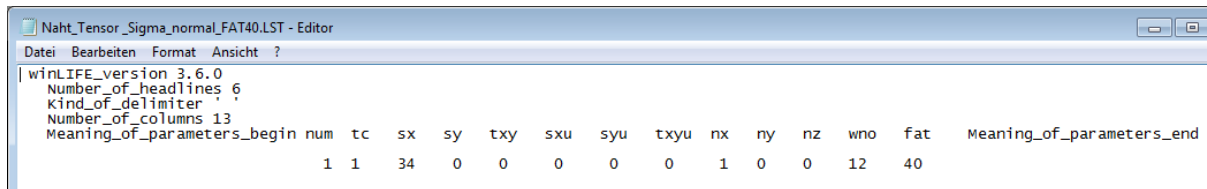
Im Dialog *Belastung* wird die gerade erzeugte FME-Datei angegeben. Die im Betrieb maximal auftretende Zyklenzahl von 80000 wird berücksichtigt durch die Angabe von 8000 als Faktor für die Schadenssumme und die wirkenden 10 Zyklen in der FME-Datei.

Belastung → *Import aus Dateien...*



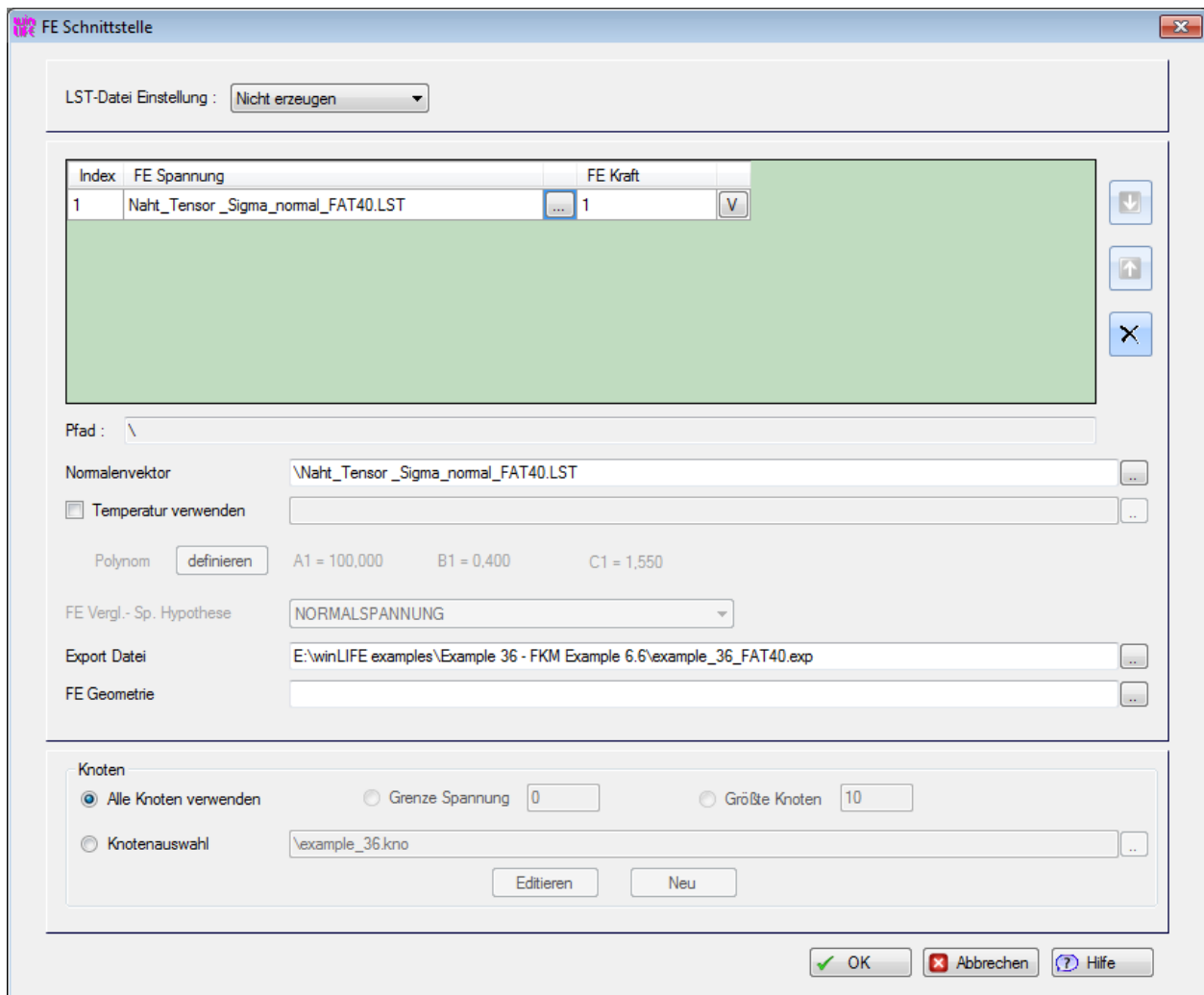
Angaben im Dialog Belastung

Zunächst erfolgt die Eingabe der örtlichen Spannungen am Nachweispunkt. Dazu wird eine LST-Datei benötigt. Die von Steinbeis zur Verfügung gestellte Datei *Naht_Tensor_Sigma_normal_FAT40.LST* kann verwendet werden. Die Spannung $\sigma_{a,\perp} + \sigma_{m,\perp} = 17 + 17 = 34\text{MPa}$ wird als σ_x verstanden.



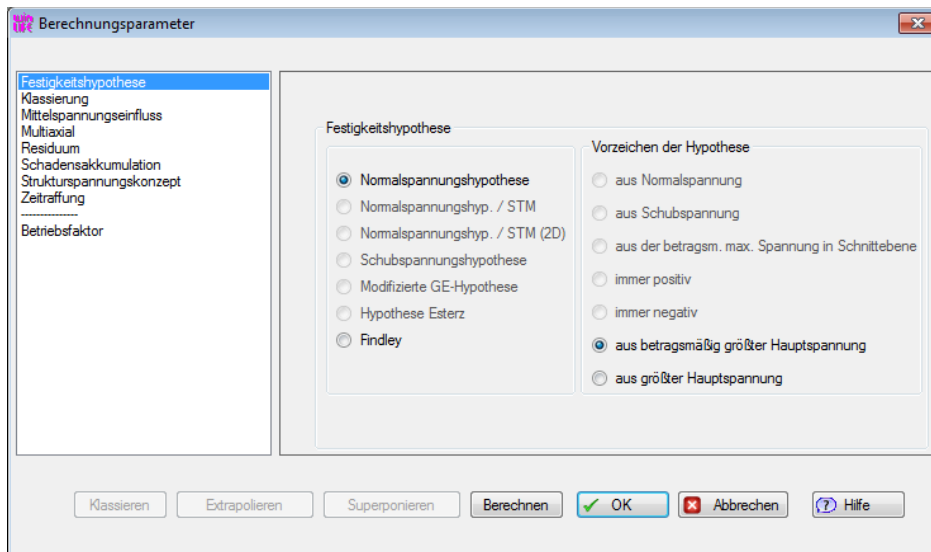
Angabe der örtlichen Spannung senkrecht

Die LST Datei enthält auch die Beschreibung des Normalenvektors zur Schweißnaht und wird daher an der Stelle Normalenvektor eingetragen.

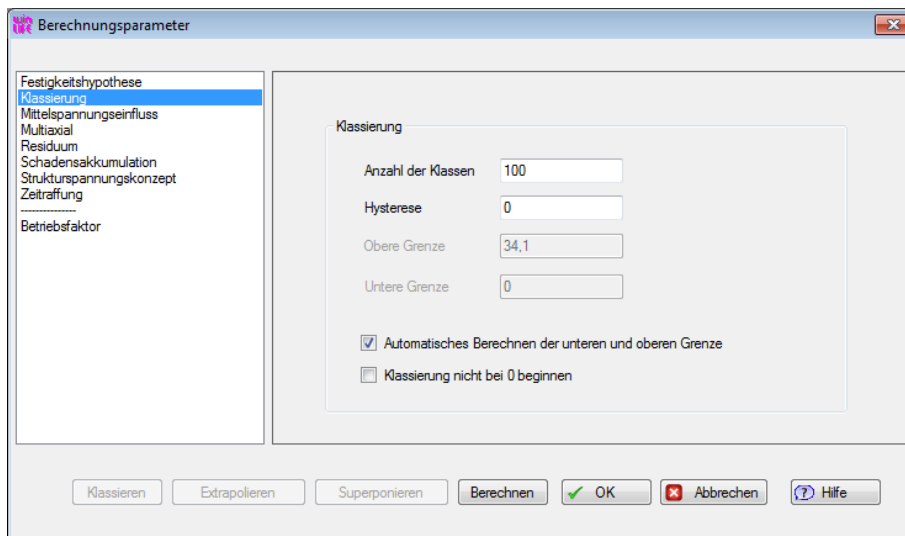


Angaben im FE-Schnittstellendialog

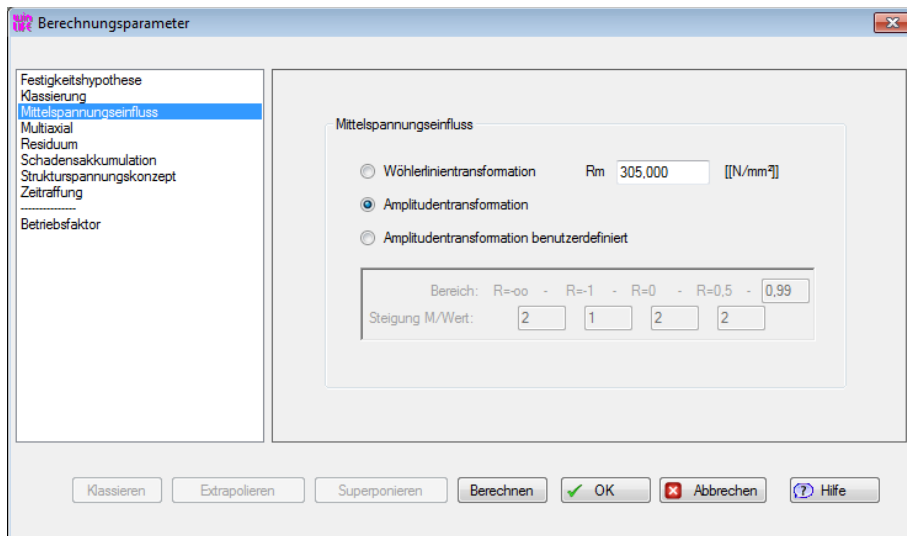
Die folgenden Abbildungen zeigen die gewählten Angaben und Optionen als Berechnungsparameter.



