

Über LDA+

Funktionalität

Mit LDA+ können Lebensdauerberechnungen durchgeführt und Experimente komfortabel geplant und ausgewertet werden.

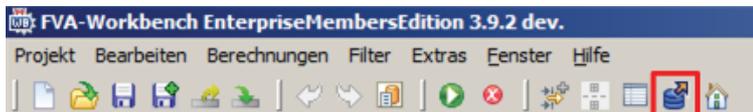
Eine besondere Stärke liegt dabei bei der Aufbereitung von Lastdaten. LDA+ kann Zeitreihen auf vielfältige Art und Weise in Matrizen und Kollektive überführen. Die in LDA+ erstellten Kollektive können in den FVA-Programmen STplus und WELLNESS weiter verarbeitet werden.

LDA+ ist in die FVA-Datenbanken der FVA-Workbench integriert und dabei in fünf Module gegliedert:

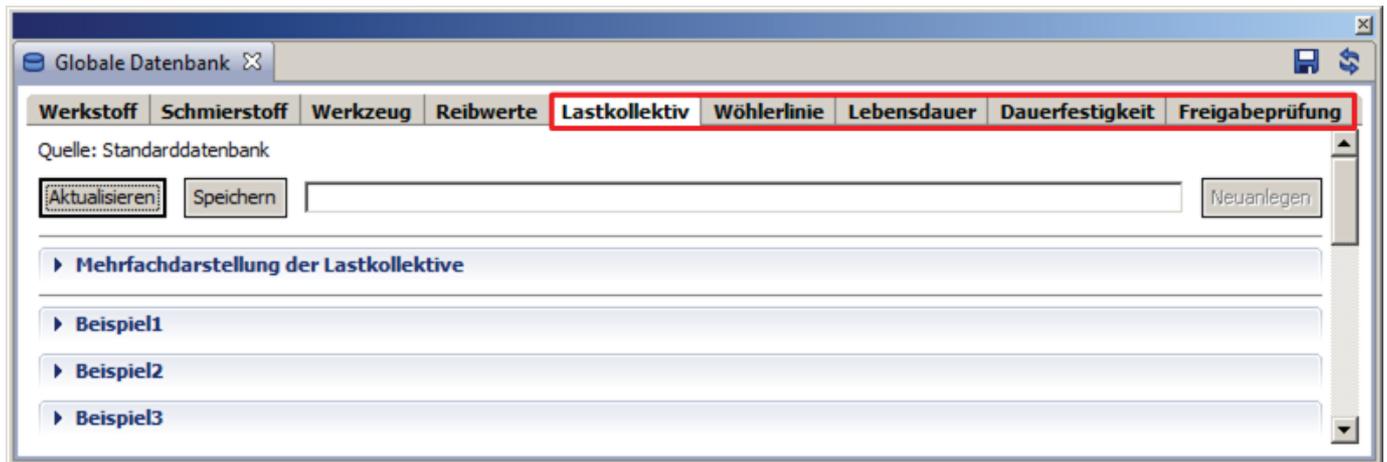
- Lastkollektiv
- Wöhlerlinie
- Dauerfestigkeit
- Lebensdauer
- Freigabepfung

Öffnen von LDA+

LDA+ befindet sich in den FVA-Datenbanken der FVA-Workbench. Klicken Sie zum Öffnen von LDA+ auf das Symbol der FVA-Datenbanken. Ggf. müssen Sie vorher in ein neues Projekt in der FVA-Workbench anlegen.



Sie erhalten das Fenster der FVA-Datenbanken mit den fünf LDA+-Modulen.



Arbeitsfluss in LDA+

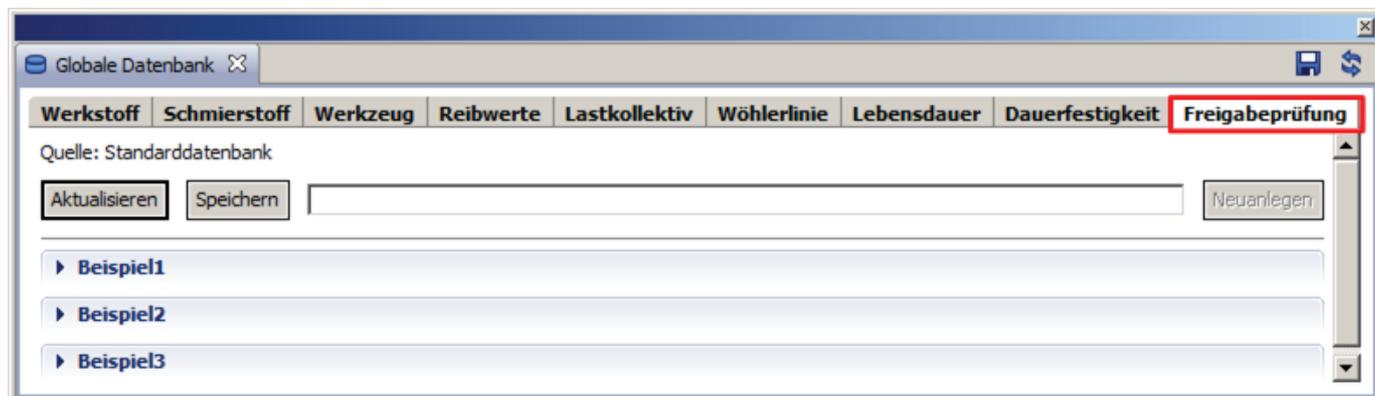
Das prinzipielle Vorgehen

Der Arbeitsfluss ist in allen LDA+-Modulen identisch und gliedert sich in die folgenden vier Schritte:

- [Modul auswählen \(z.B. Freigabeprüfung\)](#)
- [Datensatz anlegen](#)
- [Eingabedaten vornehmen und Berechnung durchführen](#)
- [Berechnungsergebnisse interpretieren](#)

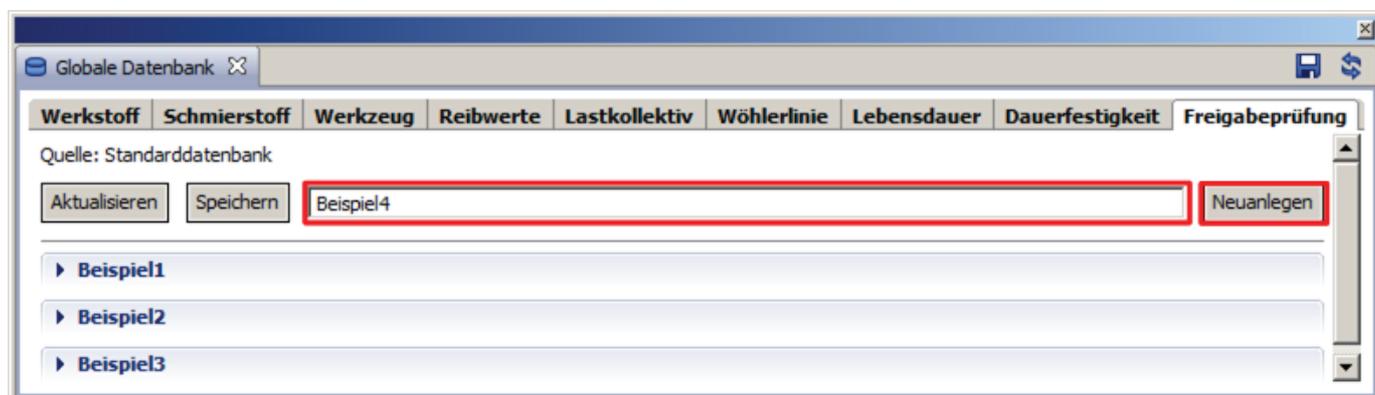
Auswählen eines Moduls in LDA+

Das gewünschte Berechnungsmodul lässt sich durch Klicken auf die entsprechende Registerkarte in den FVA-Datenbanken öffnen; im dargestellten Beispiel das Modul "Freigabeprüfung".

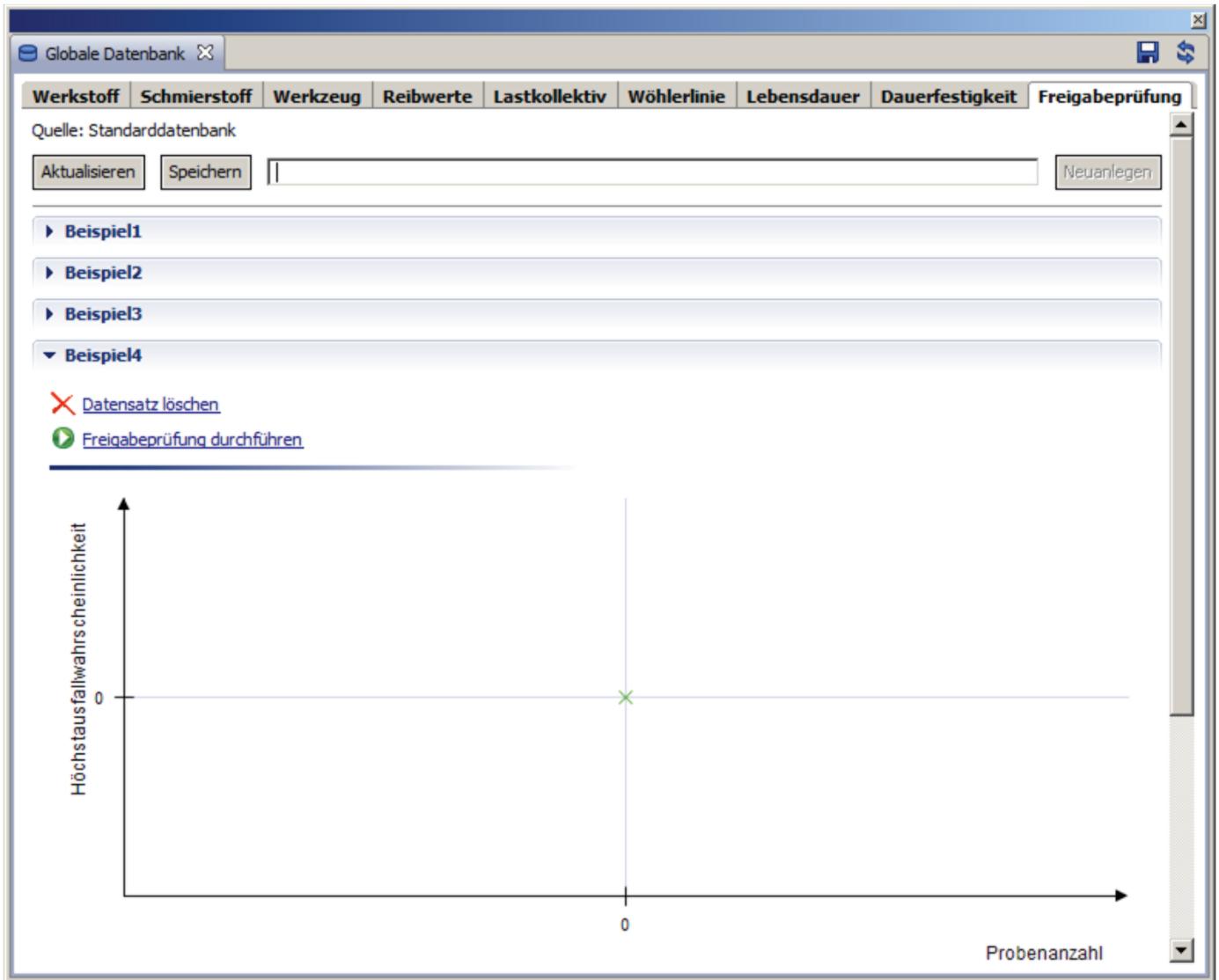


Anlegen eines Datensatzes

Zum Anlegen eines neuen Datensatzes geben Sie den gewünschten Datensatznamen ein und bestätigen Sie Ihre Eingabe mit Enter oder durch einen Klick auf Neuanlegen.

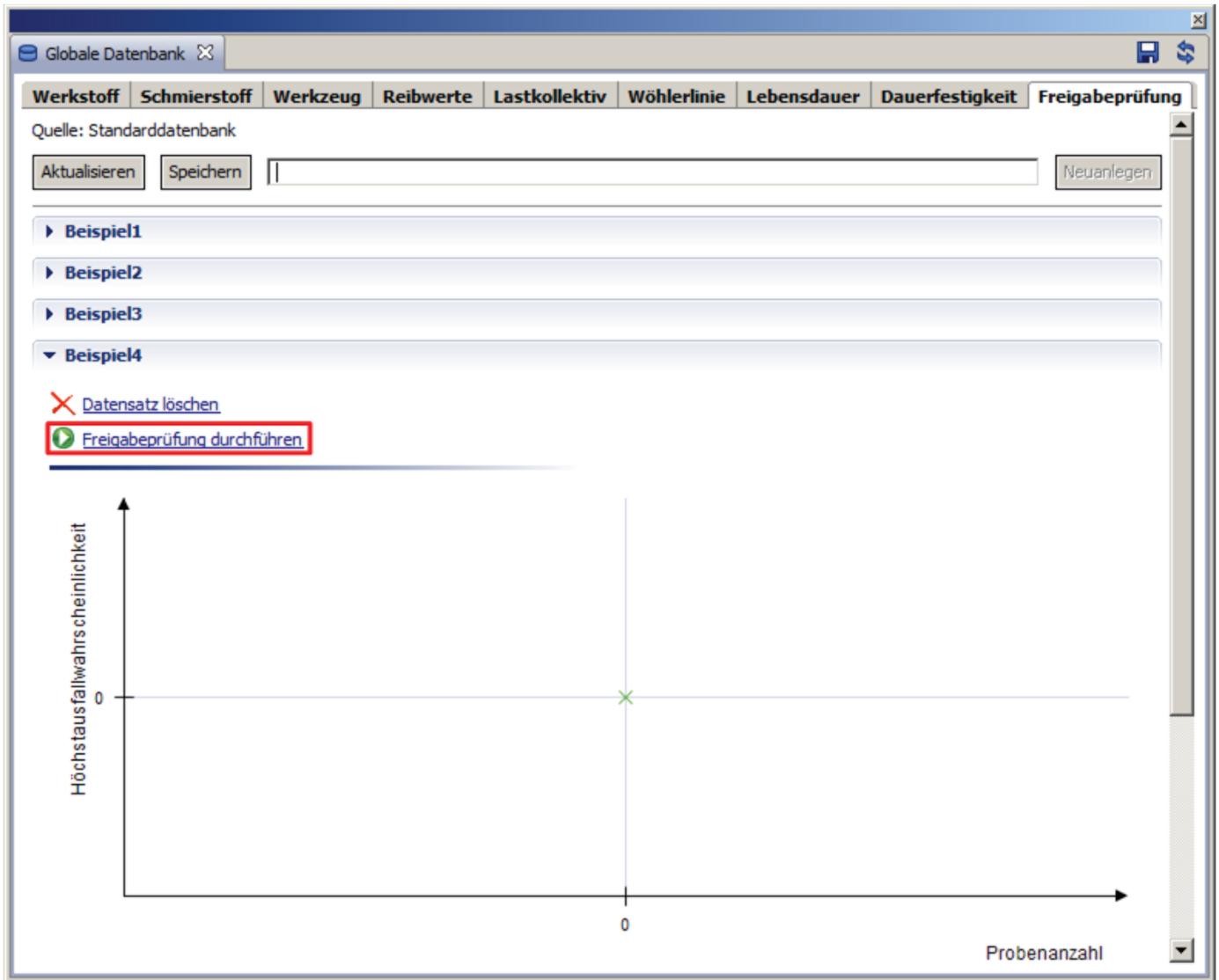


Sie erhalten die dargestellte Ansicht.



Eingabedaten vornehmen und Berechnung durchführen

Durch Klicken auf den grünen Play-Button wird das Eingabefenster für den Datensatz geöffnet. In den Modulen Lastkollektiv, Wöhlerlinie und Dauerfestigkeit muss nach Klicken auf den Play-Button die gewünschte Berechnungsroutine ausgewählt werden, bevor mit der Dateneingabe begonnen werden kann.



Im Eingabefenster werden die jeweiligen Parameter und Optionen der Berechnungsroutine eingegeben bzw. ausgewählt. Die Berechnung wird durch einen Klick auf "Fertigstellen" bzw. "Weiter" gestartet.

Freigabepfung
Berechnung einer Freigabepfung mit wenigen Proben.

Unterstellte Verteilungsfunktion
 Normalverteilung
 log-Normalverteilung
 Weibullverteilung

Erhöhungsrchtung
 Lastrichtung
 Lebensdauerrihtung

Vertrauenswahrscheinlichkeit: 0.9

Standardabweichung für Normalverteilung: 10

Standardabweichung für log-Normalverteilung: 0.04

Weibullformparameter: 25

Berechnete Größe
 Erhöhungsfaktor
 Erhöhungsdifferenz
 Probenanzahl
 Höchstauffallwahrscheinlichkeit
 Anzahl der Brüche nach Prüfung

Erhöhungsfaktor: 1.4

Erhöhungsdifferenz: 20

Probenanzahl: 5

Höchstauffallwahrscheinlichkeit: 0.361

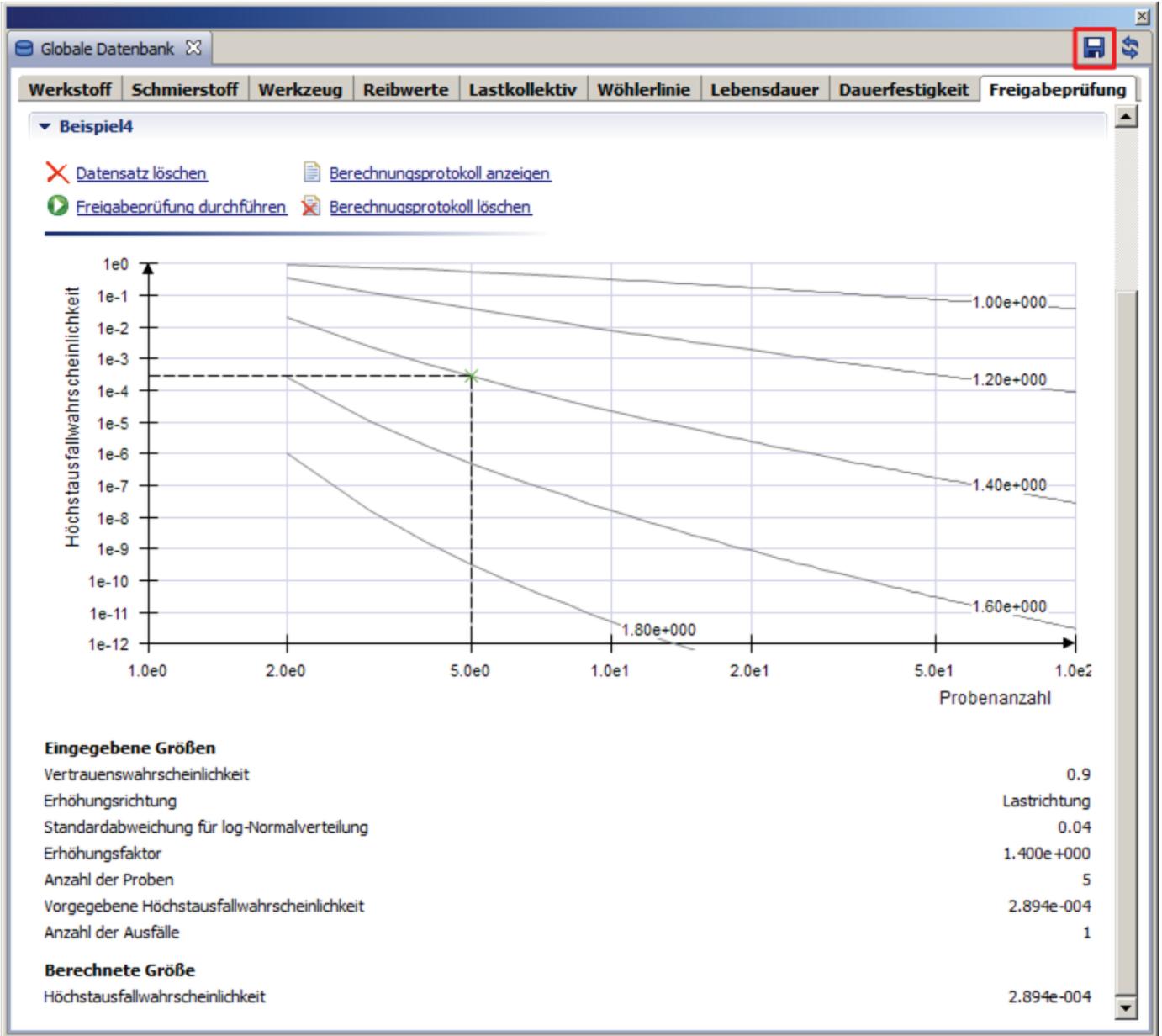
Anzahl der Ausfälle: 1

Berechnungsprotokoll erstellen

?

Berechnungsergebnisse interpretieren

Die Ergebnisfenster in LDA+ gliedern sich in eine grafische Auswertung und eine Auswertung mit Zahlen. Um die Berechnungsergebnisse am Datensatz zu speichern, klicken Sie bitte auf das Diskettensymbol.



Berechnungsprotokolle in LDA+

Verfügbarkeit von Berechnungsprotokollen

Für nahezu alle Berechnungsroutinen in LDA+ können Berechnungsprotokolle im HTML-Format erstellt werden. Die Protokolle werden am Datensatz gespeichert. Sie können nach Öffnen des Datensatzes angezeigt oder gelöscht werden.

Nachfolgend werden die folgenden Punkte erläutert:

- [Berechnungsprotokoll erstellen](#)
- [Berechnungsprotokoll anzeigen](#)
- [Berechnungsprotokoll löschen](#)
- [Berechnungsprotokoll drucken](#)

Berechnungsprotokoll erstellen

Die Erstellung von Berechnungsprotokollen ist in allen Berechnungsroutinen identisch. Sie erfolgt durch Setzen des Hakens Berechnungsprotokoll erstellen im Eingabefenster der jeweiligen Berechnungsroutine.

Freigabebprüfung
Berechnung einer Freigabebprüfung mit wenigen Proben.

Unterstellte Verteilungsfunktion
 Normalverteilung
 log-Normalverteilung
 Weibullverteilung

Erhöhungsrichtung
 Lastrichtung
 Lebensdauerichtung

Vertrauenswahrscheinlichkeit: 0.9
Standardabweichung für Normalverteilung: 10
Standardabweichung für log-Normalverteilung: 0.04
Weibullformparameter: 25

Berechnete Größe
 Erhöhungsfaktor
 Erhöhungsdifferenz
 Probenanzahl
 Höchstausfallwahrscheinlichkeit
 Anzahl der Brüche nach Prüfung

Erhöhungsfaktor: 1.4
Erhöhungsdifferenz: 20
Probenanzahl: 5
Höchstausfallwahrscheinlichkeit: 0.361
Anzahl der Ausfälle: 1

Berechnungsprotokoll erstellen

Fertigstellen Abbrechen

Das erstellte Berechnungsprotokoll wird nach der Berechnung automatisch in der HTML-Ausgabe der FVA-Workbench angezeigt.

Berechnungsprotokoll anzeigen

Nach der Berechnung wird bei Erstellung eines Berechnungsprotokolls automatisch die HTML-Ausgabe der FVA-Workbench geöffnet und das Berechnungsprotokoll angezeigt.

Wird ein Datensatz mit angehängtem Berechnungsprotokoll geöffnet, dann kann das Berechnungsprotokoll durch einen Klick auf Berechnungsprotokoll anzeigen angezeigt werden.

FVA-Workbench EnterpriseMembersEdition 3.9.2 dev.

Projekt: Bearbeiten Berechnungen Filter Extras Fenster Hilfe

Globale Datenbank

Reibwerte Lastkollektiv Wohlerlinie Lebensdauer Dauerfestigkeit Freigabepfung »3

Quelle: Standarddatenbank

Aktualisieren Speichern Neuanlegen

Beispiel1
Beispiel2
Beispiel3
Beispiel4

Datensatz löschen Berechnungsprotokoll anzeigen
Freigabepfung durchführen Berechnungsprotokoll löschen

Eingegebene Größen

Vertrauenswahrscheinlichkeit	0.9
Erhöhungsrichtung	Lastrichtung
Standardabweichung für log-Normalverteilung	0.04
Erhöhungsfaktor	1.400e+000
Anzahl der Proben	5
Vorgegebene Höchstausfallwahrscheinlichkeit	2.894e-004
Anzahl der Ausfälle	1

Berechnete Größe

Höchstausfallwahrscheinlichkeit	2.894e-004
---------------------------------	------------

Textausgabe Grafikausgabe LRZView HTML-Browser HTML-Ausgabe

FVA
Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.

Programmname > LDA+ 64-Bit
Version > 5.03.08.01_Build20140207
Freigabe > TT.MM.JJJJ

Berechnung > Berechnung einer Freigabepfung mit wenigen Proben
Erstellt am > 12.02.2014 12:17:41 Uhr

Eingegebene Größen:

Erhöhungsrichtung	>	Lastrichtung
Verteilungsfunktion	>	log-Normalverteilung
log-Standardabweichung	>	0.4000E-01
Vertrauenswahrscheinlichkeit	>	0.9000
Probenanzahl	>	5
Anzahl der Ausfälle	>	1
Erhöhungsfaktor	>	0.1400E+01

Konsole Undo/Redo History Inhalt leeren

```

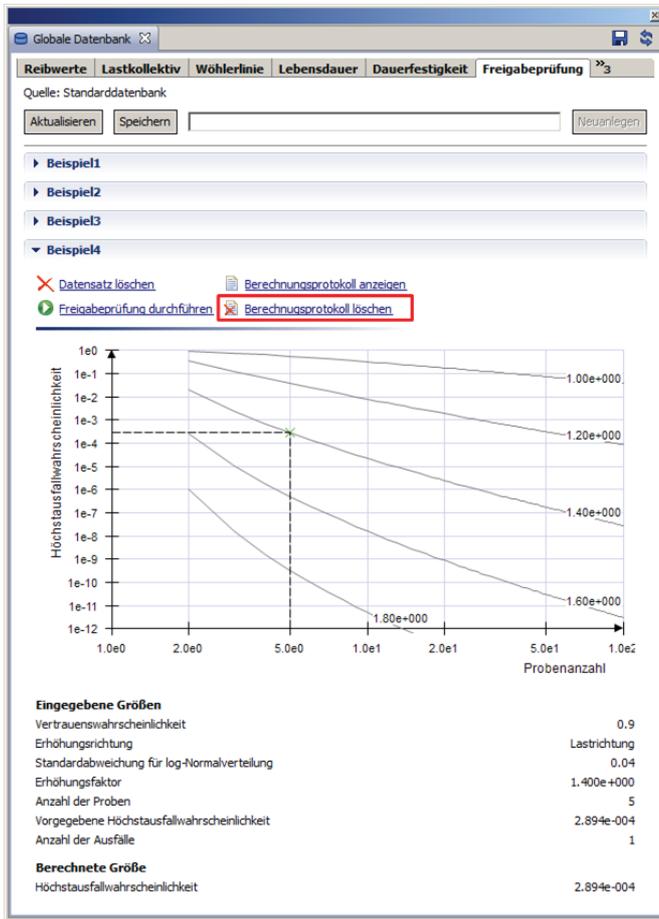
Verteilungsfunktion.....: log-Normalverteilung
Vertrauenswahrscheinlichkeit.: 0.90
log-Standardabweichung.....: 0.40E-01
Erhöhungsfaktor.....: 0.14E+01

```

Projektdatei Projektname RDAT

Berechnungsprotokoll löschen

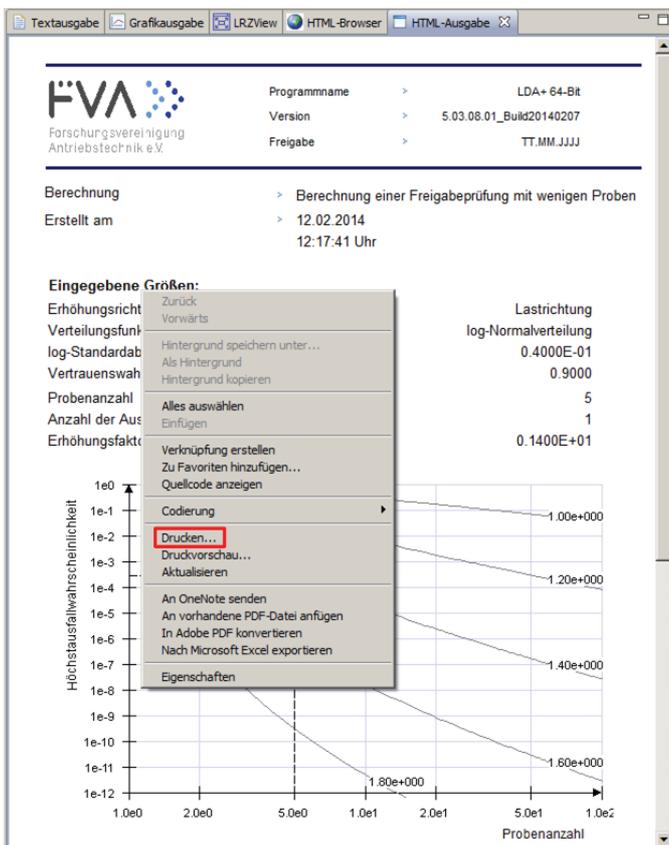
Die Berechnungsprotokolle werden den Datensätzen angehängt. Durch Klicken auf Berechnungsprotokoll löschen wird das Berechnungsprotokoll vom Datensatz entfernt.



Berechnungsprotokoll drucken

Zum Drucken eines Berechnungsprotokolls muss dieses zunächst geöffnet werden. Anschließend wird durch Klicken mit der rechten Maustaste auf einem Bereich des Protokolls ein Kontextmenü geöffnet. Im Kontextmenü wird Drucken ausgewählt.

Die Berechnungsprotokolle können auf Papier im Format A4 ausgegeben werden.



Tooltips in LDA+

Verfügbarkeit von Tooltips

Für nahezu alle Eingabefelder in LDA+ können Kurzhilfen, sogenannte Tooltips, abgerufen werden. Ein Tooltip erklärt das ausgewählte Eingabefeld und gibt Hinweise auf die einzutragenden Größen und Größenordnungen.

Nachfolgend werden die folgenden Punkte erläutert:

- [Aufrufen eines Tooltips](#)
- [Schließen eines Tooltips](#)

Tooltip aufrufen

Wenn Sie Hilfe zur Auswahl oder Eingabe im Eingabedialog einer Berechnungsroutine benötigen, empfiehlt sich der Aufruf von Tooltips. Klicken Sie dazu das entsprechende Eingabefeld, den entsprechenden Radiobutton bzw. die entsprechende Checkbox an und drücken Sie dann auf der Tastatur F1 oder klicken Sie alternativ auf das Fragezeichensymbol am unteren, linken Ende des Eingabedialogs.

Freigabepfung
Berechnung einer Freigabepfung mit wenigen Proben.

Unterstellte Verteilungsfunktion

- Normalverteilung
- log-Normalverteilung
- Weibullverteilung

Erhöhungsrichtung

- Lastrichtung
- Lebensdauererichtung

Vertrauenswahrscheinlichkeit:

Standardabweichung für Normalverteilung:

Standardabweichung für log-Normalverteilung:

Weibullformparameter:

Berechnete Größe

- Erhöhungsfaktor
- Erhöhungsdifferenz
- Probenanzahl
- Höchstausfallwahrscheinlichkeit
- Anzahl der Brüche nach Prüfung

Erhöhungsfaktor:

Erhöhungsdifferenz:

Probenanzahl:

Höchstausfallwahrscheinlichkeit:

Anzahl der Ausfälle:

Berechnungsprotokoll erstellen

Der Tooltip wird rechts neben dem Eingabedialog angezeigt.

Freigabeproofung

Berechnung einer Freigabeproofung mit wenigen Proben.

Unterstellte Verteilungsfunktion

Erh6hungsrictung

Vertrauenswahrscheinlichkeit: 0.9

Standardabweichung f6ur Normalverteilung: 10

Standardabweichung f6ur log-Normalverteilung: 0.04

Weibullformparameter: 25

Berechnete Gr66e

Erh6hungsfaktor

Erh6hungsdifferenz: 20

Probenanzahl: 5

H6chstausfallwahrscheinlichkeit: 0.361

Anzahl der Ausf6alle: 1

Berechnungsprotokoll erstellen

Fertigstellen Abbrechen

Freigabeproofung - Standardabweichung f6ur log-Normalverteilung

Wurde bei der unterstellten Verteilungsfunktion die log-Normalverteilung ausgew6hlt, dann muss ihre logarithmische Standardabweichung angegeben werden. Unter der logarithmischen Standardabweichung wird die Standardabweichung der logarithmierten Merkmalswerte verstanden. Die logarithmische Standardabweichung ist ein Ma6 f6ur die Streuung der Festigkeitsseite.

WICHTIG: Die anzugebende logarithmische Standardabweichung gilt f6ur die Festigkeitsseite und muss passend zur ausgew6hlten Erh6hungsrichtung sein. Im allgemeinen existieren unterschiedliche Streuungen f6ur Last- und Lebensdauerrichtung. Die logarithmische Standardabweichung ist im Zweifelsfall konservativ anzunehmen.

Typische logarithmische Standardabweichungen sind:

- Lastrichtung: 0,01 bis 0,09
- Lebensdauerrichtung: 0,09 bis 0,30

Die logarithmische Standardabweichung ist dimensionslos.

Tooltip schließen

Zum Schließen eines Tooltips klicken Sie doppelt auf das Fragezeichensymbol am unteren, linken Ende des Eingabedialogs.

Freigabeproofung

Berechnung einer Freigabeproofung mit wenigen Proben.

Unterstellte Verteilungsfunktion

Erh6hungsrictung

Vertrauenswahrscheinlichkeit: 0.9

Standardabweichung f6ur Normalverteilung: 10

Standardabweichung f6ur log-Normalverteilung: 0.04

Weibullformparameter: 25

Berechnete Gr66e

Erh6hungsfaktor: 1.4

Erh6hungsdifferenz: 20

Probenanzahl: 5

H6chstausfallwahrscheinlichkeit: 0.361

Anzahl der Ausf6alle: 1

Berechnungsprotokoll erstellen

Freigabeproofung - Standardabweichung f6ur log-Normalverteilung

Wurde bei der unterstellten Verteilungsfunktion die log-Normalverteilung ausgew6hlt, dann muss ihre logarithmische Standardabweichung angegeben werden. Unter der logarithmischen Standardabweichung wird die Standardabweichung der logarithmierten Merkmalswerte verstanden. Die logarithmische Standardabweichung ist ein Ma6 f6ur die Streuung der Festigkeitsseite.

WICHTIG: Die anzugebende logarithmische Standardabweichung gilt f6ur die Festigkeitsseite und muss passend zur ausgew6hlten Erh6hungsrichtung sein. Im allgemeinen existieren unterschiedliche Streuungen f6ur Last- und Lebensdauerriichtung. Die logarithmische Standardabweichung ist im Zweifelsfall konservativ anzunehmen.

Typische logarithmische Standardabweichungen sind:

- Lastrichtung: 0,01 bis 0,09
- Lebensdauerriichtung: 0,09 bis 0,30

Die logarithmische Standardabweichung ist dimensionslos.

Modul Lastkollektiv

Modulbeschreibung

Lastkollektive stellen den Zusammenhang zwischen schädigungsrelevanten Größen (z.B. Amplituden) und den zugehörigen Häufigkeiten dar. Mit dem Modul Lastkollektiv lassen sich verschiedene Arten von Kollektiven erstellen und bearbeiten:

- Einparametrische Kollektive:
Das Kollektiv enthält neben der Häufigkeit nur eine schädigungsrelevante Größe, z.B. das Drehmoment.
- Zweiparametrische Kollektive:
Das Kollektiv enthält neben der Häufigkeit zwei schädigungsrelevante Größen, z.B. Drehmoment und Drehzahl.
- Mehrparametrische Kollektive:
Das Kollektiv enthält neben der Häufigkeit mehr als eine schädigungsrelevante Größe, z.B. Drehmoment, Drehzahl und Temperatur.
- Rainflowmatrizen:
Rainflowmatrizen enthalten den Zusammenhang zwischen Startklasse, Zielklasse und zugehöriger Stufenhäufigkeit.

Im Modul Lastkollektiv bestehen die folgenden Möglichkeiten zur Erstellung und zur Bearbeitung von Lastkollektiven:

- Anlegen von Rainflowmatrizen oder Lastkollektiven:
 - [Handeingabe von Lastkollektiven](#)
 - [Durch einparametrische Verweildauerzählung](#)
 - [Berechnung durch Rainflowklassierung einer Lastzeitreihe](#)
 - [Berechnung durch Amplitudentransformation](#)
 - [Berechnung eines synthetischen Kollektivs](#)
 - [Berechnung eines Standardkollektivs](#)
 - [Mehrparametrische Verweildauerzählung](#)
- Bearbeiten von Rainflowmatrizen oder Lastkollektiven:
 - [Extrapolation einer Rainflowmatrix](#)
 - [Skalierung, Extrapolation und Superposition von Kollektiven](#)
 - [Omission / Truncation](#)
 - [Reduktion der Stufenanzahl](#)
 - [Vergleichsspannung einer Zeitreihe berechnen](#)
 - [Stapelverarbeitung von Lastkollektiven](#)
- Anlegen von STplus Kollektiven:
 - [Berechnung durch zweiparametrische Verweildauerzählung](#)
 - [Klassenreduzierung zweiparametrischer Kollektive](#)

Die angelegten einparametrischen Kollektiven können in einer [Mehrfachdarstellung](#) visualisiert und untereinander komfortabel verglichen werden.

