winLIFE

Kurzbeschreibung

Steinbeis Transfer Centre

Inhalt

Lebensdauerberechnung mit winLIFE **1**

Wann ist eine Lebensdauerberechnung notwendig 1
Einführung und Überblick 5

winLIFE 3.5.1: Was ist neu **7**

Neuerungen der winLIFE Version 3.5.1 gegenüber 3.4 7

Schnittstellen zu FEM/MKS-Software **15**

Möglichkeiten und Grenzen der Berechnungskonzepte **17**

Nachweisarten Dauerfestigkeitsnachweis / Betriebsfestigkeitsnachweis17
Dauerfestigkeitsnachweis 17
Betriebsfestigkeitsnachweis 18

winLIFE QUICK CHECK (Dauerfestigkeitsnachweis) **21**

Nachweis der Sicherheit gegen Dauerfestigkeit 21

winLIFE BASIS **25**

winLIFE Projektmanagement-System 25
Wie erhalte ich Materialdaten für eine Lebensdauerberechnung 26
Erzeugung von Bauteil-Wöhlerkurven aus statischen Materialdaten 26
Erzeugung von Bauteilwöhlerlinien für geschweißte Bauteile .. 28
Verwendung von Dehnungswöhlerlinien 29
Materialdatenbanken 29
Beschaffung der Belastungsdaten 32
Festlegung eines Lastkollektivs 32
Verwendung von Last-Zeit-Verläufen 34
Durchführung der Lebensdauerberechnung 37
Verwendung von Finiten Elementen 37
Ohne Verwendung von Finiten Elementen 41
Addition unterschiedlicher Berechnungsergebnisse 42
Superposition und Extrapolation 42
Statistische Auswertung 43
Daten Handling und Korrektur 43
Darstellung und Analyse der Ergebnisse 44
Report Generator 44
Individuelle Gestaltung von Grafiken und Reports 45
Einheiten 46

winLIFE Multiaxial **49**

Von der Bauteilbelastung zur örtlichen Beanspruchung **49**

Superposition von FE-Einheitslastfällen: Starrkörper unter dem Einfluss zeitveränderlicher Belastungen 50
Nichtlineare, transiente Analyse: Veränderliche Bauteilgeometrie und zeit – und/oder richtungsveränderliche Belastung..... 51
Bauteile unter dem Einfluss sich drehender Hauptspannungen (multiaxiale Beanspruchung) 52
Schadensparameter..... 55
Richtungsabhängige Lebensdauerberechnung /Nahtschweißverbindungen 55

Wie eine Lebensdauerberechnung abläuft 56

Einheitslastfälle aus Finiten Elementen, die mit Last-Zeit-Verläufen skaliert werden 56
Verwendung von Dehnmessstreifen 57
Maßnahmen zur Reduzierung der Rechenzeit 58

Ergebnisanalyse 59

Teillastanalyse 60

Rotierende Lasten 62

winLIFE ZAHNRÄDER UND LAGER 63

Voraussetzungen..... 63
Lebensdauer von Zahnrädern und Lagern..... 63
Zahnfußermüdung..... 63
Zahnflankenermüdung (Pittings) 63
Lebensdauer von Wälzlagern 64
Wöhlerkurven und ihre Modifikation..... 65
Eingabe eines Lastkollektivs 65
Umrechnung auf das Bauteil 67
Schadensakkumulation 67
Benutzerkomfort 67

Anwendungsbeispiele für den Einsatz von winLIFE 69

Automobilbereich 69
Anwendungen aus dem Flugzeugbau 71
Windenergie-Systeme..... 73
Schweißnahtberechnung 74
Trailerachse mit Hilfe des Kerbspannungskonzepts (R1) 74
Anhängerkupplung mit Hilfe des Strukturspannungskonzepts. 76
Schifffahrtsindustrie 79
Hochschulen 79
Die Module von winLIFE 83

Seminare, Unterstützung der Benutzer 85

Referenzen 85

Lebensdauerberechnung mit winLIFE

Wann ist eine Lebensdauerberechnung notwendig

Wenn man eine FEM-Berechnung durchführt, dann erhält man als Ergebnis Spannungen und Dehnungen der Struktur. Die Genauigkeit der Berechnung ist gut und die Abweichungen zur Realität sind – bei geeigneter Handhabung der FEM – gering. Die FEM ist somit ein sehr zuverlässiges Werkzeug und sie hilft dem Konstrukteur zu verstehen, wie ein Bauteil belastet ist und wo ihre kritischen Stellen sind.

Im Falle einer rein statischen Beanspruchung kann man die maximal berechneten Spannungen mit einem sinnvollen Grenzwert, z.B. der Streckgrenze, vergleichen. Wegen Unsicherheiten bei den Lastannahmen, Geometrieabweichungen zwischen Modell und Realität, Fertigungseinflüssen wird man einen Sicherheitsfaktor verwenden und kann dann rein statisch dimensionieren.

Eine völlig andere Situation liegt vor, wenn die Struktur dynamisch, d.h. durch eine zeitveränderliche Last, beansprucht wird. In einem solchen Fall ist nicht mehr der Absolutwert der wirkenden Spannungen entscheidend sondern insbesondere die Schwingweite der Spannungen und deren Häufigkeit.

Das folgende Bild soll dies erklären: Eine Eisenbahnachse wird durch ein Biegemoment resultierend aus den Achslasten beansprucht. Steht die Achse still, so liegt eine rein statische Beanspruchung wie bei einem Biegebalken vor, die sehr einfach berechnet werden kann.

Auf der Oberseite herrscht Druck, die Unterseite ist durch Zugspannungen beansprucht. Bei der rollenden Achse wandern nun die Teilchen von der Druckseite in die Zugseite und die Anzahl dieser Wechsel entspricht der Anzahl der Umdrehungen.

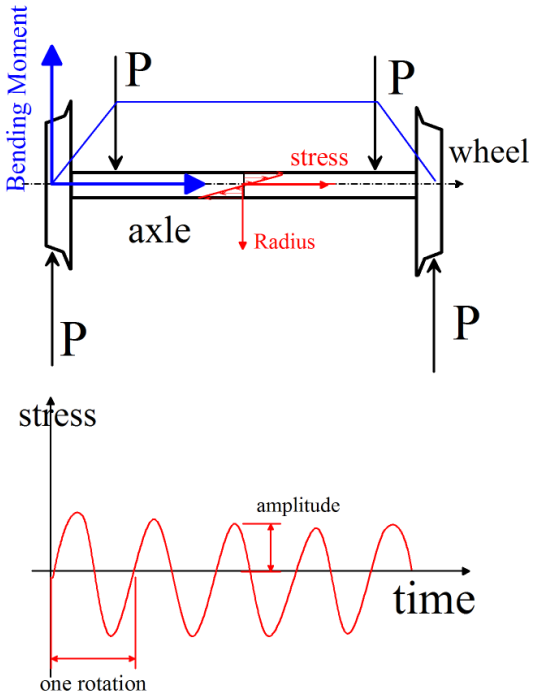


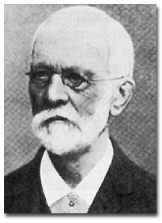
Bild 1: Kräfte, Biegemoment und Spannungen in der Achse eines Eisenbahnwagens

Die von einem Werkstoff mit großer Anzahl ertragbare Spannungsamplitude ist erheblich kleiner als die Streckgrenze. Weiterhin ist nicht der Absolutwert der Spannung sondern die Schwingamplitude (oder halbe Schwingweite) maßgeblich, die sich nicht aus einer statischen Berechnung ermitteln lässt.

Das bedeutet auch, dass der Ort des Versagens unter Ermüdung nicht mehr dem Ort einer maximalen statisch berechneten Spannung zusammenfallen muss. Folglich ist eine rein statische Dimensionierung nicht geeignet, die Phänomene der Ermüdung in physikalisch zutreffender Weise zu erfassen.

Die Spannungen der Schwingbelastung können zu einem Anriss – meist an der Oberfläche - führen, der sich fortsetzt und in das Bauteil hineinwandert und so die tragende Fläche verkleinert. In Abhängigkeit von der Anzahl der Lastspiele wird die tragende Querschnittsfläche immer kleiner bis schließlich – meist bei einer Spitzenbelastung – schlagartig der Bruch eintritt.

Dieser plötzliche Bruch ist charakteristisch für Ermüdungsprobleme und kann zu verheerenden Schäden führen. Es gibt dafür viele Beispiele in der Geschichte der Technik: Ölplattformen, Eisenbahnen, Flugzeuge und Automobile sind davon betroffen.


Der Entdecker dieser Ermüdungsphänomene ist August Wöhler (1819 – 1914), der durch seine Forschungsarbeiten an Eisenbahnachsen diese Zusammenhänge als erster erkannte.

Die bekannten und nach ihm benannten Wöhler-Linien sind auch heute noch eine sinnvolle Basis für die Lebensdauerabschätzung.

Einführung und Überblick

Die Lebensdauervorhersage mit Hilfe der Computersimulation wird zunehmend wichtiger, wenn dynamisch belastet Bauteile entwickelt werden. In vielen Fällen resultiert eine gleichmäßiger ausgelastete Struktur mit geringerem Gewicht und Bauvolumen und oftmals werden auch die Kosten reduziert.

Neben technischen Aspekten spielt auch die Frage der Produkthaftung eine Rolle und die Hersteller sind zunehmend bemüht, Lebensdauer und Zuverlässigkeit Ihrer Produkte auch rechnerisch zu überprüfen und damit auch den Stand der Technik anzuwenden.

Das Programm winLIFE ermöglicht es dem Nutzer die Lebensdauer dynamisch belasteter Bauteile zu berechnen. Dabei ist der traditionelle Weg der Berechnung unter Verwendung von Bauteilwöhlerlinien basierend auf der Nennspannungsmethode, Kerbfaktoren, etc. (ohne FEM) ebenso möglich wie die Verwendung einer FEM-Rechnung, bei der die Informationen über die örtlichen Spannungen und Dehnungen und damit auch die Vorgänge in den Kerben aus der FEM-Analyse für jeden Knoten eingelesen werden und als Basis für eine Berechnung verwendet werden.

winLIFE unterstützt alle Schritte von der Aufbereitung einer Belastung bis zum Drucken des Reports.

winLIFE kann in einer Netzwerksumgebung oder als Einzelplatzversion verwendet werden.

winLIFE ist einfach zu bedienen, ist sehr detailliert dokumentiert und wird mit 8 ausführlich dokumentierten Beispielen ausgeliefert, die der Benutzer durcharbeiten sollte, um sich mit dem Programm vertraut zu machen. winLIFE erzeugt eine Protokoll-Datei, in der auch Teilergebnisse so dargestellt sind, dass der Benutzer diese nachvollziehen kann.

Wichtig ist, dass sich der Benutzer mit den Möglichkeiten aber auch den Grenzen der Lebensdauervorehrsage vertraut macht, um seine Berechnungsergebnisse richtig zu interpretieren und im Hinblick auf ein robustes Design zu nutzen.

Die Ergebnisse einer Lebensdauerberechnung weisen einen vergleichsweise großen Fehler auf, so dass die Absolutlebensdauer auf Grund einer Berechnung nur mit Abweichungen vorhersagbar ist. Der Grund dafür ist einfach: die Lebensdauer hängt logarithmisch mit der Beanspruchung (Spannungsamplitude) zusammen. Wird diese um 5% verändert, so verändert sich die Lebensdauer um den Faktor 5 bis 10. Dieses in der Berechnung leicht nachvollziehbare Phänomen ist jedoch auch physikalische Realität! Eine Lebensdauerberechnung ist dennoch außerordentlich hilfreich, denn der relative Vergleich der Lebensdauer ist zutreffend und der kritische Ort wird gefunden. Dadurch kann der Entwicklungsprozess eines Bauteils bemerkenswert verkürzt werden.

Bei sicherheitsrelevanten Bauteilen sind aber nach wie vor Bauteiltests nötig. Die statistische Natur der Lebensdauer erfordert eine größere Zahl von Prüfungen, was derartige Tests sehr aufwendig macht. Die rechnerische Lebensdauervorhersage hilft hier, die wichtigen

Einflussgrößen zu identifizieren, die Zahl der notwendigen Tests und auch die Testdauer zu reduzieren.

Die Kombination von Berechnung, Messung und Schadensanalyse führt auf lange Sicht zu einer soliden Wissensbasis, die das Werkzeug der rechnerischen Lebensdaueranalyse immer mächtiger macht, da die experimentelle Überprüfung und der dabei ermittelte Faktor zwischen Rechnung und Messung auch quantitative Vorhersagen immer sicherer macht.

Trotz der einfachen Bedienung von winLIFE braucht der Benutzer ein tiefgehendes Verständnis der Theorie, da eine Vielzahl von Eingangsgrößen gewählt werden müssen, die entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis haben. Wir bieten Schulungen 3 Mal im Jahr an, um winLIFE User mit der Theorie als auch dem Produkt vertraut zu machen. Weiterhin bieten wir auch Schulungen im Hause des Kunden an.

---

winLIFE 3.5.1: Was ist neu

Neuerungen der winLIFE Version 3.5.1 gegenüber 3.4

Änderungen/Erweiterungen 3.5.1.0 gegenüber 3.5.0.0

- Bei der Festigkeitshypothese Modifizierte GE bei der Methode ‘Mehrachsige Belastung Uniaxial‘ kann nun das Vorzeichen ausgewählt werden. Es kann das Vorzeichen der ‘ betragsgrößten Hauptspannung’ oder das Vorzeichen der ‘größten Hauptspannung’ gewählt werden. Empfehlenswert für Standardfälle ist die Wahl des Vorzeichen aus ‘größte Hauptspannung’.

- Bei einem Containerprojekt werden die neuen Lastdateien nur dann eingetragen, wenn sich die ursprünglichen Lastdateien namentlich nicht unterscheiden.

Bugs/Features

- Bei der Klassierungsart 'Klassierung nicht bei 0 beginnen', wurde, wenn 0 der größte Wert ist, dieser trotzdem berücksichtigt.

- Bei der Generierung der Wöhlerlinie nach GL wird die Oberflächenrauhigkeit korrekt berücksichtigt.

- Fehler beim Erstellen eines Containerprojektes behoben (Lastdateien mit Leerzeichen sind jetzt zulässig).

- Ist beim Erstellen des Containerprojekts die Anzahl der Lasten kleiner als die Anzahl der Teillasten, wurden die
  Anzahl der Wiederholungen falsch berechnet.

- Nach der Durchführung der Superposition wurde zur Lebensdauerberechnung die falsche Belastungsdatei verwendet (behoben).

Änderungen/Erweiterungen 3.5.0.0 gegenüber 3.4.3.0

- Möglichkeit von Containerprojekten

- Im Dialog FE Auswahl können jetzt FE Dateien verwendet werden. Die Einstellungen werden aus dem Dialog "Extras/Werkzeuge/LST erzeugen" übernommen.

- Im Wöhlerliniendialog ist bei nicht geschweißten Bauteilen die Berechnungsmethode um GL (Germanischer Lloyd) erweitert worden.

- Im Wöhlerliniendialog ist die Einstellungen und die Berechnung des Sicherheitsfaktors geändert worden.

- Rm kann für die Wöhlerlinientransformation unabhängig von Rm* (Obergrenze) verwendet werden und somit GL- konform gerechnet werden.
- Rainflowmatrix kann als Mittelwert / Amplitudenmatrix dargestellt werden. Menüpunkt "Extras/Einstellungen/Rainflowmatrix <von ... bis>
- Die Schadenssumme über den Schnittebenen kann dargestellt werden.
- In den Exportdateien wird der Auslastungsgrad anstelle der Sicherheit ausgegeben.
- Arbeitsverzeichnis des aktuellen Projekts ist in der Statuszeile angegeben
- Projekttyp befindet sich in der Titelleiste des Projekts
- Extras - Menü wurde übersichtlicher gestaltet.
- In Mehrfachlastdateien kann der Zeitkanal angegeben werden.
- Beim Beenden von winLIFE oder beim Schließen eines geänderten Projektes ist der Dialog "Speichern Ja Nein" um das "Abbrechen" erweitert worden.
- Das Ein- und Auszoomen mit dem Mausrad in der Rainflowmatrix erfolgt jetzt an der Stelle, an der sich der Mauszeiger innerhalb der 3D Darstellung befindet.
- Alle Entities im Projektbaum werden in der englischen Version Englisch dargestellt.
- Beim Dauerfestigkeitsnachweis wird zusätzlich die Mittelspannung und Amplitude mit ausgegeben
- Beim Dauerfestigkeitsnachweis kann entschieden werden, wie der Druckschwellbereich behandelt wird.

Behobene Bugs/Features

- Fehlt beim Anzeigen der Belastung die Belastungsdatei wird sofort der Import Belastungsdialog gestartet
- Dateinamen der Belastung können mehrere Leerzeichen enthalten.
- von winEVA3.0 erzeugte Verweildauerkollektive können wieder eingelesen werden
- Beim Zoomen der Rainflowgrafik kann nicht mehr über die Klassengrenze hinaus gezoomt werden
- Wöhlerlinie nach der Berechnung wird in der Grafik als Ausgangswöhlerlinie bezeichnet.
- Im Batchbetrieb von winLIFE sind auch Sonderzeichen 'z.B. Ü' in den Dateinamen möglich
- Es können nun auch Belastungsdateien mit über 100 Spalten eingelesen werden

Änderungen/Erweiterungen 3.4.3.0 gegenüber 3.4.2.0

- Klassierung nicht bei 0 beginnend wird als Default-Einstellung verwendet. Klassierung nicht bei 0 beginnend wurde überarbeitet.

Behobene Bugs/Features

- Bei der Summierung von Schadensummen, wird abhängig von der Schnittstelle des ausgewählten Projekts, bei Schnittstelle = ANSYS eine Export Datei, bei allen anderen Schnittstellen eine Neutral Datei erzeugt.

Änderungen/Erweiterungen 3.4.2.0 gegenüber 3.4.1.0

- Beim "Datei Öffnen Dialog" wird nur noch der neue Pfad an alle Dateinamen (*.trm, *.rai ...) angehängt und nicht mehr Pfad und Dateiname der zu öffnenden wlf Datei.

- ☺ Im Dialog "LST Datei erzeugen" unter "Extras\Werkzeuge\LST Datei erzeugen" kann nun eine LST Datei und/oder eine Spannungsgradientendatei erzeugt werden.

Änderungen/Erweiterungen 3.4.1.0 gegenüber 3.4.0.0

- Gestaltänderungshypothese mit dem Vorzeichen der betragsmäßig größten Hauptspannung bei der Uniaxialen Berechnung.

Behobene Bugs/Features

- Bei der Methode Amplitudentransformation benutzerdefiniert, wird die Belastung Torsion und Schub richtig beachtet.
- Bei Klassierung nicht bei 0 beginnen konnte es zu einer Endlosschleife kommen.

Änderungen/Erweiterungen 3.4.0.0 gegenüber 3.3.6.1

- ☺ Der Spannungsgradient kann beim Kerbspannungskonzept mit FE-Daten verwendet werden.

- ☺ Bei der Amplitudentransformation werden die modifizierten Belastungen zusammen mit der Wöhlerlinie angezeigt.

- Mit dem Faktor sqrt(1 + findley_k * findley_k) wird der Eckpunkt der Dauerfestigkeit multipliziert und für die Schadensakkumulationsrechnung bei der Darstellung der Ergebnisse wird die so modifizierte Wöhlerlinie zusammen mit der transformierten Belastung dargestellt.

- ☺ Die winLIFE Exportdateien sind ANSYS-konform.

- Die Vorzeichenwahl bei der Mod.GE-Hypothese ist kann alternativ nach algebraisch oder betragsmäßig größter Hauptspannung erfolgen.
- ☺ Beim Öffnen eines Projektes werden alle internen Pfade der internen winLIFE-Dateien automatisch neu gesetzt.

- ☺ Lastzeitfunktionen können automatisch in negative oder positive Bereiche aufgespalten werden.

- ☺ Lastzeitdaten können vor der Verwendung quadriert werden.

- ☺ Auswahl zwischen mehreren Lizenzen -> keine Neueingabe des Passworts bei Lizenzwechsel.

- Rainflowklassierung kann optional beim ersten Wert beginnen, dadurch lassen sich auch konstante Vorlasten klassieren.

- Die zweite Steigung und Ecklastspielzahl der Wöhlerlinie wird im Protokoll nur dann aufgeführt, wenn diese verwendet wurde.

- Im Dialog "Lastaufteilung" werden die Einstellungen nun abgespeichert.

- Im Dialog "FE Daten" wird bei der Auswahl des Normalenvektors die Knotenauswahl gesperrt.

- Beim Addieren der Schadensummen wird eine Default-Ergebnisdatei eingetragen und generell die Endung ".csv" hinzugefügt.

- Anzeigen des Unregelmäßigkeitsfaktors in der Rainflowgrafik.

- Im Projektfenster/Projektbaum "Project Info" kann nun auch ein Projekt mit der rechten Maustaste selektiert werden.

- Im Dialog "Methode" kann nun bei der Auswahl der Belastung "Einachsig exakt - Lastkollektiv" auch "FE Schnittstelle benutzen/ausgewählt werden.

- ☺ Eine komfortable ANSYS-Schnittstelle ist verfügbar, die auch für ANSYS Workbench einsetzbar ist.

Behobene Bugs/Features

- Unter bestimmten Umständen, kann das von winLIFE erzeugte Neutralfile nicht in FEMAP eingelesen werden.

- In der Version 3.3.6.1 waren die Einstellungen „Größter Knoten" und „Spannungsgrenze" im FE-Datendialog nicht aktiv. Diese wurden nun aktiviert.
- Die Änderung der Bereiche in den Grafiken Hauptspannungsverhältnis/winkel/vektoren ist jetzt durchgängig realisiert.

- Beim Einlesen von Lasten blieb das Programm hängen, wenn in der letzten Zeile kein Zeilenende angegeben war.

- Die Anzeige der Schadensummen im Rainflowdiagramm werden nun richtig angezeigt, auch wenn die Zyklenanzahl (Wiederholungen) > 1 ist.

- Beim Anlegen eines neuen Projektes wird der Multiplikator für die Schadensummen mit 1 initialisiert.

- Beim Mohrschen Kreis verschwand das Gitter bei der Tastatureingabe.

- Wenn beim Öffnen der Knotendatei ein Fehler auftritt erfolgt jetzt ein Hinweis.

- Im Dialog "Berechnung des Spannungsgradienten" wurde der Eingabebereich der Werte S1A und S2A von 1000 auf 10000 erweitert.

Änderungen/Erweiterungen 3.3.6.1 gegenüber 3.3.6.0

Bugs/Features
- Fehlermeldungen, die bei der Lebensdauerberechnung im Batchmode auftreten, werden nun richtig angezeigt.

Änderungen/Erweiterungen 3.3.6 gegenüber 3.3.5
- Das Berechnen mehrerer Projekte wird jetzt im Batchmode durchgeführt. Eventuell auftretende Fehler werden dadurch erst am Ende aller Berechnungen angezeigt.

Änderungen/Erweiterungen 3.3.5 gegenüber 3.3.4

- Bei unterschiedlichen Zeitreihen wird immer die kürzeste verwendet. Sensitivitätsanalyse auch für Lastkollektive.

Bugs/Features
- Nochmalig geänderte ANSYS-Ausgabeformate. Anzahl der Kommentarzeilen ist in dem Neutralfile auf 2 begrenzt

Änderungen/Erweiterungen 3.3.4 gegenüber 3.3.3

- Der Dialog Multikopieren wurde erweitert. Nun kann eine Datei ausgewählt werden, in der die Belastungsdateien mit einer Sollzeit aufgelistet werden. Diese Daten werden für die Erstellung der neuen Projekte verwendet. Die Belastungsdateien müssen mindesten zwei Spalten haben, wobei die erste Spalte immer der Zeitkanal ist. Der resultierende Multiplikator ergibt sich aus der Sollzeit / Gesamtzeit(Zeitkanal). Dieser Multiplikator wird bei den Schadensummen mehrerer Projekte verwendet.

- Unter den Tools gibt es einen neuen Menüpunkt "2 LST Dateien addieren".

Bugs/Features
- Bei der Klassierung gibt es einen neuen Parameter "Klassierung nicht bei 0 beginnen".

- Beim Dialog Belastungsimport ist die Pfadwiederholung nun links neben den Dateinamen angeordnet. Zusätzlich gibt es bei der Kräftebelastung eine Spalte mit der Auswahl nur positive oder nur negative Werte.

Änderungen/Erweiterungen 3.3.3 gegenüber 3.3.2

- Der Betriebsfaktor wird immer mit einer 97,5 % Wöhlerline berechnet, welche mit TN erzeugt wird.

- Die einfache Ausfallwahrscheinlichkeit wird immer mit der 50 % Wöhlerline berechnet, welche mit TN erzeugt wird. Dieses Ergebnis steht auch im Projektbaum unter Ergebnisse zur Verfügung.

- Wurde vor einer Berechnung nicht klassiert, so wird dies automatisch vor der Berechnung durchgeführt.

- Die Diagramme der Sensitivitätsanalyse wurden verbessert und durch das COI Diagramm ergänzt.

Bugs/Features

- Der Import von alten Wöhlerlinien ist wieder möglich.

- Die der Ergebnisse der Addition der Schadensumme ist wieder nach Schadensumme addiert.

- Unter gewissen Umständen ist es passiert, dass zwei Berechnungsparameter (Zyklenanzahl, Zugfestigkeit nicht beachten) nicht übernommen wurden.

- Bei der Sortierung von Schadensummen wird der Knoten mit der größten Schädigung zuerst ausgegeben.

- Bei der statistischen Auswertung werden die geänderten Werte in das Projekt übernommen und in die Berechnung mit einbezogen.

Änderungen/Erweiterungen 3.3.2 gegenüber 3.3.1

- Die Berichtigung der FKM-Werkstoffdaten, welche in der nächsten Version der FKM-Richtlinien berichtigt werden, erfolgte bereits.

- Normalspannungshypothese / STM

- Schubspannungshypothese mit wählbarem Vorzeichen

- Normalspannunghypothese uniaxial nach Betrag oder algebraisch 1. Hauptspannung ausgewählt

- D_eff ist bei neu geladenen FKM-Wöhlerlinien immer 7,5 - > siehe FKM Richtlinie

Bugs/Features

- Bei der Generierung nach FKM war der Temperatureinfluss bei den Werkstoffen GGG, GT und GG zu groß. Die Formel wurde entsprechend berichtigt.

- Bei der Konvertierung der Schadensummen in das Neutralfile wurde immer die Schadensummer der maximale Schnittebene, wenn diese im Exportfile vorhanden war, verwendet.

- Anzahl der Kommentarzeilen im Neutralfile wird auf 2 beschränkt.

- Beim Kopieren von nicht berechneten Projekten ohne FE-Schnittstelle trat ein Fehler auf.

- Wurde Findley mit Schnittebenen senkrecht zur Oberfläche berechnet, so blieb diese Einstellung erhalten, auch wenn diese Einstellung deaktiviert wurde.

Änderungen/Erweiterungen 3.3.1 gegenüber 3.3.0

- Die Auswahl der FE-Daten bei nichtlinearer FE-Analyse wurde optimiert.
- Leere FE-Dateien werden bei der Berechnung ignoriert.
- Kleinere Änderungen in der Oberfläche bezüglich der nichtlinearen FE-Berechnung.
- Berechnung des Betriebsfaktors immer für die 2,5 % Wöhlerlinie.
- Zusätzlicher Parameter Zyklenzahl bei der Sensitivitätsanalyse.
- Im Dialog "Schadensumme aller Projekte addieren" können in der Spalte Multiplier mit Select oder Multiselect Daten über "Kopieren" oder "Einfügen" über die Zwischenablage importiert oder exportiert werden.

Bugs/Features

- Beim Schadenssummendialog kann die prozentuale Darstellung falsche Werte anzeigen, wenn verschiedene Knoten verwendet wurden
- Maximal 4 Kommentarzeilen in dem FEMAP-Neutralfile
- Bei der Änderung der Klassenparameter wird die Klassierung ungültig
- Bei der Änderung der Belastungsparameter wird die Klassierung ungültig

Schnittstellen zu FEM/MKS-Software

ANSYS:
Der Daten-Export von ANSYS nach winLIFE und zurück geschieht mit Hilfe von Makros, die über eine in die ANSYS Workbench integrierte Benutzeroberfläche angesteuert werden. Diese Makros werden mit winLIFE geliefert. Die so geschaffenen zusätzlichen Dialog-Fenster erlauben eine einfache Bedienung um die Spannungen nach winLIFE zu exportieren. Die in winLIFE erhaltenen Ergebnisse der Lebensdauerberechnung (Lebensdauer, Schadenssumme, Sicherheit gegen Dauerfestigkeit) werden von ANSYS Workbench importiert und als Iso-Linien dargestellt.