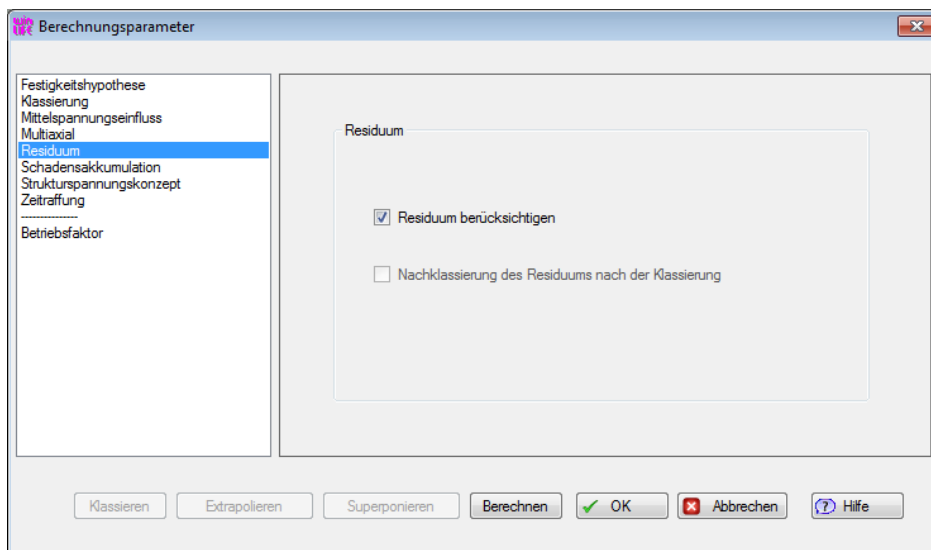
Wahl der Festigkeitshypothese



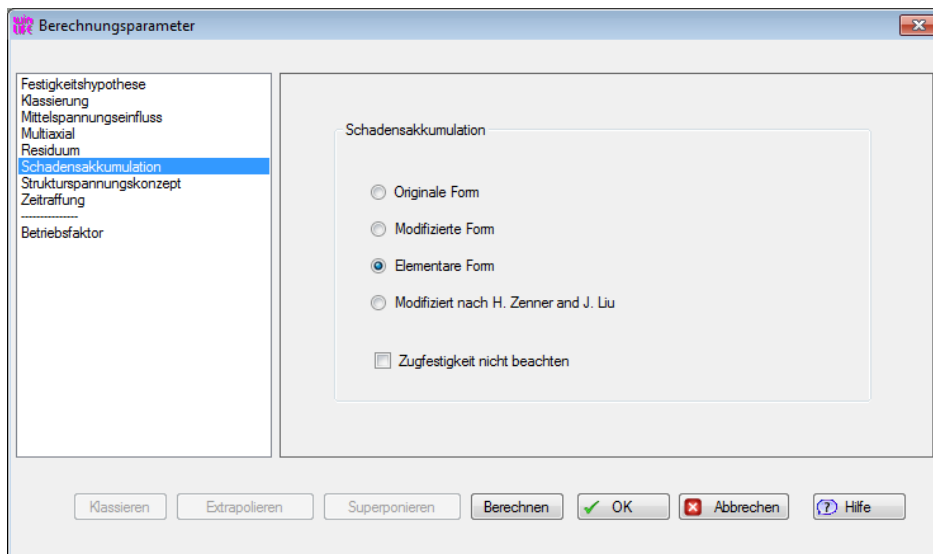
Angaben zur Klassierung



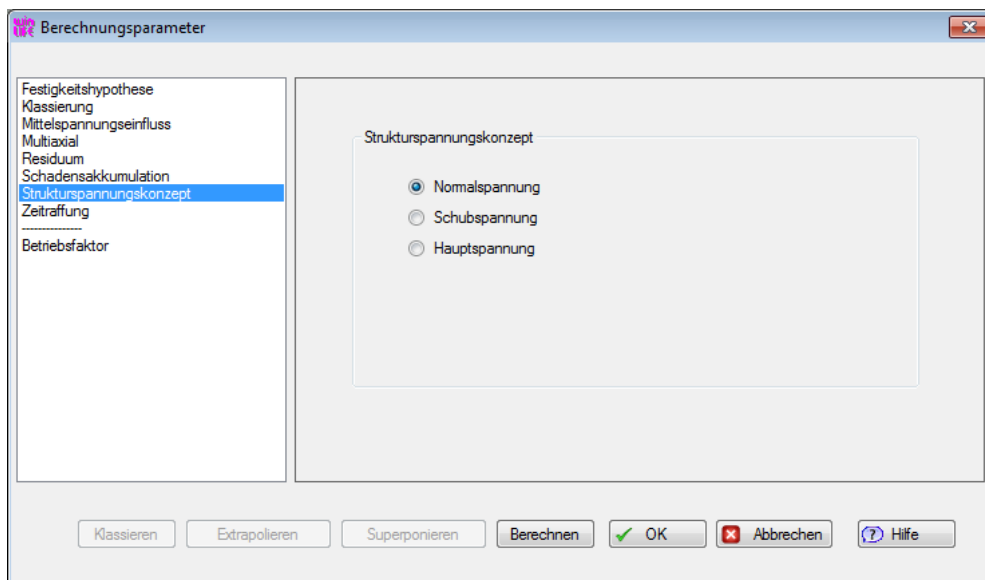
Angaben zur Berücksichtigung des Mittelspannungseinflusses



Berücksichtigung des Residuums

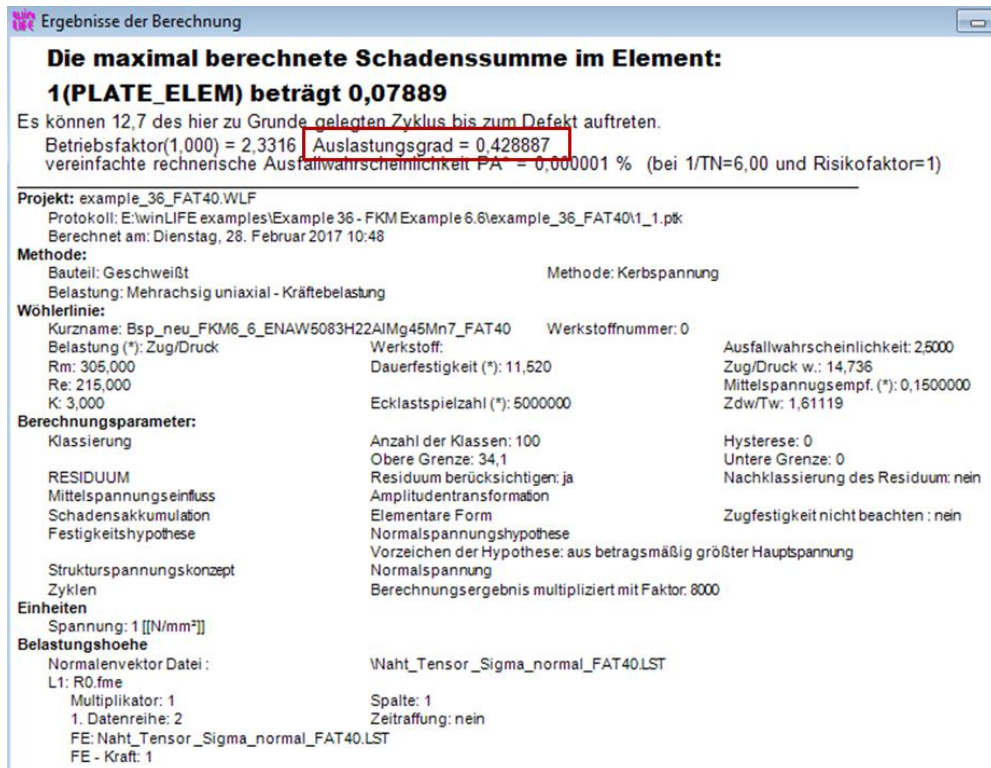


Einstellungen zur Schadensakkumulation



Einstellungen zur Multiaxialität

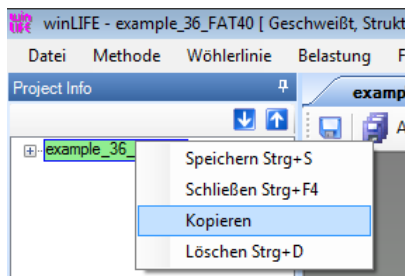
Nun wird die Festigkeitsberechnung durchgeführt durch Klicken auf den Button *Berechnen*. Der Auslastungsgrad für die Spannung senkrecht $\sigma_{\perp}$ beträgt ca. 43%.



Ergebnis des Auslastungsgrads, Spannung senkrecht

37.12. Auswertung der Spannung $\sigma_{||}$

Die parallel wirkende Spannung $\sigma_{||}$ wird wie anfangs erwähnt in einem eigenen Projekt berücksichtigt. Es ist hilfreich aus dem vorhandenen Projekt eine Kopie zu erzeugen. Dazu wird über die rechte Maustaste das Kontextmenü aufgerufen und der Befehl *Kopieren* verwendet. Den Projektnamen wählt man z.B. in Anlehnung zu dem ersten Projekt: *example_36_Sigma_parallel.wlf*



Anlegen einer Projektkopie

Die Wöhlerlinie wird hinsichtlich der Bauteilklasse zu 36 verändert. Es wird die Schaltfläche *generieren* geklickt.

Wöhlerlinie

Gener.FKM>> Gener.GL>> Ausfallwahrsch.>> <<

Bauteilwöhlerlinie Strukturspannungskonzept (R=-1)

Rm (Zug/Druck) 305,000 [N/mm²]
 Re (Zug-Druck) 215,000 [N/mm²]
 Steigung (°) 3,000
 Steigung 2 (°) 3,000
 Zug/Druck w. 13,263 [N/mm²]
 Dauerfestigkeit (°) 10,368 [N/mm²]
 Ecklastspielzahl (°) 5000000
 Mittelspannungsempf. (°) 0,1500000
 Belastung (°) Zug/Druck
 Werkstoff Aluknet n. aushärtba
 Ausfallwahrscheinlichkeit 2,5000 [%]
 ZDw/Tw (°, nur MUX) 1,61119

dynamische Schweißnähte nach FKM

Werkstoff Aluknet n. aushärtba
 Belastung Zug/Druck
 Rm 305,000 [N/mm²]
 Re 215,000 [N/mm²]
 Bauteilklasse 36
 Kv 1,000
 Temperatur 120,0 [°C]
 Eigenspannungen mäßig
 Eigenspannungsfaktor 1,26
 Blechdicke 35,00 [mm]
 Art der Schweißverbindung Fall A4
 Sicherheitsfaktor (j) 1,4570

generieren ☐ Protokoll anzeigen

Identifikation

Kurzname Bsp_FKM6_6_ENAW5083H22AlMg4E
 Werkstoffnummer 0
 Bemerkung
 EN AW-5083
 Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach
 DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

Wöhlerlinienerzeugung für die FAT-Klasse 36

Die örtliche Spannung am Nachweispunkt liegt in folgender LST-Datei vor:

Naht_Tensor_Sigma_parallel_FAT36.LST - Editor

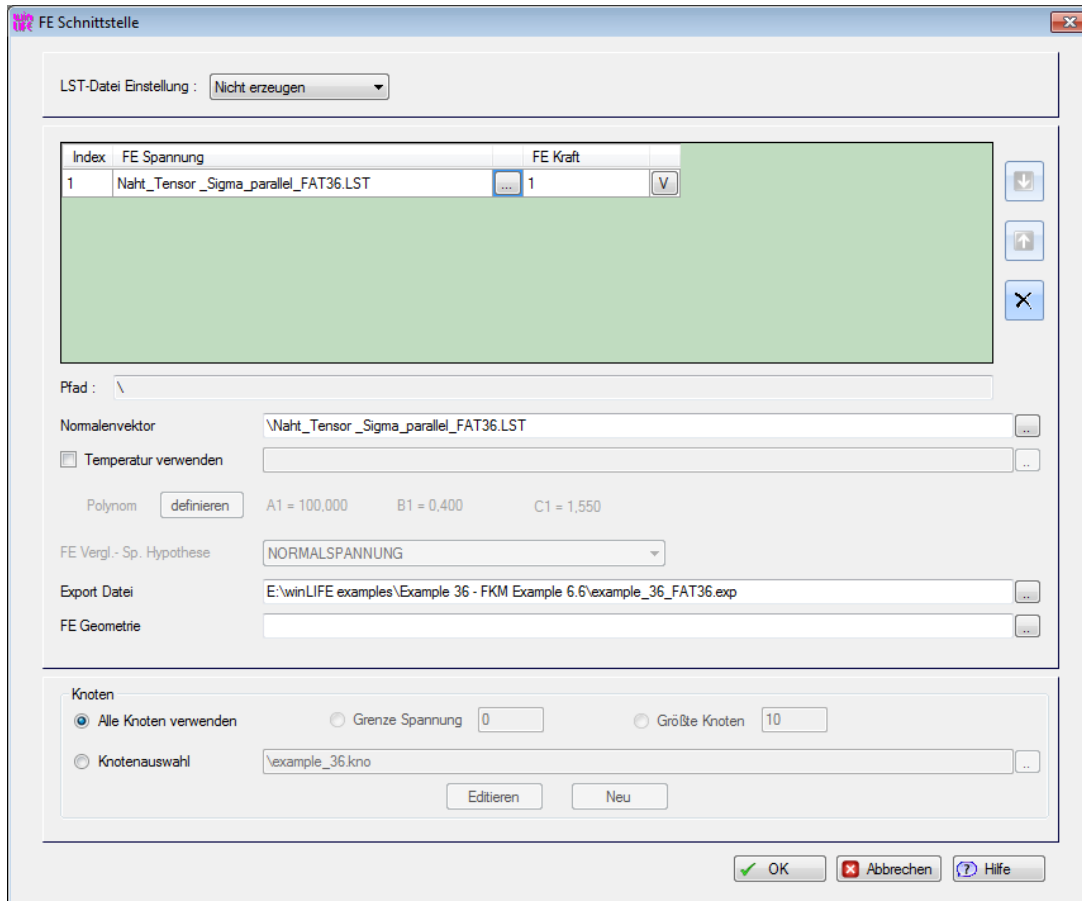
Datei Bearbeiten Format Ansicht ?

```

winLIFE_version 3.6.0
Number_of_headlines 6
kind_of_delimiter
Number_of_columns 13
Meaning_of_parameters_begin num tc sx sy txy sxu syu txyu nx ny nz wno fat Meaning_of_parameters_end
1 1 0 16 0 0 0 0 1 0 0 12 36

```

Angabe der örtlichen Spannung

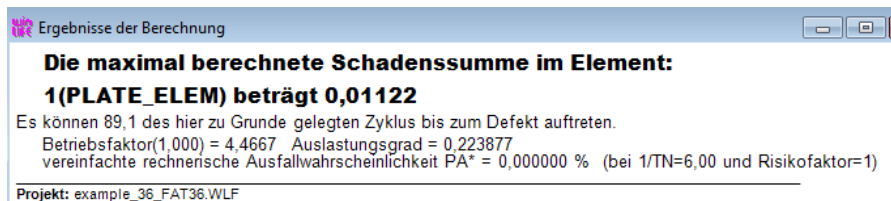


Angaben im FE-Schnittstellendialog

Die Lebensdauerberechnung wird durchgeführt.

Berechnen → Lebensdauer berechnen

Es ergibt sich ein Auslastungsgrad von 23% (Abbildung unten).



Berechnungsergebnis, Spannung parallel

37.13. Auswertung der Schubspannung

Es wird erneut eine Projektkopie erzeugt die Wöhlerlinie modifiziert. Die Belastung ist jetzt Schub und die FAT-Klasse (Bauteilklasse) beträgt 28.

