

## **Durability Analysis of the Door with Simulation of the Door Endurance Test with LS-DYNA and FEMFAT**

### **Lebensdaueranalyse der Fahrertür durch Simulation des Türendauerlaufes mit LS-DYNA und FEMFAT**

Barbara Kopp, Dr. Helmut Pfitzer

Daimler AG, Nutzfahrzeuggerechnung,  
barbara.kopp@daimler.com  
TP/PCS Betriebsfestigkeit Aufbau, HPC B209,  
70546 Stuttgart, Deutschland

#### **Abstract:**

This paper presents a method to analyse the door endurance test of commercial vehicles. The door endurance test simulates the opening and closing activities of the customers.

To simulate this durability of the door a combination between LS-DYNA and FEMFAT is suggested. Input of the LS-DYNA analysis is the velocity of the door. The LS-DYNA-Analysis is split in 4 stages:

- Opening – Run over the notches
- Opening – Fall in the stop
- Closing – Run over the notches
- Closing – Fall in the seal, buffer and lock

The results of the 4 stages are transient stresses. These stresses are the basis of the durability analysis with FEMFAT.

For the comparison with the real test FEMFAT calculates damage.

#### **Keywords:**

Durability, door endurance test, commercial vehicles, damage

## 1 Einleitung

Im Nutzfahrzeubereich sind die Türen hohen Anforderungen ausgesetzt. Dies ist nicht nur durch die Größe und das erhöhte Gewicht im Vergleich zu einer PKW-Tür bedingt, sondern auch durch die relativ harten Betätigungen beim Öffnen und Schließen. So schließen japanische LKW-Fahrer aus Zeitgründen Ihre Tür, indem sie sie so stark mit dem Fuß aufstoßen, dass die Tür mit dem vorhandenen Schwung wieder zu fällt und sich schließt. Dies bedeutet, dass die Tür mit einer viel höheren Geschwindigkeit in den Endanschlag fällt, als dies bei der Auslegung einer PKW-Tür der Fall ist. Bei LKW-Türen muss außerdem eine hohe Anzahl von Öffnungs- und Schließvorgängen gewährleistet sein. Ein Kunde beispielsweise im Verteilerverkehr öffnet und schließt bei Auslieferungen im Stadtbereich überdurchschnittlich oft die Tür. Auch bei diesen Extrembedingungen dürfen im Tür- und Scharnierbereich keine Schäden auftreten.

Beim Türendauerlauf, der genau diese tägliche Standardbeanspruchung der Tür durch Öffnungs- und Schließvorgänge des Kunden simuliert, befindet man sich bei einmaliger Betätigung im Bereich niedriger Energien und somit sehr kleiner plastischer Verformungen. Da bei jedem Lastwechsel aber dieselben Stellen beansprucht werden, können diese ständigen Wechselbelastungen zu Ermüdungsbrüchen führen.

Auslegungskriterium ist somit die Betriebsfestigkeit. Mit einer Lebensdauer-Analyse der Tür kann bestimmt werden, nach welcher Lastwechselzahl im Türendauerlauf ein Schaden zu erwarten ist.



Bild 1: Atego

## 2 Prozessablauf der Simulation

Um schon in einer frühen Entwicklungsphase die Auslegung der Tür durchzuführen sind zuverlässige Aussagen aus der numerischen Simulation unerlässlich. Eine Möglichkeit, diese Simulation durchzuführen, ist die Kopplung einer transienten Rechnung mit LS-DYNA (s. Kapitel 3) und einer Lebensdaueranalyse mit FEMFAT (s. Kapitel 4). Dieses Vorgehen wird im Weiteren vorgestellt (s. auch Bild 2).

