



STEINBEIS FOUNDATION

Berechnung der Lebensdauer von Windenergieanlagen unter Verwendung gemessener Lastdaten

**Prof. Dr.-Ing. Günter Willmerding,
M. Sc. Jakob Häckh**

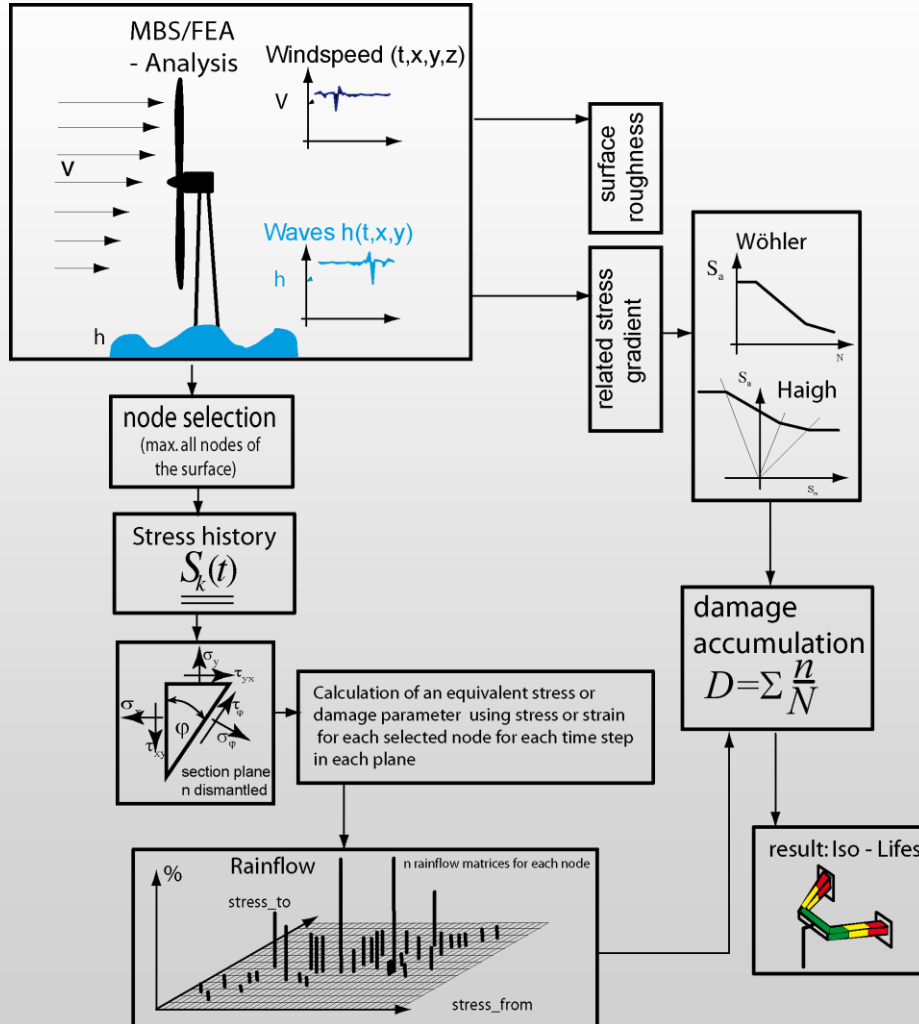
Steinbeis Transfer Zentren
Neue Technologien in der Verkehrstechnik
Verkehrstechnik.Software.Simulation

Wolfgang Artner

Fa. AWOTEC Österreich

We Speed Up Innovation

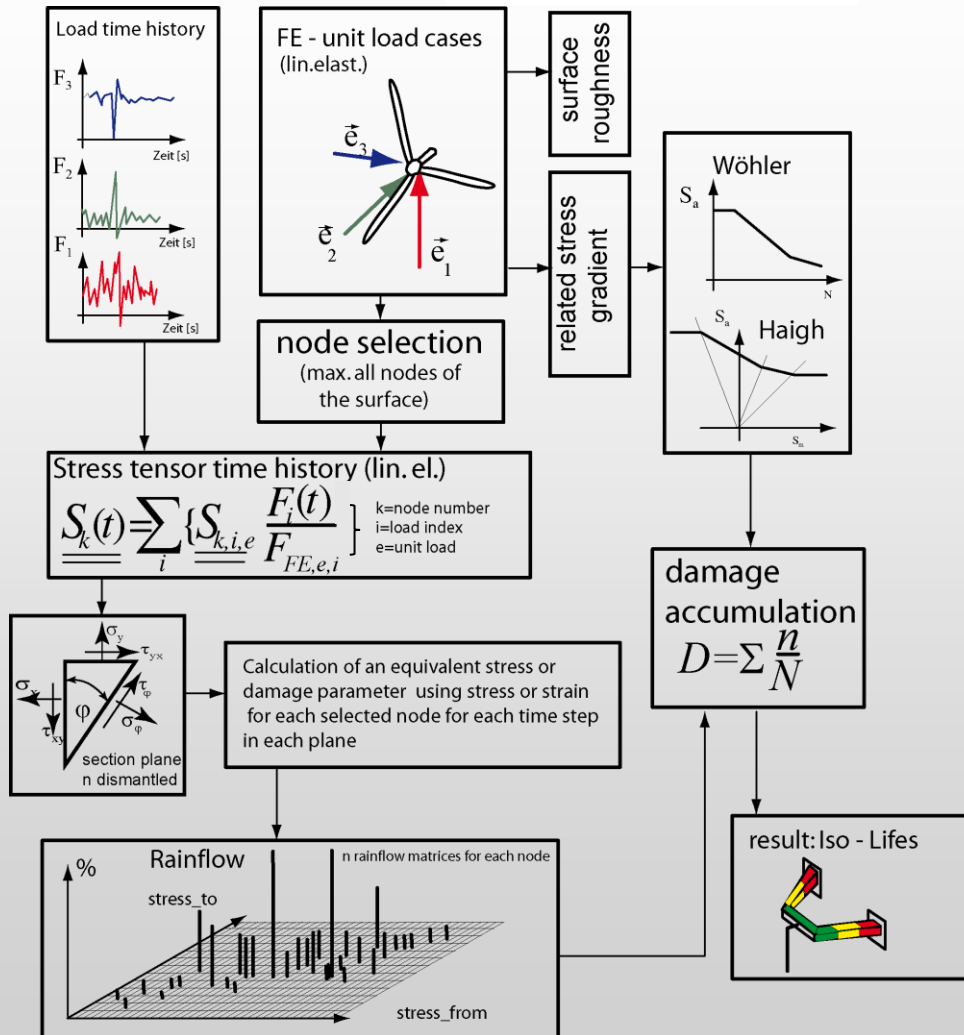
- Möglichkeiten der Lebensdauerberechnung von WEA-Komponenten unter Verwendung von FEM/MKS
 - dynamische Analyse des gesamten Systems, Nichtlinearitäten und Dynamik (insbes. Resonanzen)
 - statische Superposition von FEM-Einheitslastfällen und Skalierung
- statische Superposition von FEM-Einheitslastfällen und Skalierung
 - Verwendung von gemessenen Lastdaten
 - Einfluß der Reihenfolge und Bedeutung des Residuums
 - Berücksichtigung der Rotation
- Beispiel: Planetenträger eines Planetengetriebes
- Zusammenfassung



Das reale System inklusive Nichtlinearitäten und Dynamik (Eigenfrequenzen) kann realistisch modelliert werden.

Problem: Rechenzeiten

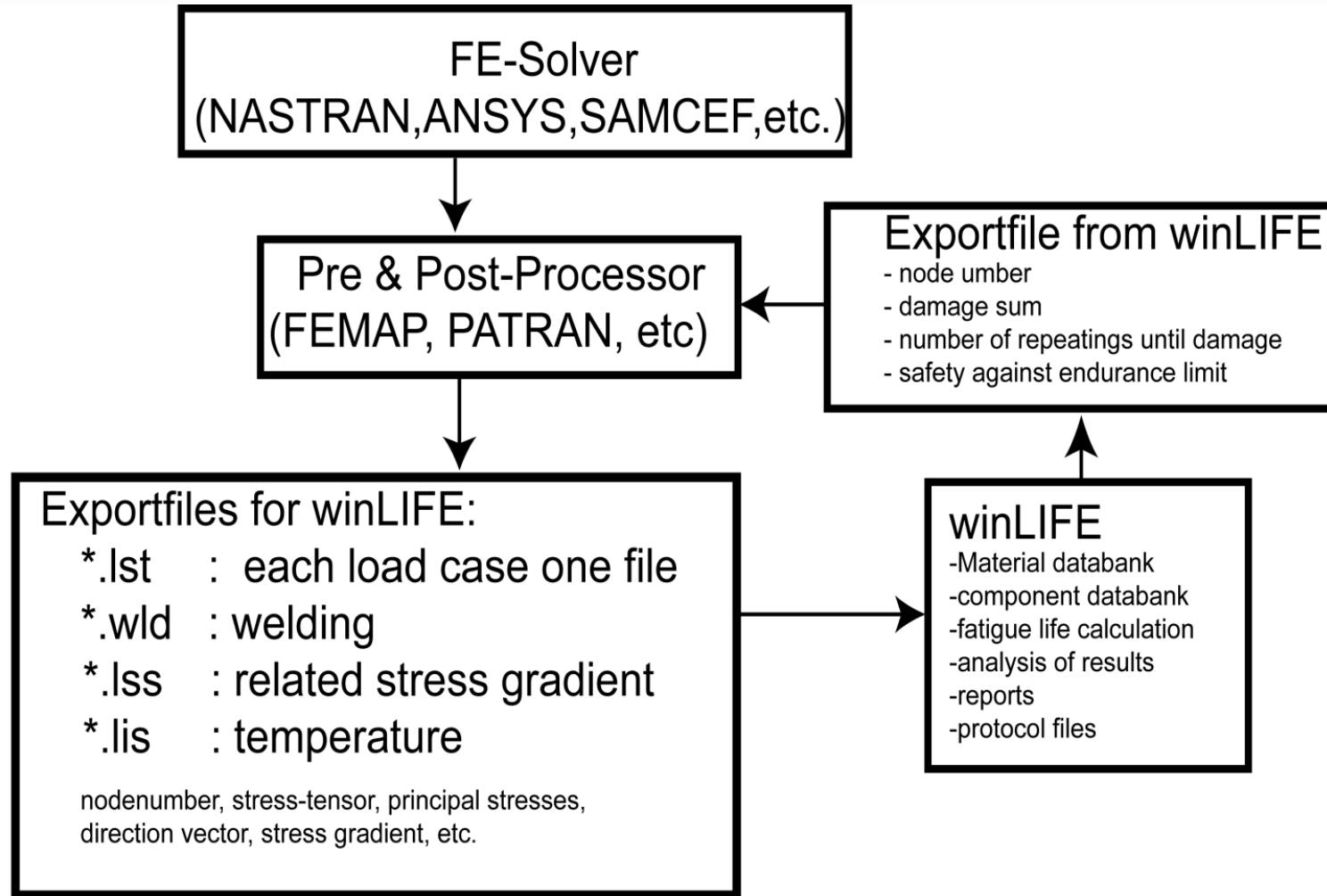
Einsatz: Für Grundsatzuntersuchungen



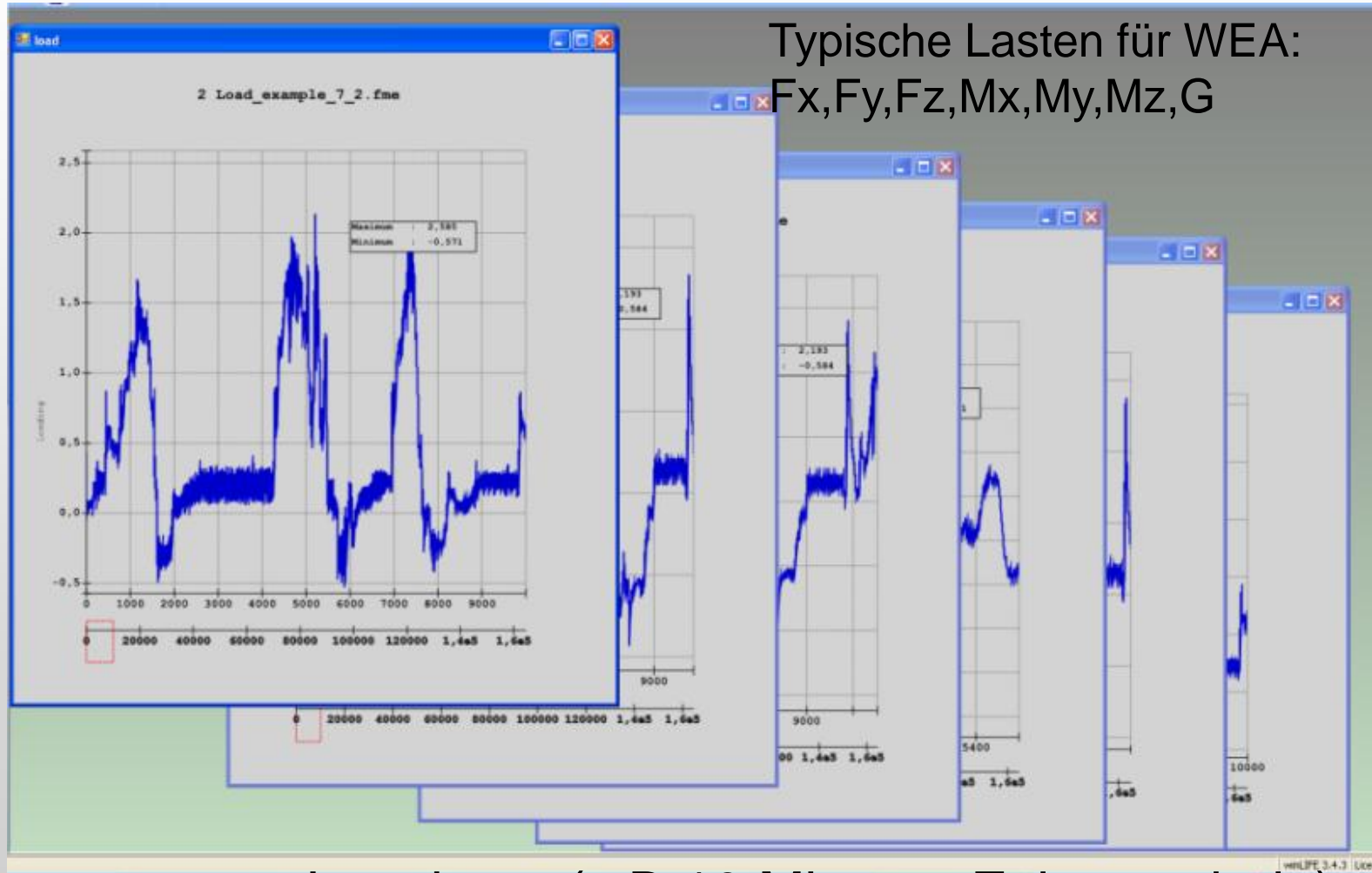
Etabliertes Verfahren für Lebensdauerabschätzung. Nichtlinearitäten und Rotation kann berücksichtigt werden.

