

1

2

STATISTISCHE METHODEN FÜR DIE ZUVERLÄSSIGKEIT TECHNISCHER SYSTEME

1 Die Randbereiche der Last- und Festigkeitsverteilung, von denen die Ausfallwahrscheinlichkeit wesentlich abhängt, sind in der Regel unbekannt.

2 Achsprüfstand

Bemessungsgrundlagen und Prüfzenarien

Für Freigabeversuche verwendet man in der Regel nicht die vollständige Verteilung der Last, die man im Kundenbetrieb erwartet, sondern eine davon abgeleitete Referenzlast. Dabei ist zu berücksichtigen, dass man weder die Verteilung der Last noch die der Lebensdauer des Bauteils genau kennt, da gerade die zu verhindernden Ausfälle seltene Ereignisse sind, bei denen eine extreme Belastung auf eine schwache Komponente trifft. Neben der expliziten Beimischung definierter Sonderereignisse bietet sich hier eine Kombination der klassischen erfahrungs-

basierten Ansätze (Sicherheitsfaktoren) mit statistischen Methoden an. Auf diese Weise wird Information über die zugrundeliegenden Verteilungen nutzbar gemacht, und man sieht z. B. explizit, wie ein höherer Produktionsstandard zu einer niedrigeren Vorgabe bezüglich der ertragbaren Last führt. Ist die Referenzlast bestimmt, stehen verschiedene Verfahren aus Optimierung und Statistik zur Verfügung, um sie etwa in eine Fahrvorschrift für die Teststrecke oder in ein Prüfstandsprogramm zu übersetzen.

Planung und Auswertung von Lebensdauerversuchen

Eine klassische Domäne der Statistik im Umfeld der Betriebsfestigkeit ist die Planung und Auswertung von Lebensdauerversuchen. Da aus wenigen Tests belastbare Aussagen über das Ausfallverhalten von Komponenten abgeleitet werden müssen, sind hier Methoden gefragt, die die vorhandene Information optimal ausnutzen. Das beginnt schon bei der Planung, d. h. die Abwägung zwischen wenigen Versuchen mit langer Laufzeit oder vielen Versuchen mit geringe-

rer Laufzeit ist ebenso von Interesse wie die Frage, inwiefern ein Prüfstandssignal für eine schnellere Durchführung gerafft oder überhöht werden kann. Weitere Probleme sind z. B. das Auftreten von zensierten Daten, wenn ein Lebensdauerversuch abgebrochen wird, bevor der Proband ausgefallen ist, oder die Frage, ob man einen fehlgeschlagenen Versuch »retten« kann, indem man zusätzliche Bauteile testet.

Software JUROJIN

Für die Planung und Auswertung von Lebensdauerversuchen bietet die Abteilung MDF das Programmpaket Jurojin an, das speziell für statistische Fragestellungen der Betriebsfestigkeit entwickelt wurde. Im Funktionsumfang enthalten sind beispielsweise die Ab-

stimmung von Probandenzahl und Prüfdauer, Änderungen des Prüfplans im laufenden Versuch und Auswertung der Ergebnisse, aber auch weiterführende Anwendungen wie Variantenvergleich, Bewertung von Rückläuferdaten oder Vergleiche mit Kundenkollektiven.