Eingangsgröße der transienten Rechnung mit LS-DYNA ist die geforderte Geschwindigkeit mit der die Tür geöffnet und geschlossen wird. Der gesamte Öffnungs- und Schließvorgang wird hierbei in 4 Phasen, und somit in 4 Rechnungen unterteilt:

- |          |  |
|----------|--|
| Phase 1) | der Lauf über die Zwischenrasten beim Öffnungsvorgang  |
| Phase 2) | das Fallen der Tür in den Endanschlag bei maximalem Öffnungswinkel                           |
| Phase 3) | beim Schließen der erneute Lauf über die Zwischenrasten                                      |
| Phase 4) | das Abbremsen der Tür durch Dichtung und Puffer, sowie der Schließmechanismus des Schlosses. |

Um die zu erwartende Lastzyklenzahl ohne Schäden zu bestimmen, werden die transienten Spannungsausgaben der 4 LS-DYNA-Rechnungen in die Lebensdauersoftware FEMFAT eingespeißt.

Zur Auswertung und zum Abgleich mit dem Versuch werden die mit FEMFAT berechneten Schädigungen ausgewertet.

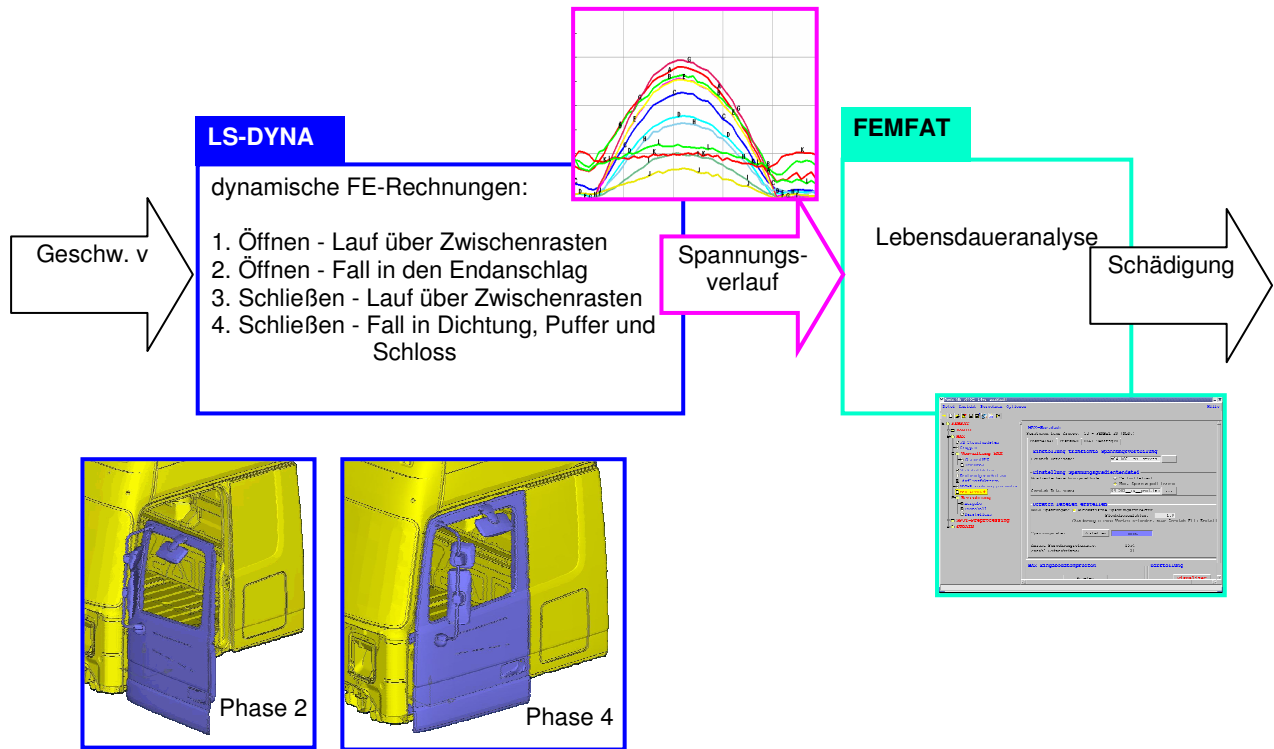


Bild 2: Prozessablauf

### 3 Simulation mit LS-DYNA

#### 3.1 Phase 1 / Phase 3: Lauf über die Zwischenrasten beim Öffnen und Schließen

Rastschieber oder Rastrollen werden in das Türscharnier eingebaut um zu verhindern, dass die Tür bei Schräglage des Fahrzeuges ungebremst auf bzw. zu fällt. Die Momentenkennlinie (s. Bild 3) beschreibt das Verhalten der Zwischenrasten. Vom Fahrer muss eine bestimmte Kraft aufgebracht werden, um die Tür über die Zwischenrasten zu drücken.