Vorteil: eine große Zahl von Szenarien (<2000) kann untersucht werden

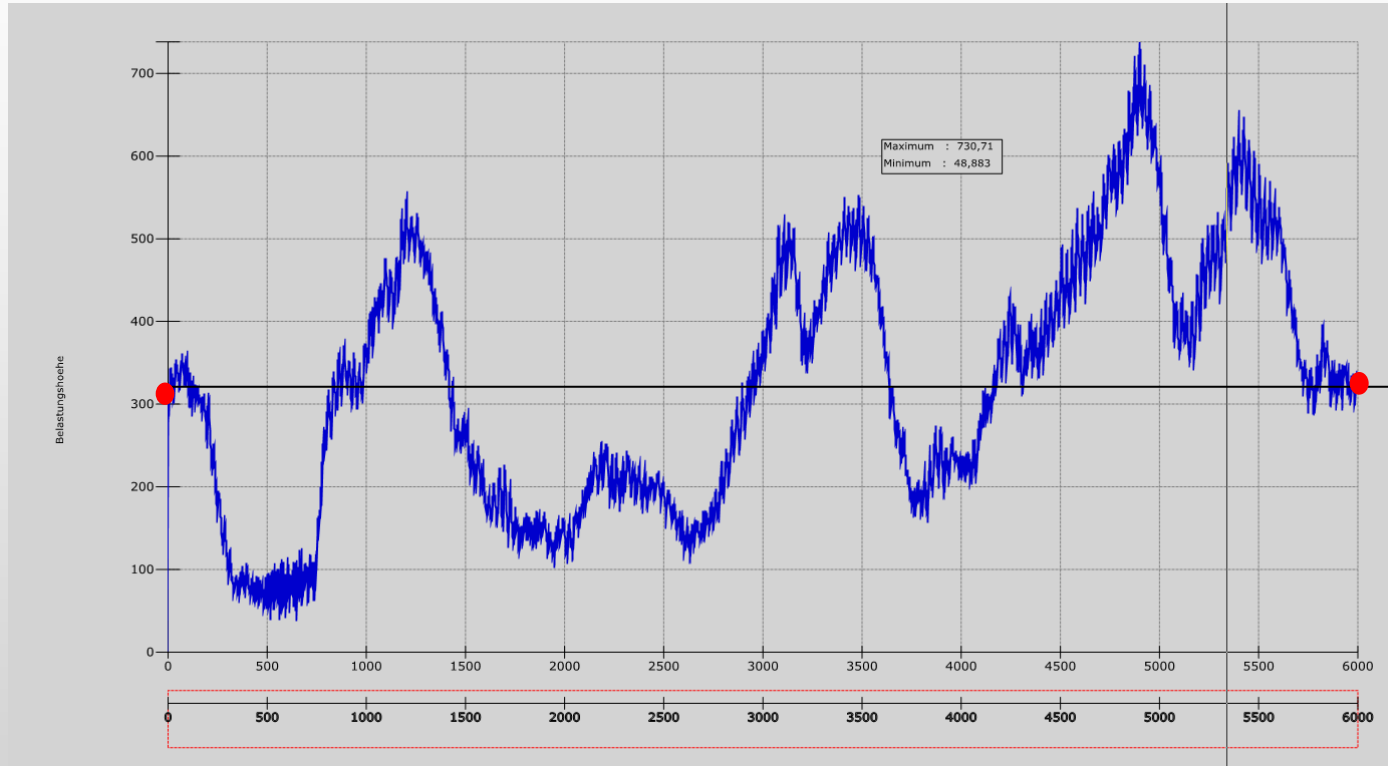
Einsatz: Standardverfahren zur Lebensdauerabschätzung z.B. für Zertifizierung



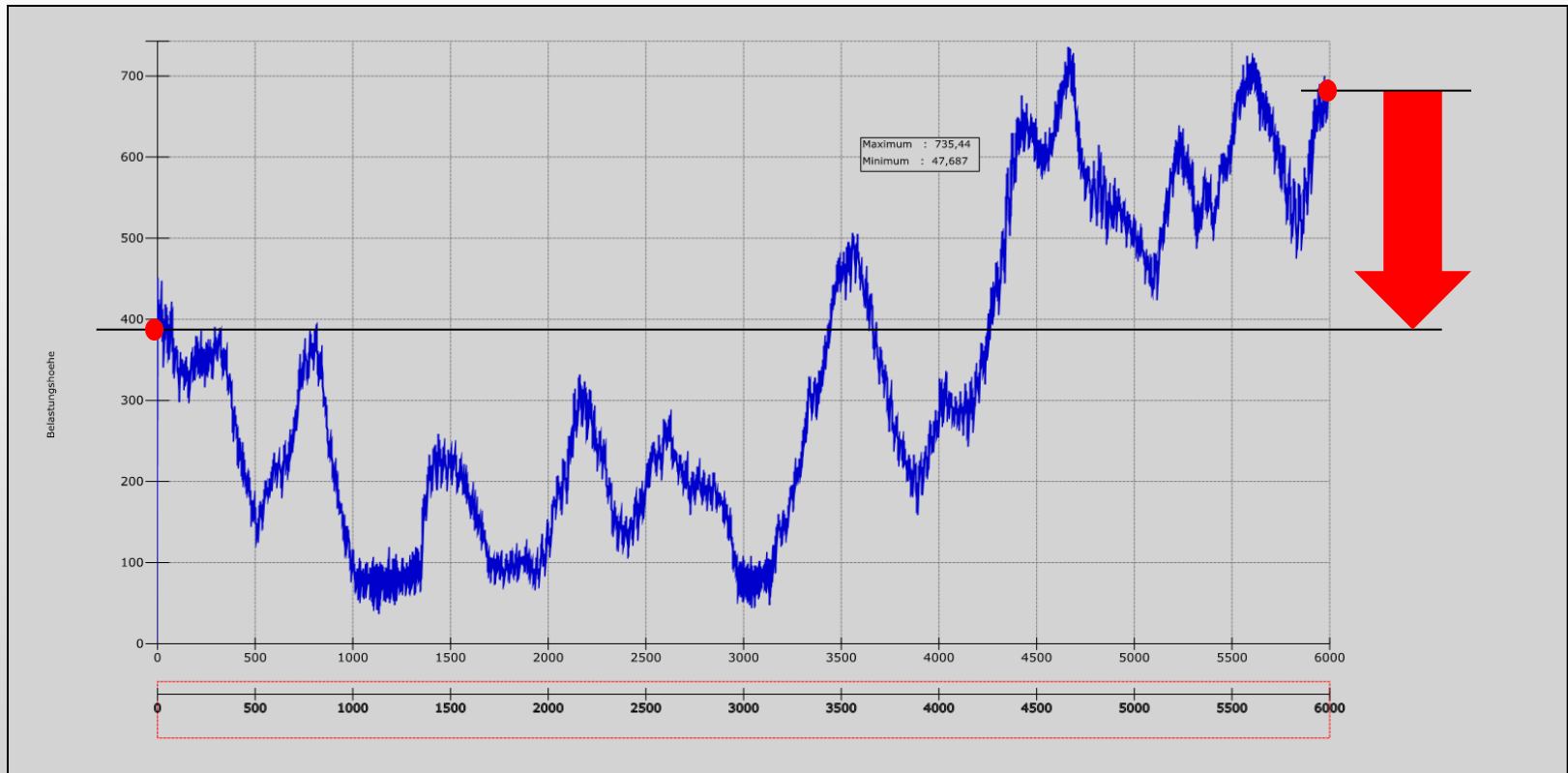
Typische Lasten für WEA:
 $F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z, G$



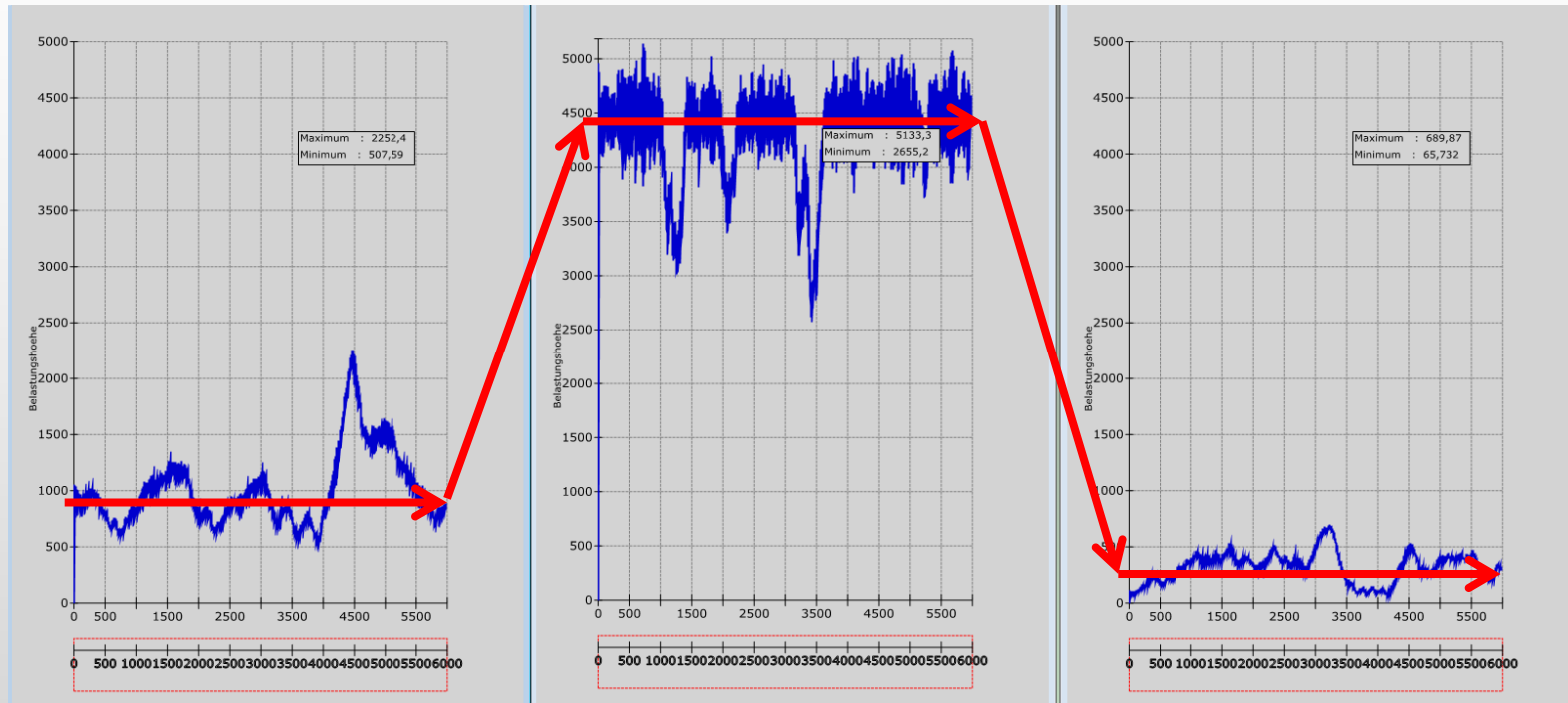
gemessene Lastdaten (z.B. 10 Minuten Zeitausschnitt)



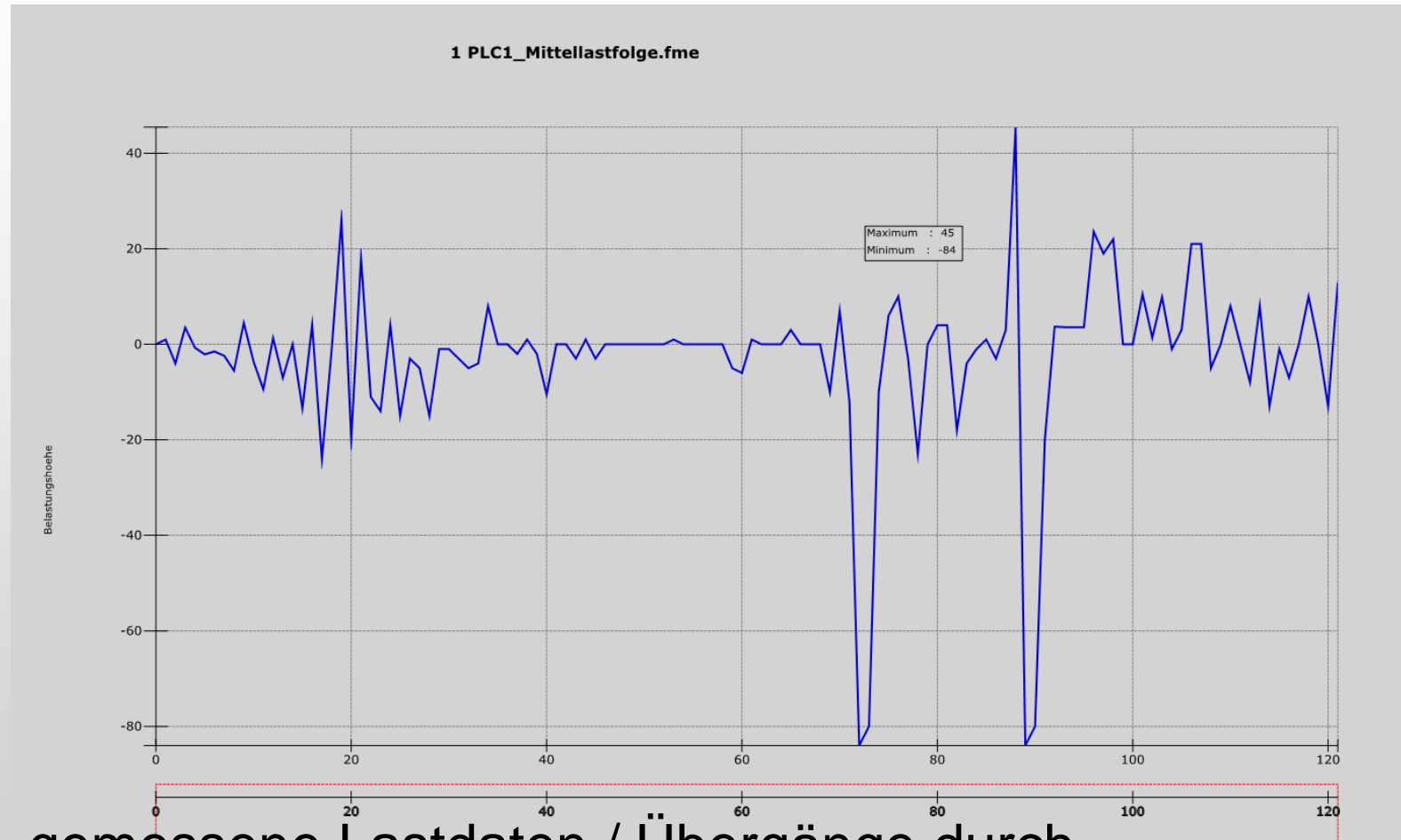
gemessene Lastdaten/Anfangswert und Endwert
identisch