Für Scheißnähte können in ANSYS die Normaleneinheitsvekektoren senkrecht zur Schweißnaht erzeugt und zusammen mit den Spannungen nach winLIFE exportiert werden und dort eine Lebensdauerberechnung nachdem Strukturspannungskonzept durchzuführen.
http://www.ansys.com/

FEMAP und NxNASTRAN:
FEMAP erlaubt den Zugriff auf alle marktbedeutenden FEM-Programme. FEMAP ist ein wichtiger Teil der Siemens PLM-Software und wird mit dem FE-Solver NxNASTRAN geliefert. Der Datentransfer wird mit Hilfe von FEMAP Makros und der API-Schnittstelle realisiert. Es wird von der winLIFE-Software ein zusätzlicher Menüpunkt in die FEMAP-Oberfläche integriert, der den Datentransfer von und zu winLIFE steuert.
http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/femap/index.shtml

NeiNASTRAN:
Der Datentransfer von NeiNASTRAN erfolgt über FEMAP ähnlich wie zuvor bereits beschrieben.
http://www.nenastran.com/

Nx
Nx verfügt über viele einfach zu handhabende Möglichkeiten des Datentransfers. Um dem Benutzer den Zugriff auf die vielfältigen Möglichkeiten zu geben, bietet sich die Verwendung des winLIFE CDI (winLIFE-Custom-designable Data Interface) an. Damit kann der Benutzer seine aus Nx heraus in ein ASCII-File gespeicherten Daten in winLIFE einlesen.
http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/velocity/femap/index.shtml

SAMTECH:
Die winLIFE-Schnittstelle ist in den Quell-Code von SAMCEF-field integriert und erlaubt damit einen einfachen Datentransfer von und zu winLIFE. Ein in die SAMCEF-Benutzeroberfläche integrierter Menüpunkt ermöglicht den Datentransfer. Sowohl Finite Element Analyse, Mehrkörperanalyse und auch die Verwendung von S4WT (Samcef for windturbines) wird unterstützt.
http://caesam.com/DB/brochures_files/SAMTECH_Portfolio_an.pdf

Möglichkeiten und Grenzen der Berechnungskonzepte

Nachweisarten Dauerfestigkeitsnachweis / Betriebsfestigkeitsnachweis

Die Entwicklung eines Bauteils durchläuft mehrere Phasen. In einer sehr frühen Phase sind vergleichsweise wenige Informationen verfügbar dennoch besteht der Wunsch, eine Abschätzung der Lebensdauer vorzunehmen.

Für derartige Fragestellungen ist der Dauerfestigkeitsnachweis interessant. Gelingt es zu zeigen, dass unter Worst-Case Annahmen die Beanspruchungen mit einer ausreichenden Sicherheit unterhalb der Dauerfestigkeit liegen, dann ist dieses Ergebnis zunächst einmal ausreichend.

In einer späteren Phase, wenn es um die Optimierung der Struktur geht und wenn dann naturgemäß detailliertere Informationen vorliegen, dann ist der Betriebsfestigkeitsnachweis sinnvoll.

Die folgende Tabelle zeigt, welche winLIFE-Module für welche Nachweise geeignet sind.

Aufgabe	Ergebnis	Vorgehen	Programmmodul	Bemerkungen
Dauerfestigkeitsnachweis	Sicherheit gegen Dauerfestigkeit	Worst-Case Szenario	winLIFE QUICK CHECK	
Betriebsfestigkeitsnachweis	Lebensdauer (in Stunden, km, Anzahl Wiederholungen, etc.)	Analyse wirklicher Belastungen, ihr Zusammenwirken und ihre Überlagerung	winLIFE BASIS	Uniaxial / Biaxial Proportional
			winLIFE MULTIAXIAL	Drehende Hauptspannungen
			winLIFE ZAHNRÄDER & LAGER	Zahnfuß (Bruch) / Zahnflanke (Pitting)

Dauerfestigkeitsnachweis

Der Dauerfestigkeitsnachweis liefert kein Ergebnis für eine Lebensdauer sondern nur eine Aussage darüber, ob und wie weit die Worst-Case Beanspruchung unterhalb der Dauerfestigkeit liegt. Ist der Dauerfestigkeitsnachweis nicht erfüllt, so muss der sehr viel aufwändigere Betriebsfestigkeitsnachweis erfolgen. Für den Betriebsfestigkeitsnachweis

müssen dann insbesondere die Belastungen und auch ihre zeitliche Relation vorliegen.

Betriebsfestigkeitsnachweis

Der Betriebsfestigkeitsnachweis liefert als Ergebnis eine Lebensdauer erlaubt gute relative Aussagen in den frühen Entwicklungsphasen und er ermöglicht eine Bestimmung der Versagensorte. Unterschiedliche Konstruktionsvarianten können also leicht hinsichtlich zu erwartender Lebensdauer verglichen werden und man kann sich frühzeitig auf die kritischen Orte konzentrieren. Der Entwicklungsprozess kann so um einige Entwicklungsschleifen reduziert und dadurch teilweise bemerkenswert verkürzt werden.

Rechnerische Lebensdauervorhersagen sind gegenwärtig nicht genau genug, um Erprobungen zu ersetzen und die Ermüdungsfestigkeit nachzuweisen. Aus Sicherheitsgründen wird es in der Regel notwendig sein, ergänzend Bauteile unter realistischen Lastbedingungen zu prüfen.

Um die Abweichungen zwischen Experiment und Rechnung zu charakterisieren, wurden Lebensdauerberechnungen und Versuchsergebnisse ausgewertet und die gemessene Anzahl der Zyklen bis zum Defekt N_{test} mit der gerechneten Anzahl N_{calc} verglichen:

$$D_M = N_{test} / N_{calc}$$

Diese von vielen Autoren in der Vergangenheit für eine große Zahl von Lebensdauerberechnungen durchgeführte Auswertung zeigt, dass die Werte für D_M im Bereich zwischen 0,1 und 10 (oder sogar darüber) liegen können, dass also die berechnete Lebensdauer um den Faktor 10 nach oben und unten falsch angegeben werden kann. Dies zeigt, dass eine Vorhersage der absoluten Lebensdauer allein auf der Basis von Rechnungen zu ungenau ist.

Liegt jedoch parallel zu einer Lebensdauerberechnung ein abgesichertes experimentelles Ergebnis vor, so kann für ähnliche Bauteile auch eine absolute Lebensdauervorhersage gemacht werden, denn die Relation $N_{test/}$ N_{calc} bleibt bei ähnlichen Problemstellungen erhalten!

Ein einfaches Beispiel, wie man es oft in der Praxis findet, soll dieses illustrieren (Daten in der Tabelle unten). Unterstellt man, dass eine Lebensdauerberechnung für drei Konstruktionsvarianten mit dem Ergebnis in der folgenden Tabelle durchgeführt wurde, so lässt sich daraus folgendes entnehmen: Achsträger 2 weist die höchste Lebensdauer auf und wird 6 x so lange halten wie Achsträger 3 und 1,5 Mal so lange wie Achsträger 1. Damit ist eine *qualitative* Beurteilung dieser drei Achsträger möglich. Allerdings ist die absolute Zahl der berechneten Zyklen bis zum Defekt N_{calc} zu ungenau, denn sie kann - wie zuvor erwähnt - um den Faktor 10 nach oben oder unten abweichen, was im allgemeinen als nicht befriedigende Genauigkeit anzusehen ist.

Tabelle: Beispiel für die berechnete Lebensdauer Ncalc verschiedener Bauteile

Bauteil	N_{calc}
Achsträger 1	2 000 000
Achsträger 2	3 000 000
Achsträger 3	500 000

Wird nun ein Bauteil - z.B. Achsträger 1 - zusätzlich in einem den Bedingungen der Berechnung entsprechenden Test mit (einer statistisch ausreichenden Anzahl von Bauteilen) geprüft und die Zyklenzahl 200 000 erhalten, so kann daraus der Faktor

$$D_M = N_{test/} N_{calc} = 200\ 000/2\ 000\ 000 = 0{,}10$$

bestimmt werden. Er gilt (unter der Voraussetzung, dass die beiden anderen Achsträger „ähnlich" sind) auch für diese, so dass nun deren wirkliche Lastspielzahl N_{test} berechnet werden kann. Die Tabelle kann dann durch Multiplikation der berechneten Lastspielzahlen mit dem Faktor 0,1 um die beiden fehlenden Werte ergänzt werden. Diese sollten dann eine ausreichende Genauigkeit für die absolute Lebensdauer haben.

Tabelle 3.1-2: Beispiel für die Hochrechnung der berechneten Lebensdauer Ncalc auf die wirkliche Lebensdauer N_{test}

Bauteil	N_{calc}	N_{test}
Achsträger 1	2 000 000	gemessen 200 000 daraus D_M=0,1
Achsträger 2	3 000 000	Prognose: D_M * 3 000 000 = 300 000
Achsträger 3	500 000	Prognose: D_M * 5 000 000 = 500 000

winLIFE QUICK CHECK (Dauerfestigkeitsnachweis)

Viele Anwender der FEM wollen Aussagen über die „Lebensdauer" machen. Sie haben aber oftmals kaum Informationen über das Belastungskollektiv, die Wöhlerkurven, Oberfläche, Isotropie, etc. Trotzdem möchten Sie zumindest eine vereinfachte Abschätzung haben, ob überhaupt Betriebsfestigkeitsprobleme zu erwarten sind. Für derartige Fragestellungen ist der Dauerfestigkeitsnachweis interessant. Gelingt es zu zeigen, dass unter Worst-Case Annahmen die Beanspruchungen mit einer ausreichenden Sicherheit unterhalb der Dauerfestigkeit liegen, dann ist dieses Ergebnis oftmals ausreichend und der aufwendigere Betriebsfestigkeitsnachweis kann entfallen.

Der Dauerfestigkeitsnachweis liefert kein Ergebnis für eine Lebensdauer sondern nur eine Aussage darüber, ob und wie weit die Worst-Case Beanspruchung unterhalb der Dauerfestigkeit liegt. Ist der Dauerfestigkeitsnachweis nicht erfüllt, so muss der sehr viel aufwendigere Betriebsfestigkeitsnachweis erfolgen. Für den Betriebsfestigkeitsnachweis müssen dann insbesondere die Belastungen und auch ihre zeitliche Relation vorliegen.

Nachweis der Sicherheit gegen Dauerfestigkeit

Das Programmmodul winLIFE QUICK CHECK stellt die Funktionalität für den Dauerfestigkeitsnachweis zur Verfügung. Es kann dabei mit wenigen Benutzeraktionen ein Ergebnis erhalten werden. Bei diesem Nachweis sind FEM-Berechnungen die Grundlage und für jede auf das Bauteil wirkende Last F_i (Kraft, Moment, Temperatur) muss eine statische FEM-Rechnung für deren Maximalwert (Oberlast F_{oi}) vorliegen.

Bei jeder auf das Bauteil wirkenden Last wird lediglich

- die Mittellast und Amplitude oder
- eine konstante Last

berücksichtigt. Die Anzahl der Schwingspiele der Last geht nicht in die Berechnung ein. Die Spannungstensoren beliebiger Knoten – z.B. aller Knoten der Oberfläche - werden für die Analyse verwendet.

Zur Werkstoffbeschreibung wird nur die Dauerfestigkeit benötigt und deren Abhängigkeit von der Mittelspannung.

Für die Berechnung der Sicherheit gegen Dauerfestigkeit erfolgt eine Berechnung aller möglichen Kombinationen der Spannungstensoren, die superponiert werden. Aus den Ergebnissen aller Superpositionen wird die maximal und minimal auftretende Hauptspannung ermittelt. Daraus werden eine Hauptmittelspannung und eine Hauptspannungsamplitude berechnet, die mit Hilfe der Mittelspannungsempfindlichkeit M in eine äquivalente Amplitude $S_{a,equ}$ umgerechnet werden. Die Dauerfestigkeit S_{DW} der Wöhlerkurve wird durch die äquivalente Amplitude dividiert, was der Sicherheit gegen Dauerfestigkeit entspricht. Der Kehrwert der Sicherheit gegen Dauerfestigkeit ist der Auslastungsgrad $a = S_{a,equ}/S_{DW}$.

Es muss für jeden einzelnen Lastfall i die maximale Belastung (=Oberlast) F_{oi} auf das FE-Modell aufgebracht werden. Als Ergebnis der FE-Rechnung werden die Spannungstensoren $S_{ki,o}$ für jeden Knoten k erhalten Die Unterlast F_{ui} ergibt sich aus dem Spannungsverhältnis R und F_{oi} gemäß folgender Formel:

$F_{ui} = F_{oi} * R_i$

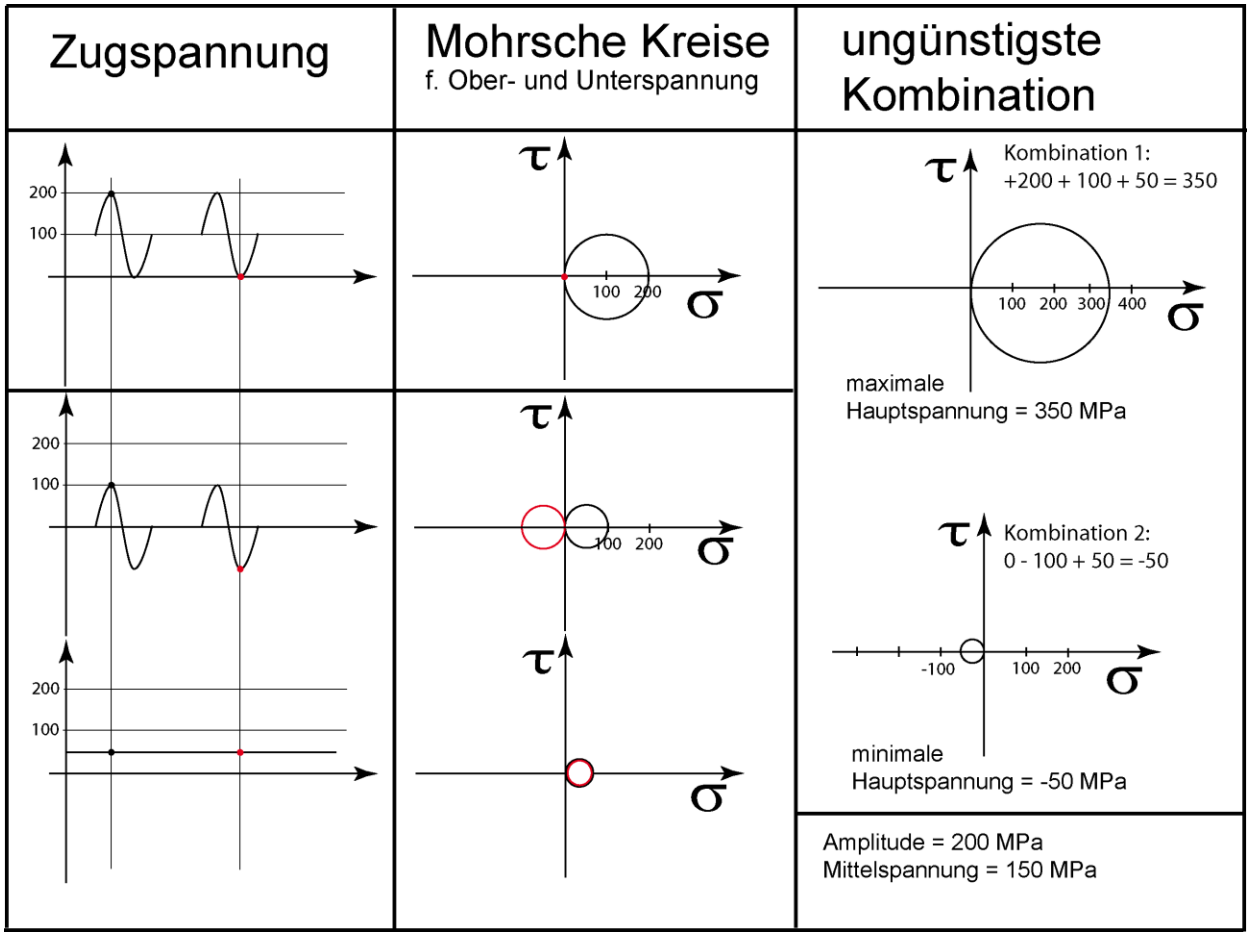
Der Spannungstensor für die Unterlast kann dann mit Hilfe der folgenden Formel einfach berechnet werden:

$$\underline{\underline{S_{ki,u}}} = \frac{F_{ui}}{F_{oi}} \underline{\underline{S_{ki,o}}} = R \underline{\underline{S_{ki,o}}}$$

Es werden nun die Permutationen p(i) aller denkbaren Lastkombinationen berechnet um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass sich die Spannungen ungünstigst überlagern können. Das Ergebnis berücksichtigt damit den ungünstigsten Fall und liegt damit auf der sicheren Seite. Um die ungünstigste Spannungsüberlagerung zu bestimmen, müssen die folgenden Lastfallkombination untersucht werden.

Art der Belastung	Anzahl der zu untersuchenden Kombinationen	Variante 1	Variante 2	
Wechselnd (R=-1)	2	+1	-1	
Schwellend (R=0)	2	+1	0	
Konstant (R=1)	1	+1		
Beliebiges R	2	+1	-1	

Ein einfaches Beispiel für eine reine Zug-Druckbelastung ist im folgenden Bild dargestellt und soll verdeutlichen, wie vorgegangen wird. Betrachten wir nur den Zustand auf der Oberfläche, so wird dort ein ebener Spannungszustand vorliegen. Diesen können wir im Mohrschen Kreis einfach darstellen und daraus auch die Hauptspannungen entnehmen.



An jedem Knoten gibt es für jeden Spannungstensor S_{kiu} und S_{kio} je eine größte und kleinste Hauptspannung. Da der zeitliche Verlauf der Lasten i nicht bekannt ist, werden alle denkbaren Lastfallkombinationen untersucht und die größte und die kleinste Hauptspannung aller Kombinationen gesucht. Die Verwendung der Hauptspannung als schädigungsrelevante Größe ist zwar eine starke Vereinfachung, die jedoch für eine Abschätzung ausreichen sollte.

Aus der größten und kleinsten Hauptspannung S_{Hmax} und S_{Hmin} werden die Amplitude und die Mittelspannung nach folgender Formel bestimmt:

$$S_m = (S_{Hmax} + S_{Hmin})/2$$

$$S_a = (S_{Hmax} - S_{Hmin})/2$$

Aus Spannungsamplitude und Mittelspannung wird mit Hilfe der Amplitudentransformation eine äquivalente Wechselspannung $S_{a,equ}$ berechnet. Die Dauerfestigkeit S_{DW} dividiert durch diese Wechselspannungsamplitude stellt dann die Sicherheit gegen Dauerfestigkeit dar. Der Kehrwert der Sicherheit gegen Dauerfestigkeit ist der Auslastungsgrad $a = S_{a,equ}/S_{DW}$.. Die Ergebnisse für die Sicherheit gegen Dauerfestigkeit und der Auslastungsgrad werden in die winLIFE-Export-Datei geschrieben, die als Ergebnis auf dem Bildschirm oder als Ausdruck dargestellt werden kann.

Sollte der Auslastungsgrad < 1 sein, so kann davon ausgegangen werden, dass keine Betriebsfestigkeitsrechnung notwendig ist.

Liegt der Auslastungsgrad in der Nähe von 1 oder gar darüber, so wird eine vertiefende Analyse durch einen Betriebsfestigkeitsnachweis nötig sein.

winLIFE BASIS

Dieses Modul ist immer erforderlich. Die folgenden Erweiterungen werden zusätzlich zum BASIS-Modul benötigt:

winLIFE MULTIAXIAL

und

winLIFE ZAHNRÄDER UND LAGER

winLIFE Projektmanagement-System

Typische industrielle Aufgabenstellungen beinhalten nicht nur eine einzelne Berechnung der Lebensdauer, sondern in der Regel werden eine Vielzahl von Lastfällen und Varianten zu berechnen sein.

winLIFE bietet dazu ein leistungsfähiges System zur Projektbearbeitung, bei dem bis zu 1000 Projekte gleichzeitig bearbeitet werden können. Das Bild unten zeigt die Benutzeroberfläche, in der 8 Projekte definiert sind. Die Projekte können einzeln bearbeitet werden, sie können aber auch gemeinsam gestartet und auch überlagert werden.

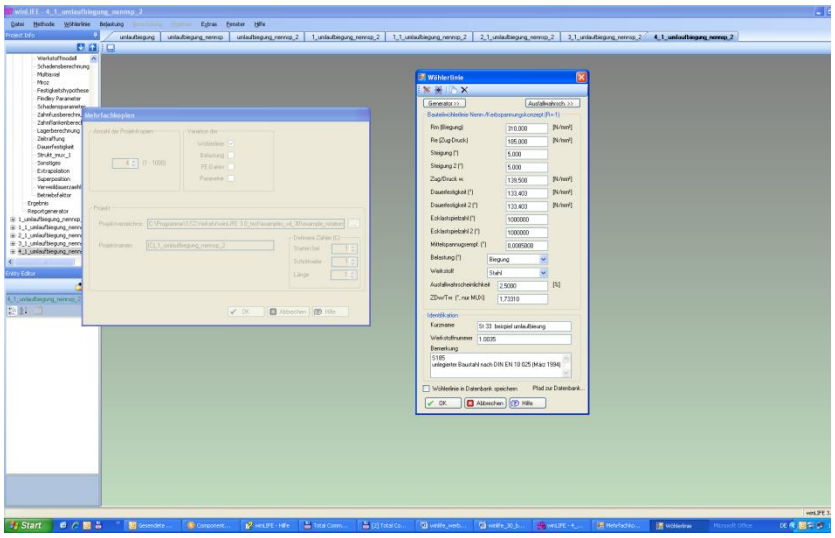


Bild 1: winLIFE Benutzeroberfläche

Ein Projektgenerator ermöglicht die Erzeugung von Projekten, bei denen einzelne Parameter systematisch variiert werden können.

Da viele Berechnungen zu langen Rechenzeiten führen, ist ein automatisierter Ablauf wichtig, so dass der Möglichkeit der Batch-Verarbeitung große Bedeutung zukommt. Die Projektdateien sind im XML-Format gespeichert und können auch von der Benutzeroberfläche als Batch gestartet werden.

Wie erhalte ich Materialdaten für eine Lebensdauerberechnung

winLIFE bietet mehrere Möglichkeiten zur Beschaffung von Materialdaten für die Lebensdauerberechnung. Neben einer Generierung auf der Basis statischer Werkstoffdaten sind auch umfangreiche Materialdatenbanken im Lieferumfang enthalten.

Erzeugung von Bauteil-Wöhlerkurven aus statischen Materialdaten

Da winLIFE in den Bereichen Windenergie, Schiffbau und allgemeiner Maschinenbau viele Kunden hat, wurden spezielle Eingabegeneratoren geschaffen, die auf der Basis statischer Werkstoffkennwerte Lebensdauerdaten generieren können. Dies sind:

- Wöhlerliniengenerator für Schweißverbindungen in Anlehnung an den Germanischen Lloyd für Schiffbau
- Wöhlerliniengenerator für Schweißverbindungen in Anlehnung an den Germanischen Lloyd für Windenergie
- Wöhlerlinien in Anlehnung an die FKM-Richtlinie
- Wöhlerliniengenerator nach Hück, Trainer, Schütz
- Generator nach dem Uniform Material Law

Ein Beispiel für eine Eingabemaske zeigt das folgende Bild für einen Generator nach der FKM-Richtlinie, die einen großen Erfahrungsschatz beinhaltet und die auch in vielen Bereichen bereits etabliert ist. Aus statischen Werkstoffdaten wie Streckgrenze, Zugfestigkeit und Informationen des Bauteils wie Oberfläche, Kerbfaktor, Spannungsgradient etc. kann die Wöhlerlinie abgeschätzt werden.

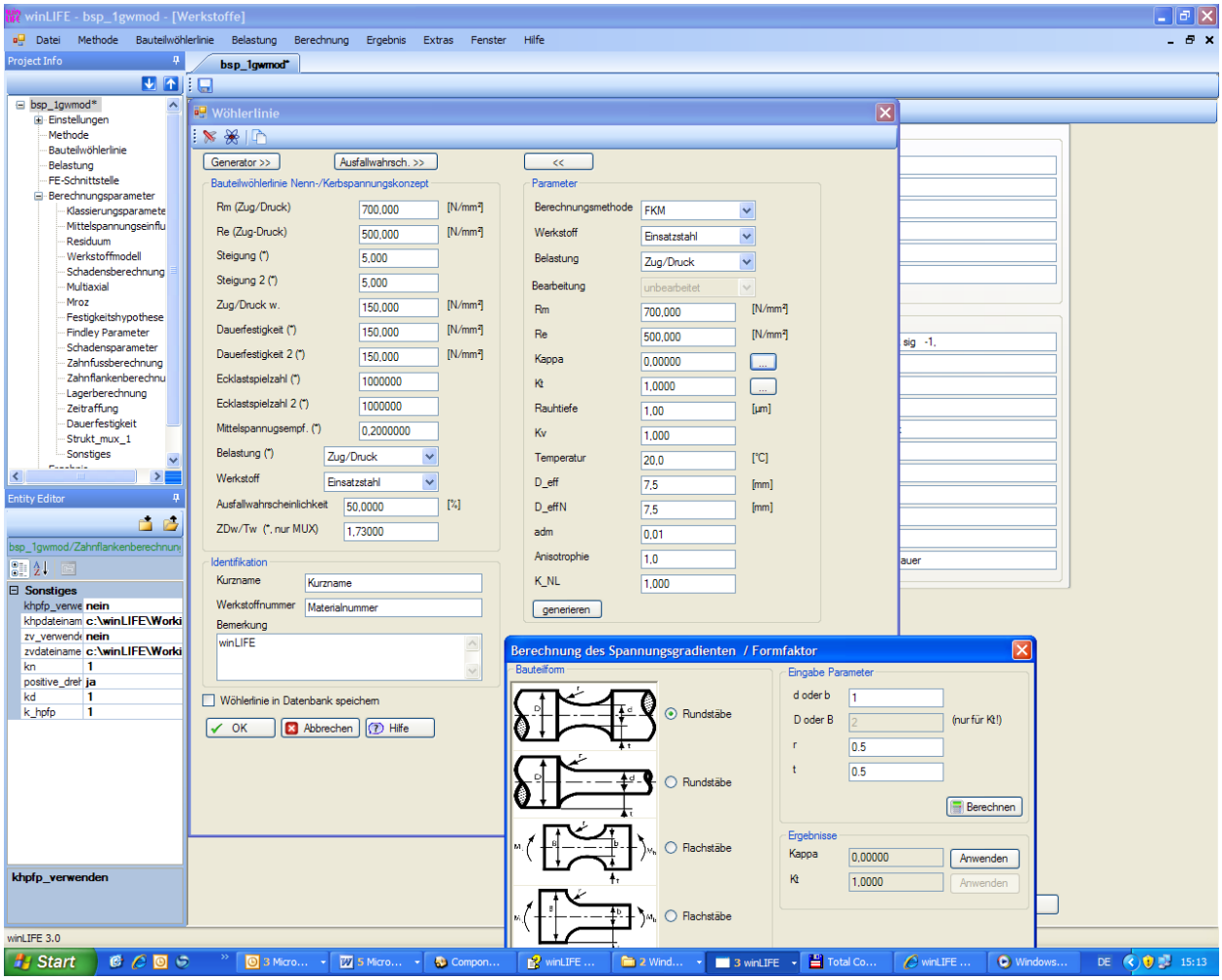


Bild 2: Maske zur Eingabe bzw. Generierung der Bauteilwöhlerlinie

Bild 2 zeigt die Eingabemaske, mit deren Hilfe diese Wöhlerlinien generiert werden. Nach der Generierung kann der Benutzer die Daten teilweise überschreiben und auf diese Weise ihm bekannte Einzelwerte entsprechend modifizieren.

Neben der Wöhlerlinie wird auch das Haigh-Diagramm als die umfassendere Information verwendet, da dort auch die Mittelspannungsempfindlichkeit und Streckgrenze und Bruchgrenze dargestellt werden (Bild).

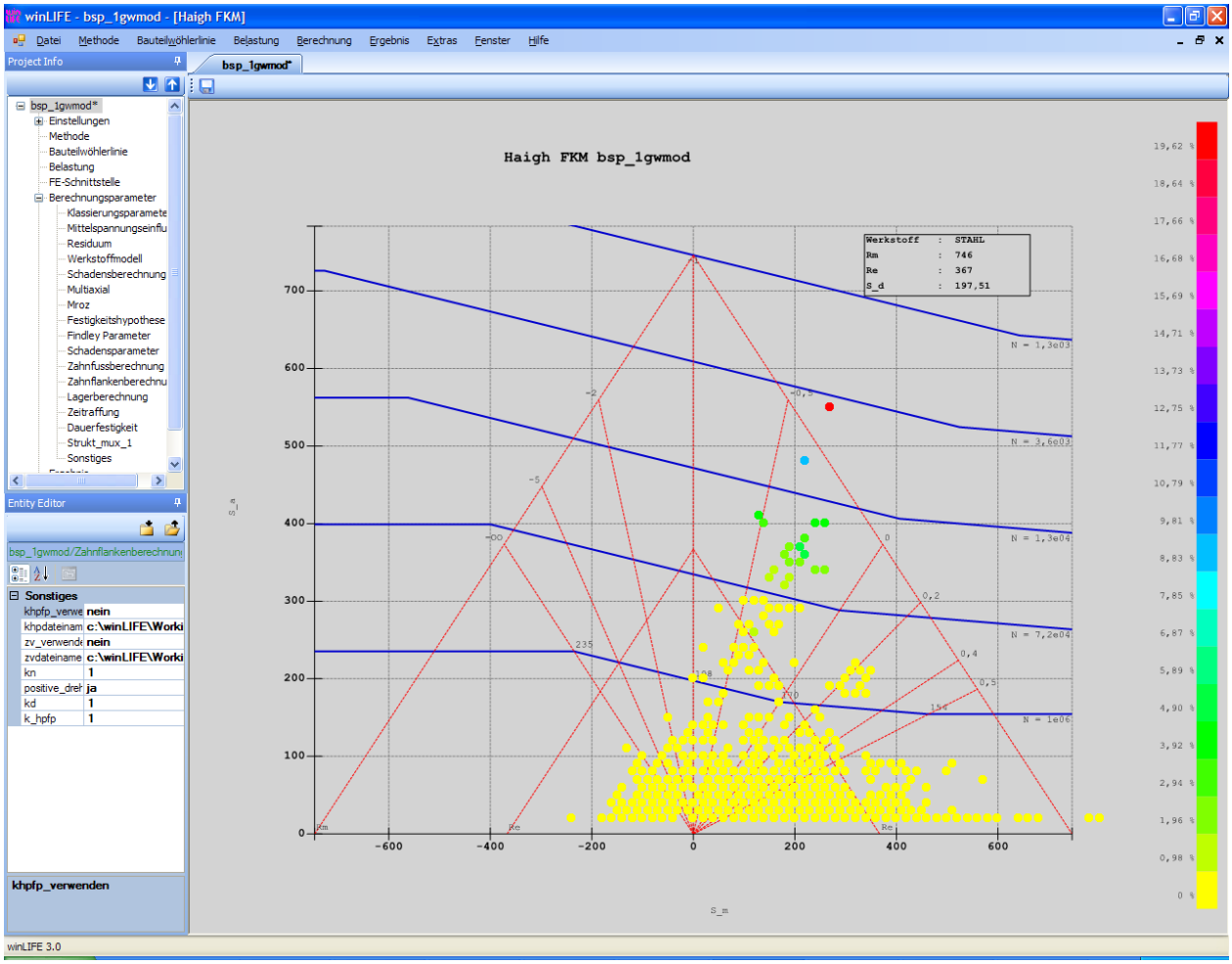


Bild 3: Das Haigh-Diagramm – hier zusammen mit den Ergebnissen einer Berechnung dargestellt - zeigt den Zusammenhang zwischen Spannungsamplitude, Mittelspannung und Lastspielzahl bis zum Defekt (Lebensdauer). Jeder einzelne Punkt repräsentiert eine Beanspruchungsstufe

Wenn die Ausfallwahrscheinlichkeit für eine Untersuchung von Bedeutung ist, kann ausgehend von der 50% Wöhlerlinie jede Wöhlerlinie mit einer anderen Ausfallrate davon abgeleitet werden, wobei unterschiedliche Streuungen im Bereich der Zeit- und Dauerfestigkeit berücksichtigt werden können.