Diese Rastmomente sind zwar relativ gering, können aber aufgrund der hohen Lastwechselzahl speziell auf den Scharnierbereich der Tür schädigend wirken.

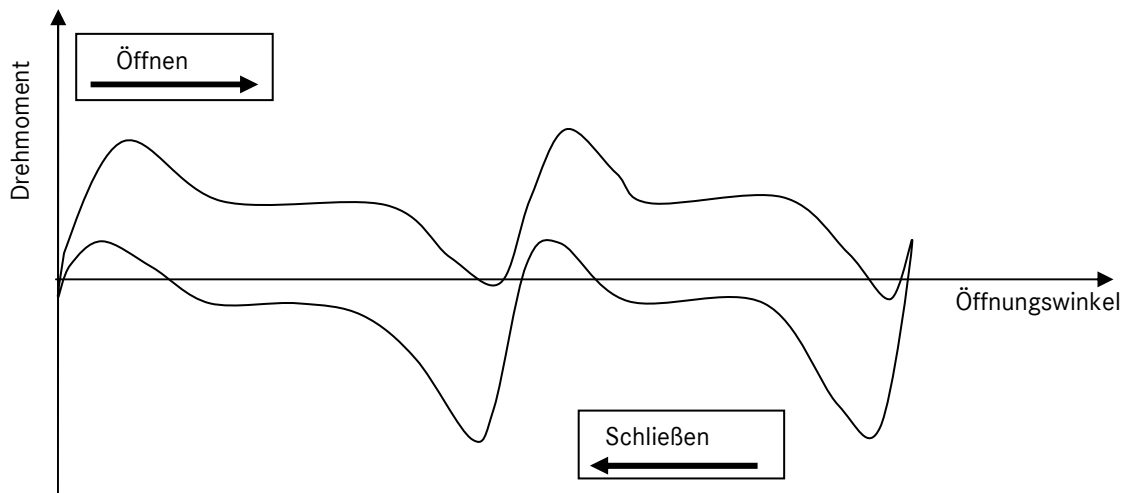


Bild 3: Momentenkennlinie der Zwischenrasten beim Öffnen und Schließen der Tür

Die Simulation des Laufes der Tür über die Zwischenrasten verläuft beim Öffnen und Schließen analog. Lediglich die Kennlinie der Rasten und die Bewegungsrichtung der Tür wird angepasst. Auf

die Tür wird in der LS-DYNA-Rechnung eine Geschwindigkeit aufgebracht (\*INITIAL\_VELOCITY\_GENERATION), diese ergibt sich aus verschiedenen Kundenmessungen.

Um Rechenzeit zu sparen wird in der LS-DYNA-Rechnung lediglich der Zyklus einer Zwischenraste berechnet. Beim Vorhandensein mehrerer Zwischenrasten wird dies in der FEMFAT-Analyse berücksichtigt.

### 3.2 Phase 2: Fall in den Endanschlag

Die Hauptursache für die hohe Beanspruchung im Scharnierbereich ist der Fall in den Endanschlag. Berücksichtigt wird in der LS-DYNA-Simulation der Zeitraum, in dem die Tür Kontakt mit dem Anschlag hat. Dabei wirkt im Scharnierbereich der Anschlag relativ hart, die Tür bewegt sich allerdings weiter und erfährt dabei Verformungen.

Um diese Bewegung zu veranschaulichen wird in Bild 4 der Energieverlauf aus der LS-DYNA-Simulation gezeigt.

Auf die Tür wird eine konstante Anfangsgeschwindigkeit aufgebracht (a). Durch den Endanschlag wird die Tür bis zum Stillstand abgebremst (b), beim Rückschwingen (c) wird sie wieder beschleunigt bis eine konstante Geschwindigkeit erreicht wird und der Schließvorgang beginnt (d).