Wöhlerlinie

Gener.FKM>> Gener. GL.>> Ausfallwahrsch. >> <<

Bauteilwöhlerlinie Strukturspannungskonzept (R=1)

Rm (Schub)	189,301	[N/mm ²]
Re (Zug-Druck)	133,442	[N/mm ²]
Steigung (*)	5,000	
Steigung 2 (*)	5,000	
Torsion w.	6,402	[N/mm ²]
Dauerfestigkeit (*)	4,568	[N/mm ²]
Ecklastspielzahl (*)	100000000	
Mittelspannungsempf. (*)	0,0865500	
Belastung (*)	Schub	
Werkstoff	Aluknet n. aushärtba	
Ausfallwahrscheinlichkeit	2,5000	[%]
ZDw/Tw (*, nur MUX)	1,61119	

Identifikation

Kurzname Bsp_FKM6_6_ENAW5083H22AlMg4E

Werkstoffnummer 0

Bemerkung
EN AW-5083
Aluminiumknetwerkstoff, Bänder, Bleche, Platten nach
DIN EN 485-2 (März 1995)

☐ Wöhlerlinie in Datenbank speichern Pfad zur Datenbank...

OK Abbrechen Hilfe

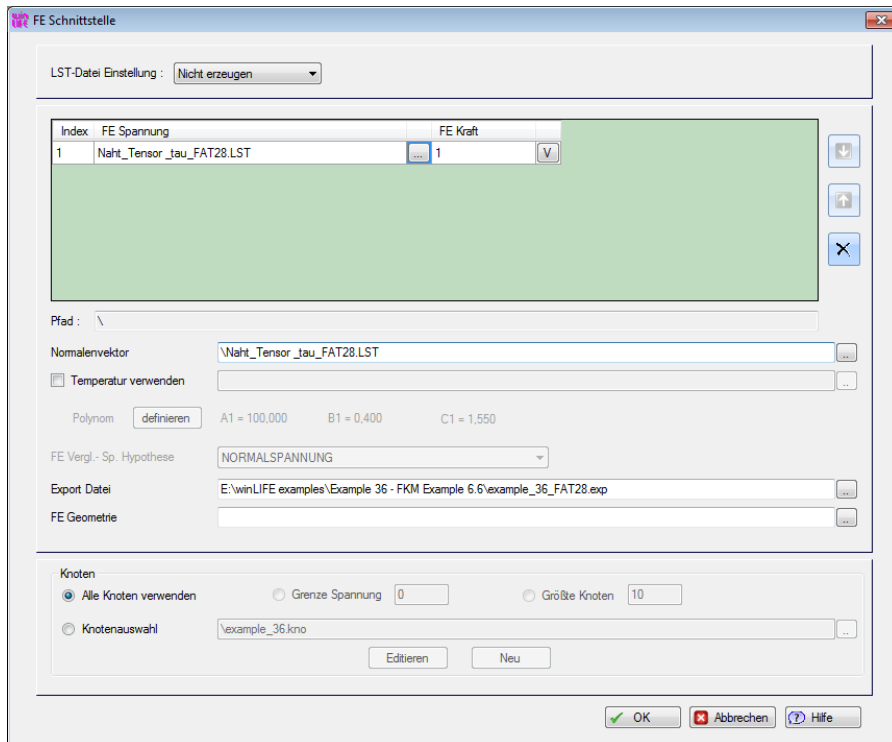
dynamische Schweißnähte nach FKM

Werkstoff	Aluknet n. aushärtbar	
Belastung	Schub	
Rm	305,000	[N/mm ²]
Re	215,000	[N/mm ²]
Bauteilklasse	28	?
Kv	1,000	?
Temperatur	120,0	[°C]
Eigenspannungen	mäßig	?
Eigenspannungsfaktor	1,15	
Blechdicke	35,00	[mm]
Art der Schweißverbindung	Fall A4	?
Sicherheitsfaktor (j)	1,4570	...

generieren ☐ Protokoll anzeigen

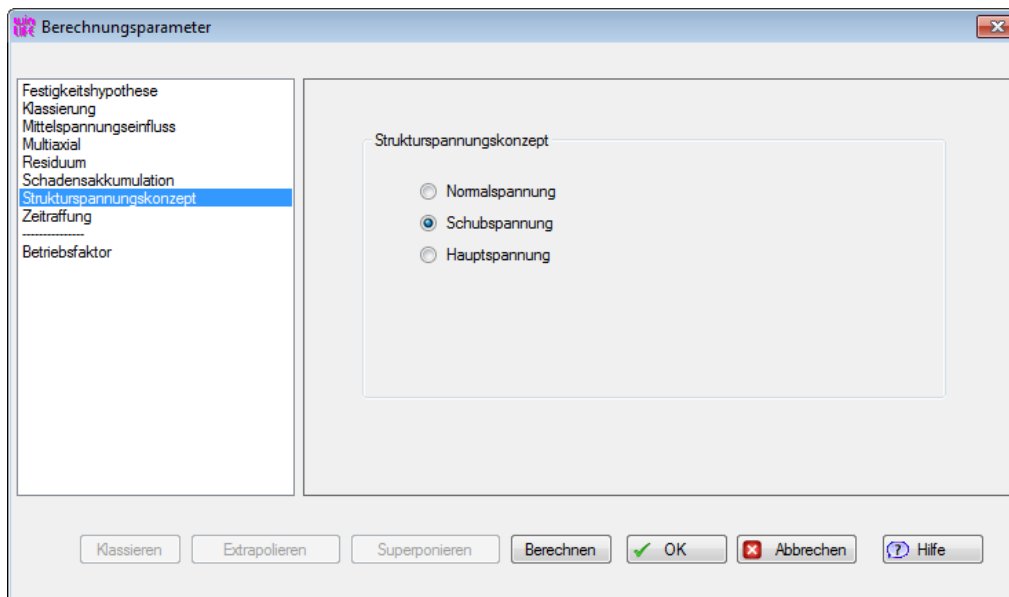
Wöhlerlinienerzeugung für die FAT-Klasse 28

Der Spannungstensor für die Schubbelastung wird eingetragen. Ebenfalls ist diese Datei unter Normalenvektor auszuwählen.



Angaben im Fenster FE-Schnittstelle

Die Auswertung erfolgt nach der Schubspannung.



Multiaxialität, Wahl der Schubspannung

Für den Auslastungsgrad ergibt sich ca. 40%.

Ergebnisse der Berechnung

Die maximal berechnete Schadenssumme im Element:
1(PLATE_ELEM) beträgt 0,01031

Es können 97,0 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.
 Betriebsfaktor(1,000) = 2,4966 Auslastungsgrad = 0,400553
 vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000 \%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

Berechnungsergebnis für die Schubspannung

37.14. Ergebnis

Die einzelnen Auslastungsgrade werden zu einem Vergleichsauslastungsgrad zusammengefasst.

Menü *Extras* → *Kombination Auslastungsgrad (FKM)*

Die Werkstoffkonstante q ist für die Schweißnahtauswertung nicht erforderlich. Es ist dennoch für q der Wert null (Aluminiumknetlegierung) angegeben. Die Spalte Auswahl stellt die Auslastungsgrade in die jeweiligen Richtungen dar.

Kombination Auslastungsgrad (FKM)

☒ Ebene Spannungszustände $q = 0$
☐ Räumliche Spannungszustände

	Projekt	Status	Auswahl	Schadenssumme
	example_36_FAT40	bereit	a_x	7,889133341e-02
	example_36_FAT36	bereit	a_y	1,122085903e-02
▶	example_36_FAT28	bereit	t_a	1,031093303e-02

Ergebnisdatei: E:\winLIFE examples\Example 36 - FKM Example 6.6\example_36_FAT40.csv

☐ Zeige Ergebnis im Viewer

Kombination Abbrechen Hilfe

Kombination der Auslastungsgrade

Es ergibt sich ein Gesamtauslastungsgrad für die Ermüdungsfestigkeit von 74%. Damit wird der Wert aus der FKM-Richtlinie von 73% bestätigt.

Kombination Auslastungsgrad (FKM)							
a_x	E:\winLIFE examples\Example 36 - FKM Example 6.6\example_36_FAT40.exp						
a_y	E:\winLIFE examples\Example 36 - FKM Example 6.6\example_36_FAT36.exp						
t_a	E:\winLIFE examples\Example 36 - FKM Example 6.6\example_36_FAT28.exp						
q	0,0000						
		a_x	a_y	t_a	a_GH	A_NH	a_komb
1 12		0,4289	0,2239	0,4006	0,5463	0,7398	0,5463

Ergebnis Gesamtauslastungsgrad

38. Beispiel 40 / Superposition

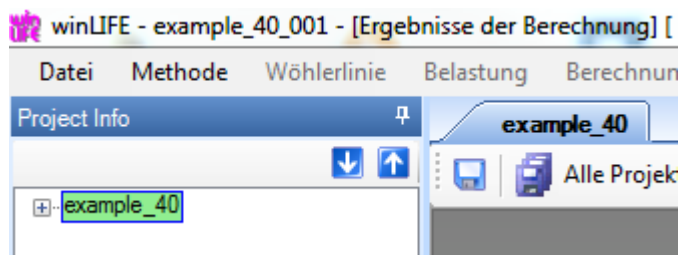
Aufgabenstellung

Oftmals werden Kurzzeitmessungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt, die nachträglich zu einem Gesamtereignis zusammengefaßt werden sollen. Beispiel ist ein Kraftfahrzeug, das auf verschiedenen Straßenarten (Landstraße, Autobahn, Feldweg) eingesetzt wird und für das man eine Aussage über die Gesamtschädigung über eine Gesamtstrecke machen möchte.

Es müssen dann diese Einzelmessungen entsprechend ihrem Anteil an der Gesamtstrecke skaliert und anschließend addiert werden. Genau dies passiert bei der Superposition.

38.2. Projekt

Es wird ein Projekt mit dem Namen example_40 angelegt. Dies erscheint dann im Datenbaum und als Reiter.



38.3. Methode wählen

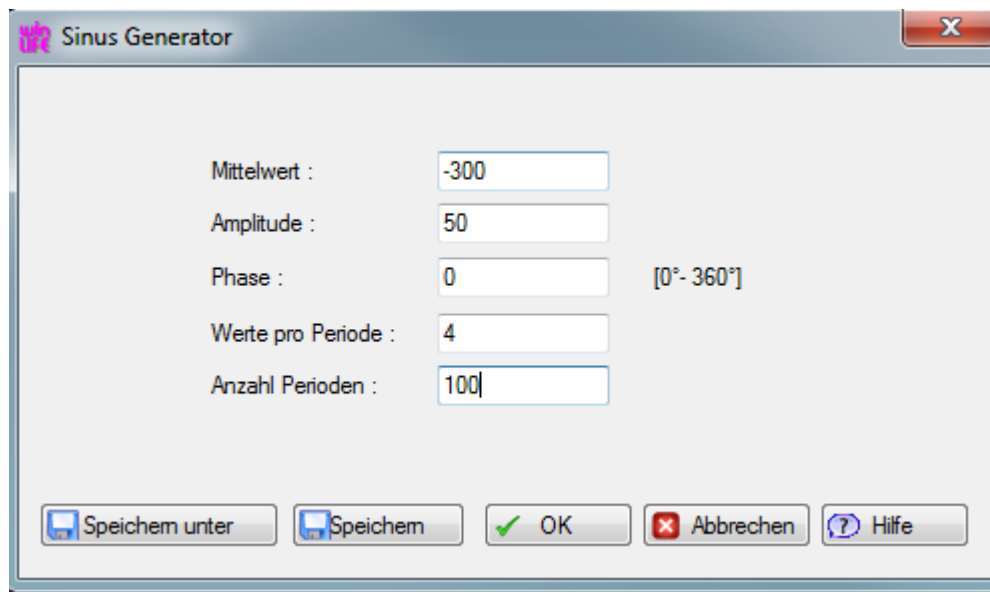
Wir wählen folgende Parameter für die Methode:

38.5. Generierung der Lastdateien

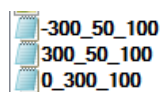
Wir generieren drei Lastdateien unter Verwendung des Sinus-Generators und Speichern sie ab.

The image shows two screenshots of the 'Sinus Generator' dialog box. Both screenshots have the same parameters for 'Mittelwert' (0), 'Amplitude' (300), 'Werte pro Periode' (4), and 'Anzahl Perioden' (100). The only difference is the 'Phase' value, which is 50 in the top screenshot and 0 in the bottom screenshot. The range '[0°- 360°]' is indicated next to the phase input field. At the bottom of each dialog, there are five buttons: 'Speichern unter', 'Speichern', 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe'.

Parameter	Top Screenshot	Bottom Screenshot
Mittelwert :	0	0
Amplitude :	300	300
Phase :	50	0
Werte pro Periode :	4	4
Anzahl Perioden :	100	100

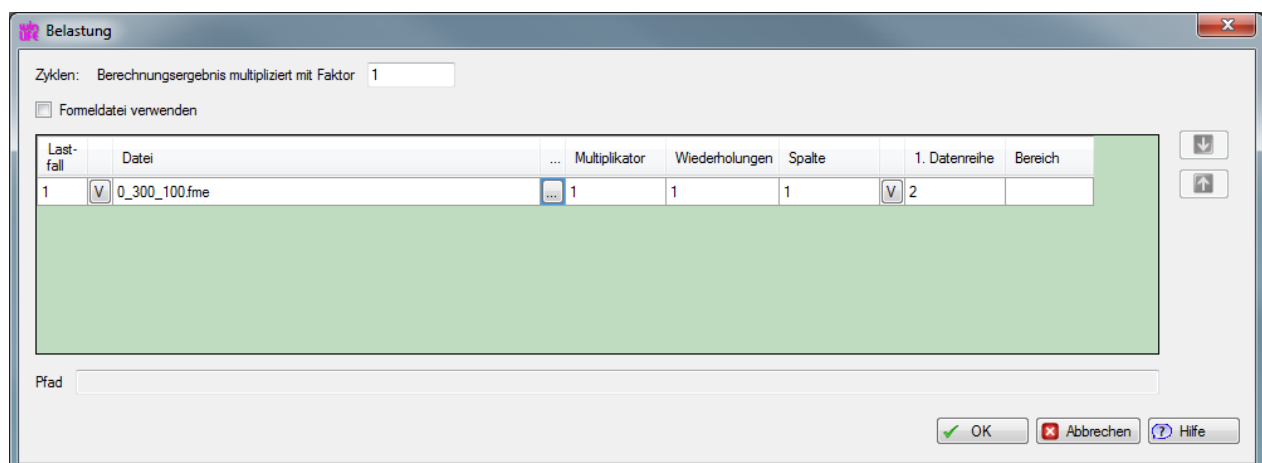


Der Dateimanager zeigt uns die so erzeugten Dateien an.



