

### winLIFE BASIS 2.3

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

- winLIFE MULTIAXIAL und
- winLIFE ZAHNRÄDER UND LAGER

### Wie erhalte ich Materialdaten für die Lebensdauerberechnung

### Erzeugung von Bauteil-Wöhlerkurven aus statischen Materialdaten

Wöhlerlinien für die Nennspannungs- und Kerbspannungsmethode können aus statischen Werkstoffdaten wie Streckgrenze, Zugfestigkeit und Informationen des Bauteils wie Oberfläche, Kerbfaktor, Spannungsgradient etc. abgeschätzt werden. Dies geschieht in Anlehnung an die FKM-Richtlinie, die einen großen Erfahrungsschatz beinhaltet und die auch in vielen Bereichen bereits etabliert ist.

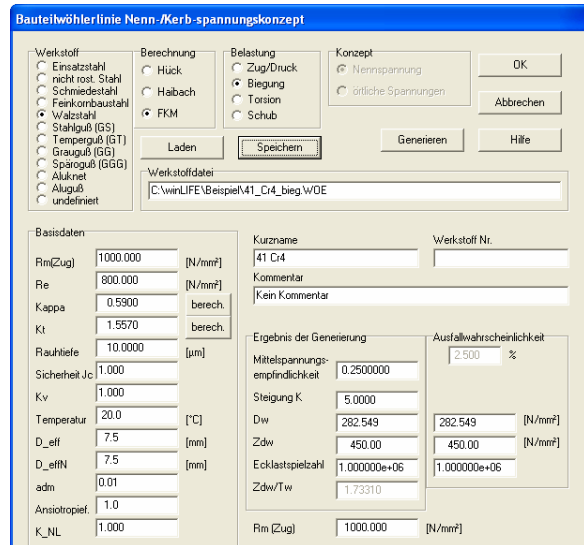


Bild 2: Maske zur Eingabe einer Bauteilwöhlerlinie

Bild 2 zeigt eine 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 dargestellt wird (Bild 3).

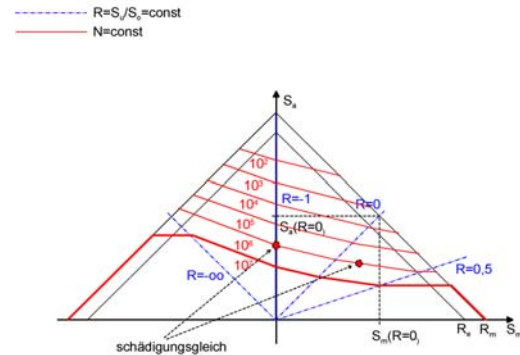


Bild 3: Das Haigh-Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen Spannungsamplitude, Mittelspannung und Lebensdauer

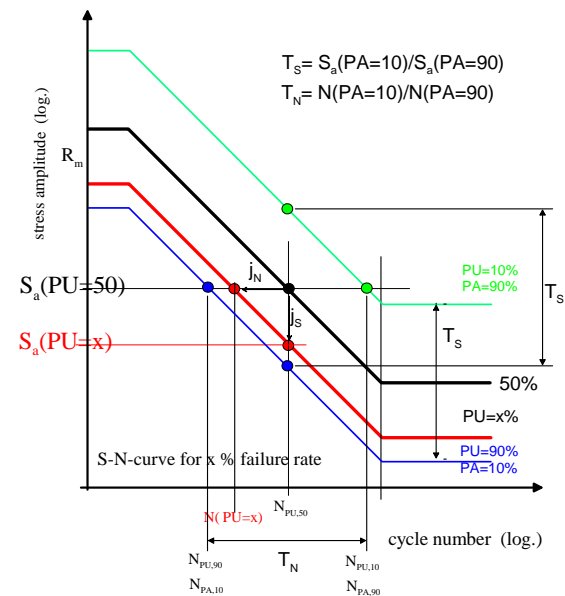


Bild 4: Basierend auf 50% Wöhlerkurven können Wöhlerkurven mit anderer Ausfallwahrscheinlichkeit generiert werden. Dabei kann im Zeitfestigkeitsbereich und im Bereich der Dauerfestigkeit eine andere Streuung verwendet werden.