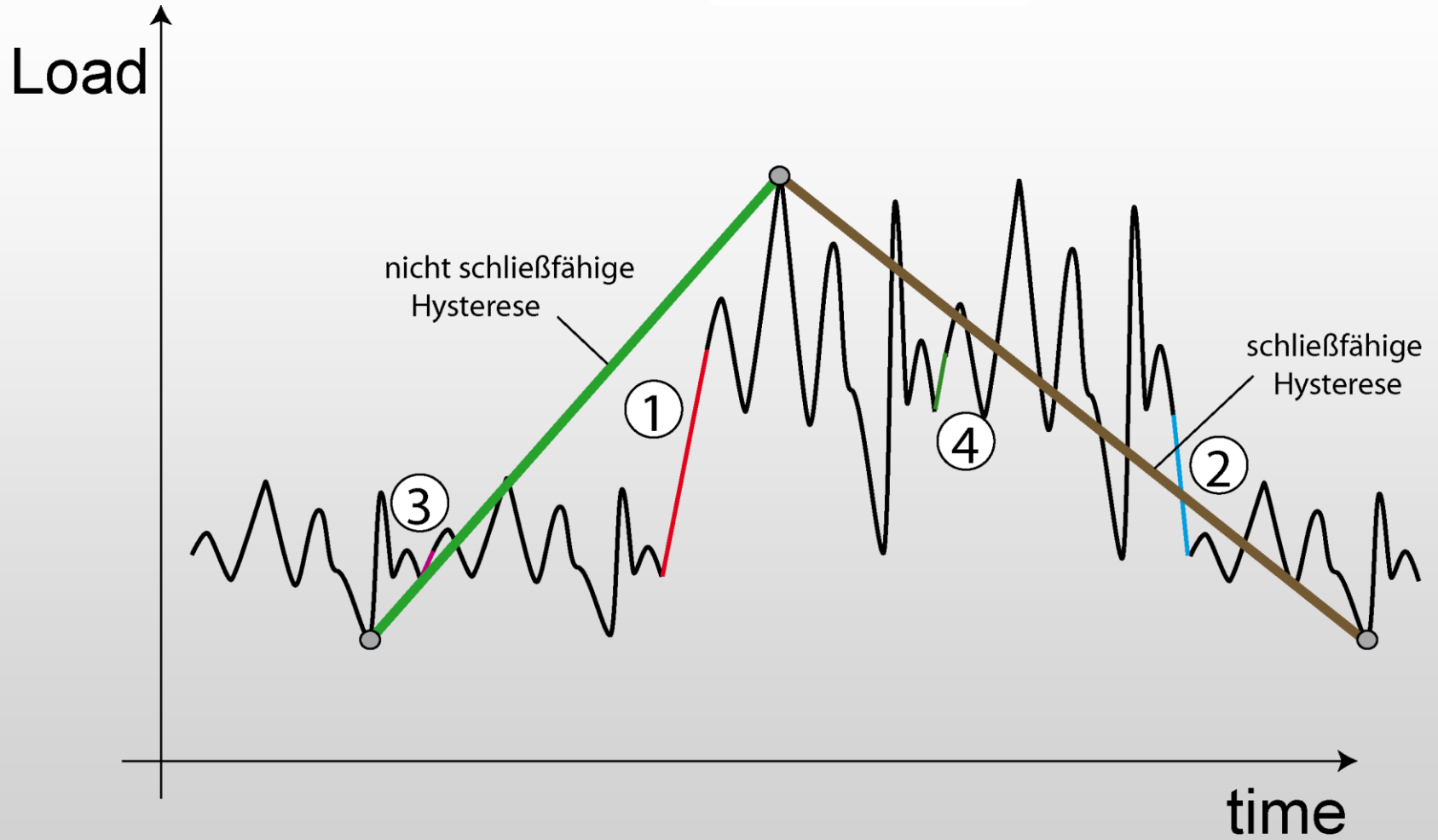
gemessene Lastdaten/
Anfangswert und Endwert NICHT identisch (Resid.)

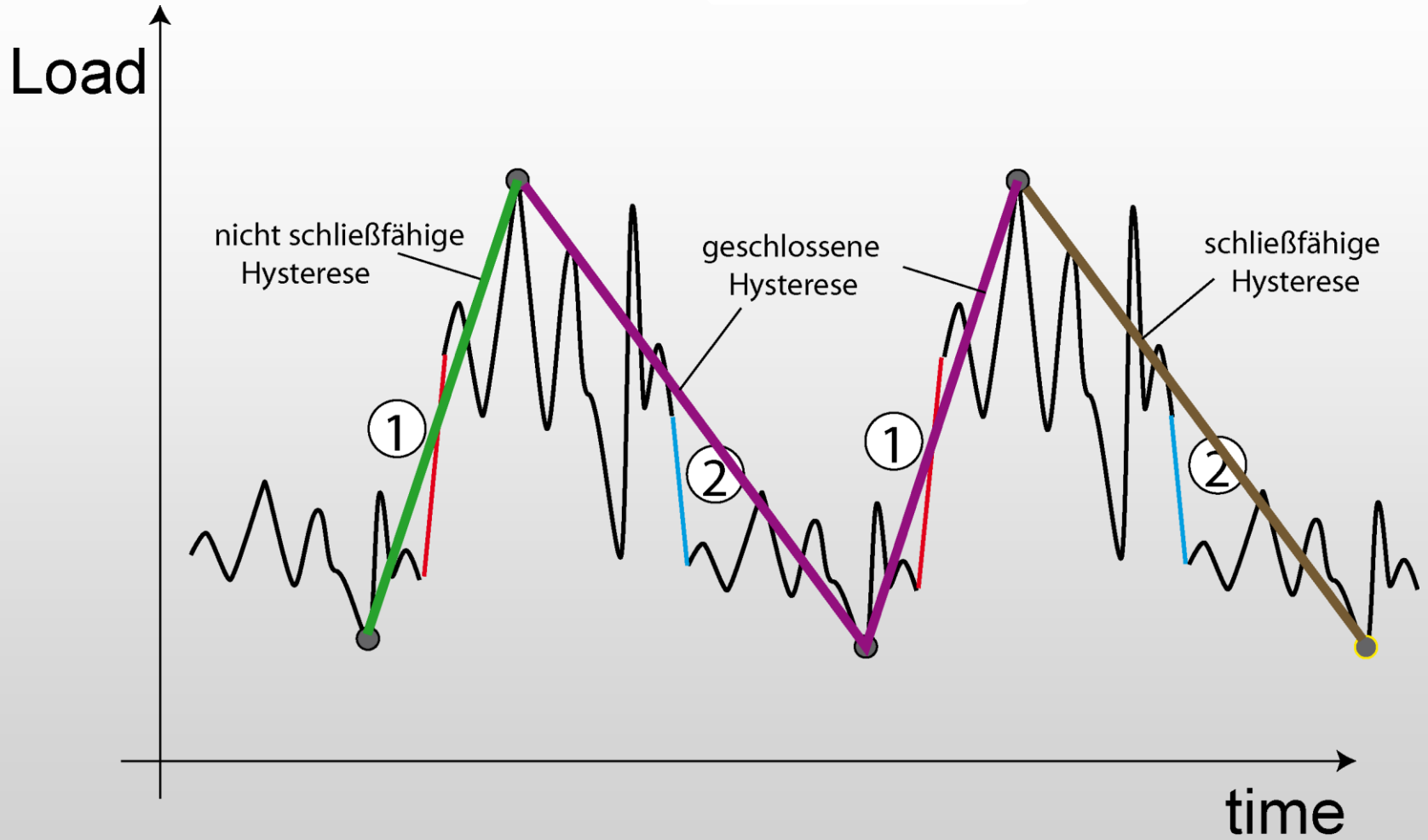


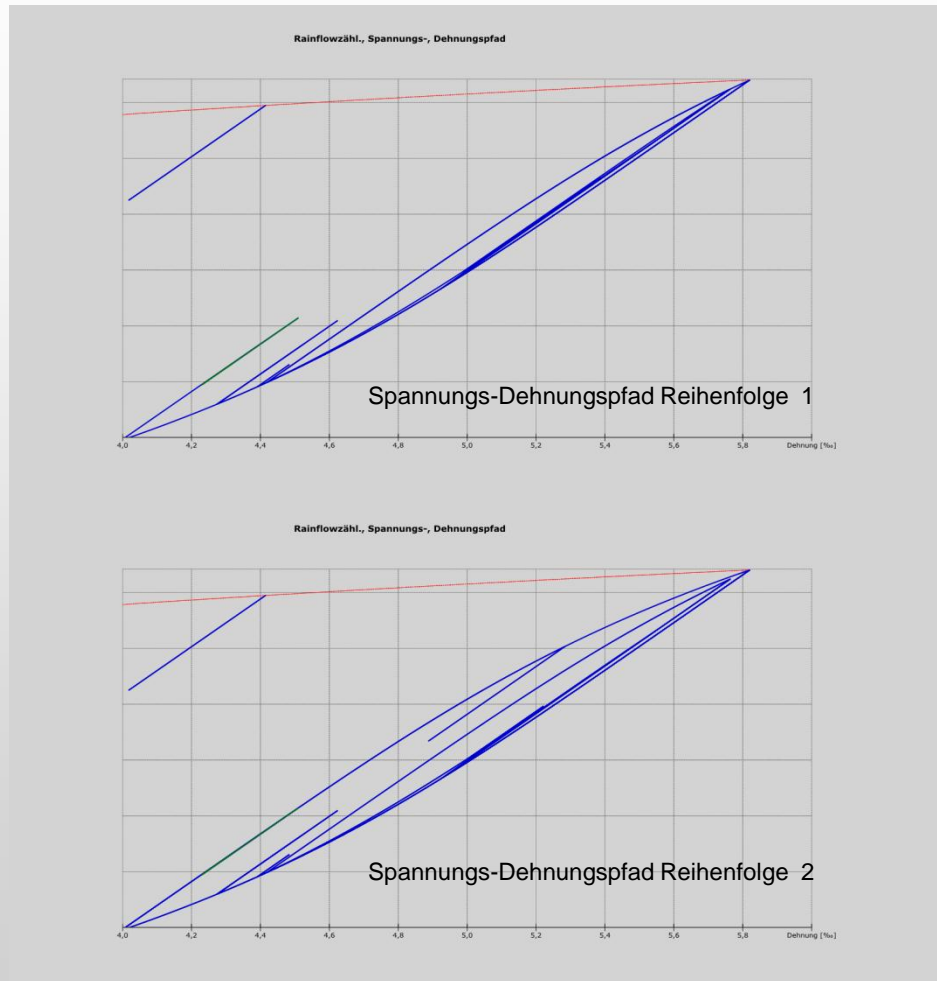
gemessene Lastdaten / Lastübergänge nachträglich berücksichtigen



gemessene Lastdaten / Übergänge durch Mittellastfolge berücksichtigen

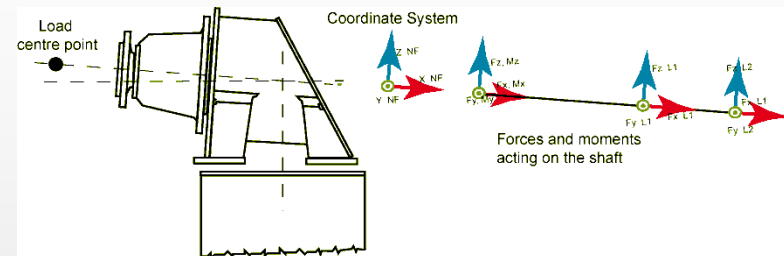






Der Spannungs-Dehnungs-Pfad unterscheidet sich und die resultierende Schadenssumme weicht um ca. 100 % voneinander ab.