Handeingabe von Lastkollektiven

Berechnungsumfang

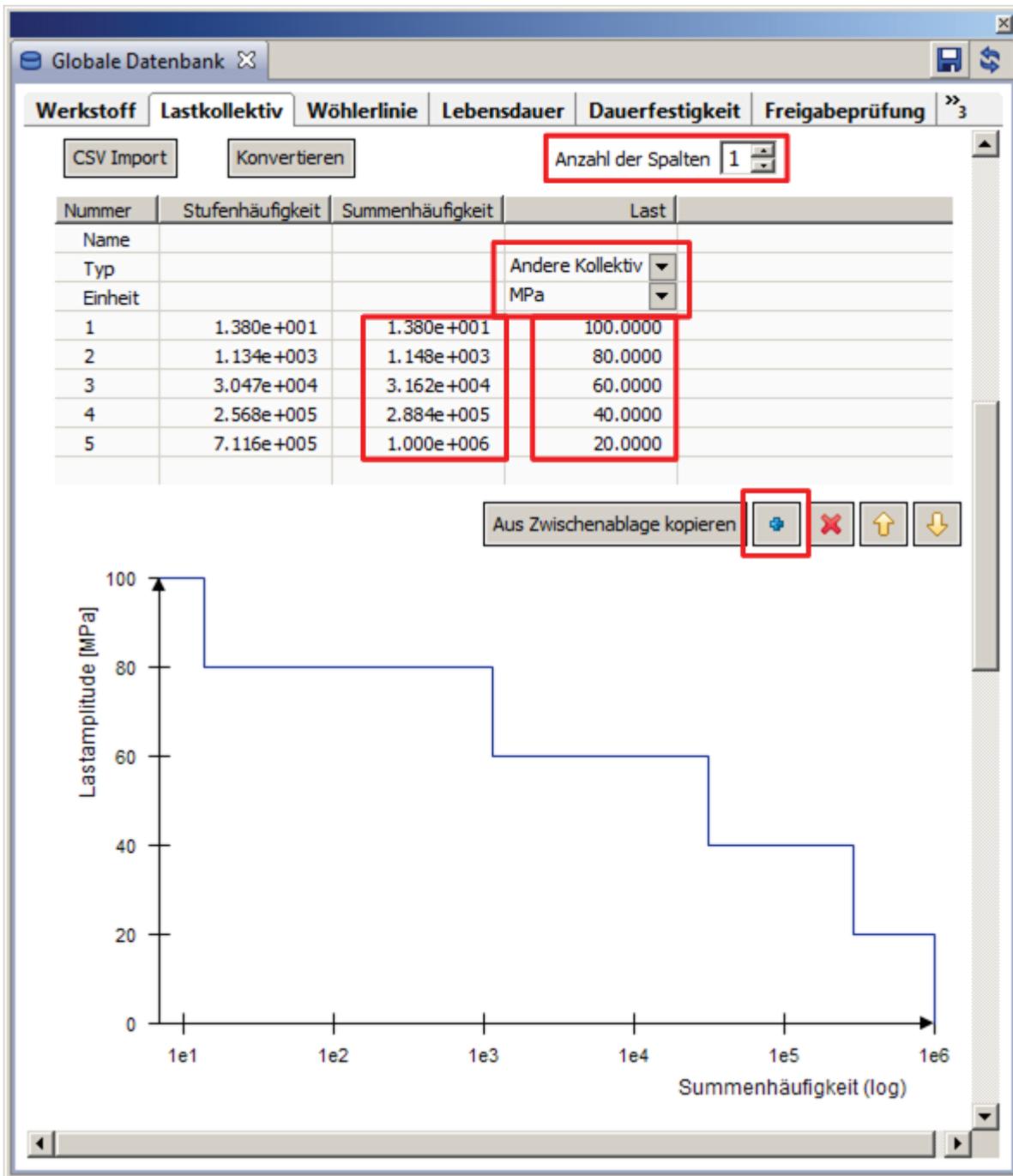
Neben verschiedenen Berechnungsroutinen besteht auch die Möglichkeit Lastkollektive von Hand vorzugeben. Nachfolgend wird das Vorgehen anhand eines [Anwendungsbeispiels](#) gezeigt.

Beispiel

Das nachstehend dargestellte Lastkollektiv sei bekannt.

i	Lastamplitude in MPa	Summenhäufigkeit
1	100	1,380e1
2	80	1,148e3
3	60	3,162e4
4	40	2,884e5
5	20	1,000e6

Für die Handeingabe des Lastkollektivs ist das Anlegen eines neuen Datensatzes erforderlich. Wählen Sie anschließend die Anzahl der Spalten aus (hier 1, da eine schädigungsrelevante Spalte). Durch mehrmaliges Betätigen der Plusschaltfläche am unteren Ende des Datensatzes können Sie dem Kollektiv neue Zeilen hinzufügen, hier fünf. Wählen Sie als Kollektivtyp "Andere Kollektivtypen" und als Einheit "MPa" aus. Tragen Sie abschließend die Wertepaare aus Amplitude und Summenhäufigkeit in die entsprechenden Spalten ein. Die zugehörigen Stufenhäufigkeiten werden automatisch berechnet.



Einparametrische Verweildauerzählung

Berechnungsumfang

Die einparametrische Verweildauerzählung ist eine Klassierfunktion. Sie überführt Last-Drehzahl-Zeitreihen in einspaltige Kollektive. Das Lastsignal wird dazu in Klassen eingeteilt. Zu jedem Abtastpunkt kann die zugehörige Klasse der Last und dessen Verweildauer in der Klasse bestimmt werden. Über das zugehörige Drehzahlensignal wird die Verweildauer in Schwingenspiele umgerechnet.

Die Verweildauerzählung kann für positive oder negative Lasten ausgeführt werden.

Als Dateiformat für den Zeitverlauf sind DRESP-ZVL-Dateien im ASCII-Format vorgeschrieben.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Dateiname](#)
- [Einheit](#)
- [Spalte der Drehzahl](#)
- [Spalte der Last](#)
- [Klassenanzahl](#)
- [Klassenobergrenze](#)
- [Klassenuntergrenze](#)
- [Positive oder negative Lasten zählen](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Dateiname

Die einparametrische Verweildauerzählung liest Last-Drehzahl-Zeitreihen ein, die im ZVL-Format vorliegen müssen (ASCII-Datei). Das ZVL-Format wird durch das FVA-Programm DRESP vorgeschrieben. Die eingelesene ZVL-Datei muss eine Zeitspalte und mindestens eine Last- und eine Drehzahlspalte besitzen.

Die ZVL-Datei muss dabei nicht aus einer Simulation mit DRESP stammen, sondern kann auch durch eine Messung generiert werden.

Unter "Dateiname" sind Pfad und Dateiname der einzulesenden ZVL-Datei anzugeben.

Einheit

Die Lastspalte der ZVL-Datei kann sowohl ein Drehmoment, eine Spannung oder eine Kraft sein. Die zugehörige Einheit der Lastspalte muss hier ausgewählt werden.

Spalte der Drehzahl

LDA+ berechnet die Verweildauern um in Häufigkeiten von Schwingenspielen. Dazu ist die Spalte der Drehzahl in der ZVL-Datei anzugeben. Zur Auswahl der Drehzahlspalte steht ein komfortables Menü zur Verfügung. LDA+ liest aus dem Dateikopf der ZVL-Datei die vorhandenen Drehzahlspalten aus und bietet sie dem Anwender zur

Auswahl an.

Spalte der Last

Die zu klassierende Lastgröße aus der ZVL-Datei ist auszuwählen. Dabei können Spannungen, Kräfte oder Momente verwendet werden. Zur Auswahl der Lastspalte steht ein komfortables Menü zur Verfügung. LDA+ liest aus dem Dateikopf der ZVL-Datei die vorhandenen Lastspalten aus und bietet sie dem Anwender zur Auswahl an.

Klassenanzahl

Die Lastzeitreihe wird zwischen den vorgegebenen Klassengrenzen in eine endliche Anzahl an Klassen eingeteilt. Je größer die Klassenanzahl ist, desto feiner wird das Kollektiv gestuft. Große Klassenanzahlen führen zu hohen Rechenzeiten und sind aufgrund der Mess- oder Simulationsgenauigkeit nicht sinnvoll.

Eine typische Klassenanzahl sind 50 Klassen.

Klassenobergrenze

Die Klassenobergrenze legt die physikalische Obergrenze der größten Klasse fest. Sie sollte immer ein Stück größer sein als der Maximalwert des zu klassierenden Signals.

Die größte zulässige Klassenobergrenze bei der [Zählung negativer Lasten](#) ist 0.

Die Klassengrenzen können auch automatisch vorgeschlagen werden. Dazu durchsucht der Algorithmus die komplette [ZVL-Datei](#).

Klassenuntergrenze

Die Klassenuntergrenze legt die physikalische Untergrenze der kleinsten Klasse fest. Sie sollte immer ein Stück kleiner sein als der Minimalwert des zu klassierenden Signals.

Die kleinste zulässige Klassenuntergrenze bei der [Zählung positiver Lasten](#) ist 0.

Die Klassengrenzen können auch automatisch vorgeschlagen werden. Dazu durchsucht der Algorithmus die komplette [ZVL-Datei](#).

Positive oder negative Lasten zählen

Die einparametrische Verweildauerzählung kann für positive Lasten oder für negative Lasten ausgeführt werden. Jedoch in einer Operation nicht für beides gleichzeitig.

Wird die Option "positive Lasten zählen" gewählt, werden alle Einträge der [ZVL-Datei](#) mit negativen Lasten für die Zählung ignoriert. Für die Zählung mit positiven Lasten sind nur Klassengrenzen größer oder gleich Null zulässig.

Wird die Option "negative Lasten zählen" gewählt, werden alle Einträge der [ZVL-Datei](#) mit positiven Lasten für die Zählung ignoriert. Für die Zählung mit negativen Lasten sind nur Klassengrenzen kleiner oder gleich Null zulässig.

Beispiel

In einer Simulation wurde die nachfolgend dargestellte ZVL-Datei erstellt.

```

# Schwingungsmodell2.ZVL
# Erstellt am: 16.05.11 um: 09:30:42 von: 100
# -2 0.000000E+00
# 4 2
# 2 2
# 'Welle',
# 'Welle',
0.000000000E+00 2.300000E+00 6.000000E-01
1.000000000E+00 2.000000E+00 2.400000E+00
2.000000000E+00 4.000000E+00 2.900000E+00
3.000000000E+00 2.600000E+00 2.900000E+00
4.000000000E+00 6.000000E-01 2.900000E+00
5.000000000E+00 2.000000E+00 2.900000E+00
6.000000000E+00 2.300000E+00 2.000000E+00

```

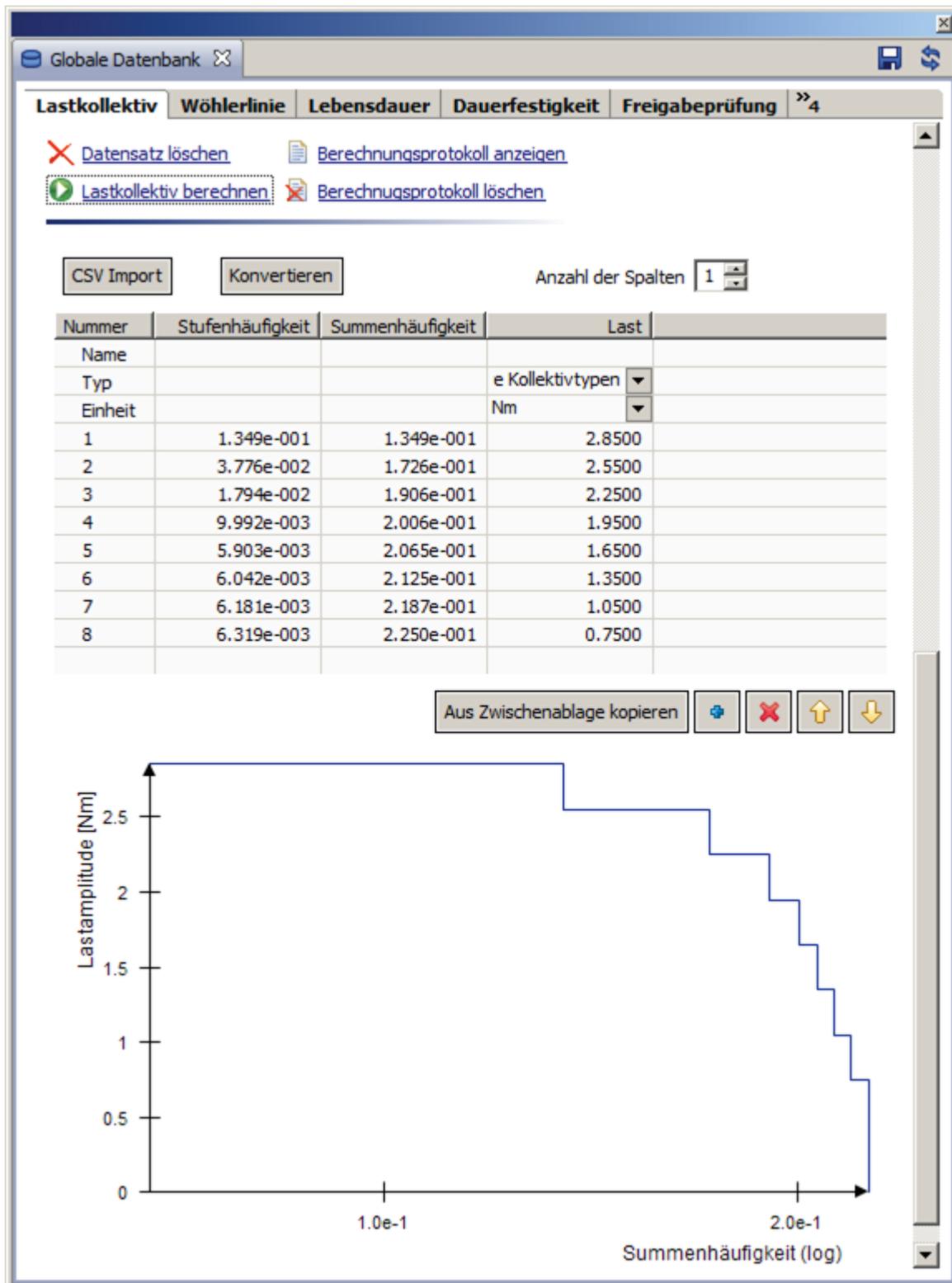
Die Beispiel-ZVL-Datei besteht aus einer Zeitspalte (1. Spalte), einer Drehzahlspalte (2. Spalte) und einer Drehmomentspalte (3. Spalte). Erstellen Sie eine neue Textdatei mit einem Editor und kopieren Sie den oben dargestellten Inhalt in die Textdatei. Speichern Sie anschließend die Datei und ändern Sie nachträglich die Dateiendung von "*.txt" in "*.ZVL."

Die Zählung soll mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Einheit: Nm
- Spalte der Drehzahl: Drehzahl (PHI) (2) Welle
- Spalte der Last: Torsionsmoment (PHI) (2) Welle
- Klassenanzahl: 10
- Klassenobergrenze: 3.0 Nm
- Klassenuntergrenze: 0.0 Nm
- Positive oder negative Lasten zählen: Positive Lasten zählen

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Rainflowzählung

Berechnungsumfang

Die Rainflowklassierung ist ein Verfahren zur Überführung von Beanspruchungszeitfunktionen in Rainflowmatrizen. Dabei werden geschlossene Hysteresen gezählt. Start- und Zielklasse der geschlossenen Hysterese werden zusammen mit der zugehörigen Häufigkeit in einer Matrix, die sogenannte [Rainflowmatrix](#), eingetragen.

Das Ergebnis der Rainflowzählung ist die [Rainflowmatrix](#), die in einer XML-Datei gespeichert wird.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Zeitreihe](#)
- [Einheit](#)
- [Klassenanzahl](#)
- [Klassenobergrenze](#)
- [Klassenuntergrenze](#)
- [Rückstellbreite \(absolut\)](#)
- [Residuum in der Matrix berücksichtigen](#)
- [Rainflowmatrix](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Zeitreihe

Die Rainflowklassierung klassiert Daten, die aus einer Beanspruchungszeitfunktion (=Zeitreihe) im BZF-Format stammen. Das BZF-Format ist eine ASCII-Datei, die in der ersten Spalte das Zeit-Signal und in der zweiten Spalte das Beanspruchungssignal enthält. Im Dateikopf können durch Voranstellung von #-Zeichen beliebige Kommentare eingegeben werden.

Die zu klassierende Beanspruchungszeitfunktion ist mit Dateiname und Speicherort anzugeben.

Beispiel für eine BZF-Datei:

```
#Beispiel-BZF-Datei
#1. Spalte = Zeit
#2. Spalte = Beanspruchung
1 141
2 120
3 170
4 72
```

Einheit

Die zu klassierende [Beanspruchungszeitfunktion](#) (BZF-Datei) enthält in der 2. Spalte die Last in einer beliebigen physikalischen Größe. Die Einheit der Lastspalte muss hier ausgewählt werden.

Klassenanzahl

Der [Beanspruchungszeitverlauf](#) wird in Klassen eingeteilt. Je höher die Klassenanzahl ist, desto feiner ist die Einteilung. Eine Klassenanzahl von mehr als 128 ist in der Regel aufgrund der Mess- und Simulationsgenauigkeit nicht sinnvoll und führt zu unnötig großen Rechenzeiten.

Eine typische Klassenanzahl sind 50 Klassen.

Klassenobergrenze

Die Klassenobergrenze gibt die physikalische Obergrenze der größten Klasse an. Sie sollte immer etwas größer sein, als der größte Beanspruchungswert in der [Beanspruchungszeitfunktion](#).

Die Klassengrenzen können auch automatisch vorgeschlagen werden. Das Klassengrenzen vorschlagen funktioniert derart, dass sich die Extrema der [BZF-Datei](#) in der Rainflowmatrix wiederfinden.

Klassenuntergrenze

Die Klassenuntergrenze gibt die physikalische Untergrenze der kleinsten Klasse an. Sie sollte immer etwas kleiner sein, als der kleinste Beanspruchungswert in der [Beanspruchungszeitfunktion](#).

Die Klassengrenzen können auch automatisch vorgeschlagen werden. Das Klassengrenzen vorschlagen funktioniert derart, dass sich die Extrema der [BZF-Datei](#) in der Rainflowmatrix wiederfinden.

Rückstellbreite (absolut)

Messsignale enthalten oft Rauschanteile, die bei einer ausreichend großen [Klassenanzahl](#) als Schwingspiele gewertet werden. Durch die Vorgabe einer absoluten Rückstellbreite kann definiert werden, ab wann ein "Zwischenschwinger" als Schwingspiel gewertet werden soll.

Schwingspiele, die von ihrer Schwingweite (Doppelamplitude) kleiner sind als die absolute Rückstellbreite, werden nicht mit in die [Matrix](#) aufgenommen.

Residuum in der Matrix berücksichtigen

Bei der Rainflowzählung werden geschlossene Hysteresen gezählt. Jede [Beanspruchungszeitfunktion](#) kann Anteile besitzen, die nicht zu einer Hysterese geschlossen werden (halbe Schwingspiele), das sogenannte Residuum. Durch Setzen des Hakens "Residuum in der Matrix berücksichtigen" werden die halben Schwingspiele des Residuums als ganze Schwingspiele in die [Rainflowmatrix](#) eingetragen (konservative Annahme).

Rainflowmatrix

Das Ergebnis der Rainflowzählung ist die Rainflowmatrix, die von LDA+ in Form der Start-Ziel-Vollmatrix in eine XML-Datei geschrieben wird. Dateiname und Speicherort der XML-Datei sind hier anzugeben.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachstehende BZF-Datei betrachtet.

```
# Beispiel für eine BZF
# Spalte 1: Zeit in s
# Spalte 2: zu klassierende Größe
```

1 7
2 8
3 3
4 4
5 1
6 8
7 7
8 8
9 2
10 8
11 5
12 7
13 1
14 8
15 2
16 4
17 3
18 8
19 7

Erstellen Sie eine neue Textdatei mit einem Editor und kopieren Sie den oben dargestellten Inhalt in die Textdatei. Speichern Sie anschließend die Datei und ändern Sie nachträglich die Dateiendung von "*.txt" in "*.bzf."

Die Zählung soll mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Einheit: MPa
- Klassenanzahl: 8
- Klassenobergrenze: 8,5 MPa
- Klassenuntergrenze: 0,5 MPa
- Rückstellbreite (absolut): 0 MPa
- Residuum in der Matrix berücksichtigen: ja

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung des Lastkollektivs

Rainflowklassierung

Geben Sie die benötigten Daten zur Rainflowklassierung an.

Zeitreihe: D:\Beispiel.bzf

Einheit: MPa

Klassenanzahl: 8

Klassenobergrenze: 8.5000

Klassenuntergrenze: 0.5000

Rückstellbreite (absolut): 0

Residuum in der Matrix berücksichtigen

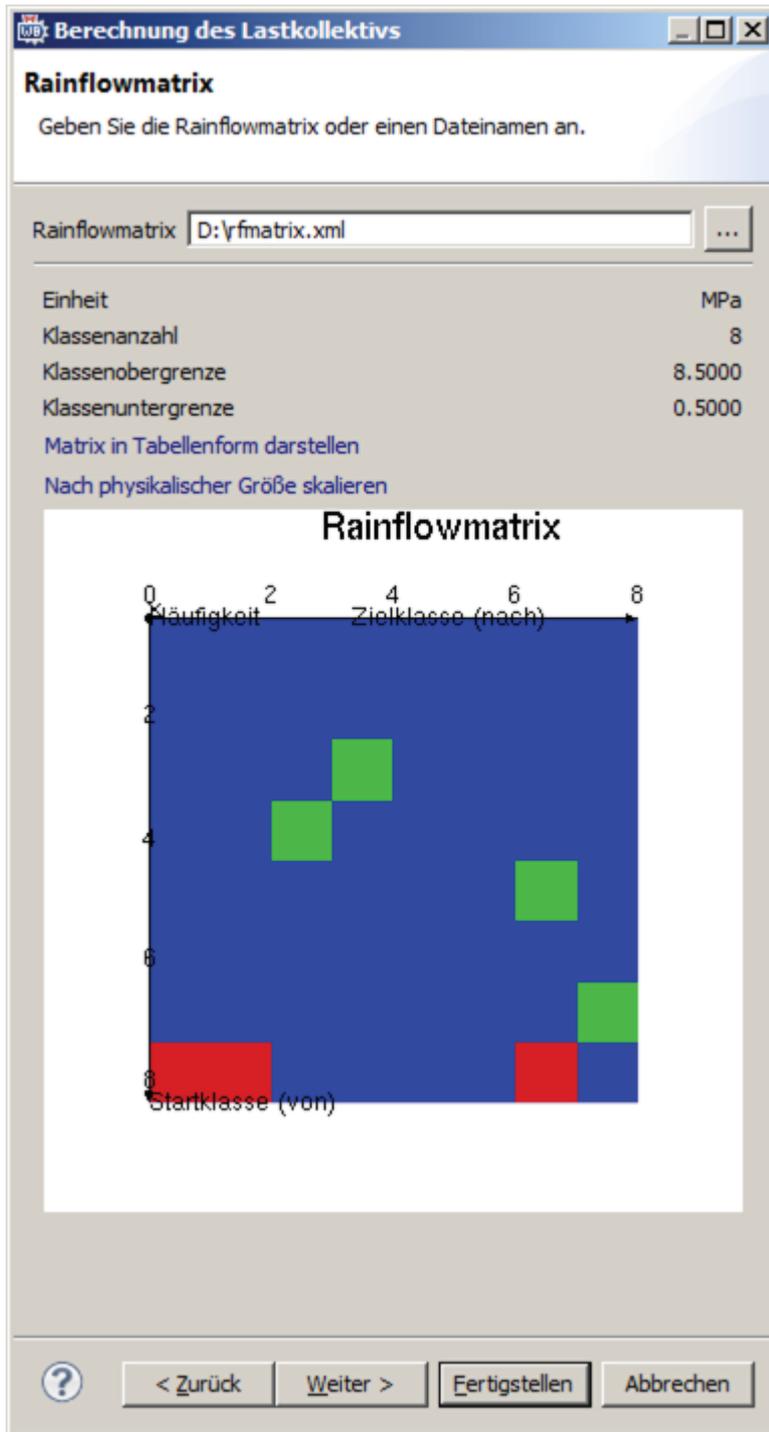
Rainflowmatrix: D:\r\matrix.xml

Berechnungsprotokoll erstellen

Klassengrenzen vorschlagen

? < Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Die grafische Darstellung der Matrix kann von Klassen in physikalische Größen umskaliert werden. Durch Drücken der Ziffern 1-5 (nicht auf dem Ziffernblock) werden Standardansichten angewählt.

Die Matrix kann mit gedrückter linker Maustaste gedreht werden.

Die Matrix wird durch Betätigung des Scrollrads gezoomt.

Die Matrix kann anstatt des 3D-Säulendiagramms auch in Form einer Tabelle angezeigt werden.

Sie können die Berechnung mit einem Klick auf "Fertigstellen" abschließen. In diesem Fall ist der Datensatz innerhalb der FVA-Workbench leer, da dieser keine Rainflowmatrizen aufnehmen kann.

Sie können durch einen alternativen Klick auf "Weiter" direkt zur [Amplitudentransformation](#) übergehen.

Amplitudentransformation

Berechnungsumfang

Mit Hilfe der Amplitudentransformation können Rainflowmatrizen in Amplitudenkollektive überführt werden. Dabei kann der Mittelspannungseinfluss berücksichtigt werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Mittelspannungen durch Amplitudentransformation gemäß FKM-Richtlinie berücksichtigen](#)
- [Spannungsverhältnis](#)
- [Normalspannungen bzw. Schubspannungen](#)
- [Mittelspannungsempfindlichkeit](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Mittelspannungen durch Amplitudentransformation gemäß FKM-Richtlinie berücksichtigen

Rainflowmatrizen enthalten zu jeder Amplitude den zugehörigen Mittelwert. Soll die Rainflowmatrix in ein Amplitudenkollektiv überführt werden, kann der Mittelspannungseinfluss berücksichtigt werden (Haigh-Diagramm). Setzen Sie dazu den entsprechenden Haken und geben Sie das Spannungsverhältnis, die Spannungsart und die Mittelspannungsempfindlichkeit an. Die Transformation erfolgt gemäß dem Haigh-Diagramm der FKM-Richtlinie.

Sollen der Rainflowmatrix nur Amplituden entnommen werden (Ergebnis der Bereichspaarzählung), darf der Haken nicht gesetzt werden.

Spannungsverhältnis

Alle Amplituden der Rainflowmatrix werden gemäß den zugehörigen Mittelwerten auf ein gemeinsames Spannungsverhältnis transformiert. Geben Sie das gewünschte Spannungsverhältnis an. Das Spannungsverhältnis muss bei einer späteren Lebensdauerrechnung mit dem der Wöhlerlinie übereinstimmen.

In der Regel beträgt das Spannungsverhältnis $R = -1$.

Normalspannungen bzw. Schubspannungen

Die Amplitudentransformation wird mittels eines Haigh-Diagramms durchgeführt. Für Schubspannungen ist das Haigh-Diagramm achsensymmetrisch zur Amplitudenachse. Dadurch werden Druck- und Zugmittelspannungen gleich bewertet.

Bei Normalspannungen liegt im Haigh-Diagramm keine Symmetrie vor, so dass Druck- und Zugmittelspannungen unterschiedlich bewertet werden.

Mittelspannungsempfindlichkeit

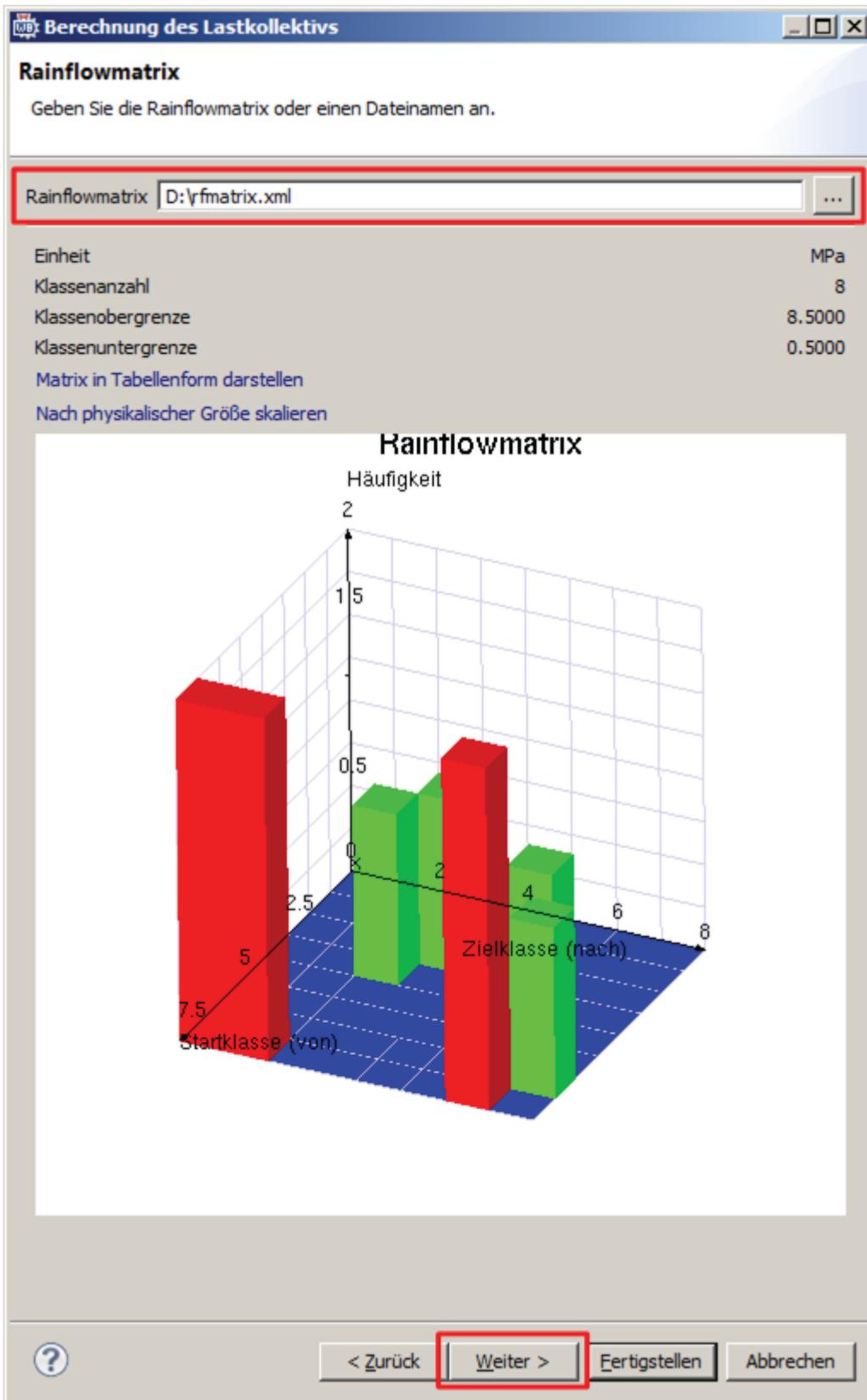
Die Steigungen der Geradenabschnitte im Haigh-Diagramm werden durch die Mittelspannungsempfindlichkeit M bestimmt. Ist die Mittelspannungsempfindlichkeit unbekannt, kann sie nach der FKM-Richtlinie als Funktion der Zugfestigkeit abgeschätzt werden.

Die Mittelspannungsempfindlichkeit kann nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen.

Beispiel

Als Beispiel für die Amplitudentransformation wird die Rainflowmatrix aus dem Anwendungsbeispiel der [Rainflowklassierung](#) benötigt. Führen Sie daher zunächst das Anwendungsbeispiel der [Rainflowklassierung](#) durch.

Laden Sie die Rainflowmatrix aus dem Anwendungsbeispiel der [Rainflowklassierung](#).



Klicken Sie anschließend auf "Weiter".

Die Amplitudentransformation soll mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Mittelspannungen durch Amplitudentransformation gemäß FKM-Richtlinie berücksichtigen: ja
- Spannungsverhältnis: -1
- Normalspannungen bzw. Schubspannungen: Normalspannungen
- Mittelspannungsempfindlichkeit: 0,4

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung des Lastkollektivs

Amplitudentransformation

Wählen Sie, ob eine Amplitudentransformation durchgeführt werden soll

Mittelspannungen durch Amplitudentransformation gemäß FKM-Richtlinie berücksichtigen

Spannungsverhältnis R

Normalspannungen
 Schubspannungen

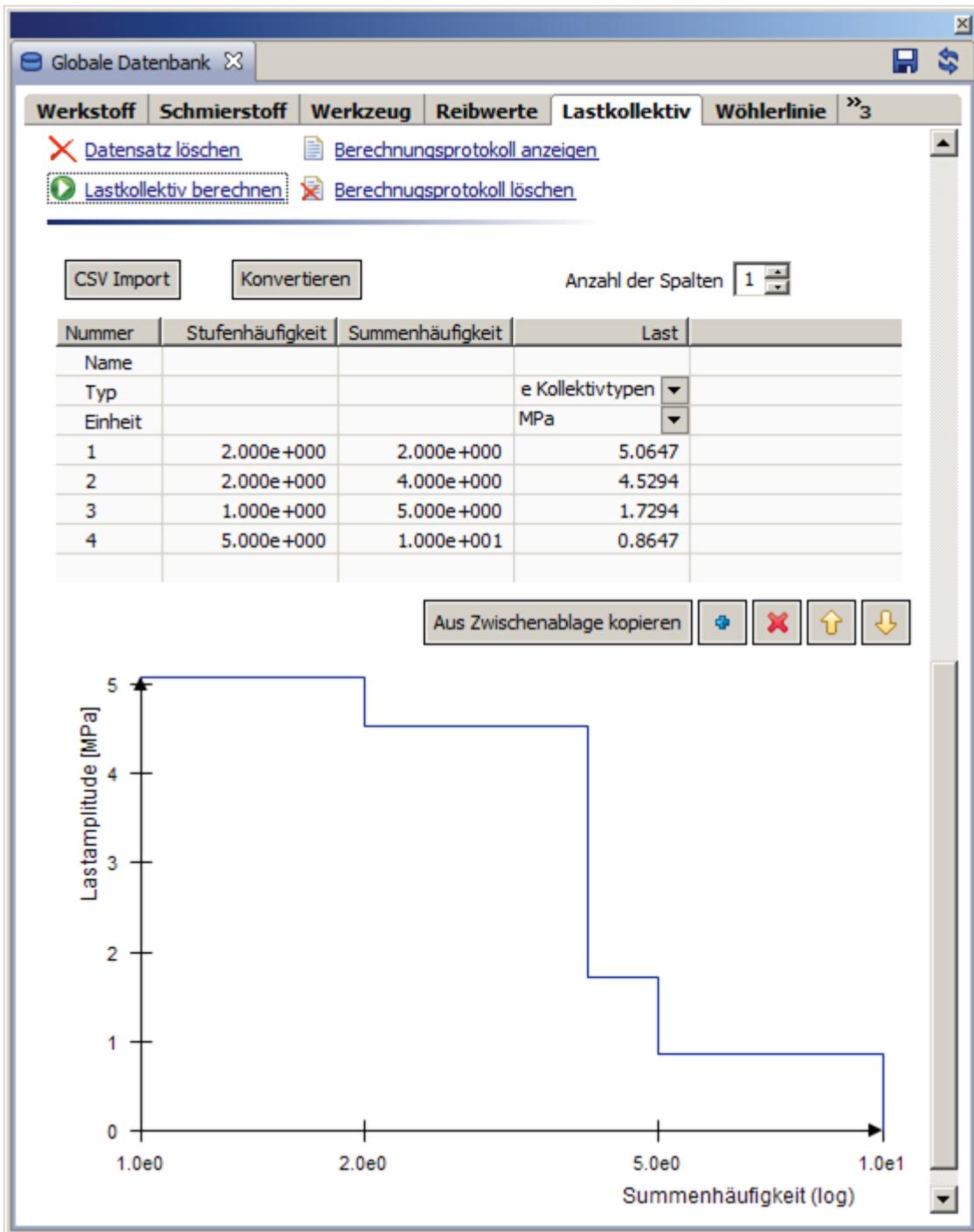
Mittelspannungsempfindlichkeit M

Berechnungsprotokoll erstellen

Hinweis:
Bei der Überführung der Rainflowmatrix in ein Amplitudenkollektiv können Mittelspannungen berücksichtigt werden. Geben Sie hierzu das Spannungsverhältnis, die Spannungsart und die zugehörige Mittelspannungsempfindlichkeit vor. Falls Sie keine Amplitudentransformation vornehmen, werden der Rainflowmatrix ausschließlich Amplituden entnommen.



Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Synthetische Kollektive

Berechnungsumfang

Synthetische Kollektive sind Kollektive, die durch die drei Parameter Kollektivumfang, Kollektivhöchstwert und Formparameter beschreibbar sind. Sie dienen oft zur Durchführung von Vergleichsrechnungen.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Einheit](#)
- [Kollektivumfang](#)
- [Kollektivhöchstwert](#)
- [Formparameter](#)
- [Stufenanzahl](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Einheit

Synthetische Kollektive können für beliebige physikalische Lastgrößen erstellt werden. Geben Sie hier die Einheit der Amplituden vor.

Kollektivumfang

Der Kollektivumfang ist die größte Summenhäufigkeit eines Kollektivs.

Kollektivhöchstwert

Der Kollektivhöchstwert ist die größte Amplitude eines Kollektivs.

Formparameter

Der Formparameter bestimmt, wie völlig ein Kollektiv ist und damit, wie viel Schädigung es generiert. Je größer der Formparameter, desto völliger das Kollektiv, desto größer die Schädigung. Typische Formparameter sind 1 (Geradlinienkollektiv) oder 2 (Gaußkollektiv).

Stufenanzahl

Lastkollektive können in LDA+ nur getrept (=gestuft) angelegt werden. Geben Sie vor, wie viele Stufen das synthetische Kollektiv besitzen soll. Eine typische Stufenanzahl ist 20.

