

1. Bauteile unter Wirkung dynamischer, multiaxialer Belastung

Bauteile, bei denen die dynamische Belastung dazu führt, daß sich die Richtung der Hauptspannung erheblich ändert, stellen eine besondere Problemklasse für die Lebensdauerberechnung dar, da sowohl bei der

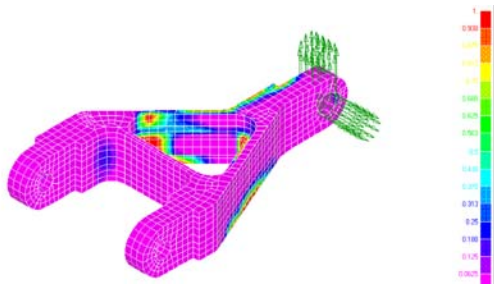


Bild 1: Bauteil, das gleichzeitig durch mehrere Kräfte belastet wird

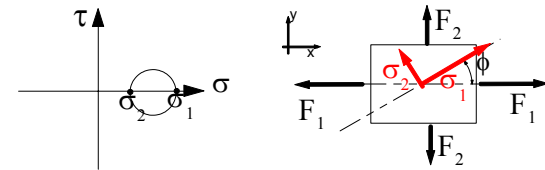
Ermittlung der Belastungskollektive als auch bei der Berechnung ein erheblich größerer Aufwand im Vergleich zur Lebensdauerberechnung mit fester Hauptspannungsrichtung getrieben werden muß.

In vielen Bereichen der Technik findet sich jedoch diese Problemstellung so z.B. bei einer Karosseriestruktur, Achsbauteilen, Kurbelwellen, Rotoren für Windkraftanlagen etc..

Bild 1 zeigt das Beispiel eines dynamisch

belasteten Lenkers, der durch horizontale und vertikale Kräftegruppen F_1 und F_2 belastet wird (Bild 2). Da die Kräfte nicht proportional sind, tritt eine große Änderung der Richtung der Hauptspannung auf, was als multiaxiales Problem bezeichnet wird.

Bei der Berechnung brauchen nur die Spannungen auf der Oberfläche betrachtet werden, da ein Riß in der Regel von der Oberfläche ausgeht. Die Spannungen auf der Oberfläche stellen einen ebenen Spannungszustand dar, was deren Analyse



Merkmal der multiaxialen Beanspruchung: $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ und ϕ sind variabel

Bild 3: Merkmale des multiaxialen Falls

wesentlich vereinfacht .

Die Entscheidung, ob ein Problem wirklich als multiaxiales zu behandeln ist, erfolgt an Hand der Hauptspannungen als Funktion der Zeit.

Ist der Winkel ϕ oder das Verhältnis der beiden Hauptspannungen $\frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ für den interessierenden Punkt der Struktur über der Zeit veränderlich, so bedeutet dies, daß ein multiaxialer Fall vorliegt (Bild 3). Zur Beurteilung läßt sich auch der Mohr'sche Spannungskreis heranziehen.

Da möglicherweise ein multiaxiales Problem ohne Nachteile auch vereinfacht berechnet