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 erzeugt werden. Die Berechnung der Lebensdauer erfolgt ähnlich wie nach dem Nennspannungskonzept. Die Berücksichtigung der Geometrie und Kerbfaktoren erfolgt durch Zuordnung zu einem Katalog verschiedener Schweißnähte in Anlehnung an die FKM-Richtlinie.

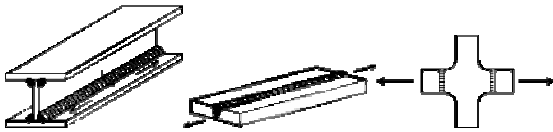


Bild 5: Schweißnahttypen, die aus einem Katalog ausgewählt werden müssen.

Es werden bei dieser Vorgehensweise nur Abschätzungen der Lebensdauer von Schweißnähten auf der sicheren Seite erreicht.

Für eine Optimierung von Schweißnähten ist eine Berechnung der lokalen Spannungen und eine Kombination mit der FEM sinnvoll. Insbesondere die Modellierung der Einbrandkerbe ist dabei bedeutsam.

## Erzeugung 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 einer Internet-Materialdatenbank erhalten werden.

Bild 6 zeigt die Maske zur Eingabe der Daten. Es sind lediglich die statischen Materialkennwerte wie Streckgrenze und Zugfestigkeit und die Rauigkeit der Oberfläche einzugeben. Wenn ohne FE gerechnet wird, muss noch der Kerbfaktor angegeben werden.

Bild 6: Maske zur Eingabe der Daten zur Generierung einer Dehnungs-Wöhlerlinie und der zyklischen Werkstoffdaten.

## Verwendung der Internet-Datenbank

winLIFE wird mit einigen Werkstoffdaten ausgeliefert. Für registrierte Kunden mit Wartungsvertrag besteht die Möglichkeit, auf die Internet-Datenbank zuzugreifen und Werkstoffdaten herunterzuladen. Die Daten stammen aus der Literatur, von winLIFE-Kunden und aus eigenen Untersuchungen. Der Wartungsvertrag berechtigt zum Download von 10 kompletten Datensätzen. Gegen eine geringe Gebühr können weitere heruntergeladen werden.

Bild 7: Maske einschließlich einem Datensatz aus der Internet-Datenbank. (Es existiert eine weitere hier nicht sichtbare zusätzliche Seite, die Details zur Werkstoffbezeichnung, chemischen Zusammensetzung, Quelle, Autor 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 sein.

## Festlegung eines Lastkollektivs

Ein Lastkollektiv ist definiert durch folgendes Wertetripel:

- Mittellast,
- Last-Amplitude
- Anzahl der Zyklen

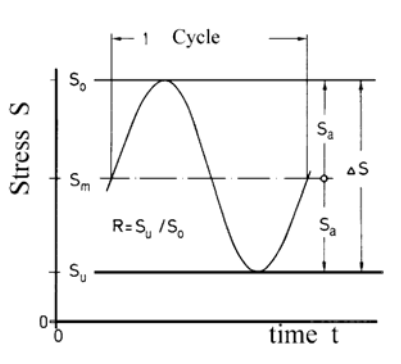


Bild 8: Definition eines Zyklus

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. Bild 9 zeigt drei solcher Grundformen von Lastkollektiven, die mit winLIFE generiert wurden.

## 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 10). Solche Daten können durch Messung erhalten werden, möglich wäre es aber auch, dass

der Benutzer den Last-Zeit-Verlauf über die Tastatur eingibt. Eine manuelle Eingabe ist nur bei kurzen beispielhaften Verläufen sinnvoll und üblicherweise werden sehr umfangreiche Messdaten, deren Länge nur durch die Plattenkapazität begrenzt ist, verwendet.