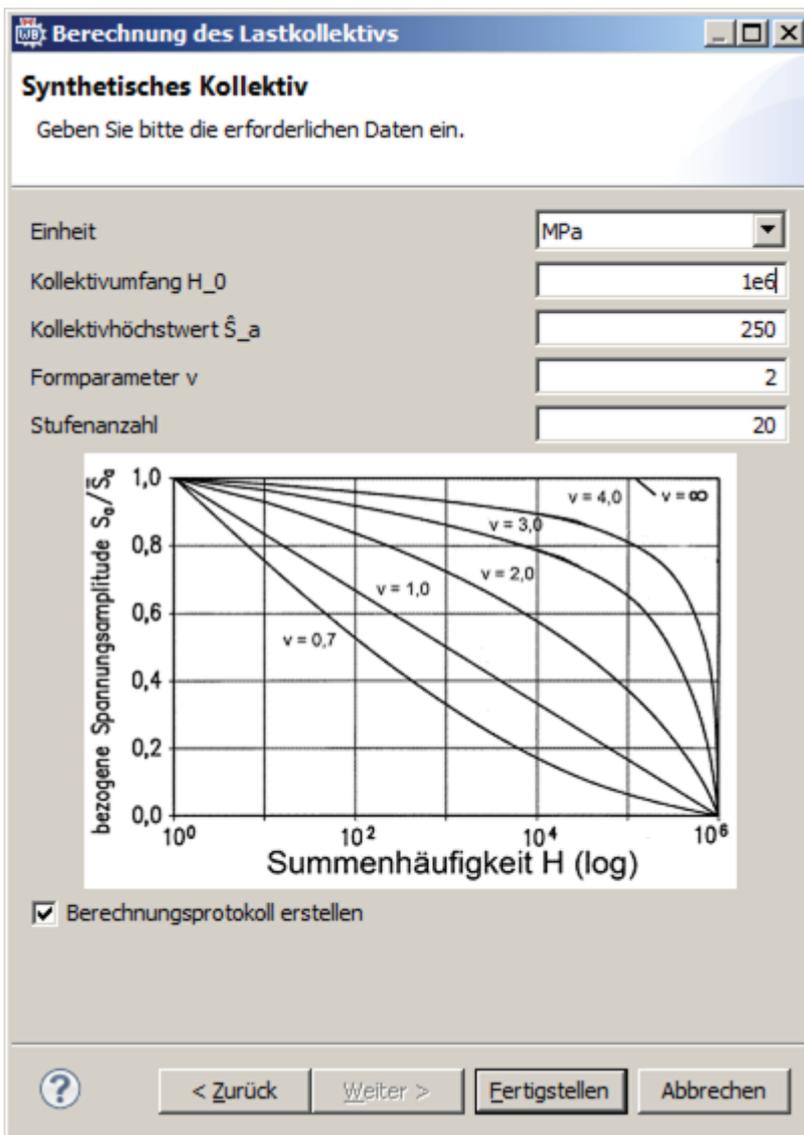
Der Übergang vom kontinuierlichen, mathematischen Kollektiv zum getrepten Kollektiv erfolgt mit Hilfe der FKM-Richtlinie.

Beispiel

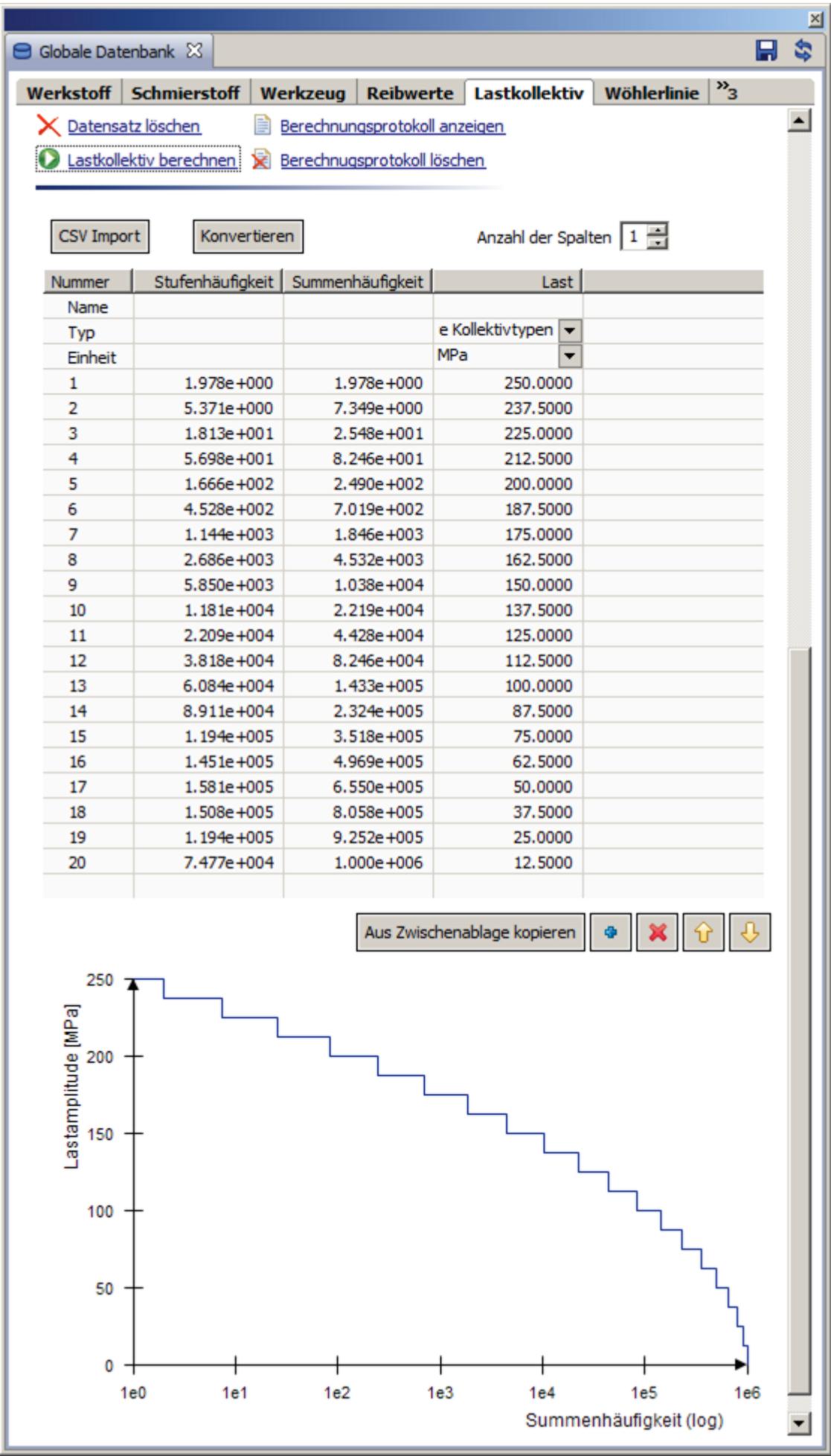
Als Beispiel soll ein synthetisches Kollektiv mit den folgenden Parametern erstellt werden:

- Einheit: MPa
- Kollektivumfang: 1e6
- Kollektivhöchstwert: 250 MPa
- Formparameter: 2,0
- Stufenanzahl: 20

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.



Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Standardkollektive

Berechnungsumfang

In LDA+ können drei Arten von Standardkollektiven berechnet werden:

- Gaußsche Zufallslast (Standard Gauss)
- Walzwerkstandard (WAWESTA)
- Walzmühlenkollektiv (WAMÜKO)

Zur Berechnung eines der Standardkollektive sind lediglich Einheit und Kollektivhöchstwert vorzugeben.

Die Standardkollektive dürfen alleine nicht für eine Dimensionierung verwendet werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Standard Gauss, WAWESTA bzw. WAMÜKO](#)
- [Einheit](#)
- [Kollektivhöchstwert](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

HINWEIS:

Bei der Berechnung von Standardkollektiven handelt es sich um FVA-Workbench-eigene Funktionen. Das bedeutet, dass der LDA+-Rechenkern dazu nicht verwendet wird. Daher stehen für die Berechnung von Standardkollektiven keine Protokollfunktionen zur Verfügung.

Standard Gauss, WAWESTA bzw. WAMÜKO

In LDA+ können drei Arten von Standardkollektiven berechnet werden:

- Gaußsche Zufallslast (Standard Gauss)
- Walzwerkstandard (WAWESTA)
- Walzmühlenkollektiv (WAMÜKO)

Das gewünschte Standardkollektiv ist zu markieren.

Einheit

Standardkollektive können für beliebige physikalische Lastgrößen erstellt werden. Geben Sie hier die Einheit der Amplituden vor.

Kollektivhöchstwert

Der Kollektivhöchstwert ist die größte Amplitude eines Kollektivs.

Beispiel

Als Beispiel soll ein Standardkollektiv mit den folgenden Parametern erstellt werden:

- Standard Gauss, WAWESTA bzw. WAMÜKO: Standard Gauss
- Einheit: MPa
- Kollektivhöchstwert: 250 MPa

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung des Lastkollektivs

Standardkollektiv

Wählen Sie ein Standardkollektiv und die Skalierung.

Standard Gauss
 WAWESTA
 WAMÜKO

Einheit: MPa

Kollektivhöchstwert: 250

? < Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.

Globale Datenbank

Werkstoff | Schmierstoff | Werkzeug | Reibwerte | **Lastkollektiv** | Wöhlerlinie >>3

Datensatz löschen |
 Berechnungsprotokoll anzeigen
 Lastkollektiv berechnen |
 Berechnungsprotokoll löschen

Anzahl der Spalten

Nummer	Stufenhäufigkeit	Summenhäufigkeit	Last
Name			
Typ			e Kollektivtypen ▼
Einheit			MPa ▼
1	1.	1.	250
2	7.	8.	233.87
3	6.	14.	225.8075
4	35.	49.	217.7425
5	18.	67.	209.6775
6	140.	207.	201.6125
7	83.	290.	193.5475
8	523.	813.	185.485
9	271.	1084.	177.42
10	1611.	2695.	169.355
11	952.	3647.	161.29
12	4545.	8192.	153.225
13	2520.	10712.	145.1625
14	11178.	21890.	137.0975
15	6518.	28408.	129.0325
16	24290.	52698.	120.9675
17	14001.	66699.	112.9025
18	46521.	113220.	104.8375
19	25406.	138626.	96.775
20	77607.	216233.	88.71
21	42256.	258489.	80.645
22	111467.	369956.	72.58
23	56276.	426232.	64.515
24	134852.	561084.	56.4525
25	69212.	630296.	48.3875
26	132046.	762342.	40.3225
27	64335.	826677.	32.2575
28	93980.	920657.	24.1935
29	43868.	964525.	16.129
30	41868.	1006393.	8.0645

Aus Zwischenablage kopieren

Mehrparametrische Verweildauerzählung

Berechnungsumfang

Mit der mehrparametrischen Verweildauerzählung können WELLNESS (FVA 668) und RIKOR-kompatible (FVA 722) Lastkollektive erstellt werden, die dort einer Weiterverarbeitung zugeführt werden. Zu jeder Kombination aus Drehzahl und Drehmoment (obligatorisch) sowie optional Kraft, Streckenlast, Moment und Temperatur wird die Verweildauer in Form von absoluten oder bezogenen Verweildauern oder absoluten oder bezogenen Lastwechseln aus BZF-Dateien ermittelt. Für jede Lastgröße (Drehzahl, Drehmoment, Kraft, usw.) wird eine separate BZF-Datei benötigt. Die BZF-Dateien dürfen untereinander unterschiedliche Abstraten besitzen. Alle Zeitspuren müssen die Einheit Sekunde aufweisen. Das Ergebnis der mehrparametrischen Verweildauerzählung ist ein mehrspaltiges Lastkollektiv mit folgendem Inhalt:

- Auf die Nenndrehzahl bezogene Drehzahl (obligatorisch)
- Auf das Nennmoment bezogenes Drehmoment (obligatorisch)
- Weitere Lastgrößen (z.B. Kraft, Streckenlast, Moment oder Temperatur)
- Verweildauer:
 - Absolute Zeitanteile
 - Auf die größte Summenhäufigkeit bezogene Zeitanteile
 - Absolute Lastwechselzahlen (aus Zeitanteil über Drehzahl umgerechnet)
 - Auf die größte Summenhäufigkeit bezogene Lastwechselzahlen

Die mehrparametrische Verweildauerzählung kann auch durchgeführt werden, wenn kein Getriebemodell in der FVA-Workbench existiert. Jedoch ist dann eine Zuordnung zwischen Lastgrößen und Wellennummer nicht möglich.

ACHTUNG:

Die Verwendung der mehrparametrischen Verweildauerzählung mit vielen Lastgrößen und großen Klassenanzahlen erfordert einen hohen Speicherbedarf. Auf einer 32-Bit-Architektur darf das Produkt aller Klassenanzahlen nicht größer sein als $2,5 \cdot 10^8$ (ca. 2 GB). LDA+ existiert in einer 32- und einer 64-Bit-Version.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Datei hinzufügen / Dateiname](#)
- [Dateien aus Auswahl entfernen](#)
- [Belastungsart](#)
- [Einheit](#)
- [Welle](#)
- [u-Koordinate](#)
- [Klassenanzahl](#)
- [Klassenuntergrenze](#)
- [Klassenobergrenze](#)
- [Klassengrenzen vorschlagen](#)
- [Nennmoment](#)
- [Nenndrehzahl](#)
- [Zählweise](#)
- [Häufigkeitsausgabe](#)
- [Lastkollektiv in das Modell übernehmen](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Datei hinzufügen / Dateiname

Für jede zu klassierende Lastgröße muss eine eigene Datei im BZF-Format angegeben werden. Dabei ist die Angabe einer Drehzahlzeitreihe und einer Drehmomentzeitreihe obligatorisch.

Das BZF-Format ist eine Textdatei im ASCII-Format, die eine Zeitspur in Sekunden und eine Lastspur in beliebiger Einheit beinhaltet (vgl. [Rainflowzählung](#)). Zeit- und Lastspur sind tabulatorgetrennt. Im Kopf der BZF-Datei können durch das

Voranstellen eines #-Zeichens je Zeile benutzerdefinierte Kommentare vorgesehen werden. Nachstehend findet sich ein Beispiel für eine BZF-Datei:

```
#Beispiel-BZF-Datei
#1. Spalte = Zeit
#2. Spalte = Beanspruchung
1 141
2 120
3 170
4 72
```

Folgende Datenspurtypen können verarbeitet werden:

- Zeit in s
- Drehzahl in 1/min
- Drehmoment in Nm oder in kNm
- Kraft in N oder kN
- Streckenlast (Kraftstreckenlast) in N/m oder in N/mm
- Moment (Biegemoment) in Nm oder in kNm
- Spannung in MPa oder in Pa
- Temperatur in °C, in K oder in °F

LDA+ führt intern eine Umrechnung der Einheiten auf WELLNESS- und RIKOR-verständliche Einheiten durch. Die Einheit der jeweiligen BZF-Datei ist im Eingabefenster auszuwählen.

Die einzelnen BZF-Dateien dürfen unterschiedliche Abtastraten, Start- und Endzeiten besitzen. Weiterhin ist die Verwendung variabler Schrittweiten innerhalb einer BZF-Datei zulässig. LDA+ führt vor der Klassierung eine Aufbereitung aller Zeitreihen durch. Dabei wird eine Masterzeitspur erzeugt. Diese enthält die kleinste Startzeit, die größte Endzeit und die kleinste Abtastrate aller Zeitreihen. Die Aufbereitung erfolgt durch lineare Interpolation und durch konstante Extrapolation.

ACHTUNG:

Die Verwendung sprunghaftiger Signale (z.B. Gangstellung eines Getriebes) kann durch die lineare Interpolation zu verfälschten Ergebnissen führen (z.B. Gangstellung 3,4).

Dateien aus Auswahl entfernen

Sie können die ausgewählten Zeitverlaufsdateien wieder entfernen, um Ihre Auswahl bei fehlerhafter Zuordnung neu zu beginnen.

Belastungsart

LDA+ ist in der Lage verschiedene Belastungsarten in der mehrparametrischen Verweildauerzählung zu verarbeiten. Die folgenden Belastungsarten sind zulässig:

- Drehzahl in 1/min
- Drehmoment in Nm oder in kNm
- Kraft in N oder kN
- Streckenlast (Kraftstreckenlast) in N/m oder in N/mm
- Moment (Biegemoment) in Nm oder in kNm
- Spannung in MPa oder in Pa
- Temperatur in °C, in K oder in °F

Die zur jeweiligen [BZF-Datei](#) gehörige Belastungsart ist auszuwählen.

Einheit

LDA+ ist in der Lage verschiedene Einheiten der Zeitverläufe zu verarbeiten und intern auf Standardeinheiten umzurechnen, die von WELLNES und RIKOR verständlich sind.

Die folgenden Einheiten sind zulässig:

- Drehzahl:
 - 1/min
- Dreh- und Biegemoment:

- Nm
- kNm
- Kraft:
 - N
 - kNm
- Kraftstreckenlast:
 - N/m
 - N/mm
- Mechanische Spannung:
 - MPa
 - Pa
- Temperatur:
 - °C
 - K
 - °F

Die Umrechnung erfolgt von LDA+ auf die folgenden Standardeinheiten:

- Drehzahl:
 - 1/min
- Dreh- und Biegemoment:
 - Nm
- Kraft:
 - N
- Kraftstreckenlast:
 - N/mm
- Mechanische Spannung:
 - MPa
- Temperatur:
 - °C

Welle

LDA+ erzeugt in der mehrparametrischen Verweildauerzählung WELLNESS- und RIKOR-kompatible Lastkollektive. Werden externe Lastgrößen wie Kräfte, Momente und Streckenlasten angegeben, dann ist eine Zuordnung zur entsprechenden Welle aus dem Getriebemodell erforderlich. Die jeweilige Welle des Getriebemodells ist auszuwählen.

ACHTUNG:

Um eine Zuordnung zwischen [BZF-Datei](#) und Welle aus einem Getriebemodell vornehmen zu können, ist das Modell vorher in der FVA-Workbench anzulegen.

HINWEIS:

Die Zuordnung zwischen [BZF-Datei](#) und Welle aus einem Getriebemodell ist für die mehrparametrische Verweildauerzählung selbst nicht erforderlich. Die mehrparametrische Verweildauerzählung kann auch ohne die Zuordnung durchgeführt werden. Das erzeugte Lastkollektiv ist dann u.U. jedoch nicht mit WELLNESS oder RIKOR kompatibel.

u-Koordinate

LDA+ erzeugt in der mehrparametrischen Verweildauerzählung WELLNESS- und RIKOR-kompatible Lastkollektive. Werden externe Lastgrößen wie Kräfte, Momente und Streckenlasten angegeben, dann ist eine Zuordnung der äußeren Last zur Wellenlängskoordinate u (in mm) der entsprechenden Welle erforderlich.

HINWEIS:

Die Zuordnung zwischen [BZF-Datei](#) und Wellenlängskoordinate u ist für die mehrparametrische Verweildauerzählung selbst nicht erforderlich. Die mehrparametrische Verweildauerzählung kann auch ohne die Zuordnung durchgeführt werden. Das erzeugte Lastkollektiv ist dann u.U. jedoch nicht mit WELLNESS oder RIKOR kompatibel.

Klassenanzahl

Mit der mehrparametrischen Verweildauerzählung werden Lastgrößen in Kollektive überführt. Dazu werden die [BZF-Dateien](#) in Lastrichtung in Klassen eingeteilt. Die Klassenanzahl gibt an, wie fein diese Einteilung durchgeführt wird. Für jede [BZF-Datei](#) kann eine eigene Klassenanzahl verwendet werden.

Eine typische Klassenanzahl sind 50 Klassen.

ACHTUNG:

Die Verwendung der mehrparametrischen Verweildauerzählung mit vielen Lastgrößen und großen Klassenanzahlen erfordert einen hohen Speicherbedarf. Auf einer 32-Bit-Architektur darf das Produkt aller Klassenanzahlen nicht größer sein als $2,5 \cdot 10^8$ (ca. 2 GB). LDA+ existiert in einer 32- und einer 64-Bit-Version.

Klassenuntergrenze

Die Klassenuntergrenze gibt die physikalische Untergrenze der kleinsten Klasse an. Sie sollte immer etwas kleiner sein, als der kleinste Beanspruchungswert in der [BZF-Datei](#).

Für jede [BZF-Datei](#) können eigene Klassenuntergrenzen verwendet werden.

Die Klassengrenzen können auch [automatisch vorgeschlagen](#) werden.

Klassenobergrenze

Die Klassenobergrenze gibt die physikalische Obergrenze der größten Klasse an. Sie sollte immer etwas größer sein, als der größte Beanspruchungswert in der [BZF-Datei](#).

Für jede [BZF-Datei](#) können eigene Klassenobergrenzen verwendet werden.

Die Klassengrenzen können auch [automatisch vorgeschlagen](#) werden.

Klassengrenzen vorschlagen

Klassenunter- und Klassenobergrenze können automatisch für jede [BZF-Datei](#) individuell vorgeschlagen werden. Dazu werden die [BZF-Dateien](#) bezüglich ihrer Extrema durchsucht und die Klassengrenzen derart vorgeschlagen, dass sich die Extrema der [BZF-Datei](#) im späteren Kollektiv wiederfinden.

Die vorgeschlagenen Klassengrenzen sind abhängig von der [Zählweise](#).

Nennmoment

Die ermittelten Drehmomentklassen werden auf das Nenndrehmoment der betrachteten Verzahnungsstufe bezogen. Das Nenndrehmoment ist anzugeben.

Nenndrehzahl

Die ermittelten Drehzahlklassen werden auf die Nenndrehzahl der betrachteten Welle bezogen. Die Nenndrehzahl ist anzugeben.

Zählweise

Bei einer Klassierung wie der mehrparametrischen Verweildauerzählung werden Größen mit ähnlichem Wertebereich in die gleiche Klasse gezählt. Nach erfolgter Klassierung findet eine Rückzuordnung zwischen Klassennummer und physikalischer Größe statt.

LDA+ bietet für diese Rückzuordnung zwei Möglichkeiten an:

- Auf Klassenmitten zählen: Die korrespondierende, physikalische Größe entspricht der Klassenmitte
- Konservativ auf Klassengrenzen zählen: Die Rückzuordnung wird derart vorgenommen, dass die Größen konservativ in Richtung der Klassengrenzen verschoben werden. Werte in der niedrigsten bzw. der höchsten Klasse werden auf die Klassenunter- bzw. die Klassenobergrenze verschoben. Ein Wert in der mittleren Klasse wird auf die Klassenmitte abgebildet.

HINWEIS:

Bei ausreichend großer Klassenanzahl liefern die beiden Zählweisen vergleichbare Ergebnisse. Die [Klassengrenzen-Vorschlagen-Funktion](#) in LDA+ berücksichtigt die gewünschte Zählweise. Die Klassengrenzen werden derart vorgeschlagen, dass sich die globalen Extreme der Zeitverläufe im Kollektiv wiederfinden.

Häufigkeitsausgabe

LDA+ bietet vier Möglichkeiten der Häufigkeitsausgabe (Verweildauer) für eine mehrparametrische Verweildauerzählung:

- Absolute Zeitanteile: Verweildauer in einer Klasse in Sekunden
- Relative Zeitanteile (WELLNESS-Standard (FVA 668)): Absolute Zeitanteile bezogen auf die größte Summenhäufigkeit
- Absolute Häufigkeiten: Lastwechselzahlen aus absoluten Zeitanteilen über die Drehzahl umgerechnet
- Relative Häufigkeiten: Absolute Häufigkeiten auf die größte Summenhäufigkeit bezogen

Lastkollektiv in das Modell übernehmen

Das mit der mehrparametrischen Verweildauerzählung erzeugte Lastkollektiv, kann bei Bedarf automatisch dem lokalen Datensatzpool des geöffneten Getriebemodells hinzugefügt werden.

Setzen Sie dazu den entsprechenden Haken.

Beispiel

Als Beispiel werden die nachstehenden BZF-Dateien für die Drehzahl, das Drehmoment und die Kraft betrachtet.

```
# Beispiel Drehzahl BZF-Datei
# Spalte 1: Zeit in s
# Spalte 2: zu klassierende Größe
1 1
2 2
3 3
4 3
5 3
6 3
7 2
```

```
# Beispiel Drehmoment BZF-Datei
# Spalte 1: Zeit in s
# Spalte 2: zu klassierende Größe
1 2
2 2
3 4
4 3
5 1
6 2
7 2
```

```
# Beispiel Kraft BZF-Datei
# Spalte 1: Zeit in s
# Spalte 2: zu klassierende Größe
1 1
2 1
3 1
4 1
5 2
6 2
7 2
```

Erstellen Sie je eine neue Textdatei für die Drehzahl, das Drehmoment und die Kraft mit einem Editor und kopieren Sie die oben dargestellten Inhalte in die Textdateien. Speichern Sie anschließend die Dateien und ändern Sie nachträglich die Dateiendungen von "*.txt" in "*.bzf".

Die Zählung soll mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Drehzahlzeitverlauf:
 - Belastungsart: Drehzahl
 - Einheit: 1/min
 - Klassenanzahl: 3

- Klassenuntergrenze: 0,5 1/min
- Klassenobergrenze: 3,5 1/min
- Drehmomentzeitverlauf:
 - Belastungsart: Drehmoment
 - Einheit: Nm
 - Klassenanzahl: 4
 - Klassenuntergrenze: 0,5 Nm
 - Klassenobergrenze: 4,5 Nm
- Kraftzeitverlauf:
 - Belastungsart: Kraft in u-Richtung
 - Einheit: N
 - Welle: --
 - u-Koordinate: --
 - Klassenanzahl: 2
 - Klassenuntergrenze: 0,5 N
 - Klassenobergrenze: 2,5 N
- Nennmoment: 1 Nm
- Nenndrehzahl: 1 1/min
- Zählweise: Klassenmitten zählen
- Häufigkeitsausgabe: Absolute Zeitanteile
- Lastkollektiv in das Modell übernehmen: nein

Wählen Sie zunächst die BZF-Dateien aus, in dem Sie auf die Schaltfläche "[Dateien hinzufügen](#)" klicken. Für die obligatorischen Verläufe Drehzahl und Drehmoment wird die Zuordnung der [Belastungsart](#) automatisch vorgenommen. Für die anderen Zeitverläufe muss die [Belastungsart](#) händisch angegeben werden.

Wählen Sie anschließend die Einheiten der jeweiligen Dateien aus. Die Zuordnung der externen Lasten zu einer [Welle](#) im Getriebemodell sowie die Angabe des [Angriffspunkts \(u-Koordinate\)](#) ist nur erforderlich, wenn das Lastkollektiv direkt in WELLNESS weiter verarbeitet werden soll (hier nicht gewünscht).

Geben Sie anschließend die [Klassenanzahlen](#) und die [Klassengrenzen](#) an. Sie haben auch die Möglichkeit sich die [Klassengrenzen vorschlagen](#) zu lassen. Der Vorschlag der Klassengrenzen ist abhängig von der gewählten [Zählweise](#). LDA+ schlägt die Klassengrenzen immer derart vor, dass sich die Extrema der Zeitverläufe im Kollektiv wiederfinden.

LDA+ bezieht in der Zählung die Drehzahl und das Drehmoment auf ihre Nenngrößen. Diese sind anzugeben.

Wählen Sie abschließend die gewünschte [Häufigkeitsausgabe](#) aus und starten Sie die Berechnung.

Berechnung des Lastkollektivs

Mehrparametrische Verweildauerzählung

Dateiname	Belastungsart	Einheit	Welle	u-Koordinate	Klassenanzahl	Klassenuntergrenze	Klassenobergrenze
D:\Drehzahl.bzf	Drehzahl	1/min			3	0.5	3.5000e+000
D:\Drehmoment.bzf	Drehmoment	Nm			4	0.5	4.5000e+000
D:\Kraft.bzf	Kraft in u-Richtung	N			2	0.5	2.5000e+000

[Dateien hinzufügen](#)
 [Klassengrenzen vorschlagen](#)
 [Dateien aus Auswahl entfernen](#)

Nennmoment: Nm

Nenndrehzahl: 1/min

Klassenmitten zählen
 Klassenobergrenzen betragsmäßig zählen (konservative Zählung)

Häufigkeitsausgabe:

Lastkollektiv in das Modell übernehmen

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.

Globale Datenbank

Schmierstoffe Werkstoffe Werkzeuge **Lastkollektive** Wöhlerlinien Reibwerte Lebensdauer »2

[Datensatz löschen](#) [Berechnungsprotokoll anzeigen](#)
[Lastkollektiv berechnen](#) [Berechnungsprotokoll löschen](#)

 Anzahl der Spalten

Nummer	Stufenhäufigkeit	Summenhäufigkeit	Last	Lastamplitude 2	Lastamplitude 3
Name					
Typ			rel. Drehzahl	rel. Drehmoment	e Kollektivtypen
Einheit					N
1	1.0000e+000	1.0000e+000	1.00000e+000	2.0000e+000	1.0000e+000
2	1.0000e+000	2.0000e+000	2.00000e+000	2.0000e+000	1.0000e+000
3	1.0000e+000	3.0000e+000	2.00000e+000	2.0000e+000	2.0000e+000
4	1.0000e+000	4.0000e+000	3.00000e+000	1.0000e+000	2.0000e+000
5	1.0000e+000	5.0000e+000	3.00000e+000	2.0000e+000	2.0000e+000
6	1.0000e+000	6.0000e+000	3.00000e+000	3.0000e+000	1.0000e+000
7	1.0000e+000	7.0000e+000	3.00000e+000	4.0000e+000	1.0000e+000

Extrapolation einer Rainflowmatrix

Berechnungsumfang

In LDA+ können Rainflowmatrizen mit dem Verfahren nach Drebler extrapoliert werden. Das Verfahren schätzt dabei die zusätzlichen (größeren) Amplituden und Mittelwerte der extrapolierten Matrix. Die Wahrscheinlichkeit, dass neue (größere) Amplituden und Mittelwerte geschätzt werden, steigt mit der Größe des Extrapolationsfaktors.

Die Ausgangsmatrix muss in Form einer Start-Ziel-Vollmatrix in einer XML-Datei vorliegen. Diese Ausgangsmatrix kann z.B. mit Hilfe der [Rainflowklassierung](#) erzeugt werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Rainflowmatrix](#)
- [Ergebnisdatei](#)
- [Extrapolationsfaktor](#)
- [Expertenmodus](#)
- [Auswertungsquantil](#)
- [Verhältnis der Ellipsenachsen](#)
- [Mindestanzahl Schwingspiele innerhalb des Auswertungsquantils](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Rainflowmatrix

Für die Extrapolation muss eine Ausgangsrainflowmatrix angegeben werden. Die Ausgangsmatrix muss in Form einer Start-Ziel-Vollmatrix in einer XML-Datei vorliegen. Solche Matrizen können z.B. mit Hilfe der [Rainflowklassierung](#) erzeugt werden.

Ergebnisdatei

Das Ergebnis der Rainflowextrapolation ist wieder eine Rainflowmatrix. Die Rainflowmatrix wird als Start-Ziel-Vollmatrix in eine XML-Datei geschrieben. Pfad und Dateiname der XML-Datei sind anzugeben.

Extrapolationsfaktor

Die Rainflowmatrix wird nach einer durchgeführten Glättung mit einem Extrapolationsfaktor multipliziert. Der Extrapolationsfaktor ist üblicherweise das Verhältnis aus Nutzungs- und Messdauer.

Expertenmodus

Der Expertenmodus erlaubt es, die folgenden Werte händisch anzupassen:

- [Auswertungsquantil](#)
- [Verhältnis der Ellipsenachsen](#)

- [Mindestanzahl Schwingspiele innerhalb des Auswertungsquantils](#)

Wird der Expertenmodus nicht verwendet, dann werden die folgenden Defaultwerte verwendet:

- Auswertungsquantil = 0,9
- Verhältnis der Ellipsenachsen = 1,0 (Kreis)
- Mindestanzahl Schwingspiele innerhalb des Auswertungsquantils = 50

Mit den Defaultwerten lassen in der Regel plausible Ergebnisse erzielen. Die Defaultwerte sollten nur verändert werden, wenn positive Erfahrungen mit anderen Werten vorliegen.

Auswertungsquantil

Die Veränderung des Auswertungsquantils gehört zum [Expertenmodus](#) und sollte daher nur von erfahrenen Benutzern ausgeführt werden.

Bei der Rainflowextrapolation werden Gewichtungsfunktionen in Form von 2D-Normalverteilungen verwendet. Unter der Oberfläche der 2D-Normalverteilung muss sich eine [Mindestanzahl an Schwingspielen](#) versammeln. Das Auswertungsquantil gibt an, wie weit Schwingspiele vom Schwerpunkt der 2D-Normalverteilung entfernt sein dürfen, um mit zur [Mindestanzahl an Schwingspielen](#) gezählt zu werden (Größe der Auswertungsellipse).

Verhältnis der Ellipsenachsen

Die Veränderung des Verhältnisses der Ellipsenachsen gehört zum [Expertenmodus](#) und sollte daher nur von erfahrenen Benutzern ausgeführt werden.

Durch eine Veränderung des Verhältnisses der Ellipsenachsen, wird die Ausgangsmatrix vorzugsweise stärker in Richtung gleicher Amplituden oder in Richtung gleicher Mittelwerte geglättet. Dabei gilt:

- Verhältnis der Ellipsenachsen größer 1: Stärkere Glättung in Richtung gleicher Amplituden
- Verhältnis der Ellipsenachsen kleiner 1: Stärkere Glättung in Richtung gleicher Mittelwerte
- Verhältnis der Ellipsenachsen gleich 1: Keine bevorzugte Glättungsrichtung (empfohlen)

Mindestanzahl Schwingspiele innerhalb des Auswertungsquantils

Die Veränderung der Mindestanzahl an Schwingspielen innerhalb des [Auswertungsquantils](#) gehört zum [Expertenmodus](#) und sollte daher nur von erfahrenen Benutzern ausgeführt werden.

Vor der Extrapolation wird die Ausgangsmatrix geglättet. Dazu werden Gewichtungsfunktionen in Form von 2D-Normalverteilungen verwendet. Die 2D-Normalverteilungen werden so lange skaliert, bis sich innerhalb des [Auswertungsquantils](#) ausreichend Schwingspiele befinden.

Eine Erhöhung der Mindestanzahl an Schwingspielen innerhalb des [Auswertungsquantils](#) bedingt eine stärkere Glättung der Ausgangsmatrix. Empfohlen wird ein Wert von 50 Schwingspielen.

Beispiel

Als Beispiel soll eine Rainflowmatrix mit den folgenden Parametern extrapoliert werden:

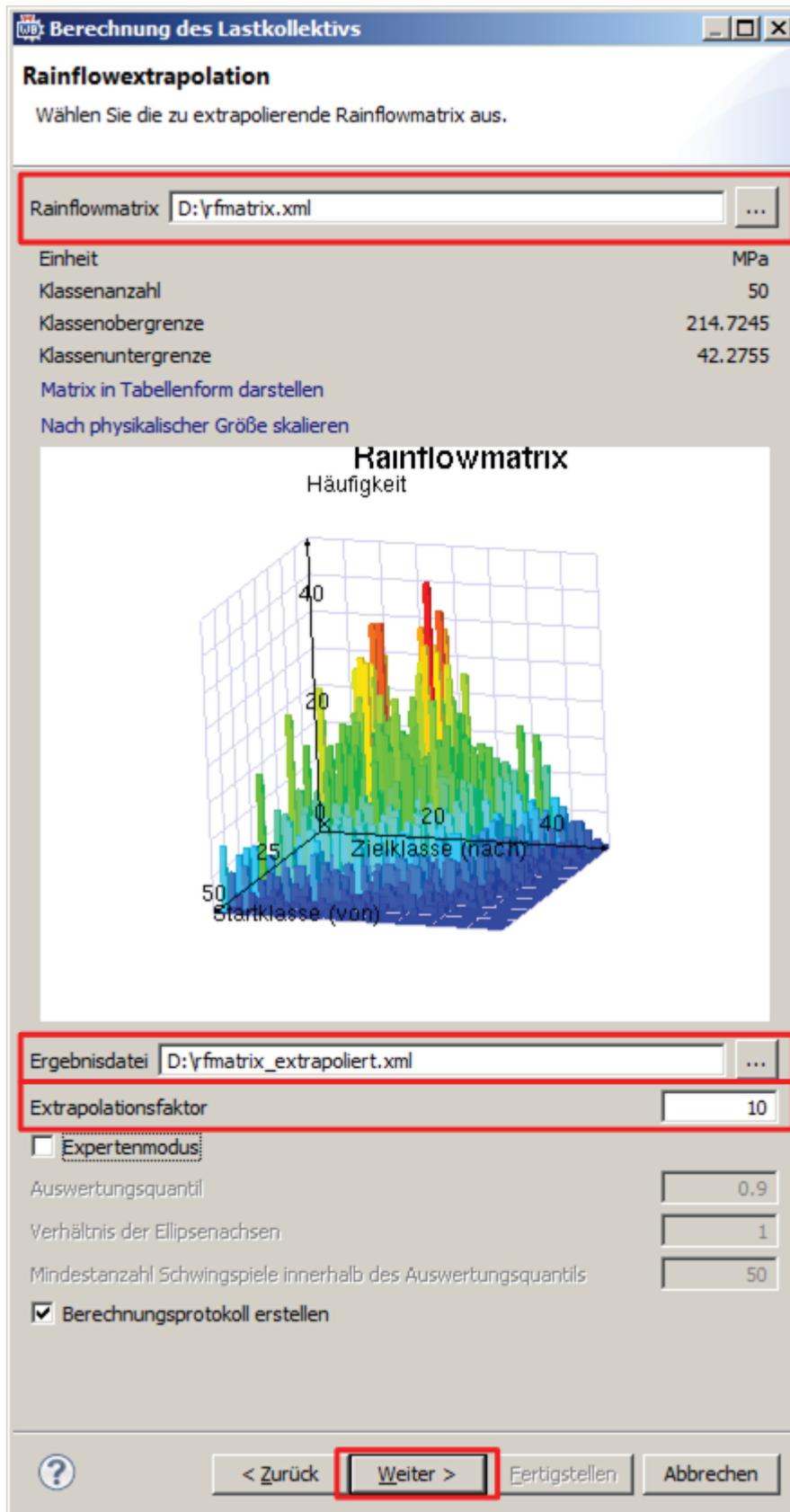
- Extrapolationsfaktor: 10
- Expertenmodus: nein

Öffnen Sie zunächst die Ausgangsrainflowmatrix (XML-Datei). Sie erhalten eine 3D-Säulendiagrammdarstellung mit den aus der [Rainflowzählung](#) bekannten Dreh-, Zoom- und Darstellungsoptionen:

- Drehoption: Mit gedrückter linker Maustaste die Matrix "verschieben"
- Zoomoption: Betätigung des Scrollrads
- Darstellungsoption: Standardansichten durch Drücken der Ziffern 1-5 (nicht auf dem Ziffernblock)

Geben Sie den Dateinamen und den Pfad der Ausgabematrix (extrapolierte Matrix) an.