Erzeugung von Bauteilwöhlerlinien für geschweißte Bauteile

Es können Bauteilwöhlerlinien nach der FKM-Richtlinie, dem Germanischen Lloyd (Schiffbau, Windenergie), IIW erzeugt werden. Die Berechnung der Lebensdauer kann nach dem Nennspannungskonzept oder dem Strukturspannungskonezpt erfolgen.

Die Berücksichtigung der Geometrie und Kerbfaktoren erfolgt durch Zuordnung zu einem Katalog verschiedener Schweißnähte (Detailklassen, FAT-Klassen).

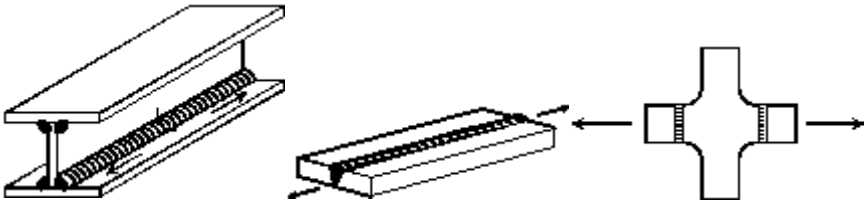


Bild 4 Schweißnahttypen, die aus einem Katalog ausgewählt werden können.

Für das Strukturspannungskonzept existieren für FEMAP und ANSYS leistungsfähige Makros zur Datenübergabe an winLIFE.

Verwendung von Dehnungswöhlerlinien

Wenn man nach dem Örtlichen Konzept arbeiten will, können die notwendigen Materialdaten durch Generierung auf Grund statischer Materialkennwerte (Uniform Material Law) oder aber durch Verwendung der Materialdatenbank erhalten werden.

Bild 5 zeigt eine Beispielrechnung, bei der durch Generierung aus statischen Kennwerten die zyklischen Daten gewonnen wurden und dargestellt sind. Für das Bauteil wurden die Formzahl und die Oberflächenrauigkeit in der Kerbe gegeben. Der Spannungs-Dehnungs-Pfad in der Kerbe wurde für das Bauteil aus der Rainflow-Matrix berechnet. Man kann auch ohne Rainflow-Zählung direkt mit Hilfe des Werkstoffgedächtnisses den Pfad berechnen.

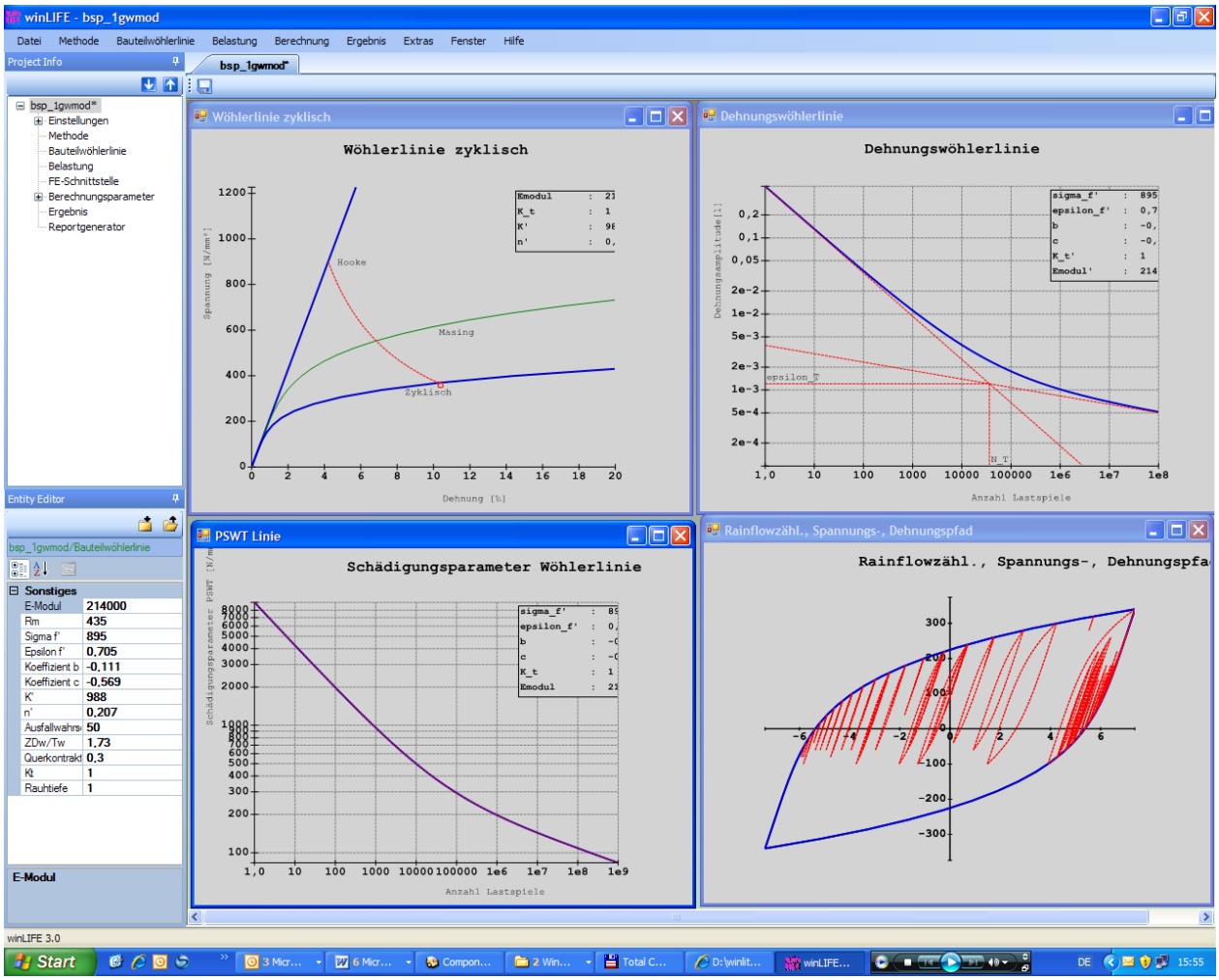


Bild 5: Maske zu Eingabe der Daten zur Generierung einer Dehnungs-Wöhlerlinie und der zyklischen Werkstoffdaten.

Materialdatenbanken

Bisher konnten winLIFE-Kunden Daten aus unserer Internet-Datenbank laden. Dies wurde nun in der Version 3.3. geändert. Die folgenden Daten werden auf der winLIFE-CD mitgeliefert und stehen dem Benutzer auf seinem Rechner zur Verfügung:

- Materialdatenbank für das Örtliche Konzept
- Materialdatenbank nach FKM
- Benutzerdatenbank

Material – Datenbank für das Örtliche Dehnungskonzept

Für Berechnungen nach dem Örtlichen Konzept steht eine umfangreiche Datenbank (mehr als 1000 Werkstoffe) mit folgenden Informationen zur Verfügung:

statische Werkstoffkennwerte

zyklische Werkstoffkennwerte

allgemeinen Informationen und insbesondere auch Quellen der Information

Eigene Daten können in die Datenbank aufgenommen werden.

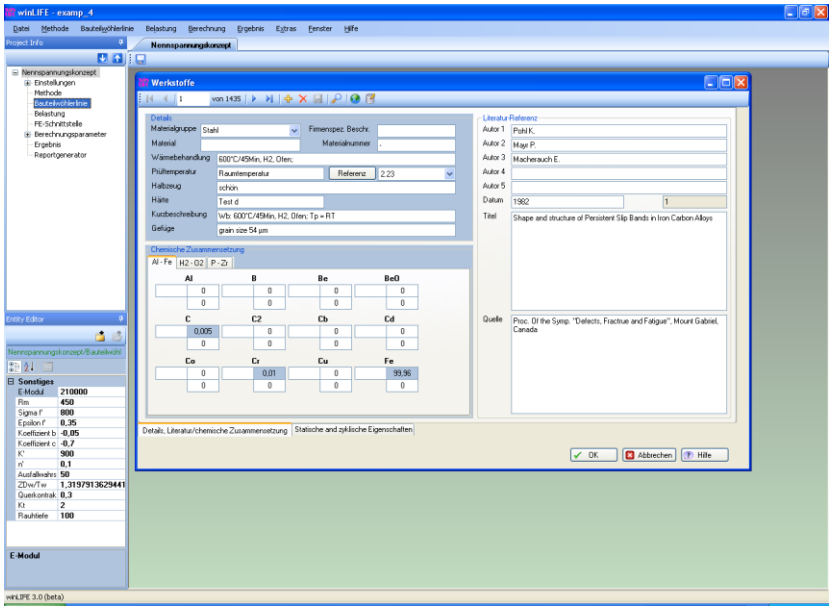


Bild 6a: Maske zur Ansicht der Daten der Materialdatenbank

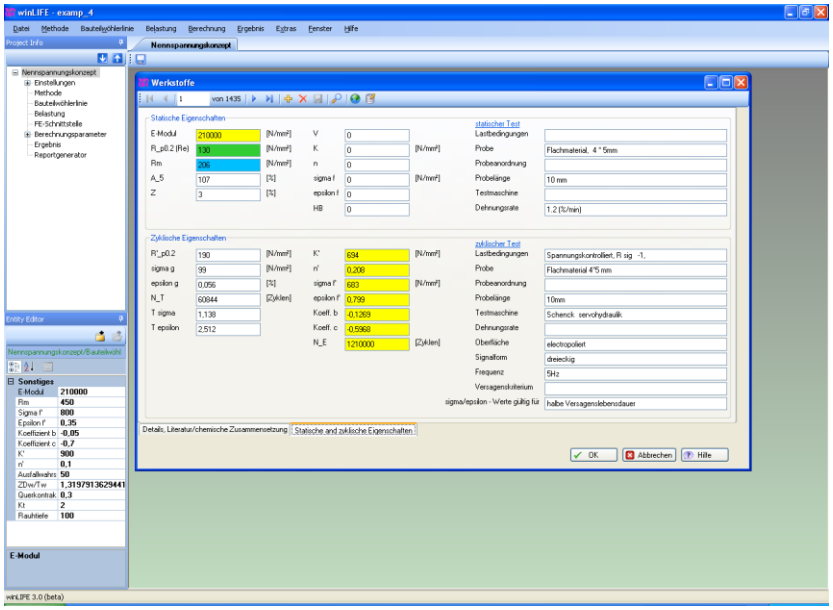


Bild 6b: Maske zur Ansicht der Daten der Materialdatenbank

Material – Datenbank für Berechnung nach FKM

Aus der mitgelieferten Datenbank mit Daten aus der FKM-Richtlinie können übliche Materialdaten aus Probenversuchen entnommen werden. Mit Hilfe dieser Daten können dann Wöhlerlinien für das Bauteil generiert werden.

Werden zusätzlich zu diesen Materialdaten die Bauteildaten eingegeben, so kann eine Bauteilwöhlerlinie generiert werden. Diese kann schließlich in der Benutzerdatenbank gespeichert werden.

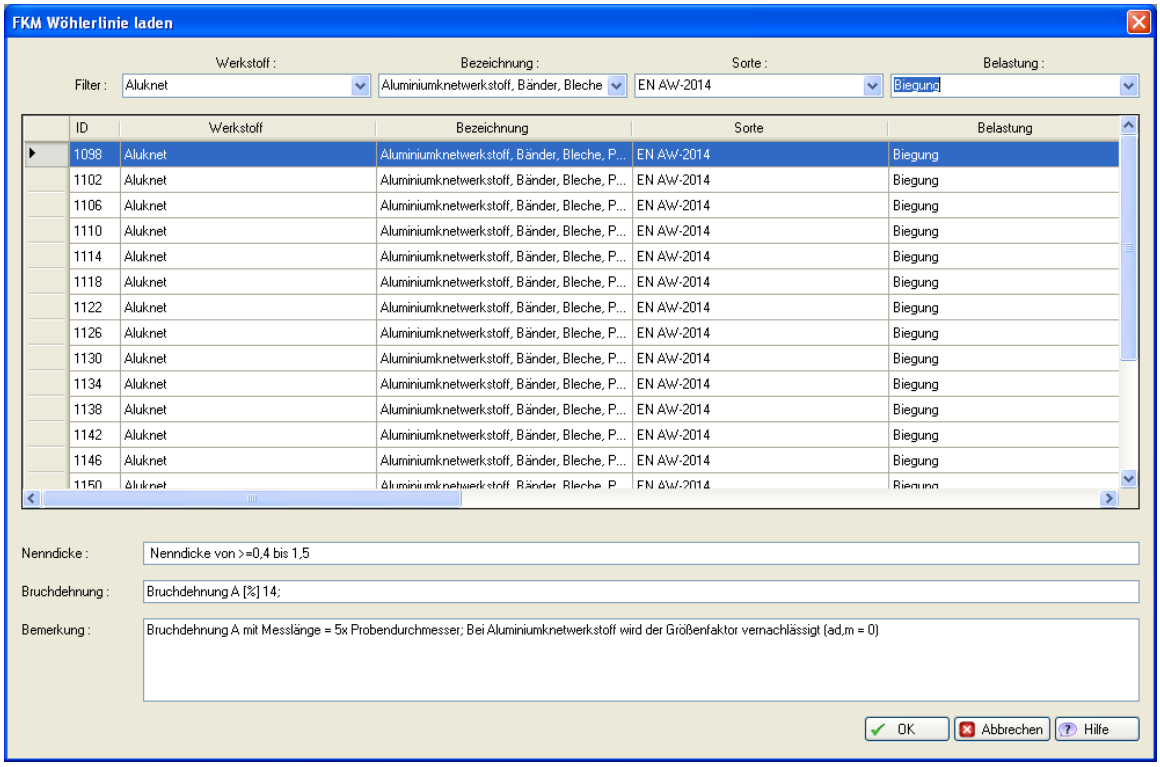


Bild 7: Eingabemaske zur Wahl des Werkstoffes aus der Materialdatenbank der Probendaten

Datenbank des Benutzers

Der winLIFE-Benutzer speichert die von ihm verwendeten Material/Bauteil-Daten der Lebensdauerberechnung in einer Benutzer-Datenbank, die die Information über das Material und das Bauteil enthält.

Beschaffung der Belastungsdaten

Für eine Lebensdauerberechnung werden Daten der wirkenden Belastung benötigt. Dies kann ein gemessener Last-Zeit-Verlauf oder aber eine Häufigkeitsverteilung von Lasten (Lastkollektiv) sein.

Festlegung eines Lastkollektivs

Ein Lastkollektiv ist definiert durch folgendes Wertetripel:

Mittellast,

Last-Amplitude

Anzahl der Zyklen

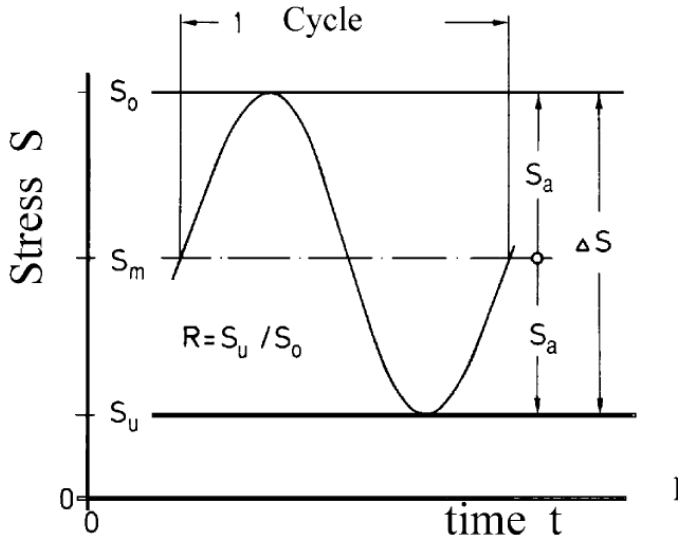


Bild 8: Definition eines Zyklus

Erfahrungen in verschiedensten Bereichen der Technik zeigen, dass die wirkenden Lastkollektive bestimmte Grundformen haben, die einfach zu beschreiben sind. Kennt man – z.B. aus Veröffentlichungen – die Grundform der wirkenden Lastkollektive, so kann man mit dem winLIFE-Kollektiv-Generator sehr einfach ein für das individuell vorliegende Bauteil angepasstes Lastkollektiv erzeugen. Das folgende Bild zeigt drei solcher Grundformen von Lastkollektiven, die mit winLIFE generiert wurden.

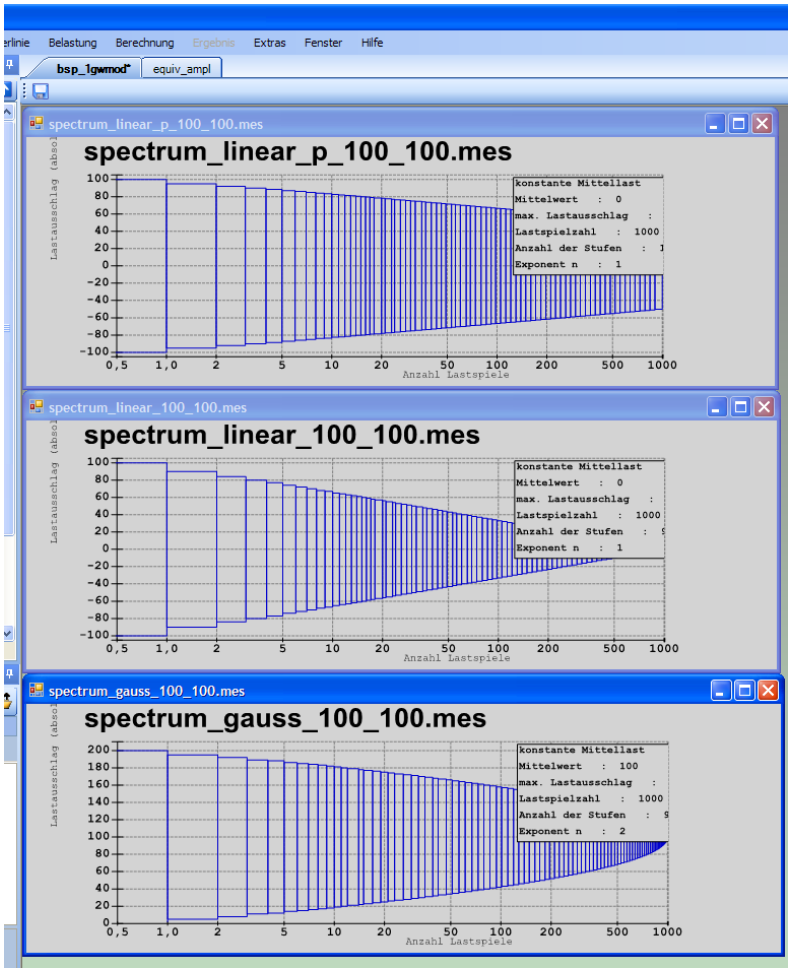


Bild 9:Beispiele für verschiedene Lastkollektive, die mit dem eingebauten Kollektivgenerator erzeugt wurden. (unten: Normalverteilung, Mitte: Linearverteilung (n=1), oben: p - Kollektiv)

Verwendung von Last-Zeit-Verläufen

Ein anderer Weg die Belastung zu beschreiben besteht in der Verwendung von Last-Zeit-Verläufen. Unter Last kann dabei eine Spannung, Moment oder Kraft verstanden werden (Bild 13). Solche Daten können durch Messung erhalten werden, möglich wäre es aber auch, dass der Benutzer den Last-Zeit-Verlauf manuell über die Tastatur eingibt. Eine andere Möglichkeit bietet der Sinus-Generator, der auf einfache Weise Last-Zeit-Funktionen erzeugen kann.

Kräftebelastung (manuelle Eingabe)

Die Belastung – z.B. Kräfte als Funktion der Zeit – werden in die Eingabemaske eingetragen und anschließend abgespeichert. Auf diese Weise wird man wegen des Zeitaufwands nur kurze Lastfolgen eingeben.

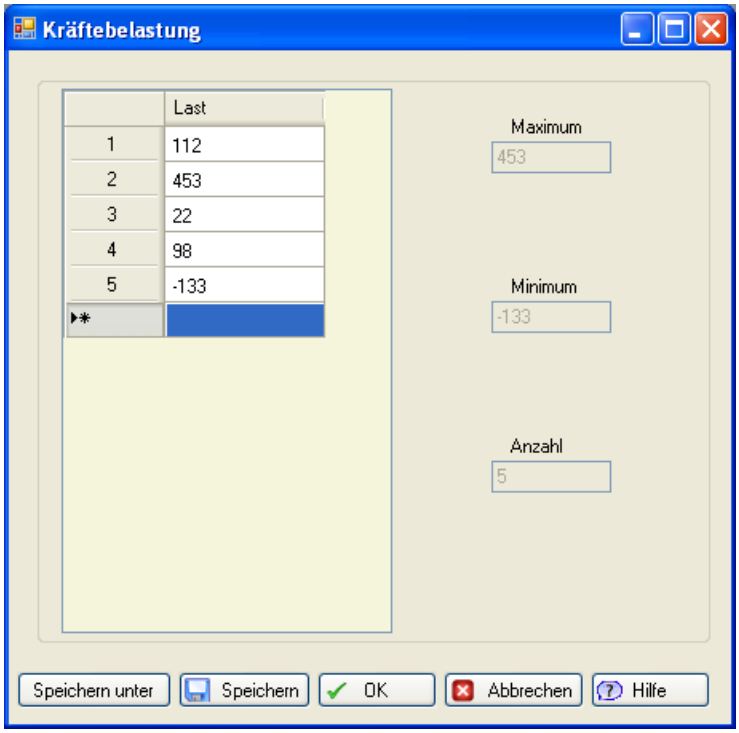


Bild 10: Eingabemaske zur manuellen Eingabe der Last

Kräftegenerator (Sinus)

Oftmals besteht der Wunsch, einfache Verläufe der Last-Zeit-Funktion schnell auf einfache Weise zu generieren. Dies wird durch den hier beschriebenen Sinusgenerator ermöglicht.

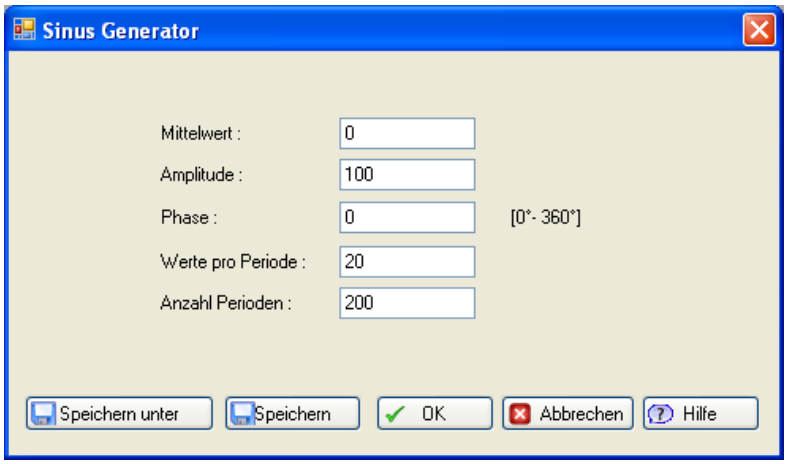


Bild 11: Eingabemaske zur Generierung einer Sinus-Belastung

Die Eingaben dürften selbsterklärend. sein. Das Ergebnis der Generierung zeigt das folgende Bild:

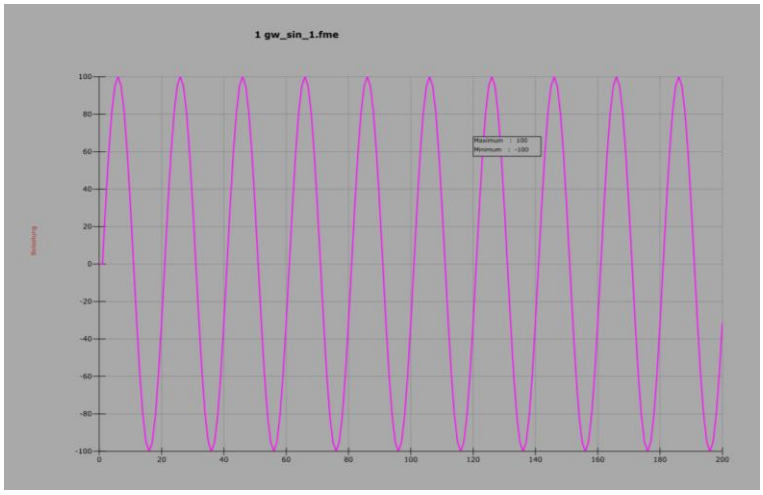


Bild 12:Ergebnis der Generierung einer sinusförmigen -Belastung

Import von gemessenen Last-Zeit-Funktionen

Meistens werden sehr umfangreiche Messdaten, deren Länge mehrere Gigabyte betragen kann, verwendet.

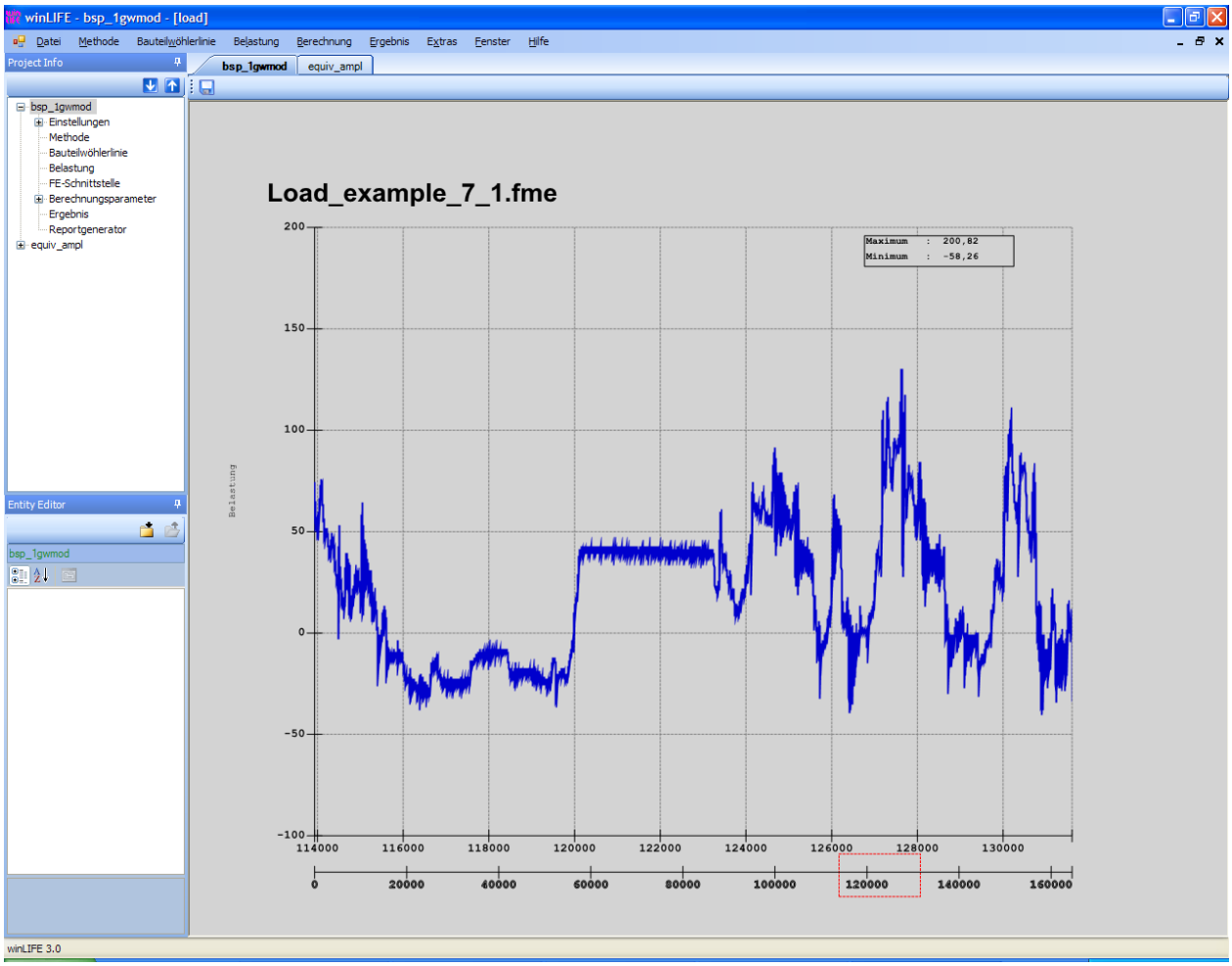


Bild 13:gemessener Last-Zeit-Verlauf

Eine interaktive Datennachbearbeitung in der Grafik ermöglicht es, die Daten des Last-Zeit-Verlaufs oder des Lastkollektivs einfach zu korrigieren. So können z.B. Spikes schnell beseitigt und Korrekturen einer Signaldrift vorgenommen werden.