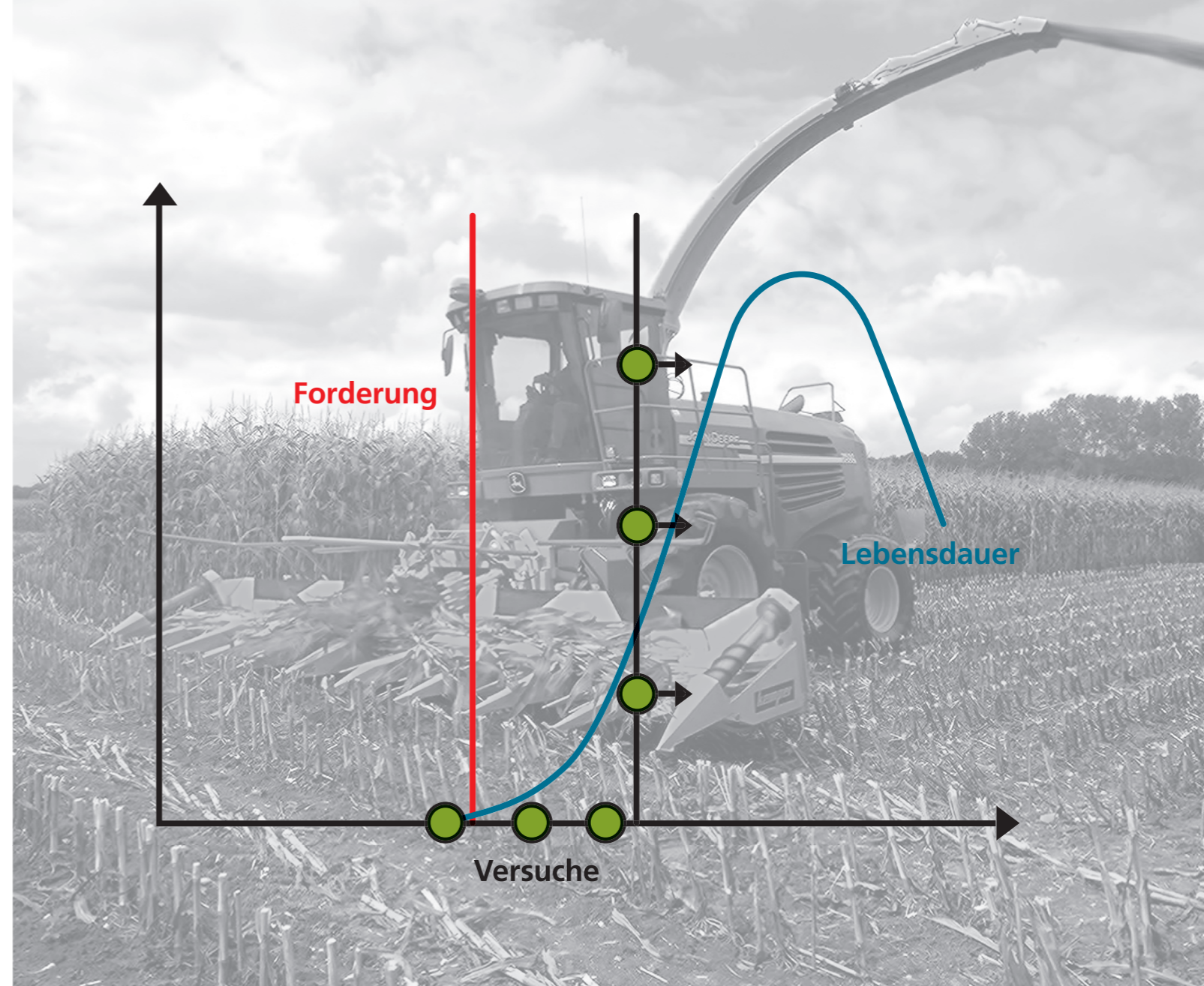
Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM

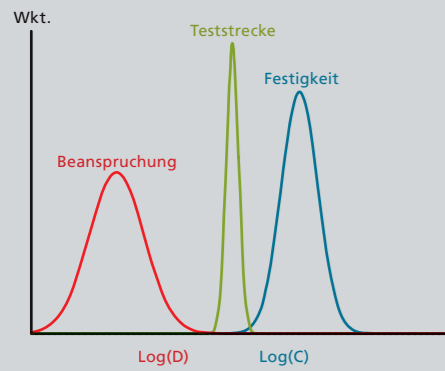
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern

Kontakt
Dr. Klaus Dreßler
Telefon +49 631 31600-44 66
klaus.dressler@itwm.fraunhofer.de

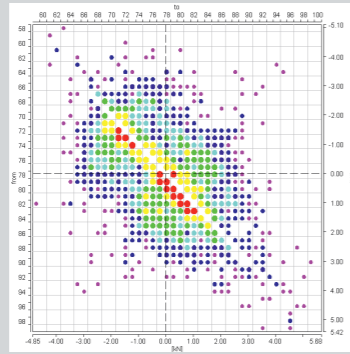
Dr. Michael Speckert
Telefon +49 631 31600-45 65
michael.speckert@itwm.fraunhofer.de