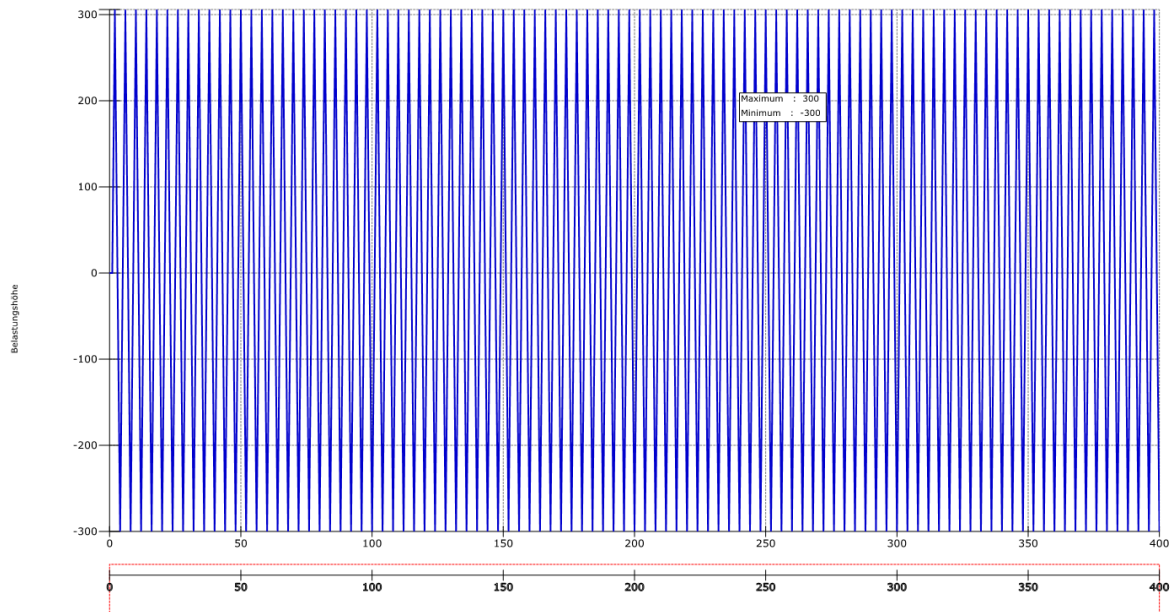
```
fme 7.202 06.04.2017 13:55 -a-
fme 7.202 06.04.2017 13:54 -a-
fme 7.202 06.04.2017 13:55 -a-
```

Wir laden für unser aktuelles Projekt die Datei

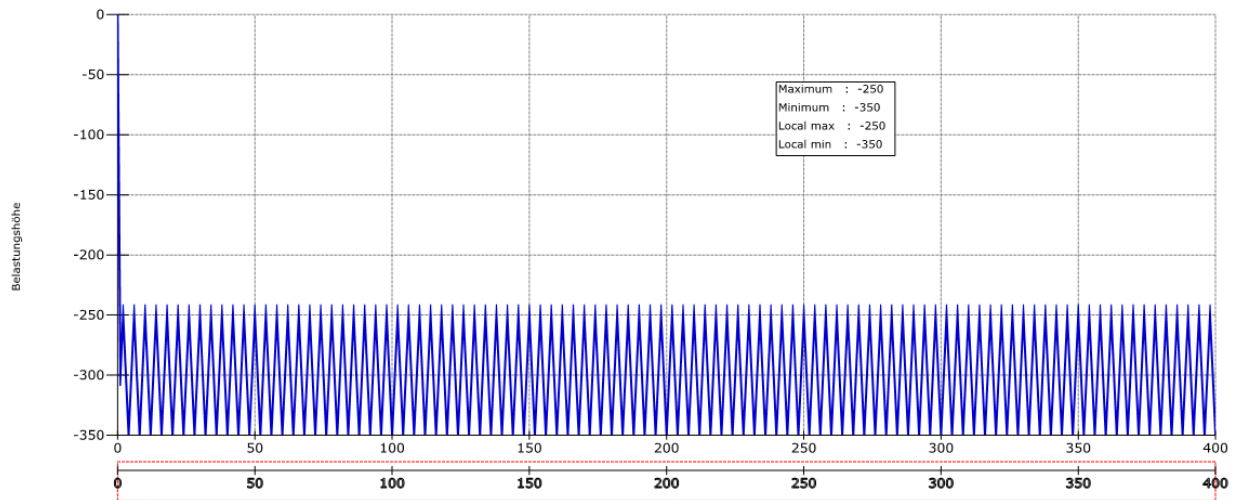


Und lassen die Grafik anzeigen.

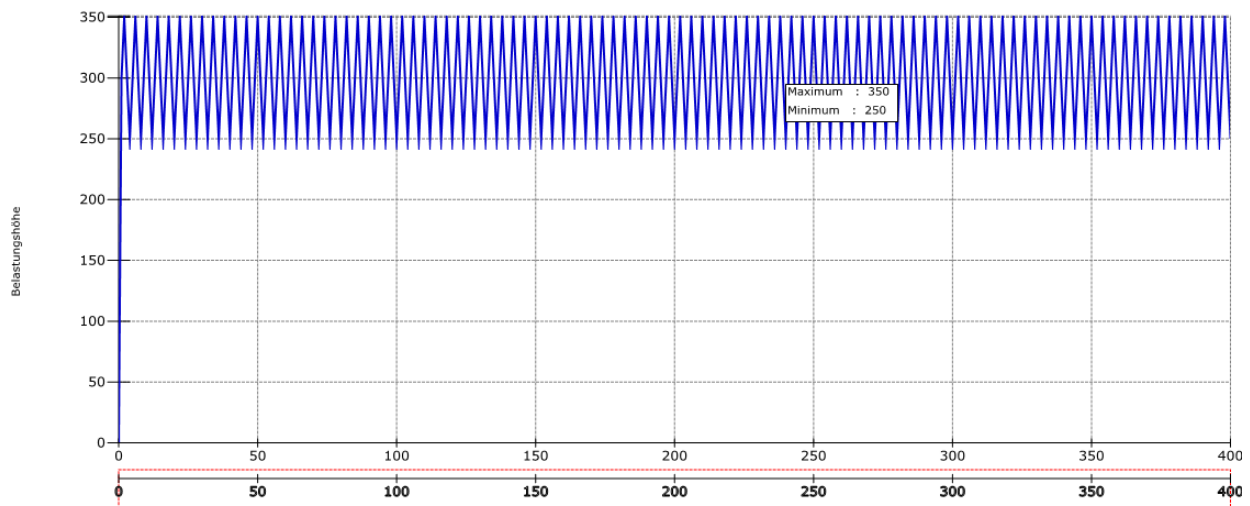
1 0_300_100.fme (1)



1 -300_50_100.fme (1)



1 300_50_100.fme (1)



38.6. Kopie des Projektes

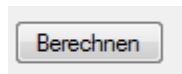
Das Projekt soll nun kopiert werden, dazu müssen wir aber zunächst eine Berechnung durchführen.

Im Menü

Berechnung / Parameter

Wählen wir aus und machen den folgenden Eingaben:

Und klicken dann auf



Und es erscheint:

 Ergebnisse der Berechnung

Die maximal berechnete Schadenssumme beträgt 9,59978e-06

Es können 1,0417e05 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.

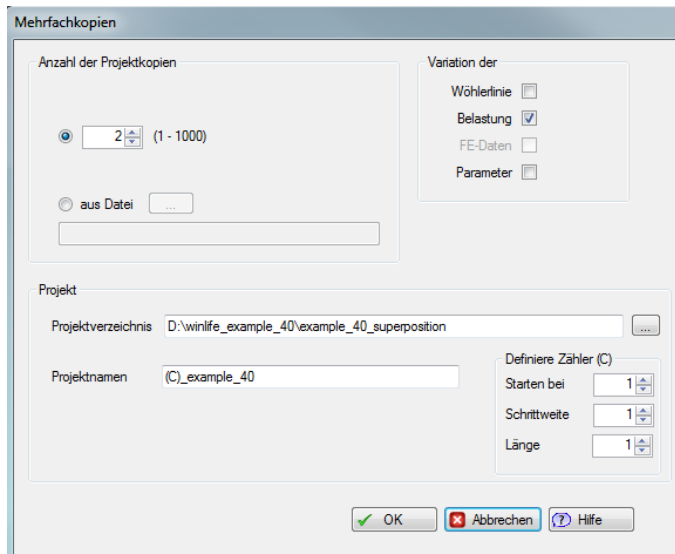
Betriebsfaktor(1,000) = 3,3222 Auslastungsgrad = 0,301001

vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000 \%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

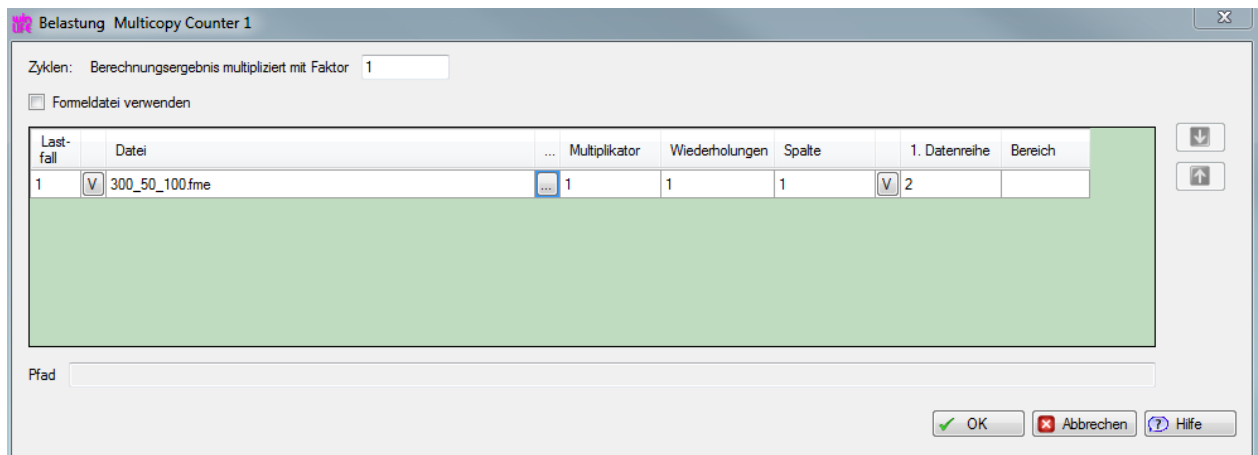
Das Projekt wird nun mit dem Befehl aus dem Menü

Datei /Kopie mehrfach

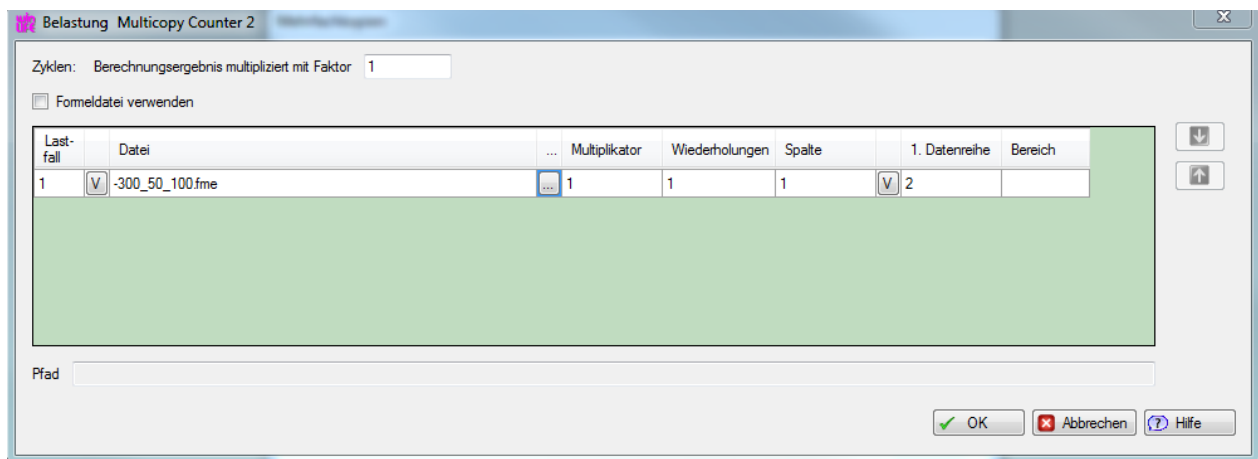
kopiert. In der Maske tragen wir für Anzahl Kopien 2 ein, markieren das Kästchen Belastung und drücken OK.