Die von winLIFE verwendet Rainflow-Matrix kann ebenfalls nachbearbeitet werden. Die Rainflow-Matrix enthält die schädigungsrelevanten Ereignisse und zeigt deren Schädigung durch eine Farbskala an. Durch Veränderung der Rainflow-Matrix lassen sich alternative Belastungs-Szenarien einfach durchspielen.

Im Falle des Örtlichen Konzeptes kann der Spannungs-Dehnungs-Pfad dargestellt werden. Er wird aus der Rainflow-Matrix und den zyklischen Werkstoffkennwerten dargestellt.

Durchführung der Lebensdauerberechnung

Verwendung von Finiten Elementen

Im Fall der Verwendung eines FE-Modells wird ein Einheitslastfall mit Hilfe der FEM berechnet. winLIFE-BASIS ist hier auf nur einen Einheitslastfall begrenzt. (winLIFE MULTIAXIAL kann bis zu 200 Lastfälle gleichzeitig berechnen). Details zum Datentransfer s. unter winLIFE MULTIAXIAL.

Ablauf am Beispiel dargestellt

Es soll nun kurz beschrieben werden, wie eine Lebensdauerberechnung mit winLIFE-BASIS abläuft. Dies geschieht am Beispiel eines Lenkers einer Lkw-Radaufhängung Bild 14, die durch eine gemessene Last-Zeit-Funktion belastet ist (Bild 15). Wegen der Symmetrie ist nur die obere Hälfte des Bauteils dargestellt.

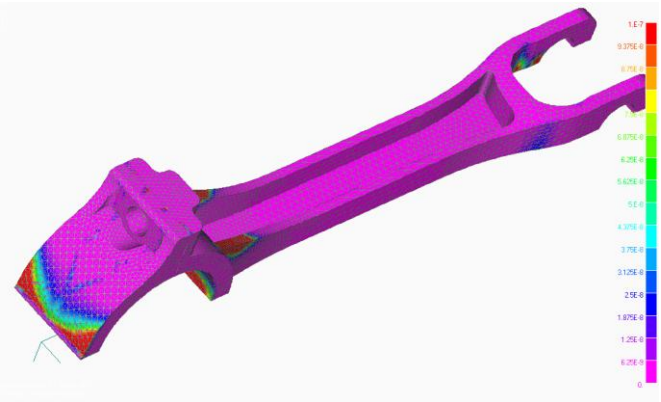


Bild 14: Ergebnis der statischen Belastung durch einen Einheitslastfall eines Längslenkers einer Radaufhängung eines Lkw (aus Symmetriegründen wurde nur eine Hälfte berechnet).

Im ersten Schritt ist eine statische FE-Analyse unter Verwendung der Einheitslast F_o notwendig. Wichtig ist, dass die Einheitslast die gleiche Wirkungslinie wie die Betriebsbelastung F(t) aufweist.

Für jeden Zeitschritt t wird die elastische Spannung (korrekt der Spannungstensor) als Folge der Last F(t) mit Hilfe des Quotienten $F(t)/F_O$ berechnet. Wenn ein Zeitverlauf F(t) wie in Bild dargestellt existiert, dann kann die Spannung innerhalb des Bauteils für jeden gewünschten Zeitschritt berechnet werden.

Im Fall der Anwendung des Örtlichen Konzeptes existiert eine Spannungs-Dehnungs-Kurve, die in die Berechnung mit einbezogen wird. Auf diese Weise wird auch die Plastifizierung des Werkstoffs unter Verwendung der Neuber-Regel mit berücksichtigt.

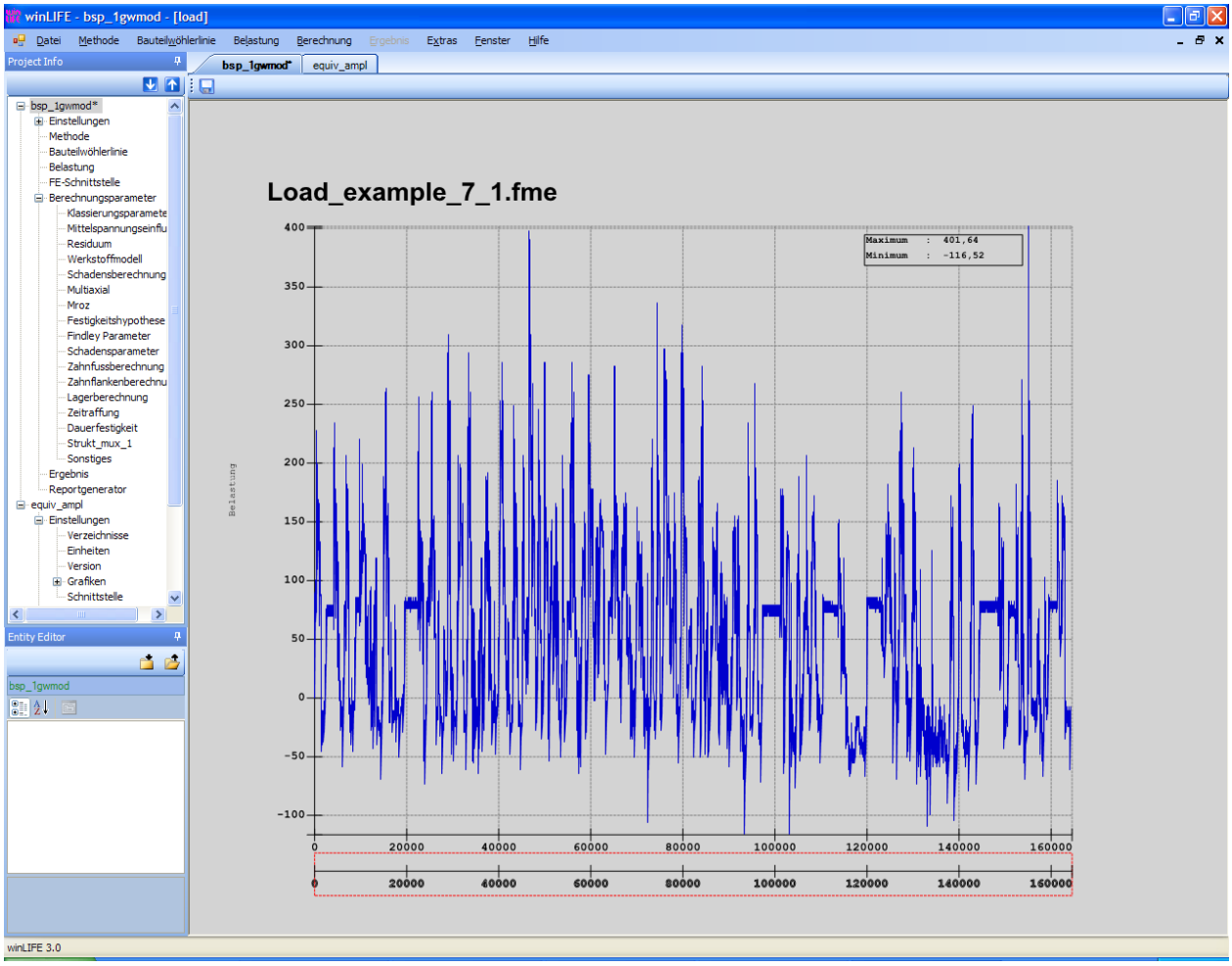


Bild 15: gemessene Last des Bauteils über der Zeit

Die Bauteilbelastung (Bild 15) wurde aus einer Messung auf einer Teststrecke erhalten. winLIFE macht nun eine Rainflow-Zählung der Last mit dem Ergebnis in Bild 16.

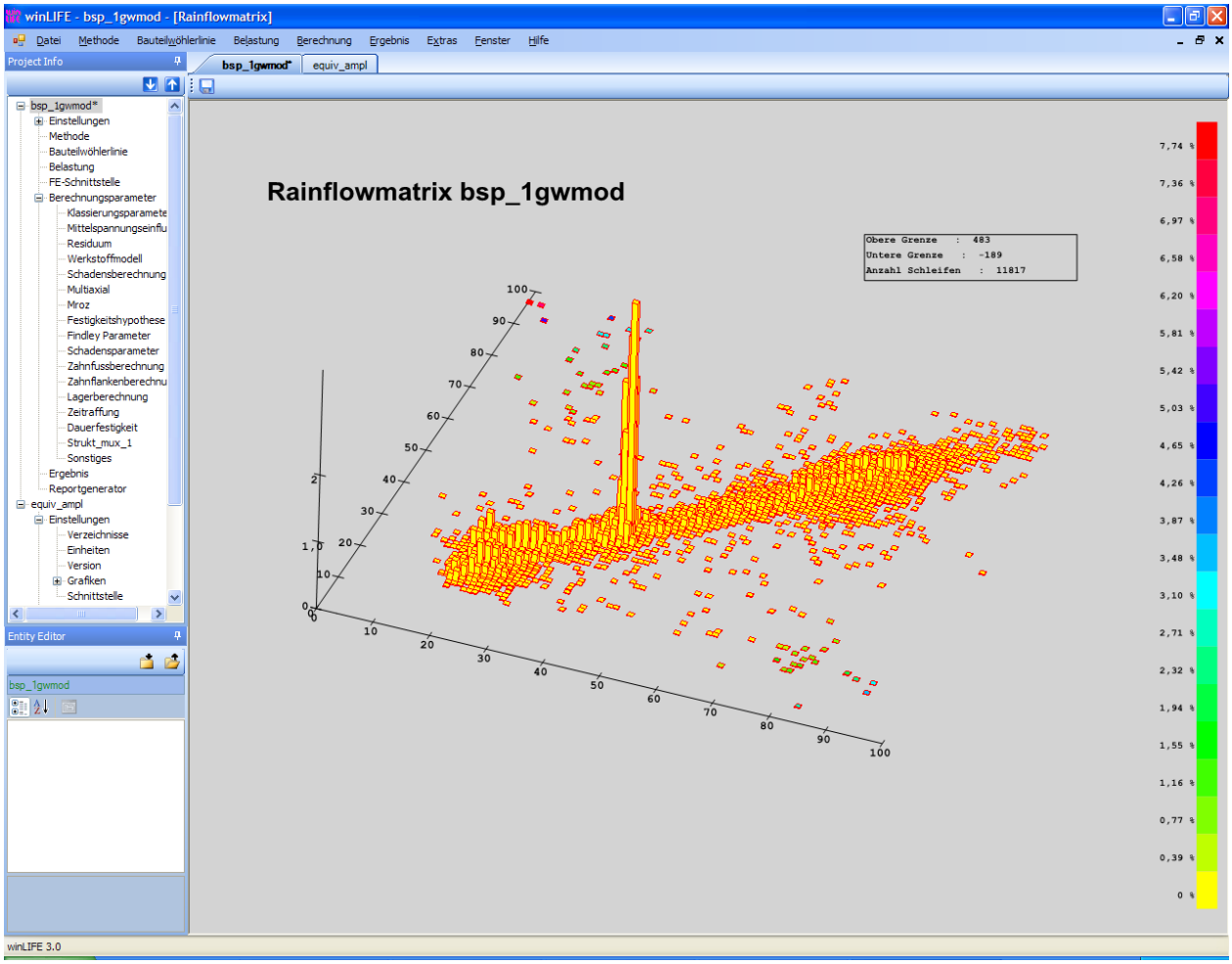


Bild 16: Rainflow Matrix

Die zyklischen Material-Daten und die Schadensparameter-Wöhlerlinie für dieses Beispiel sind in Bild 17 und 19 dargestellt.

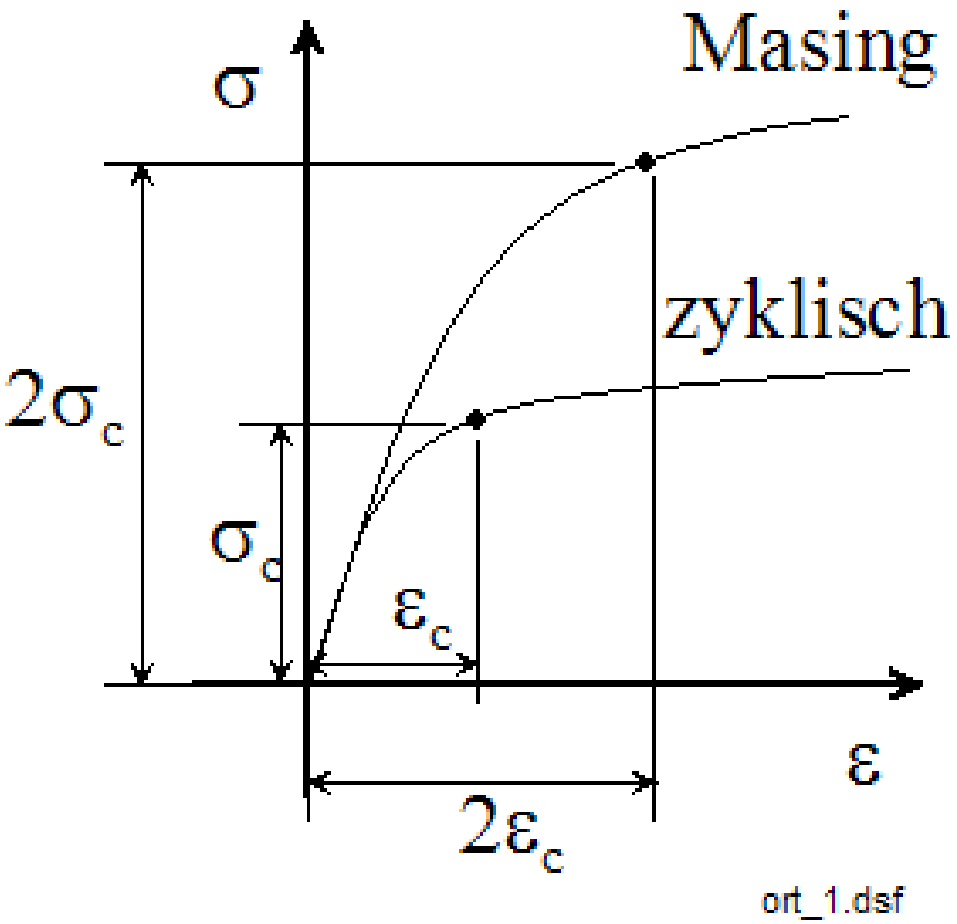


Bild 17: stabilisierte zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve

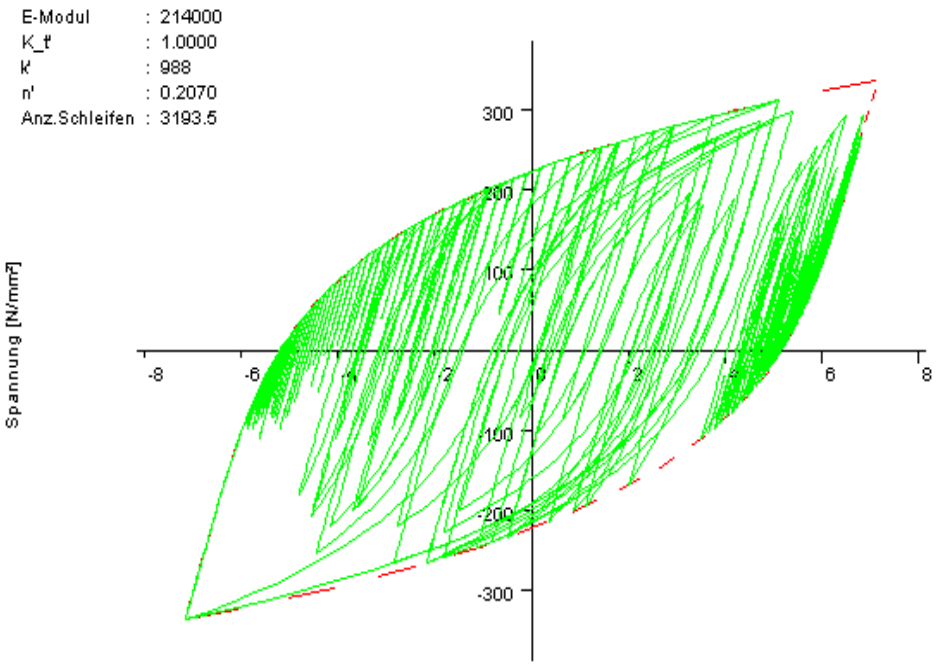


Bild 18: Spannungs-Dehnungs-Pfad, der aus der Rainflow-Matrix für den kritischen Knoten berechnet wurde.

Aus der Rainflow-Matrix und den zyklischen Materialdaten wird der Spannungs-Dehnungs-Pfad konstruiert (Bild 18). Die geschlossenen Schleifen dieses Pfades werden zur Berechnung eines Schadensparameters verwendet und die Schädigung schließlich mit Hilfe

der Schadensparameter Wöhlerlinie für jede Knoten der Struktur bestimmt. Die Ergebnisse werden als Flächen gleicher Schädigung auf der Struktur dargestellt.

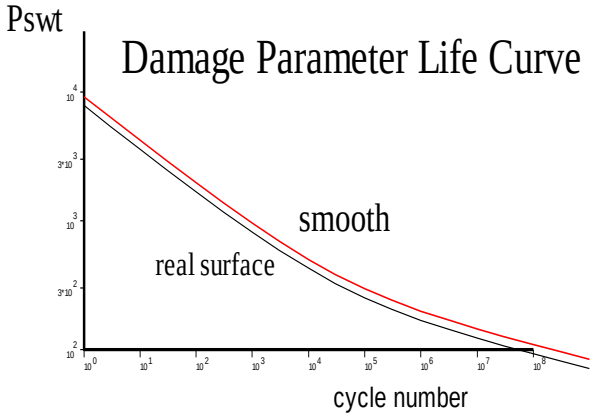


Bild 19: Schadensparameter Wöhlerlinie

Neben dem Örtlichen Konzept kann auch ein spannungsbasierendes Konzept zur Berechnung verwendet werden, wozu dann Wöhlerlinien auf der Basis von Spannungen verwendet werden.

Die Ergebnisse einer Lebensdauerberechnung, Schadenssumme, schädigungsgleiche Amplitude, Lastspielzahl bis zum Defekt werden in eine Export-Datei ausgegeben, auf die das FE-Programm zugreift und wie im folgenden Bild gezeigt, darstellt. Für FEMAP wird eine Schnittstelle mitgeliefert, sie sich automatisch in der FEMAP Benutzeroberfläche installiert.

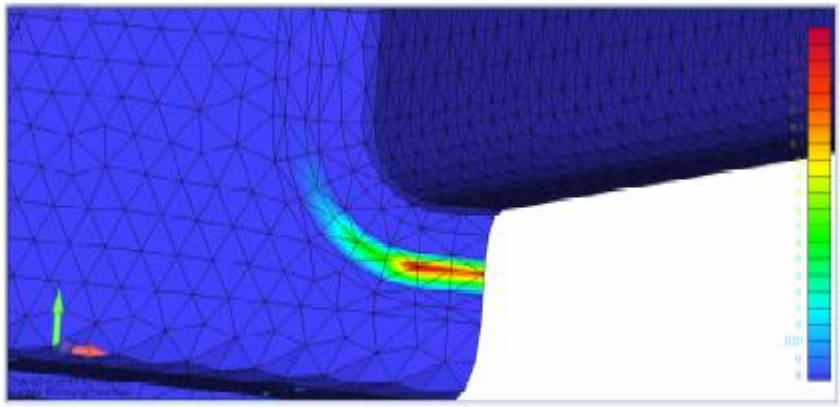


Bild 20:Ergebnisdarstellung der winLIFE Schadenssumme in FEMAP

Ohne Verwendung von Finiten Elementen

Wenn keine Finiten Elemente verwendet werden, wird die Berechnung der Lebensdauer nur für einen Punkt, üblicherweise die Kerbe, vorgenommen. Die Information über die Geometrie und der Zusammenhang zwischen Belastung und Spannung muss dann von dem Benutzer angegeben werden, so dass er einen Kerbfaktor, Spannungsgradient, Oberflächenrauigkeit, etc. angeben muss. Eine Lebensdauerberechnung ohne Finite Elemente kann nach den beiden klassischen Verfahren, dem Nennspannungskonzept oder dem Örtlichen Konzept, erfolgen.

Bei dem Nennspannungskonzept können verschiedene Hypothesen für die Schadensakkumulation im Bereich der Dauerfestigkeit verwendet werden (original, modifiziert nach Haibach, elementar, modifiziert nach Liu und Zenner). Das folgende Bild zeigt die verfügbaren Hypothesen.

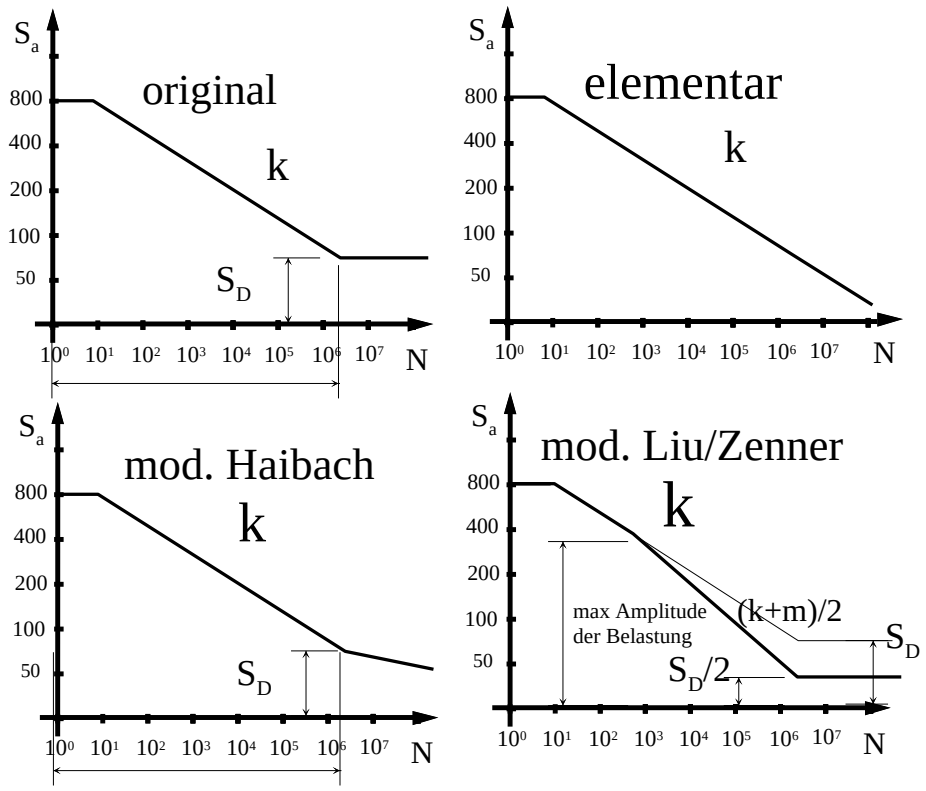


Bild 21: mögliche Hypothesen der Schadensakkumulation in winLIFE

Wenn die Berechnung nach dem örtlichen Konzept erfolgt, ist der Ablauf dem bei der Anwendung der Finite Elemente Methode ähnlich mit dem Unterschied, dass nun nur ein Punkt berechnet wird.

Addition unterschiedlicher Berechnungsergebnisse

Nehmen wir an, es wird ein Fahrzeug entwickelt, das naturgemäß auf sehr unterschiedlichen Fahrbahnkategorien (gute Straße, schlechte Straße, etc.) eingesetzt wird.

Wenn nun Messungen und Berechnungen der Lebensdauer für jede Fahrbahnklasse vorliegen, deren Länge aber nicht der Strecke beim Endkunden entspricht, so muss eine Umrechnung der Lebensdauerergebnisse auf die für den Endkunden relevante Streckenzusammensetzung erfolgen. Dies geschieht dadurch, dass die Ergebnisse (Schadenssumme je Fahrbahnkategorie) durch Wichtungsfaktoren auf die gewünschte Streckenlänge umgerechnet und knotenweise und schnittebenenweise addiert werden.

Da bei vielen Aufgabenstellungen sehr unterschiedliche Szenarien untersucht und zum Schluss in ihrer Gesamtauswirkung diskutiert werden müssen, ist die gewichtig Addition ein wichtiges Hilfsmittel, da zunächst kleinere Teilprobleme bearbeitet werden können.

Superposition und Extrapolation

Im Gegensatz zur reinen Addition der Berechnungsergebnisse – wurde im Kapitel zuvor beschrieben – ist oft auch die Kenntnisse des Gesamtkollektives bedeutsam, um die Ergebnisse besser interpretieren zu können. Die Addition verschiedener Teilbelastungen (Kollektive) die zeitlich nacheinander erfolgen wird als Superposition bezeichnet.

Die Umrechnung der Teilbelastung von zum Beispiel gemessenen 500 h auf die Gesamtbelastung von 20 Jahren wird als Extrapolation bezeichnet.

Statistische Auswertung

Um eine statistische Beurteilung der Vertrauenswahrscheinlichkeit durchzuführen, wird die folgende Eingabemaske zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der zuvor durchgeführten Lebensdauerberechnung und die Daten der verwendeten Wöhlerlinie werden übernommen.

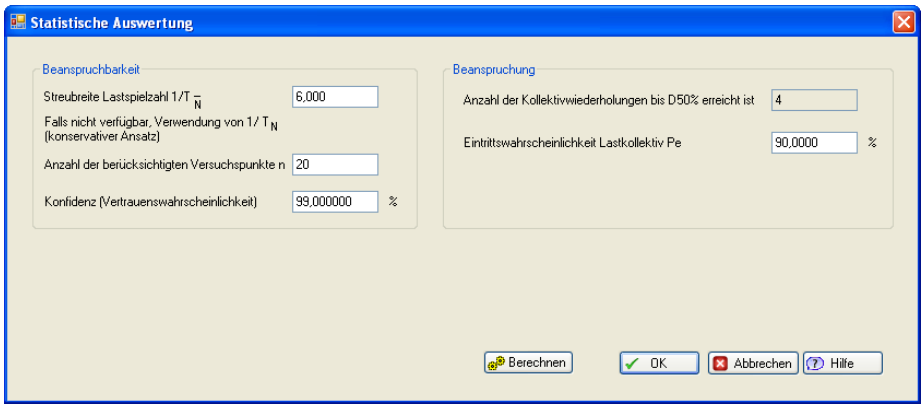


Bild 22: Berechnung statistischer Kenngrößen

Die Daten der Wöhlerlinie

- Streubreite
- Anzahl der Versuchspunkte n

werden übernommen. Sie könnten im nach hinein in dieser Maske vom Benutzer geändert werden.

Der Benutzer muss nun die Konfidenz und die Eintrittswahrscheinlichkeit seines Kollektivs angeben. Klickt er anschließend auf ***Berechnen,*** so wird als Ergebnis

- die wahre rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit P_A
- die vereinfachte rechnerische Ausfallwahrscheinlichkeit P_A^*

dargestellt.

Daten Handling und Korrektur

Wenn gemessene Daten verwendet werden, ist meist eine Datenbereinigung notwendig. Viele mögliche Fehler können auftreten und im ersten Schritt einer Analyse muss der Benutzer seine Messdaten überprüfen und in der Regel auch korrigieren. winLIFE ermöglicht es, die Daten einfach und schnell interaktiv zu korrigieren.

Last-Zeit-Funktionen und Lastkollektive können in folgender Weise korrigiert werden:

- Auswählen von Daten und Korrektur der gewählten Daten durch Multiplikation, Addition oder Überschreiben

- Auffinden und Entfernen von Spikes

Weiterhin kann die Rainflow-Matrix verändert werden. Dies ist ebenfalls sehr hilfreich, um eine Datenkorrektur durchzuführen.

Darstellung und Analyse der Ergebnisse

Alle üblichen Grafiken und Darstellungen sind in winLIFE verfügbar, wie z.B.

- Rainflow-Matrix
- Bereichsmittelpaarzählung
- Klassengrenzüberschreitungszählung
- Wöhlerlinie zusammen mit dem Amplitudenspektrum und dem zugehörigen Schadensanteil
- Haigh-Diagramm einschließlich der Wertetripel der Spannungen
- Protokoll-Datei mit den Ergebnissen für jeden einzelnen Knoten

Report Generator

Der Report Generator ermöglicht es dem Benutzer einen Standardreport im PDF-Format einschließlich Grafiken auf Knopfdruck zu erzeugen. Damit entfällt das bisher nötige individuelle Auswählen jeder einzelnen Grafik.

Der Standardreport ist für die verschiedenen Methoden unterschiedlich definiert, kann aber durch den Benutzer geändert werden.