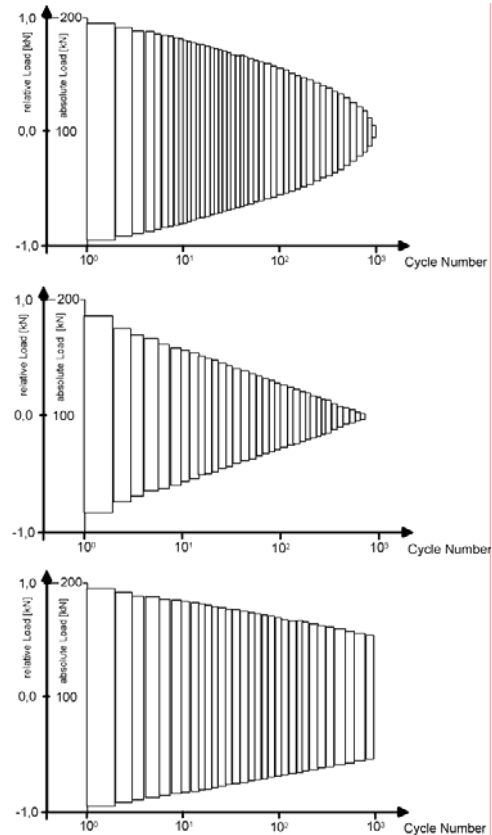


Bild 9: Beispiele für verschiedene Lastkollektive, die mit dem eingebauten Kollektivgenerator erzeugt wurden. (oben: Normalverteilung, mitte: Linearverteilung ( $n=1$ ), unten:  $p$ -Kollektiv)

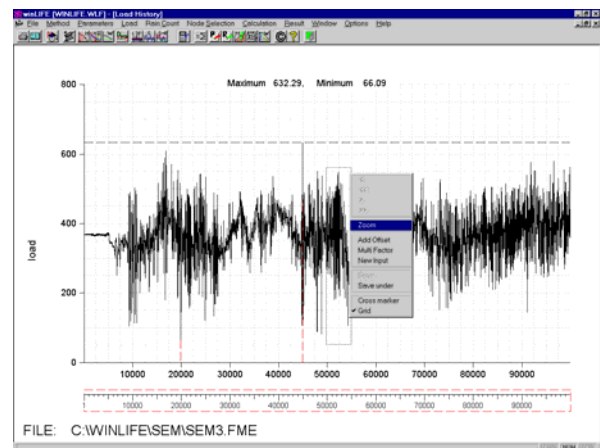


Bild 10: Gemessener Last-Zeit-Verlauf

Eine interaktive Datennachbearbeitung ermöglicht es, die Daten des Last-Zeit-Verlaufes oder des Lastkollektives schnell zu korrigieren. So können Spikes schnell beseitigt und Korrekturen vorgenommen werden.

Die von winLIFE verwendete Rainflow-Matrix kann ebenfalls nachbearbeitet werden. Die Rainflow-Matrix (Bild 13) enthält die schädigungsrelevanten Ereignisse und zeigt deren Schädigung durch eine Farbskala an. Durch Veränderung der Rainflow-Matrix lassen sich alternative Belastungsszenarien durchspielen.

Im Falle des Örtlichen Konzeptes kann der Spannungs-Dehnungs-Pfad dargestellt werden. Er wird aus der Rainflow-Matrix und den zyklischen Werkstoffkennwerten dargestellt (Bild 15).

---

## Durchführung einer Lebensdauerberechnung

### Verwendung von Finiten Elementen

winLIFE kann die Daten von FE-Programmen importieren und für eine Lebensdauerberechnung verwenden. In diesem Fall können die Spannungen und Dehnungen jedes Knoten berücksichtigt werden.

In vielen Fällen sind jedoch nicht alle Knoten einer Struktur gefährdet und können vom Benutzer ausgeschlossen werden. So wird ein Schaden in der Regel von der Bauteiloberfläche ausgehen, so dass der Benutzer sich auf diese beschränken kann. Weitere Kriterien zur Knotenauswahl existieren, so dass die ungefährdeten Knoten nicht berücksichtigt werden und damit Rechenzeit eingespart werden kann.