The 'Mehrfachkopien' dialog box is shown. It has a title bar 'Mehrfachkopien'. Inside, there are two main sections. The top section is for 'Anzahl der Projektkopien' with a radio button selected for '2' (range 1-1000) and an 'aus Datei' option. The bottom section is for 'Variation der' with checkboxes for 'Wöhlerlinie', 'Belastung' (checked), 'FE-Daten', and 'Parameter'. Below this is a 'Projekt' section with 'Projektverzeichnis' set to 'D:\winlife_example_40\example_40_superposition' and 'Projektname' set to '(C)_example_40'. To the right of the project name is a 'Definiere Zähler (C)' section with 'Starten bei', 'Schrittweite', and 'Länge' all set to 1. At the bottom are 'OK', 'Abbrechen', and 'Hilfe' buttons.

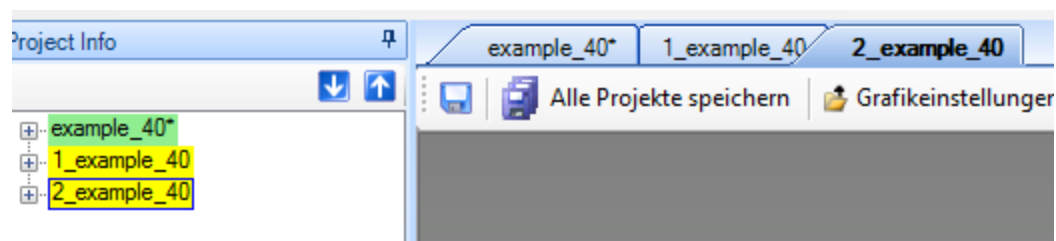
Es erscheint folgende Eingabemaske in der wir die Datei 300_50_100.fme auswählen.



Anschließend wählen wir OK und es erscheint eine neue Maske (Counter 2) s. oben. Hier wählen wir eine andere Datei der Belastung.



Nach dem Drücken von OK schließt sich das Fenster und auf dem Bildschirm existieren nun drei Projekte:

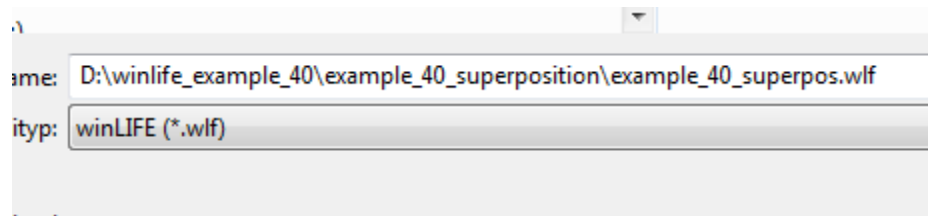


Das grün markierte Projekt ist berechnet, die gelb markierten Projekte sind noch nicht berechnet.

38.7. Superposition

Wir markieren das Projekt example_40 und kopieren dieses mit dem Befehl

Datei / Kopie (nur Einstellungen)



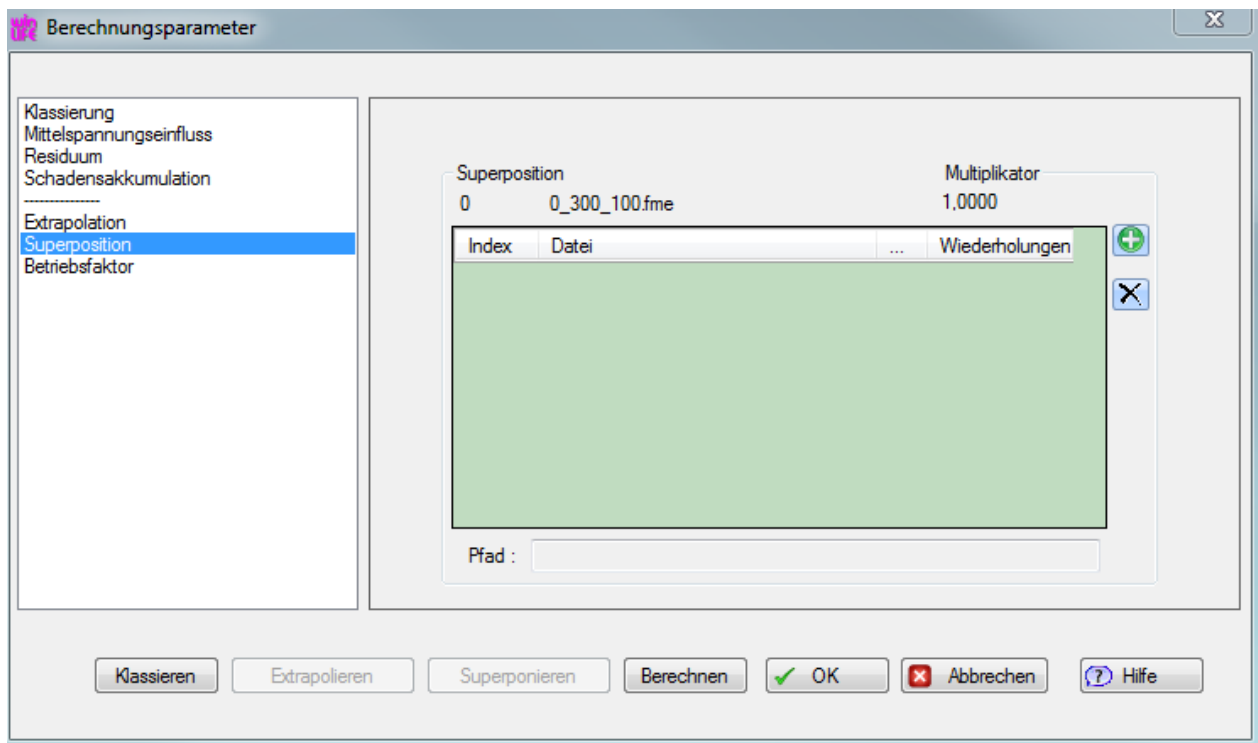
Name: D:\winlife_example_40\example_40_superposition\example_40_superpos.wlf

File type: winLIFE (*.wlf)

Wir wählen im Menü

Berechnung / Parameter / Superposition

Und die folgende Maske erscheint:



Berechnungsparameter

Klassierung
Mittelspannungseinfluss
Residuum
Schadensakkumulation

Extrapolation
Superposition
Betriebsfaktor

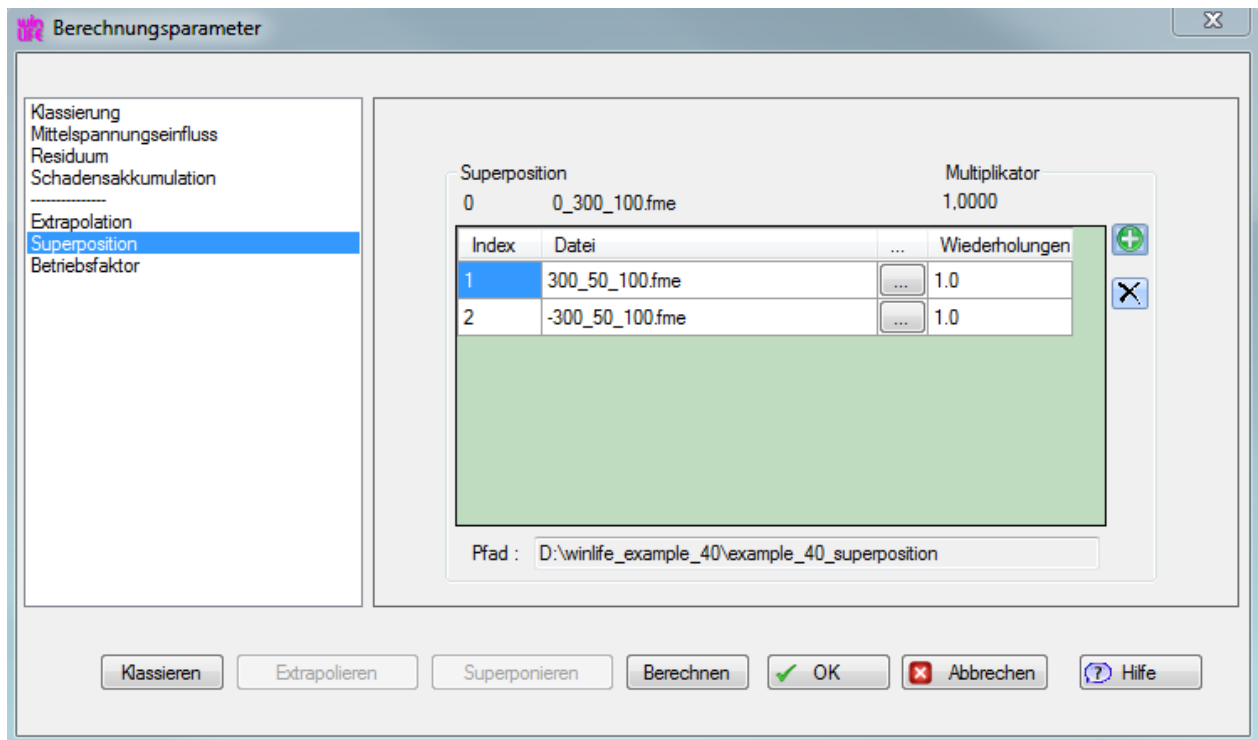
Superposition Multiplikator
0 0_300_100.fme 1,0000

Index	Datei	...	Wiederholungen
-------	-------	-----	----------------

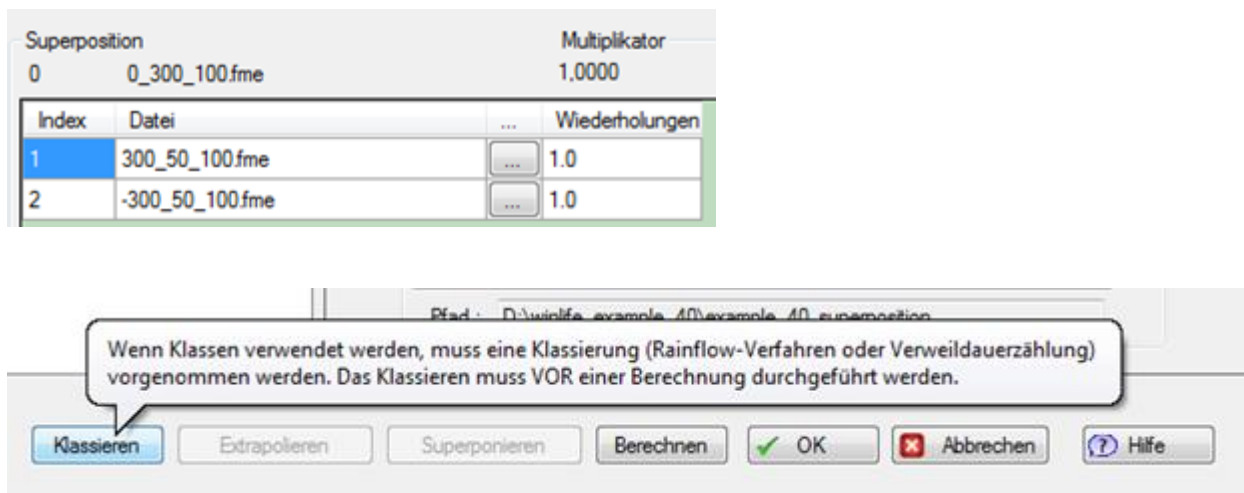
Pfad :

Klassieren Extrapolieren Superponieren Berechnen OK Abbrechen Hilfe

Wir klicken auf den  Button und laden die beiden dargestellten Dateien.



Wichtig ist nun die korrekte Bedienung des Programms. Auf die oben aufgeführte Datei unter Überschrift Superposition werden die anderen darunter aufgeführten Dateien aufsummiert. Voraussetzung ist, dass für diese Dateien eine Rainflow-Klassierung durchgeführt wurde. Rainflow-Klassierungen werden für alle in der Liste aufgeführten Dateien erzeugt, wenn der Button Klassieren betätigt wird.



Wir klicken also auf **Klassieren**, anschließend auf **Superponieren** und dann auf **Berechnen**.

Als Ergebnis erhalten wir



Ergebnisse der Berechnung

Die maximal berechnete Schadenssumme beträgt 9,59978e-06

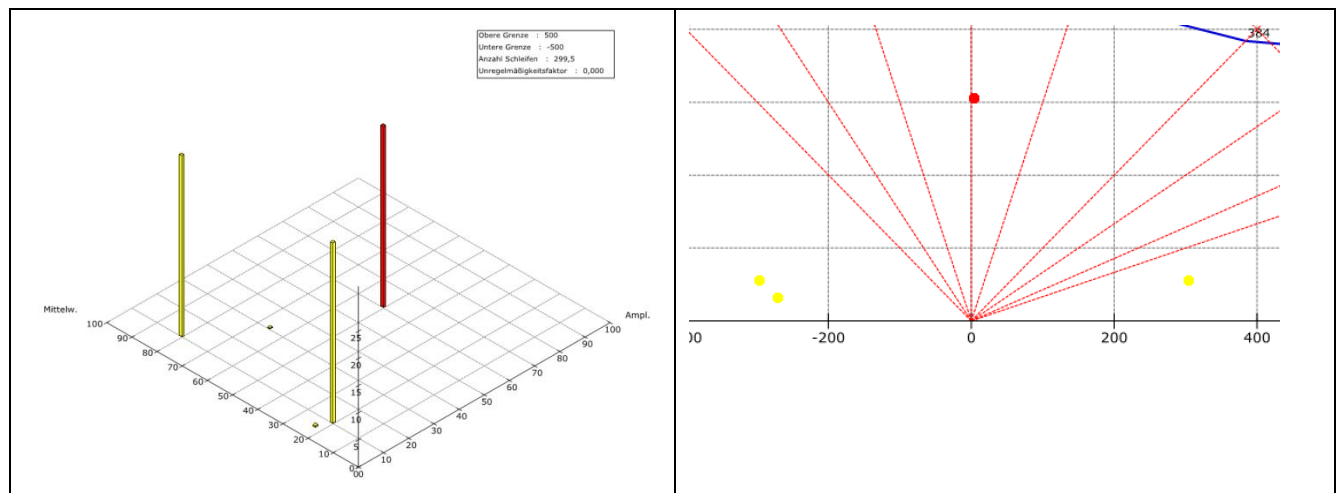
Es können 1,0417e05 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.