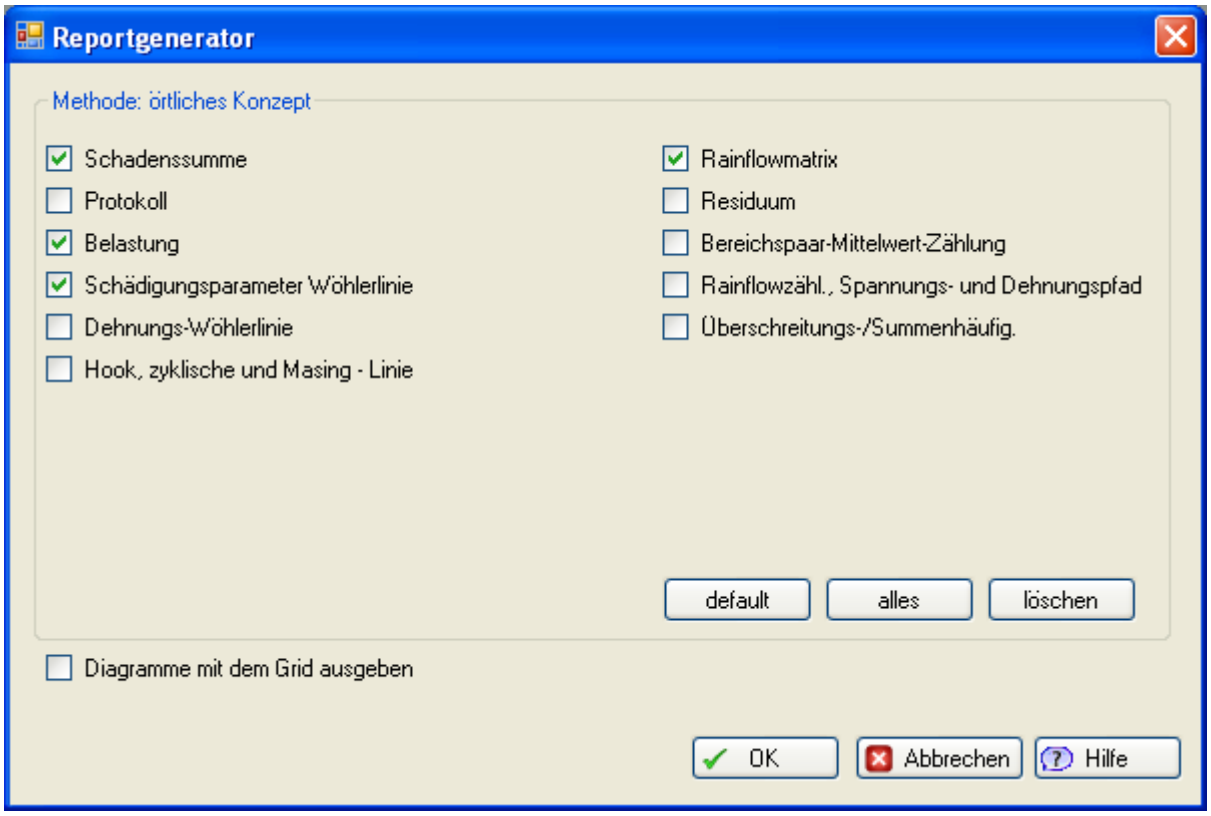


Bild 23: Eingabemaske zur Festlegung der Report-Inhalte

Individuelle Gestaltung von Grafiken und Reports

Die Gestaltung der Ausgabedokumente, insbesondere der Grafik, kann vom Benutzer bezüglich folgender Parameter eingestellt werden:

- Schriftgröße und Type
- Linienfarbe
- Linienart und Dicke
- Bereichseinstellung der Achsen
- Texteingabe

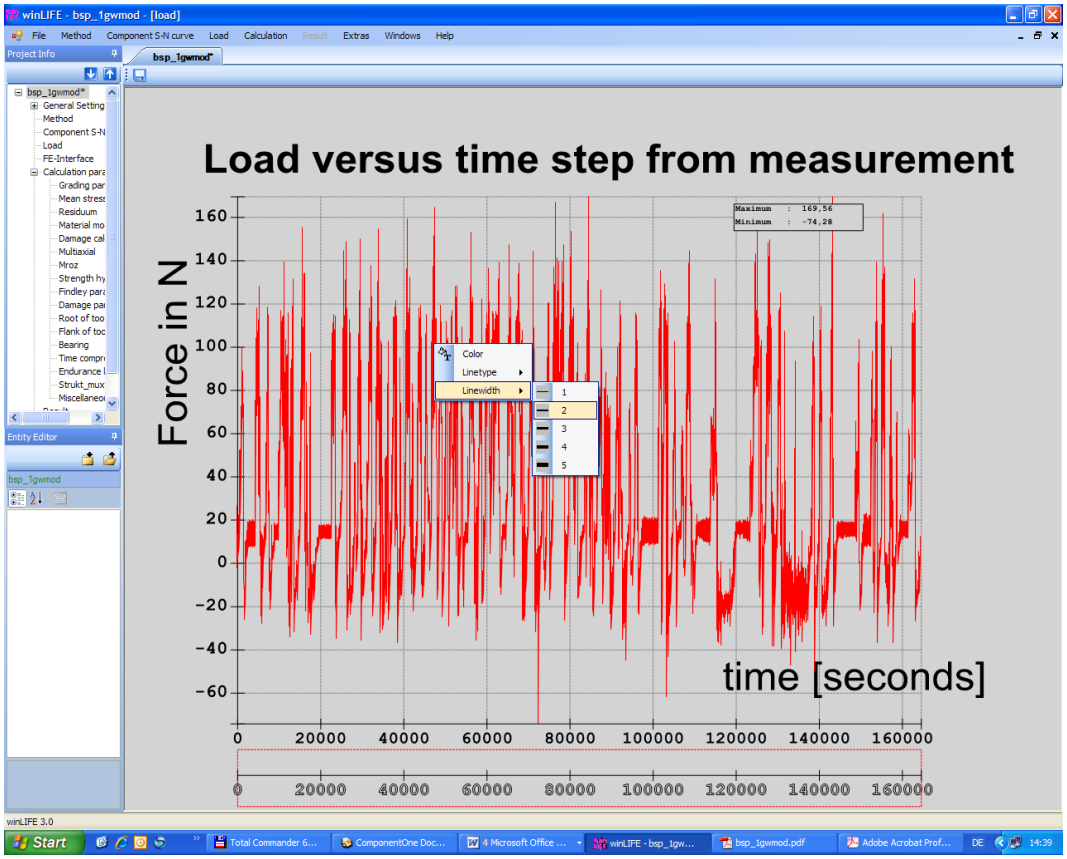


Bild 24: Individuell gestaltete Grafik (Farben, Fonts, Maßstäbe, Beschriftung) eines Benutzers.

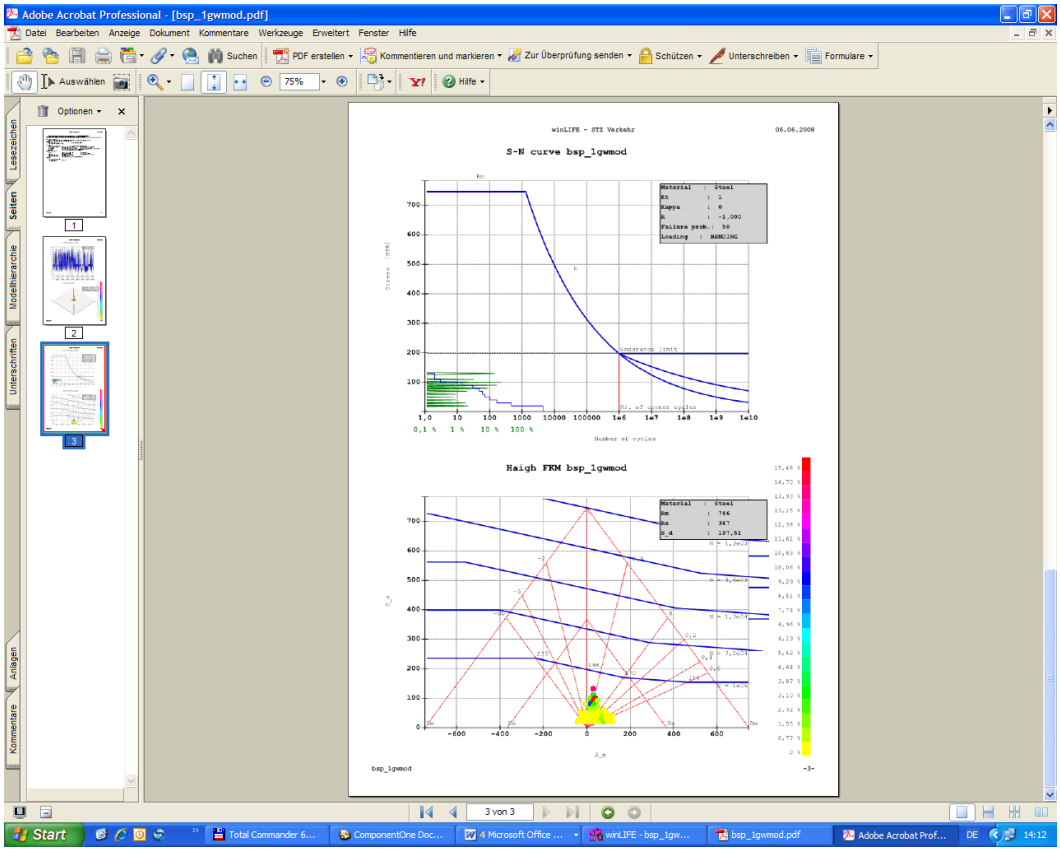


Bild 25: Ausgabe eines Standardreports als PDF-Datei.

Einheiten

Bild 24: Festlegung der Einheiten

Die Einheit für Spannungen kann vom Benutzer in unterschiedlicher Weise festgelegt werden. Die interne Berechnung in winLIFE erfolgt in N/mm^2. Falls eine andere Einheit gewünscht wird, kann dies durch Auswahl aus der Einheiten-Liste erfolgen. Meist wird als Alternative PSI gewünscht, so dass diese Einheit vorbereitet ist.

Es kann aber auch eine beliebige Einheit vom Benutzer definiert werden, indem der Name und der Multiplikator zur Umrechnung angegeben wird.

Die übrigen in winLIFE verwendeten Einheiten sind folgende und können nicht geändert werden.

Dehnung	[‰]
Drehzahl	[1/min]

Die Einheit für die Last bzw. Kraft sind beliebig wählbar, da sie sich aus der Berechnung heraus kürzen. Sie müssen jedoch durchgängig verwendet werden.

winLIFE wird mit 3 Standard-Definitionen ausgeliefert:

Die ISO-Einheiten als ‚Default'

	[N/mm²]	Umrechnungsfaktor 1
‚PSI'	[lbf/in²]	Umrechnungsfaktor 145,04
‚Double Default' (Spannweite)	[N/mm²]	Umrechnungsfaktor 2

winLIFE Multiaxial

Um multiaxiale Berechnungen durchzuführen wird das Modul winLIFE MULTIAXIAL zusätzlich zu winLIFE BASIS benötigt.

Von der Bauteilbelastung zur örtlichen Beanspruchung

Für eine Lebensdauerberechnung ist die Kenntnis der örtlichen Beanspruchung (Spannung, Dehnung) eine entscheidende Voraussetzung. Es gibt mehrere Problemstellungen, die mit unterschiedlichen theoretischen Ansätzen behandelt werden müssen. Dabei spielt einmal die Art des zu untersuchenden Bauteils (starr, flexibel, Mehrköpersystem) als auch die Art der Vorgabe der Belastung eine Rolle.

Belastungen können als Last-Zeit-Verläufe (Zeitreihen), als Lastkollektive (Häufigkeit von Belastungsstufen) oder als spektrale Dichte der Belastung über der Frequenz (Leistungsdichtespektrum) gegeben sein. Hier wird kurz darauf eingegangen, wann die entsprechenden Methoden anzuwenden sind.

Bauteil	Belastung gegeben als	Lösungsmethode	verwendete Software
Elastischer Körper (kleine Verformungen, in Kerben teilplastisch möglich)	Zeitreihe	Superposition von FE-Einheitslastfällen durch entsprechende Skalierung der Last-Zeit-Funktionen	FEMAP***, SAMCEF*** ANSYS**, MEDINA*, ABAQUS*
	Lastkollektiv	Superposition von FE-Einheitslastfällen durch entsprechende Skalierung der Last-Zeit-Funktionen	FEMAP***, SAMCEF*** ANSYS**, MEDINA*, ABAQUS*
	Leistungsdichte-spektrum	Random Fatigue: FEM-Random Analyse, Übernahme der RMS-Werte aus FEM und Erzeugung eines schädigungsgleichen Lastkollektivs	Berechnung möglich, doch erhebliche Vorarbeiten des Benutzers nötig.
Mehrkörpersystem mit elast. Teilkörpern, große Relativbewegungen, Trägheitskräfte	Im FEM/MKS-System wird Belastung vorgegeben, winLIFE importiert d. Lösung	Transiente Analyse: Import der Spannungstensor-Zeitfunktion aus FEM/MKS Rechnung	SAMCEF*** ABAQUS*
Flexibler Körper, Bauteilschwingungen sind relevant.	Im FEM/MKS-System wird Belastung vorgegeben, winLIFE importiert d. Lösung	Transiente Analyse: Import der Spannungstensor-Zeitfunktion aus FEM/MKS Rechnung	SAMCEF*** ABAQUS*
	Leistungsdichte-spektrum	Random Fatigue: FEM-Random Analyse, Übernahme der RMS-Werte aus FEM und Erzeugung eines schädigungsgleichen Lastkollektivs	Berechnung möglich, doch erhebliche Vorarbeiten des Benutzers nötig.

*** Schnittstelle wird auf Installations-CD geliefert

** Makros und Beispiele von winLIFE-Kunden werden geliefert

* winLIFE-Kunden setzten diese Software ein und haben die Schnittstellensoftware selbst geschrieben.

Superposition von FE-Einheitslastfällen: Starrkörper unter dem Einfluss zeitveränderlicher Belastungen

Wird ein Starrkörper durch eine oder mehrere Belastungsgrößen (Kraft. Moment) beansprucht, so kann man die örtlich auftretenden Spannungen und Dehnungen durch Kombination der (gemessenen) Last-Zeit-Funktion mit statisch ermittelten Einheitslastfällen berechnen.

Die aus den Einheitslastfällen gewonnenen Spannungstensoren werden mit den gemessenen Last-Zeit-Funktionen skaliert und für jeden Zeitschritt superponiert. Das Ergebnis ist eine Spannungstensor-Zeit-Funktion, die Basis für die Schadensakkumulationsrechnung ist. Dies Vorgehen ist dann anwendbar, wenn die Verformungen des Körpers klein gegenüber seinen Abmessungen sind.

Für das Beispiel (Bild) wird somit benötigt:

- Der Verlauf der Kräfte als Funktion der Zeit (Zeitreihen): $F_1(t)$,$F_2(t)$,$F_3(t)$

Die Ergebnisse von den zugehörigen FE-Einheitslastfällen. Dabei wirkt je eine Kraft F_{FE1}, F_{FE2}, F_{FE3} mit gleicher Wirkungslinie und Angriffspunkt wie die zugehörige Kraft. Das Ergebnis der FE-Rechnung sind die Spannungstensoren in jedem interessierenden Knoten (der Oberfläche) je Lastfall.

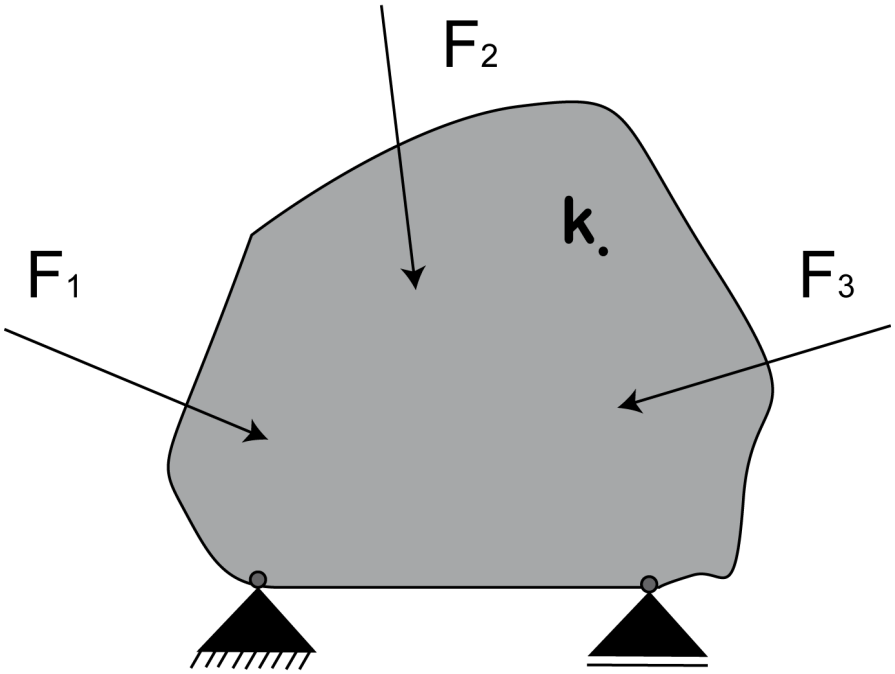


Bild 1: Starrkörper (Verformungen sind klein gegenüber Abmessungen) unter der Wirkung von zeitveränderlichen Kräften mit fester Wirkungslinie

Nichtlineare, transiente Analyse: Veränderliche Bauteilgeometrie und zeit – und/oder richtungsveränderliche Belastung

Ändert ein Körper seine Geometrie sehr stark oder ändern sich die Richtungen der angreifenden Kräfte oder treten Trägheitskräfte auf, so ist die zuvor beschriebene Superpositionsmethode nicht mehr zur Berechnung geeignet. Beispiel sei ein Bagger (Bild), dessen Schaufel bewegt wird, so dass die drei Winkel alfa , beta und gamma sich zeitlich verändern. Auch ändert sich die äußere Belastung durch die bewegte Ladung. In diesem Fall kann man das Verhalten des Baggers durch eine MKS/FEM-Simulation berechnen. Dabei lassen sich für jeden Zeitpunkt die Kräfte und Spannungen an jedem interessierenden Punkt berechnen. Auch der den Spannungszustand vollständig beschreibende Spannungstensor lässt sich angeben.

Exportiert man nun für die interessierenden Knoten k die Spannungstensoren für jeden Zeitschritt t, so kann darauf basierend eine Lebensdauerberechnung mit winLIFE erfolgen. Auf diese Weise lassen sich auch andere geometrisch nichtlineare veränderliche Bauteile aber auch Schwingungszustände untersuchen.

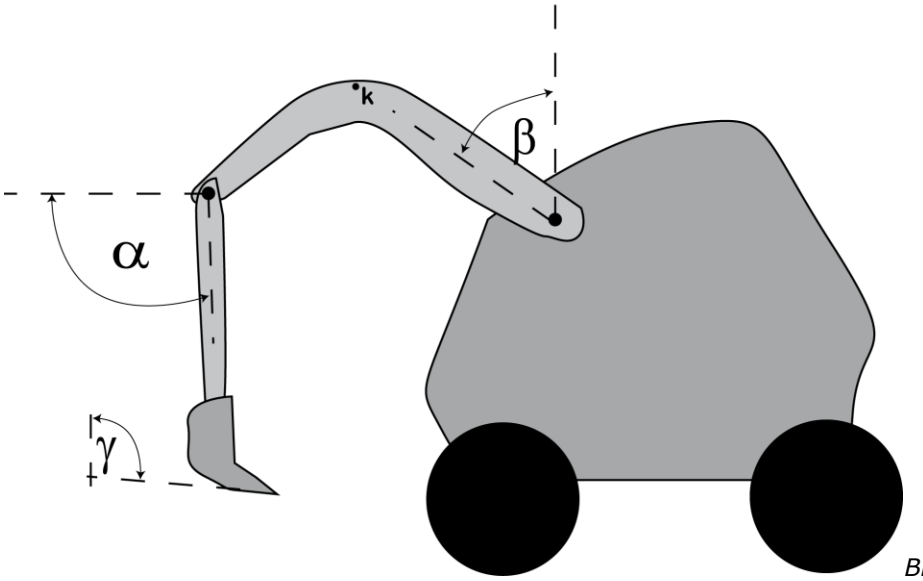


Bild 2: Mehrkörpersystem, bestehend aus mehreren Teilkörpern, die sich relativ zueinander bewegen können.

Bauteile unter dem Einfluss sich drehender Hauptspannungen (multiaxiale Beanspruchung)

Die Berechnung von Bauteilen, bei denen sich die Hauptspannungsrichtungen drehen, ist deutlich komplexer als wenn keine Änderung der Hauptspannungsrichtung stattfindet. Dieser als multiaxiales Problem bezeichnete Fall weist meist eine größere Zahl von äußeren Belastungen auf, minimal sind 2 äußere Belastungen erforderlich z.B. eine Welle unter Torsion und Biegung.

Oft treten aber auch dutzende oder gar hunderte von unabhängigen Belastungen auf, die meist durch gemessene Zeitsignale definiert sind. Derartige Probleme findet man in verschiedenen Bereichen der Technik wie z.B. in Fahrzeugkarosserien, Achskomponenten, Kurbelwellen, Rotationsnaben in Windenergieanlagen, etc.

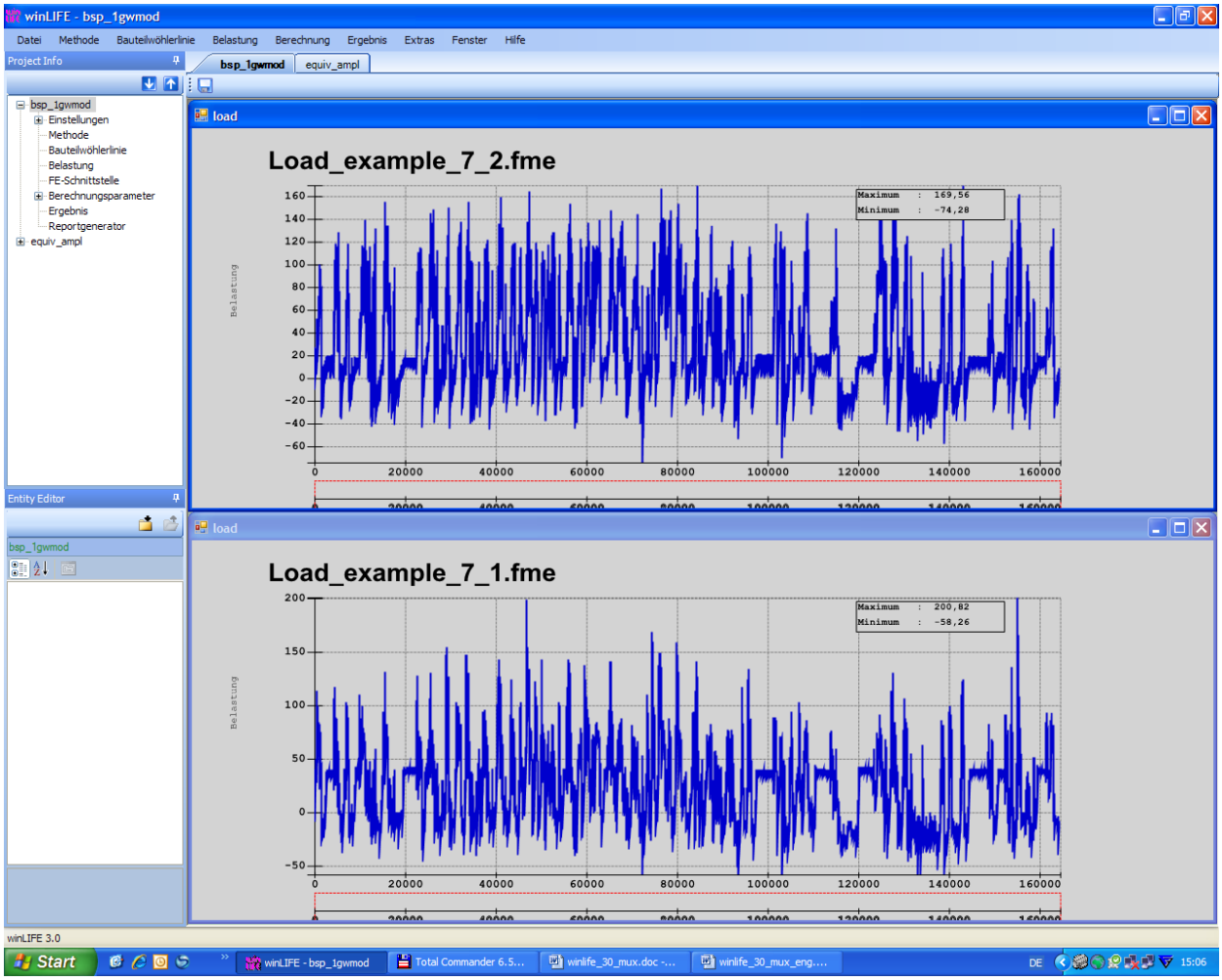


Bild 3: Last Zeit Funktionen, die auf ein Bauteil einwirken

Bild 4 zeigt das Beispiel eines Achslenkers unter dynamischer Belastung. Er wird durch eine horizontale und vertikale Kraftgruppe F_1 und F_2 belastet. Da die Kraftgruppen nicht zueinander proportional sind, kann eine Änderung der Hauptspannungsrichtung eintreten (multiaxiales Problem).

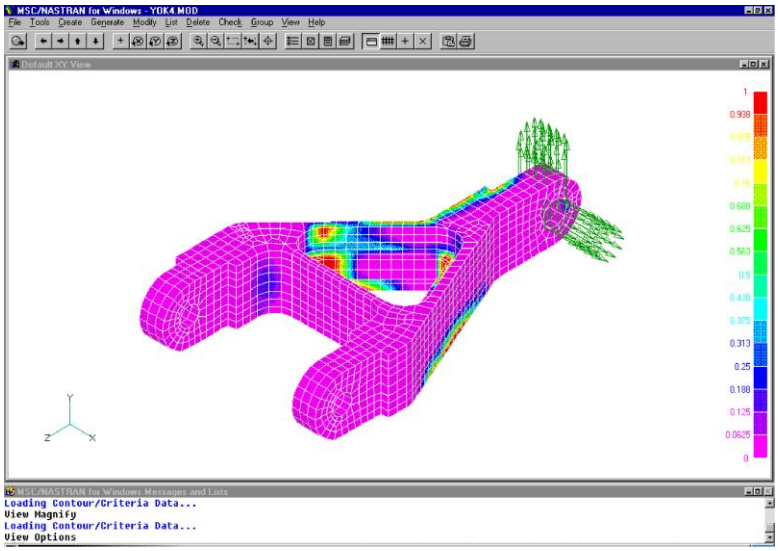


Bild 4: Bauteil unter dem gleichzeitigen Einfluß zweier Kraftgruppen

Bei multiaxialen Problemen ist die Rechenzeit um ein Vielfaches größer als bei uniaxialen oder biaxialen Problemen. Daher werden nur die Knoten auf der Oberfläche betrachtet. Da ein Schaden normalerweise von der Oberfläche ausgeht, ist diese Einschränkung keine Begrenzung der Problemlösungsfähigkeit. Da auf der Oberfläche ein ebener Spannungszustand vorliegt, wird die Berechnung dadurch weiter vereinfacht.

Fall	ϕ	σ_1	σ_2	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$	Mohrscher Kreis	Struktur
uniaxial Hauptspannungs-richtung fällt mit Wirkungslinie der Belastung zusammen	=0	variabel	=0	=0	für jeden Zeitschritt geht der Mohrsche Kreisdurch den Nullpunkt	
biaxial Proportionale Belastung mehrere Belastungsgrößen wirken proportional in unterschied-lichsten Richtungen	const	variabel	variabel	const $-1 <= \frac{\sigma_2}{\sigma_1} <= +1$	für jeden Zeitschritt ist der Mohrsche Kreis ähnlich	
multiaxial nicht-proportionale Belastung mehrere Belastungsgrößen wirken unabhängig voneinander in unterschiedlichsten Richtungen	variabel	variabel	variabel	variabel	der Mohrsche Kreis kann beliebige Formen annehmen	

Unterscheidung der Beanspruchungsarten

Bild 5: Merkmale des multiaxialen Falls im Vergleich zum uniaxialen und biaxialen Fall. Der uniaxiale Fall kann mit winLIFE BASIC berechnet werden, der multiaxiale Fall und der biaxiale Fall erfordert winLIFE MULTIAXIAL.

Die Hauptspannungen als Funktion der Zeit entscheiden darüber, ob ein multiaxiales Problem vorliegt oder nicht. Wenn der Winkel ϕ oder das Verhältnis der beiden Hauptspannungen σ_2/σ_1 über der Zeit veränderlich ist, handelt es sich um einen multiaxialen Fall. An Hand des Mohrschen Kreises kann dies auch dargestellt werden.

Wenn die Änderung der Hauptspannungsrichtung nicht sehr groß ist, können multiaxiale Probleme vereinfachend ohne Nachteile auch als biaxiale/uniaxiale Probleme behandelt werden. Dies ist für die Berechnung interessant, da Rechenzeit eingespart wird, dies ist aber auch für Prüfstandserprobungen wichtig, wenn statt vieler Prüfzylinder ein einziger mit nahezu gleichem Schädigungsergebnis verwendet werden kann.

Es ist daher wichtig, den Grad des multiaxialen Problems zu beurteilen, was an Hand der Grafik im folgenden Bild geschieht. Dazu wird der Winkel ϕ und das Hauptspannungsverhältnis σ_2/σ_1 für charakteristische Zeitschritte durch je einen Punkt dargestellt (. Stellt die Punktmenge eine nahezu senkrechte Linie dar, so liegt kein multiaxiales Problem vor.