Der Zeitraum (b)-(c) beschreibt hierbei die Verformung der Tür. Die Kinetische Energie wird hierbei zuerst kleiner, d.h. die Tür wird abgebremst. Dagegen steigt die Innere Energie, dies resultiert aus der elastischen und plastischen Verformung der Tür. Die Differenz der Inneren Energie vor und nach dem Endanschlag wird durch die plastische bleibende Verformung verursacht.

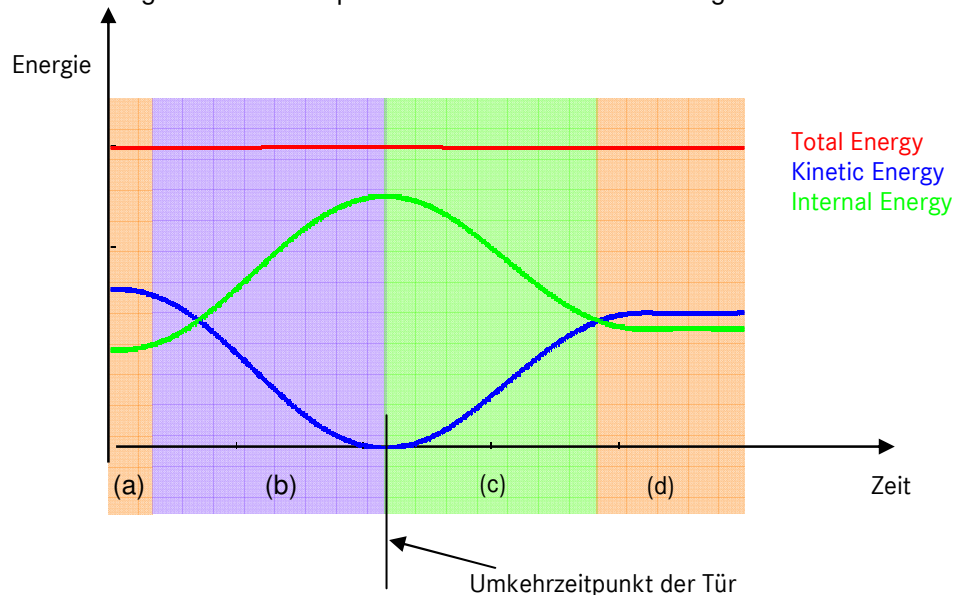


Bild 4: Energieverlauf beim Fall der Tür in den Endanschlag

Der Endanschlag wird mit Hilfe eines Kontaktes dargestellt. Bei Vorhandensein eines Puffers ist dieser im Modell zu berücksichtigen.

Der Scharnierbereich, insbesondere die Verschraubung des Scharniers sind kritische Bereiche bzgl. der Lebensdauer der Tür. Da die auftretenden plastischen Verformungen gering sind und die Anzahl der Lastzyklenzahl nahezu im Bereich der Dauerfestigkeit liegt, können auftretende numerische Ungenauigkeiten große Fehler in der Schädigung verursachen.

Eine sinnvolle Auswertung dieses Bereiches kann daher nur bei realitätsnaher Abbildung des Klemmverbundes stattfinden. Dies erfolgt durch die Wahl einer geeigneten Elementierung und die Abbildung der Verklemmung durch die Schraubenvorspannung.

In Bild 5 ist der Spannungsverlauf über dem Belastungszeitraum des Endanschlages dargestellt. Durch die Schraubenvorspannung ergibt sich direkt unter dem Schraubenkopf während der Belastung ein konstanter Spannungsverlauf (s. Bild 5, Kurve A). An Punkten außerhalb der Schraubenköpfe steigen die Spannungen beim Überdrücken der Tür von Null auf ein Maximum an und fallen beim Entlasten wieder auf Null zurück (s. Kurven B und C in Bild 5).