Betriebsfaktor(1,000) = 3,3222 Auslastungsgrad = 0,301001

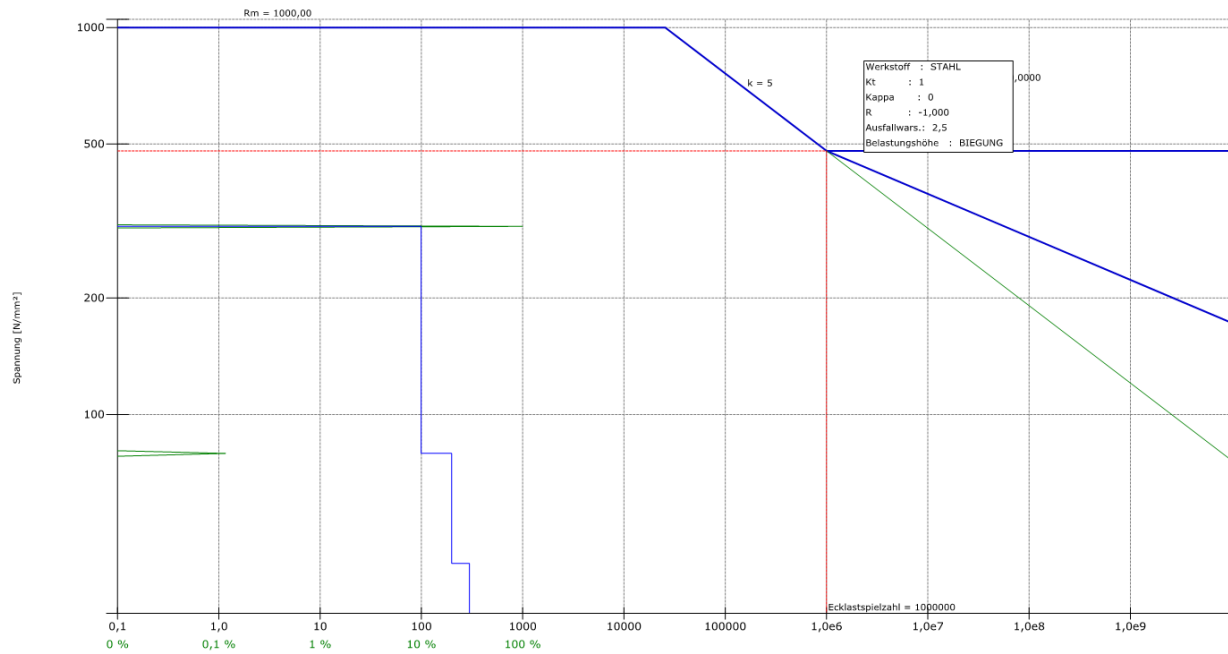
vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000\%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

38.8. Ergebnisanalyse

Die Ergebnisanalyse in der Rainflow-Matrix, dem Haigh-Diagramm und der Wöhlerlinie zeigt uns nun, dass alle drei Belastungsstufen vertreten sind.

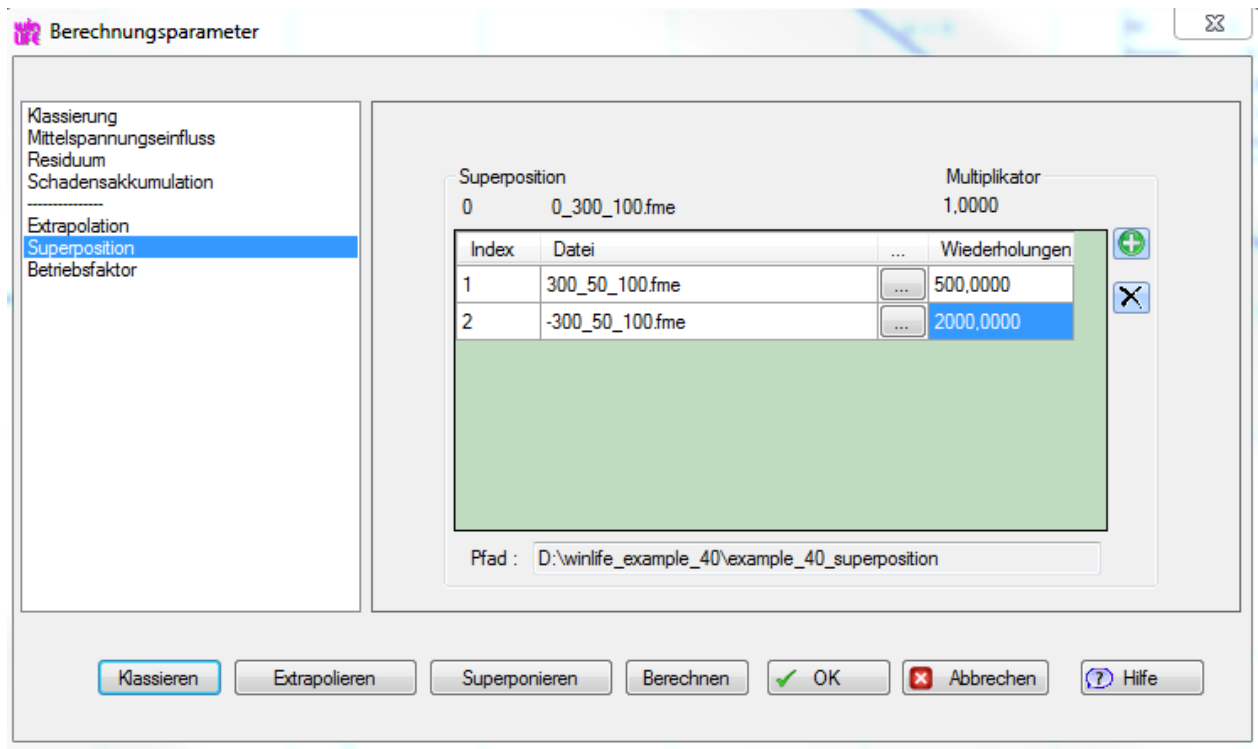


Ausgangswöhlerlinie example_40_superpos

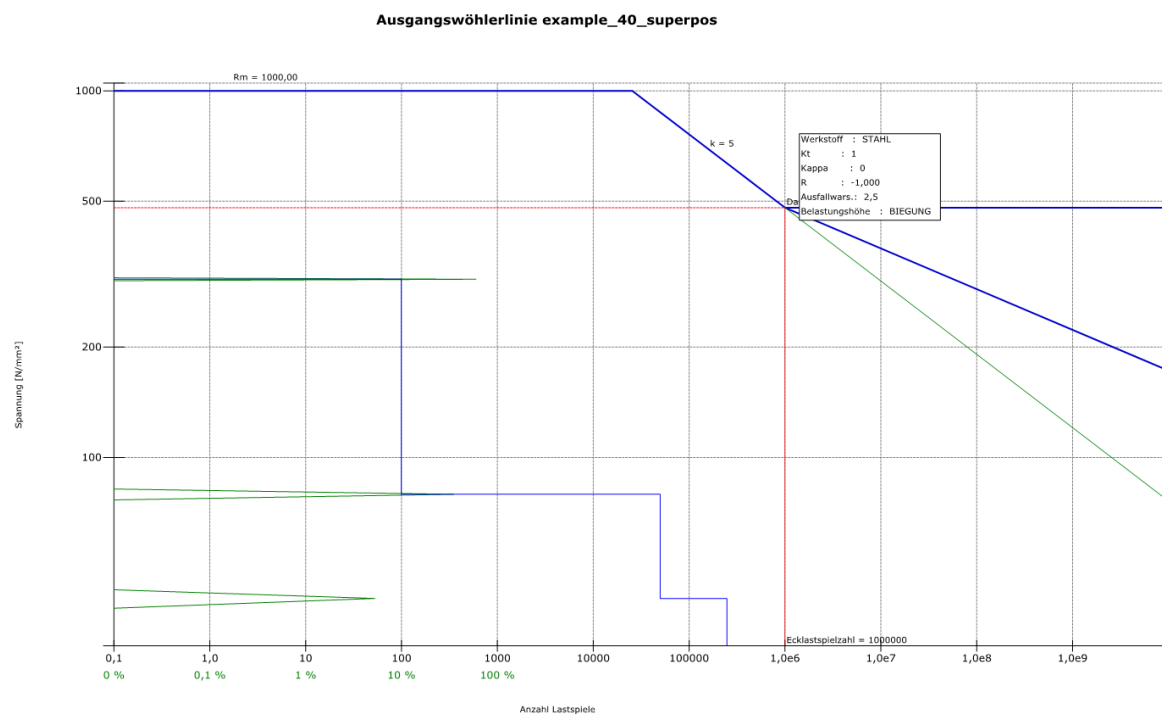


38.9. Parametervariation

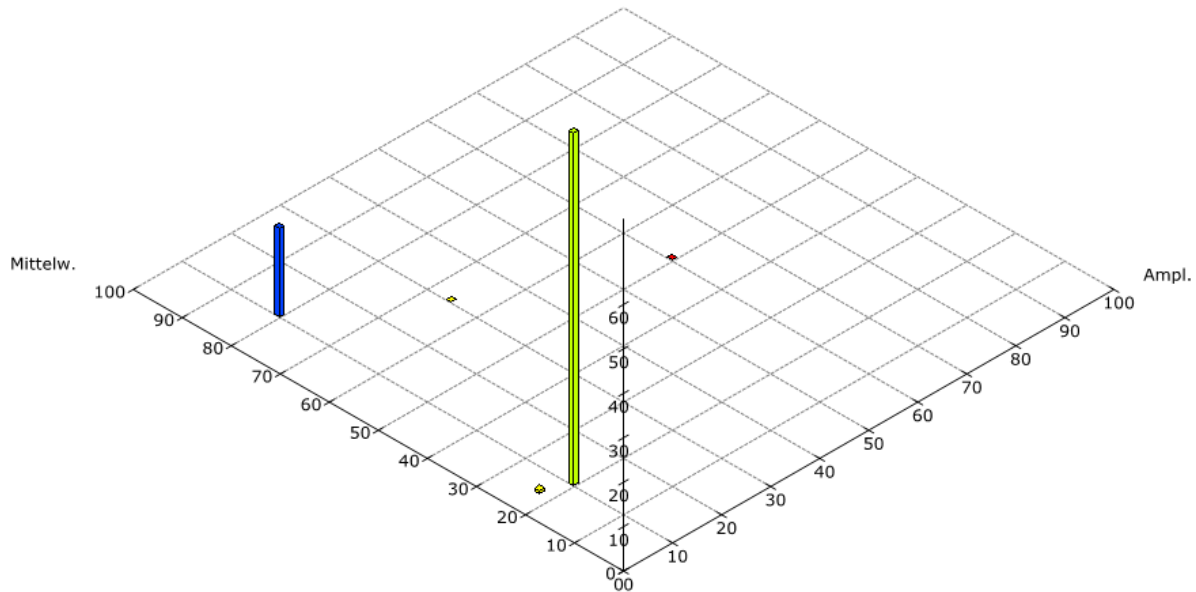
Um den Einfluß der Anteile der einzelnen Lasten zu untersuchen, sollen die Parameter verändert werden.



Es wird hier der Multiplikator auf 500 und 2000 gesetzt. Das Ergebnis sieht man in der Wöhlerlinie mit den Amplituden und



In der Rainflow-Matrix.



Die maximal berechnete Schadenssumme beträgt 0,000017587

Es können 56861,2 des hier zu Grunde gelegten Zyklus bis zum Defekt auftreten.