Tragen Sie Abschließend den Extrapolationsfaktor ein und klicken Sie auf "Weiter".



Nach erfolgreicher Berechnung erhalten Sie eine Vergleichsdarstellung von Ausgangsmatrix und extrapolierte

Matrix mit den bekannten Dreh-, Zoom- und Darstellungsoptionen..

Berechnung des Lastkollektivs

Rainflowextrapolation

Vergleich zwischen der ursprünglichen und der extrapolierten Rainflowmatrix.

Einheit	MPa	Einheit	MPa
Klassenanzahl	50	Klassenanzahl	62
Klassenobergrenze	214.7245	Klassenobergrenze	235.418
Klassenuntergrenze	42.2755	Klassenuntergrenze	21.5816

[Matrix in Tabellenform darstellen](#) [Matrix in Tabellenform darstellen](#)
[Nach physikalischer Größe skalieren](#) [Nach physikalischer Größe skalieren](#)

Ausgangsmatrix

Extrapolierte Matrix

[?](#) [< Zurück](#) [Weiter >](#) [Fertigstellen](#) [Abbrechen](#)

Sie können die Berechnung mit einem Klick auf "Fertigstellen" abschließen. In diesem Fall ist der Datensatz innerhalb der FVA-Workbench leer, da dieser keine Rainflowmatrizen aufnehmen kann.

Sie können durch einen alternativen Klick auf "Weiter" direkt zur [Amplitudentransformation](#) übergehen.



Skalierung, Extrapolation und Superposition

Berechnungsumfang

Einparametrische Kollektive können in LDA+ in Lebensdauerrichtung und in Lastrichtung durch Faktoren skaliert werden. Die Skalierung in Lebensdauerrichtung entspricht einer Extrapolation durch Rechtsverschiebung. Mehrere, einparametrische Kollektive gleicher Einheit können zu einem resultierenden Kollektiv superponiert werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Skalierung in Schwingspielzahlrichtung](#)
- [Skalierung in Lastrichtung](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Skalierung in Schwingspielzahlrichtung

Durch die Vorgabe eines Skalierungsfaktors in Schwingspielzahlrichtung wird jede Kollektivstufe des Kollektivs mit diesem Faktor in Lebensdauerrichtung multipliziert. Die Skalierung in Schwingspielzahlrichtung entspricht der Extrapolation durch Rechtsverschiebung.

Für jedes Kollektiv kann ein eigener Skalierungsfaktor angegeben werden.

Skalierung in Lastrichtung

Durch die Vorgabe eines Skalierungsfaktors in Lastrichtung wird jede Kollektivstufe des Kollektivs mit diesem Faktor in Lastrichtung multipliziert.

Für jedes Kollektiv kann ein eigener Skalierungsfaktor angegeben werden.

Beispiel

Als Beispiel sollen drei synthetische Kollektive mit den folgenden Parametern erstellt und anschließend skaliert und superponiert werden:

- Kollektiv I:
 - Einheit: MPa
 - Kollektivumfang: 1e6
 - Kollektivhöchstwert: 250 MPa
 - Formparameter: 2,0
 - Stufenanzahl: 20
 - Skalierung in Schwingspielzahlrichtung: 1,0
 - Skalierung in Lastrichtung: 1,0
- Kollektiv II:
 - Einheit: MPa

- Kollektivumfang: 1e5
- Kollektivhöchstwert: 300 MPa
- Formparameter: 0,5
- Stufenanzahl: 15
- Skalierung in Schwingspielzahlrichtung: 20,0
- Skalierung in Lastrichtung: 1,0
- Kollektiv III:
 - Einheit: MPa
 - Kollektivumfang: 1e6
 - Kollektivhöchstwert: 100 MPa
 - Formparameter: 4,0
 - Stufenanzahl: 10
 - Skalierung in Schwingspielzahlrichtung: 2,0
 - Skalierung in Lastrichtung: 5,0

Erstellen Sie zunächst die drei oben genannten, synthetischen Kollektive. Vgl. dazu [Synthetische Kollektive](#).

Wählen Sie im Eingabefenster des Berechnungsmoduls die zu superponierenden Kollektive aus und versehen Sie diese in den entsprechenden Spalten mit den zugehörigen Skalierungsfaktoren.

Berechnung des Lastkollektivs

Superposition
Wählen Sie die Kollektive für die Superposition aus.

Kollektiv	Einheit	Skalierung in Schwin...	Skalierung in Lastric...
<input type="checkbox"/> Beispiel 1	MPa	1.0	1.0
<input type="checkbox"/> Beispiel 2	MPa	1.0	1.0
<input type="checkbox"/> Beispiel 3	MPa	1.0	1.0
<input type="checkbox"/> bsp_betriebsfestigkeit	Nm	1.0	1.0
<input type="checkbox"/> LK_STBSP2		1.0	1.0
<input type="checkbox"/> Lk_Seminar	--	1.0	1.0
<input type="checkbox"/> LK-DIN3996-2005	Nm	1.0	1.0
<input type="checkbox"/> G0		1.0	1.0
<input type="checkbox"/> F0		1.0	1.0
<input type="checkbox"/> BECAL_1		1.0	1.0
<input type="checkbox"/> BECAL_2		1.0	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> KollektivI	MPa	1.0	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> KollektivII	MPa	20.0	1.0
<input checked="" type="checkbox"/> KollektivIII	MPa	2.0	5.0

Berechnungsprotokoll erstellen

? < Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.

-  [Datensatz löschen](#)
-  [Berechnungsprotokoll anzeigen](#)
-  [Lastkollektiv berechnen](#)
-  [Berechnungsprotokoll löschen](#)

CSV Import

Konvertieren

Anzahl der Spalten 1

Nummer	Stufenhäufigkeit	Summenhäufigkeit	Last
Name			
Typ			e Kollektivtypen
Einheit			MPa
1	2.594e+001	2.594e+001	500.0000
2	1.450e+003	1.476e+003	450.0000
3	2.380e+004	2.528e+004	400.0000
4	1.446e+005	1.698e+005	350.0000
5	3.952e+005	5.651e+005	300.0000
6	1.184e+001	5.651e+005	280.0000
7	1.843e+001	5.651e+005	260.0000
8	5.700e+005	1.135e+006	250.0000
9	2.922e+001	1.135e+006	240.0000
10	5.371e+000	1.135e+006	237.5000
11	1.813e+001	1.135e+006	225.0000
12	4.738e+001	1.135e+006	220.0000
13	5.698e+001	1.135e+006	212.5000
14	2.453e+002	1.135e+006	200.0000
15	4.906e+005	1.626e+006	200.0000
16	4.528e+002	1.627e+006	187.5000
17	1.346e+002	1.627e+006	180.0000
18	1.144e+003	1.628e+006	175.0000
19	2.686e+003	1.631e+006	162.5000
20	2.382e+002	1.631e+006	160.0000
21	2.753e+005	1.906e+006	150.0000
22	4.396e+002	1.906e+006	140.0000
23	1.181e+004	1.918e+006	137.5000
24	2.209e+004	1.940e+006	125.0000
25	8.542e+002	1.941e+006	120.0000
26	3.818e+004	1.979e+006	112.5000
27	6.261e+004	2.042e+006	100.0000
28	9.114e+004	2.133e+006	100.0000
29	8.911e+004	2.222e+006	87.5000
30	4.036e+003	2.226e+006	80.0000
31	1.194e+005	2.346e+006	75.0000
32	1.451e+005	2.491e+006	62.5000
33	1.050e+004	2.501e+006	60.0000
34	1.720e+005	2.673e+006	50.0000
35	3.428e+004	2.708e+006	40.0000
36	1.508e+005	2.858e+006	37.5000
37	1.194e+005	2.978e+006	25.0000
38	1.948e+006	4.925e+006	20.0000
39	7.477e+004	5.000e+006	12.5000

Omission / Truncation

Berechnungsumfang

Auf einparametrische Kollektive können in LDA+ Omission und Truncation angewendet werden.

Omission bedeutet, dass Amplituden unterhalb des Omissionlevels weggelassen werden. Truncation bedeutet, dass Amplituden oberhalb des Truncationlevels auf den Truncationlevel reduziert werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Omissionlevel](#)
- [Truncationlevel](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Omissionlevel

Der Omissionlevel stellt die Grenze dar, unterhalb derer Amplituden des Kollektivs entfernt werden. Der Kollektivumfang des Kollektivs ändert sich dabei um den Anteil der Amplituden unterhalb des Omissionlevels.

Truncationlevel

Der Truncationlevel stellt die Grenze dar, oberhalb derer Amplituden des Kollektivs auf den Truncationlevel begrenzt werden. Der Kollektivumfang des Kollektivs ändert sich dabei um den Anteil der Amplituden oberhalb des Truncationlevels.

Beispiel

Als Beispiel sollen auf ein synthetisches Kollektive mit den nachfolgenden Parametern Omission und Truncation angewendet werden:

- Einheit: MPa
- Kollektivumfang: 1e6
- Kollektivhöchstwert: 250 MPa
- Formparameter: 2,0
- Stufenanzahl: 20

Die Parameter für Omission bzw. Truncation betragen:

- Omissionlevel: 30 MPa
- truncationlevel: 220 MPa

Erstellen Sie zunächst das oben genannte, synthetische Kollektive. Vgl. dazu [Synthetische Kollektive](#).

Wählen Sie im Eingabefenster des Berechnungsmoduls das erstellte synthetische Kollektiv aus. Aktivieren Sie die Checkboxen für Omission und Truncation und tragen Sie die zugehörigen Level ein.

Berechnung des Lastkollektivs

Omission / Truncation

Geben Sie bitte die erforderlichen Daten ein.

Kollektiv: Synth._Kollektiv

Omission anwenden
 Omissionslevel: 30
 Wird Omission angewendet, werden alle Amplituden unterhalb des Omissionslevels eliminiert.

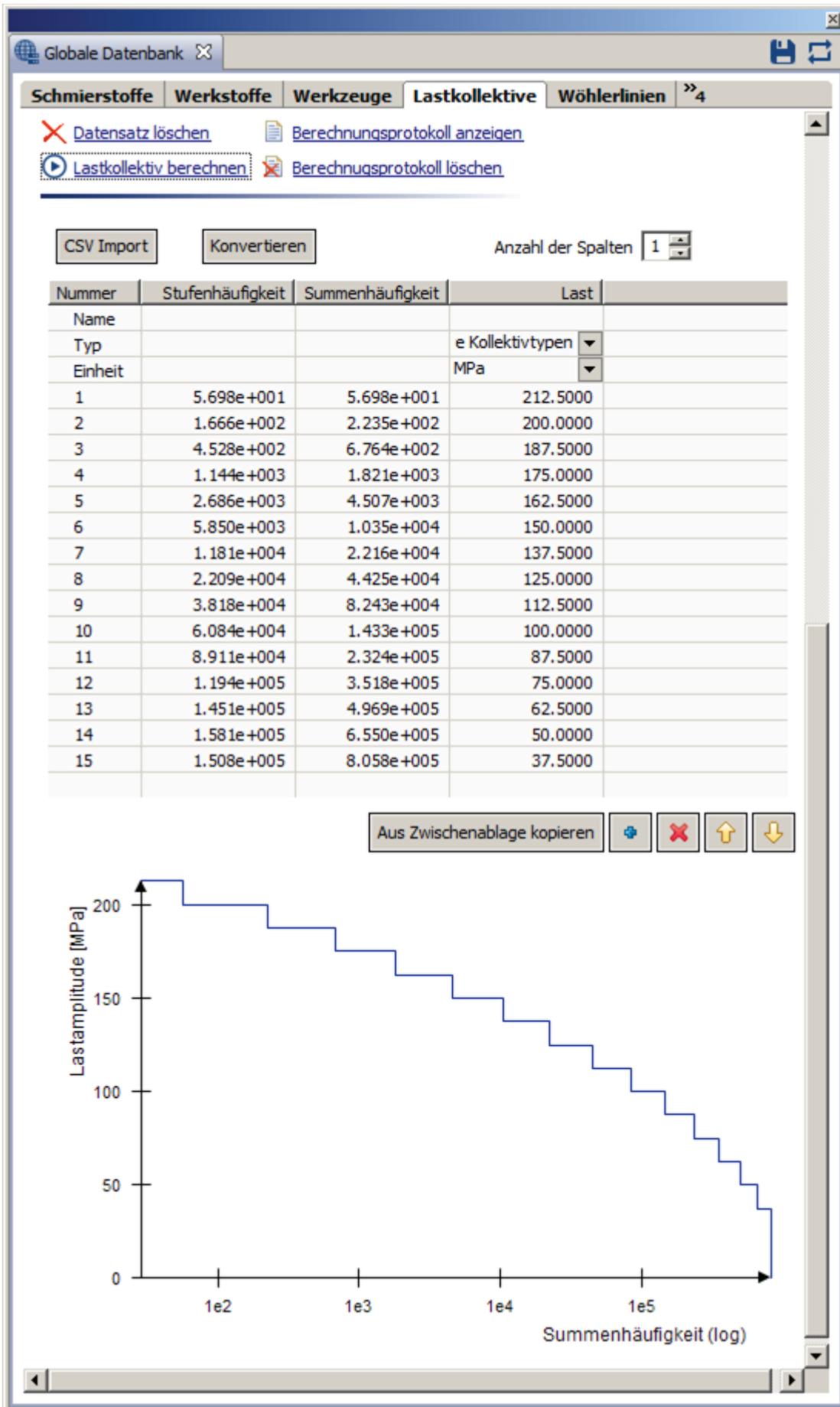
Truncation anwenden
 Truncationlevel: 220
 Wird Truncation angewendet, werden alle Amplituden oberhalb des Truncationlevels eliminiert.

Achtung: Der Schädigungsinhalt des Kollektivs darf sich durch Truncation und Omission nicht signifikant ändern!

Berechnungsprotokoll erstellen

? < Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Reduktion der Stufenanzahl

Berechnungsumfang

Aus Klassierverfahren stammende Kollektive können oft eine hohe Stufenanzahl besitzen. Diese hohe Stufenanzahl ist für eine Weiterverarbeitung, z.B. in der linearen Schadensakkumulation, nicht erforderlich und führt zu unnötig hohen Rechenzeiten. Einparametrische Kollektive können daher in ihrer Stufenanzahl reduziert werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Reduzierte Stufenanzahl](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Reduzierte Stufenanzahl

Die Zielstufenanzahl des Kollektivs ist vorzugeben.

Beispiel

Als Beispiel sollen ein synthetisches Kollektive mit den nachfolgenden Parametern stufenreduziert werden:

- Einheit: MPa
- Kollektivumfang: 1e6
- Kollektivhöchstwert: 250 MPa
- Formparameter: 2,0
- Stufenanzahl: 20

Reduzierte Stufenanzahl:

- 15

Erstellen Sie zunächst das oben genannte, synthetische Kollektive. Vgl. dazu [Synthetische Kollektive](#).

Wählen Sie im Eingabefenster des Berechnungsmoduls das erstellte, synthetische Kollektiv aus. Sie erhalten daraufhin eine Information über die bisherige Stufenanzahl.

Geben Sie darunter die reduzierte Stufenanzahl ein. Sie können sich die bezogene Schädigungsänderung durch die Stufenreduzierung anzeigen lassen. Klicken Sie dazu auf "Schädigungsänderung berechnen". Die Bestimmung der Schädigungsänderung wird durch eine lineare Schadensakkumulation nach Miner-elementar mit einer Wöhlerlinienneigung von $k = 5$ durchgeführt. Das stufenreduzierte Kollektiv hat immer einen höheren Schädigungsinhalt als das Ausgangskollektiv.

Berechnung des Lastkollektivs

Reduktion der Stufenanzahl

Bitte wählen Sie das Kollektiv und die gewünschte Stufenanzahl.

Kollektiv: Synth._Kollektiv

Bisherige Stufenanzahl: 20

Reduzierte Stufenanzahl: 15
(mindestens 5 Stufen)

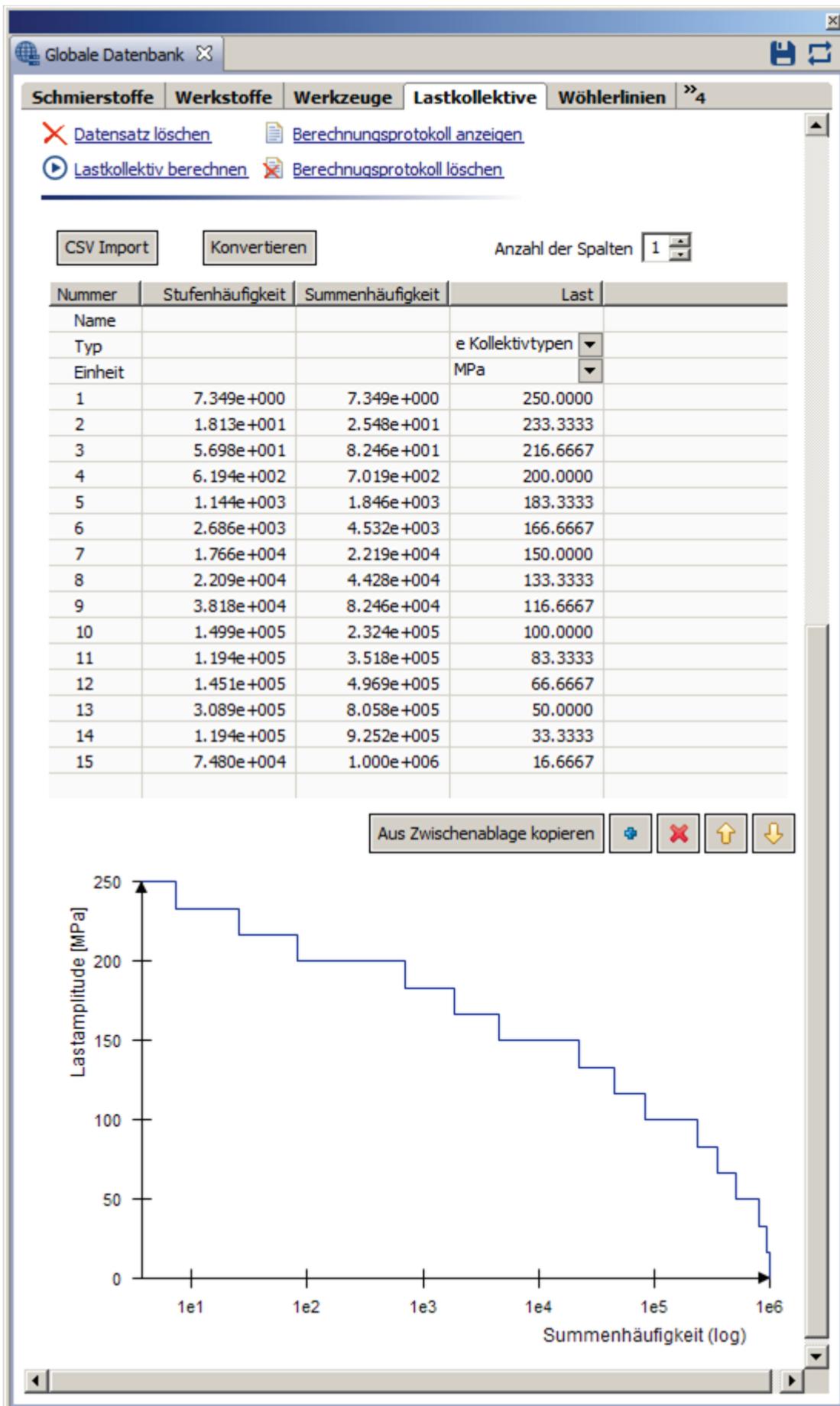
[Schädigungsänderung berechnen](#)

Bezogene Schädigungsänderung: 1.339e+000

Berechnungsprotokoll erstellen

? < Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Vergleichsspannung einer Zeitreihe berechnen

Berechnungsumfang

Für proportionale, mehrachsige Beanspruchungen kann in LDA+ ein Vergleichsspannungssignal berechnet werden, das anschließend klassiert werden kann. Eine proportionale Beanspruchung zeichnet sich dadurch aus, dass zwischen zwei beliebigen Spannungskomponenten je ein zeitlich konstanter Faktor gefunden werden kann.

LDA+ bietet zur Vergleichsspannungsberechnung die drei klassischen Hypothesen an:

- Schubspannungshypothese
- Gestaltänderungsenergiehypothese
- Normalspannungshypothese

Ein Vergleichsspannungssignal kann in LDA+ nur für einen ebenen Spannungszustand berechnet werden.

HINWEIS:

Das Ergebnis der Vergleichsspannungsberechnung ist eine BZF-Datei, z.B. für die [Rainflowklassierung](#). Da der Datensatz in der FVA-Workbench damit leer bleibt, kann kein Berechnungsprotokoll erstellt werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Dateiname der Zeitreihe](#)
- [Vergleichsspannungshypothese](#)
- [Toleranz \(0 - 10 %\)](#)
- [Dateiname des Vergleichssignals](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Dateiname der Zeitreihe

Die Zeitreihe, aus der die Vergleichsspannungszeitreihe berechnet werden soll, muss im MUL-Format vorliegen. Das MUL-Format ist eine ASCII-Datei, die vier tabulatorgetrennte Spalten und einen mit #-Zeichen gekennzeichneten Kopf enthält. Dabei gilt folgende Konvention:

- 1. Spalte: Zeit
- 2. Spalte: Normalspannung in x-Richtung
- 3. Spalte: Normalspannung in y-Richtung
- 4. Spalte: Schubspannung zur Ebene mit Normalenvektor in Richtung x oder y (xy-Schubspannung)

Dateiname und Pfad der MUL-Datei sind anzugeben.

Nachfolgend findet sich ein Minimalbeispiel für eine MUL-Datei:

```
# Testdatei für mehrachsiges Signal
# 1. Spalte: Zeit
# 2. Spalte: s_x
# 3. Spalte: s_y
# 4. Spalte: t_xy
0.00 -5.64 -4.51 -2.82
```

0.10 5.64 4.51 2.82
0.20 9.92 7.94 4.96
0.30 -9.92 -7.94 -4.96
0.40 -16.12 -12.90 -8.06
0.50 16.12 12.90 8.06

Vergleichsspannungshypothese

Das Vergleichsspannungssignal kann nach einer der drei klassischen Hypothesen berechnet werden:

- Schubspannungshypothese
- Gestaltänderungsenergiehypothese
- Normalspannungshypothese

Die gewünschte Hypothese ist auszuwählen.

Toleranz (0 - 10 %)

Die Vergleichsspannungsberechnung ist nur für proportionale Beanspruchungen zulässig. Das bedeutet, dass zwischen zwei Spannungskomponenten je ein konstanter Faktor gefunden werden kann.

LDA+ erlaubt eine geringe Abweichung vom mittleren Proportionalitätsfaktor, die vom Nutzer vorgegeben werden muss. Die Toleranz kann zwischen 0 % und 10 % gewählt werden.

Dateiname Vergleichssignal

Das Ergebnis der Vergleichsspannungsberechnung ist eine BZF-Datei, dessen Name und Pfad anzugeben ist. BZF-Dateien können z.B. anschließend [Rainflow klassiert](#) werden.

Beispiel

Als Beispiel soll die folgende Zeitreihe in ein Vergleichssignal überführt werden:

```
# Testdatei für mehrachsiges Signal
# 1. Spalte: Zeit
# 2. Spalte: s_x
# 3. Spalte: s_y
# 4. Spalte: t_xy
0.00 -5.64 -4.51 -2.82
0.10 5.64 4.51 2.82
0.20 9.92 7.94 4.96
0.30 -9.92 -7.94 -4.96
0.40 -16.12 -12.90 -8.06
0.50 16.12 12.90 8.06
0.60 -8.94 -7.15 -4.47
0.70 8.94 7.15 4.47
0.80 -10.95 -8.76 -5.47
0.90 2.42 1.94 1.21
1.00 -2.42 -1.94 -1.21
1.10 10.04 8.03 5.02
1.20 -10.04 -8.03 -5.02
1.30 4.91 3.93 2.45
1.40 -4.91 -3.93 -2.45
1.50 14.68 11.75 7.34
1.60 -14.68 -11.75 -7.34
1.70 66.79 53.43 33.39
```

1.80 47.68 38.15 23.84
1.90 -47.68 -38.15 -23.84
2.00 21.23 16.99 10.62
2.10 -21.23 -16.99 -10.62

Erstellen Sie eine neue Textdatei und füllen Sie diese mit dem oben dargestellten Inhalt. Speichern Sie die Textdatei und ändern Sie anschließend die Dateierdung von "*.txt*" und "*.mul".

Die Vergleichsspannung soll mit den folgenden Parametern berechnet werden:

- Vergleichsspannungshypothese: Gestaltänderungsenergiehypothese
- Toleranz (0 - 10 %): 3 %

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Nach erfolgreicher Berechnung erhalten Sie eine BZF-Datei mit folgendem Inhalt:

```
# Vergleichsspannungssignal geniert aus der Datei: D:\Beispiel.mul  
# Spalte 1: Zeit in s  
# Spalte 2: Vergleichssignal  
# Toleranz: 3.00 %  
0.0000 -7.9510  
0.1000 7.9510  
0.2000 13.9848  
0.3000 -13.9848  
0.4000 -22.7253  
0.5000 22.7253  
0.6000 -12.6032  
0.7000 12.6032  
0.8000 -15.4369  
0.9000 3.4116  
1.0000 -3.4116  
1.1000 14.1540  
1.2000 -14.1540  
1.3000 6.9219  
1.4000 -6.9219  
1.5000 20.6953  
1.6000 -20.6953  
1.7000 94.1578  
1.8000 67.2173  
1.9000 -67.2173
```

2.0000 29.9292
2.1000 -29.9292



Stapelverarbeitung

Berechnungsumfang

Liegen eine Mehrzahl von Zeitreihen vor, die dem gleichen Klassierverfahren unterzogen werden sollen, kann eine Stapelverarbeitung verwendet werden. In LDA+ steht für die folgenden Klassierverfahren eine Stapelverarbeitung zur Verfügung:

- [Rainflowzählung \(BZF-Dateien\)](#)
- [Einparametrische Verweildauerzählung \(ZVL-Dateien\)](#)
- [Zweiparametrische Verweildauerzählung \(ZVL-Dateien\)](#)

Die zu verwendenden Klassierverfahren sind auszuwählen. Die Klassierverfahren werden anschließend nacheinander parametrier.

Die Stapelverarbeitung ermöglicht, dass die Informationen über den Design-Load-Case (= DLC) und seine anteilige Häufigkeit gemäß IEC 61400-4 auf Wunsch am Datensatz gespeichert werden. Die Informationen über die DLCs müssen sich in einer separaten DLC-Infodatei (.dlc-Datei) befinden, die im gleichen Verzeichnis liegt wie die Zeitreihen.

Die DLC-Infodatei ist eine Textdatei im ASCII-Format. Sie enthält zeilenweise durch Tabulator getrennt die Informationen über Dateiname, DLC-Nummer und anteilige Häufigkeit. Einträge, die nicht durch Tabulatoren getrennt sind, werden als Kommentare erkannt.

Beispiel für eine DLC-Infodatei (.dlc-Datei):

Dateiname	DLC-Nummer	Anteilige Häufigkeit
Antriebsstrang1.zvl	1.1	0.95
Antriebsstrang2.zvl	2.1	0.30

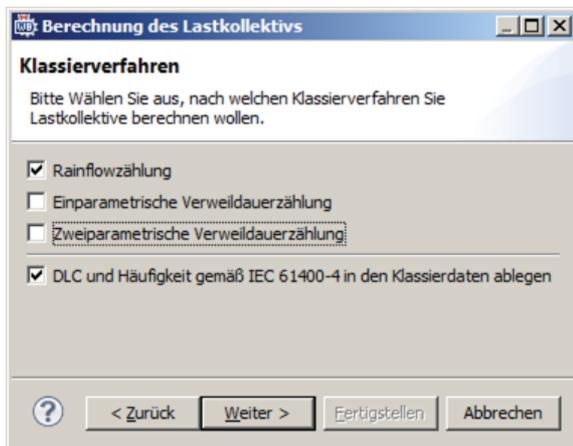
In einer DLC-Infodatei können sich sowohl Verweise auf [BZF-Dateien](#) als auch Verweise auf [ZVL-Dateien](#) befinden.

Arbeitsweise

Nachfolgend wird die grundsätzliche Arbeitsweise mit der Stapelverarbeitung zur Generierung von Lastkollektiven illustriert.

Die zu verwendenden Zählverfahren sind im ersten Schritt auszuwählen. Dabei ist mindestens ein Zählverfahren zu markieren. Werden mehrere Zählverfahren markiert, wird die Parametrierung nacheinander abgefragt.

Sollen der DLC und seine Häufigkeit einer ausgewählten [ZVL-](#) oder [BZF-Datei](#) gemäß IEC 61400-4 dem Klassierdatensatz angehängt werden, dann ist der entsprechende Haken zu setzen. Im nächsten Schritt ist dann eine DLC-Infodatei anzugeben.



Durch die Auswahl einer DLC-Infodatei werden die zugehörigen Dateien automatisch geladen und dem Anwender angezeigt. Sie können Dateien aber auch manuell ohne eine DLC-Infodatei zur Stapelverarbeitung hinzufügen.

Sind alle Dateien ausgewählt, haben Sie die Möglichkeit sich die Klassengrenzen vorschlagen zu lassen. Dabei bestehen zwei Optionen:

- Globale Klassengrenzen vorschlagen (für alle Dateien gelten die gleichen Klassengrenzen)
- Individuelle Klassengrenzen vorschlagen (für jede Datei werden separate Klassengrenzen vorgeschlagen)

Berechnung des Lastkollektivs

Rainflowklassierung

Dateiname	Kollektivname	DLC	Anteil	Klassenuntergrenze	Klassenobergrenze
Y:\2012_CMUE_FVA_LDaplusV\Ergebnisse\Validierungen\Beispiele_S...	Kritische_Stelle_DLC_1.1	1.1	0.9500	-93.0638	77.2048
Y:\2012_CMUE_FVA_LDaplusV\Ergebnisse\Validierungen\Beispiele_S...	Kritische_Stelle_DLC_2.1	2.1	0.2000	42.2755	214.7245
Y:\2012_CMUE_FVA_LDaplusV\Ergebnisse\Validierungen\Beispiele_S...	Kritische_Stelle_DLC_3.1	3.1	0.3000	-32.7379	59.2397

[DLC-Datei öffnen](#) [Globale Klassengrenzen vorschlagen](#)
[Datei hinzufügen](#) [Individuelle Klassengrenzen vorschlagen](#)

Einheit:

Klassenanzahl:

Rückstellbreite (absolut):

Residuum in der Matrix berücksichtigen

Ergebnisordner der Rainflowmatrizen:

Amplitudentransformation

Rainflowmatrix in ein Amplitudenkollektiv überführen
 Mittelspannungen durch Amplitudentransformation gemäß FKM-Richtlinie berücksichtigen

Spannungsverhältnis: R

Normalspannungen
 Schubspannungen

Mittelspannungsempfindlichkeit: M

Berechnungsprotokoll erstellen

Im Falle einer [Rainflowklassierung](#) als Zählverfahren kann der Klassierung eine direkte [Amplitudentransformation](#) angeschlossen werden. Wird keine [Amplitudentransformation](#) gewählt, werden nur die Rainflowmatrizen im gewählten Ergebnisordner angelegt. Die Matrizen werden dabei automatisch gemäß ihrer Quell-BZF-Datei benannt.

Zur Erklärung der Eingabewerte der einzelnen Zählverfahren wird auf die entsprechenden Hilfedateien verwiesen.

Zweiparametrische Verweildauerzählung

Berechnungsumfang

Mit der zweiparametrischen Verweildauerzählung können STplus-kompatible Lastkollektive erstellt werden, die dort einer Tragfähigkeitsrechnung zugeführt werden.

Zu jeder Kombination aus Drehmoment und Drehzahl wird die Verweildauer in Form von Lastwechseln aus einer ZVL-Datei ermittelt.

Das Ergebnis der zweiparametrischen Verweildauerzählung ist ein zweiseitiges Lastkollektiv mit folgendem Inhalt:

- Auf die Nenndrehzahl bezogene Drehzahl
- Auf das Nennmoment bezogenes Drehmoment
- Auf die größte Summenhäufigkeit bezogene Lastwechsel

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Dateiname](#)
- [Drehmoment an Masse](#)
- [Nennmoment](#)
- [Drehzahl an Masse](#)
- [Nenndrehzahl](#)
- [Klassenmitten oder Klassenobergrenzen betragsmäßig zählen](#)
- [Klassenanzahl Drehmoment](#)
- [Klassenanzahl Drehzahl](#)
- [Klassenobergrenze Drehmoment](#)
- [Klassenuntergrenze Drehmoment](#)
- [Klassenobergrenze Drehzahl](#)
- [Klassenuntergrenze Drehzahl](#)
- [Klassengrenzen vorschlagen](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Dateiname

Die zweiparametrische Verweildauerzählung liest Zeitverlaufsdateien im ZVL-Format ein (ASCII-Datei). Das ZVL-Format wird durch das FVA-Programm DRESP definiert.

Zur Durchführung einer zweiparametrischen Verweildauerzählung muss die ZVL-Datei folgenden Inhalt besitzen:

- Zeitspalte in s
- Mindestens eine Drehzahlspalte in 1/min
- Mindestens eine Drehmomentspalte in Nm

Die verwendeten Einheiten für die unterschiedlichen physikalischen Größen werden durch das ZVL-Format

festgeschrieben.

Dateiname und Pfad der einzulesenden ZVL-Datei müssen angegeben werden.

Drehmoment an Masse

Die zweiparametrische Verweildauerzählung verwendet zum Klassieren einen Drehmoment- und einen Drehzahlzeitverlauf. Die zu verwendende Drehmomentspalte in der [ZVL-Datei](#) ist auszuwählen. Im Pulldownmenü werden nur die in der [ZVL-Datei](#) vorhandenen Drehmomentspalten gelistet.

Nenndrehmoment

Die zweiparametrische Verweildauerzählung berechnet ein Kollektiv, bei dem die Drehmomente auf das Nennmoment bezogen sind. Das Nennmoment für die im Pulldownmenü ausgewählte Masse ist hier in Nm anzugeben.

Soll die Drehmomentspalte des Kollektivs nicht auf das Nennmoment bezogen werden, kann hier als Nennmoment 1 Nm vorgegeben werden.

Drehzahl an Masse

Die zweiparametrische Verweildauerzählung verwendet zum Klassieren einen Drehmoment- und einen Drehzahlzeitverlauf. Die zu verwendende Drehzahlspalte in der [ZVL-Datei](#) ist auszuwählen. Im Pulldownmenü werden nur die in der [ZVL-Datei](#) vorhandenen Drehzahlspalten gelistet.

Nenndrehzahl

Die zweiparametrische Verweildauerzählung berechnet ein Kollektiv, bei dem die Drehzahlen auf die Nenndrehzahl bezogen sind. Die Nenndrehzahl für die im Pulldownmenü ausgewählte Masse ist hier in 1/min anzugeben.

Soll die Drehzahlspalte des Kollektivs nicht auf die Nenndrehzahl bezogen werden, kann hier als Nenndrehzahl 1 1/min vorgegeben werden.

Klassenmitten oder Klassenobergrenzen betragsmäßig zählen

Jeder Drehzahl- bzw. Drehmomentklasse ist eine physikalische Größe hinterlegt, die sich aus den gewählten Klassengrenzen und Klassenanzahlen ergeben.

Hier kann festgelegt werden, ob diese physikalische Größe der Klassenmitte entspricht oder der betragsmäßigen Klassenobergrenze.

Klassenanzahl Drehmoment

Die Drehmomentspanne in der ZVL-Datei wird in eine endlich Anzahl an Klassen eingeteilt. Die Klassenanzahl für das Drehmoment ist hier anzugeben. Eine typische Klassenanzahl ist 10.

Klassenanzahl Drehzahl

Die Drehzahlspanne in der ZVL-Datei wird in eine endlich Anzahl an Klassen eingeteilt. Die Klassenanzahl für die Drehzahl ist hier anzugeben. Eine typische Klassenanzahl ist 10.

Klassenobergrenze Drehmoment

Die Klassenobergrenze für das Drehmoment ist die physikalische Obergrenze für die größte Drehmomentklasse. Sie sollte immer etwas größer sein als das größte, in der [ZVL-Datei](#) vorkommende Drehmoment.

Die Klassengrenzen können auch [automatisch vorgeschlagen](#) werden. Beim automatischen Vorschlagen werden die Grenzen so gewählt, dass das größte Drehmoment im Kollektiv wiedergefunden wird.

Klassenuntergrenze Drehmoment

Die Klassenuntergrenze für das Drehmoment ist die physikalische Untergrenze für die kleinste Drehmomentklasse. Sie sollte immer etwas kleiner sein als das kleinste, in der [ZVL-Datei](#) vorkommende Drehmoment.

Die Klassengrenzen können auch [automatisch vorgeschlagen](#) werden. Beim automatischen Vorschlagen werden die Grenzen so gewählt, dass das kleinste Drehmoment im Kollektiv wiedergefunden wird.

Klassenobergrenze Drehzahl

Die Klassenobergrenze für die Drehzahl ist die physikalische Obergrenze für die größte Drehzahlklasse. Sie sollte immer etwas größer sein als die größte, in der [ZVL-Datei](#) vorkommende Drehzahl.