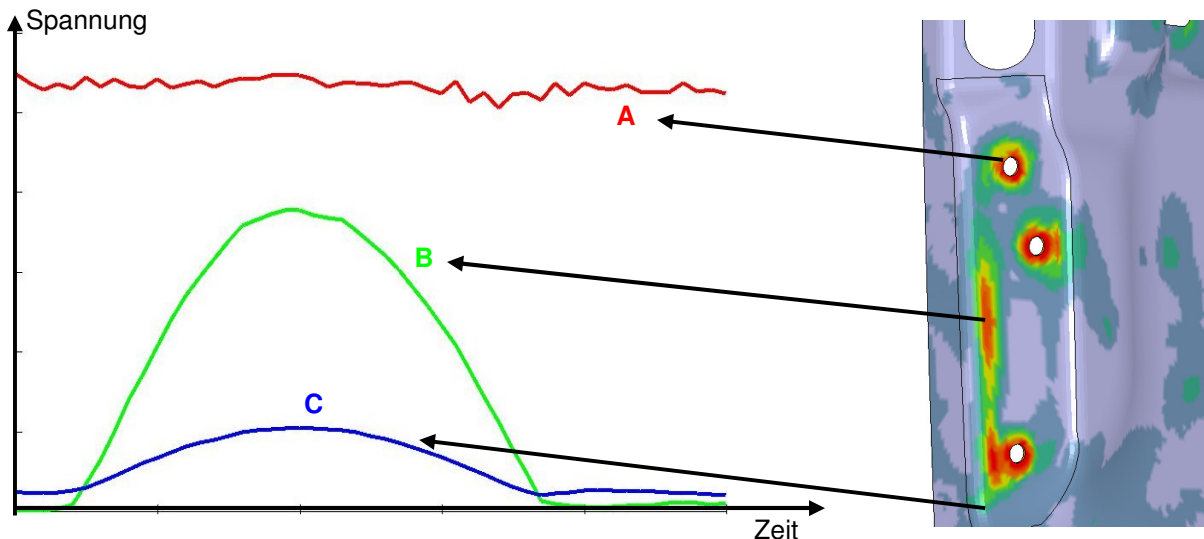


Bild 5: Spannungsverlauf an einzelnen Elementen beim Fall der Tür in den Endanschlag

### 3.3 Phase 4: Fall in das Schloss beim Schließen

Beim Fall der Tür in die Dichtung, die Puffer und das Schloss wird die gesamte Struktur belastet. Beim Schließvorgang bewegt sich die Tür zunächst ungebremst mit einer konstanten Geschwindigkeit Richtung Schloss. Die Tür wird durch die Dichtung und ggf. durch Puffer abgebremst und bewegt sich wieder zurück. Dann greift das Schloss und verhindert durch den Schließmechanismus das erneute Öffnen der Tür.

Durch das Abbremsen wird die Gesamtstruktur der Tür angeregt. Dies bringt ein Nachschwingen der Tür und somit auch einzelner Bauteile mit sich. Beispielsweise erfährt der Spiegel aufgrund seiner großen Masse und der lokalen Anbindung an die Tür große Bewegungen.