Beispiel Planetenträger für WEA



- Belastung durch 122 gemessene Teillasten
- Gemessene Größen:
 - Moment 1 ELF,
 - Maschinenträgerschwingungen (8 Winkelfenster
8 ELF)
- Unter Berücksichtigung von:
 - Gewichtskraft (8 Winkelfenster da rotierend
8 ELF) ,
 - Schraubenvorspannung, nichtlinear, Kontakt)
1 ELF

Analyse des Gesamtsystems

FE-System FEMAP + NxNASTRAN (Siemens PLM-Software)

Lebensdauersoftware winLIFE

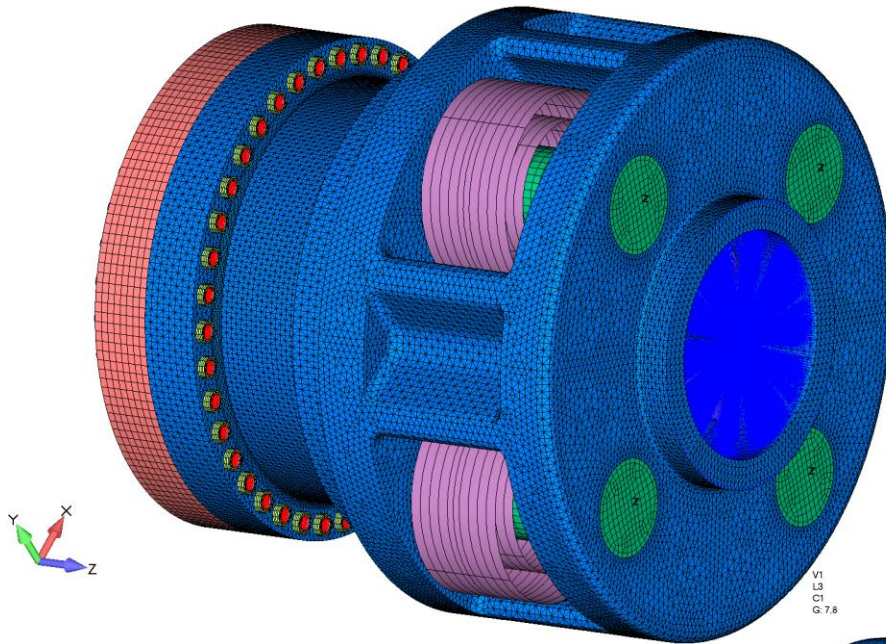
Anzahl der Knoten des Modells 1.280.015

Anzahl der Oberflächenknoten (winLIFE Export) 187.252

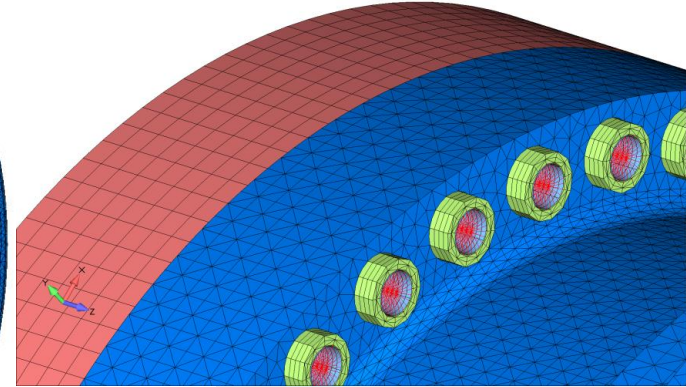
Die FE Berechnung der jeweiligen Lastfälle erfolgt immer unter Berücksichtigung der Schraubenvorspannung!

Die Einheitslastfälle für die Schädigungsrechnung werden durch Abzug des Lastfalls „Schraubenvorspannung“ vom Resultat der jeweiligen finite Elemente Analyse erstellt.

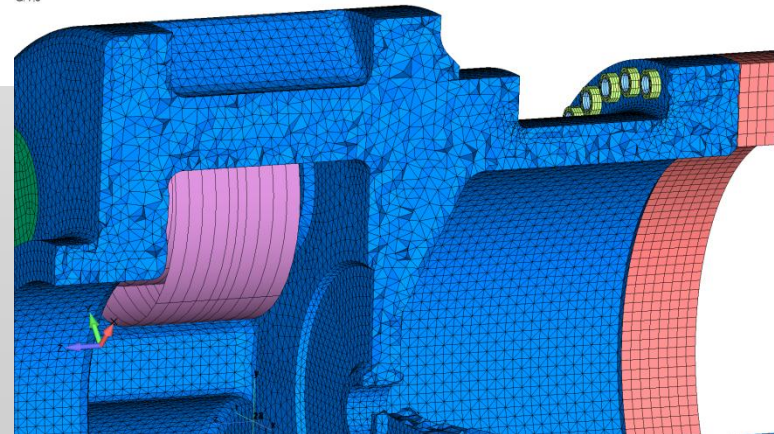
V1
L3
C1



S 13.6

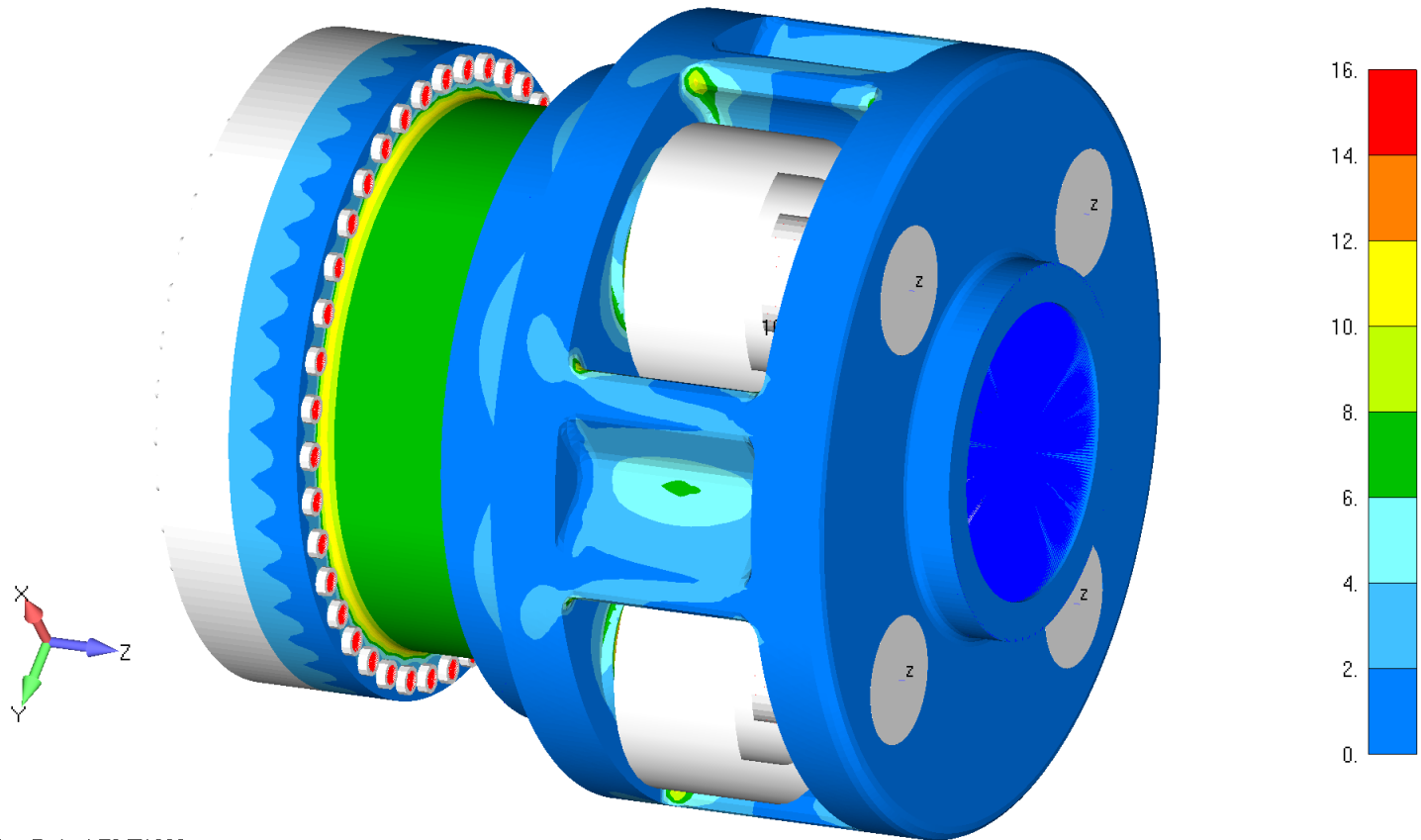


V1
L3
C1
G 7.8



Finite Elemente Modell

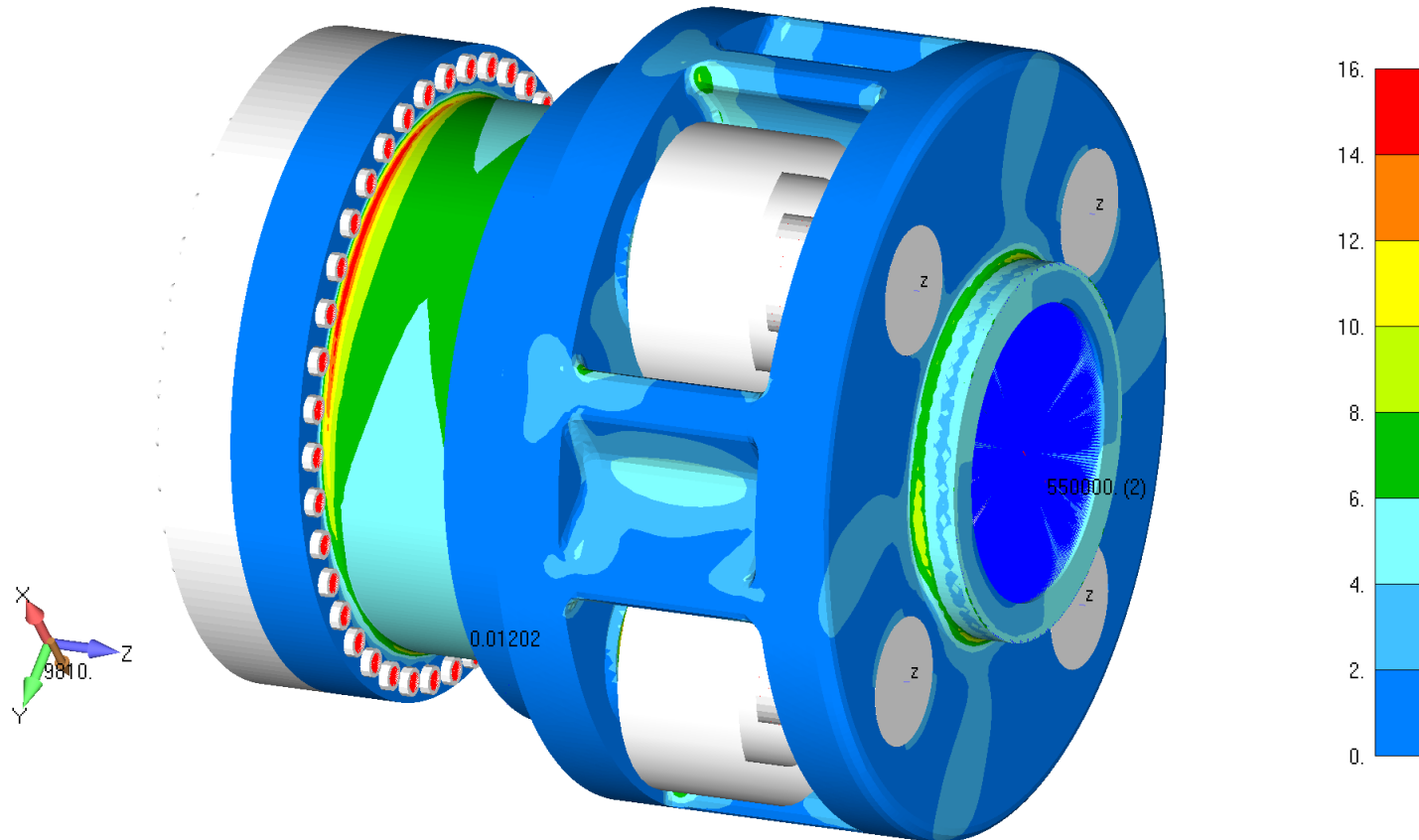
V3
L12
C1



Output Set: Delta.LF2-T1000
Elemental Contour: Solid Von Mises Stress

Einheitslastfall Antriebsmoment ($M = 1000 \text{ kNm}$) mit v.Mises Spannungen in MPa