Betriebsfaktor(1,000) = 2,7778 Auslastungsgrad = 0,359998

vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit $PA^* = 0,000000\%$ (bei $1/TN=6,00$ und Risikofaktor=1)

38.10. Alternativmethode Schadenssummen addieren

Statt Superposition kann man die Schadenssummen gewichtet addieren. Dies zeigen die folgenden Bilder und auch das Ergebnis ist annähernd gleich. Man erhält aber bei diesem Vorgehen aber nicht die resultierende Rainflow-Matrix

Schadenssumme aller Projekte addieren

Projekt	Status	Auswahl	Schadenssumme	Multiplikator	Exponent
example_40	bereit	☒	1,046669321e-05	1,000	1,000
1_example_40	bereit	☒	1,220483627e-08	500	1,000
2_example_40	bereit	☒	4,642592103e-10	2000	1,000
example_40_superpos	bereit	☐	1,758666977e-05	1,000	1,000

Ergebnisdatei: D:\winlife_kunden\ZF\2017_april_05\Superposition\bsp_cont_3_gw_sup_summe.csv

☒ Prozentuale Anteile anzeigen ☐ Zeige Ergebnis im Viewer

Schadenssummen addieren

FILES

```
1,000_x_D:\winlife_example_40\example_40_superposition\example_40.exp^1,000_06/04/1
500,000_x_D:\winlife_example_40\example_40_superposition\1_example_40.exp^1,000_06/04
2000,000_x_D:\winlife_example_40\example_40_superposition\2_example_40.exp^1,000_06/04
```

DATA

	Nr.1	Nr.2	Nr.3
1	1,749763e-05	59,818	34,876

39. Literaturverzeichnis

39.1. Allgemeine Lebensdauerberechnung

- [1] DIN 45667 Klassierverfahren für das Erfassen regelloser Schwingungen
- [2] Haibach: Betriebsfestigkeit, VDI-Verlag; Düsseldorf 1989
- [3] Buxbaum, Otto: Betriebsfestigkeit, Verlag Stahl Eisen; Düsseldorf 1986
- [4] Westermann-Friedrich: Sonderereigniskollektive, kennzeichnende Zeitfunktionen und Kollektive für Anlagen und Arbeitsprozesse. Forschungsvereinigung Antriebstechnik Heft 274, 1988
- [5] Verein deutscher Eisenhüttenleute: Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung, 2. Auflage; Düsseldorf 1985
- [6] Hück, Manfred; Thrainer, Lorenz; Schütz, Walter: Berechnung von Wöhlerlinien für Bauteile aus Stahl, Stahlguß und Grauguß, Synthetische Wöhlerlinien, Verein deutscher Eisenhüttenleute Arbeitsgemeinschaft Betriebsfestigkeit, Mai 1981, Bericht ABF 11.
- [7] Zammert, W.-U.: Betriebsfestigkeitsberechnung, Vieweg-Verlag; Braunschweig-Wiesbaden 1985, ISBN 3-528-03350-9
- [8] Munz, D: Ermüdungsverhalten metallischer Werkstoffe, Vortragstexte eines Symposiums der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde, 1984, Deutsche Gesellschaft für Metallkunde e.V., Adenauerallee 21, Oberursel
- [9] Hertel, H.: Ermüdungsfestigkeit der Konstruktion, Springer-Verlag 1969
- [10] Gumpert, W.: Höhere Festigkeitslehre, Betriebsfestigkeit, 3. Lehrbrief; Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium Nr.: 02 1205 03 0; Herausgeber: Zentralstelle für das Hochschulfernstudium Dresden
- [11] Heuler, P.: Anrißlebensdauer bei zufallsartiger Belastung auf der Grundlage örtlicher Beanspruchungen; Institut für Stahlbau und Werkstoffmechanik der TH Darmstadt, Heft 40, 1983

- [12] Bergmann, J.: Zur Betriebsfestigkeit gekerbter Bauteile auf der Grundlage der örtlichen Beanspruchungen; Dissertation TH-Darmstadt 1983
- [13] Krüger, Petersen: Simulation und Extrapolation von Rainflow-Matrizen; Bericht Nr. 8 der Arbeitsgruppe Technomathematik des Fachbereichs Mathematik der Universität Kaiserslautern, Mai 1988
- [14] Chlormann, U. H., Seeger, T.: Rainflow-HCM - Ein Zählverfahren für Betriebsfestigkeitsnachweise auf werkstoffmechanischer Grundlage. Stahlbau, 55(3), S. 65 - 71, 1986
- [15] Masing, G.: Eigenspannung und Verfestigung beim Messing. In: Proc. of the 2nd Int. Congress of Applied Mechanics, S. 332-335, 1926
- [16] Smith, K. N., Watson, P., Topper, T. H.: A Stress-Strain Function for the Fatigue of Metals. Journal of Materials, 5 (4), S. 767 - 768, 1970
- [17] Boller, Chr., Seeger, T.: Materials Data for Cyclic Loading, Part A: Unalloyed Steels, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-42870-4
- [18] Schön, M., Seeger, T.: Lebensdauerberechnung auf der Basis der Rainflow-Matrix, Technische Hochschule Darmstadt, Fachgebiet Werkstoffmechanik, Vortrag im Haus der Technik 1993
- [19] Radaj, D.: Ermüdungsfestigkeit, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-58348-3
- [20] Haibach, E.: Betriebsfeste Bauteile, Konstruktionsbücher Band 38, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-54815-7
- [21] Boller, Chr., Seeger, T.: Materials Data for Cyclic Loading, Part B: Low Alloy Steels, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-42871-2
- [22] Boller, Chr., Seeger, T.: Materials Data for Cyclic Loading, Part C: High Alloy Steels, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-42871-0
- [23] Boller, Chr., Seeger, T.: Materials Data for Cyclic Loading, Part D: Aluminium and Titanium Alloys, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-42873-9
- [24] Boller, Chr., Seeger, T.: Materials Data for Cyclic Loading, Part E: Cast and Welded Metals, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-42874-7
- [25] Boller, Chr., Seeger, T.: Materials Data for Cyclic Loading, Part E: Unalloyed Steels, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-42874-7
- [26] Issler, L., Ruoß, H., Häfele, P.: Festigkeitslehre Grundlagen, Springer-Verlag Berlin 1995, ISBN 3-540-57995-8
- [27] Haibach, E., Berger, C., Hänel, B., Wirthgen, G., Zenner, H., Seeger, T.: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile, Heft Nr. 183-1, 1994, Forschungskuratorium Maschinenbau, Lyonerstr. 18, Frankfurt/M.

- [28] Dorn, S.: Rechnerische Lebensdauerermittlung nach verschiedenen Rechenkonzepten im Vergleich mit Meßdaten und Bestimmung von Formzahlen mit Hilfe von FE-Rechnungen, Diplomarbeit an der FH-Coburg im Studienschwerpunkt Maschinenbau, April 1996
- [29] Zenner H. und Liu J.: Vorschlag zur Verbesserung der Lebensdauerabschätzung nach dem Nennspannungskonzept, Konstruktion 44 (1992) Seite 9-17
- [30] A. Bäuml Jr, T. Seeger: Materials Data for Cyclic Loading, supplement 1, Elsevier Science Publishers B.V.1987, ISBN 0-444-88603 6
- [31] Manson S.S.: Fatigue: A Complex Subject - Some Simple Approximations. Experimental Mechanics, 5:193-226, 1965
- [32] Muralidharan, U; Manson, S.S.: A Modified Universal Slopes Equation for Estimation of Fatigue Characteristics of Metals. Journal of Engineering Materials and Technology, 110:55-58, 1988
- [33] Gudehus, Zenner: Leitfaden für eine Betriebsfestigkeitsrechnung, Empfehlung zur Lebensdauerabschätzung von Maschinenbauteilen. 3. Auflage, ISBN 3-514-00445-5, Verlag Stahleisen, Düsseldorf.
- [34] Störzel, K.; Sonsino C.M.: Verfahren zur Lebensdauerabschätzung auf der Basis von Rainflow-Matrizen örtlicher Dehnungen; Fraunhofer - Institut für Betriebsfestigkeit (LBF), Darmstadt, LBF-Nr. 7662 (1994), unveröffentlichter Eigenforschungsbericht.
- [35] FKM Richtlinie: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile, 4. erweiterte Ausgabe 2002, Forschungskuratorium Maschinenbau, 1998
- [36] Häckh, J; Willmerding, G; Kley, M; Binz, H; Körner, T.: rechnerische Lebensdauerabschätzung von Getriebegehäusen unter Einbeziehung realer multiaxialer Belastungen, DVM-Tagung Fulda vom 5. bis 6.6. 2002, VDI-Berichte N2. 1689, 2002 Seite 303 - 317
- [37] Körner, T; Depping, H; Häckh, J; Willmerding, G; Klos, W.: Rechnerische Lebensdauerabschätzung unter Berücksichtigung realer Belastungskollektive für die Hauptwelle eines Nutzfahrzeuggetriebes, DVM-Tagung Fulda vom 5. bis 6.6. 2002, VDI-Berichte N2. 1689, 2002 Seite 275 - 285
- [38] Körner, T; Depping, H; Häckh, J; Willmerding, G.: Fatigue Life Prognosis for Transmissions based on critical Component Spectrum, World Automotive Congress FISITA 2002, Helsinki, Paper Nr. F02V091
- [39] Eichsleder W. Unger B.: Lebensdauerberechnung auf der Basis von Finite Element Ergebnissen; 19. Vortragsveranstaltung des DVM Arbeitskreises Betriebsfestigkeit München 1993
- [40] Köttgen V.B.; Anthes R.J.; Seeger T.: Implementation des Werkstoffmodells von Mroz in das Finite Element Programm Abaqus Teil 1; Bericht aus dem Fachgebiet Werkstoffmechanik der Universität Darmstadt

- [41] Köttgen V.B.; Anthes R.J; Seeger T.: Implementation des Werkstoffmodells von Mroz in das Finite Element Programm Abaqus Teil 2: Quelltext und Beispiele; Bericht aus dem Fachgebiet Werkstoffmechanik der Universität Darmstadt
- [42] Chu Chin-Chan; Conle F; Albrecht Bonnen; John J. F.: Multiaxial Stress-Strain Modeling and Fatigue Life Prediction of SAE Axle Shafts; American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1993
- [43] Mayer, Kötzle: Lebensdauerabschätzung von Fahrwerksteilen unter Berücksichtigung der sich drehenden Hauptspannungen; VDI-Berichte 1283, 1996 Seite 349
- [44] Steinwender, Greal; Gaier, Christian; Unger, Bernhard: Simulation der Betriebsfestigkeit von mehrachsigen belasteten Fahrwerksbauteilen; 7. Aachener Kolloquium vom 5.-7. Oktober 1998, Aachen, Seite 1141
- [45] Issler, Festigkeitslehre
- [46] Yousefi F.; Küppers, M.: Lebensdauerberechnung mehraxial, Vorhaben Nr. 235, Forschungskuratorium Maschinenbau
- [47] Radaj, D.; Sonsino, C.M.; Fricke, W.: Fatigue assessment of welded joints by local approaches, 2. Auflage, Woodhead publishing limited, ISBN-13: 978-1-85573-948-2
- [48] Fricke, W.: Recommended hot spot analysis procedure for structural details of ships and FPSOs based on round-robin FE analyses, Int J Offshore Polar Engng, 2002 12 (1), 40-47
- [49] Bäckström, M.; Marquis, G.: A review of multiaxial fatigue of weldments: experimental results, design code and critical plane approaches, Fatigue Fracture Engng Mater Struct 24, 279-291
- [50] Hobbacher, A.: Recommendations for fatigue design of welded joints and components, International Institute of welding, IIW document IIW-1823-07 december 2008
- [51] Germanischer Lloyd: Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines, Edition 2005
- [52] Gaier, C; Dannbauer, H.: An efficient critical plane method for ductile, semiductile and brittle materials, Fatigue 2006: 9th International Fatigue Congress Atlanta, 14.5-19.5.2006, Vortrag Nr. FT 436
- [53] N.N.: Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie; Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten; Teil 2; ISSN 0943-9412, VDA, Frankfurt am Main, 2000
- [54] Richard, H. A.; Sander, M.: Ermüdungsrisse, ISBN 978-3-8348-0292-7

[55] Rennert, R; Kullig, E; Vormwald, M; Esderts, A; Siegele, D: Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile; 6. Auflage 2012; ISBN 978-3-8163-0605-4

[56] Berger, C; Blauel, G; Hodulak, L; Pyttel, B; Varfolomeyev, I; Gerdes, C.P.: Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile; 3. Ausgabe, Stand 2009, ISBN 978-3-8163-0514-9

39.2. Zahnräder und Lager

[1] DIN 3990 Teil 1: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern: Einführung und allgemeine Einflußfaktoren

[2] DIN 3990 Teil 2: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern: Berechnung der Grübchentragfähigkeit

[3] DIN 3990 Teil 2: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern: Dauerfestigkeit und Werkstoffqualitäten

[4] Forschungsvereinigung Antriebstechnik E.V.: Zahnfuß-Betriebsfestigkeit, Forschungsvorhaben Nr. 188/I und II, 1993 Heft 408 und 1996 Heft 502

[5] Forschungsvereinigung Antriebstechnik E.V.: Zahnflankenlebensdauer, Forschungsvorhaben Nr. 125/III, 1995 Heft 457

[5] Forschungsvereinigung Antriebstechnik E.V.: Zahnflankenlebensdauer, Forschungsvorhaben Nr. 125/III, 1995 Heft 457

[6] Forschungsvereinigung Antriebstechnik E.V.: Zahnrad-Lebensdauerprüfung mit Lastkollektiven, Forschungsvorhaben Nr. 125/I Heft 290 1989

[7] Forschungsvereinigung Antriebstechnik E.V.: Zahnrad-Lebensdauerprüfung: Betriebsfestigkeitsuntersuchungen zur Grübchenbildung an einsatzgehärteten Stirnradflanken, Heft 320 1991

[7] Forschungsvereinigung Antriebstechnik E.V.: Zahnrad-Lebensdauerprüfung: Betriebsfestigkeitsuntersuchungen zur Grübchenbildung an einsatzgehärteten Stirnradflanken, Heft 320 1991

[8] G. Niemann; H. Winter: Maschinenelemente Band II; Getrieb3e allgemein, Zahnradgetriebe-Grundlagen, Stirnradgetriebe, Zweite Auflage, Springer-Verlag, ISBN 3-540-11149-2

[9] Hexagon, Ein Programm zur Zahnradberechnung

[10] DIN 3990 Teil 3: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern, Berechnung der Zahnfußtragfähigkeit

[11] DIN 3990 Teil 11: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern, Anwendungsnorm für Industriegetriebe, Detail-Methode

[12] DIN 3990 Teil 21: Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern, Anwendungsnorm für Schnellaufgetriebe und Getriebe ähnlicher Anforderungen

39.3. Statistik

[1] Gramlich, Günter.:

Skript zur Stochastik, Eine Einführung in die Mathematik der Daten des Zufalls, www.hs-ulm.de/gramlich

[2] Kleppmann, Wilhelm:

Taschenbuch Versuchsplanung, Hanser-Verlag, 2009, ISBN 978-3-446-42033-5

[3] wikipedia:

http://en.wikipedia.org/wiki/Latin_square

[4] M.D. McKay ; R. J. Beckmann ; W.J. Conover:

A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code, Zeitschrift Technometrics, Vol. 21, No, 2, May 1979

[5] Aleksandar Trifkovi:

Multi-objective and Risk-based Modelling Methodology for

Planning, Design and Operation of Water Supply Systems,

Dissertation Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, 2007

[6] Willmerding, G.:

Opti: ein Programm zur Multiplen, nichtlinearen Regressionsanalyse.