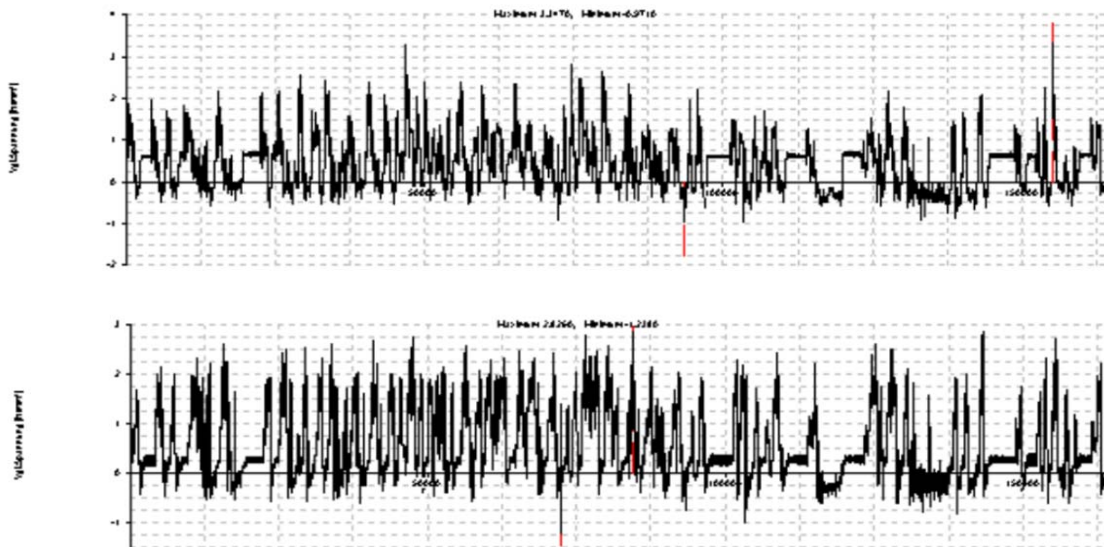


Bild 2: Last-Zeitverlauf der auf das Bauteil in Bild 1 wirkenden Kräfte

werden kann, muß am Anfang einer Untersuchung der Mehrachsigsgrad bestimmt werden. WinLIFE stellt dazu den Winkel ϕ und das Hauptspannungsverhältnis σ_2/σ_1 für kennzeichnende Zeitschritte dar (Bild 4 und 5).

Dort sind 2 Fälle dargestellt: die schwarzen Punkte zeigen einen Fall, der nicht multiaxial behandelt werden muß und somit noch mit winLIFE-BASIS berechnet werden kann. Der andere Fall (rote Punkte) zeigt, daß sich der Winkel und das Hauptspannungsverhältnis beträchtlich verändern und damit eine multiaxiale Rechnung erfolgen muß.

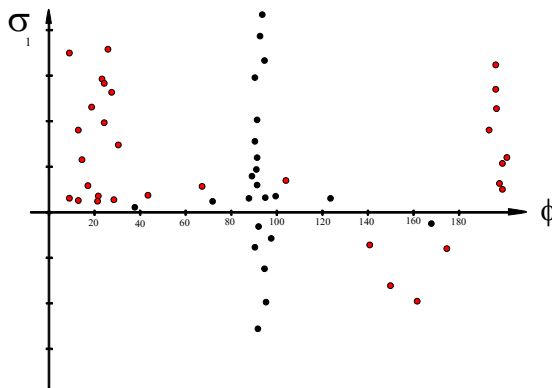


Bild 4: größte Hauptspannung über dem Winkel für einen Oberflächenknoten

2. Ablauf der Berechnung der Lebensdauer

Die Durchführung der Berechnung läuft in folgenden Schritten ab, die schematisch auch in Bild 6 dargestellt sind:

- Zunächst muß für jede wirkende Last ein FE-Lastfall mit einer „Einheitslast“ berechnet werden.
- Eine Materialwöhlerlinie muß festgelegt werden, was in Anlehnung an Spannungswöhlerlinien für den einaxialen Fall erfolgt,
- eine Auswahl von kritischen Knoten kann helfen, die Rechenzeit erheblich zu reduzieren. Dies kann durch Eingabe von Knotennummern durch den Benutzer oder aber automatisch durch eine Analyse von winLIFE, bei der die wahrscheinlich kritischen Knoten gefunden werden, erfolgen.
- durch Einführung einer Hysterese und durch Beschränkung auf die gemeinsamen Umkehrpunkte kann die Last-Zeit-Funktion auf die schadigungsrelevanten Ereignisse verkürzt

werden (Zeitraffung), was die Rechenzeit wesentlich reduziert.

- Basierend auf den Einheitslastfällen und den Last-Zeit-Funktionen wird der Spannungstensor für jeden gewählten Knoten und jeden Zeitschritt berechnet,

- für jeden Knoten und Zeitschritt werden dann nach dem Verfahren der kritischen Schnittebene für jede Ebene eine Schub- und Normalspannung berechnet, woraus dann eine Vergleichsspannung nach einer vom Benutzer wählbaren Hypothese bestimmt wird.

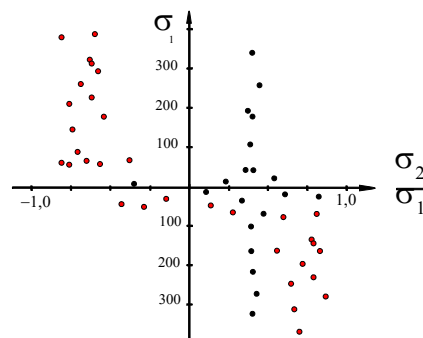


Bild 5: größte Hauptspannung in Abhängigkeit vom Hauptspannungsverhältnis für einen Oberflächenknoten

Die für jeden Knoten, Zeitschritt und jede Schnittebene vorliegende Vergleichsspannung wird nach dem Rainflow-Verfahren klassiert und eine Schädigungsrechnung durchgeführt. Die Ebene mit der größten Schädigung ist die kritische. Dieses Ergebnis wird als Schädigung für den Knoten ausgegeben.