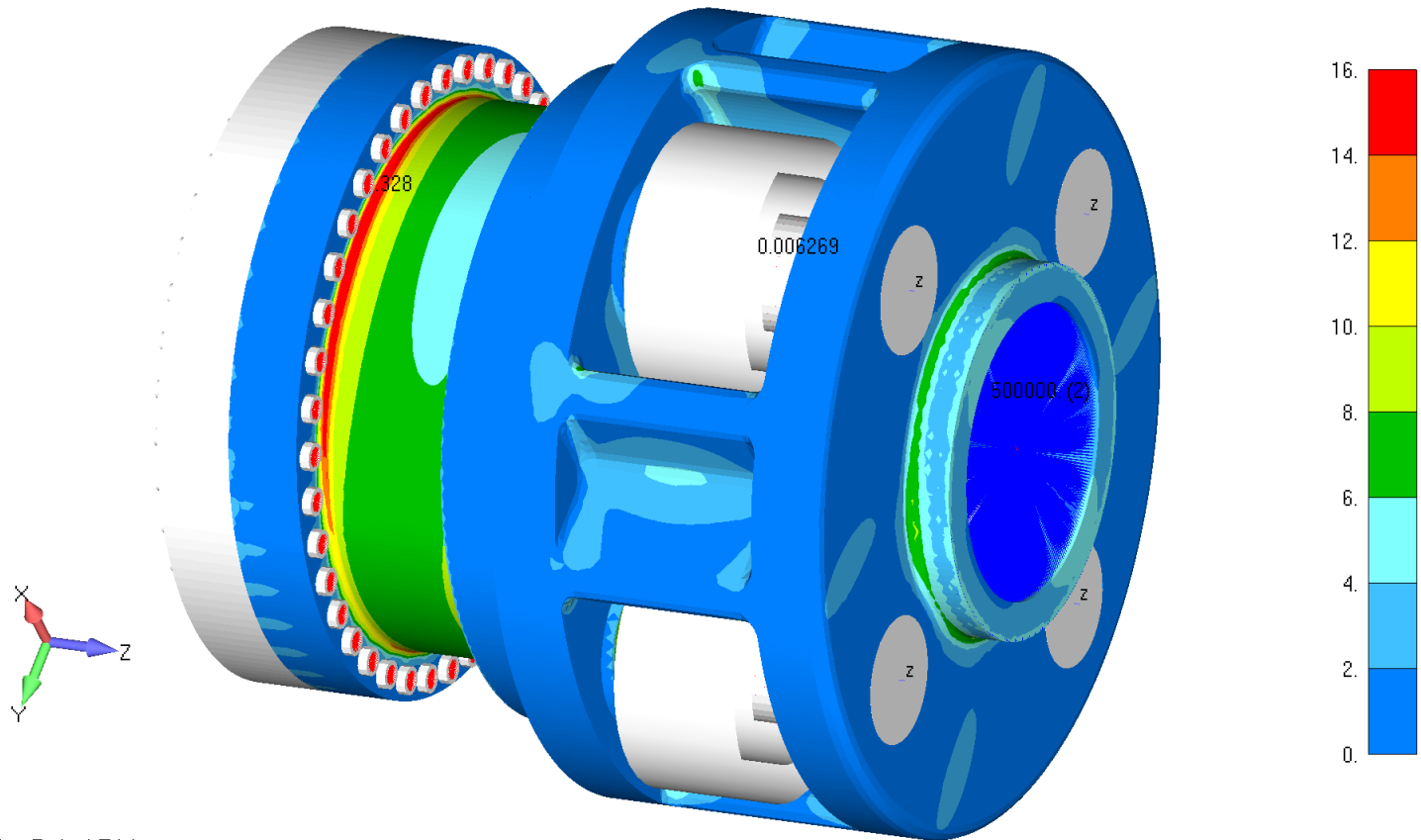
V3
L3
C1



Output Set: Delta LF3-1
Elemental Contour: Solid Von Mises Stress

Einheitslastfall Gewichtskraft (= 743 kN) mit
v.Mises Spannungen in MPa

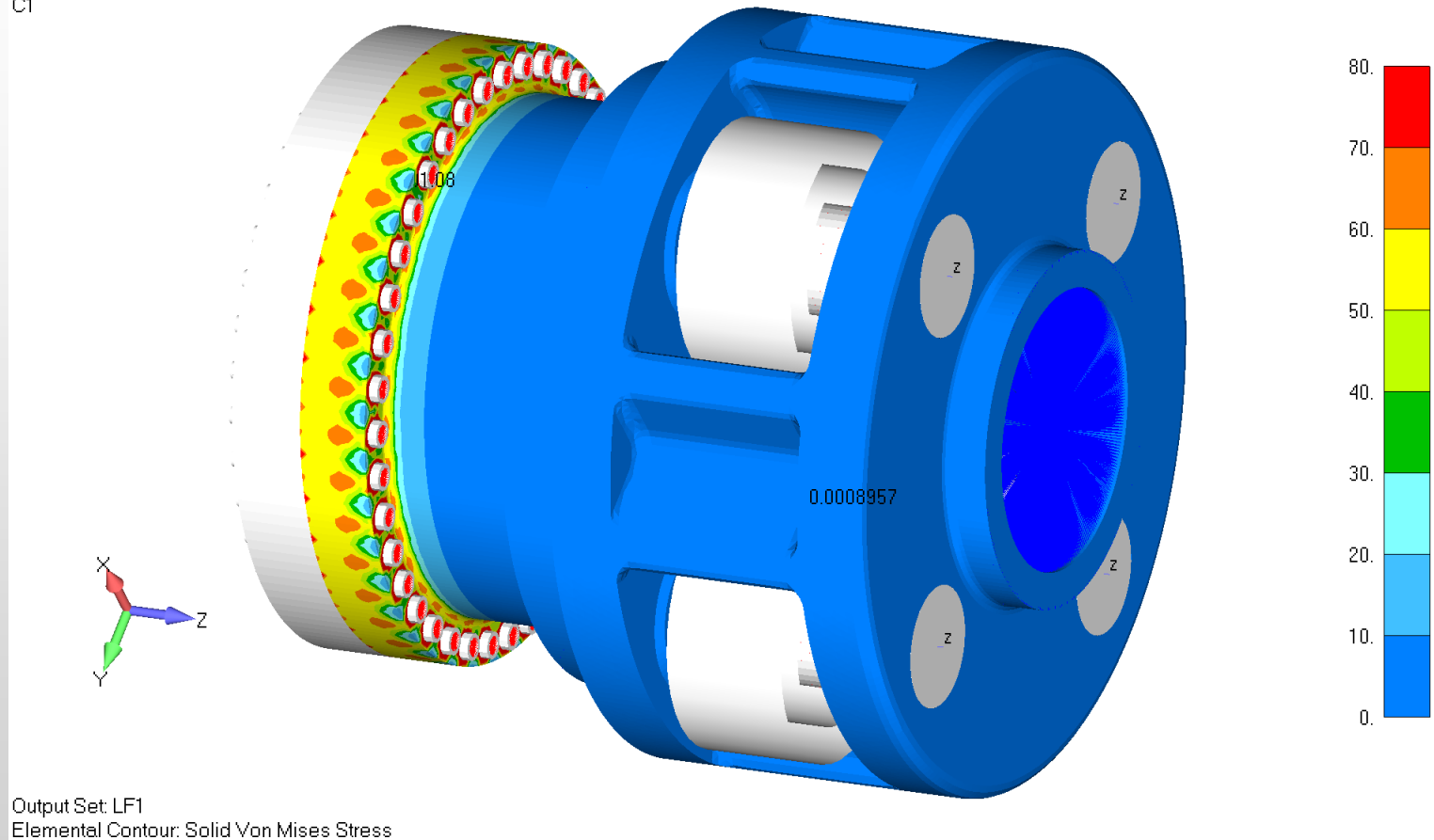
V3
L7
C1



Output Set: Delta LF4-1
Elemental Contour: Solid Von Mises Stress

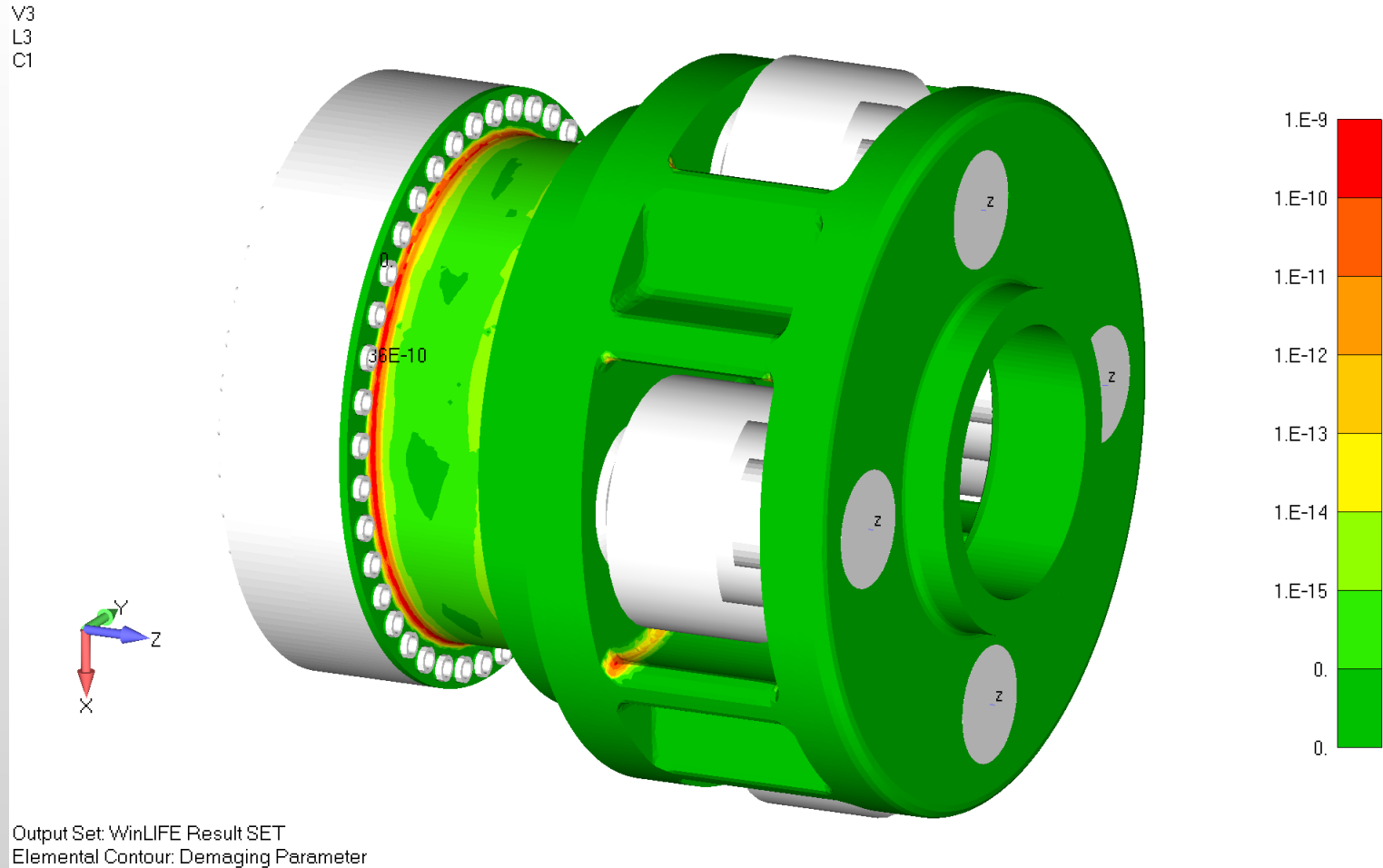
Einheitslastfall Maschinenfundament (= 1000 kN) mit v.Mises Spannungen in MPa

V3
L1
C1



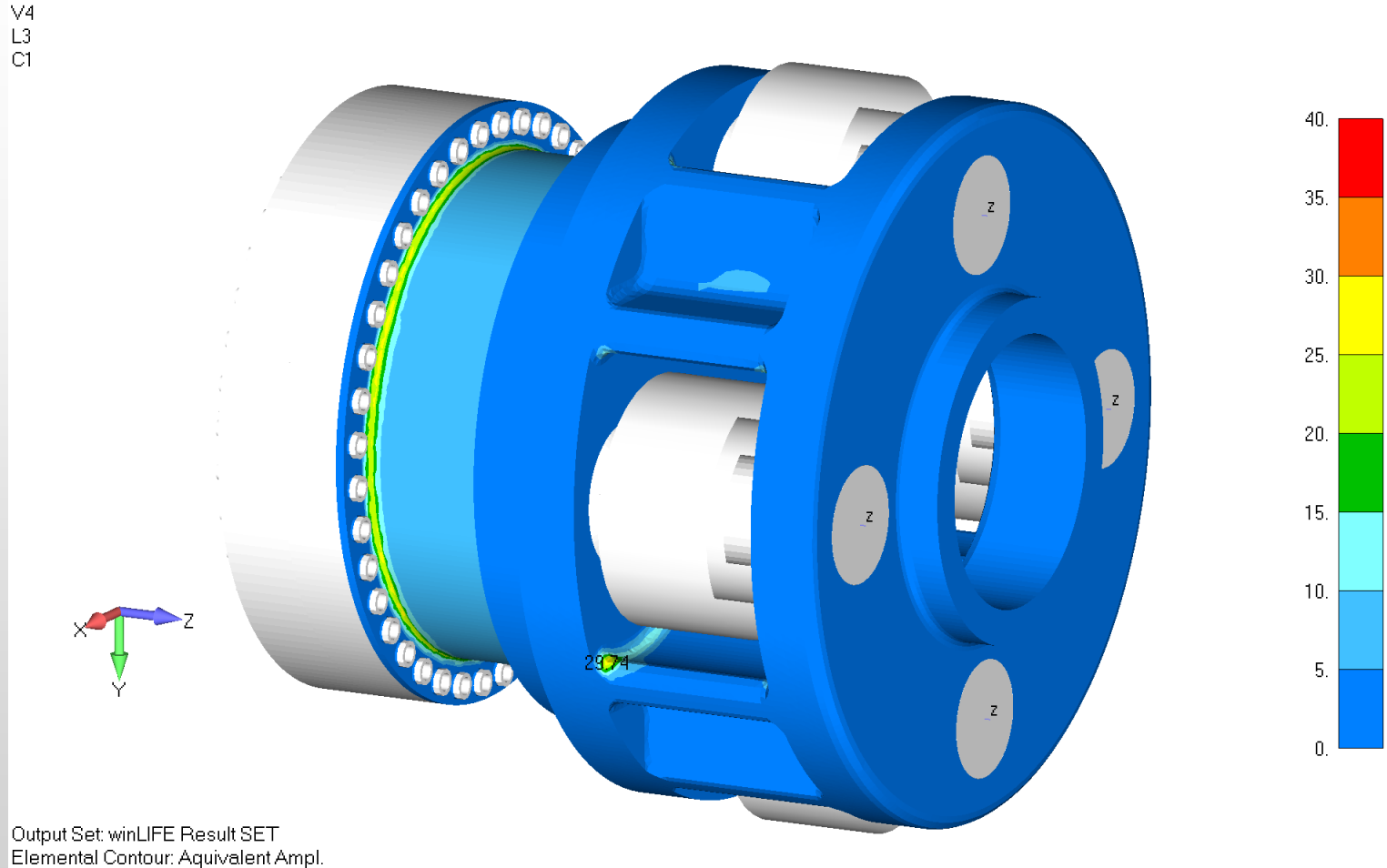
Einheitslastfall Schraubenvorspannung (= 650 kN je Schraube) mit v.Mises Spannungen in MPa