Handbuch zur Software. Steinbeis TZ-Verkehrstechnik 1986

40. Index

A

Ablaufbeschreibung an einem Beispiel 133
Alle Beispiele laden und die Installation testen 9
Allgemeine Lebensdauerberechnung 439
Alternativmethode Schadenssummen addieren 436
Anzahl der Lastwechsel in einer Periode: 85, 93

Ä

Äquivalente Amplitude 199

A

Aufgabenstellung 134, 163, 177, 187, 203, 217, 233, 257, 273, 287, 299, 309, 317, 335, 351, 359, 381, 389, 423
Auslastungsgrad 199
Auswertung der Normalspannung $\sigma \perp$ 407
Auswertung der Schubspannung τ 417
Auswertung der Spannung $\sigma \parallel$ 415

B

Bauteilbelastung 189, 204, 258, 337
Bauteilbelastung (Einheitslasten) 135, 165, 218
Bauteilgeometrie 134, 163, 187, 203, 217, 233, 257, 351
Beispiel 1 / Nennspannungskonzept gekerbte Welle 23
Beispiel 10: Zahnräder und Lager 55
Beispiel 11 / Mehrkörpersimulation eines Roboterarms (SAMCEF) 111
Beispiel 12 / Gekerbte Welle mit FEMAP 113
Beispiel 13 / Schweißnaht einer Nutzfahrzeugachse (FEMPAP) 115
Beispiel 15 / Gekerbte Welle (SAMCEF) 119
Beispiel 16 / Last über eine Brücke (FEMAP) 121
Beispiel 17 / Datenschnittstelle zu ANSYS 131
Beispiel 18a / Dauerfestigkeitsnachweis (winLIFE QUICK CHECK) 133
Beispiel 18b / Dauerfestigkeitsnachweis mit Zeitverläufen 149
Beispiel 19 / bezogener Spannungsgradient 163
Beispiel 2 / Nennspannungskonzept gekerbte Platte 25
Beispiel 20 / Containerprojekte 177
Beispiel 21 / Schweißnaht einer Anhängervorrichtung 187
Beispiel 22 / Hot Spot Suche an einer geschweißten Rahmenecke 203
Beispiel 23 / rotierende Welle 217
Beispiel 24 / Rissfortschrittsberechnung 233
Beispiel 25 / Einführung in den winLIFE Viewer 247
Beispiel 26 / Nichtlinearität eines Federblechs 257
Beispiel 27 / Berechnung einer Schweißkonstruktion 273
Beispiel 28 / FKM Beispiel Wellenabsatz 287

Beispiel 29 / FKM Beispiel Gussbauteil 299
 Beispiel 3 / örtliche Spannungen und Datenübernahme aus FEM 29
 Beispiel 30 / FKM Beispiel Verdichterflansch 309
 Beispiel 31 / Kupplung mit nichtlinearem Verhalten 317
 Beispiel 32 / Mehrkörperdynamik und Lebensdauer 335
 Beispiel 33 / Rissfortschrittsrechnung an einem Druckbehälter 351
 Beispiel 34 / Signalmodifikation mit Hilfe des Formelgenerators 359
 Beispiel 35 / FKM Beispiel 6.5 geschweißtes T-Profil aus Aluminium 381
 Beispiel 36 / FKM Beispiel 6.6 geschweißte Aluminiumkonstruktion 389
 Beispiel 4 / Rainflow-Verfahren versus Werkstoff Memory 35
 Beispiel 40 / Superposition 423
 Beispiel 5 / Vergleich mit FKM-Richtlinie 37
 Beispiel 6 / Zylinder unter Zug und Torsion (multiaxial) 41
 Beispiel 7 / Lenker unter Längs- und Querkraft (multiaxial) 45
 Beispiel 8 / Verwendung von Dehnungsmessungen 49
 Beispiel 9 / Aufruf aus einer Batch-Prozedur 53
 Beispiel für eine Lagerberechnung 102
 Belastung 234, 352
 Belastung erzeugen 154
 Belastungen 382
 Belastungskollektiv (Rad 1) 75
 Berechnung 394, 399, 401, 405
 Berechnung (FE-Schnittstelle) 147
 Berechnung / Betriebsfaktor erzeugen 181
 Berechnung / Lebensdauer für Teillasten 181
 Berechnung / Parameter festlegen 158
 Berechnung aller Knoten der Oberfläche 248
 Berechnung der Lebensdauer und Diskussion der Ergebnisse 105
 Berechnung der Motordrehzahl aus Geschwindigkeit und Gang 363
 Berechnung der Nennspannung 26
 Berechnung des großen Zahnrades (Rad 2) 90
 Berechnung einer Knotenauswahl 251
 Berechnung mit Zeitsignalen 407
 Berechnung nach Erdogan-Ratwani 243
 Berechnungsparameter 225, 239, 356
 Berücksichtigung von Finite-Elemente-Ergebnisse 297
 Beschreibung 173
 Bestimmung des Spannungsgradienten aus einer Regressionsanalyse 168
 Bestimmung des Spannungsgradienten aus FEM Originaldateien 173
 Bestimmung des Spannungsgradienten direkt aus dem FE-Modell in Femap 166
 Bestimmung des Spannungsgradienten nach der Peilstab-Methode 171

D

Datei / Kopieren (nur Einstellungen) 147
 Dateitypen 360
 Daten des Beispiels für winLIFE 67
 Daten des Lagers und der Belastung 102
 Dauerfestigkeitsnachweis (Schnittebenenverfahren) 146
 Dauerfestigkeitsnachweis (uniaxiale Vereinfachung) 144
 Definition des Belastungsverlaufs 221, 229, 237, 355
 Drehzahl -> Zahnlastwechsel: 92
 Drehzahl->Zahnlastwechsel: 84
 Durchführung der Berechnung für das Ritzel (Rad 1) 81
 Durchführung einer Lebensdauerberechnung 259, 337
 Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Hot Spot Suchverfahren 207
 Durchführung einer Lebensdauerberechnung nach dem Strukturspannungskonzept 191, 214

E

- Eckpunkte der Wöhlerkurve aus HEXAGON 68
- einfache Umrechnung und Kanalerzeugung 359
- Einfluss der Schleifkerben: 85, 93
- Eingabe der Belastung 103
- Eingabeoptionen 168, 171
- Einzelprojekte laden 183
- Ergebnis 170, 176, 197, 228, 231, 284, 295, 306, 315, 348, 374, 420
- Ergebnis / Protokoll auswerten 158
- Ergebnis Hot Spot 213
- Ergebnis nach der Paris-Gleichung 240, 358
- Ergebnis nach Erdogan-Ratwani 244
- Ergebnis Strukturspannungskonzept 215
- Ergebnis Vergleich 216
- Ergebnisanalyse 433
- Ergebnisdaten Festigkeit 62
- Ergebnisdaten Geometrie 56
- Ergebnisse 31
- Ergebnisse für das Ritzel (Rad 1) 86
- Ergebnisse für Spannungen und Auslastungsgrad der einzelnen FE - Berechnungen mit Femap / Nastran 139
- Ergebnisse Zahnflanke (Rad 2) 92
- Ergebnisse Zahnfuß (Rad 2) 91
- Erstellen eines Projektes 134
- Erzeugung einer neuen Datei mit Hilfe des Formeleditors / Beispiel 360
- Erzeugung einer Spalte mit dem Drehmoment 366
- Erzeugung einer Spalte mit einem berechneten Drehmoment 367
- Erzeugung einer Wöhlerlinie 103
- Erzeugung einer Wöhlerlinie (Rad 1) 70
- Erzeugung neuer Kanäle unter Integration hochdynamischer Phänomene 377
- Export der Spannungen 318

F

- FE-Daten Zuordnung 225
- FE-Daten Zuordnung und Berechnungsparameter 231
- FE-Schnittstelle (OP2-Datenübernahme) 157
- Festlegung der Methode 102
- Finite Elemente Berechnung 218
- FKM-Forschungsvorhaben 49

G

- Generierung der Lastdateien 425
- Generierung der Rissfortschrittskurve 235, 353
- Generierung der Wöhlerlinie 136, 220
- Generierung einer Bauteilwöhlerlinie 26
- Generierung hochfrequenter Signalanteile für gemessene Mittelwert-Signale 359
- Geometrie und Last 273, 317
- Gesamtstruktur 200
- Geschwindigkeit 373
- Grundregeln bei der Bedienung von winLIFE QUICK CHECK 133

H

- Hinweise zu den Beispielen 9
- Hot-Spot Suchverfahren 274

K

- Kopie des Projektes 428

L

Laden eines existierenden Projektes 177
Lastfall Biegung 141
Lastfall Zug 139
LastfallTorsion 143
Laststufe erzeugen 373
Lebensdauerberechnung in winLIFE mit konstanter Last 220
Lebensdauerberechnung in winLIFE mit veränderlicher Last 229
Lebensdauerberechnung nach dem Paris-Gesetz 353
Lebensdauerberechnung nach Erdogan-Ratwani 243
Lebensdauerberechnung nach Paris 235
Lebensdauerberechnung von Zahnfuß- und Zahnflanke mit winLIFE 67
Literaturverzeichnis 439

M

Manuelle Eingabe 75
Materialangabe 382
Materialangabe und örtliche Spannungen 287, 299, 309, 390
Methode festlegen 151
Methode wählen 423
Mittelspannungseinfluss 85, 93
Modellbildung 138, 164, 188, 204, 214, 218, 258, 336
Mohr'schen Kreise 42
Multiaxiale Berechnung / kritische Schnittebene 160

N

Nachweis Ermüdungsfestigkeit durchgehendes Blech Punkt D 403
Nachweis Ermüdungsfestigkeit SN Punkt A 401
Nachweis statisch SN Punkt A 397
Nachweis statisch WEZ Punkt D 390
Nutzfahrzeuggrad 49

P

Parametervariation 434
Projekt 423
Projekt erstellen 390
Projekt erzeugen 150
Projektaufbau in winLIFE 276, 284, 322, 382
Projektaufbau in winLIFE, Modul QUICK CHECK / FKM 288, 300, 310
Projektdefinition 220, 235, 353
Projektdefinition, Projektangaben 229

R

Radaufhängung 335

S

Schadensanteil von Einzelprojekten 184
Schadensberechnung 85, 93
Schadenssumme 197, 213, 215, 348
Schadenssummen 216
Schweißnaht-Export 282
Schweißnahtidentifikation 205
Sonstige Eingabegrößen für Zahnfuß und Zahnflanke (Rad 1) 84
Start von winLIFE 133
Statischer Nachweis mit örtlichen Spannungen für GW + WEZ 382

Statistischer Nachweis mit örtlichen Spannungen für SN 385
Statistik 445
Status-Variable zur Zylinderabschaltung 369
Strukturspannungskonzept 282
Superposition 430

U

Übernahme von Messdaten 79
Übersicht der Beispiele 13
Umgebungsbedingungen 310, 390
Umrechnung der Rosettenwerte in ebenen Spannungszustand 51
Umrechnung Rosettenmesswerte in ebenen Dehnungszustand 51
Umrechnung von Werkstoffdaten 243
Umrechnungsfaktor 84
Umrechnungsfaktor K_F aus HEXAGON-Daten 68
Umrechnungsfaktor K_{HP} aus HEXAGON-Daten 69
Umrechnungsfaktoren Flanke und Fuss (Rad 2) 92
Umrechnungsfaktoren K_{HP} und K_{FP} variabel einstellen 93
Umwandeln in ein Containerprojekt 178

V

Vorbereitung der Mehrfach Lastdatei 177

W

Wahl der Methode 69
Wandler-Zustands-Variable erzeugen 368
Weg Spalte erzeugen 371
Werkstoff für Ritzel (Rad 1) und Rad (Rad 2) 67
Werkstoffdaten 136, 164, 188, 204, 218, 234, 258, 336, 352
Wöhlerkurve 424
Wöhlerlinie 391, 397, 401, 403
Wöhlerlinie übernehmen 151

Z

Zähnezahl 68
Zahnflanke 73, 83, 88
Zahnfuss 81, 86
Zahnfußbiegung 70
Zahnfußspannung/Zahnflankenspannung: 85, 92
Zahnradauslegung mit HEXAGON 55
Zahnradrehmoment: 84, 92
Zahnräder und Lager 443
Zeit Spalte erzeugen 370
Zusammenfassung der Ergebnisse 101
Zusammenfassung der Lebensdauerberechnung 246
Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse 36
Zusammenstellung der Ergebnisse 28