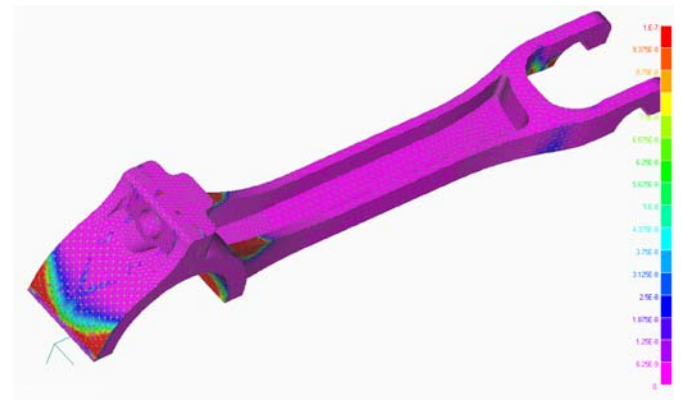
winLIFE wird mit Makroprogrammen geliefert, die den Datentransfer von und zu dem FE-Programm realisieren. Vom FE-Programm wird ein Exportfile mit den Spannungen und Dehnungen erzeugt, der von winLIFE eingelesen wird. Nach Berechnung der Schädigung wird für jeden Knoten die Schadenssumme an das FE-Programm übermittelt und dort können Linien gleicher Schädigung farblich dargestellt.

Schnittstellen sind zu folgenden Programmen verfügbar:

- FEMAP-basierende Programme wie MSC.NASTRAN, NEiNASTRAN, NX.NASTRAN, WTP2000
- - IDEAS
- - SAMCEF

Die Datenschnittstelle ist detailliert dokumentiert, so dass der Kunde bei Bedarf eine eigene Schnittstelle schreiben kann. Auf diese Weise sind Schnittstellen zu ANSYS und MEDINA entstanden.

Es soll nun kurz beschrieben werden, wie eine Lebensdauerberechnung abläuft. Dies geschieht am Beispiel eines Lenkers einer Lkw-Radaufhängung (Bild 11), der durch eine gemessene Last-Zeit-Funktion belastet ist (Bild 12). Wegen der Symmetrie ist nur eine Hälfte des Bauteils dargestellt.



*Bild 11: Lenker einer Radaufhängung eines Lkw (aus Symmetriegründen wurde nur eine Hälfte berechnet).*

Im ersten Schritt ist eine statische FE-Analyse unter Verwendung einer Einheitslast  $F_0$  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  $F(t)/F_0$  berechnet. Wenn ein Zeitverlauf  $F(t)$  wie in Bild 12 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.

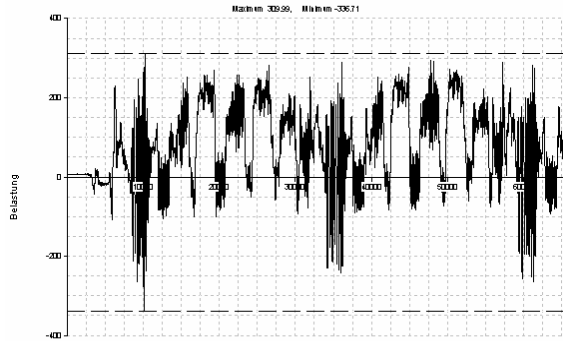


Bild 12: gemessene Last des Bauteils über der Zeit

Die Bauteilbelastung (Bild 12) wurde aus einer Messung auf einer Teststrecke erhalten. winLIFE macht nun eine Rainflow-Zählung der Last mit dem Ergebnis in Bild 13.