Die Klassengrenzen können auch [automatisch vorgeschlagen](#) werden. Beim automatischen Vorschlagen werden die Grenzen so gewählt, dass die größte Drehzahl im Kollektiv wiedergefunden wird.

Klassenuntergrenze Drehzahl

Die Klassenuntergrenze für die Drehzahl ist die physikalische Untergrenze für die kleinste Drehzahlklasse. Sie sollte immer etwas kleiner sein als die kleinste, in der [ZVL-Datei](#) vorkommende Drehzahl.

Die Klassengrenzen können auch [automatisch vorgeschlagen](#) werden. Beim automatischen Vorschlagen werden die Grenzen so gewählt, dass die kleinste Drehzahl im Kollektiv wiedergefunden wird.

Klassengrenzen vorschlagen

Die Klassengrenzen für Drehmoment und Drehzahl können auch automatisch von LDA+ vorgeschlagen werden. LDA+ durchsucht dazu die [ZVL-Datei](#) und wählt die Klassengrenzen derart, dass sich die Extrema im Kollektiv wiederfinden. Die vorgeschlagenen Klassengrenzen sind abhängig von der gewählten [Zählweise](#) (auf Klassenmitten bzw. auf Klassengrenzen zählen).

Beispiel

In einer Simulation wurde die nachfolgend dargestellte ZVL-Datei erstellt.

```
# Schwingungsmodell2.ZVL
# Erstellt am: 16.05.11 um: 09:30:42 von: 100
# -2 0.000000E+00
# 4 2
# 2 2
# 'Welle',
# 'Welle',
0.000000000E+00 2.300000E+00 6.000000E-01
1.000000000E+00 2.000000E+00 2.400000E+00
2.000000000E+00 4.000000E+00 2.900000E+00
```

3.000000000E+00 2.600000E+00 2.900000E+00
4.000000000E+00 6.000000E-01 2.900000E+00
5.000000000E+00 2.000000E+00 2.900000E+00
6.000000000E+00 2.300000E+00 2.000000E+00

Die Beispiel-ZVL-Datei besteht aus einer Zeitspalte (1. Spalte), einer Drehzahlspalte (2. Spalte) und einer Drehmomentenspalte (3. Spalte). Erstellen Sie eine neue Textdatei mit einem Editor und kopieren Sie den oben dargestellten Inhalt in die Textdatei. Speichern Sie anschließend die Datei und ändern Sie nachträglich die Dateiendung von "*.txt" in "*.ZVL."

Die Zählung soll mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Drehmoment an Masse: Torsionsmoment (PHI) (2) Welle
- Nennmoment: 1 Nm
- Drehzahl an Masse: Drehzahl (PHI) (2) Welle
- Nenndrehzahl: 1 1/min
- Zählweise: Klassenmitten zählen
- Klassenanzahl Drehmoment: 10
- Klassenanzahl Drehzahl: 6
- Klassenobergrenze Drehmoment: 3,1 Nm
- Klassenuntergrenze Drehmoment: 0,4 Nm
- Klassenobergrenze Drehzahl: 4,4 1/min
- Klassenuntergrenze Drehzahl: 0,2 1/min

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung des Lastkollektivs

Zweiparametrische Verweildauerzählung

Geben Sie die benötigten Daten an.

Dateiname: ...

Drehmoment an Masse: ▼

Nennmoment:

Drehzahl an Masse: ▼

Nenn Drehzahl:

Klassenmitten zählen
 Klassenobergrenzen betragsmäßig zählen (konservative Zählung)

Klassenanzahl Drehmoment:

Klassenanzahl Drehzahl:

Drehmoment

Klassenobergrenze:

Klassenuntergrenze:

Drehzahl

Klassenobergrenze:

Klassenuntergrenze:

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.

Globale Datenbank

Werkstoff | Schmierstoff | Werkzeug | Reibwerte | **Lastkollektiv** | Wöhlerlinie >>3

[Datensatz löschen](#) | [Berechnungsprotokoll anzeigen](#)
[Lastkollektiv berechnen](#) | [Berechnungsprotokoll löschen](#)

| | Anzahl der Spalten

Nummer	Stufenhäufigkeit	Summenhäufigkeit	rel. Drehmoment	rel. Drehzahl
Name				
Typ			el. Drehmoment ▼	rel. Drehzahl ▼
Einheit			▼	▼
1	4.444e-002	4.444e-002	2.9650	0.5500
2	1.481e-001	1.926e-001	2.4250	1.9500
3	1.481e-001	3.407e-001	2.9650	1.9500
4	8.519e-002	4.259e-001	0.5350	2.6500
5	8.519e-002	5.111e-001	1.8850	2.6500
6	1.926e-001	7.037e-001	2.9650	2.6500
7	2.963e-001	1.000e+000	2.9650	4.0500

Klassenreduzierung zweiparametrischer Kollektive

Berechnungsumfang

Mit der Klassenreduzierung für zweiparametrische Kollektive ist es möglich, STplus-kompatible Lastkollektive (zweiparametrische Kollektive) in ihren beiden Klassenanzahlen (Drehmoment und Drehzahl) unabhängig voneinander zu reduzieren.

Die Klassenreduzierung erfolgt dabei immer konservativ, so dass das klassenreduzierte Kollektiv immer härter ist als das Ausgangskollektiv.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein [Anwendungsbeispiel](#) gegeben.

- [Kollektiv](#)
- [Reduzierte Stufenanzahl Drehmoment](#)
- [Reduzierte Stufenanzahl Drehzahl](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Kollektiv

Ausgangsbasis für eine Stufenreduktion eines zweiparametrischen Kollektivs ist ein Lastkollektiv mit zwei schadigungsrelevanten Spalten (Drehmoment und Drehzahl für STplus). Das Ausgangskollektiv ist hier auszuwählen.

Nach Auswahl des Ausgangskollektivs werden die bisher belegten Stufenanzahlen für Drehmoment und Drehzahl angezeigt.

HINWEIS:

Im Pulldownmenü für das Kollektiv können nur Kollektive ausgewählt werden, die die Anforderungen an ein zweiparametrisches Kollektiv erfüllen.

Reduzierte Stufenanzahl Drehmoment

Die neue (reduzierte) Klassenanzahl für das Drehmoment muss eingegeben werden. Sie muss kleiner oder gleich der Drehmomentklassenanzahl des Ausgangskollektivs sein.

Reduzierte Stufenanzahl Drehzahl

Die neue (reduzierte) Klassenanzahl für die Drehzahl muss eingegeben werden. Sie muss kleiner oder gleich der Drehzahlklassenanzahl des Ausgangskollektivs sein.

Beispiel

Führen Sie zunächst das Beispiel zur zweiparametrischen Verweildauerzählung aus, um ein zweiparametrisches Lastkollektiv anzulegen.

Die Klassenreduktion soll mit den folgenden Parametern durchgeführt werden:

- Reduzierte Stufenanzahl Drehmoment: 3
- Reduzierte Stufenanzahl Drehzahl: 2

Die Parameter werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

The screenshot shows a software window titled "Berechnung des Lastkollektivs" with a sub-header "Reduktion der Stufenanzahl". Below the sub-header is the instruction "Bitte wählen Sie das Kollektiv und die gewünschte Stufenanzahl." The form contains the following elements:

- A dropdown menu for "Kollektiv" with the value "STplus_Kollektiv" selected.
- Two labels: "Bisherige belegte Stufenanzahl Drehmoment" and "Bisherige belegte Stufenanzahl Drehzahl", which are currently empty.
- A text input field for "Reduzierte Stufenanzahl Drehmoment" containing the value "3".
- A text input field for "Reduzierte Stufenanzahl Drehzahl" containing the value "2".
- A checked checkbox labeled "Berechnungsprotokoll erstellen".
- At the bottom, there are four buttons: a help icon (?), "< Zurück", "Weiter >", "Fertigstellen", and "Abbrechen".

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.

This screenshot is identical to the one above, showing the same dialog box. The only difference is that the "Fertigstellen" button is now highlighted with a dark border, indicating that the calculation process is complete.

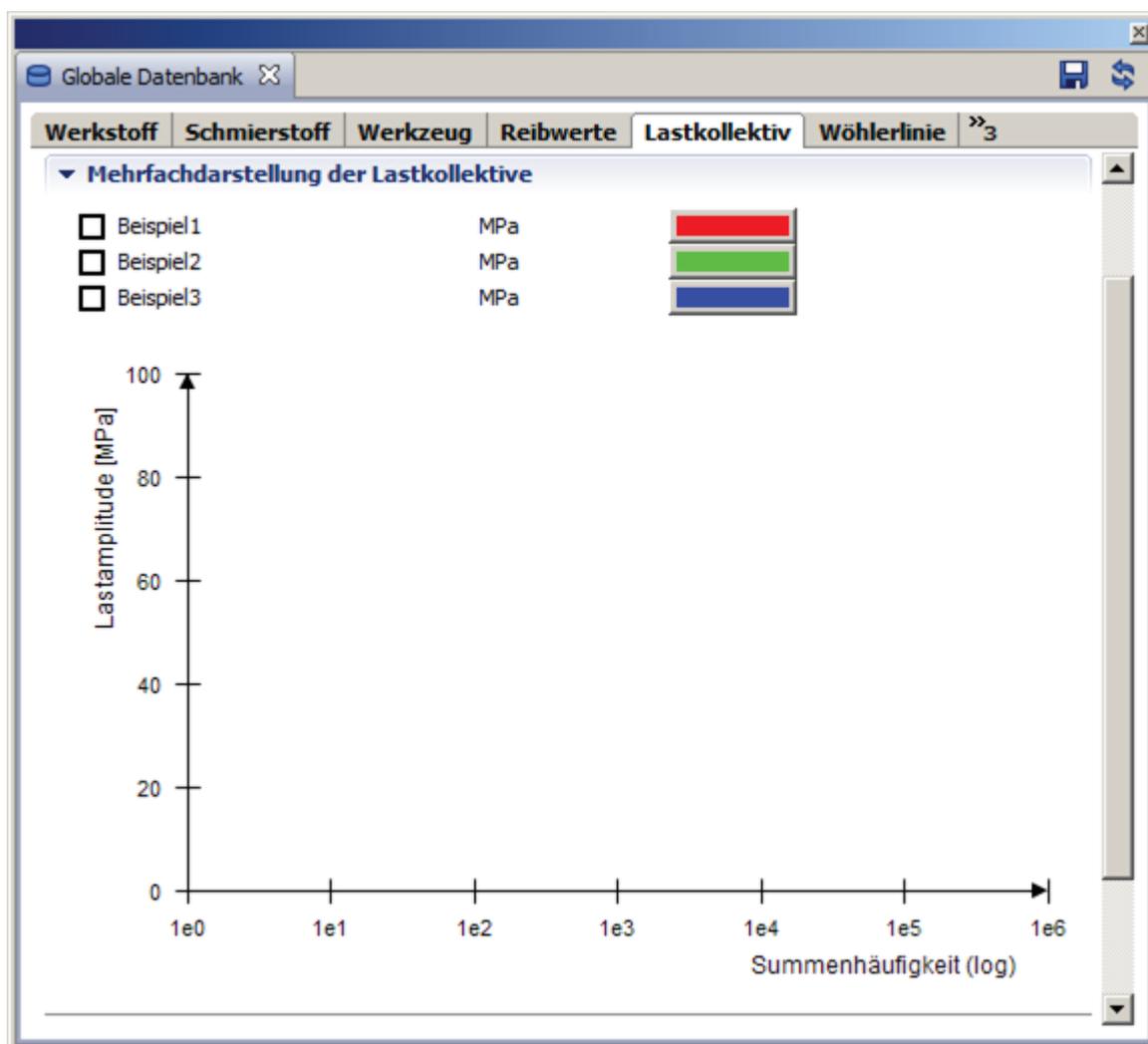
Mehrfachdarstellung von Lastkollektiven

Leistungsumfang

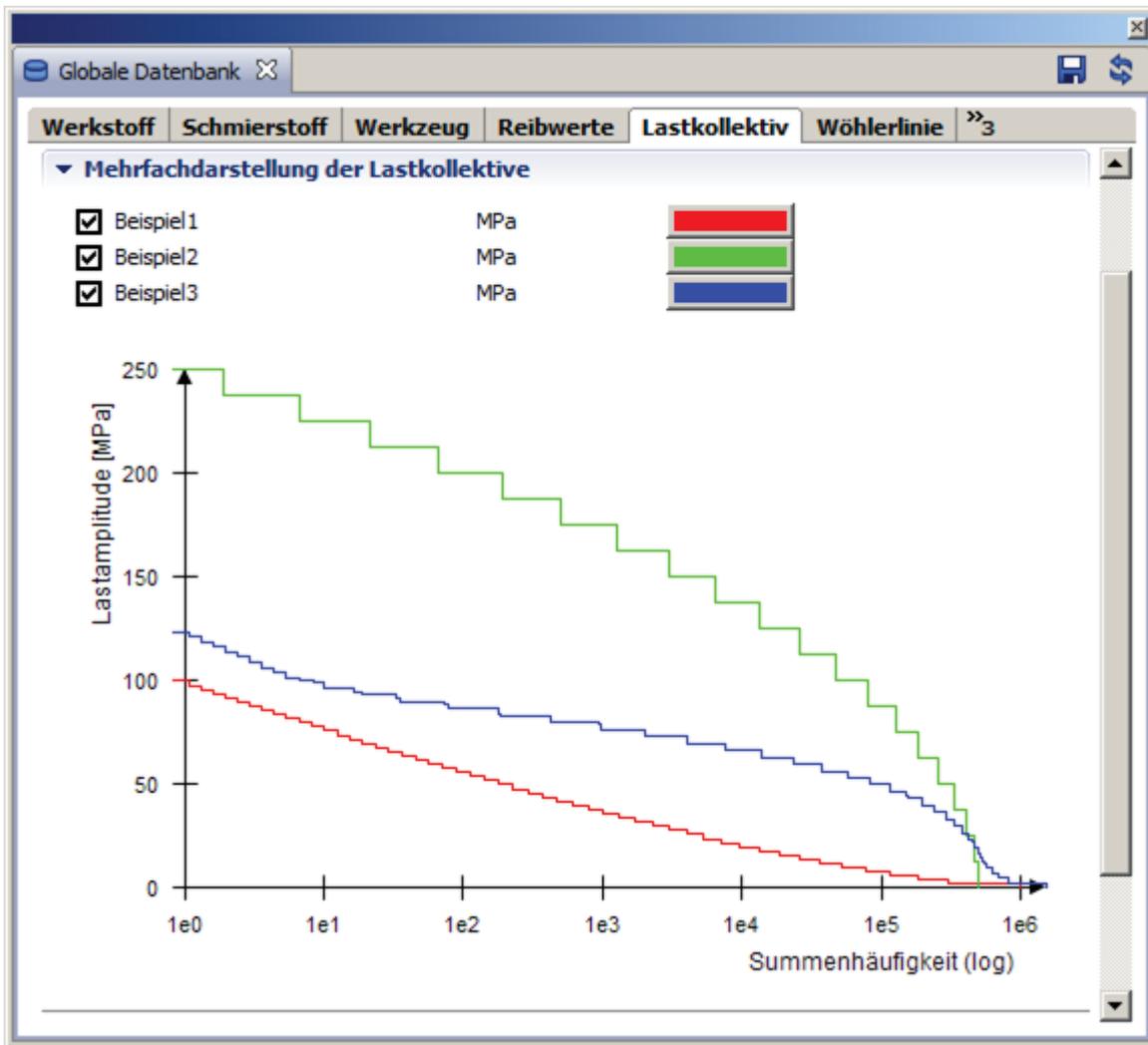
Im Modul Lastkollektiv angelegte, einparametrische Kollektive können in einer Mehrfachdarstellung komfortabel miteinander verglichen werden.

Dazu existiert im Modul Lastkollektiv der Sonderdatensatz "Mehrfachdarstellung der Lastkollektive".

Nach Öffnen des Sonderdatensatzes werden alle vorhandenen Lastkollektive gelistet.



Durch Anwahl der entsprechenden Checkboxes werden die gewünschten Kollektive dargestellt. Dabei können nur Kollektive mit gleichen Einheiten zusammen gezeigt werden. Die farbliche Darstellung der einzelnen Lastkollektive lässt sich durch einen Klick auf den zugeordneten Farbbutton auswählen.



Modul Wöhlerlinie

Modulbeschreibung

Wöhlerlinien stellen den Zusammenhang zwischen einstufig ertragbarer Lastamplitude und zugehöriger Schwingenzahl dar. Im Modul Wöhlerlinie können experimentelle Wöhlerlinien ausgewertet und synthetische Wöhlerlinien berechnet werden. Das Modul Wöhlerlinie beinhaltet die folgenden sechs Berechnungsroutinen:

- [Angabe von Versuchspunkten \(experimentelle Wöhlerlinie\)](#)
- [Berechnung nach VDEh \(rechnerische Wöhlerlinie mit Nennspannungen\)](#)
- [Berechnung nach Bergmann \(rechnerische Wöhlerlinie mit Nennspannungen\)](#)
- [Berechnung nach Künstlich Neuronalen Netzen FVA 380 \(rechnerische Wöhlerlinie mit örtlichen Spannungen\)](#)
- [Berechnung der örtlichen Wöhlerlinie nach FKM-Richtlinie \(rechnerische Wöhlerlinie mit örtlichen Spannungen\)](#)
- [Berechnung einer Schraubenwöhlerlinie nach VDI 2230 \(rechnerische Wöhlerlinie mit Nennspannungen\)](#)

Die angelegten Wöhlerlinien können in einer [Mehrfachdarstellung](#) visualisiert und untereinander komfortabel verglichen werden.

Angabe von Versuchspunkten (experimentelle Wöhlerlinie)

Berechnungsumfang

Experimentelle Wöhlerlinien können mit LDA+ durch die Angabe der Versuchspunkte (Amplitude und Schwingspielzahl) ausgewertet werden. Die Versuchspunkte müssen im Zeitfestigkeitsgebiet aufgenommen worden sein und werden mittels des Perlenschnurverfahrens ausgewertet.

Die Dauerfestigkeit wird durch die Angabe der Ecklastschwingspielzahl abgeschätzt. Zur genauen Bestimmung einer Dauerfestigkeit müssen Dauerfestigkeitsversuche ausgewertet werden.

Ergebnis der Berechnungsroutine ist die Angabe der 50 %-Wöhlerlinie inkl. abgeschätzter Standardabweichung in Schwingspielzahlrichtung, sowie die Angabe der Wöhlerlinie für Überlebenswahrscheinlichkeiten von $P_{\bar{u}} = 10\%$ und $P_{\bar{u}} = 90\%$.

Bei der Auswertung wird davon ausgegangen, dass die Versuchsergebnisse einer logarithmischen Normalverteilung folgen.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Anzahl der Versuchspunkte](#)
- [Einheit](#)
- [Ecklastschwingspielzahl](#)
- [Bruchfestigkeit](#)
- [Plastische Grenzlast \(Knicklast\)](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Anzahl der Versuchspunkte

Die Anzahl der auszuwertenden Versuchspunkte ist anzugeben. Nach Angabe der Anzahl der Versuchspunkte passt sich die Eingabetabelle für die Versuchspunkte entsprechend an.

In die Auswertung dürfen nur Versuchspunkte einfließen, die aus dem Gebiet der Zeitfestigkeit stammen.

Für eine ausreichend sichere Aussage sollten möglichst viele Versuchspunkte (> 15) verwendet werden.

Einheit

Wöhlerlinien können für nahezu beliebige physikalische Lastgrößen aufgenommen werden. Wählen Sie die Einheit der Last für die Versuchspunkte aus.

Ecklastschwingspielzahl

Die eingegebenen Versuchspunkte werden mit dem Perlenschnurverfahren ausgewertet, das die Zeitfestigkeitsgerade liefert. Die Zeitfestigkeitsgerade wird bis zur Ecklastschwingspielzahl verlängert. Der Schnittpunkt der Zeitfestigkeitsgeraden mit der Ecklastschwingspielzahl definiert die abgeschätzte

Dauerfestigkeit.

Für eine genauere Ermittlung der Dauerfestigkeit müssen Dauerfestigkeitsversuche ausgewertet werden.

Bruchfestigkeit

Die Bruchfestigkeit definiert den Punkt der Wöhlerlinie für eine Schwingspielzahl von $N = 1$. Von der Bruchfestigkeit aus wird die Wöhlerlinie im doppeltlogarithmischen Diagramm bis zur plastischen Grenzlast linear verlängert.

Plastische Grenzlast (Knicklast)

Die eingegebenen Versuchspunkte werden mit dem Perlenschnurverfahren ausgewertet, das die Zeitfestigkeitsgerade liefert. Die Zeitfestigkeitsgerade wird bis zur plastischen Grenzlast verlängert.

Beispiel

In einem Einstufenversuch wurden im Zeitfestigkeitsgebiet die folgenden Versuchspunkte ermittelt.

i	Lastamplitude in MPa	Schwingspielzahl
1	380	1e3
2	300	1e4
3	250	2e4
4	200	1e5
5	100	1e6

Für das Bauteil sind die zusätzlich die folgenden Kennwerte bekannt:

- Ecklastschwingspielzahl: 2e6
- Bruchfestigkeit: 500 MPa
- Plastische Grenzlast: 400 MPa

Die Versuchskennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung der Wöhlerlinie

Versuchspunkte einer Wöhlerlinie

Geben Sie die Versuchspunkte ein oder wählen Sie eine Datei mit Versuchspunkten

Dateiname ...

Anzahl der Versuchspunkte

Einheit

Ecklastschwingspielzahl

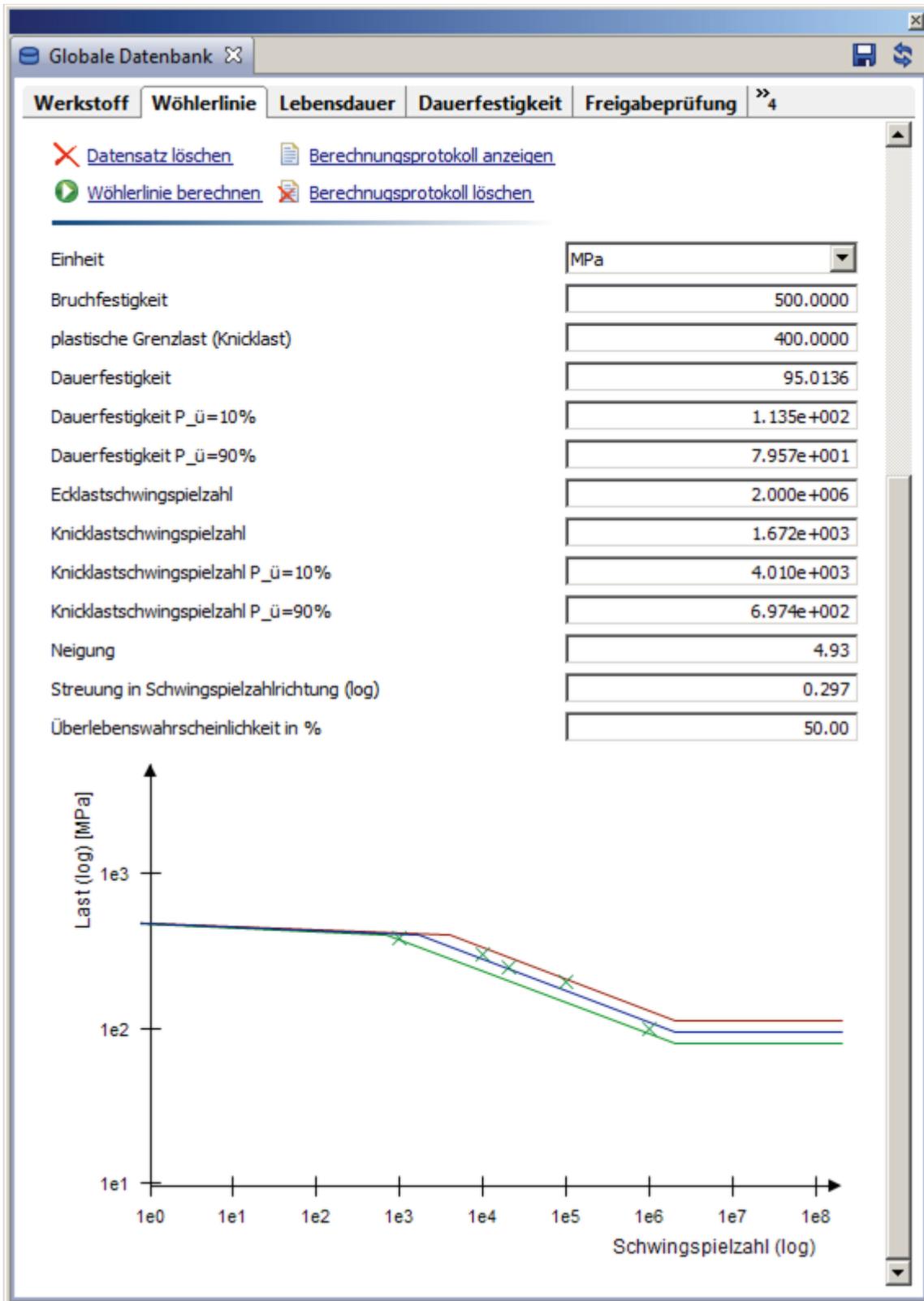
Bruchfestigkeit

plastische Grenzlast (Knicklast)

Nummer	Amplitude	Schwingspielzahl
1	380	1000
2	300	10000
3	250	20000
4	200	100000
5	100	1e6

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Berechnung nach VDEh (rechnerische Wöhlerlinie)

Berechnungsumfang

Mit dem Verfahren nach VDEh können Nennspannungswöhlerlinien aus statischen Festigkeitskennwerten und Konstruktionsdaten abgeleitet werden.

Die synthetischen Wöhlerlinien nach VDEh liefern eine Wöhlerlinie für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_0 = 50\%$.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Zugfestigkeit \$R_m\$](#)
- [Streckgrenze \$R_{p0,2}\$](#)
- [Formzahl \$K_t\$](#)
- [Rauigkeit \$R_z\$](#)
- [Spannungsgradient](#)
- [Spannungsverhältnis](#)
- [Geschmiedet](#)
- [Bauteilgröße](#)
- [Material](#)
- [Belastungsart](#)
- [Streuung in Schwingspielzahlrichtung](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Zugfestigkeit R_m

Die Zugfestigkeit ist ein Werkstoffkennwert (kein Bauteilkennwert). Sie ist die einmalig maximal ertragbare Spannung des Werkstoffs.

Sie kann auf drei verschiedenen Weisen ermittelt werden:

- Aus einem Zugversuch (empfohlen)
- Durch Entnahme aus Werkstoffnormen
- Durch Abschätzung aus der Brinell-Härte (nicht empfohlen)

Streckgrenze $R_{p0,2}$

Die Streckgrenze ist ein Werkstoffkennwert (kein Bauteilkennwert). Sie markiert die Spannung, die im Werkstoff eine irreversible Dehnung von 0,2 % nach Entlastung zurücklässt.

Sie kann auf zwei verschiedenen Weisen ermittelt werden:

- Aus einem Zugversuch (empfohlen)
- Durch Entnahme aus Werkstoffnormen

Formzahl K_t

Die Formzahl K_t ist ein Konstruktionskennwert, der ein Maß für die Schärfe der Kerbe ist. Sie beschreibt das Verhältnis aus maximaler, örtlicher Spannung im Kerbgrund und der zugehörigen Nennspannung. Die Formzahl ist abhängig von der Belastungsart und von bezogenen, geometrischen Größen (geometrische Ähnlichkeit). Die Formzahl gilt nur für elastisches Werkstoffverhalten.

Die Formzahl kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden:

- Ermittlung aus Literaturwerten für bekannte Kerbgeometrien (z.B. Wellenabsatz)
- Ermittlung durch Finite-Elemente-Rechnungen
- Ermittlung durch experimentelle Spannungsanalyse

Rauigkeit R_z

Die Rauigkeit R_z ist ein Konstruktionskennwert. Sie beschreibt die gemittelte Rautiefe an der Bauteiloberfläche an der kritischen Stelle (Kerbe).

Spannungsgradient

Der Spannungsgradient (bezogenes Spannungsgefälle) ist ein Konstruktionskennwert. Er ist die Steigung der örtlichen Beanspruchungsfunktion über dem Querschnitt bezogen auf die maximale Spannung im Kerbgrund, ausgewertet am Ort der maximalen Spannung. Der Spannungsgradient ist wie die Formzahl abhängig von der Belastungsart.

Der Spannungsgradient kann auf zwei Arten bestimmt werden:

- Aus Literaturwerten für bekannte Kerbgeometrien (z.B. Wellenabsatz)
- Aus Finite-Elemente-Rechnungen

Spannungsverhältnis

Wöhlerlinien werden für konstante Spannungsverhältnisse aufgenommen. Mit Hilfe des Haigh-Diagramms können Wöhlerlinien auf verschiedene Spannungsverhältnisse umgerechnet werden.

Das Wunschspannungsverhältnis ist anzugeben, z.B. $R = -1$.

Geschmiedet

Die Bauteilfertigung hat einen Einfluss auf die erreichbaren Festigkeitskennwerte. Unterschieden wird, ob ein Bauteil geschmiedet wurde oder nicht.

Bauteilgröße

Bei runden Bauteilen ist der Durchmesser als Bauteilgröße zu verwenden. Bei nicht runden Bauteilen entspricht die Bauteilgröße der Erstreckung in der Lastebene (z.B. Höhe eines Biegeträgers).

Material

Unterschiedliche Materialien besitzen unterschiedliche Wöhlerliniencharakteristiken. Das verwendete Material

ist auszuwählen. Ist das verwendete Material nicht gelistet, kann die Wöhlerlinie nicht nach VDEh abgeschätzt werden.

Belastungsart

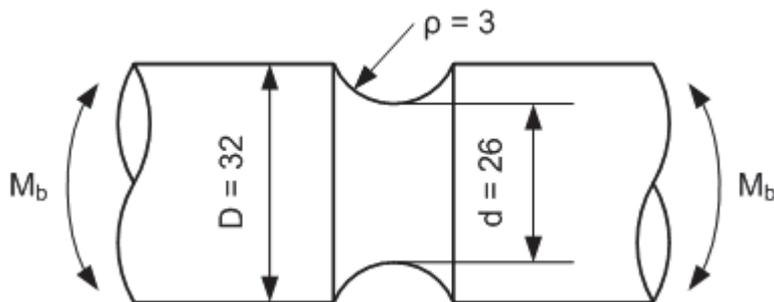
Die vorliegende Belastungsart hat einen Einfluss auf die erreichbaren Festigkeiten. Die vorliegende Belastungsart ist auszuwählen. Die Wöhlerlinien gelten immer für einachsige Belastungen.

Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)

Die Angabe der logarithmischen Standardabweichung in Schwingspielzahlrichtung ist für die Abschätzung der Wöhlerlinie nach VDEh selbst nicht erforderlich. Sie muss hier für eventuelle Umrechnung auf andere Ausfallwahrscheinlichkeiten im Modul Lebensdauer angegeben werden.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Welle aus 42 CrMo 4 mit Umlaufkerbe betrachtet, für die eine Wöhlerlinie nach VDEh abgeschätzt werden soll. Die Welle wird durch ein Biegemoment M_b belastet.



Die nachfolgenden Eingabewerte werden i.d.R. aus der Geometrie oder Werkstoffnormen gewonnen:

- Werkstoff-Zugfestigkeit $R_m = 1030$ MPa
- Werkstoff-Streckgrenze $R_{p0,2} = 960$ MPa
- Formzahl $K_t = 1,92$
- Rauigkeit $R_z = 6,30$ μm
- Spannungsgradient = $0,74$ 1/mm
- Spannungsverhältnis $R = 0$
- Geschmiedet: Nein
- Bauteilgröße $d = 32$ mm (konservativ)
- Material = Stahl
- Belastungsart = Biegung
- Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log) = $0,2$

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung der Wöhlerlinie

Synthetische Wöhlerlinie nach VDEh

Geben Sie die benötigten Daten ein oder wählen Sie eine Datei mit den Daten

Dateiname ...

Werkstoff aus Datenbank

Zugfestigkeit Rm MPa

Streckgrenze Rp0.2 MPa

Formzahl Kt

Rauigkeit Rz μm

Spannungsgradient 1/mm

Spannungsverhältnis

Geschmiedet

Bauteilgröße mm

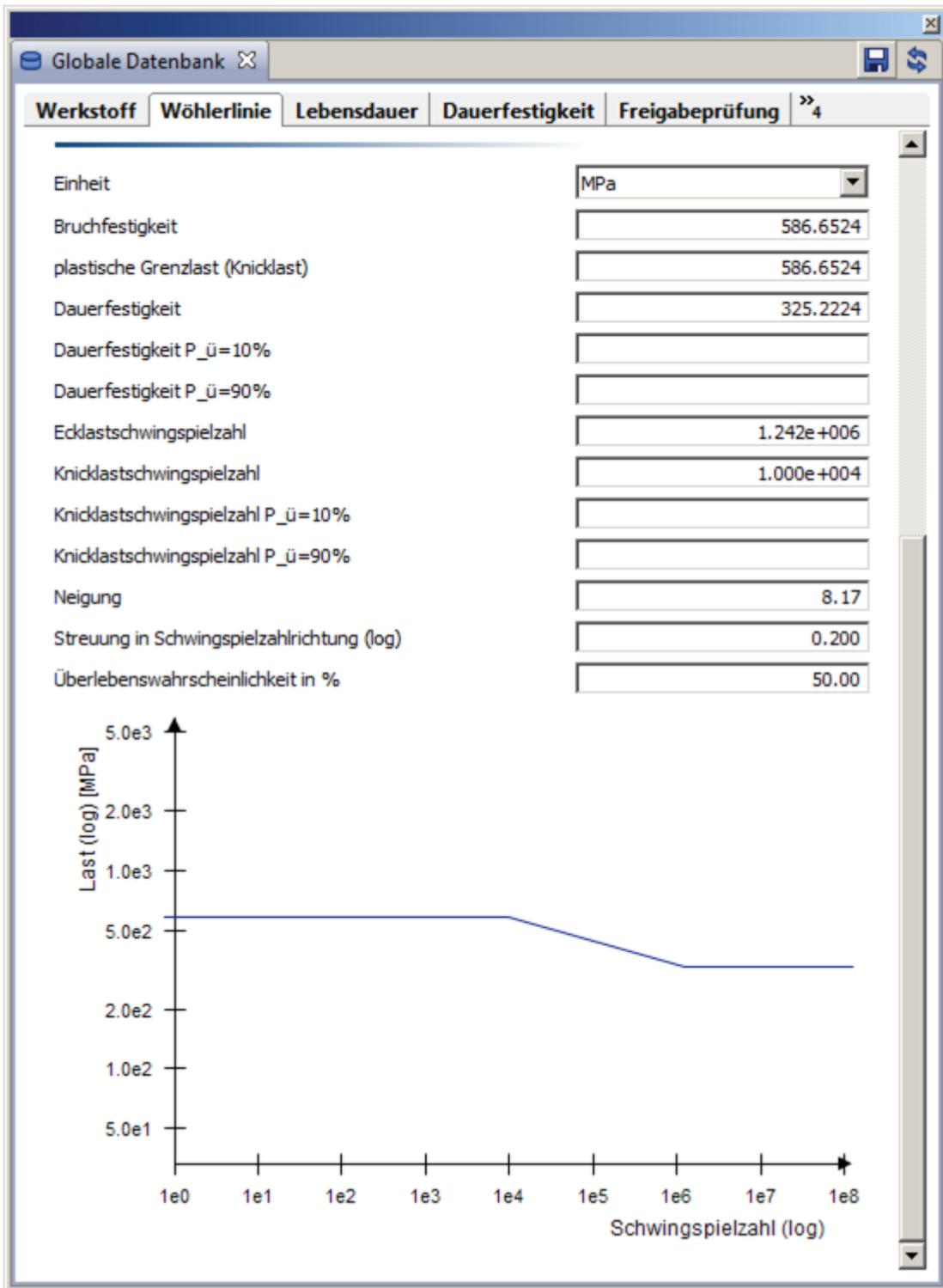
Material

Belastungsart

Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Berechnung nach Bergmann (rechnerische Wöhlerlinie)

Berechnungsumfang

Die Wöhlerlinien nach Bergmann schätzen synthetische Nennspannungswöhlerlinien aus statischen Festigkeitskennwerten und Konstruktionsdaten ab.

Ergebnis der Wöhlerlinien nach Bergmann ist eine synthetische Wöhlerlinie mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_{ij} = 50\%$.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Werkstoffgruppe](#)
- [Belastungsart](#)
- [Größeneinfluss berücksichtigen](#)
- [Zugfestigkeit](#)
- [Streckgrenze](#)
- [Spannungsgradient](#)
- [Rauigkeit](#)
- [Spannungsverhältnis](#)
- [Elastische Formzahl](#)
- [Plastische Formzahl](#)
- [Streuung in Schwingspielzahlrichtung \(log\)](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Werkstoffgruppe

Unterschiedliche Werkstoffgruppen besitzen unterschiedliche Wöhlerliniencharakteristiken. Die verwendete Werkstoffgruppe ist auszuwählen. Ist die verwendete Werkstoffgruppe nicht gelistet, kann die Wöhlerlinie nicht nach Bergmann abgeschätzt werden.

Belastungsart

Die vorliegende Belastungsart hat einen Einfluss auf die erreichbaren Festigkeiten. Die vorliegende Belastungsart ist auszuwählen. Die Wöhlerlinien gelten immer für einachsige Belastungen.

Größeneinfluss berücksichtigen

Der technologische Größeneinfluss kann berücksichtigt werden. Er ist in den synthetischen Wöhlerlinien nach Bergmann nur eine Funktion der Zugfestigkeit R_m .

Zugfestigkeit R_m

Die Zugfestigkeit ist ein Werkstoffkennwert (kein Bauteilkennwert). Sie ist die einmalig maximal ertragbare Spannung des Werkstoffs.