www.itwm.fraunhofer.de

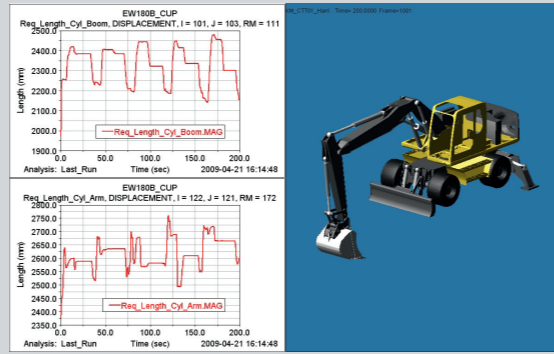




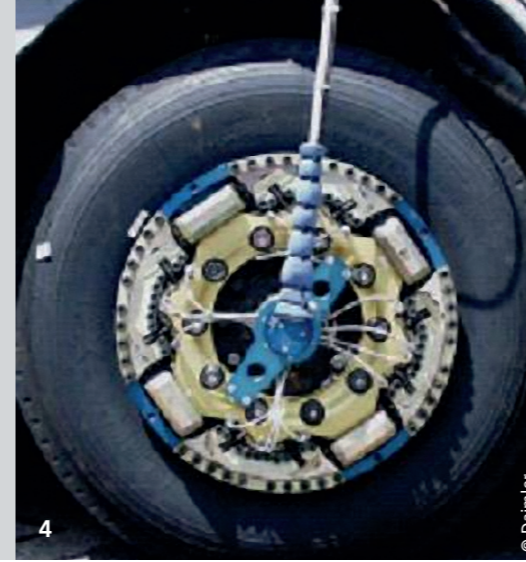
1



2



3



4



5

1 Betriebslasten, Testlasten und die Bauteilfestigkeit sind gewissen Streuungen unterworfen.

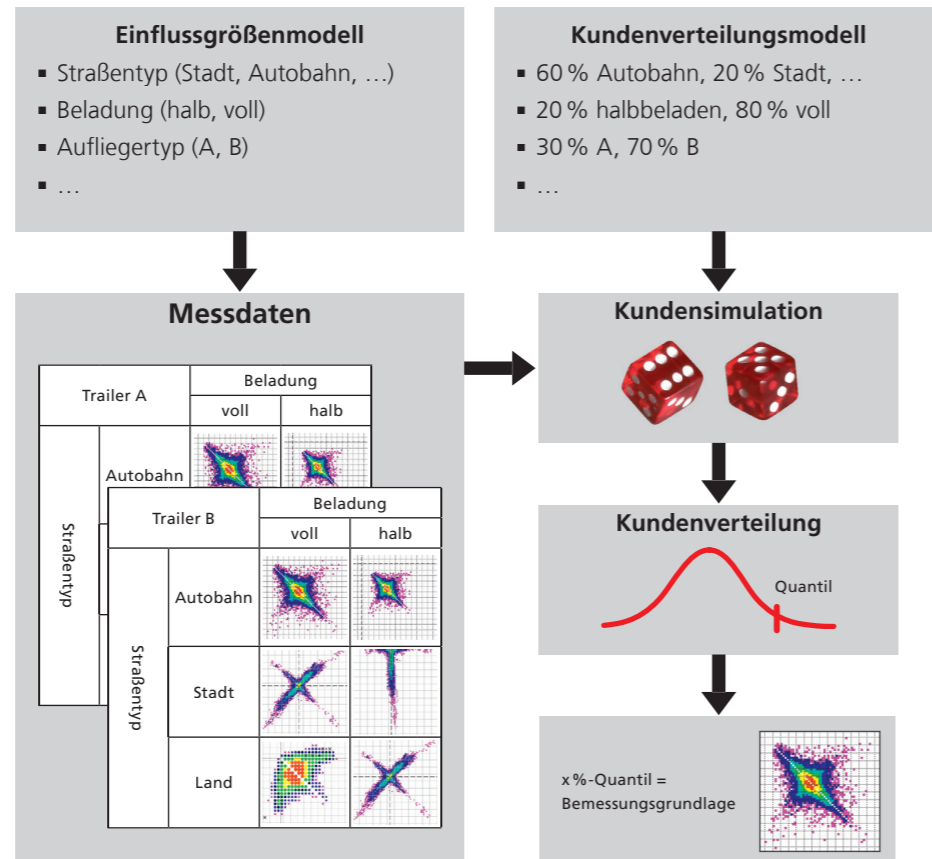
2 Rainflow-Matrix

3 Lastermittlung aus Mehrkörpersimulation

Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit

Ein Arbeitsschwerpunkt der Abteilung Mathematische Methoden in Dynamik und Festigkeit MDF ist die betriebsfeste Auslegung von technischen Systemen oder deren Komponenten. Dazu werden Methoden angewendet und entwickelt, die den gesamten Ent-