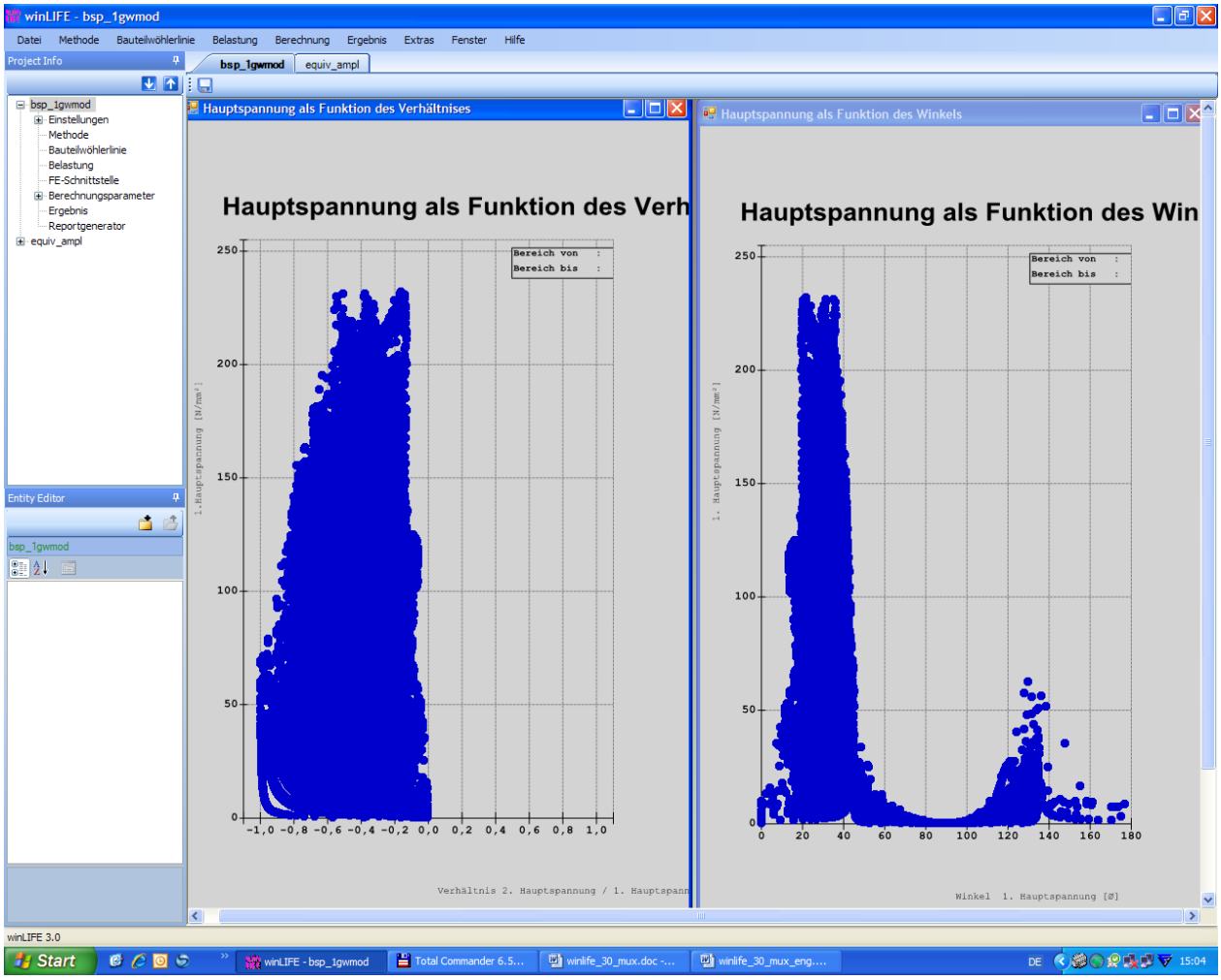


Bild 6: Größte Hauptspannung über dem Hauptspannungsverhältnis (links) und dem Richtungswinkel der größten Hauptspannung(rechts) für einen Knoten auf der Oberfläche

Schadensparameter

Da der Spannungszustand in der Schnittebene aus Normal- und Schubspannung besteht, muss daraus eine schädigungsäquivalente Größe ermittelt werden. Folgende Vergleichsspannungshypothesen bzw. Schädigungsparameter sind möglich:

- Normalspannungs - , Schubspannungs und mod. Gestaltänderungsenergiehypothese,
- Findley
- Smith Watson Topper, P. Bergmann, Socie und Fatemi Socie,

Richtungsabhängige Lebensdauerberechnung /Nahtschweißverbindungen

Insbesondere im Bereich Windenergie und Schiffbau sind Strukturspannungskonzepte üblich, da die sehr großen Bauteile anders kaum berechnet werde können. In winLIFE wurden nun mehrere Varianten von Strukturspannungskonzepten integriert. Dabei werden die auf die Schweißnaht extrapolierten Spannungstensoren und die Normaleneinheitsvektoren in einem Eingabefile benötigt.

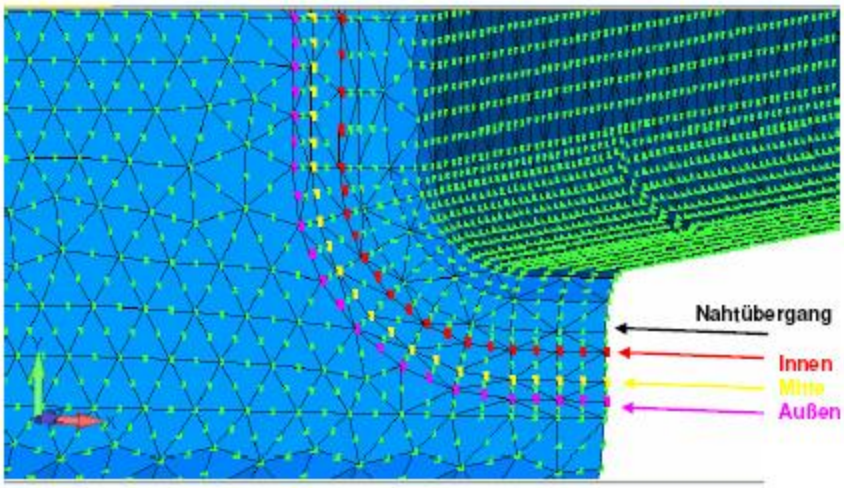


Bild 7: Beispiel für die Umsetzung eines FE-Netzes für die Anwendung des Strukturspannungskonzeptes

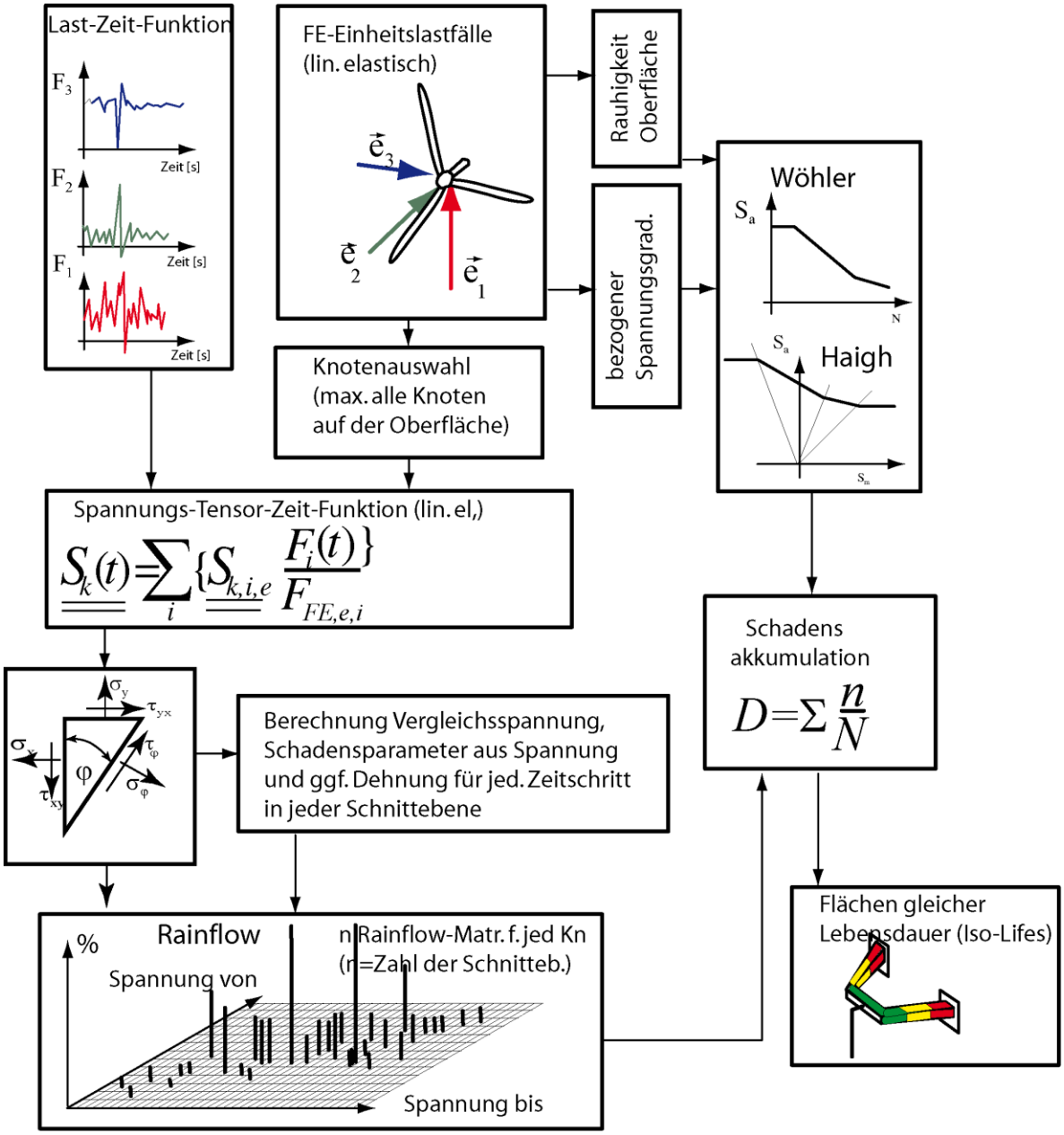
Es müssen bestimmte Regeln für FE-Modellierung angewendet werden. In winLIFE sind verschiedene Vorgehensweisen nach GL, IIW, Marquis Bäckström implementiert.

Wie eine Lebensdauerberechnung abläuft

Einheitslastfälle aus Finiten Elementen, die mit Last-Zeit-Verläufen skaliert werden

Die Berechnung läuft - etwas vereinfacht dargestellt – in folgender weise ab:

- Im ersten Schritt werden ein oder mehrere FEM-Einheitslastfälle berechnet.
- Eine Material-Wöhlerlinie muss vorliegen oder aber erzeugt werden. Dies kann eine Spannungswöhlerline oder Dehnungswöhlerlinie sein.
- Die erforderliche Zeit für eine Berechnung kann erheblich reduziert werden, wenn eine Begrenzung auf ausgewählte Knoten erfolgt. winLIFE bietet die Möglichkeit einer Vorauswahl der zu berechnenden Knoten. Der Benutzer kann aber auch individuell die Knoten auswählen, die er als kritisch erkannt hat.
- Durch Verwendung einer Hysterese kann eine erhebliche Rechenzeitverkürzung erreicht werden.
- Der Spannungs-Tensor der elastischen Spannungen wird für jeden gewählten Knoten und jeden Zeitschritt berechnet. Dies geschieht durch Skalierung der Einheitslastfälle mit den vorgegebenen Lasten.
- Für eine Anzahl von – je nach Benutzervorgabe – meist 20 Schnittebenen wird eine Spannungszerlegung durchgeführt und eine Schub – und Normalspannung bestimmt. Für diese Ebenen wird dann je eine Schädigung berechnet, wofür unterschiedlichste Hypothesen verendet werden können. Die Schnittebene mit der größten Schädigung ist die kritische.



Fatigue life calcualtion based on notch stresses in the case of revolving principal stresses (multiaxial case) using the critical plane approach and FEA.

mux_kerb_mFE_eng.ai

Bild 8: Ablaufplan für eine Lebensdauerberechnung nach dem Verfahren der kritischen Schnittebene in Verbindung mit Finiten Elementen.

Verwendung von Dehnmessstreifen

Messungen von Dehnmessstreifen können als Grundlage einer Lebensdauerberechnung dienen. Die Daten der häufig verwendeten Rosetten können direkt eingelesen werden. Das Einleseprogramm ist so flexibel, dass beliebige Rosettenformen und auch sehr

unterschiedliche Datenstrukturen eingelesen werden können (Bild). Eine Lebensdauerberechnung kann dann für den Punkt des Messortes gemacht werden bzw. es ist oft möglich, die gemessenen Daten auf einen anderen Punkt umzurechnen. Hier besteht häufig Bedarf, da an kritischen Orten oftmals nicht gemessen werden kann.

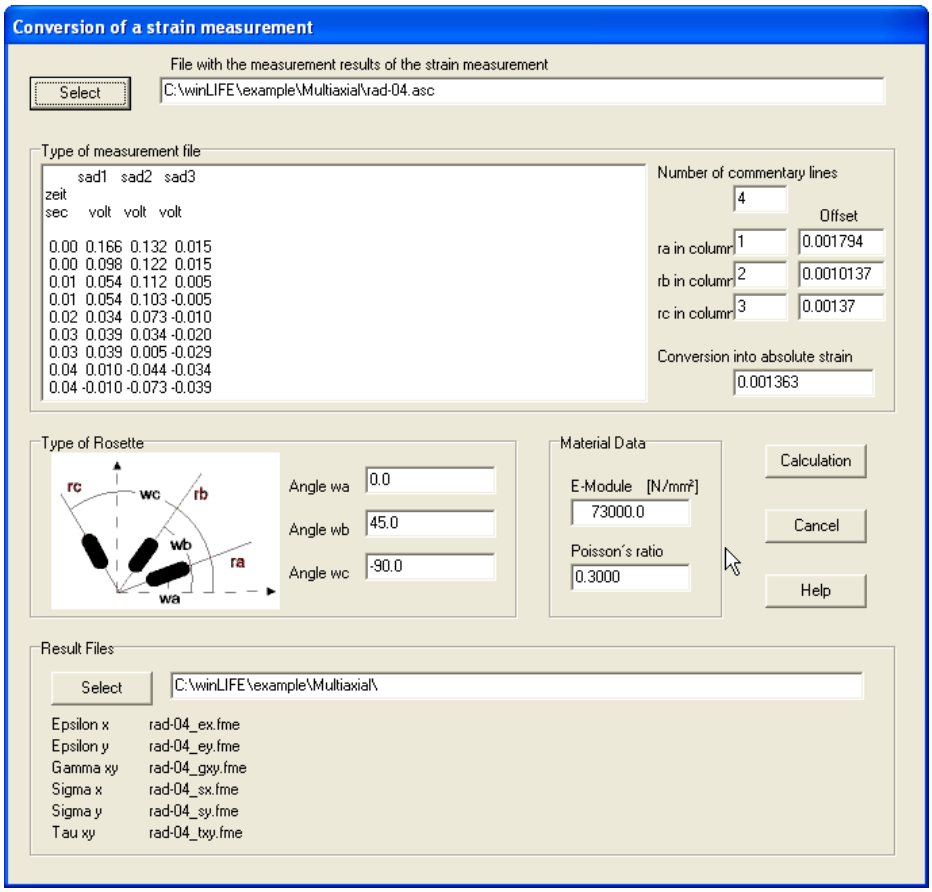


Bild 9: Maske zum Einlesen der Dehnungsdaten aus einer Rosettenmessung (Nahezu alle Rosettentypen können durch Eingabe der Rosettenwinkel eingelesen werden.)

Maßnahmen zur Reduzierung der Rechenzeit

Falls die Last-Zeit-Funktion lang ist, kann die Rechenzeit bei multiaxialen Problemen erheblich sein und es wurden folgende Maßnahmen ergriffen, um die Rechenzeit zu verkürzen. So wird nicht jeder Zeitschritt der gegebenen Last-Zeit-Funktion berücksichtigt sondern nur die Zeitschritte, wo mindestens eine der Last-Zeit-Funktionen einen Umkehrpunkt hat. Weiterhin kann eine Hysterese vorgegeben werde, die zu einer Reduktion der Umkehrpunkte führt.

Diese Maßnahmen führen zu einer starken Verringerung der Rechenzeit, wobei jedoch die Genauigkeit der Berechnung darunter leidet. Es wird daher grundsätzlich empfohlen, einen ersten Rechenschritt mit den oben genannten Maßnahmen für alle Knoten auf der Oberfläche durchzuführen und dabei eine Liste der Knoten auf der Oberfläche in der Reihenfolge ihrer Schädigung zu erzeugen.

In einem zweiten Schritt wird dann ohne die Maßnahmen zur Rechenzeitverkürzung gerechnet, wobei dann nur noch eine vom Benutzer wählbare Anzahl von Knoten – z.B. 100 – berechnet werden, die dann aus der Knotenliste entnommen werden. In diesem Fall

werden dann z.B. die 100 Knoten mit größter Schädigung ohne Vereinfachungen so genau wie möglich berechnet.

Dieses Vorgehen gewährleistet, dass alle Knoten untersucht werden und dass für die kritischen Knoten die maximal mögliche Rechengenauigkeit angewendet wird.

Ergebnisanalyse

In einem multiaxialen Fall ist die Analyse der Ergebnisse besonders wichtig und wird in folgender Weise ermöglicht: Der Mohrsche Kreis kann für jeden einzelnen Zeitschritt und als Summenbild für alle Zeitschritte und für jede Schnittebene für jeden berechneten Knoten dargestellt werden. In gleicher Weise können die Hauptspannungsvektoren für jeden einzelnen Zeitschritt und als Summenbild für alle Zeitschritte dargestellt werden.

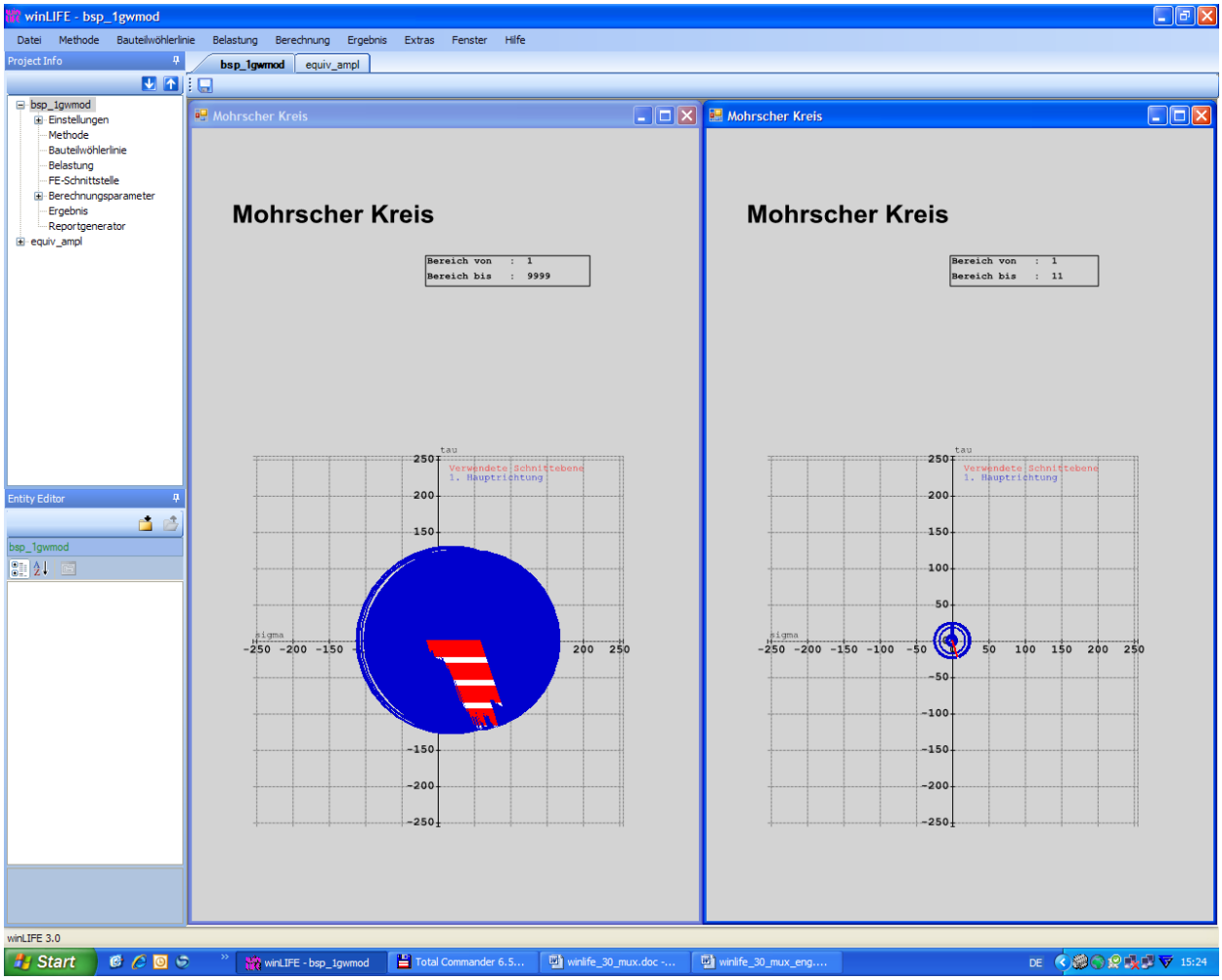


Bild 10: Mohrscher Kreis (links) für einen Zeitschritt und für alle Zeitschritte (rechts)

Weiterhin kann der Post-Prozessor des FE-Programms die von winLIFE berechneten Schadenssummen als Farbflächen darstellen.

Da die Vorhersagegenauigkeit für den multiaxialen Fall schlechter als für den uniaxialen/biaxialen ist, ist es wichtig sich über den Grad der Multiaxialität klar zu werden, was mit Hilfe der zuvor genannten Analysetools möglich ist.

Stellt sich heraus, dass die Änderung der Hauptspannungsrichtung gering ist, so kann man vereinfachend auch uniaxial/biaxial gerechnet werden.

Teillastanalyse

Wirken mehrere Lasten auf ein Bauteil, so ist oftmals von Interesse, welchen Einfluss die einzelne Last auf die Schadenssumme hat. Dies wird mit Hilfe der Teillastanalyse ermöglicht.

Es werden folgende drei Varianten untersucht (Zur Kennzeichnung der Varianten werden die aus der Mengenlehre bekannten Symbole verwendet):

- $\exists!$ (= Es existiert nur Eine (Last))

  es wird nur eine der existierenden Lasten berücksichtigt, die anderen werden alle gleich Null gesetzt.

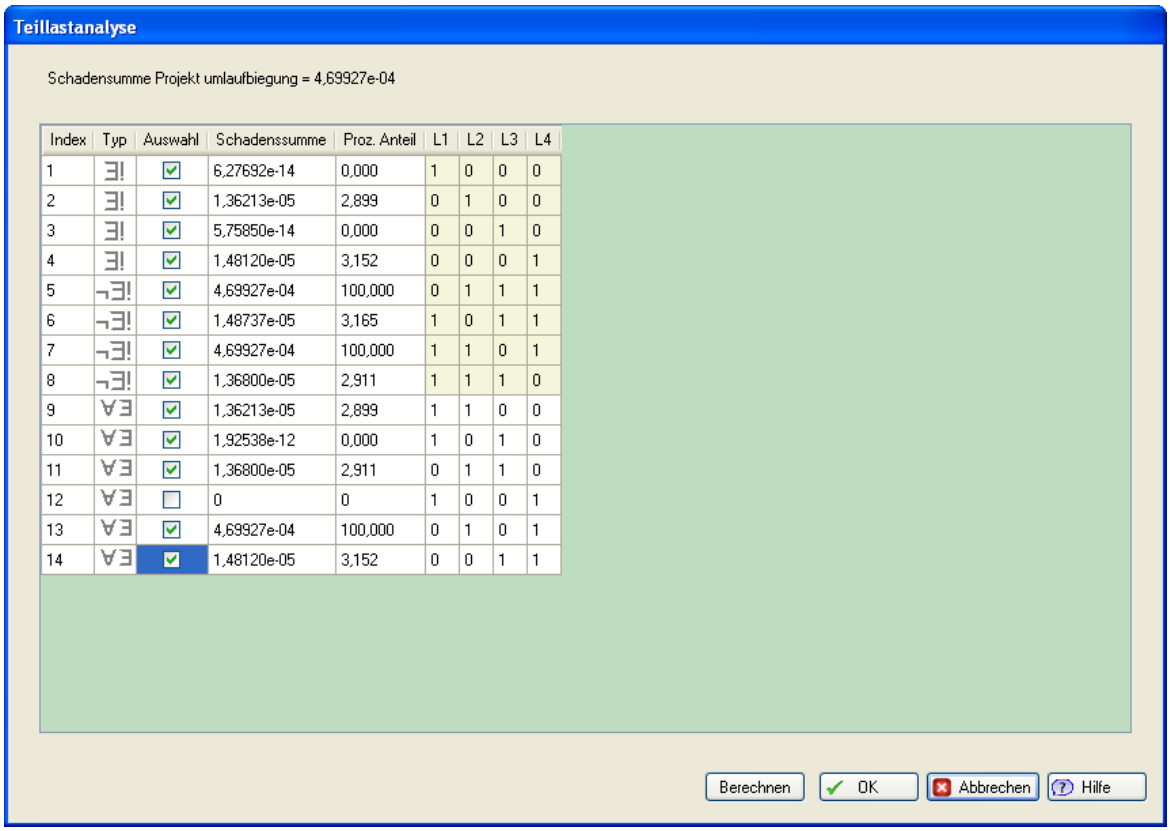
- $\neg\exists!$ (=Es existiert genau Eine (Last) nicht)
  es wird eine aller wirkenden Lasten = 0 gesetzt, die restlichen Lasten werden nicht verändert.

- $\forall\exists!$ (beliebig)
  es können vom Benutzer beliebige Kombinationen gewählt werden.

Für jede existierende Last-Zeit-Funktion wird eine Spalte L1, L2, .. erzeugt, in der der Multiplikator angegeben ist. Ist dieser =1, wird die Last-Zeit-Funktion unverändert verwendet, ist er =0, wo wird diese =0 gesetzt.

Die Spalte Index entspricht der Zeilennummer in der Matrix.

Die aus der Mengenlehre bekannten Symbole bedeuten:



Index	Typ	Auswahl	Schadenssumme	Proz. Anteil	L1	L2	L3	L4
1	∃!	☑	6,27692e-14	0,000	1	0	0	0
2	∃!	☑	1,36213e-05	2,899	0	1	0	0
3	∃!	☑	5,75850e-14	0,000	0	0	1	0
4	∃!	☑	1,48120e-05	3,152	0	0	0	1
5	¬∃!	☑	4,69927e-04	100,000	0	1	1	1
6	¬∃!	☑	1,48737e-05	3,165	1	0	1	1
7	¬∃!	☑	4,69927e-04	100,000	1	1	0	1
8	¬∃!	☑	1,36800e-05	2,911	1	1	1	0
9	∀∃	☑	1,36213e-05	2,899	1	1	0	0
10	∀∃	☑	1,92538e-12	0,000	1	0	1	0
11	∀∃	☑	1,36800e-05	2,911	0	1	1	0
12	∀∃	☐	0	0	1	0	0	1
13	∀∃	☑	4,69927e-04	100,000	0	1	0	1
14	∀∃	☑	1,48120e-05	3,152	0	0	1	1

Bild 11: Eingaben zur Teillastanalyse

Die Eingaben in der obigen Maske bedeuten dabei:

Zeile 1: Last 1 wirkt, die übrigen Lasten sind = 0.

Zeile 2: Last 2 wirkt, die übrigen Lasten sind = 0.

Zeile 3: Last 3 wirkt, die übrigen Lasten sind = 0.

Zeile 4: Last 4 wirkt, die übrigen Lasten sind = 0.

Zeile 5: Last 1 wirkt nicht, die übrigen Lasten sind unverändert.

Zeile 6: Last 2 wirkt nicht, die übrigen Lasten sind unverändert.

Zeile 7: Last 3 wirkt nicht, die übrigen Lasten sind unverändert.

Zeile 8: Last 4 wirkt nicht, die übrigen Lasten sind unverändert.

Zeile 9: Last 1 und 2 wirken, die übrigen Lasten wirken nicht.

Zeile 10: Last 1 und 3 wirken, die übrigen Lasten wirken nicht.

Zeile 11: Last 2 und 2 wirken, die übrigen Lasten wirken nicht.

Zeile 12: Last 1 und 4 wirken, die übrigen Lasten wirken nicht.

Zeile 13: Last 2 und 4 wirken, die übrigen Lasten wirken nicht.

Zeile 14: Last 3 und 4 wirken, die übrigen Lasten wirken nicht.

Rotierende Lasten

Der Fall rotierender Lasten wird dadurch behandelt, dass die gegebene Belastung(en) in mehrere statisch äquivalente Einzellasten aufgeteilt wird. Dabei wird jeder dieser Einzellasten ein Winkelfenster zugeordnet, in dem sie wirkt.

In Verbindung mit Einheitslastfällen, die jeden Winkelfenster zugeordnet sind, kann die Rotation eines Bauteils durch statische Superposition korrekt behandelt werden.

.

winLIFE ZAHNRÄDER UND LAGER

Voraussetzungen

Um die folgenden Berechnungen durchführen zu können, ist das Programm winLIFE ZAHNRÄDER UND LAGER zusätzlich zu winLIFE BASIS erforderlich.

Lebensdauer von Zahnrädern und Lagern

Die Ermüdung von Zahnrädern geschieht im Zahnfuß durch Biegung und in der Zahnflanke durch die Ausbildung von Grübchen (Pittings). Beide Schädigungsmechanismen laufen gleichzeitig ab und je nach Materialeigenschaften und Konstruktion wird einer der beiden Phänomene dominieren. Da nicht bekannt ist, welcher Effekte dominiert, sollten bei der Lebensdauerberechnung beide Schadensmöglichkeiten untersucht werden.

Zahnfußermüdung

Zahnfußermüdung resultiert aus der bei jedem Zahneingriff auftretenden dynamischen Zahnfußspannung, die zu einem Primäranriss führen kann, der schließlich in einem Zahnbruch endet. Die Geometrie (Kerbfaktor), Oberfläche und Spannung sind die entscheidenden Einflussgrößen.

Es wurden in Normen und Forschungsvorhaben Regeln zur Verwendung und Herleitung von Wöhlerkurven für Zahnräder abgeleitet, an die sich winLIFE anlehnt. Der Benutzer kann natürlich auch seine eigenen Daten verwenden.