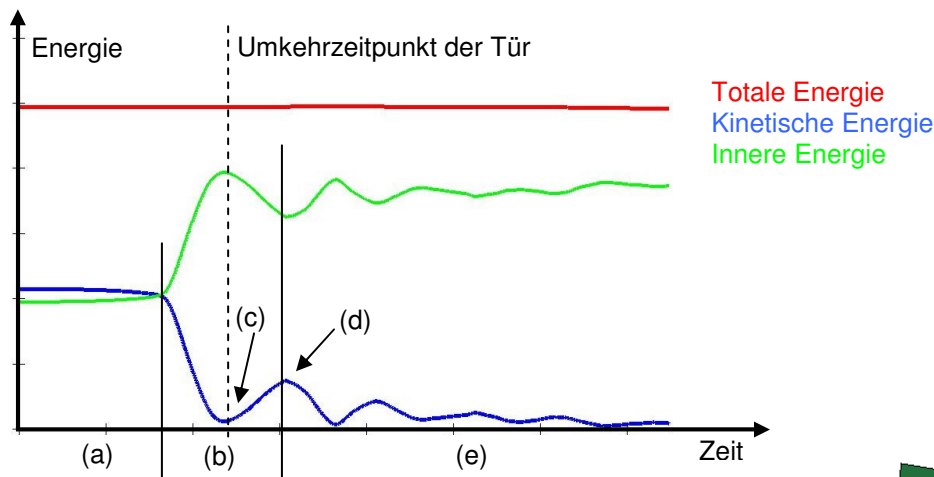


Bild 6: Energieverlauf beim Schließen der Tür

Um den Ablauf beim Schließen zu verdeutlichen wird in Bild 6 der Energieverlauf über dem Schließvorgang gezeigt. Die Tür bewegt sich zu Beginn mit einer konstanten Geschwindigkeit, also bleibt die Kinetische Energie konstant (a). Dann wird die Tür durch die Dichtung und die Puffer abgebremst und schwingt zurück. Die Kinetische Energie ist zum Umkehrzeitpunkt (c) „0“ und steigt beim Rückschwingen wieder an (b). Die Innere Energie verhält sich dazu gegenläufig. Das Rückschwingen wird durch das Schloss verhindert (d), daher ist die realitätsnahe Simulation des Schließmechanismus unerlässlich (s. Bild 7). Danach sieht man das Nachschwingen der Tür im Energieverlauf (e).

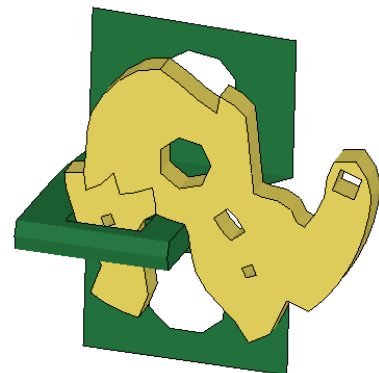


Bild 7: Schließmechanismus

Ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Simulation hat die Abbildung der Dichtung. In Bild 8 ist der Kraft-Zeit-Verlauf der Dichtung beim Schließvorgang dargestellt. Es ist zu erkennen, dass je größer der Abstand der Dichtung zur Scharnierachse, umso höher das Kraftniveau. Dies resultiert aus der dehnratenabhängigen Simulation der Dichtungskennlinie.

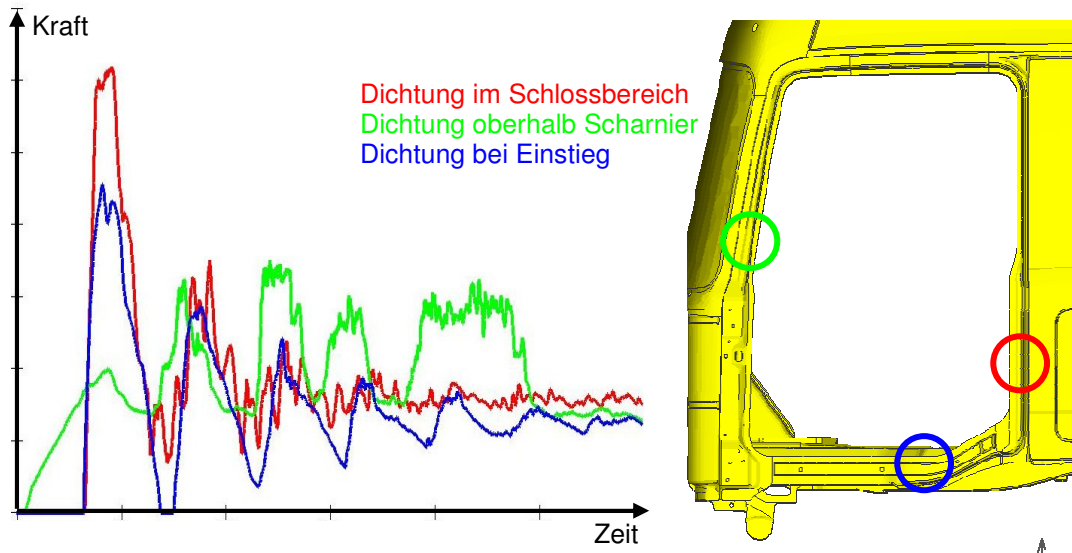


Bild 8: Kraft-Zeitverlauf der Dichtung

#### 4 Lebensdaueranalyse mit FEMFAT

Um eine Lebensdauerabschätzung durchzuführen, werden die Spannungs-Zeit-Verläufe aller Elemente (s. Bild 5) aus den verschiedenen LS-DYNA-Rechnungen als Basis für die Lebensdaueranalyse mit FEMFAT verwendet. Diese Spannungs-Zeit-Verläufe werden mit den jeweiligen Lastzyklen skaliert und nach der Miner-Regel