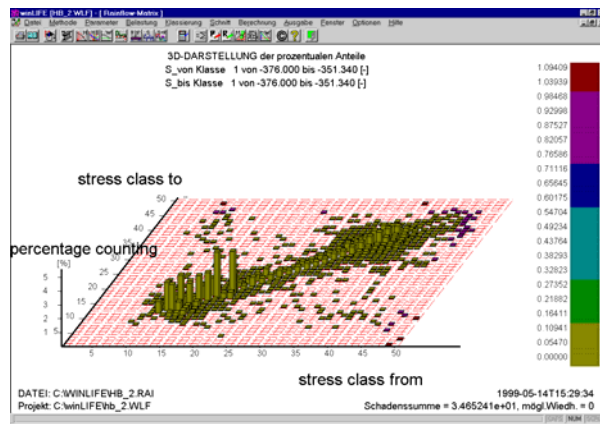


Bild 13: Rainflow Matrix

Die zyklischen Material-Daten und die Schadensparameter-Wöhlerlinie für dieses Beispiel sind in Bild 14 und Bild 15 dargestellt.

Aus der Rainflow-Matrix und den zyklischen Material-daten wird der Spannungs-Dehnungs-Pfad konstruiert (Bild 15). Die geschlossenen Schleifen dieses Pfades werden zur Berechnung eines Schadensparameters verwendet und die Schädigung schließlich mit Hilfe der Schadensparameter Wöhlerlinie (Bild 16) für jede Knoten der Struktur bestimmt. Die Ergebnisse werden als

Flächen gleicher Schädigung auf der Struktur dargestellt.

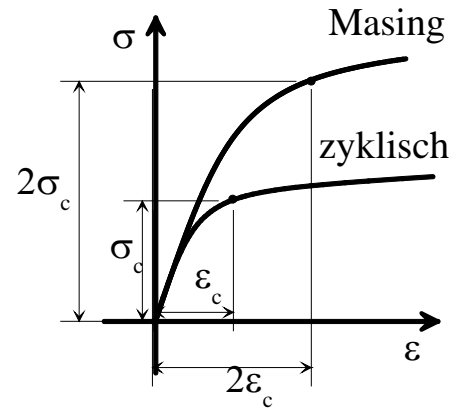


Bild 14: stabilisierte zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve

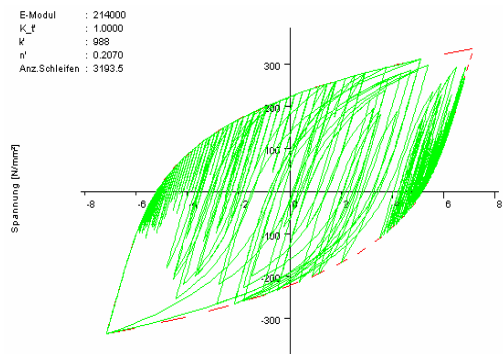


Bild 15: Spannungs-Dehnungs-Pfad, der aus der Rainflow-Matrix für den kritischen Knoten berechnet wurde.