3. Hilfsmittel zur Reduzierung der Rechenzeit

Bei langen Last-Zeit-Funktionen können beträchtliche Rechenzeiten auftreten. Zur Reduktion der Last-Zeit-Funktion kann eine Beschränkung auf die Zeitschritte erfolgen, an denen mindestens eine Last-Zeit-Funktion einen Umkehrpunkt aufweist. Durch Wahl einer Hysterese für jede einzelne Last-Zeit-Funktion können Umkehrpunkte und damit die Anzahl der zu berechnenden Zeitpunkte reduziert werden.

Die umfangreichen Möglichkeiten zur interaktiven Bearbeitung der Last-Zeit-Funktion stehen auch im multiaxialen Modul zur Verfügung und erlauben es, interaktiv die Last-Zeit-Funktion zu bearbeiten

4. Analyse der Ergebnisse

Zur Analyse der Ergebnisse bestehen folgende Möglichkeiten für den multiaxialen Fall:

- Mohr'scher Kreis mit Kennzeichnung der kritischen Schnittebene für jeden Knoten und alle betrachteten Zeitschritte. Dadurch werden die auftretenden Spannungszustände transparent gemacht (Bild 6).

- größter Hauptspannungsvektor für jeden Knoten und alle betrachteten Zeitschritte in einem Bild 7.

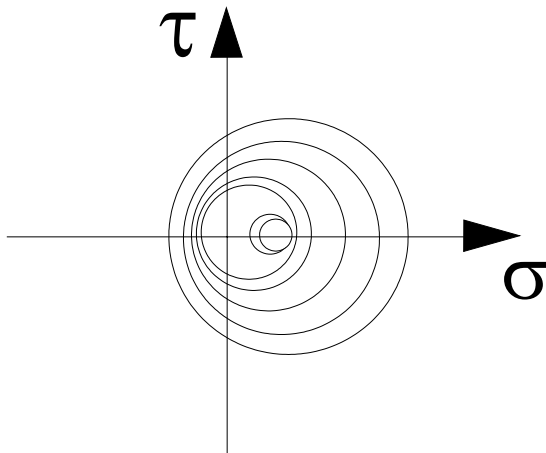


Bild 6: Schar der Mohr'schen Kreise für alle betrachteten Zeitschritte

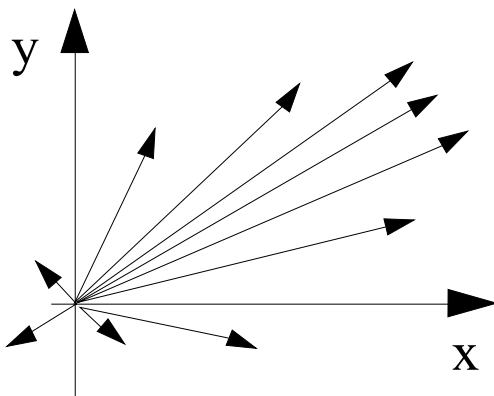


Bild 7: Summe der Hauptspannungsvektoren für alle Zeitschritte mit Umkehrpunkten und einen Knoten

Darüber hinaus bestehen zahlreiche Möglichkeiten, die Schadenssummen mit dem Post-Prozessor des FE-Programms darzustellen.

Die Genauigkeit der Ergebnisse wird bei multiaxialen Berechnungen in der Regel schlechter sein als bei uniaxialen oder biaxialen Problemen, so daß - wo immer es möglich ist - ergänzend zur multiaxialen Rechnung auch eine konventionelle Berechnung durchgeführt werden sollte.

Die kritischen Orte, an denen der Anriß zu erwarten ist, läßt sich zuverlässig ermitteln. In Verbindung mit Versuchsergebnissen und der relativen Miner-Regel lassen sich auch brauchbare quantitative Vorhersagen machen.

5. Benutzerführung

Benutzer von winLIFE BASIS werden sofort intuitiv mit dem winLIFE-Multiaxial-Modul arbeiten können.

6. Materialdaten

Es werden Spannungswöhlerlinien ähnlich wie im BASIS-Modul verwendet. Zusätzlich wird als Werkstoffkenngröße das Verhältnis der Wechselfestigkeit für Schub und Zug-Druck verwendet.