V3
L3
C1



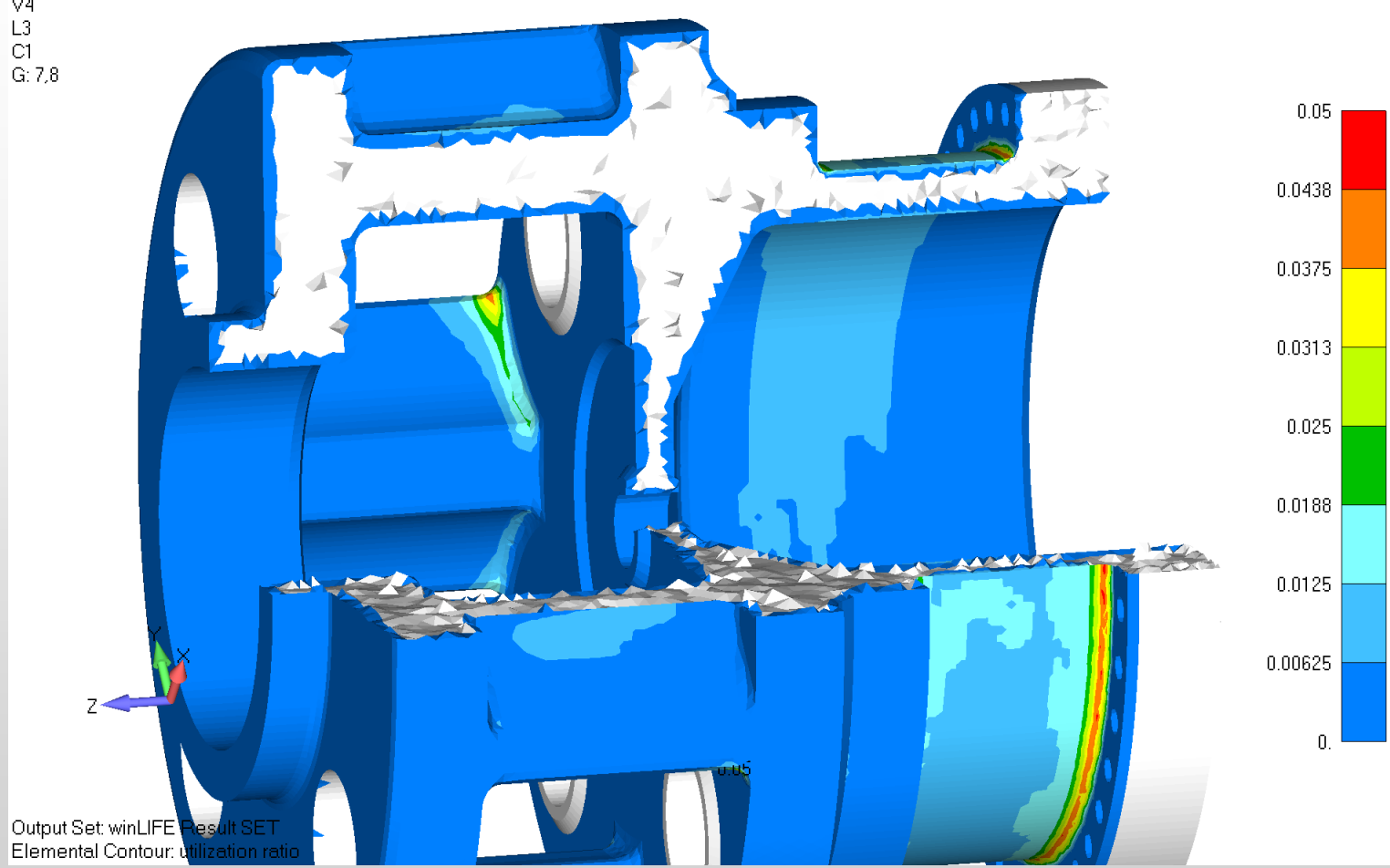
Ergebnis: Schadenssumme über den gesamten Zeitraum (kritischer Ort)

V4
L3
C1



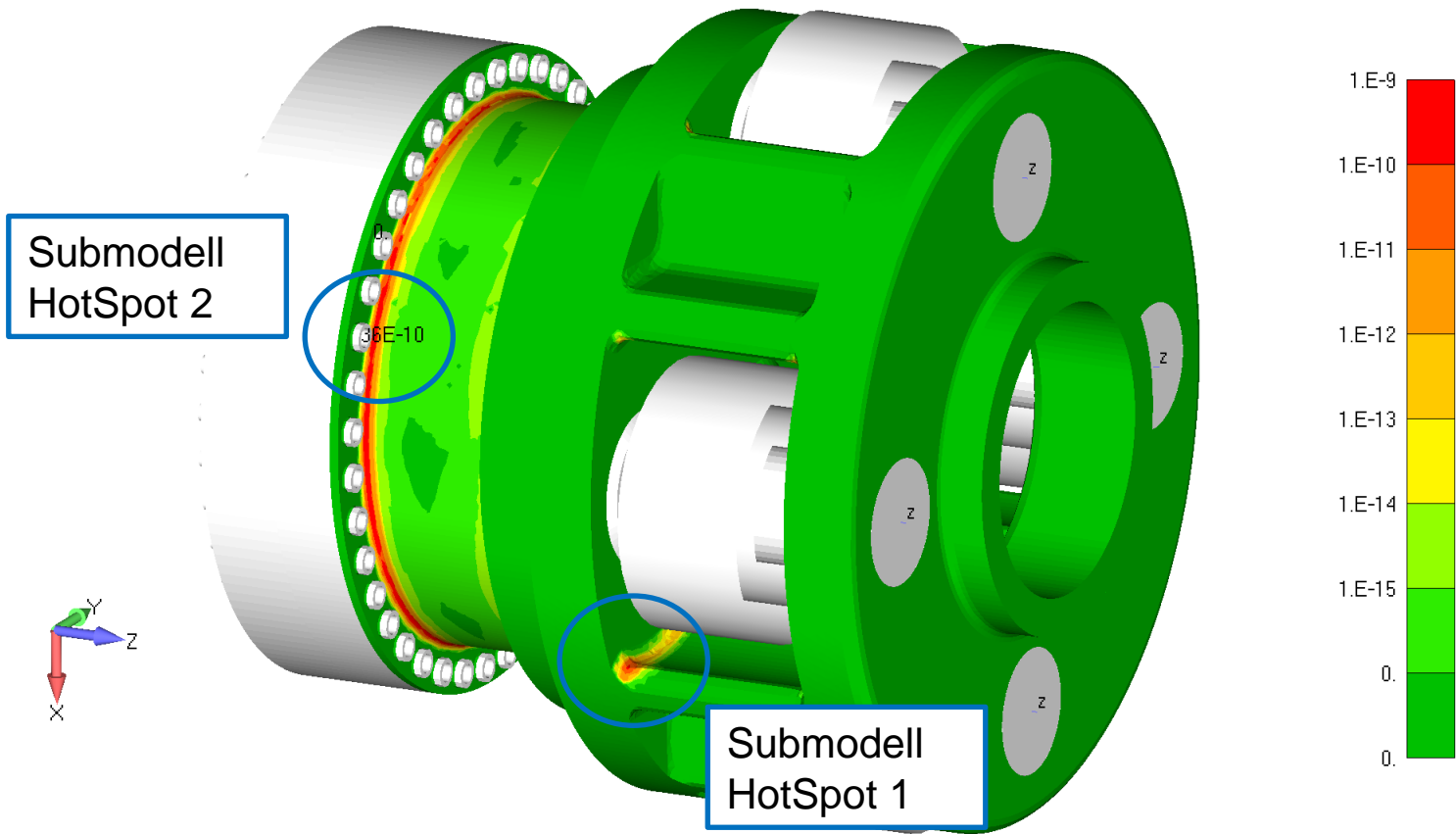
Ergebnis: Aequivalente Amplitude für einen Zeitausschnitt mit allen Lasten

V4
L3
C1
G: 7.8



Ergebnis: Auslastungsgrad für einen Zeitausschnitt mit allen Lasten

V3
L3
C1



Output Set: WinLIFE Result SET
Elemental Contour: Demaging Parameter

Indikation potentieller Hot-Spots / Auswahl der Position der Submodelle

Analyse der Submodelle

FE-System FEMAP + NxNASTRAN (Siemens PLM-Software)

Lebensdauersoftware winLIFE

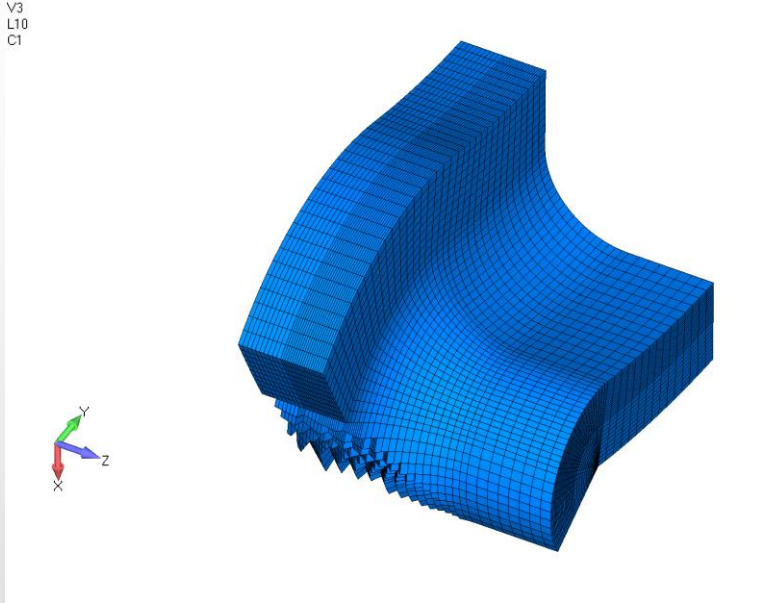
Anzahl der Knoten des Modells 513.877

Anzahl der Oberflächenknoten (winLIFE Export) 8.445

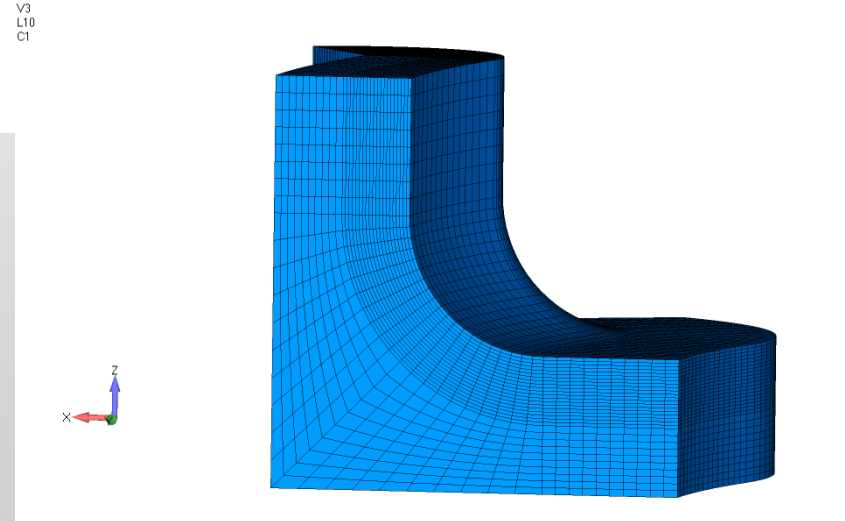
Anwendung der Submodelltechnik – Verschiebungsergebnisse des Gesamtmodells werden auf die Randknoten des Submodells als interpolierte Verschiebungs-Randbedingungen aufgebracht.

Der Spannungsgradient wurde für jeden Oberflächenknoten der Submodelle berücksichtigt!

V3
L10
C1

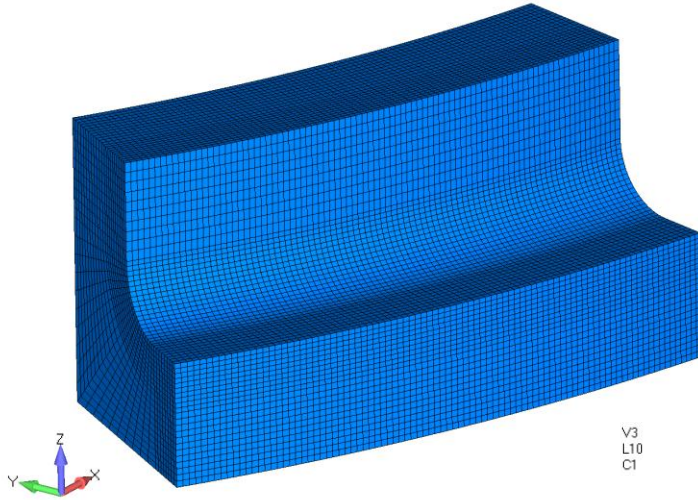


V3
L10
C1

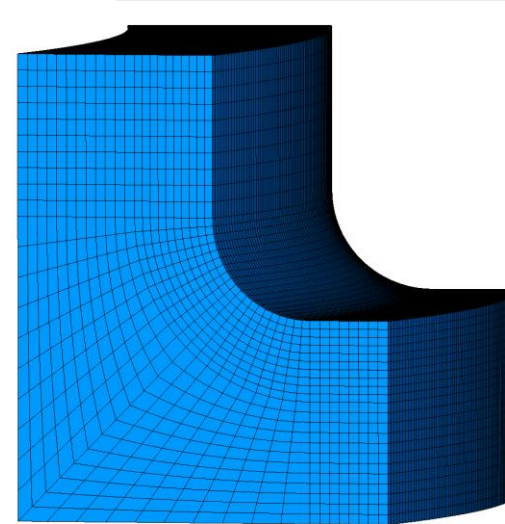


Submodell: Hot-Spot 1

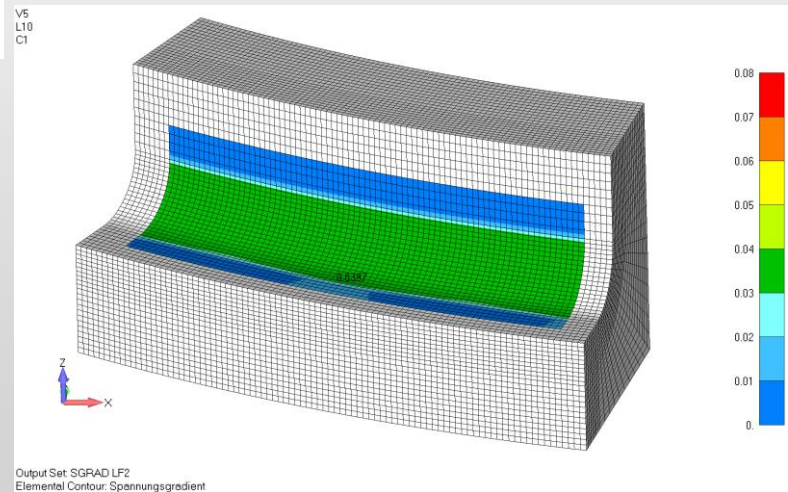
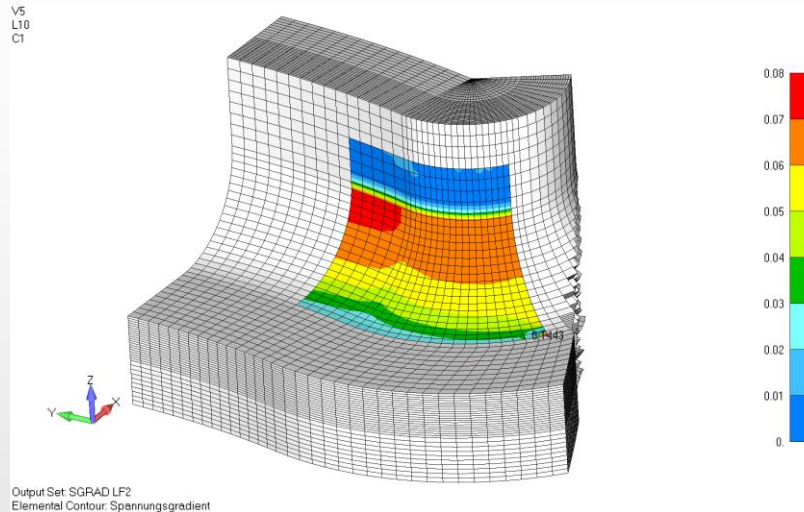
V3
L10
C1