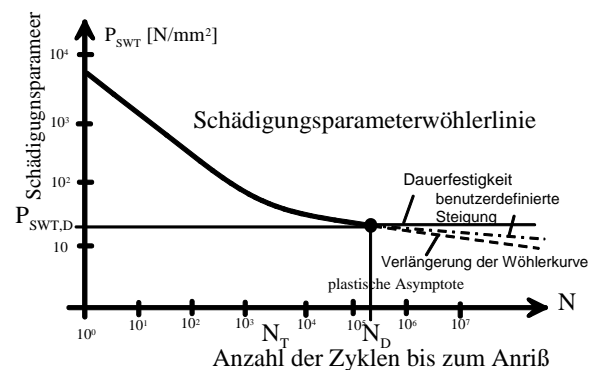


Bild 16: Schadensparameter Wöhlerkurve nach Smith Watson and Topper

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

## 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). Bild 17 zeigt die verfügbaren Hypothesen.

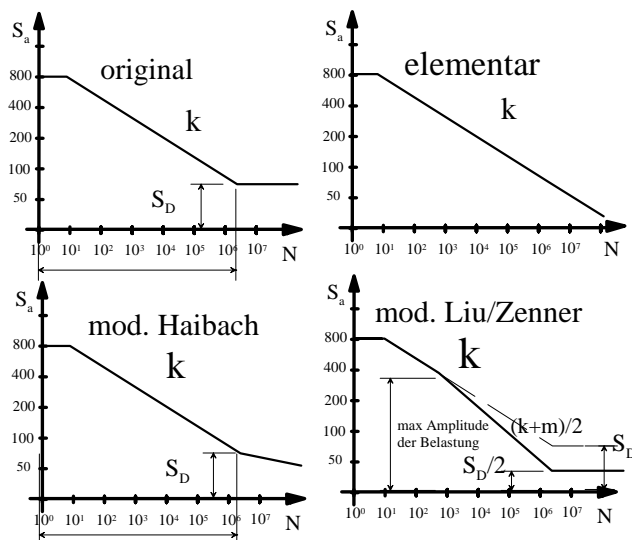


Bild 17: mögliche Hypothesen der Schadensakkumulation in winLIFE

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 addiert werden.

## Daten Handling and 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 Ergebnisanalyse

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

- Rainflow-Matrix
- Bereichsmittelpaarzählung
- Klassengrenzüberschreitungs-zählung
- 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 einschließlich Grafiken und auszudrucken und mit einem Knopfdruck zu erzeugen. Damit entfällt das bisher nötige individuelle Auswählen jeder einzelnen Grafik. Der Ausdruck kann auf den Drucker oder aber in eine pdf-Datei erfolgen.

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

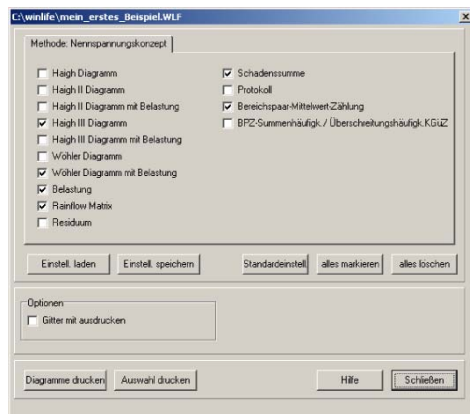


Bild 18: Eingabemaske zur Festlegung der Report-Inhalte

## Individuelle Gestaltung der Grafiken

Für jede einzelne Grafik können Festlegungen über die Farbe, Linientyp und Schriftgröße erfolgen. Um das zu erreichen muss in der Maske (siehe unten) die entsprechende Grafik ausgewählt werden und die Festlegungen können erfolgen.

Es können festgelegt werden:

- Schriftgröße
- Linienfarbe
- Linientyp
- darzustellender Zahlenbereich auf den Achsen

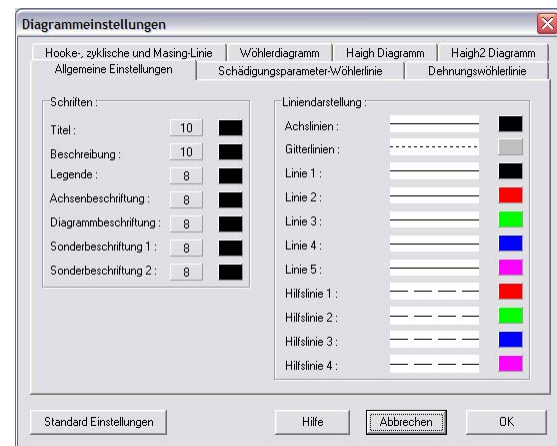


Bild 19: Eingabemaske zur Festlegung der Diagramm-Einstellungen

## Einheiten

winLIFE rechnet intern mit ISO-Einheiten, die in folgender Weise gewählt wurden:

Länge	[mm]
Kraft	[N]
Dehnung	[%]
Spannung	[N/mm <sup>2</sup> ]
Drehzahl	[1/min]
Moment	[N/m]