Sie kann auf drei verschiedenen Weisen ermittelt werden:

- Aus einem Zugversuch (empfohlen)
- Durch Entnahme aus Werkstoffnormen
- Durch Abschätzung aus der Brinell-Härte (nicht empfohlen)

Streckgrenze $R_{p0,2}$

Die Streckgrenze ist ein Werkstoffkennwert (kein Bauteilkennwert). Sie markiert die Spannung, die im Werkstoff eine irreversible Dehnung von 0,2 % nach Entlastung zurücklässt.

Sie kann auf zwei verschiedenen Weisen ermittelt werden:

- Aus einem Zugversuch (empfohlen)
- Durch Entnahme aus Werkstoffnormen

Spannungsgradient

Der Spannungsgradient (bezogenes Spannungsgefälle) ist ein Konstruktionskennwert. Er ist die Steigung der örtlichen Beanspruchungsfunktion über dem Querschnitt bezogen auf die maximale Spannung im Kerbgrund, ausgewertet am Ort der maximalen Spannung.

Der Spannungsgradient kann auf zwei Arten bestimmt werden:

- Aus Literaturwerten für bekannte Kerbgeometrien (z.B. Wellenabsätze)
- Aus Finite-Elemente-Rechnungen

Rauigkeit R_z

Die Rauigkeit R_z ist ein Konstruktionskennwert. Sie beschreibt die gemittelte Rautiefe an der Bauteiloberfläche an der kritischen Stelle (Kerbe).

Spannungsverhältnis

Wöhlerlinien werden für konstante Spannungsverhältnisse aufgenommen. Mit Hilfe des Haigh-Diagramms können Wöhlerlinien auf verschiedene Spannungsverhältnisse umgerechnet werden.

Das Wunschspannungsverhältnis ist anzugeben, z.B. $R = -1$

Elastische Formzahl K_t

Die Formzahl K_t ist ein Konstruktionskennwert, der ein Maß für die Schärfe der Kerbe ist. Sie beschreibt das Verhältnis aus maximaler, örtlich elastischer Spannung im Kerbgrund und der zugehörigen Nennspannung. Die Formzahl ist abhängig von der Belastungsart und von bezogenen, geometrischen Größen (geometrische Ähnlichkeit).

Die Formzahl kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden:

- Ermittlung aus Literaturwerten für bekannte Kerbgeometrien (z.B. Wellenabsatz)
- Ermittlung durch Finite-Elemente-Rechnungen
- Ermittlung durch experimentelle Spannungsanalysen

Plastische Formzahl K_p

Die plastische Formzahl K_p ist der elastischen Formzahl K_t ähnlich. Sie ist das Verhältnis aus plastischer und elastischer Grenzlast.

Die plastische Grenzlast ist die Last, die bei Berechnung mit elastisch-idealplastischem Werkstoffgesetz (Abknickpunkt bei $R_{p0,2}$) als Traglast ermittelt wird.

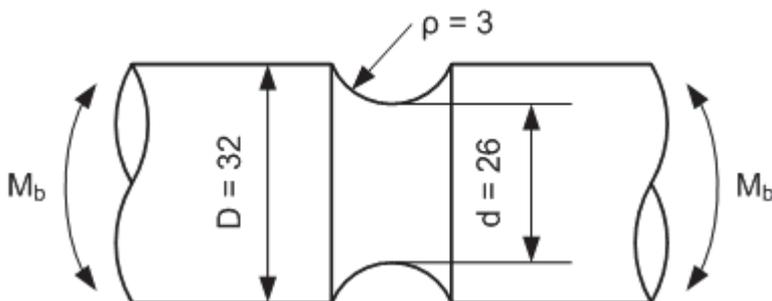
Die elastische Grenzlast (auch Fließlast) ist die Last, bei der die maximale örtliche Spannung gerade $R_{p0,2}$ erreicht (Berechnung mit linear elastischem Werkstoffgesetz).

Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)

Die Angabe der logarithmischen Standardabweichung in Schwingspielzahlrichtung ist für die Abschätzung der Wöhlerlinie nach Bergmann selbst nicht erforderlich. Sie muss hier für eventuelle Umrechnung auf andere Ausfallwahrscheinlichkeiten im Modul Lebensdauer angegeben werden.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Welle aus 42 CrMo 4 mit Umlaufkerbe betrachtet, für die eine Wöhlerlinie nach Bergmann abgeschätzt werden soll. Die Welle wird durch ein Biegemoment M_b belastet.



Die nachfolgenden Eingabewerte werden i.d.R. aus der Geometrie oder Werkstoffnormen gewonnen:

- Werkstoffgruppe: Stahl
- Belastungsart: Biegung
- Größeneinfluss berücksichtigen: ja
- Werkstoff-Zugfestigkeit $R_m = 1030$ MPa
- Werkstoff-Streckgrenze $R_{p0,2} = 960$ MPa
- Spannungsgradient = 0,74 1/mm
- Rauigkeit $R_z = 6,30$ μm
- Spannungsverhältnis $R = 0$
- Elastische Formzahl $K_t = 1,92$
- Plastische Formzahl $K_p = 3,26$
- Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log) = 0,2

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung der Wöhlerlinie

Synthetische Wöhlerlinie nach Bergmann (1999)

Geben Sie die benötigten Daten ein oder wählen Sie eine Datei mit den Daten

Dateiname ...

Werkstoff aus Datenbank

Werkstoffgruppe

Belastungsart

Größeneinfluss berücksichtigen

Zugfestigkeit MPa

Streckgrenze MPa

Spannungsgradient 1/mm

Rauigkeit μm

Spannungsverhältnis

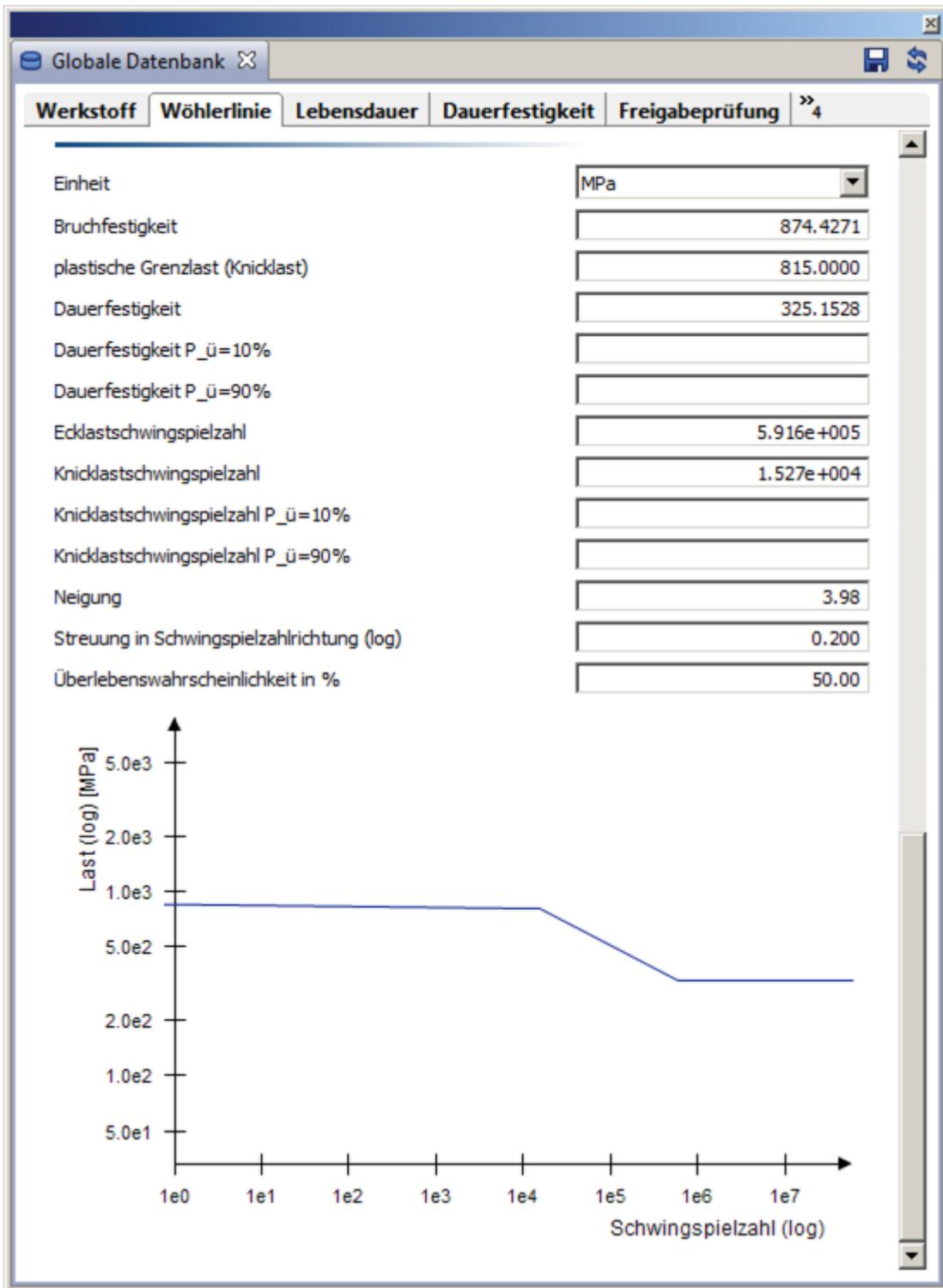
elastische Formzahl

plastische Formzahl

Streuung in Schwingzahlrichtung (log)

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Berechnung nach KNN FVA 380 (rechnerische Wöhlerlinie)

Berechnungsumfang

Die Künstlich Neuronale Netze (KNN) schätzen aus einem Satz von Eingangsdaten durch Matrixmultiplikationen und Gewichtungsfunktionen eine Satz von Ausgangsdaten (hier örtliche Wöhlerliniendaten).

Das Ergebnis der syntetischen Wöhlerlinien mit Künstlich Neuronale Netzen sind örtliche Wöhlerlinien für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_{\dot{u}} = 50 \%$.

Weitere Informationen zu Wöhlerlinien mit Künstlich Neuronale Netzen finden sich im FVA-Forschungsvorhaben FVA 380 - Künstlich Neuronale Netze.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Zugfestigkeit \$R_m\$](#)
- [Streckgrenze \$R_{p0,2}\$](#)
- [Rauigkeit \$R_z\$](#)
- [Spannungsgradient](#)
- [Spannungsverhältnis \$R\$](#)
- [Stützpotential](#)
- [Material](#)
- [Belastungsart](#)
- [Streuung in Schwingspielzahlrichtung \(log\)](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Zugfestigkeit R_m

Die Zugfestigkeit ist ein Werkstoffkennwert (kein Bauteilkennwert). Sie ist die einmalig maximal ertragbare Spannung des Werkstoffs.

Sie kann auf drei verschiedenen Weisen ermittelt werden:

- Aus einem Zugversuch (empfohlen)
- Durch Entnahme aus Werkstoffnormen
- Durch Abschätzung aus der Brinell-Härte (nicht empfohlen)

Streckgrenze $R_{p0,2}$

Die Streckgrenze ist ein Werkstoffkennwert (kein Bauteilkennwert). Sie markiert die Spannung, die im Werkstoff eine irreversible Dehnung von 0,2 % nach Entlastung zurücklässt.

Die Streckgrenze kann auf zwei verschiedenen Weisen ermittelt werden:

- Aus einem Zugversuch (empfohlen)
- Durch Entnahme aus Werkstoffnormen

Rauigkeit R_z

Die Rauigkeit R_z ist ein Konstruktionskennwert. Sie beschreibt die gemittelte Rautiefe an der Bauteiloberfläche an der kritischen Stelle (Kerbe).

Spannungsgradient

Der Spannungsgradient (bezogenes Spannungsgefälle) ist ein Konstruktionskennwert. Er ist die Steigung der örtlichen Beanspruchungsfunktion über dem Querschnitt bezogen auf die maximale Spannung im Kerbgrund, ausgewertet am Ort der maximalen Spannung.

Der Spannungsgradient kann auf zwei Arten bestimmt werden:

- Aus Literaturwerten für bekannte Kerbgeometrien (z.B. Wellenabsatz)
- Aus Finite-Elemente-Rechnungen

Spannungsverhältnis R

Wöhlerlinien werden für konstante Spannungsverhältnisse aufgenommen. Mit Hilfe des Haigh-Diagramms können Wöhlerlinien auf verschiedene Spannungsverhältnisse umgerechnet werden.

Das Wunschspannungsverhältnis ist anzugeben, z.B. $R = -1$.

Stützpotential

Das Stützpotential beschreibt die spannungsmechanische Kerbsituation. Das Stützpotential ist ein Flächenverhältnis. Zur Berechnung wird die maximale Kerbspannung gesucht und der zur Richtung der maximalen Kerbspannung gehörige Spannungsverlauf über dem Querschnitt bestimmt (z.B. mit der Finite-Elemente-Methode).

Jetzt wird die Fläche unter dem Spannungsverlauf, der zur maximalen Kerbspannung gehört, berechnet. Diese Fläche wird auf die Rechteckfläche bezogen, die sich aus der maximalen Kerbspannung und der gleichen Integrationslänge ergibt. Das Ergebnis ist das Stützpotential.

Weiterführende Informationen zur Berechnung des Stützpotentials finden sich in der Dissertation Marquardt - Lebensdauerabschätzung schwingend beanspruchter Bauteile mittels Künstlicher Neuronaler Netze, TU Clausthal, 2004.

Material

Die Abschätzung synthetischer Wöhlerlinien mit Künstlich Neuronalen Netzen ist derzeit nur für die Werkstoffgruppe Stahl möglich.

Belastungsart

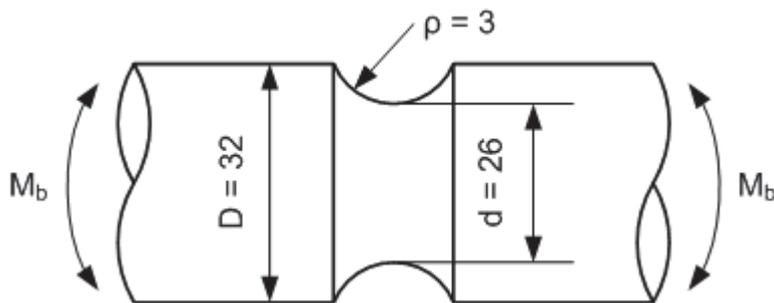
Die vorliegende Belastungsart hat einen Einfluss auf die erreichbaren Festigkeiten. Die vorliegende Belastungsart ist auszuwählen. Die Wöhlerlinien gelten immer für einachsige Belastungen.

Streuung in Schwingenspielzahlrichtung (log)

Die Angabe der logarithmischen Standardabweichung in Schwingenspielzahlrichtung ist für die Abschätzung der Wöhlerlinie mit Künstlich Neuronalen Netzen selbst nicht erforderlich. Sie muss hier für eventuelle Umrechnung auf andere Ausfallwahrscheinlichkeiten im Modul Lebensdauer angegeben werden.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Welle aus 42 CrMo 4 mit Umlaufkerbe betrachtet, für die eine Wöhlerlinie mittels KNN abgeschätzt werden soll. Die Welle wird durch ein Biegemoment M_b belastet.



Die nachfolgenden Eingabewerte werden i.d.R. aus der Geometrie oder Werkstoffnormen gewonnen:

- Werkstoff-Zugfestigkeit $R_m = 1030$ MPa
- Werkstoff-Streckgrenze $R_{p0,2} = 960$ MPa
- Rauigkeit $R_z = 6,3$ μm
- Spannungsgradient = $0,74$ 1/mm
- Spannungsverhältnis $R = 0$
- Stützpotential = $0,26$
- Material: Stahl
- Belastungsart: Biegung
- Streuung in Schwingenspielzahlrichtung (log) = $0,2$

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung der Wöhlerlinie

Künstliche Neuronale Netze FVA380

Geben Sie die benötigten Daten ein oder wählen Sie eine Datei mit den Daten

Dateiname ...

Werkstoff aus Datenbank

Zugfestigkeit Rm MPa

Streckgrenze Rp0.2 MPa

Rauigkeit Rz μm

Spannungsgradient 1/mm

Spannungsverhältnis R

Stützpotential

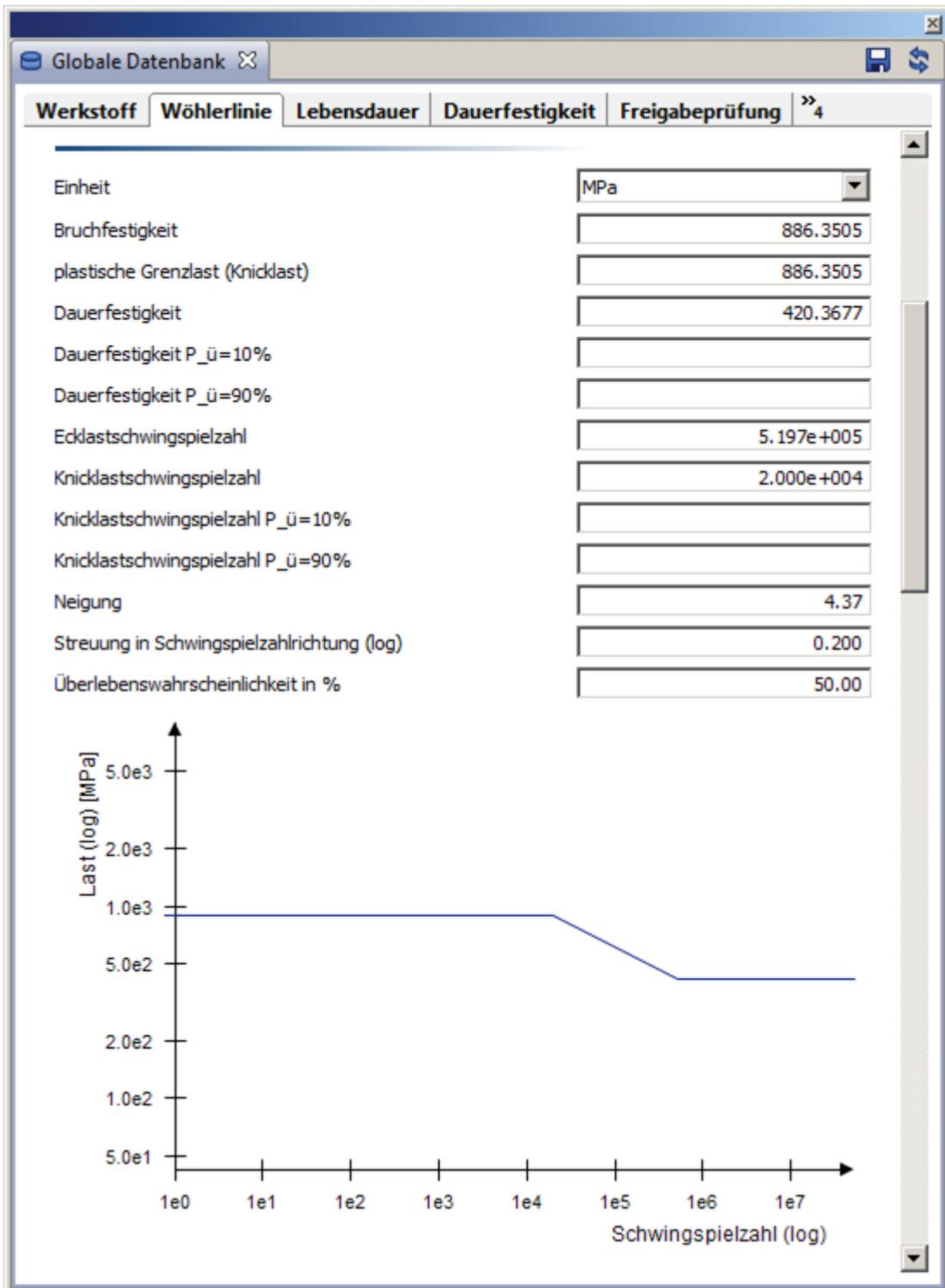
Material

Belastungsart

Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Berechnung nach FKM-Richtlinie (rechnerische Wöhlerlinie)

Berechnungsumfang

Gemäß der FKM-Richtlinie können auf Basis von Werkstoff- und Konstruktionsdaten örtliche Wöhlerlinien abgeschätzt werden. Die berechneten, örtlichen Wöhlerlinien besitzen eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_{\ddot{u}} = 97,5 \%$.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Zugfestigkeit \$R_m\$ \(nach FKM Rili Kap. 3.2.1.1\)](#)
- [Oberflächenrauigkeit \$R_z\$](#)
- [Spannungsart](#)
- [Spannungsgradient](#)
- [Überlastfall](#)
- [Spannungsverhältnis](#)
- [Mittelspannung, Minimalspannung, Maximalspannung](#)
- [Randschichtfaktor](#)
- [Schutzschichtfaktor](#)
- [Temperatur](#)
- [Material](#)
- [Streuung in Schwingspielzahlrichtung \(log\)](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Zugfestigkeit R_m nach FKM-Richtlinie

Die einzusetzende Zugfestigkeit ist kein Werkstoffkennwert aus dem Zugversuch. Sie muss nach Kapitel 3.2.1.1 der FKM-Richtlinie berechnet werden.

Oberflächenrauigkeit R_z

Die Rauigkeit R_z ist ein Konstruktionskennwert. Sie beschreibt die gemittelte Rautiefe an der Bauteiloberfläche an der kritischen Stelle (Kerbe).

Spannungsart

Wöhlerlinien können für Normal- und Schubspannungen abgeschätzt werden. Die gewünschte Spannungsart ist auszuwählen.

Spannungsgradient

Der Spannungsgradient dient zur Berücksichtigung der Stützwirkung. Er ist nach Kapitel 4.3.2.1 der FKM-Richtlinie zu bestimmen.

Überlastfall

In der FKM-Richtlinie wird der Mittelspannungseinfluss über einen Mittelspannungsfaktor abgebildet. Zur internen Bestimmung des Mittelspannungsfaktors muss der Überlastfall ausgewählt werden. Der Überlastfall wird nach dem erwarteten Spannungsverhalten nach einer möglichen Überlast gewählt.

In der FKM-Richtlinie werden vier Überlastfälle unterschieden, wovon einer auszuwählen ist:

- Fall 1: Die Mittelspannung bleibt im Falle einer Überlast konstant
- Fall 2: Das Spannungsverhältnis bleibt im Falle einer Überlast konstant
- Fall 3: Die Minimalspannung bleibt im Falle einer Überlast konstant
- Fall 4: Die Maximalspannung bleibt im Falle einer Überlast konstant

Spannungsverhältnis

Wird als Überlastfall der Fall 2 (Spannungsverhältnis bleibt im Falle einer Überlast konstant) ausgewählt, dann ist das konstant bleibende Spannungsverhältnis einzutragen. Z.B. $R = -1$.

Mittelspannung, Minimalspannung, Maximalspannung

Wird als Überlastfall der Fall 1, der Fall 3 oder der Fall 4 (Mittelspannung, Minimalspannung oder Maximalspannung bleiben im Falle einer Überlast konstant) ausgewählt, dann ist die jeweilige konstant bleibende Spannung einzutragen.

Randschichtfaktor

Der Randschichtfaktor berücksichtigt den Einfluss einer Randschichtverfestigung, z.B. durch Einsatzhärten und wird gemäß Kapitel 4.3.4 der FKM-Richtlinie gewählt.

Bauteile, die keine Randschichtverfestigung aufweisen besitzen einen Randschichtfaktor von Eins.

Schutzschichtfaktor

Der Schutzschichtfaktor berücksichtigt den Einfluss einer Schutzschicht für Aluminiumbauteile. Stahl- und Eisengussbauteile besitzen einen Schutzschichtfaktor von Eins, ebenso wie Aluminiumbauteile ohne Schutzschicht.

Aluminiumbauteile mit Schutzschicht besitzen einen Schutzschichtfaktor kleiner als Eins. Der Wert ist gemäß Kapitel 4.3.4 der FKM-Richtlinie zu wählen.

Temperatur

Der Temperaturfaktor berücksichtigt den Effekt, dass die Wechselfestigkeit mit steigender Temperatur absinkt. Die im Betrieb auftretende Temperatur ist in °C anzugeben.

Material

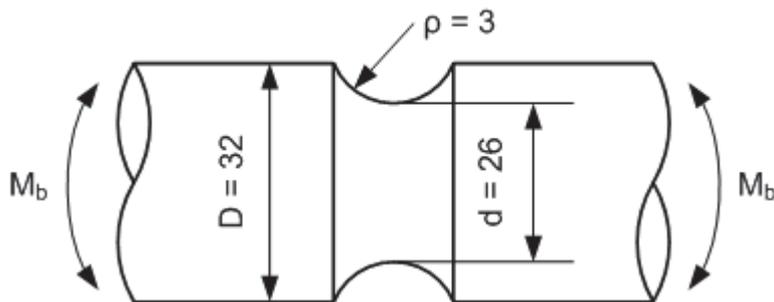
Unterschiedliche Materialien besitzen unterschiedliche Wöhlerliniencharakteristiken. Das verwendete Material ist auszuwählen. Ist das verwendete Material nicht gelistet, kann die Wöhlerlinie nicht nach FKM-Richtlinie abgeschätzt werden.

Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)

Die Angabe der logarithmischen Standardabweichung in Schwingspielzahlrichtung ist für örtliche Wöhlerlinien nach der FKM-Richtlinie nicht von Relevanz. Sie dient lediglich einem einheitlichen Wöhlerlinienformat innerhalb von LDA+. Die angegebene logarithmische Standardabweichung wird an keiner Stelle in LDA+ verwendet.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Welle aus 42 CrMo 4 mit Umlaufkerbe betrachtet, für die eine Wöhlerlinie nach FKM-Richtlinie abgeschätzt werden soll. Die Welle wird durch ein Biegemoment M_b belastet.



Die nachfolgenden Eingabewerte werden i.d.R. aus der Geometrie oder Werkstoffnormen gewonnen. Ggf. sind sie nach FKM-Richtlinie zu berechnen (z.B. Zugfestigkeit):

- Zugfestigkeit $R_m = 840 \text{ MPa}$ (nach FKM-Rili Kap. 3.2.1.1)
- Oberflächenrauigkeit $R_z = 6,3 \text{ }\mu\text{m}$
- Spannungsart: Normalspannungen
- Spannungsgradient = $0,74 \text{ 1/mm}$
- Überlastfall: Fall 2 (Spannungsverhältnis bleibt konstant)
- Spannungsverhältnis = 0
- Randschichtfaktor = 1,0
- Schutzschichtfaktor = 1,0
- Temperatur = $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Material: Stahl
- Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log) = 0,2

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung der Wöhlerlinie

Synthetische örtliche Wöhlerlinie nach FKM-Richtlinie

Geben Sie die benötigten Daten ein oder wählen Sie eine Datei mit den Daten

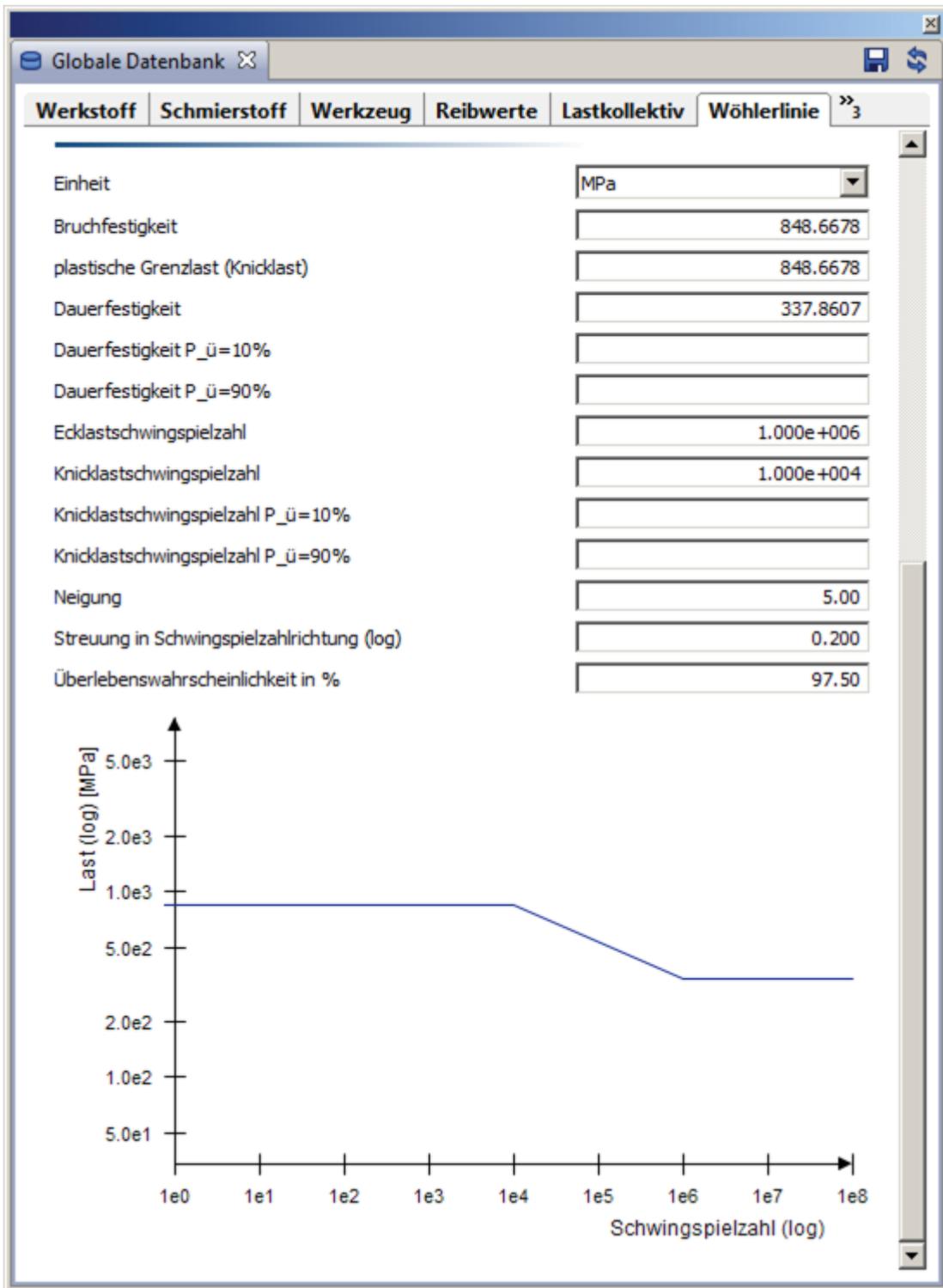
Dateiname ...

Zugfestigkeit R_m (nach FKM Rili Kap. 3.2.1.1)	MPa	<input type="text" value="840"/>
Oberflächenrauigkeit R_z	μm	<input type="text" value="6.3"/>
Spannungsart		<input type="text" value="Normalspannungen"/>
Spannungsgradient	1/mm	<input type="text" value="0.74"/>
Überlastfall		<input type="text" value="Spannungsverhältnis"/>
Spannungsverhältnis		<input type="text" value="0"/>
		<input type="text" value="0"/>
Randschichtfaktor		<input type="text" value="1.0"/>
Schutzschichtfaktor		<input type="text" value="1.0"/>
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	<input type="text" value="20"/>
Material		<input type="text" value="Stahl"/>
Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)		<input type="text" value="0.2"/>

Achtung:
Es wird kein statischer Festigkeitsnachweis geführt. Die Abgrenzung der Wöhlerlinie in den Kurzzeitfestigkeitsbereich erfolgt pauschal bei 10000 Lastspielen.

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Berechnung nach VDI 2230 (rechnerische Schraubenwöhlerlinie)

Berechnungsumfang

Gemäß der VDI 2230 können durch Angabe von Fertigungsverfahren, Gewinde, Festigkeitsklasse und Schraubenart Nennspannungswöhlerlinien für Einzelschraubenverbindungen abgeschätzt werden. Die berechneten, Nennspannungswöhlerlinien besitzen eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_{\bar{u}} = 50 \%$.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Fertigungsverfahren der verwendeten Schraube](#)
- [Gewinde](#)
- [Festigkeitsklasse](#)
- [Schraubenart](#)
- [Dauerfestigkeit aus Literatur oder Experiment berücksichtigen](#)
- [Dauerfestigkeit](#)
- [Maßgebender Durchmesser am Versagensort](#)
- $d_{i,min}$
- F_{SA0}
- F_{SAu}
- [Anziehverfahren](#)
- [Ausnutzungsgrad](#)
- $\mu_{G,min}$
- [Streuung in Schwingspielzahlrichtung \(log\)](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Fertigungsverfahren der verwendeten Schraube

Das vorliegende Fertigungsverfahren der Schraube nimmt Einfluss auf die Wöhlerlinienkennwerte (Dauerfestigkeit und Neigung). Je nach gewähltem Fertigungsverfahren sind im Eingabedialog unterschiedliche Angaben erforderlich.

Nach VDI 2230 wird in die Fertigungsverfahren:

- schlussvergütet und
- schlussgewalzt

unterschieden.

Gewinde

Im Feld Gewinde ist das Gewinde der Schraube auszuwählen. Dabei sind nur metrische ISO-Gewinde von M4 bis M39 auswählbar. In der Auswahl ist zwischen metrischem Regelgewinde (z.B. M10) und metrischem

Feingewinde (z.B. M10x1) zu unterscheiden.

Festigkeitsklasse

Schrauben werden in Festigkeitsklassen eingeteilt, die aus zwei durch einen Punkt getrennte Zahlen bestehen, z.B. 10.9. Dabei gibt die erste Zahl die Mindestzugfestigkeit in 1/100 MPa an. Die zweite Zahl gibt an, bei wieviel 1/10 % der Mindestzugfestigkeit die Mindeststreckgrenze liegt.

Für eine Schraube der Festigkeitsklasse 10.9 ergeben sich damit eine Zugfestigkeit von $R_{mmin} = 1000$ MPa und eine Mindeststreckgrenze von $R_{p0,2min} = 900$ MPa.

In LDA+ kann aus den drei folgenden Festigkeitsklassen ausgewählt werden:

- 8.8
- 10.9 und
- 12.9

Schraubenart

Zur internen Bestimmung der Montagebeanspruchung ist es erforderlich, den maßgebenden Durchmesser am Versagensort zu kennen. Dieser ist abhängig von der Schraubenart.

Bei Taillenschrauben (auch Dehnschaftschrauben genannt) ist der relevante Durchmesser grundsätzlich der Taillendurchmesser d_T . Der Durchmesser kann vom Nutzer nicht vorgegeben werden.

Bei Schaftschrauben ist eine Fallunterscheidung zu treffen. Ist der Schaftdurchmesser $d_{i,min}$ kleiner als der zum Spannungsquerschnitt gehörige Durchmesser d_S , dann ist $d_{i,min}$ vom Anwender anzugeben. Andernfalls wird d_S verwendet.

Dauerfestigkeit aus Literatur oder Experiment berücksichtigen

Die Dauerfestigkeit der Schraube kann rechnerisch abgeschätzt oder über einen Literatur- oder Experimentwert vorgegeben werden. Zum Beispiel sind die Dauerfestigkeitskennwerte für Schrauben aus austenitischen Stählen der Literatur oder Experimenten zu entnehmen.

Wird die Dauerfestigkeit vorgegeben, dann sind keine weiteren Eingaben in den nachfolgenden Dialogen zur Abschätzung der Wöhlerlinie erforderlich.

Dauerfestigkeit

Die Dauerfestigkeit der Schraube kann rechnerisch abgeschätzt oder über einen Literatur- oder Experimentwert vorgegeben werden. Der Wert aus der Literatur oder dem Experiment wird hier in MPa eingetragen.

Der eingetragene Wert für die Dauerfestigkeit wird um einen Sicherheitsfaktor von 0,85 gemindert, um die Streuung der experimentellen Werte zu berücksichtigen. Das bedeutet z.B., dass bei Vorgabe einer Dauerfestigkeit von 100 MPa in der berechneten Schraubenwöhlerlinie eine Dauerfestigkeit von 85 MPa auftaucht.

Maßgebender Durchmesser am Versagensort

Zur internen Bestimmung der Montagebeanspruchung ist es erforderlich, den maßgebenden Durchmesser am Versagensort zu kennen. Dieser ist abhängig von der Schraubenart.

Bei Taillenschrauben (auch Dehnschaftschrauben genannt) ist der relevante Durchmesser grundsätzlich der Taillendurchmesser d_T . Der Durchmesser kann vom Nutzer nicht vorgegeben werden.

Bei Schaftschrauben ist eine Fallunterscheidung zu treffen. Ist der Schaftdurchmesser $d_{i,min}$ kleiner als der zum Spannungsquerschnitt gehörige Durchmesser d_S , dann ist $d_{i,min}$ vom Anwender anzugeben. Andernfalls wird d_S verwendet.

$d_{i,min}$

Zur internen Bestimmung der Montagebeanspruchung ist es erforderlich, den maßgebenden Durchmesser am Versagensort zu kennen. Dieser ist abhängig von der Schraubenart.

Bei Verwendung einer Schaftschraube, bei der der Schaftdurchmesser $d_{i,min}$ kleiner als der zum Spannungsquerschnitt gehörige Durchmesser d_S ist, ist hier der relevante Durchmesser $d_{i,min}$ in mm vom Anwender anzugeben.

F_{SAo}

Die Schraube wird durch eine Betriebskraft und ein Betriebsmoment gelängt. Dadurch erfährt sie eine Schraubenzusatzkraft F_{SA} . Hier ist die obere Grenze der Schraubenzusatzkraft F_{SAo} in N einzutragen.

F_{SAu}

Die Schraube wird durch eine Betriebskraft und ein Betriebsmoment gelängt. Dadurch erfährt sie eine Schraubenzusatzkraft F_{SA} . Hier ist die untere Grenze der Schraubenzusatzkraft F_{SAu} in N einzutragen.

Anziehverfahren

Die Montagebeanspruchung wird durch das gewählte Anziehverfahren beeinflusst. Es existieren Anziehverfahren ohne und mit Torsionsbeanspruchung. Der entsprechende Fall ist auszuwählen.

Ausnutzungsgrad

Der Ausnutzungsgrad gibt an, wie weit die Mindeststreckgrenze durch die Montagebeanspruchung ausgenutzt werden darf. Ein typischer Ausnutzungsgrad ist 0,9 (= 90 %).