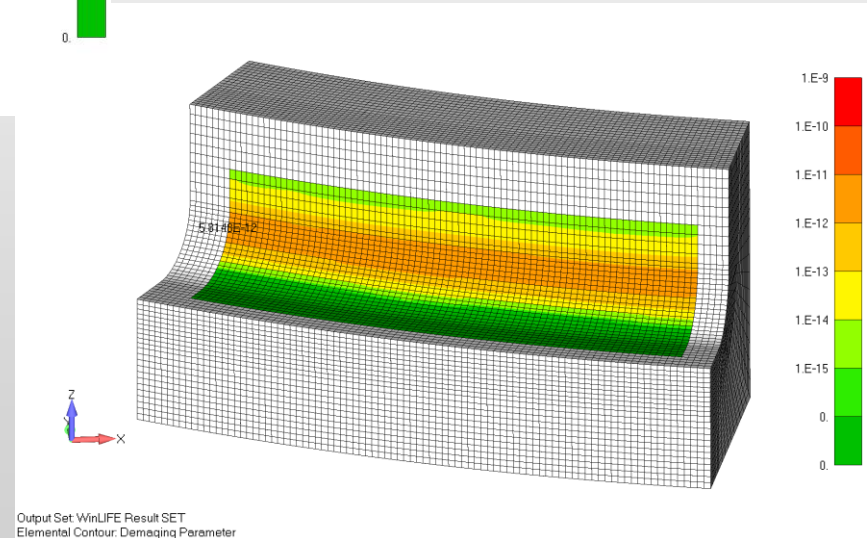
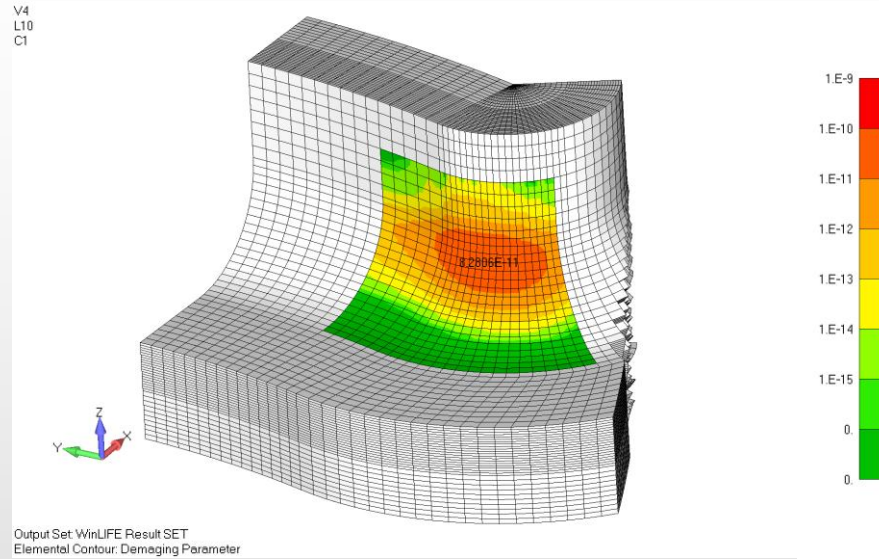
V3
L10
C1



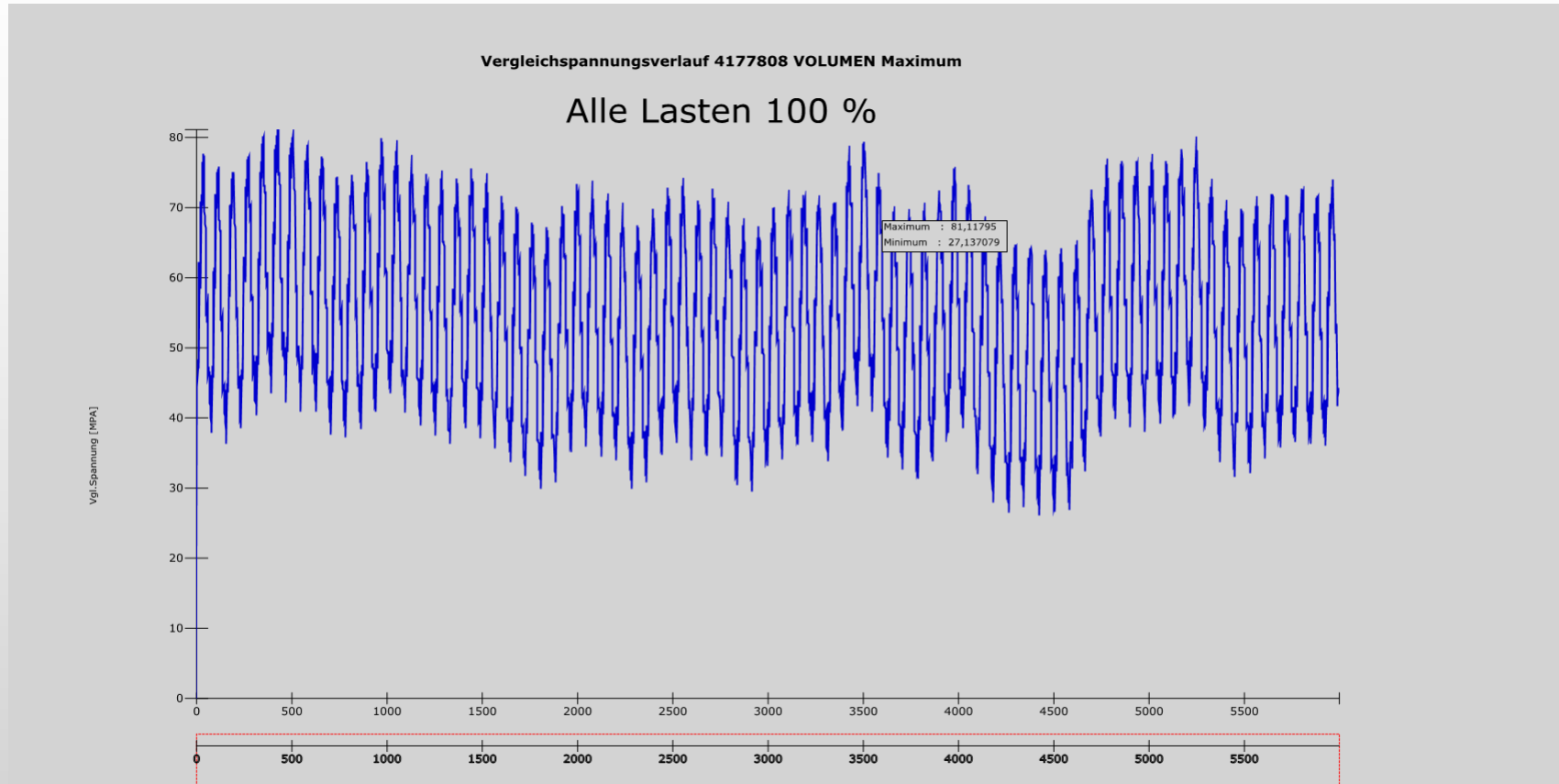
Submodell: Hot-Spot 2



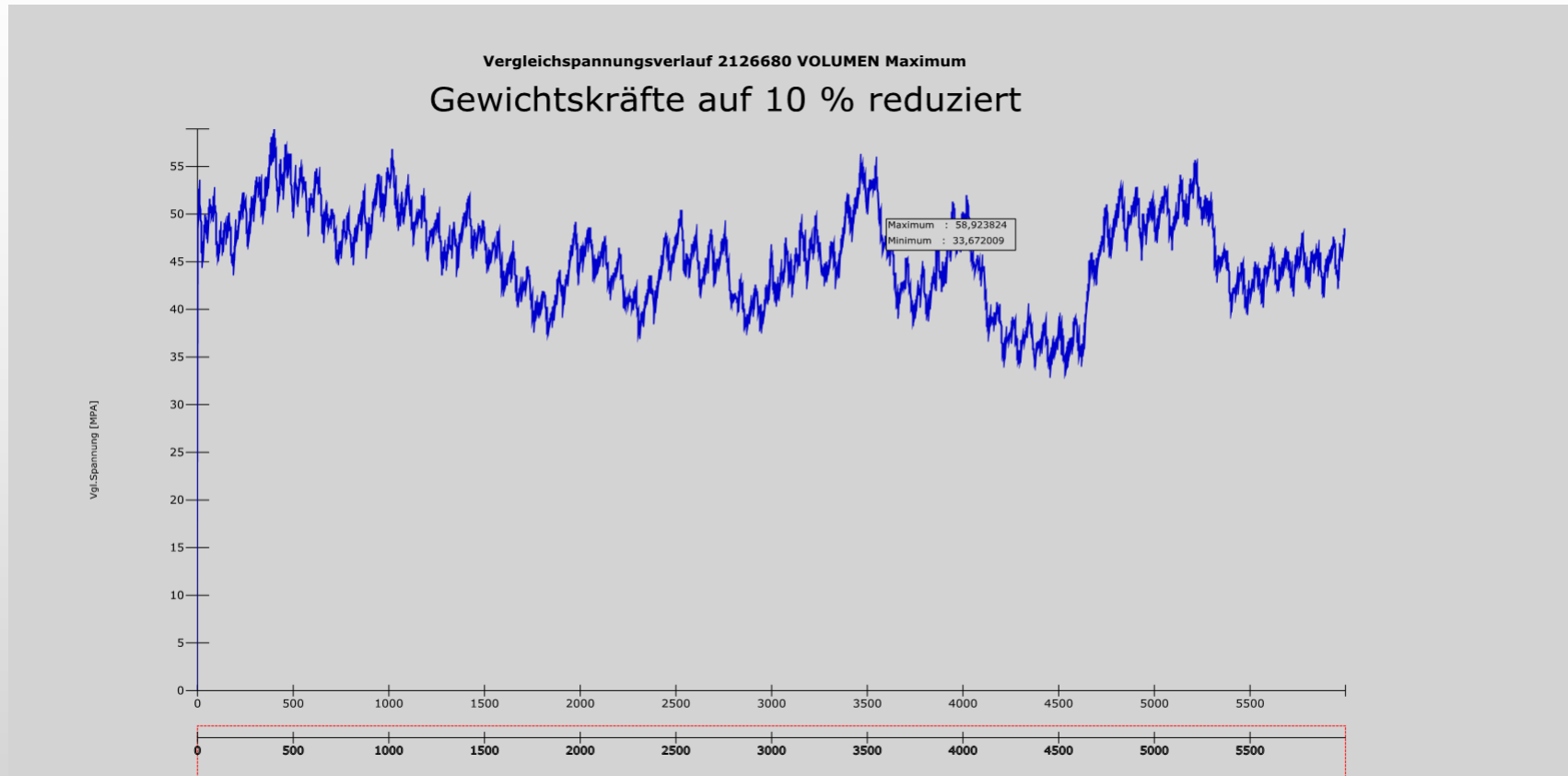
Bezogener Spannungsgradient für ELT Torsion



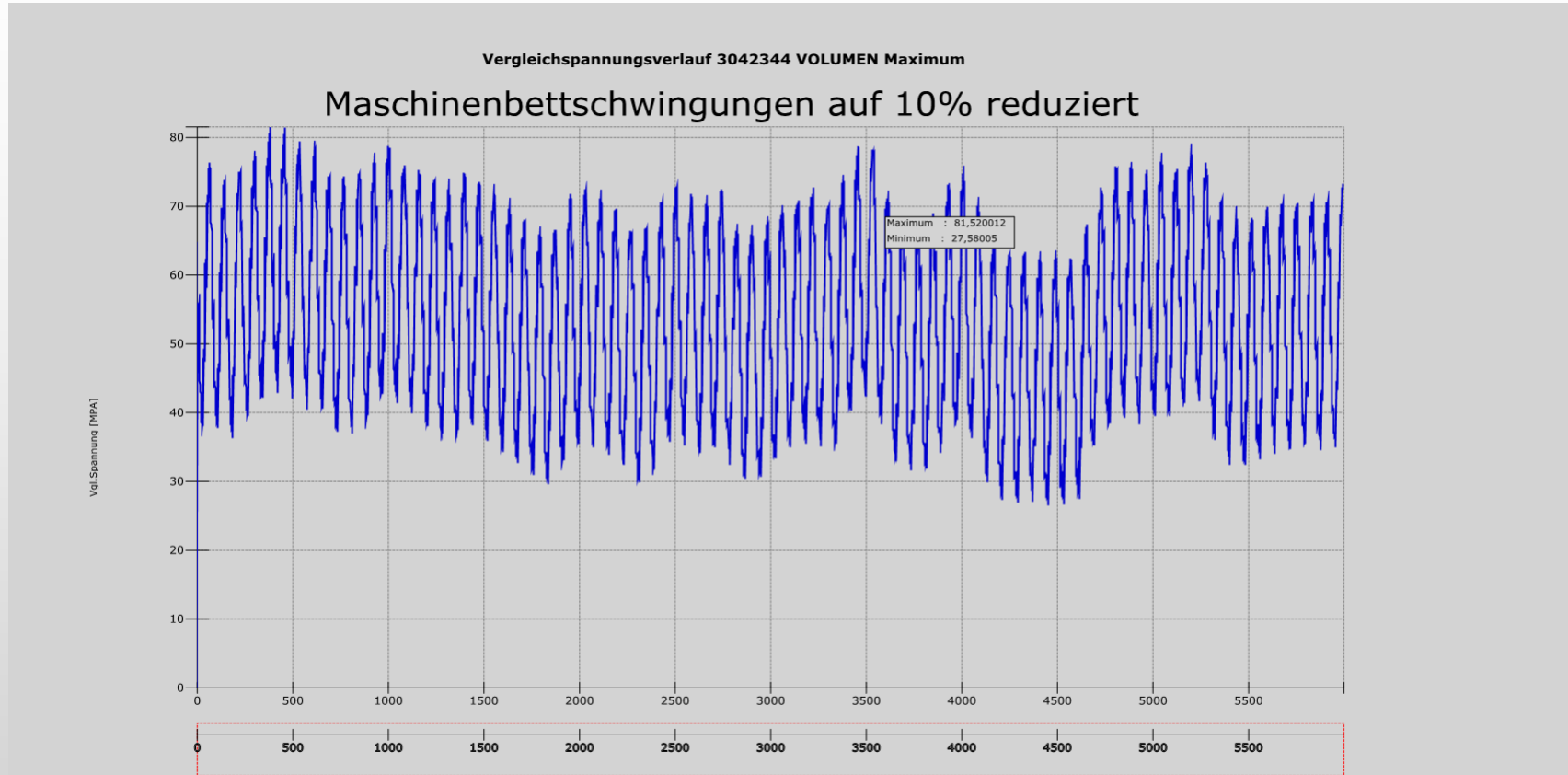
Ergebnis: Schadenssumme über den gesamten Zeitraum (kritischer Ort)