7. Zusammenarbeit mit FE-Programmen

winLIFE arbeitet mit MSC/NASTRAN und einer Reihe weiterer FE-Programme unter dem Betriebssystem Windows zusammen.

8. Voraussetzungen

Es ist das winLIFE-BASIS-Modul zum Betrieb erforderlich.

9. Preise

winLIFE-Multiaxial	4100 €
winLIFE-BASIS	3100 € DM

10. Ansprechpartner

Steinbeis-Transferzentrum „Neue Technologien in der Verkehrstechnik“
Prittwitzstr. 10, 89075 Ulm
Tel.: 07325 3306 oder 07325 919 471
Fax.: 07325 4992
Email: guenter.willmerding@t-online.de

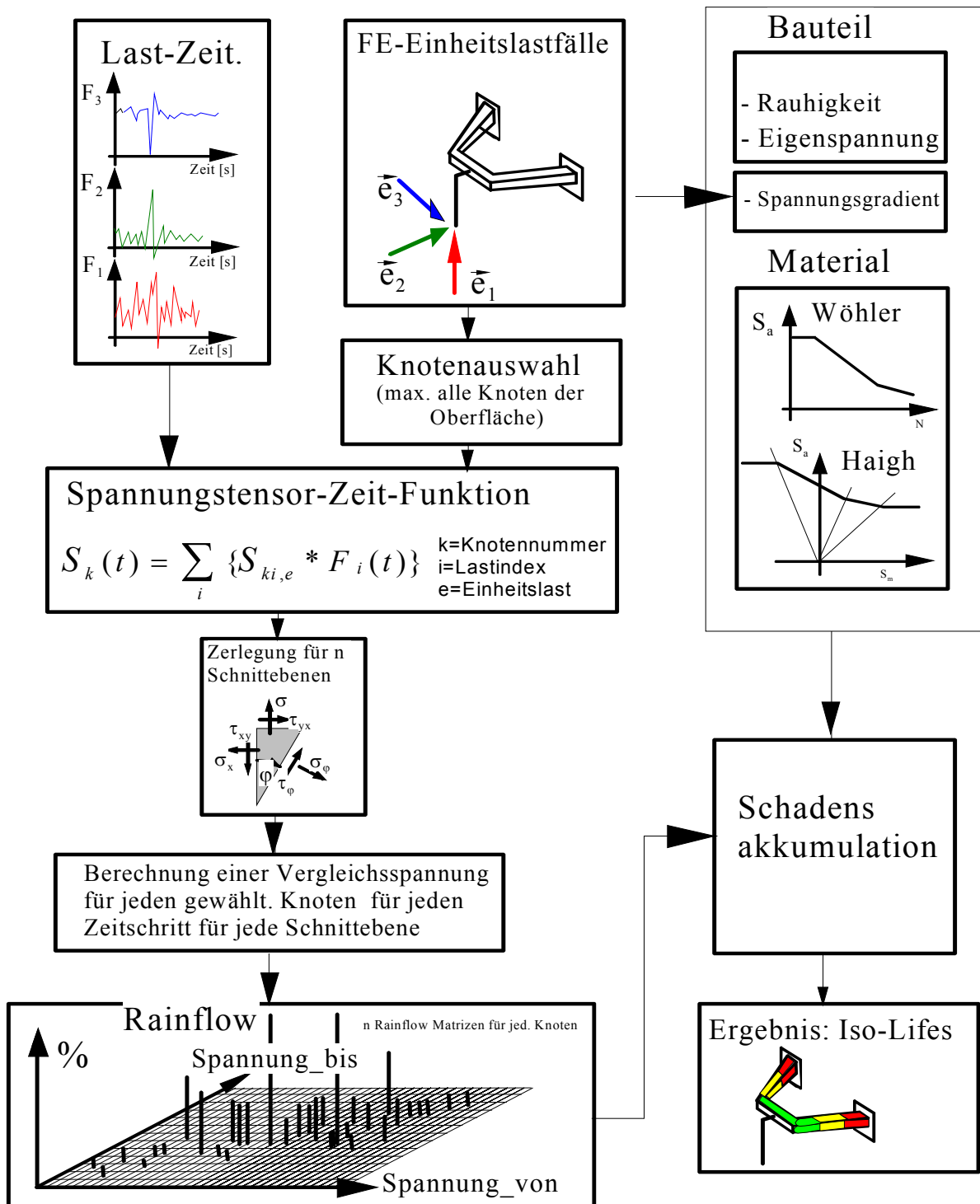


Bild 8: Ablauf der Lebensdauerberechnung für den multiaxialen Fall