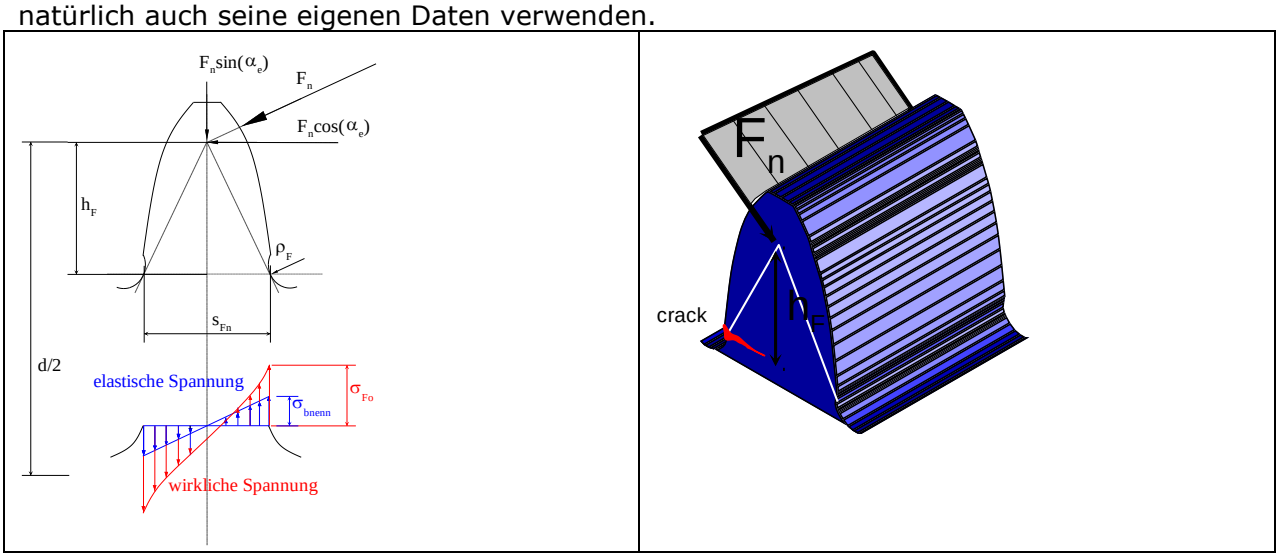


Bild 2: Kräfte an einem Zahn und daraus resultierende Spannungen im Fuß.

Zahnflankenermüdung (Pittings)

Die Normalkraft auf die Zahnoberfläche in dem Bereich, wo keine Gleitbewegung der Oberflächen stattfindet sondern ein reines Abwälzen, bewirkt Hertzsche Pressung, die zur Grübchenbildung (Pittings) führen kann.

Die Lebensdauer kann mit speziell dafür ermittelten Wöhlerkurven erfolgen.

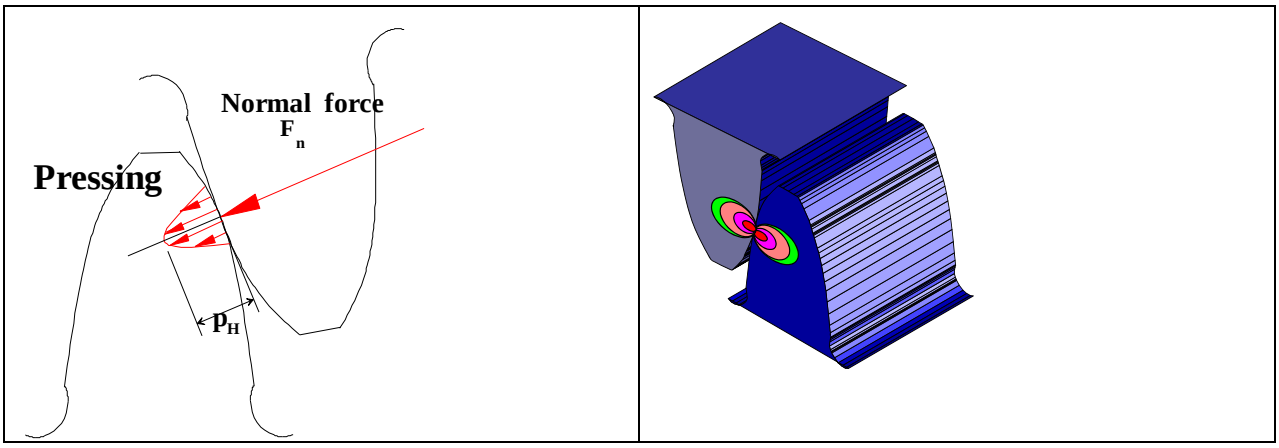


Bild 3: Kraft an einem Zahn und daraus resultierende Pressung in der Zahnflanke

Lebensdauer von Wälzlagern

*Bild 4 **:** Wälzlager*

Der Grund für die Ermüdung von Wälzlagern ist ähnlich wie die der Pittingbildung bei Zahnrädern: die Hertzsche Pressung der Oberflächen.

Auch diese Lebensdauer kann mit Wöhlerkurven beschrieben werden und die Hersteller ermitteln dazu Daten. Auf der Basis dieser Daten erfolgt die Abschätzung der Lebensdauer.

Wöhlerkurven und ihre Modifikation

Bei der Lebensdauerberechnung für Lager und Zahnräder sind ebenfalls Modifikationen üblich, die folgend dargestellt sind:

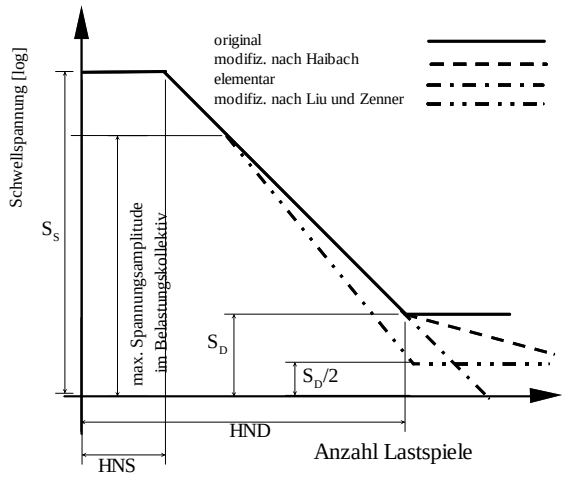


Bild 5 : mögliche Varianten von Wöhlerkurven für Zahnräder und Lager

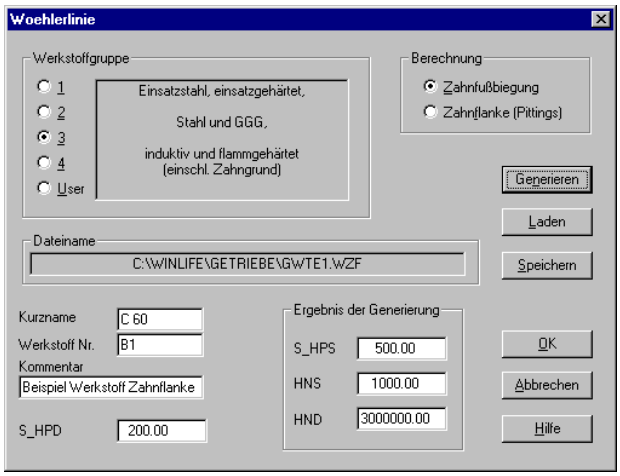


Bild 6: Eingabemaske zur Generierung einer Wöhlerlinie für Zahnräder.

Die Erzeugung einer Wöhlerlinie erfolgt basierend auf DIN Standards oder FVA Richtlinien an Hand der oben abgebildeten Maske (Bild 5). Daten für Wälzlager werden den Katalogen der Hersteller entnommen.

Eingabe eines Lastkollektivs

Die Lebensdauer von Zahnrädern und Lagern hängt von der Anzahl der Umdrehungen und der dabei wirkenden Belastung – Drehmoment bzw. Kraft - ab.

Als Belastung kann ein Kollektiv (Verweildauerzählung) importiert werden, als Kräfteverlauf vorgegeben worden oder das Kollektiv kann von Hand in die folgende Maske eingegeben werden.

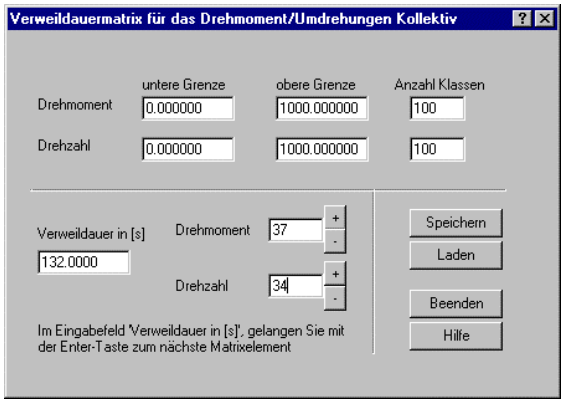


Bild 7: Eingabemaske zur Vorgabe der Verweildauermatrix.

Es muss für jedes Element der Drehzahl-Drehmoment-Matrix eine Verweildauer angegeben werden. Da eine typische Matrix hunderte von Elementen enthält, ist die manuelle Eingabe sehr aufwändig und nur in Ausnahmefällen üblich. Man wird in der Regel eine derartige Matrix aus einer Messung oder Simulation entnehmen.

Bild 7 zeigt eine Verweildauermatrix, wie sie aus dem winEVA System erhalten wurde. Die winLIFE-Schnittstelle ist gut dokumentiert, so dass auch zu anderen Systemen mit wenig Aufwand eine Verbindung hergestellt werden kann.

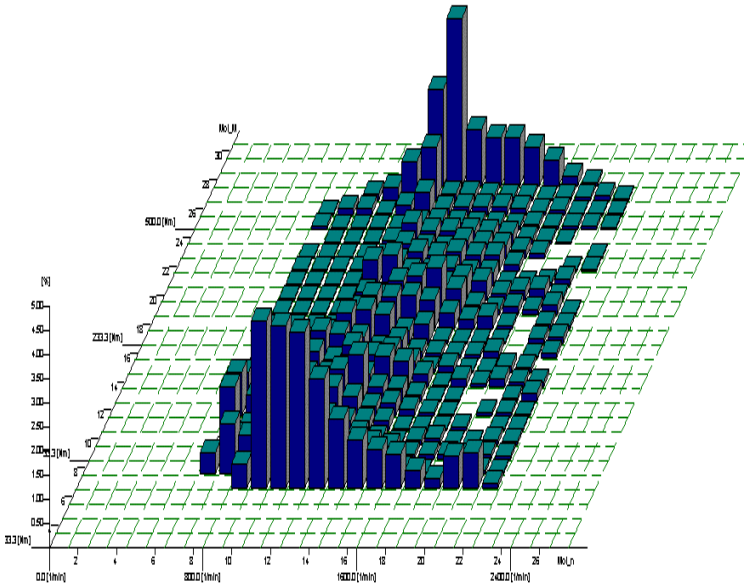


Bild 8: Zeitanteile der Verweildauer von Drehzahl und Drehmoment des Zahnrades in einer Verweildauermatrix dargestellt

Die Verweildauermatrix wird automatisch in eine Drehmoment-Drehzahl Tabelle bzw. Kraft-Drehzahl-Tabelle konvertiert. Das Ergebnis zeigt *Bild 8*.

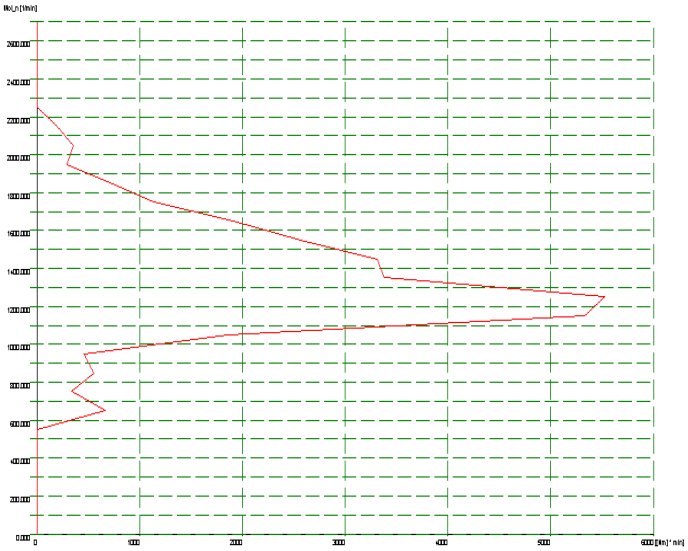


Bild 9: Drehmoment über Drehzahl für ein Zahnrad

Umrechnung auf das Bauteil

In vielen Fällen wird das dem Benutzer vorliegende Belastungskollektiv nicht dem für das Zahnrad entsprechen. Dies liegt oft daran, dass die Messung meist an einfach zugänglichen Wellen (Eingang / Ausgang) erfolgt. Es muss daher noch eine Umrechnung auf die am Zahnrad wirkenden Drehzahlen und Drehmomente erfolgen. Bei Planetengetrieben wird diese Umrechnung oft dadurch erschwert, dass keine festen Drehzahlbeziehungen vorliegen und dass sich zusätzlich die Übertragungsrichtung ändert.

Schadensakkumulation

Die Lebensdauer wird mit Hilfe der linearen Schadensakkumulation berechnet. Die Ergebnisse werden detailliert im Protokollfile dokumentiert.

Benutzerkomfort

Da die Phänomene der Ermüdung von Zahnrädern und Lagern ähnlich der anderer Bauteile ist, sind auch die Abläufe der Berechnung ähnlich wie im winLIFE BASIS-Modul. Ein Benutzer, der winLIFE BASIS bedienen kann, wird sich schnell in winLIFE ZAHNRÄDER UND LAGER einarbeiten können, da die Programmstruktur und Benutzerführung ähnlich aufgebaut sind.

Anwendungsbeispiele für den Einsatz von winLIFE

Automobilbereich

Viele winLIFE-Benutzer kommen aus der Automobil-Industrie. Folgende Anwendungen sind typisch:

Antriebsstrang

Kupplungen, Drehmomentwandler, Retarder, Gehäuse von Getrieben , Wellen , Planetengetriebe, Torsionsdämpfer, Lkw und landwirtschaftliche Fahrzeuge.

Messungen auf wirklichen Strecken wurden durchgeführt um die realen Bedingungen zu erfassen. Eine Rennstrecke, der "Nürburgring", wurde im Detail vermessen und darauf basierend wurden Lebensdaueruntersuchungen für den Antriebsstrang durchgeführt. Das gemessene Lastkollektiv für den Nürburgring für einen Mercedes S 500 mit einem 7 Gang Automatik-Getriebe zeigt das folgende Bild.

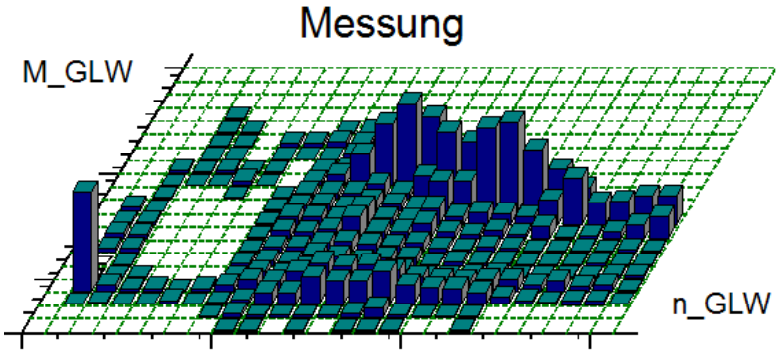


Bild 10: Zeitverweildauer von Drehmomenten und Drehzahl am Getriebeausgang für ein 7-Gang-Automatikgetriebe auf dem Nürburgring (Quelle DaimlerChrysler)

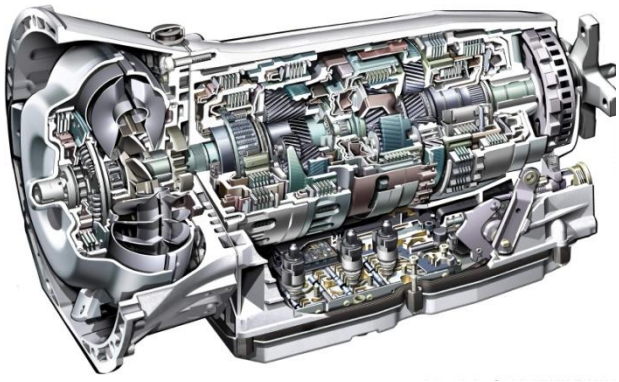


Bild 11: 7-Gang Automatik-Getriebe der Firma DaimlerChrysler

Achsaufhängungen:

winLIFE wird für die Entwicklung militärischer Fahrzeuge eingesetzt. Das Fahrwerk, Achsen und Federn wurden mit winLIFE berechnet. Im Fahrversuch wurde auf unterschiedlichen Fahrbahnkategorien gemessen, um die durch die Fahrbahnunebenheit verursachten Besonderheiten zu bestimmen.

Bild 12: militärisches Fahrzeug Fennek, das mit winLIFE berechnet wurde.

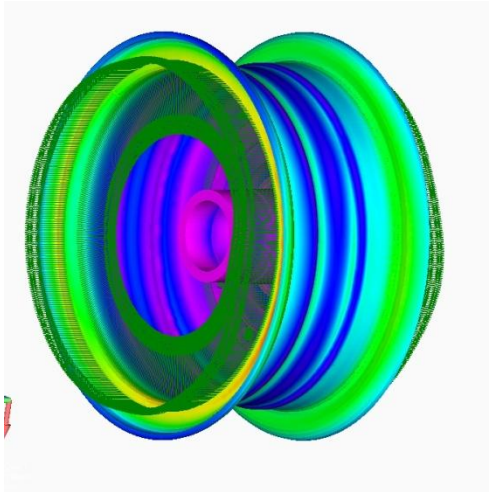


Bild 4: FE-Modell von Felge mit Einheitslasten für die Vertikalkraft und Radnabe, was Grundlage für die Lebensdauerberechnung der Radnabe des Fennek unter Wirkung von im Fahrversuch gemessener Lastdaten (3 Kräfte, 3 Momente) unter Anwendung rotierender Superposition war [ ].

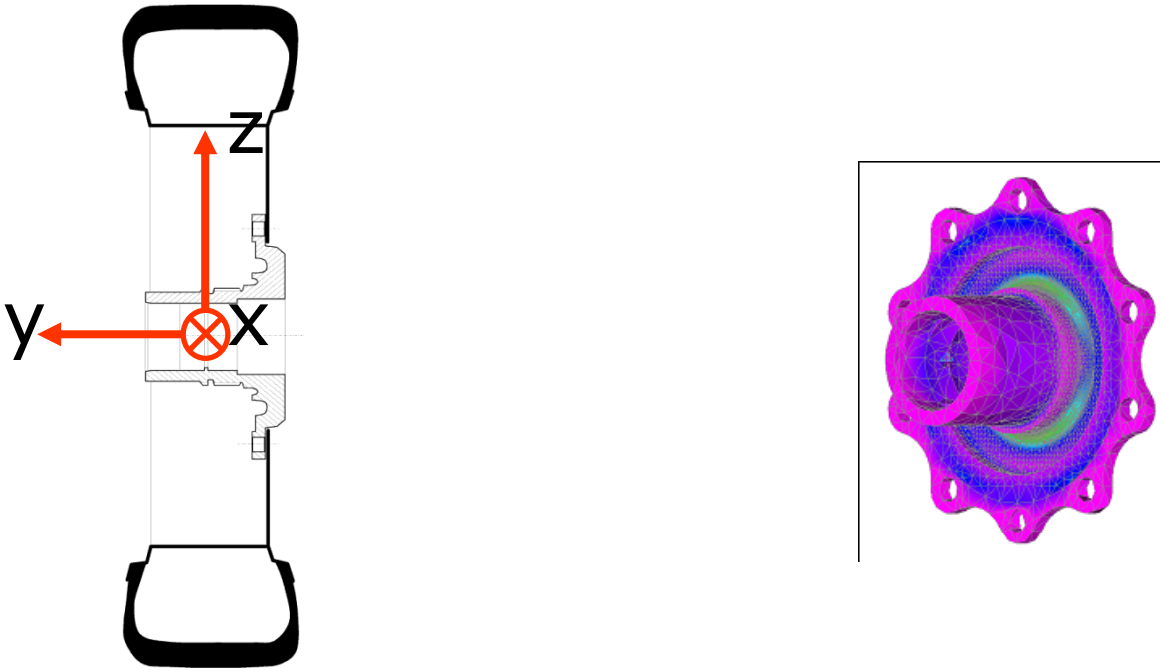


Bild 5: Rad mit Radnabe des „Fennek" und die in der Lebensdauerberechnung untersuchte Radnabe.

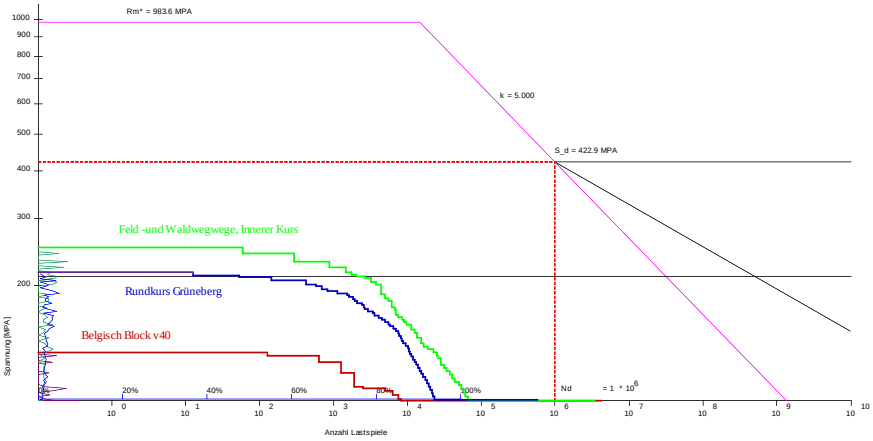


Bild 6: Ergebnis der Berechnung der Radnabe des „Fennnek" auf verschiedenen Fahrbahnen und Fahrmanövern

Anwendungen aus dem Flugzeugbau

Das Rangieren von Flugzeugen auf einem Flughafen ist wirtschaftlicher, wenn dies durch einen Schlepper geschieht. Dabei wird der Schlepper am vorderen Fahrwerk mit Hilfe einer Stange das Flugzeug abschleppen. Es stellte sich die Frage, wie die dabei auftretenden Beanspruchungen im Vergleich zum normalen Flugbetrieb aussehen und ob sich ein Lebensdauerproblem ergeben kann.

Es wurden an dem Fahrwerk Dehnmessstreifen angebracht und während des Rangierens und während der Landung gemessen. Eine vergleichende Lebensdauerberechnung zeigte die Schädigung durch den Landevorgang und den Rangiervorgang im Vergleich und erlaubte damit eine Beurteilung.

Bild 7: Flugzeug, das für die Messungen verwendet wurde

Bild 8: Fahrwerk mit Dehnmessstreifen

Als Ergebnis konnte eine Beurteilung der Relation der Schädigungen zwischen Landevorgang und Rangieren mit dem Schlepper erfolgen. Im Hinblick auf die Gesamtbelastung des Fahrwerks können nun diese Vorgänge auf dem Boden mit einbezogen werden.

Windenergie-Systeme

Bei der Entwicklung einer Windenergieanlage ist der Nachweis der Lebensdauer durch rechnerische Methoden zu erbringen. Windenergieanlagen werden für Jahrzehnte dimensioniert und müssen auch den sehr veränderlichen Wetterbedingungen standhalten. So werden die Türme, die Rotornabe und Komponenten der Windenergieanlage damit berechnet.

Eine Verschärfung ergibt sich bei Off-Shore-Anlagen, die vor der Küste eingesetzt werden und die extremen Belastungen durch Wellen, Wind und Salzwasser ausgesetzt sind.

Um den Herstellern von Windenergieanlagen die Arbeit zu erleichtern, sind Berechnungsvorschriften z.B. zur Generierung von Wöhlerlinien nach den Regelwerken des

Germanischen Lloyd integriert. Das folgende Bild zeigt ein S4WT-Modell (SAMCEF for Windturbines) einer Windenergieanlage. Eine Schnittstelle zu winLIFE leistet den Datentransfer.

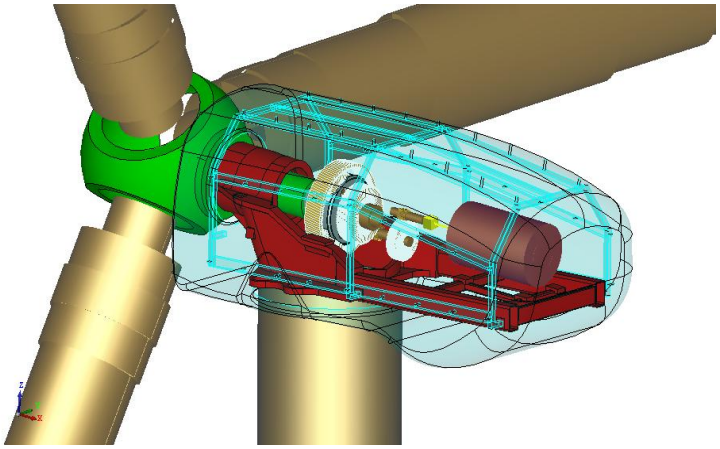


Bild 9: Maschinenhaus einer mit SW4T modellierten Windenergieanlage

Das folgende Bild zeigt das Ergebnis der Lebensdauerberechnung mit ANSYS und winLIFE (die Schädigung wird dargestellt).

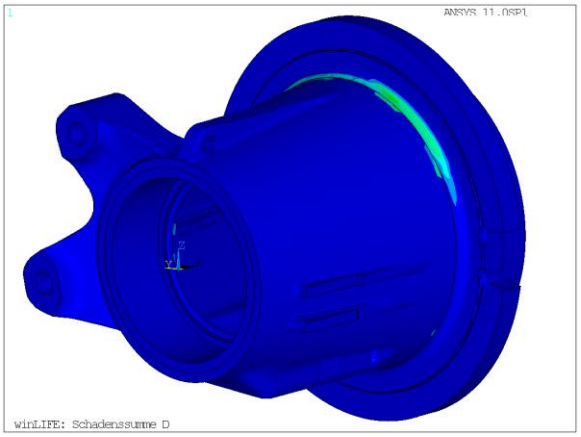


Bild 10: Getriebegehäuse der Firma Zollern, die mit ANSYS und winLIFE die Lebensdauer berechnete

Schweißnahtberechnung

Trailerachse mit Hilfe des Kerbspannungskonzepts (R1)

Es wurde die Schweißverbindung der Hinterachse eines Sattelaufliegers mit FEMAP berechnet (Bild). Dabei wurde das Substrukturverfahren angewendet, bei dem zuerst das relativ grob modellierte Gesamtmodell berechnet wurde. Anschließend wurden die Schweißnähte „herausgeschnitten" und entsprechend den Vorgaben des r1-Konzeptes sehr fein modelliert (Bild).

Nun wurde auf der Basis des wirkenden Lastkollektivs eine Lebensdauerberechnung nur für Schweißnaht durchgeführt. Auf diese Weise konnten die kritischen Orte der Anrisse gefunden werden, die mit Versuchsergebnissen übereinstimmten und es konnte eine Lebensdauerabschätzung für die Bedingungen auf der Erprobungsstrecke und für ein wirkliches Kundenkollektiv berechnet und verglichen werden. Die Ergebnisse waren sehr hilfreich bei der Entwicklung dieser Achse.

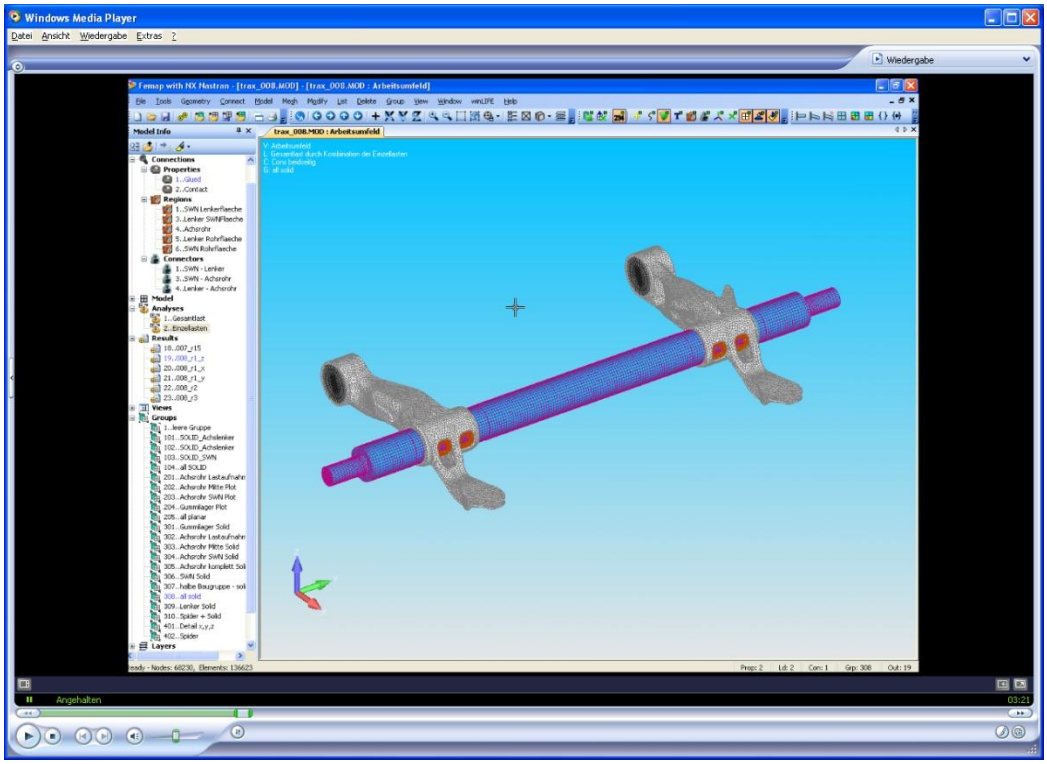


Bild 11: Hinterachse eines Sattelanhängers der Firma Kögel, die mit winLIFE berechnet wurde.