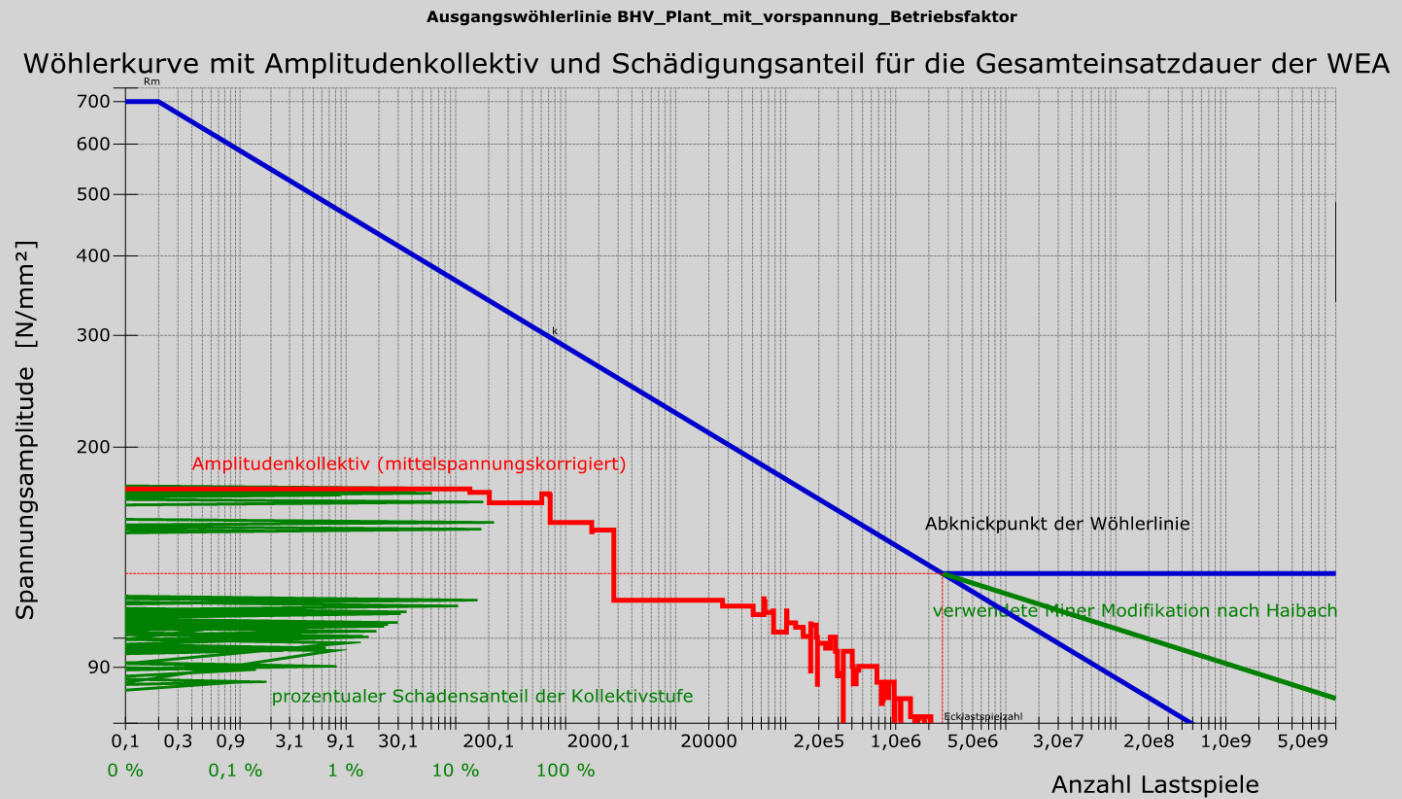
Vergleichsspannung am kritischen Knoten für einen Zeitausschnitt, wenn alle Lasten voll wirken



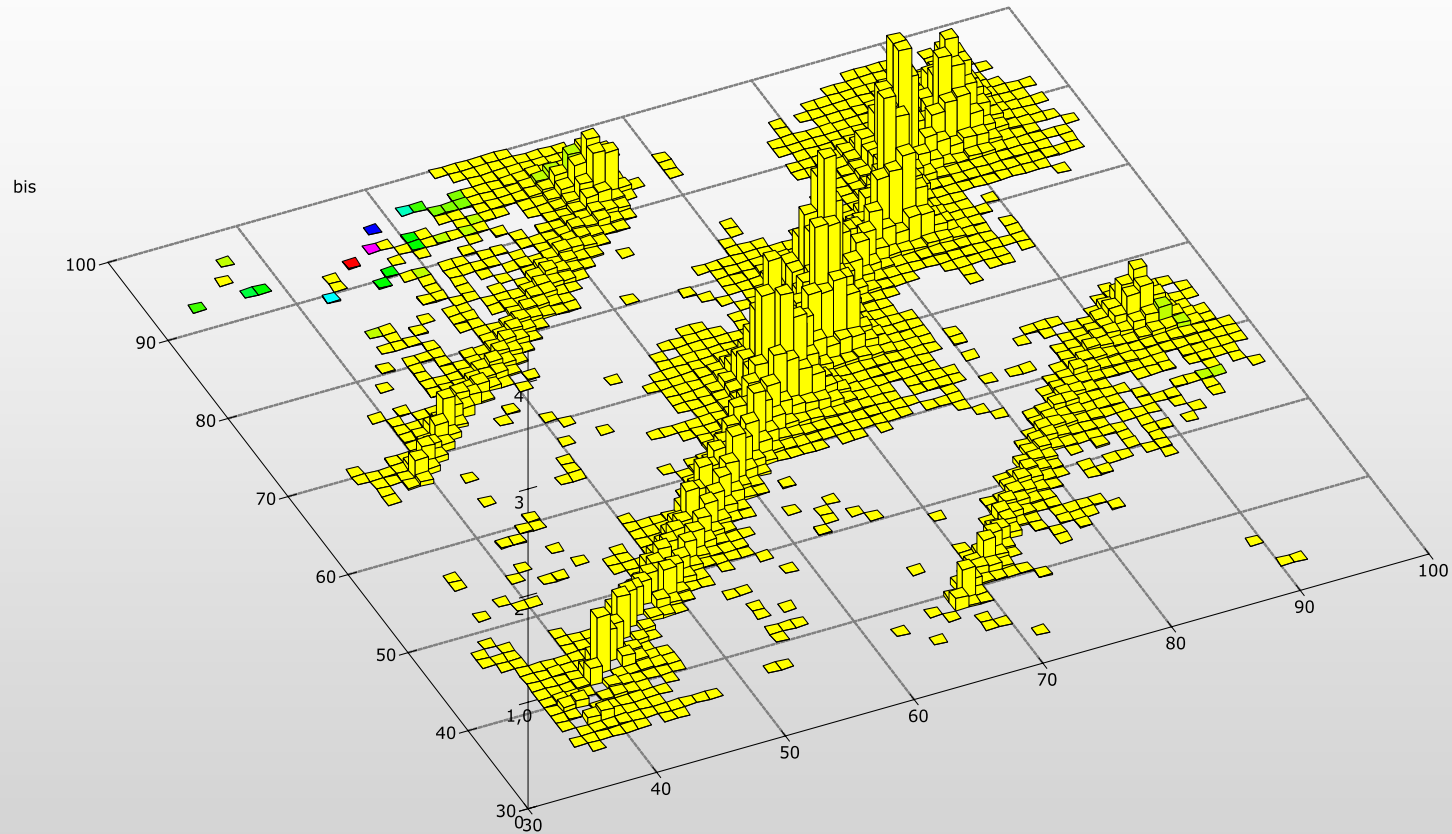
Vergleichsspannung am kritischen Knoten für einen Zeitausschnitt, wenn Die Gewichtskraft um 90 % vermindert wird.



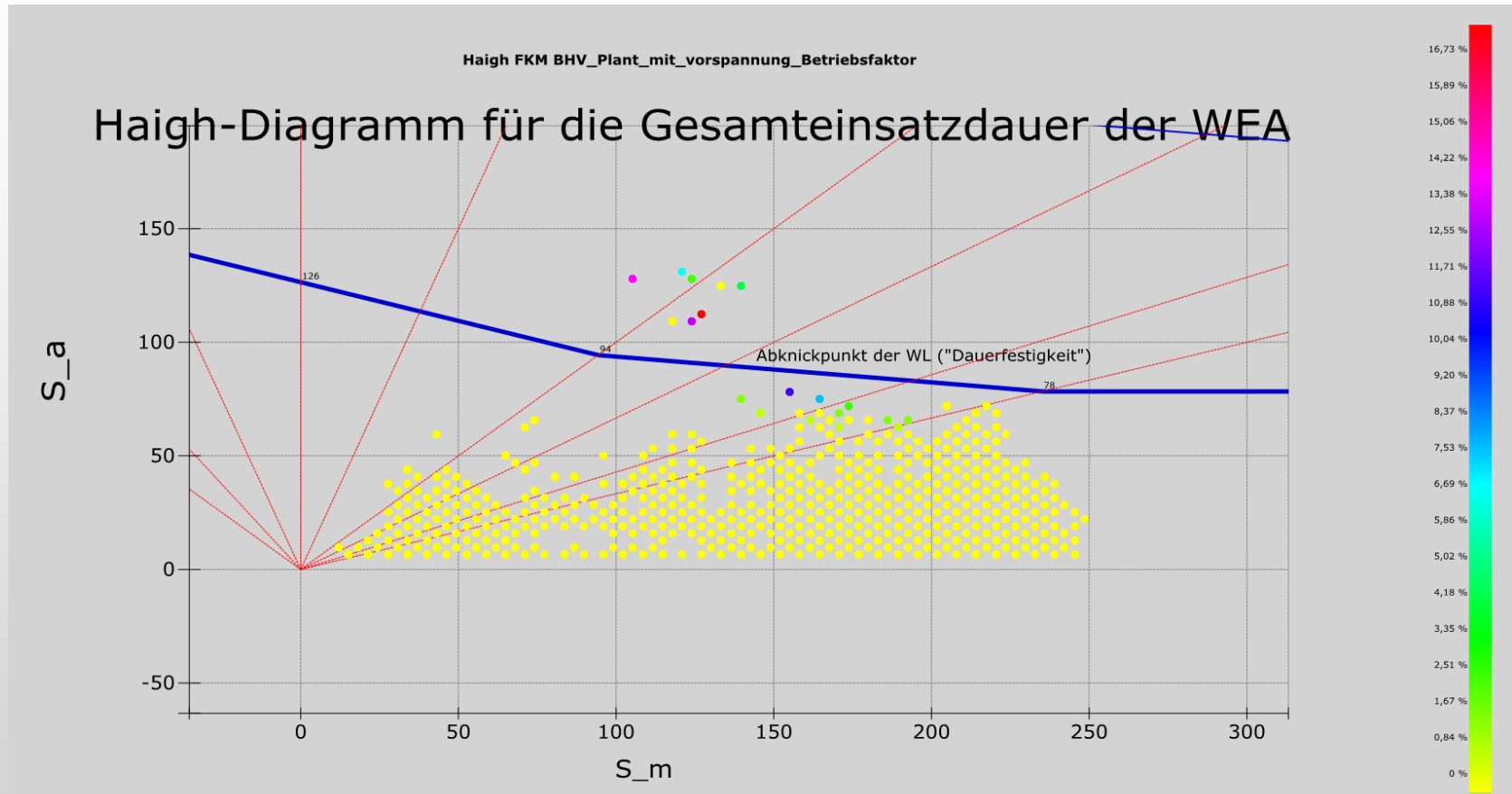
Vergleichsspannung am kritischen Knoten für einen Zeitausschnitt, wenn Die Maschinenbettschwingungen um 90 % reduziert werden



Wöhlerlinie mit Amplitudenkollektiv für die Gesamteinsatzdauer der WEA am kritischen Ort



Rainflow-Schadensmatrix für die Gesamteinsatzdauer der WEA am kritischen Ort



Haigh-Diagramm mit Schadensanteilen für die Gesamteinsatzdauer der WEA am kritischen Ort

- winLIFE in Verbindung mit FEMAP (Siemens PLM-Software) unterstützt den Anwender in allen Phasen einer Lebensdauerberechnung in Verbindung mit FEM und MKS Systemen.
- Die statische Superposition und Skalierung von Einheitslastfällen mit gemessenen Daten ist eine sehr effiziente Methode, um komplexe Problemstellungen zu lösen. Voraussetzung ist, dass gemessene Last-Zeit-Daten vorliegen. Es können dann Lebensdauerberechnungen mit vertretbarer Rechenzeit durchgeführt werden und es ist üblich, eine große Zahl von gemessenen Szenarien (bis zu 2000 sind in winLIFE möglich) zu berechnen.
- kritische Orte können durch fein vernetzte Submodelle unter Einbeziehung des bezogenen Spannungsgradienten einer genaueren Analyse unterzogen werden.
- Die Einbeziehung von Kontakt und Rotation muß (leistungsfähige Tools für die Erzeugung werden in winLIFE mitgeliefert) berücksichtigt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Anregungsfrequenzen maximal 30 % der kleinsten Eigenfrequenz betragen, werden zuverlässige Ergebnisse erhalten. Diese Vorgehensweise dominiert, da sie vergleichsweise zeiteffizient ist.
- Transiente Analysen der kompletten WEA erfordern neben dem kompletten Modell der WEA auch Daten über die Windgeschwindigkeit und ggf. der Wellenbewegung. Nichtlineare Effekte und Eigenschwingungen ergeben sich aus der Simulation und werden automatisch erhalten. Die Berechnungsgeschwindigkeit ist vergleichsweise gering, so dass dieser Weg nur für Grundsatzuntersuchungen mit kurzen Last-Zeit-Funktionen wirtschaftlich ist.