wicklungsprozess und die Nachsorge (Qualitätskontrolle) betreffen. Die meisten Projekte stammen dabei aus der Fahrzeug- oder Zulieferindustrie, aber die Verfahren sind generell von Interesse, wenn es um technische Systeme mit stark variabler Belastung geht.



Methoden zur Lastdatenanalyse

Beanspruchungsdaten auf System- und Bauteilebene aus Feldmessungen, am Prüfstand und im Berechnungsumfeld sind zunächst Zeitreihen. Wesentliche Informationen über

die Belastung erhält man in der Regel aus den Amplituden (Rainflow-Zählung) oder Frequenzen (PSD) einer Lastfolge. Welche Größen für eine konkrete Situation von

Bedeutung sind, hängt von der beobachteten Komponente und deren Schädigungsverhalten ab – eine Frage, die bereits beim Planen einer Messkampagne berücksichtigt werden muss. Ist ein Schädigungsmechanismus bekannt, lassen sich die Lasten mittels einer (Pseudo-) Schädigungsrechnung in skalare Werte übersetzen, was z. B. quantitative Vergleiche zwischen Kundenbetrieb und Teststrecke ermöglicht. Wurden Lasten

aus technischen Gründen nicht direkt an dem Bauteil gemessen, dessen Verhalten von Interesse ist, lassen sie sich mit Hilfe eines Modells (finite Elemente oder Mehrkörpersimulation) des Systems auch umrechnen. Für alle diese Aufgaben verfügt die Abteilung MDF sowohl über kommerzielle Software aus dem Ingenieurbereich als auch über selbst implementierte Methoden, die auf bestimmte Anwendungen zugeschnitten sind.

4 Messrad

5 Teststrecke

Modellierung der Kundennutzung

Feldmessungen allein reichen in der Regel nicht aus, um Aussagen über ein System im Kundenbetrieb zu machen. Ein erstes Problem ist, dass die Messungen kurz sind und man auf längere Laufzeiten extrapolieren will, wobei man extremere Ereignisse als die bereits beobachteten erwartet. Dabei helfen Methoden der Extremwertstatistik oder nichtparametrischen Glättung von Verteilungen. Ein zweites Problem ist die große Zahl möglicher Anwendungen, so dass die Häufigkeit bestimmter Aufgaben nicht ihrem Anteil an den vorliegenden Messungen entspricht. Um die Daten trotzdem nutzen zu können, werden sie zunächst nach Einfluss-

größen klassifiziert und dann zur Synthese von Kundenkollektiven herangezogen, indem man sie entsprechend der erwarteten Einsatzfälle kombiniert.

Die Klassifikation beruht dabei sowohl auf technischen Erwägungen als auch auf statistischen Verfahren zur Datenanalyse. Ist die Klassifikation zudem systemunabhängig, d. h. sie orientiert sich an äußeren Bedingungen wie Einsatzgebiet, Aufgabe etc., so erhält man eine Beschreibung des Nutzungsspektrums, die sich auch mit Messdaten anderer Systeme bedaten lässt und direkte Vergleiche erlaubt.

Kundenmodelle außerhalb der Betriebsfestigkeit

Die Methoden zur Analyse von Felddaten und zur Beschreibung des Kundenverhaltens sind nicht nur für den Bereich der Betriebsfestigkeit interessant. Aus entsprechenden Messungen lassen sich auch Aussagen über andere Eigenschaften eines technischen Systems machen, z. B. über den Kraft-

stoffverbrauch oder Schwingungskomfort abhängig vom erwarteten Einsatz. Sind die Verfahren nicht zu rechenaufwändig, so lassen sie sich auch im Bereich Online-Monitoring einsetzen, etwa für Warnsysteme oder zur Erweiterung der Basis an Kundendaten für die Bemessung.