$\mu_{G,min}$

Bei Verwendung von Anziehverfahren mit Torsionsbeanspruchung ist die Kenntnis über die Mindestreibung im Gewinde $\mu_{G,min}$ erforderlich. Eine typische Reibungszahl ist z.B. $\mu_{G,min} = 0,15$.

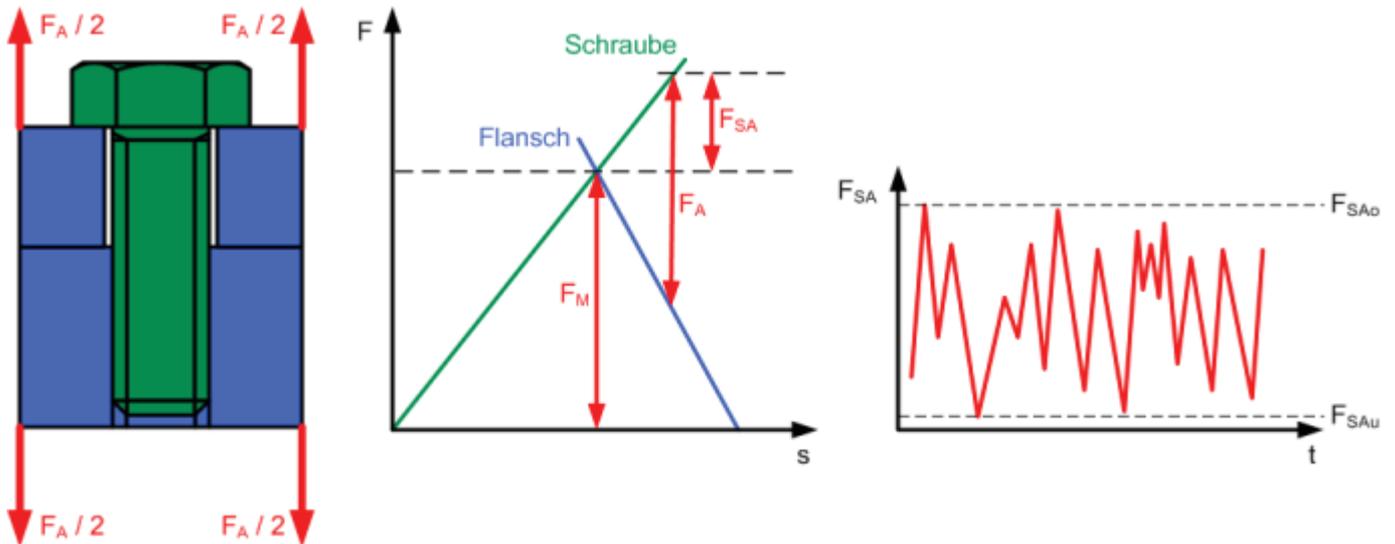
Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log)

Die Angabe der logarithmischen Standardabweichung in Schwingspielzahlrichtung ist für die Abschätzung der Schraubenwöhlerlinie nach VDI 2230 selbst nicht erforderlich. Sie muss hier für eventuelle Umrechnungen auf andere Ausfallwahrscheinlichkeiten im Modul Lebensdauer angegeben werden.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Einschraubenverbindung betrachtet, für die eine Wöhlerlinie nach VDI 2230 abgeschätzt werden soll. Die Schraubenverbindung wird durch eine axiale Betriebskraft F_A belastet.

Zur Abschätzung der Wöhlerlinie ist die Schraubenzusatzkraft F_{SA} mit ihrem Maximalwert F_{SA0} und ihrem Minimalwert F_{SAu} von Interesse.



Die nachfolgenden Eingabewerte ergeben sich aus der Konstruktion und den Belastungsdaten (axiale Betriebskraft F_A):

- Fertigungsverfahren der verwendeten Schraube: Schlussvergütet
- Gewinde: M10
- Festigkeitsklasse: 8.8
- Schraubenart: Schaftschraube
- Dauerfestigkeit aus Literatur oder Experiment berücksichtigen: nein
- Maßgebender Durchmesser am Versagensort: d_s verwenden
- $F_{SA0} = 6000$ N
- $F_{SAu} = -2000$ N
- Anziehverfahren: Mit Torsionsbelastung
- Ausnutzungsgrad = 0,90
- $\mu_{G,min} = 0,15$
- Streuung in Schwingzahlrichtung (log) = 0,2

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Berechnung der Wöhlerlinie

Schraubenwöhlerlinie nach VDI 2230

Bitte geben Sie die benötigten Daten ein.



Fertigungsverfahren der verwendeten Schraube

- Schlussvergütet
- Schlussgewalzt

Gewinde: M 10

Festigkeitsklasse: 8.8

Schraubenart: Schafschraube

Dauerfestigkeit aus Literatur oder Experiment berücksichtigen

Dauerfestigkeit: MPa

Maßgebender Durchmesser am Versagensort

- d_s verwenden
- d_{j,min} vorgeben

d_{j,min}: mm

F_{SAo}: N 6000

F_{SAu}: N -2000

Anziehverfahren

- Ohne Torsionsbelastung
- Mit Torsionsbelastung

Ausnutzungsgrad: 0.9

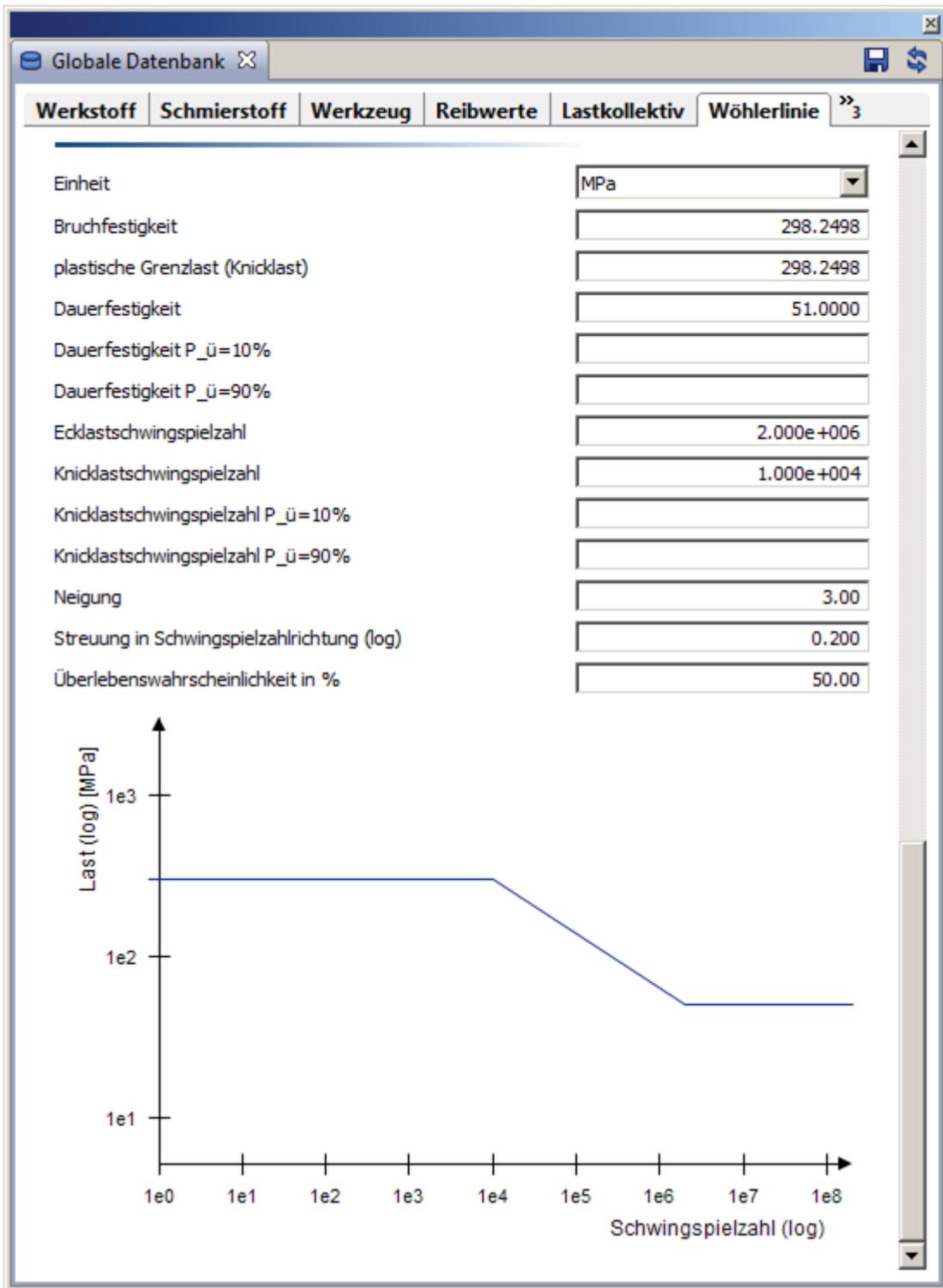
μG,min: 0.15

Streuung in Schwingspielzahlrichtung (log): 0.2

Berechnungsprotokoll erstellen

? < Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



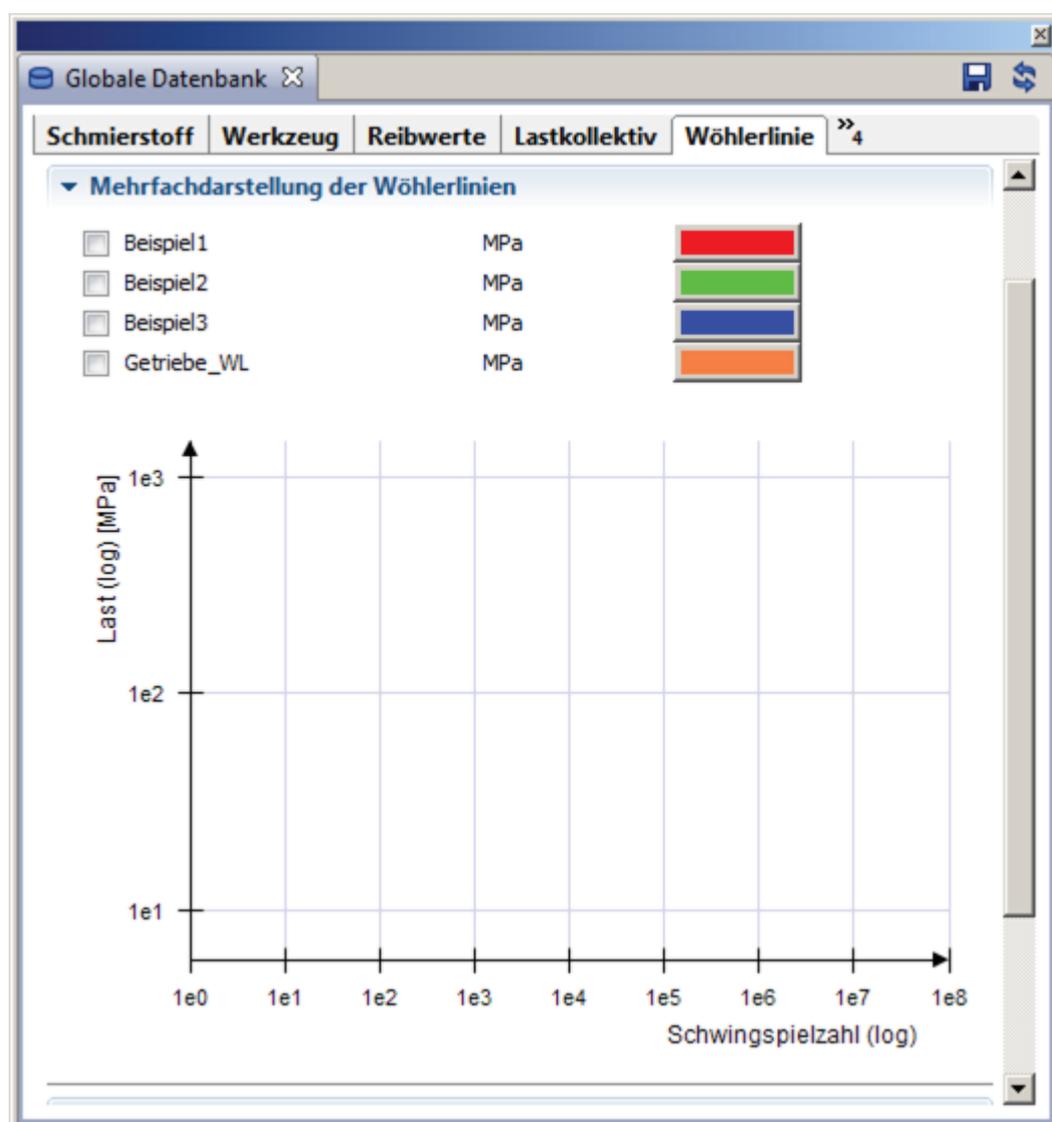
Mehrfachdarstellung von Wöhlerlinien

Leistungsumfang

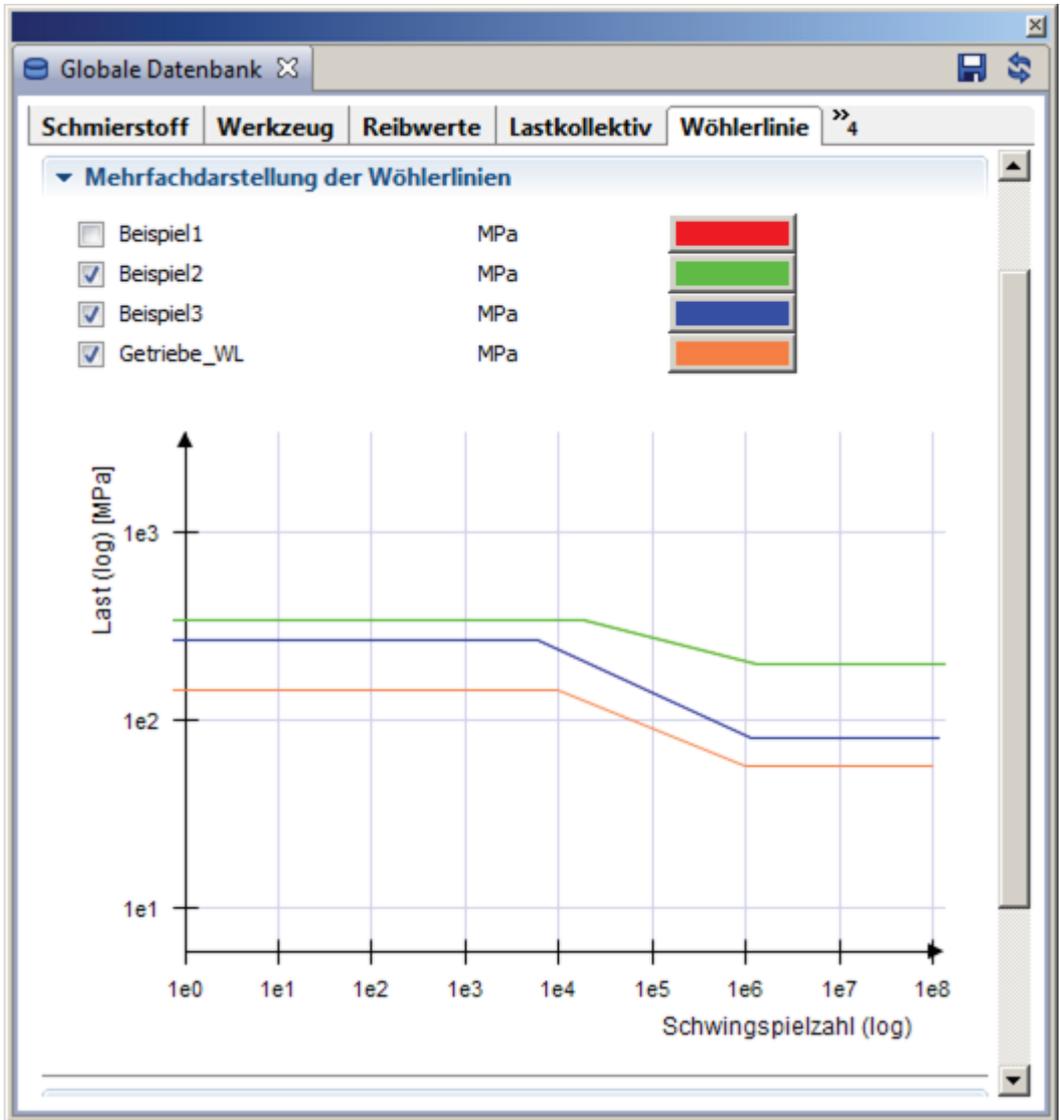
Im Modul Wöhlerlinie angelegte Datensätze (Wöhlerlinien) können in einer Mehrfachdarstellung komfortabel miteinander verglichen werden.

Dazu existiert im Modul Wöhlerlinie der Sonderdatensatz "Mehrfachdarstellung der Wöhlerlinien".

Nach Öffnen des Sonderdatensatzes werden alle vorhandenen Wöhlerlinien gelistet.



Durch Anwahl der entsprechenden Checkboxes werden die gewünschten Wöhlerlinien dargestellt. Dabei können nur Wöhlerlinien mit gleichen Einheiten zusammen gezeigt werden. Die farbliche Darstellung der einzelnen Wöhlerlinien lässt sich durch einen Klick auf den zugeordneten Farbbutton auswählen.



Modul Dauerfestigkeit

Modulbeschreibung

Der Dauerfestigkeitsbereich ist ein charakteristischer Bereich der Wöhlerlinie. Bei einer ausgeprägten Dauerfestigkeit werden Amplituden, die unterhalb dieses Grenzwerts liegen, theoretisch unendlich oft ertragen.

Mit dem Modul Dauerfestigkeit können Dauerfestigkeitsversuche komfortabel ausgewertet werden. Dazu stehen zwei Berechnungsroutinen zur Verfügung:

- [Dauerfestigkeitsversuche nach Hück](#)
- [Dauerfestigkeitsversuche nach Maximum-Likelihood](#)

Dauerfestigkeitsversuche nach Hück

Berechnungsumfang

Mit der Auswertung nach Hück können Dauerfestigkeitsversuche ausgewertet werden. Voraussetzung ist das Vorliegen einer geschlossenen Treppenstufenfolge mit festem Stufensprung. Die Dauerfestigkeit muss dabei einer linearen oder logarithmischen Normalverteilung unterliegen.

Ergebnis der Auswertung ist die Dauerfestigkeit für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von $P_{\bar{u}} = 50\%$. Werden mehr als 17 wertbare Proben in die Auswertung einbezogen, so wird zusätzlich die (log-) Standardabweichung sowie die Dauerfestigkeiten für Überlebenswahrscheinlichkeiten von $P_{\bar{u}} = 10\%$ und $P_{\bar{u}} = 90\%$ abgeschätzt.

Die Abschätzung der Standardabweichung mit dem Treppenstufenverfahren nach Hück gilt als unsicher. Für ausreichend verlässliche Aussagen sollte ein großer Stichprobenumfang von mindestens 30 wertbaren Proben verwendet werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Verteilung](#)
- [Einheit](#)
- [Anzahl der Versuche](#)
- [Startwert der Messreihe](#)
- [Stufensprung-Distanz](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Verteilung

Dauerfestigkeiten unterliegen Verteilungsfunktionen. Für die Auswertung nach Hück kann die Dauerfestigkeit einer linearen oder logarithmischen Normalverteilung unterliegen. Die unterstellte Verteilungsfunktion ist auszuwählen.

Einheit

Dauerfestigkeitsversuche können mit nahezu beliebigen physikalischen Größen als Lastamplituden durchgeführt werden. Die Einheit der verwendeten Lastamplitude ist auszuwählen.

Anzahl der Versuche

Die Anzahl der durchgeführten Versuche (Stichprobenumfang) ist anzugeben. Nach Angabe des Stichprobenumfangs passt sich die untenstehende Tabelle zur Markierung von Brüchen und Durchläufern an.

Startwert der Messreihe

Das Lastniveau, auf dem der erste Versuch durchgeführt worden ist, ist einzutragen.

Stufensprung-Distanz

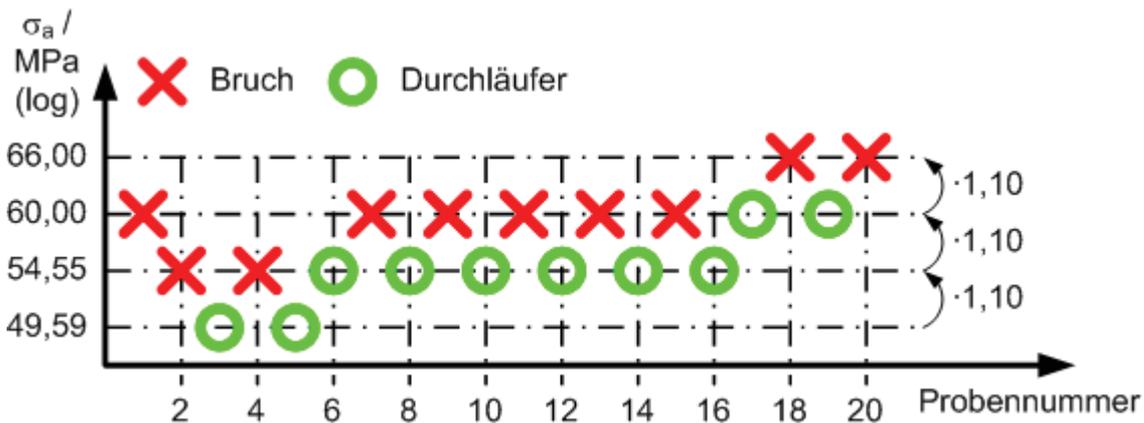
Treppenstufenversuche, die nach dem Verfahren von Hück ausgewertet werden, benötigen einen konstanten Stufensprung. Der Stufensprung ist je nach gewählter Verteilungsform unterschiedlich einzugeben:

- Lineare Normalverteilung: Der Stufensprung ist als die Differenz zwischen zwei benachbarten Stufen anzugeben, z.B. 20 MPa. Die Eingabe erfolgt ohne Einheit. Der Stufensprung ist immer positiv.
- Logarithmische Normalverteilung: Der Stufensprung ist als das Verhältnis von zwei benachbarten Stufen anzugeben, z.B. 1,05. Der Stufensprung ist immer größer 1.

Nach Eingabe des Stufensprungs passt sich die untenstehende Tabelle zur Markierung von Brüchen und Durchläufern an.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Treppenstufenfolge mit faktoriell-äquidistantem Stufensprung von Faktor 1,10 betrachtet (log-Normalverteilung).



Aus der dargestellten Treppenstufenfolge ergeben sich die folgenden Eingabewerte:

- Verteilung: Logarithmisch
- Einheit: MPa
- Anzahl der Versuche = 20
- Startwert der Messreihe = 60 MPa
- Stufensprung-Distanz = 1,1

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen und in der Tabelle des Eingabefensters Brüche und Durchläufer entsprechend markiert. Die zugeordneten Lastniveaus passen sich automatisch an.

Experimentelle Bestimmung des Dauerfestigkeit

Treppenstufenverfahren

Geben Sie die Versuchsergebnisse ein. Um einen Versuch als Durch-

Verteilung linear logarithmisch

Einheit

Anzahl der Versuche

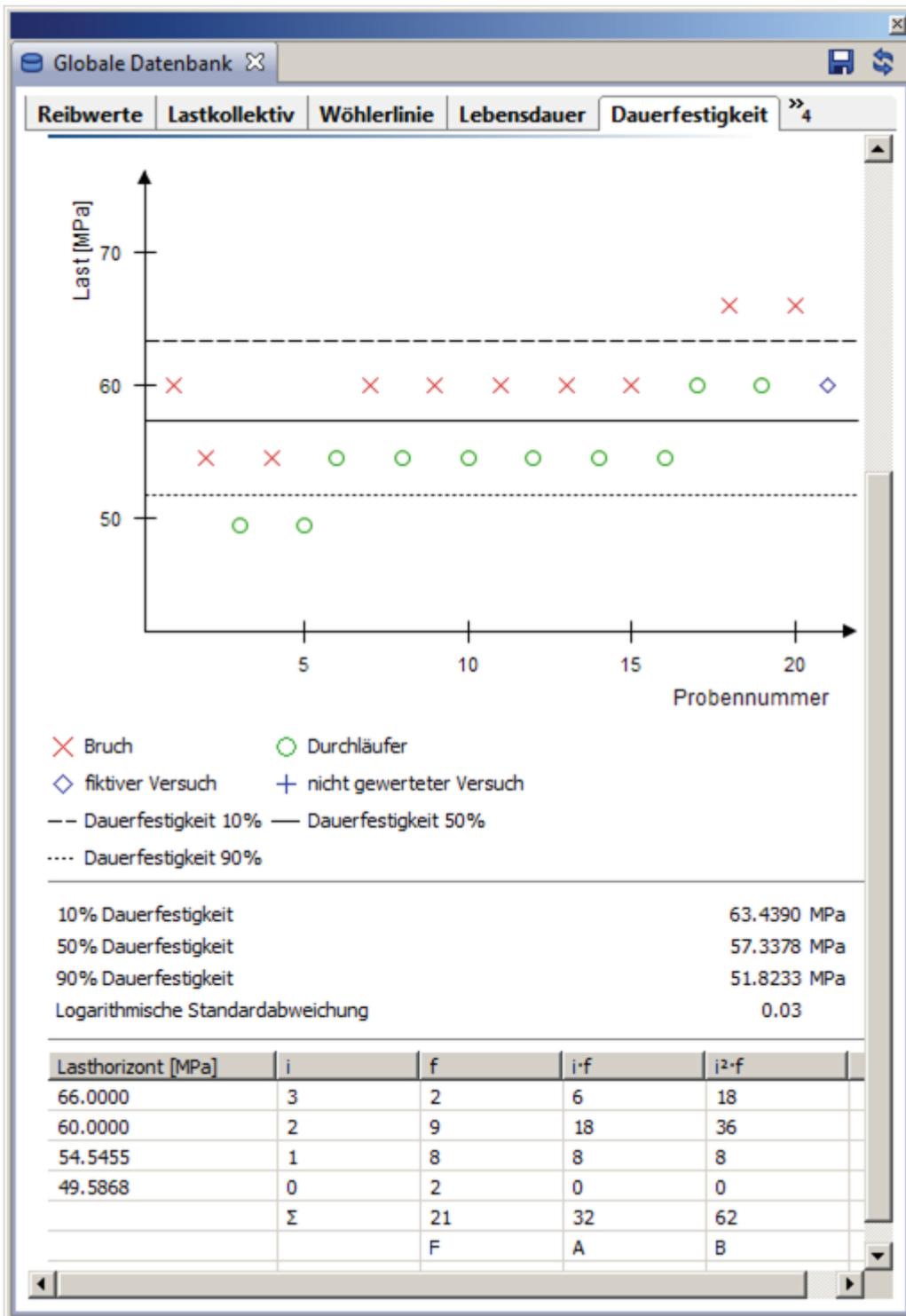
Startwert der Messreihe

Stufensprung-Distanz

Nr.	Belastung	Ergebnis	
1	60.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
2	54.5455	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
3	49.5868	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
4	54.5455	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
5	49.5868	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
6	54.5455	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
7	60.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
8	54.5455	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
9	60.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
10	54.5455	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
11	60.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
12	54.5455	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
13	60.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
14	54.5455	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
15	60.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
16	54.5455	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
17	60.0000	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
18	66.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch
19	60.0000	<input checked="" type="checkbox"/> Durchläufer	<input type="checkbox"/> Bruch
20	66.0000	<input type="checkbox"/> Durchläufer	<input checked="" type="checkbox"/> Bruch

Berechnungsprotokoll erstellen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Dauerfestigkeitsversuche nach Maximum-Likelihood

Berechnungsumfang

Mit der Methode nach Maximum-Likelihood können Dauerfestigkeitsversuche ausgewertet werden. Die Versuche, die aus dem Gebiet der Dauerfestigkeit stammen müssen, können dabei theoretisch beliebig angeordnet werden. Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollte sich der Schwerpunkt der Versuche im Gebiet der 50 %-Dauerfestigkeit befinden. Ein fester Stufensprung und eine geschlossenen Treppenstufenfolge wie bei der Auswertung nach Hück sind nicht erforderlich.

Die Dauerfestigkeit muss einer linearen oder logarithmischen Normalverteilung folgen.

Ergebnisse der Auswertung nach Maximum-Likelihood sind die Abschätzung der Dauerfestigkeiten für Überlebenswahrscheinlichkeiten von $P_{\bar{u}} = 10\%$, $P_{\bar{u}} = 50\%$, $P_{\bar{u}} = 90\%$, sowie der (log)-Standardabweichung.

Die Abschätzung der Standardabweichung nach Maximum-Likelihood gilt als unsicher. Für ausreichend verlässliche Aussagen sollte ein großer Stichprobenumfang von mindestens 30 Proben verwendet werden.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Unterstellte Verteilung der Festigkeitsseite](#)
- [Einheit](#)
- [Anzahl der Lasthorizonte](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Unterstellte Verteilung der Festigkeitsseite

Dauerfestigkeiten unterliegen Verteilungsfunktionen. Für die Auswertung nach Maximum-Likelihood kann die Dauerfestigkeit einer linearen oder logarithmischen Normalverteilung unterliegen. Die unterstellte Verteilungsfunktion ist auszuwählen.

Einheit

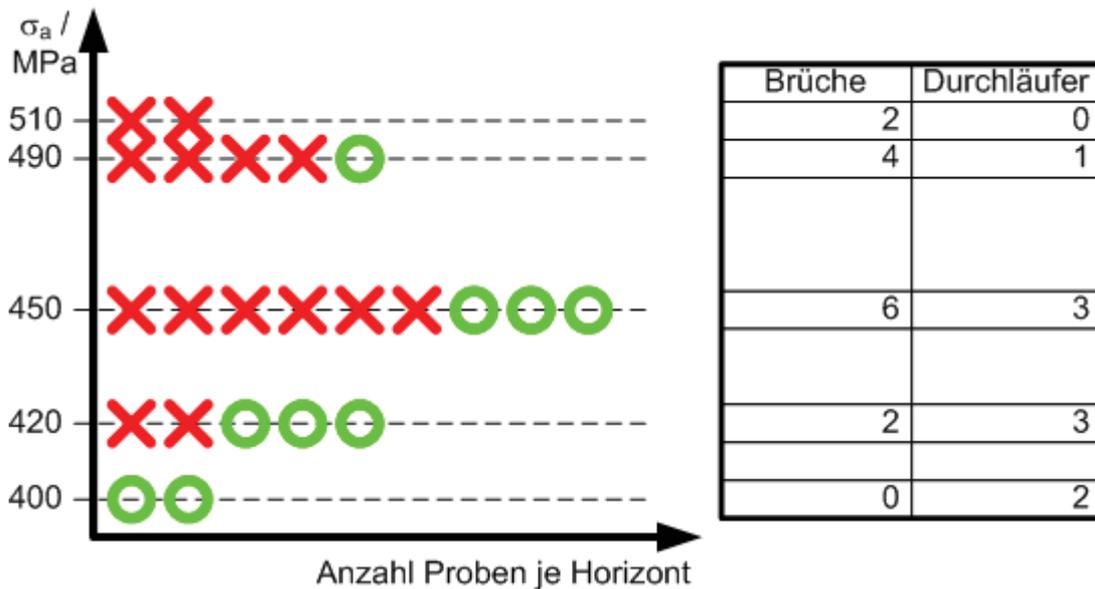
Dauerfestigkeitsversuche können mit nahezu beliebigen physikalischen Größen als Lastamplituden durchgeführt werden. Die Einheit der verwendeten Lastamplitude ist auszuwählen.

Anzahl der Lasthorizonte

Für die Auswertung nach Maximum-Likelihood sind Dauerfestigkeitsversuche auf unterschiedlichen Lasthorizonten erforderlich. Die Anzahl der unterschiedlichen Lasthorizonte ist anzugeben. Danach passt sich die untenstehende Eingabetabelle zur Angabe von Lasthorizont, Anzahl Brüche und Anzahl Durchläufer an.

Beispiel

Als Beispiel wird die nachfolgend dargestellte Versuchsreihe betrachtet. Für die Auswertung wird angenommen, dass die Festigkeitskennwerte einer log-Normalverteilung folgen.



Aus der dargestellten Versuchsfolge ergeben sich die folgenden Eingabewerte:

- Unterstellte Verteilung der Festigkeitsseite: Logarithmisch
- Einheit: MPa
- Anzahl der Lasthorizonte = 5

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen und in der Tabelle des Eingabefensters die Anzahl der Brüche und Durchläufer auf den jeweiligen Lastniveaus eingetragen.

Maximum-Likelihood Methode

Bitte geben Sie die Versuchesergebnisse für die Auswertung nach der Maximum-Likelihood Methode an.

Unterstellte Verteilung der Festigkeitsseite: linear logarithmisch

Einheit: MPa

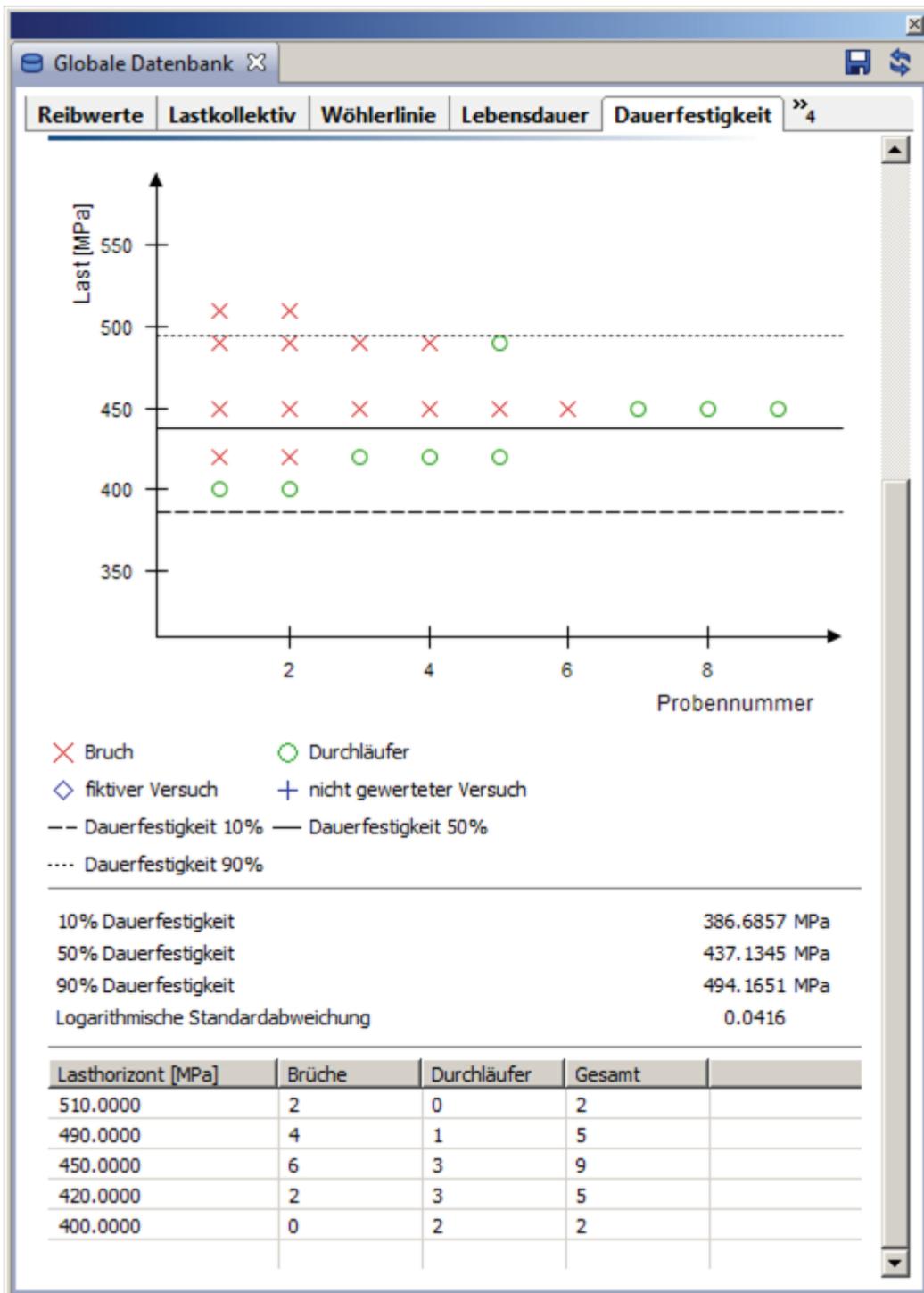
Anzahl der Lasthorizonte: 5

Nr.	Horizont	Brüche	Durchläufer
1	510	2	0
2	490	4	1
3	450	6	3
4	420	2	3
5	400	0	2

Berechnungsprotokoll erstellen

< Zurück Weiter > Fertigstellen Abbrechen

Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Modul Lebensdauer

Modulbeschreibung

Im Modul Lebensdauer werden Wöhlerlinien und Lastkollektive gegenübergestellt und daraus eine rechnerische Lebensdauer abgeschätzt. Voraussetzung zur Durchführung einer Lebensdaueranschätzung ist damit das Vorhandensein mindestens einer Wöhlerlinie und mindestens eines Lastkollektivs, die in Einheit und Spannungsverhältnis übereinstimmen.

Im Modul Lebensdauer steht eine Mehrfachberechnung zur Verfügung, in der

- mehrere Lastkollektive einer Wöhlerlinie oder
- mehrere Wöhlerlinie einem Lastkollektiv

automatisch gegenübergestellt werden können. Setzen Sie dazu den entsprechenden Haken "Mehrfachberechnung durchführen". Sie können nach einem Klick auf "Weiter" die Lastkollektive bzw. Wöhlerlinien auswählen.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Mit Überlastkollektiv rechnen](#)
- [Modifikation](#)
- [IMAB-Verfahren](#)
- [Effektive Schadenssumme](#)
- [Überlebenswahrscheinlichkeit WL](#)
- [Neigung der Rissfortschrottsgeraden](#)
- [Parameter C](#)
- [Regelmäßigkeit I](#)
- [Amplitude berechnen zur Schwingspielzahl N](#)
- [Schwingspielzahl berechnen zur Amplitude \$S_a\$](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Mit Überlastkollektiv rechnen

Für die Miner-Modifikation Miner-elementar kann die Schadensakkumulationsrechnung mit dem Normallastkollektiv und dem Überlastkollektiv durchgeführt werden. Durch die Rechnung mit dem Überlastkollektiv wird die Lebensdauer, die mit dem Normallastkollektiv ermittelt wird, mit einem Faktor zusätzlich gemindert.