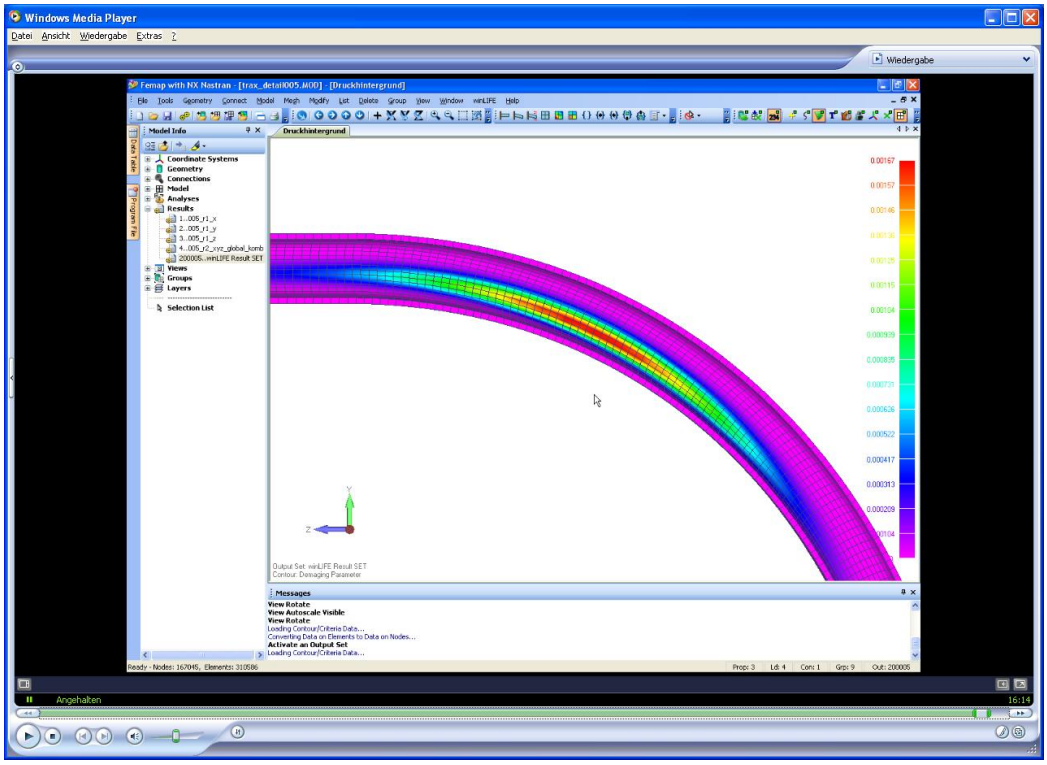


Bild 12: Linien gleicher Schädigung an der Schweißnaht

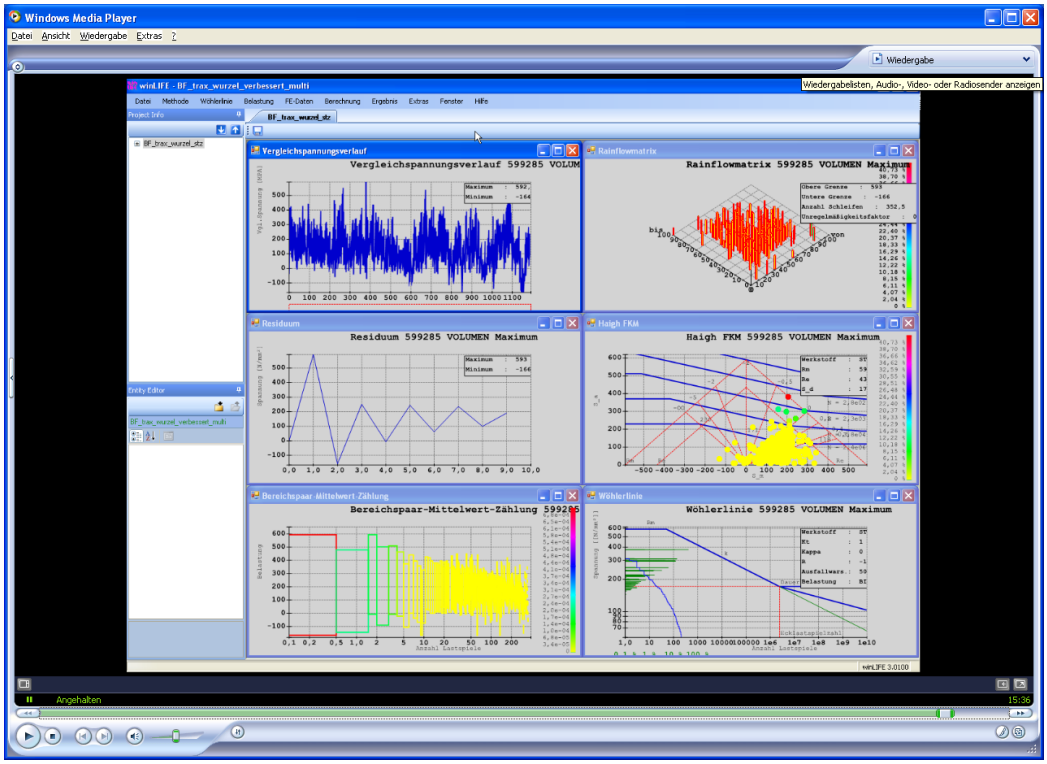


Bild 13: Darstellung der Ergebnisse der Lebensdauerbechnung in winLIFE

Anhängerkupplung mit Hilfe des Strukturspannungskonzepts

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.

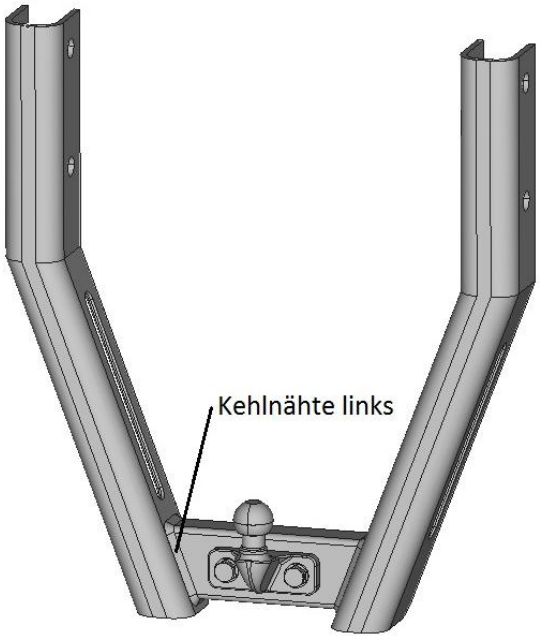


Bild14: Geometrie des Kugelkopfanhängebocks

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 x Blechdicke von der Schweißnaht und der Abstand der Knotenlinie 2 beträgt 1 x 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.

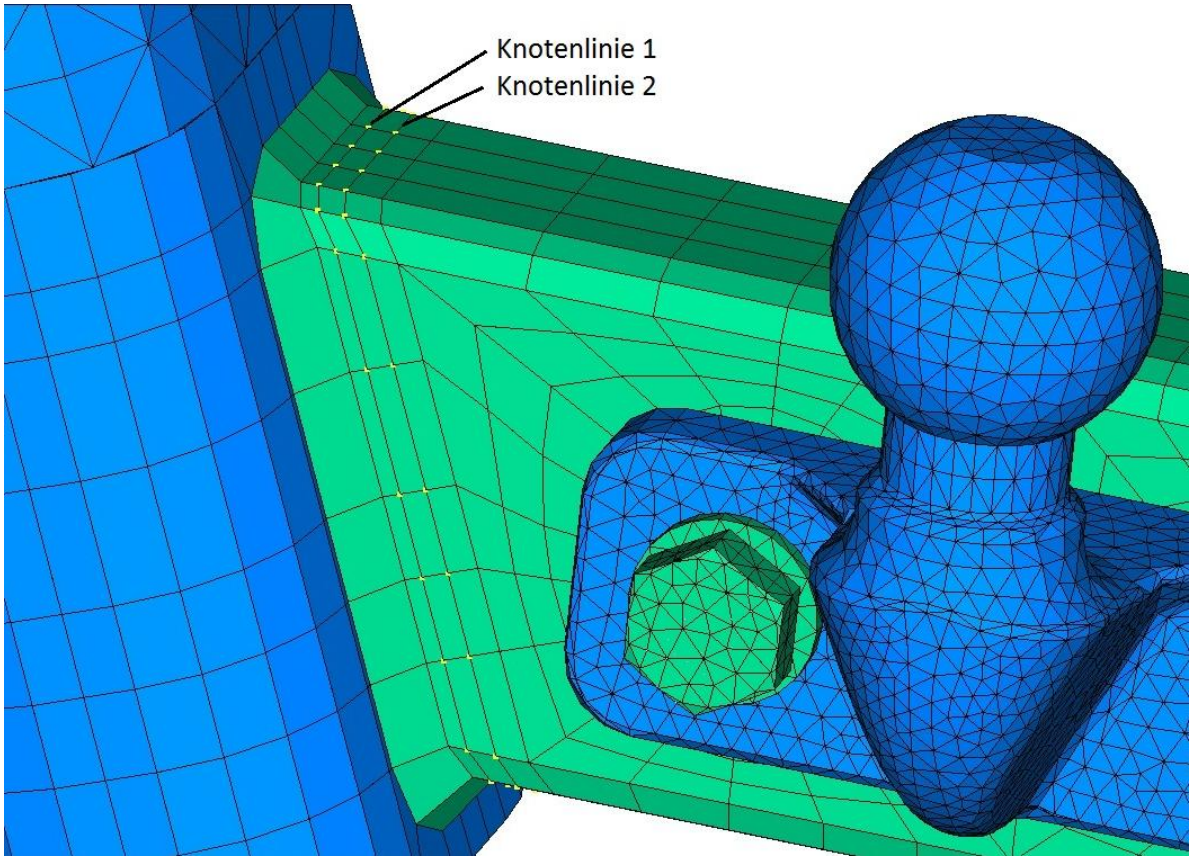


Bild15: Knotenlinien an der Kehlnaht für das Strukturspannungskonzept

An dem Kugelkopf wirken 2 Lastfälle, die zunächst getrennt dargestellt werden. In der folgenden Lebensdauerberechnung in winLIFE 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 Fy = 20000 N
2	Vertikal- und Horizontallast	Zugkraft in x-Richtung Fx = 21700 N und Druckkraft in z-Richtung von Fz = -12000 N

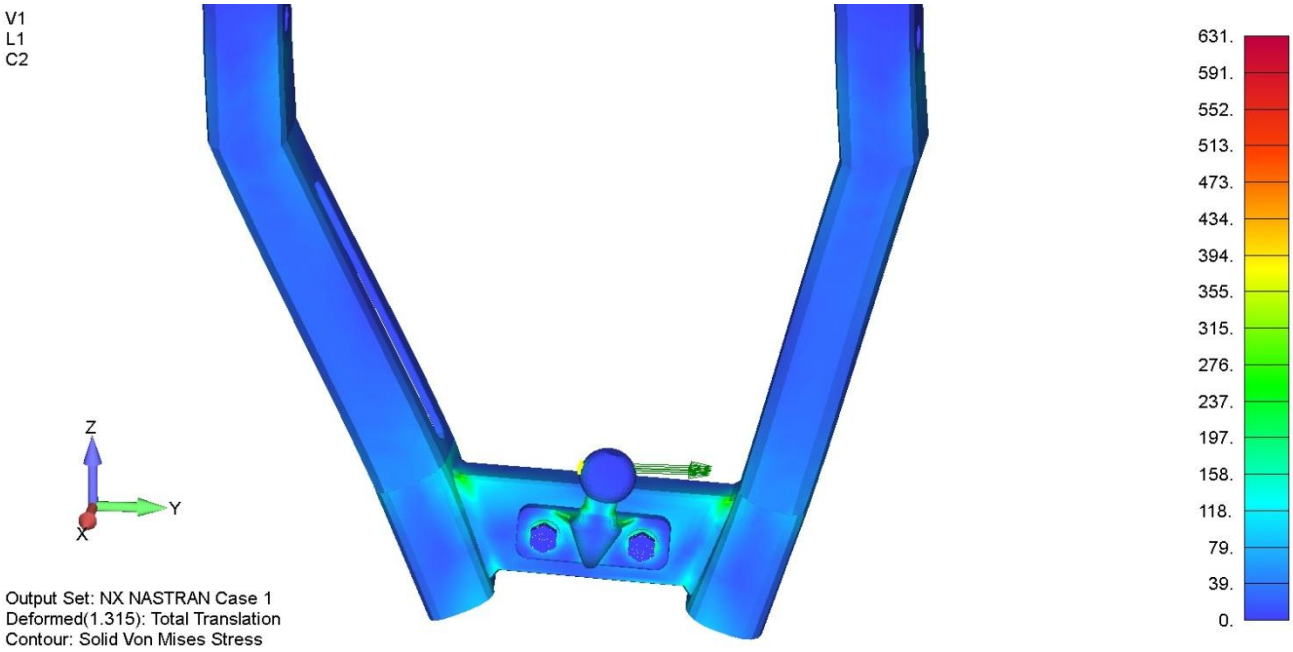


Bild 16: Anhängebock unter Seitenlast (Lastfall Nr. 1)

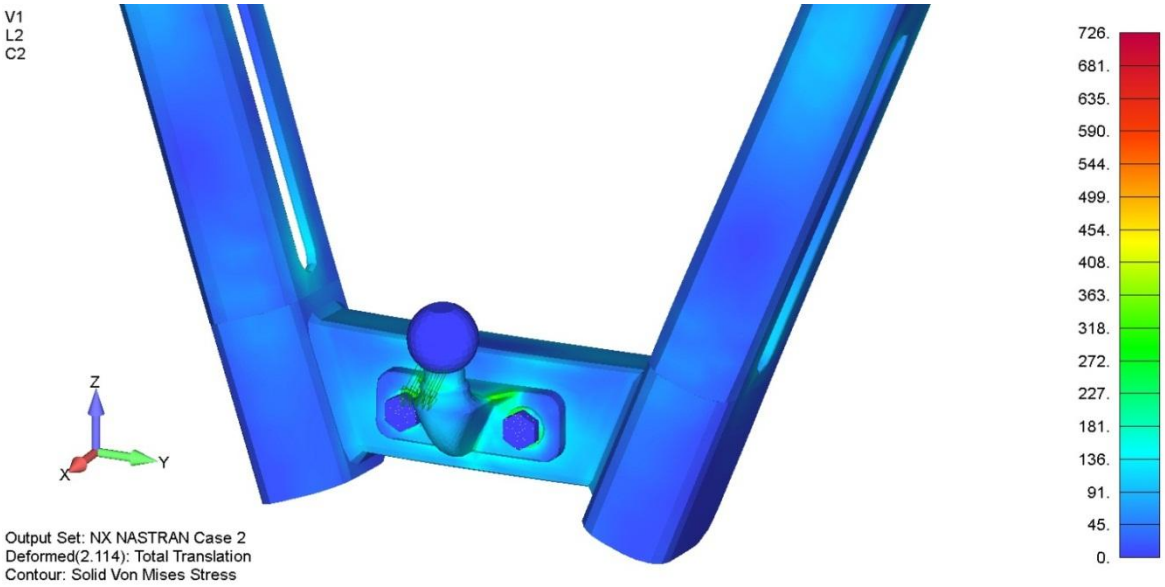


Bild 17: Anhängebock unter Vertikal- und Horizontallast (Lastfall Nr. 2)

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

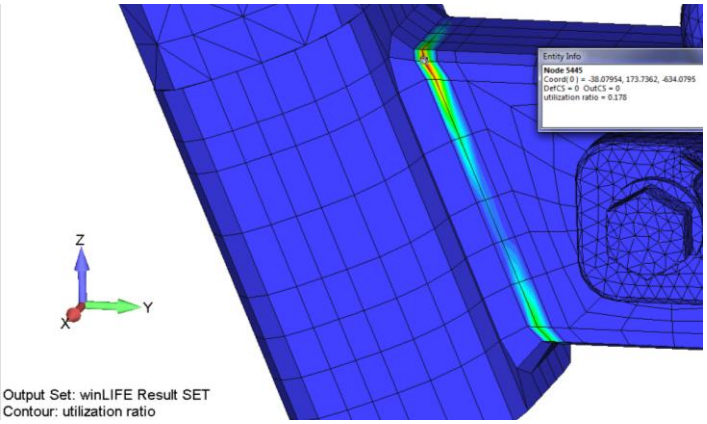


Bild 18: Auslastungsgrad der Kehlnaht

Schifffahrtsindustrie

Bei Schiffen wird eine erhebliche dynamische Belastung durch die Wellen bewirkt. Wenn Vorschiff und Heck durch einen Wellenberg angehoben werden, so wird sich der Schiffskörper wie ein Biegebalken verformen. Hält man sich vor Augen, dass Wellenhöhen von10 Metern und mehr auftreten, so wird die hohe Beanspruchung deutlich.

Ein Schiff wird 30 Jahre oder mehr eingesetzt und die Lebensdauerberechnung ist eine wichtige Methode, die bei der Konstruktion eine Beurteilung der Struktur ermöglicht. Es werden insbesondere die Schweißnähte untersucht, für deren Dimensionierung spezielle Wöhlerkurven existieren.

Hochschulen

An mehreren Universitäten und Fachhochschulen wird winLIFE seit vielen Jahren in Lehre und Forschung eingesetzt. Dazu wurde eine spezielle Hochschul-Version geschaffen, um die Anforderungen nach einer größeren Zahl von Installationen zu erfüllen. Die einfache Bedienung von winLIFE ist hilfreich für die schnelle und selbständige Einarbeitung der Studenten. Die notwendige Funktionalität ist gegeben, um die wesentlichen Berechnungskonzepte anschaulich zu erläutern.

Die Dokumentation einschließlich der Beispiele ist geeignet, dass die Ergebnisse vollständig nachgerechnet werden können und damit der Student auch im Detail verstehen kann, was er tut.

Die Hochschulversion besteht aus einer Vollversion für den Betreuer mit separatem Einzelplatzhardlock. Eine zusätzliche Netzwerkslizenz für 10 User erlaubt die Nutzung von winLIFE BASIS in leicht eingeschränkter Weise, die aber für akademische Fragestellungen völlig ausreichend ist.

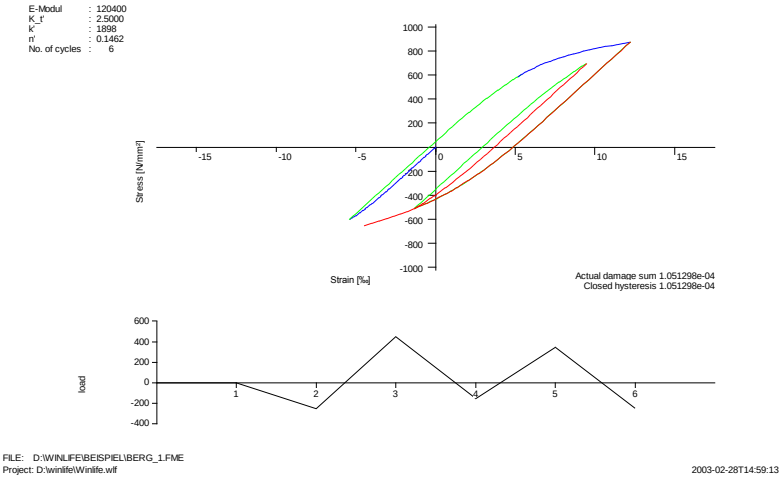


Bild 19: Interaktive Simulation des Spannungs-Dehnungs-Pfades . Lastschritt, resultierender Spannungs–Dehnungspfad und Schadenssumme sind in einem Bild dargestellt und können interaktiv vom Benutzer vorgegeben werden. Auf diese Weise können die Gesetze des Werkstoffgedächtnisses spielerisch nachvollzogen werden.

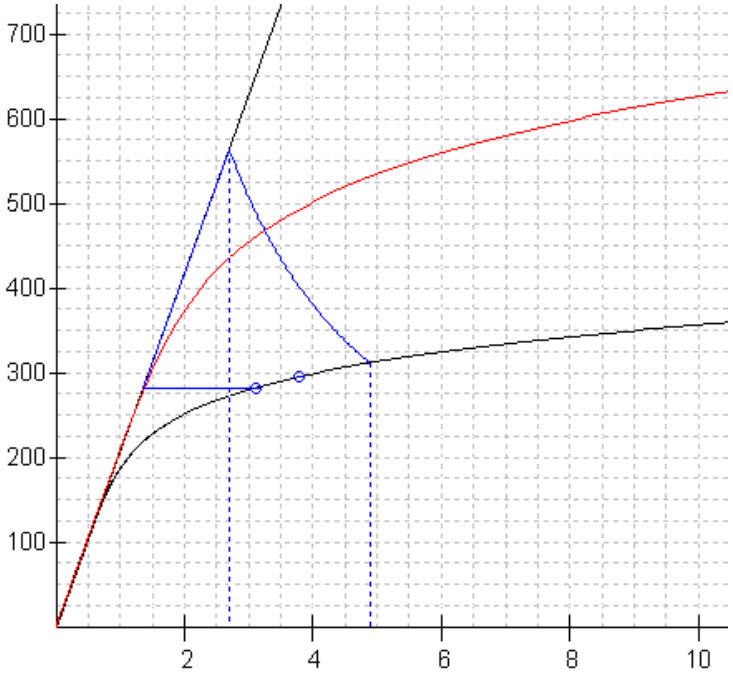


Bild 20: Animation der Neuber Regel und ihrer Varianten. Ausgehend vom Startpunkt wird die Neuber Hyperbel dargestellt. Durch Bewegung der Maus wird der Startpunk t verschoben und die Linienzüge in Echtzeit animiert.

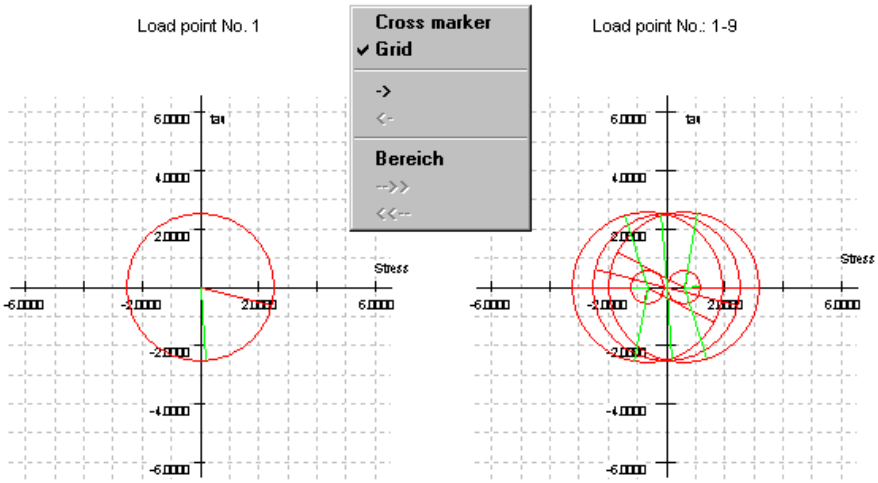


Bild 21: Für den multiaxialen Fall wird die Darstellung im Mohrschen Kreis verwendet. Links ist ein vom Benutzer wählbarer Zeitpunkt dargestellt, rechts die Schar aller Mohrschen Kreise für alle Zeitschritte.

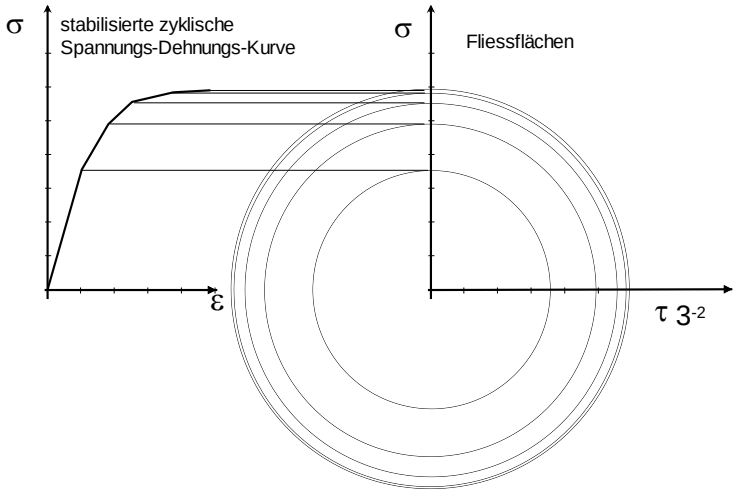


Bild 22 : Das multiaxiale Fließen mit Hilfe des Mroz-Modells. Mit Hilfe dieser Darstellung kann der Ablauf einer Last-Zeit-Funktion animiert werden (max. 2000 Schritte).

Die Module von winLIFE

Module	Beschreibung	Sprachen
QUICK CHECK	Dauerfestigkeitsnachweis Einfach zu führender Nachweis unter Worst Case Annahmen	Englisch / Deutsch
BASIS	Basis-Modul, das die grundlegenden Methoden der Lebensdauerberechnung unterstützt und das für die meisten Fälle von Lebensdauerfragestellungen ausreichend ist. Eine Anbindung an FEM-Programme ist gegeben.	Englisch / Deutsch
MULTIAXIAL	Erweiterung auf den multiaxialen Fall. Es können bis zu 100 parallele Last-Zeit-Funktionen verwendet werden, indem Einheitslastfälle mit Hilfe der Last-Zeit-Funktionen skaliert werden. Bei nichtlinearen Systemen und/oder nicht vernachlässigbaren Trägheitskräften können knotenbezogen die Spannungs-Tensor-Zeit-Funktionen für eine Lebensdauerberechnung verwendet werden. Einlesen der Dehnungen von Rosetten, Verfahren zur Rechenzeitverkürzung.	Englisch / Deutsch
ZAHNRÄDER UND LAGER	Erweiterung für Zahnräder und Lager.	Englisch / Deutsch

Seminare, Unterstützung der Benutzer

Um winLIFE effektiv zu nutzen, müssen solide Kenntnisse der Mechanik und Lebensdauertheorie vorhanden sein. Nur dann können die Ergebnisse auch korrekt eingeordnet und beurteilt werden.

Zu diesem Zweck bieten wir jährlich 3 Seminare an. Die Termine finden Sie im Internet.

Referenzen

winLIFE wird in sehr unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Einen Auszug der Kunden zeigt folgende Liste.

ADAMS Thermal Systems	Kühler	USA
ADP-Engineering		
AFROX		Südafrika
ALKO-Kober	Fahrzeugbau	Kötz
Berstscheiben Schlesinger	Maschinenbau	Lüdenscheid
Bosch		Schwieberdingen
Bosch Rexroth	Windenergie	Witten
Borgwarner	Getriebe	
Doosan	Maschinenbau	Korea
Daimler	Fahrzeugbau	Untertürkheim
Deutsche Bergbau	Maschinenbau	Lünen
EDF	Energietechnik	Frankreich
EGO	Maschinenbau	Oberderdingen
Enercon	Windenergie	
Eickhoff	Getriebetechnik	
FAG	Kupplungen	Schweinfurth
FH-Coburg	Fachhochschule	Coburg
FH-Esslingen	Fachhochschule	Esslingen
FH-Ulm	Fachhochschule	Ulm
FH-München	Fachhochschule	München
FH-Wiesbaden	Fachhochschule	Rüsselsheim
FH-Landshut	Fachhochschule	Landshut
FH-WÜSAB	Fachhochschule	Würzburg/Schw
FH-Zwickau	Fachhochschule	Zwickau
ZF Sachs	Kupplungen	Schweinfurth
Fendt	Landmaschinen	Marktoberndorf
Ficosa International S.A.		Spanien
Forschungszentrum Mittweida		Mittweida
Fraunhofer-Institut	Stuttgart	Materialforschung
GH-Siegen	Universität	Siegen
OGMA		Spanien
Harbin Marine Boiler		China
HTW-Saarbrücken	Hochschule	Saarbrücken
Hohner	Musikinstrumente	
Hitachi		Japan
Komatsu Hanomag	Fahrzeugbau	Hannover
Iberisa		Spanien
IMI Norgren Buschjost GmbH		
IWK	Regler & Kompensatoren	
IVECO	Fahrzeugbau	Ulm
Ingenis	Ing.-Büro	
Ingebieurbüro Negele		Deutschland
Kirkwood Industries	Maschinenbau	
KHP-Ing.		Deutschland
Kuhnke GmbH		
Krauss Maffei Wegmann	Fahrzeugbau	Kassel
Kögel	Fahrzeugbau	Burtenbach
Lürssen Werft	Schiffbau	
LBF	Betriebsfestigkeit	Darmstadt

MAK	Fahrzeugtechnik	Kiel
MAN Gutehoffnungshütte		Oberhausen
MDEC		USA
Hanbat National University		Korea
Harbin Marine Boiler		China
Manitowoc Crane Group		
Multotec (PTY) Ltd		Südafrika
Müller Weingarten	Maschinenbau	Weingarten
Pfleiderer Verkehrstechnik	Windenergie	Neumarkt
Plastic Molds & Dies		Dubai
Uni Saarbrücken	Universität	Saabrücken
Uni Hamburg / Schiffbau	Universität	Hamburg
Universidade da beira interior	Universität	Spanien
Universität Stuttgart	Universität	
MuZ-Engineering	Fahrzeugtechnik	Zschoppau
NPO		Moskau
Neumann & Esser	Kompressoren	
Precor		Woodinville, CA
Rocky Mountain Bicycles	Fahrradtechnik	USA
Rheinmetall Landsysteme	Schiffbau	Schniertzelreuth
Rheinmetall Landsysteme	Wehrtechnik	Kiel
SMART	Ing. Büro	Bucholz
Südform GmbH		
Sasol Coal	Bergbau	Südafrika
SHW	Maschinenbau	
Soo Tractor Sweeprake		USA
Temic		Schrobenhausen
Thyssen	Stahl	Duisburg
Voith	Maschinenbau	Heidenheim
Krauss Maffei Wegmann	Maschinenbau	Kassel
Windtec	Windenergie	Österreich
Westfalia Separator		Oelde
Yugoimport		Jugoslawien
Zelter	Maschinenbau	Hennef
Zollern	Maschinenbau	