$$D = \sum D_i = \sum \frac{n_i}{N_i}$$

unter Berücksichtigung der entsprechenden Material-Wöhlerlinien zu der Gesamtschädigung  $D$  aufsummiert.  $D_i$  bedeutet hierbei die verursachte Schädigung bei einem Teilkollektiv,  $n_i$  die Teillastwechselzahl und  $N_i$  die Anzahl der maximal ertragbaren Lastwechsel (s. Bild 9). Überschreitet die Gesamtschädigung den Wert 1, ist mit einem Anriss des Bauteiles zu rechnen.

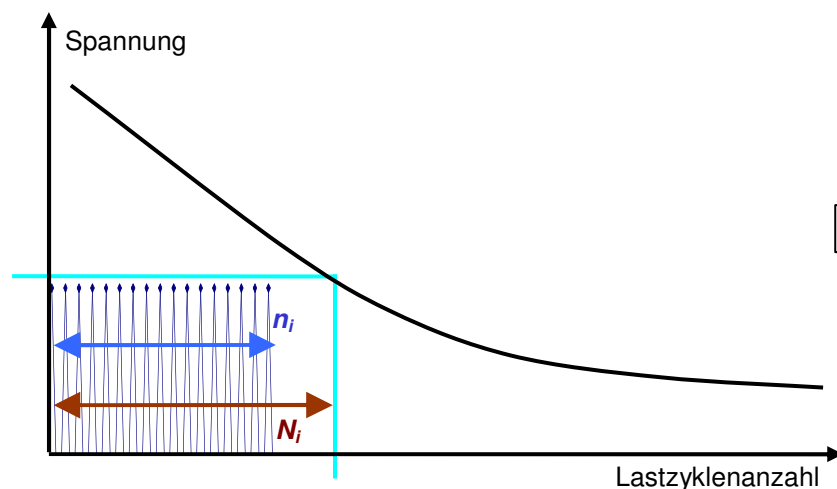


Bild 9: Material-Wöhlerlinie

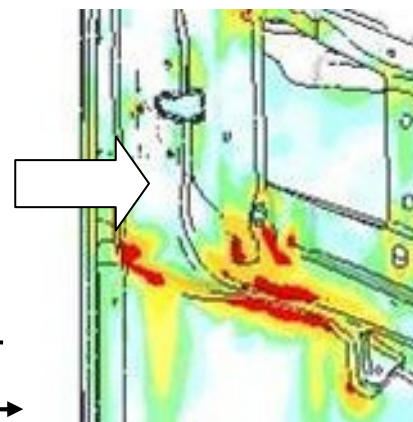


Bild 10: Schädigung

## 5 Fazit

Mit der Kombination von LS-DYNA und FEMFAT ist es möglich, den Einfluss aller relevanten Faktoren im Türendauerlauf zu simulieren. Die Türenerprobung kann mit diesem Verfahren somit noch realitätsnäher abgebildet werden.

Durch die transiente Berechnung mit LS-DYNA können auch Effekte berücksichtigt werden, die bei anderen Verfahren nicht erfasst sind. So wird beispielsweise das Nachschwingen der Tür beim Zuschlagen realitätsnah abgebildet. Außerdem können die nichtlinearen Eigenschaften des Dichtungsgummi und der Puffer modelliert werden. Für den Fall in den Endanschlag bringt die Modellierung der Schraubenvorspannung und somit die Abbildung des Klemmverbundes mitsamt Kontakt sinnvolle Ergebnisse.

Um mit den Spannungsergebnissen der LS-DYNA-Rechnung Aussagen über die Lebensdauer der Tür zu machen, wurde auf die Unterstützung der Lebensdauersoftware FEMFAT zurückgegriffen. Die dabei berechnete Schädigung ermöglicht einen direkten Abgleich mit dem Versuch.