Genauere Informationen zur Berücksichtigung der Überlast finden sich im FVA Forschungsvorhaben FVA 131 III - Auswirkungen von Überlasten auf die Bauteillebensdauer.

Wird eine Berechnung mit Überlastkollektiv durchgeführt, dann kann die effektive Schadenssumme nicht mit dem IMAB-Verfahren automatisch gewählt werden.

Modifikation

Die Lebensdauerabschätzung kann in LDA+ mit sieben verschiedenen Modifikationen erfolgen:

- Miner-original
- Miner modifiziert nach Haibach
- Miner-elementar
- Miner-Liu/Zenner
- Miner-konsequent
- Miner-Parameter C
- Künstlich-Neuronale-Netze (KNN)

Mit Ausnahme der Künstlich-Neuronalen-Netze verfolgen alle Modifikationen das Prinzip der linearen Schadensakkumulation. Sie unterscheiden sich in der Veränderung der Wöhlerlinie, gegen die akkumuliert wird. Die Künstlich-Neuronalen-Netze verwenden Matrixmultiplikationen und Gewichtungsfunktionen um einen Eingangsparametersatz auf eine Lebensdauer abzubilden.

Untersuchungen mit Hilfe der Datenbank Betriebsfestigkeit zeigen, dass mit der Modifikation Miner-Liu/Zenner und den Künstlich-Neuronalen-Netzen die besten Ergebnisse bezüglich mittlerer Treffsicherheit und Streuspanne erzielt werden können.

Im Einzelfall können dennoch andere Modifikationen eine bessere Vorhersagegüte liefern.

IMAB-Verfahren

Mit dem IMAB-Verfahren kann die effektive Schadenssumme automatisch gewählt werden. Das IMAB-Verfahren sollte verwendet werden, wenn keinerlei Erfahrungswerte für die effektive Schadenssumme vorliegen.

Das IMAB-Verfahren kann nur im Kombination mit einer experimentellen Wöhlerlinie verwendet werden.

Das IMAB-Verfahren kann nur in Verbindung mit den folgenden Schädigungsrechnungen (Modifikationen) verwendet werden:

- Miner-original
- Miner modifiziert nach Haibach
- Miner-elementar (ohne Überlastkollektiv)
- Miner-Liu/Zenner
- Miner-konsequent

Eine Kombination des IMAB-Verfahrens mit der Modifikation Parameter C oder KNN bzw. Miner elementar inkl. Überlastkollektiv ist nicht möglich.

Effektive Schadenssumme

Die effektive Schadenssumme trägt der Tatsache Rechnung, dass die lineare Schadensakkumulation für alle Miner-Modifikationen im Mittel auf der unsicheren Seite liegt (zu lange Lebensdauer vorhergesagt). Durch Verwendung einer effektiven Schadenssumme kleiner als Eins (Faktor), wird diese Lebensdauer korrigiert.

Die effektive Schadenssumme ist kein fester Wert. Sie ist für jedes Bauteil unterschiedlich und muss streng genommen aus experimentellen Lebensdaueruntersuchungen an ähnlichen (Vorgänger-)Bauteilen abgeleitet werden.

Bei Verwendung der Künstlich-Neuronalen-Netze kann keine effektive Schadenssumme angegeben werden.

Überlebenswahrscheinlichkeit WL

Für die verwendete Wöhlerlinie kann eine Überlebenswahrscheinlichkeit angegeben werden. Mit Hilfe der

hinterlegten Standardabweichung der Wöhlerlinie, wird die Ausgangsüberlebenswahrscheinlichkeit der Wöhlerlinie auf den gewünschten Wert umgerechnet. Gegen diese umgerechnete Wöhlerlinie wird die Lebensdauerrechnung ausgeführt. Der Wöhlerliniendatensatz wird dabei nicht verändert.

Standardmäßig wird die Ausgangsüberlebenswahrscheinlichkeit der Wöhlerlinie verwendet.

Die Überlebenswahrscheinlichkeit von örtlichen Wöhlerlinien nach der FKM-Richtlinie kann nicht verändert werden. Sie beträgt immer $P_{\bar{u}} = 97,5 \%$.

Neigung der Rissfortschrittsgeraden

Für die Modifikation Liu/Zenner muss neben der Neigung der Zeitfestigkeitsgerade, die aus dem Wöhlerliniendatensatz bekannt ist, die Neigung der Rissfortschrittsgeraden m angegeben werden.

Wenn keine besseren Informationen vorliegen, kann für Stahlbauteile die Neigung der Rissfortschrittsgeraden zu $m = 3,6$ angenommen werden.

Parameter C

Bei der Miner-Modifikation Parameter C nach Hück, wird durch die Wahl des Parameters C die Neigung der Wöhlerlinie unterhalb der Dauerfestigkeit angepasst. Eine pauschale Empfehlung zur Wahl des Parameters C kann nicht gegeben werden. Tendenzen des Parameters C werden im FVA-Forschungsvorhaben FVA 331 - High Cycle Fatigue von Bauteilen angegeben.

Der Parameter C tendiert zu Werten kleiner 1 für stark gekerbte Bauteile, bei hohen Mittellasten, bei starken Mittellastschwankungen und bei steilen Wöhlerlinien.

Regelmäßigkeit I

Die Regelmäßigkeit I ist eine Eigenschaft der Beanspruchungszeitfunktion. Sie ist das Verhältnis der Anzahl der Nulldurchgänge zur Anzahl der Umkehrpunkte und damit ein Maß für die Mittellastschwankungen. Ist die Mittellast konstant, ist die Regelmäßigkeit I nahe Eins. Sind starke Mittellastschwankungen vorhanden, tendiert die Regelmäßigkeit I gegen Null.

Amplitude berechnen zur Schwingspielzahl N

Für die Miner-Modifikationen kann zu jedem Lastkollektiv eine auslastungsäquivalente Einstufenlast bestimmt werden (Rechteckkollektiv). Dazu kann entweder die Schwingspielzahl oder die Amplitude des Rechteckkollektivs vorgegeben werden. LDA+ passt die jeweils fehlende Größe an, so dass die Einstufenlast den gleichen Auslastungsgrad besitzt wie das vorgegebene Lastkollektiv.

Erfolgt die Lebensdauerabschätzung mit Hilfe der Künstlich-Neuronalen-Netze, kann keine auslastungsäquivalente Einstufenlast bestimmt werden.

Schwingspielzahl berechnen zur Amplitude S_a

Für die Miner-Modifikationen kann zu jedem Lastkollektiv eine auslastungsäquivalente Einstufenlast bestimmt werden (Rechteckkollektiv). Dazu kann entweder die Schwingspielzahl oder die Amplitude des Rechteckkollektivs vorgegeben werden. LDA+ passt die jeweils fehlende Größe an, so dass die Einstufenlast den gleichen Auslastungsgrad besitzt wie das vorgegebene Lastkollektiv.

Erfolgt die Lebensdauerabschätzung mit Hilfe der Künstlich-Neuronalen-Netze, kann keine auslastungsäquivalente Einstufenlast bestimmt werden.

Beispiel

Zur Durchführung einer rechnerischen Lebensdauerabschätzung mit LDA+ muss sowohl eine Wöhlerlinie als auch ein Lastkollektiv vorliegen. Führen Sie daher zunächst das Beispiel zur [Wöhlerlinie mit Versuchspunkten](#) und das Beispiel zur Berechnung eines [synthetischen Kollektivs](#) aus. Diese beiden Beispieldatensätze werden in der Beispiellebensdauerabschätzung mit den folgenden Parametern einandener gegenüber gestellt:

- Mehrfachberechnung durchführen: nein
- Lastkollektiv: [Synthetisches Kollektiv aus zugehörigem Beispiel](#)
- Wöhlerlinie: [Angabe von Versuchspunkten aus zugehörigem Beispiel](#)
- Mit Überlastkollektiv rechnen: nein
- Modifikation: Miner elementar
- Effektive Schadenssumme nach IMAB-Verfahren automatisch berechnen: ja
- Überlebenswahrscheinlichkeit WL: 50 %
- Einstellungen zur Berechnung der auslastungsäquivalenten Einstufenlast:
 - Schwingenspielzahl berechnen zur Amplitude S_a : 280 MPa

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

The screenshot shows a software window titled "Berechnung der Lebensdauer" with a sub-header "Angaben zur Lebensdauerberechnung". Below the sub-header is the instruction "Geben Sie bitte die benötigten Werte ein." The interface contains several input fields and checkboxes:

- Mehrfachberechnung durchführen
 - Mit mehreren Lastkollektive rechnen
 - Mit mehreren Wöhlerlinien rechnen
- Lastkollektiv:
- Wöhlerlinie:
- Mit Überlastkollektiv rechnen
- Überlastkollektiv:
- Modifikation:
- Effektive Schadenssumme nach IMAB-Verfahren automatisch berechnen
- Effektive Schadenssumme:
- Überlebenswahrscheinlichkeit WL: %
- Neigung der Rissfortschrittsgeraden (für Miner Liu/Zenner):
- Parameter C (für Miner nach Hück):
- Regelmäßigkeit I (für Lebensdauerabschätzung mittels KNN):
- Einstellungen zur Berechnung der auslastungsäquivalenten Einstufenlast
 - Amplitude berechnen zur Schwingenspielzahl N:
 - Schwingenspielzahl berechnen zur Amplitude S_a :
- Berechnungsprotokoll erstellen

At the bottom of the window, there are four buttons: a help icon (?), "< Zurück", "Weiter >", "Fertigstellen", and "Abbrechen".

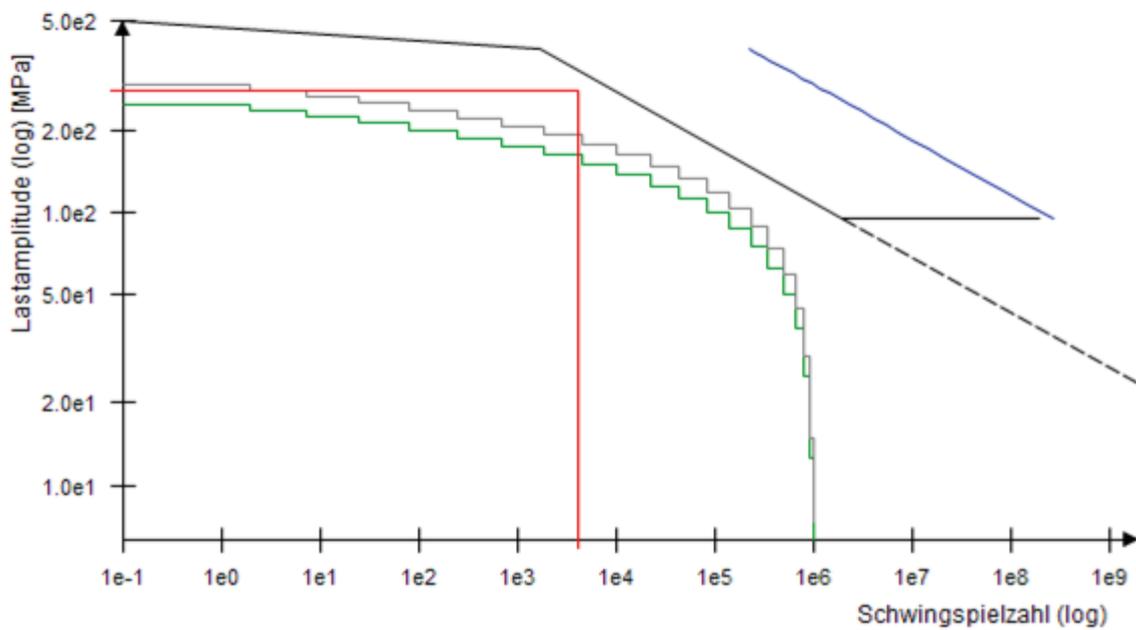
Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.

- [Datensatz löschen](#) [Berechnungsprotokoll anzeigen](#)
- [Lebensdauerberechnung starten](#) [Berechnungsprotokoll löschen](#)

Kollektiv	Bsp_Syn_Kollektiv
Kollektiv Überlast	
Wöhlerlinie	Bsp_exp_Woehlerlinie
IMAB Verfahren	ja
Effektive Schadenssumme	6.732e-001
Überlebenswahrscheinlichkeit WL in %	50
Neigung der Rissfortschrittsgeraden	3.6
Parameter C	0.5
Regelmäßigkeit I	1

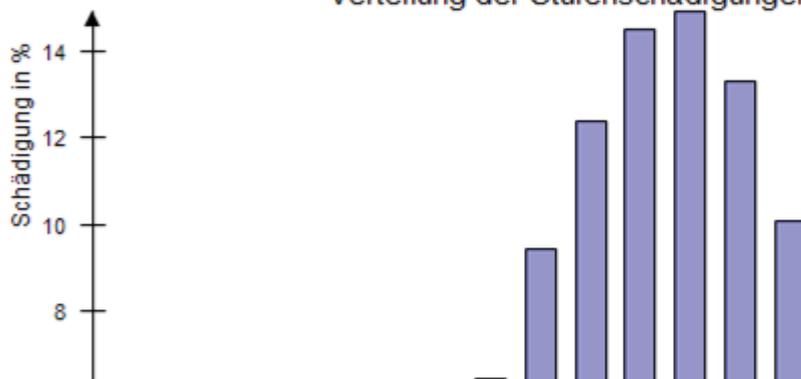
Miner elementar

Lebensdauer	2.286e+006
Schadenssumme	2.945e-001
Wiederholbarkeit	2.286e+000
Auslastungsäquivalente Einstufenlast	2.800e+002
Schwingspielzahl der auslastungsäquivalenten Einstufenlast	4.243e+003
Auslastungsgrad in Lastrichtung	8.455e-001



- 50% Wöhlerlinie
- Lastkollektiv
- Überlastkollektiv
- Maximal zulässiges Kollektiv
- Gassnerlinie
- Modifikationsast
- Auslastungsäquivalentes Einstufenkollektiv
- × Lebensdauer N (bei Rechnung mit Überlastkollektiv)

Verteilung der Stufenschädigungen



Modul Freigabeproofung

Modulbeschreibung

Die Freigabeproofung erlaubt das experimentelle Freigeben von Bauteilen, von denen nur wenige Pröfkörper zur Verfügung stehen. Klassische Methoden wie die Ermittlung einer Wöhlerlinie oder einer Gaßnerlinie sind dann nicht sicher durchführbar.

Die Freigabeproofung erfolgt unter erhöhter Last oder erhöhtem Pröfumfang (erhöhter Zyklenzahl). Ermittelt wird eine Höchstauffallwahrscheinlichkeit für das Bauteil im Betrieb. Die explizite Bauteilfestigkeit bleibt unbekannt. Voraussetzung zur Durchführung einer Freigabeproofung ist die genaue Kenntnis der Lastseite und des Verteilungsfunktionsstyps inklusive Streuparameter der Festigkeitsseite. Weiterhin dürfen sich Schadensort und Schadensmechanismus durch die Skalierung der Lastseite nicht ändern.

Mit LDA+ können Freigabeproofungen bei Unterstellung einer Normalverteilung, einer log-Normalverteilung oder einer Weibullverteilung unter erhöhter Last oder erhöhtem Pröfumfang durchgeführt werden. LDA+ unterstützt sowohl bei der Planung als auch bei der Auswertung von Freigabeproofungen.

Unabhängig von der unterstellten Verteilungsfunktion erfolgt die Skalierung der Last (in der Regel ein Kollektiv) durch einen Faktor. Dieser Skalierungsfaktor ist im Fall eine log-Normal- oder Weibullverteilung der Erhöhungsfaktor. Bei Unterstellung einer Normalverteilung resultiert aus der faktoriellen Skalierung bezüglich des Kollektivhöchstwerts oder bezüglich des Kollektivumfangs eine Erhöhungsdifferenz.

Nachfolgend werden die nötigen Eingabegrößen erklärt und ein Anwendungsbeispiel gegeben.

- [Unterstellte Verteilungsfunktion](#)
- [Erhöhungsrichtung](#)
- [Vertrauenswahrscheinlichkeit](#)
- [Standardabweichung für Normalverteilung](#)
- [Standardabweichung für log-Normalverteilung](#)
- [Weibullformparameter](#)
- [Berechnete Größe](#)
- [Erhöhungsfaktor](#)
- [Erhöhungsdifferenz](#)
- [Probenanzahl](#)
- [Höchstauffallwahrscheinlichkeit](#)
- [Anzahl der Brüche nach Pröfung](#)
- [Anwendungsbeispiel](#)

Unterstellte Verteilungsfunktion

Voraussetzung zur Planung, Durchführung oder Auswertung einer Freigabeproofung ist die Kenntnis über die Verteilungsfunktion der Festigkeitsseite in Last- oder Lebensdauerichtung (Erhöhungsrichtung). In LDA+ können drei verschiedene Verteilungsfunktionen der Festigkeitsseite ausgewählt werden:

- Normalverteilung
- log-Normalverteilung
- Weibullverteilung

Für allgemeine Fälle der Betriebsfestigkeit gilt in der Regel die log-Normalverteilung.

Erhöhungsrichtung

Bei der Durchführung einer Freigabeproofung wird dem Bauteil eine modifizierte Lastseite im Experiment gegenübergestellt. Die Lastseite kann auf zwei Arten modifiziert werden:

- Lasterhöhung (Lastrichtung), z.B. durch faktorielle Skalierung des Kollektivs in Lastrichtung
- Lastverlängerung (Lebensdauerichtung), z.B. faktorielle durch Skalieren des Kollektivs in Schwingspielzahlrichtung

Die Auswertungen des LDA+-Rechenkerns sind unabhängig von der ausgewählten Erhöhungsrichtung. Die Auswahl der Erhöhungsrichtung dient lediglich der korrekten Dokumentation im Berechnungsprotokoll.

Vertrauenswahrscheinlichkeit

Die Vertrauenswahrscheinlichkeit P_V ist ein Maß für die Sicherheit des vorausgesagten Ergebnisses. Eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von z.B. $P_V = 0.95$ (95 %) bedeutet folgendes: Wenn 100 identische Freigabeproofungen durchgeführt werden, dann liegen 95 % aller berechneten Ergebnisse auf der sicheren Seite. 5 % liegen auf der unsicheren Seite.

Die Vorgabe sehr großer Vertrauenswahrscheinlichkeiten führt zu hohen Prüfanforderungen (große Erhöhungsfaktoren bzw. große Erhöhungsdifferenzen, große Probenanzahlen, geringe Anzahlen an Brüchen nach der Prüfung oder hohe Höchstausfallwahrscheinlichkeiten). Typische Vertrauenswahrscheinlichkeiten betragen $P_V = 0.90$ (90%). Die Eingabe erfolgt dimensionslos.

Standardabweichung für Normalverteilung

Wurde bei der unterstellten Verteilungsfunktion die Normalverteilung ausgewählt, dann muss ihre Standardabweichung angegeben werden. Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Festigkeitsseite.

WICHTIG: Die anzugebende Standardabweichung gilt für die Festigkeitsseite und muss passend zur ausgewählten Erhöhungsrichtung sein. Im allgemeinen existieren unterschiedliche Streuungen für Last- und Lebensdauerichtung. Die Standardabweichung ist im Zweifelsfall konservativ anzunehmen.

Typische Standardabweichungen sind:

- Lastrichtung: 3 % bis 10 % der mittleren Dauerfestigkeit
- Lebensdauerichtung: Keine Erfahrungswerte vorhanden

Die Eingabe der Standardabweichung erfolgt in LDA+ ohne Einheit. Sie muss jedoch mit Last- und Festigkeitsseite aus dem Versuch bezüglich der Einheiten übereinstimmen.

Standardabweichung für log-Normalverteilung

Wurde bei der unterstellten Verteilungsfunktion die log-Normalverteilung ausgewählt, dann muss ihre logarithmische Standardabweichung angegeben werden. Unter der logarithmischen Standardabweichung wird die Standardabweichung der logarithmierten Merkmalswerte verstanden. Die logarithmische Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Festigkeitsseite.

WICHTIG: Die anzugebende logarithmische Standardabweichung gilt für die Festigkeitsseite und muss passend zur ausgewählten Erhöhungsrichtung sein. Im allgemeinen existieren unterschiedliche Streuungen für Last- und Lebensdauerichtung. Die logarithmische Standardabweichung ist im Zweifelsfall konservativ anzunehmen.

Typische logarithmische Standardabweichungen sind:

- Lastrichtung: 0,01 bis 0,09
- Lebensdauerrichtung: 0,09 bis 0,30

Die logarithmische Standardabweichung ist dimensionslos.

Weibullformparameter

Wurde bei der unterstellten Verteilungsfunktion die Weibullverteilung ausgewählt, dann muss ihr Formparameter (Weibullexponent) angegeben werden. Der Formparameter ist ein Maß für die Streuung der Festigkeitsseite.

WICHTIG: Der anzugebende Formparameter gilt für die Festigkeitsseite und muss passend zur ausgewählten Erhöhungsrichtung sein. Im allgemeinen existieren unterschiedliche Streuungen für Last- und Lebensdauerrichtung. Der Formparameter ist im Zweifelsfall konservativ anzunehmen.

Typische Formparameter sind:

- Lastrichtung: 14 bis 30
- Lebensdauerrichtung: 1,1 bis 2,2

Der Formparameter ist dimensionslos.

Berechnete Größe

LDA+ unterstützt sowohl bei der Planung als auch bei der Auswertung von Freigabepfahrungen.

Für die Planung von Freigabepfahrungen ist es oft hilfreich den benötigten Erhöhungsfaktor bzw. die benötigte Erhöhungsdifferenz, die Probenanzahl oder die maximal zulässige Anzahl der Brüche nach Prüfung zu bestimmen.

Liegt bereits ein experimenteller Befund vor, dann soll in der Regel die Höchstausfallwahrscheinlichkeit zum Versuchsergebnis berechnet werden.

Erhöhungsfaktor

Der Erhöhungsfaktor ist der Faktor, mit dem das sichere Lastkollektiv in Last- oder Lebensdauerrichtung skaliert wird (faktorielles Skalieren jeder Stufe). Mit dem skalierten Lastkollektiv wird die Prüfung durchgeführt.

Bei Erhöhung in Lastrichtung ist der Erhöhungsfaktor das Verhältnis aus Prüfkollektivhöchstwert zu Betriebskollektivhöchstwert.

Bei Erhöhung in Lebensdauerrichtung ist der Erhöhungsfaktor das Verhältnis aus Prüfkollektivumfang zu Betriebskollektivumfang.

WICHTIG: Durch die Skalierung des Lastkollektivs dürfen sich der Schadensort und der Schadensmechanismus nicht ändern.

Typische Erhöhungsfaktoren sind:

- Lastrichtung: 1,1 bis 1,5
- Lebensdauerrichtung: 2 bis 10

Erhöhungsdifferenz

Die Erhöhungsdifferenz ist der Wert, der zum sicheren Einstufenkollektiv in Last- oder Lebensdauerrichtung addiert wird. Mit dem skalierten Lastkollektiv wird die Prüfung durchgeführt.

Bei Erhöhung in Lastrichtung ist die Erhöhungsdifferenz die Differenz aus Prüfkollektivhöchstwert und Betriebskollektivhöchstwert.

Bei Erhöhung in Lebensdauerrichtung ist die Erhöhungsdifferenz die Differenz aus Prüfkollektivumfang und Betriebskollektivumfang.

WICHTIG: Durch die Skalierung des Lastkollektivs dürfen sich der Schadensort und der Schadensmechanismus nicht ändern.

WICHTIG: Auch bei Verwendung der Normalverteilung erfolgt die Skalierung des Kollektivs mit einem Faktor in Last- oder Lebensdauerrichtung.

Probenanzahl

Die Probenanzahl stellt die im Experiment gempüfte Anzahl an Bauteilen dar. Die Mindestprobenanzahl beträgt $n = 1$. Die maximale Probenanzahl beträgt $n = 100$.

Höchstausfallwahrscheinlichkeit

Die Höchstausfallwahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit, mit der das Bauteil im Betrieb unter den getroffenen Annahmen und dem vorliegenden Versuchsergebnis höchstens ausfällt. Die Eingabe erfolgt in LDA+ dimensionslos.

Anzahl der Ausfälle (Anzahl der Brüche nach Prüfung)

Die Anzahl der Ausfälle ist die Anzahl an Bauteilen, die das Experiment nicht erfolgreich überstanden haben (z.B. durch Bruch oder Anriss) Die Anzahl der Ausfälle muss immer kleiner sein als die Probenanzahl.

Beispiel

Als Beispiel wird die Prüfung eines Getriebegehäuses unter erhöhter Last betrachtet. Die Festigkeitsseite soll einer log-Normalverteilung folgen.

Folgende Eingabegrößen sind bekannt:

- Unterstellte Verteilungsfunktion: Log-Normalverteilung
- Erhöhungsrichtung: Lastrichtung
- Vertrauenswahrscheinlichkeit = 0,9
- Standardabweichung für log-Normalverteilung = 0,04
- Berechnete Größe: Höchstausfallwahrscheinlichkeit
- Erhöhungsfaktor = 1,4
- Probenanzahl = 5
- Anzahl der Ausfälle = 1

Die Kennwerte werden in das Eingabefenster des Berechnungsmoduls übertragen.

Freigabepfung
Berechnung einer Freigabepfung mit wenigen Proben.

Unterstellte Verteilungsfunktion

- Normalverteilung
- log-Normalverteilung
- Weibullverteilung

Erhungsrichtung

- Lastrichtung
- Lebensdauerrichtung

Vertrauenswahrscheinlichkeit

Standardabweichung für Normalverteilung

Standardabweichung für log-Normalverteilung

Weibullformparameter

Berechnete Größe

- Erhungsfaktor
- Erhungsdifferenz
- Probenanzahl
- Höchstausfallwahrscheinlichkeit
- Anzahl der Brüche nach Prüfung

Erhungsfaktor

Erhungsdifferenz

Probenanzahl

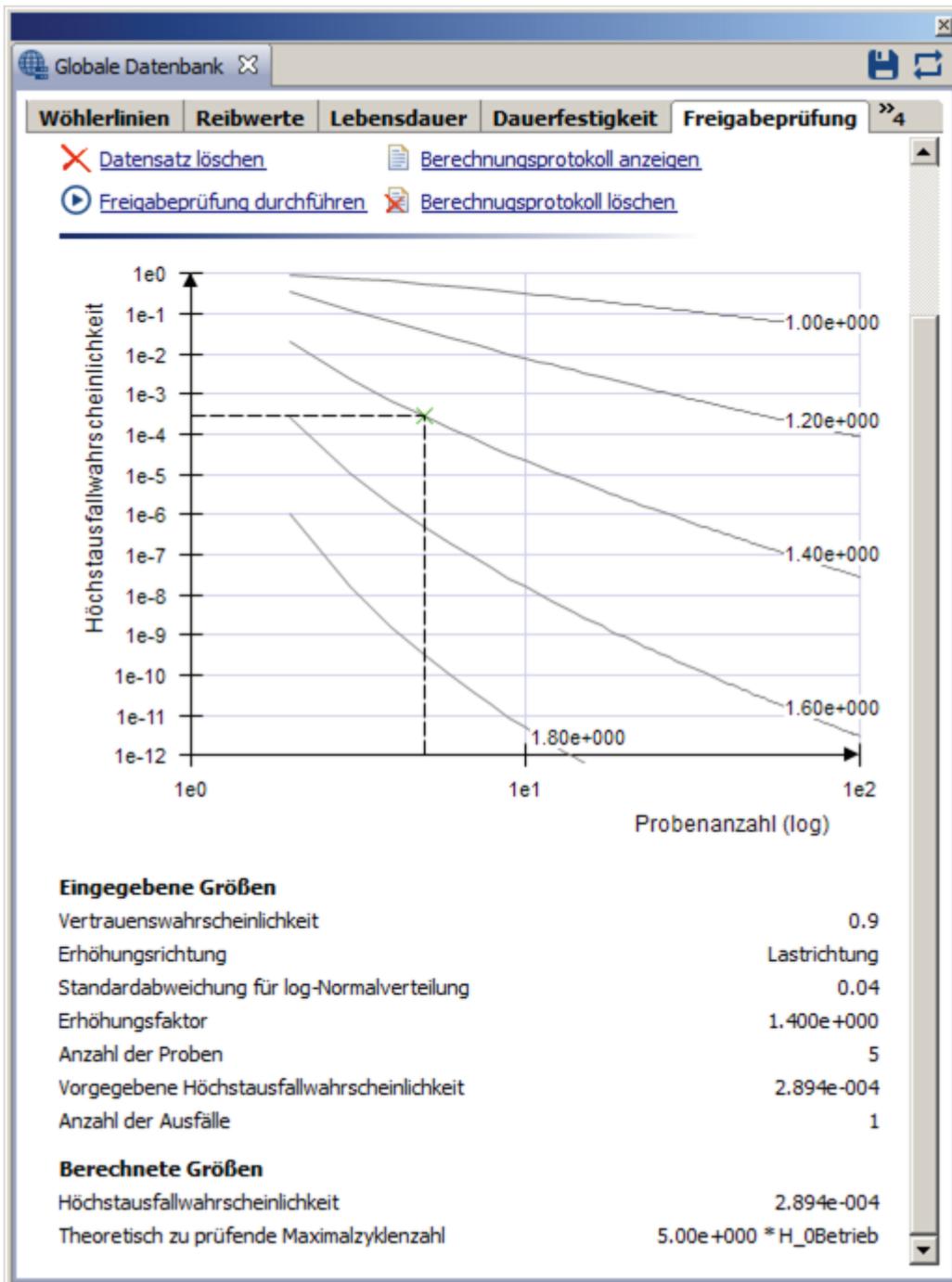
Höchstausfallwahrscheinlichkeit

Anzahl der Ausfälle

Berechnungsprotokoll erstellen



Nach erfolgreicher Berechnung ergibt sich das folgende Ergebnisfenster.



Kommunikation Rechenkern-FVA-Workbench

Kommunikation über XML-Dateien

Die Software LDA+ besteht aus zwei wesentlichen Bestandteilen:

- LDA+-Berechnungskern
- Grafische Benutzeroberfläche in der FVA-Workbench

Der Anwender tätigt Eingaben und Auswahlen in der FVA-Workbench. Daraus erstellt die Workbench XML-Dateien, die den LDA+-Rechenkern ansteuern und parametrieren. Der LDA+-Rechenkern schreibt nach der Berechnung Dateien mit Ergebnissen und ggf. Warn- bzw. Fehlermeldungen zurück.

Die einzelnen Dateien werden nachfolgend erklärt. Zur Ansteuerung des LDA+-Rechenkerns werden die folgenden XML-Dateien benötigt:

- [config.xml](#)
- [auxfile.xml](#)

Der LDA+-Rechenkern schreibt bis zu drei Dateien zurück:

- [output.xml](#)
- [meldung.xml](#)
- [Berechnungsprotokoll.html](#)

config.xml

Die config.xml konfiguriert den Berechnungskern. Ihr Dateiname darf nicht verändert werden. Die config.xml muss im gleichen Verzeichnis liegen wie der LDA+-Berechnungskern. Nachfolgend ist ein Beispiel für eine config.xml dargestellt.

```
config.xml
<?xml version="1.0" encoding="iso-8859-1"?>
<configuration format="1" version="1.0">
  <value id="PRINTLEVEL">5</value>
  <value id="TYP">205</value>
  <value id="DATNAM_IN">auxfile.xml</value>
  <value id="DATNAM_OUT">output.xml</value>
  <value id="CREATOR">Sebastian Gruber</value>
  <value id="BREAK">F</value>
</configuration>
```

Die config.xml enthält die folgenden Einträge:

- PRINTLEVEL:
Legt fest, wie viele Informationen der LDA+-Rechenkern zur Kontrolle in die Konsolenausgabe der FVA-Workbench schreibt.
 - PRINTLEVEL = 0: Keine Ausgabe
 - PRINTLEVEL = 3: Nur die wichtigsten Werte werden ausgegeben

- PRINTLEVEL = 5: Alle Werte werden ausgegeben
- TYP:

Legt die gewünschte Berechnungsroutine fest. Eine Übersicht der Zuordnung zwischen TYP und Berechnungsroutine ist der nachfolgenden Auflistung zu entnehmen.
- DATNAM_IN:

Pfad- und Dateiname der XML-Datei mit den Eingabedaten zur Parametrierung des gewählten Berechnungstyps. Von der FVA-Workbench wird diese Datei grundsätzlich als auxfile.xml bezeichnet. Beispiele für auxfile.xml-Dateien sind dem Abschlussbericht zu entnehmen.
- DATNAM_OUT:

Pfad- und Dateiname für die Ausgabedatei. In diese Datei schreibt der Berechnungskern die Berechnungsergebnisse zurück. Von der FVA-Workbench wird diese Datei grundsätzlich als output.xml bezeichnet. Beispiele für output.xml-Dateien sind dem Abschlussbericht zu entnehmen.
- CREATOR:

Name des Erstellers der config.xml. Der Wert ist für den LDA+-Berechnungskern ohne Bedeutung.
- BREAK:

Wird der Berechnungskern außerhalb der FVA-Workbench betrieben, wird während des Berechnungsgangs das Windows-Command-Window geöffnet und darin Informationen über den Fortschritt angezeigt (siehe auch PRINTLEVEL). Üblicherweise wird dieses Fenster nach der Berechnung automatisch geschlossen (BREAK = F). Soll es geöffnet bleiben, dann muss gelten: BREAK = T.

Zwischen dem Wert TYP und der sich dahinter verbergenden Berechnungsroutine gilt folgende Zuordnung:

- Modul Wöhlerlinie:
 - 100: [Versuchswöhlerlinie / Perlenschnurverfahren](#)
 - 101: [Rechnerische Wöhlerlinie nach VDEh](#)
 - 102: [Rechnerische Wöhlerlinie nach Bergmann](#)
 - 103: [Rechnerische Wöhlerlinie mit KNN](#)
 - 104: [Rechnerische Wöhlerlinie nach FKM-Richtlinie](#)
 - 107: [Schraubenwöhlerlinie nach VDI 2230](#)
- Modul Dauerfestigkeit:
 - 105: [Treppentufenverfahren nach Hück](#)
 - 106: [Dauerfestigkeitsversuch nach Maximum-Likelihood](#)
- Modul Lastkollektiv:
 - 200: [Vergleichsspannungszeitreihe berechnen](#)
 - 201: [Rainflowklassierung](#)
 - 202: [Amplitudentransformation nach FKM-Richtlinie](#)
 - 203: [Einparametrische Verweildauerzählung](#)
 - 205: [Synthetisches / Mathematisch beschreibbares Kollektiv berechnen](#)
 - 250: [Skalierung / Superposition und Extrapolation von einparametrischen Kollektiven](#)
 - 252: [Omission / Truncation einparametrischer Kollektive](#)
 - 253: [Reduzierung der Stufenanzahl einparametrischer Kollektive](#)
 - 254: [Extrapolation von Rainflowmatrizen](#)
 - 270: [Zweiparametrische Verweildauerzählung \(STplus-Kollektive\)](#)
 - 272: [Reduzierung der Stufenanzahl zweiparametrischer Kollektive \(STplus-Kollektive\)](#)
 - 273: [Mehrparametrische Verweildauerzählung \(WELLNESS- und RIKOR-Kollektive\)](#)
 - 274: [Klassengrenzen vorschlagen für mehrparametrische Verweildauerzählung](#)
- Modul Lebensdauer:

- 300: [Rechnerische Lebensdauerabschätzung](#)
- [Modul Freigabepfung:](#)
 - 110: [Freigabepfung mit wenigen Proben](#)

auxfile.xml

Die auxfile.xml liefert alle Eingabedaten zur gewählter Berechnungsroutine. Jede Berechnungsroutine erfordert andere Eingabedaten in der auxfile.xml. Im Abschlussbericht zu LDA+ finden sich alle Eingabedateien (auxfile.xml) für die verschiedenen Berechnungsroutinen. Die auxfile.xml darf umbenannt werden, wenn der entsprechende Pfad- Dateiname auch in der [config.xml](#) unter DATNAM_IN eingetragen wird.

output.xml

Nach erfolgreicher Berechnung schreibt der Berechnungskern die Ergebnisse in die Datei output.xml zurück. Wie die [auxfile.xml](#) darf auch die output.xml umbenannt werden, wenn Pfad- und Dateiname in der [config.xml](#) unter DATNAM_OUT angegeben werden.

meldung.xml

Treten bei der Berechnung Warnungen oder Fehler auf, dann legt der Berechnungskern die Datei meldung.xml an. In ihr werden Warn- und Fehlermeldungen im Klartext gespeichert. Die meldung.xml liegt immer im selben Verzeichnis wie der Berechnungskern.

Berechnungsprotokoll.html

Wird vom Anwender vorgegeben, dass ein Berechnungsprotokoll erstellt werden soll, dann legt der Berechnungskern die Datei Berechnungsprotokoll.html an. Diese liegt im selben Verzeichnis wie der Berechnungskern. Einzige Ausnahme sind Berechnungsroutinen, bei denen Rainflowmatrizen erstellt werden. In diesen Fällen wird das Berechnungsprotokoll in dasselbe Verzeichnis wie die Rainflowmatrix gespeichert. Die Funktionalität der Berechnungsprotokolle ist eingeschränkt, wenn der Berechnungskern ohne die FVA-Workbench betrieben wird. Die FVA-Workbench stellt die Grafiken für die Berechnungsprotokolle zur Verfügung. Der Berechnungskern verwendet als Dateinamen für das Berechnungsprotokoll den Namen der gewählten Berechnungsroutine in Kombination mit einem Zeit- und Datumstempel.