**STEINBEIS-TRANSFERZENTRUM**  
**NEUE TECHNOLOGIEN IN DER VERKEHRSTECHNIK**

Wenn der Benutzer abweichend hiervon seine eigenen Einheiten festlegen möchte, so muss er lediglich die gewünschten Bezeichnungen und Umrechnungsfaktoren angeben.

winLIFE wird mit 2 Standard-Definitionen ausgeliefert:

Die ISO-Einheiten sind in der Datei <Default.unt> abgelegt und alle Umrechnungsfaktoren sind 1. Die Einheiten sind:

[mm], [N], [%], [N/mm<sup>2</sup>]

In USA sind abweichend davon folgende Einheiten üblich, die in der Datei <PSI.unt> definiert sind. Die Einheiten lauten:

[in], [lbf], [%], [lbf/in<sup>2</sup>]

---

### **Kontakt:**

Steinbeis Transferzentrum  
Neue Technologien in der Verkehrstechnik  
Prittwitzstr. 10  
89075 Ulm  
Tel.: 07325 3306  
[www.stz-verkehr.de](http://www.stz-verkehr.de)

---

### **Veröffentlichungen**

[15] Willmerding, G.:

Fatigue calculation of dynamic loaded structures using winLIFE; Vortrag auf der MSC/Tagung in Malta September 1997.

[17] Willmerding, G.:

Lebensdauerberechnung einer dynamisch belasteten Kupplung, Vortrag auf der MSC/Anwenderkonferenz am 18. und 19. Juni 1998 im Kloster Andechs, Herausgeber Mac Neal Schwendler Corporation, München

[19] Willmerding G.:

Vorhersage der Lebensdauer dynamisch belasteter Bauteile durch Kombination von Lebensdauerberechnung mit Finite Element Methode, Vortrag Nr. 14 auf der Tagung Fahrwerk-Tech 99 Adaptive Fahrwerksysteme,

4-5. März, München, Tagungsunterlagen TÜV-Akademie München.

[20] Willmerding, G:

Lebensdauerberechnung dynamisch belasteter Bauteile für den multiaxialen Fall in Kombination mit Mehrkörperdynamik und Finite Element Methode, Vortrag auf der MSC/Anwenderkonferenz am 21. und 22. Juni 1999 in Weimar, Herausgeber Mac Neal Schwendler Corporation, München

[22] Willmerding, G; Häckh, J; Berthold, A: Driving Cycle, Load and Fatigue Life Predictions based on measured Route Data, Vortrag auf der ATT-Tagung in Barcelona 2001, SAE-Paper 01ATT120

[23] Häckh, J.; Willmerding, G.; Kley, M.; Binz, H.; Körner, T.: Rechnerische Lebensdauerabschätzung von Getriebegehäusen unter Einbeziehung realer multiaxialer Belastungen, DVM-Tagung Fulda vom 5. bis 6.6.2002, VDI-Berichte N2. 1689, 2002 Seite 303 - 317

[24] Körner, T.; Depping, H.; Häckh, J.; Willmerding, G.; Klos, W.: Rechnerische Lebensdauerabschätzung unter Berücksichtigung realer Belastungskollektive für die Hauptwelle eines Nutzfahrzeuggetriebes, DVM-Tagung Fulda vom 5. bis 6.6. 2002, VDI-Berichte N2. 1689, 2002 Seite 275 - 285

[25] Körner, T.; Depping, H.; Häckh, J.; Willmerding, G.: Fatigue Life Prognosis for Transmissions based on critical Component Spectrum, World Automotive Congress FISITA 2002, Helsinki, Paper Nr. F02V091

[26] Willmerding, G; Häckh, J; Schnödewind, K: Fatigue Calculation Using winLIFE, NAFEMS-Tagung Wiesbaden 2000.

[29] Häckh, J.;Klos, W.; Willmerding, G.: Bestimmung der Lastkollektive von Nutzfahrzeugen durch Kombination von Messung und Simulation, Vortrag auf der Tagung „Simulation von Fahrzeugantrieben, Augsburg 1.3.2005 bis 2.3. 2005