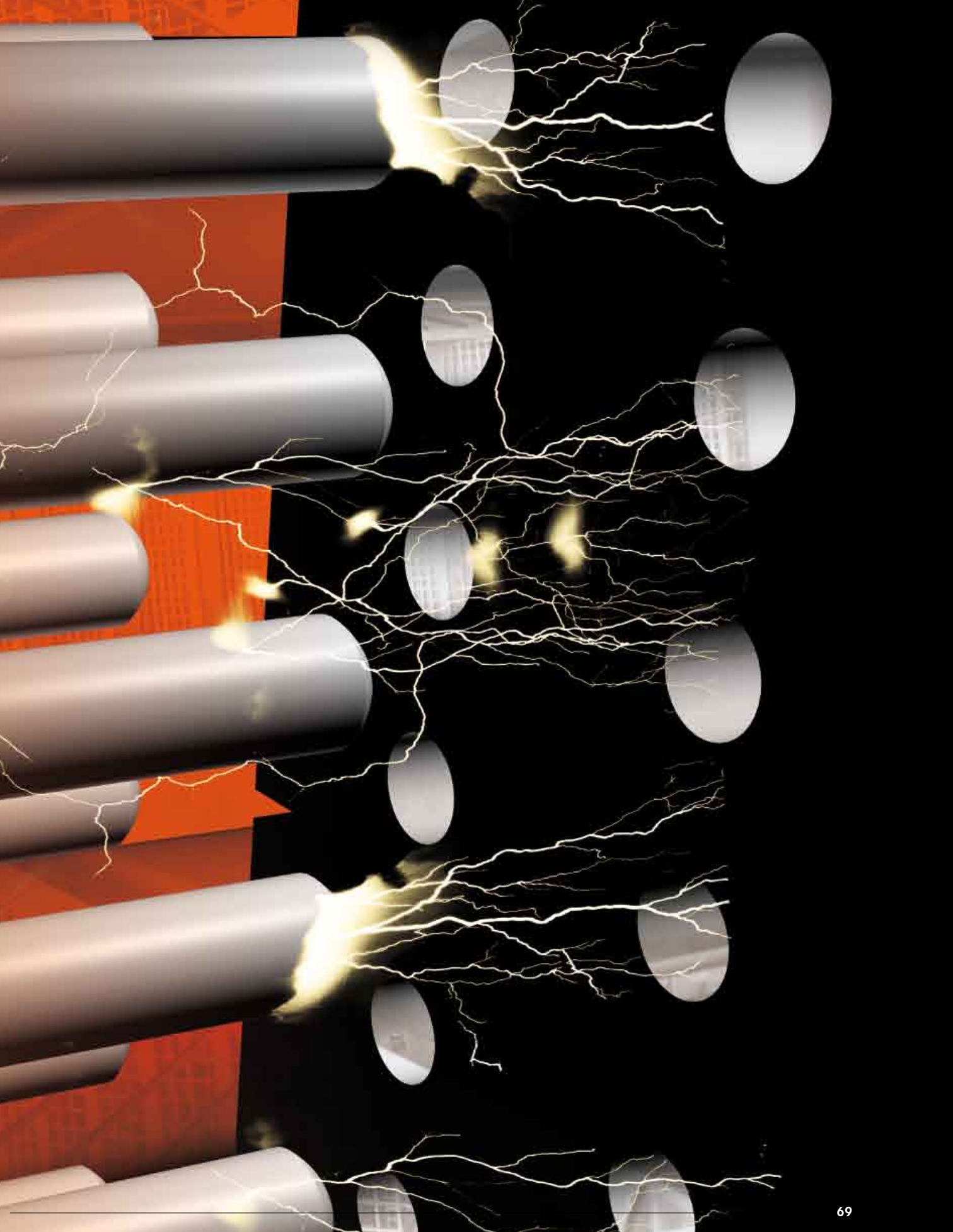


*Dr. Georg Staperfeld*

## **Zuverlässigkeitssicherung und Lebensdauer von elektrischen Kontakten**

Eine hohe Sicherheit und Zuverlässigkeit von elektronischen Baugruppen setzt niedrige Ausfallraten der einzelnen Komponenten und der dazugehörigen Verbindungstechnik und Übertragungssysteme voraus. Der Steckverbinder als Einzelkomponente soll nicht over-engineered werden, der Anwender erwartet aber bei Anlaufströmen und Überlast Sicherheitsreserven.



MTBF (Mean time between failure)-, MTTF (Mean time to failure)-, FIT (Failure in Time)-Fehlerraten und -Lebensdauern sind Zuverlässigkeitsparameter, die zunehmend auch für Steckverbinder eingefordert werden.

Steckverbinderhersteller taten sich in der Vergangenheit schwer, zu Neuentwicklungen sichere Zuverlässigkeitsaussagen zu treffen, weil zum einen die Felderfahrung für innovative neue Produktideen nicht vorhanden sein kann und zum anderen die Diversität von Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten sowie die Lebensdauer der Produkte im Allgemeinen sehr hoch sind.

Zur Lösung dieses Kernproblems hat HARTING ein Verfahren zur Bestimmung der konstruktionsbedingten ausfallfreien Zeit entwickelt. Die Zeit, die die natürliche Lebens- bzw. Nutzungsdauer eines Steckverbinderkontaktes vom Zeitbereich der Verschleißausfälle abgrenzt. Es nutzt aus, dass die Lebensdauer dem Arrheniusgesetz folgt und baut auf der Extrapolation von Labormesswerten auf. Diese Aussage zur Zuverlässigkeit einer Konstruktion ergänzt sehr sinnvoll und insbesondere den empirisch, rechnerisch ermittelten MTTF-Wert.

In einem zweiten Schritt wird ein Verfahren zur Bestimmung der mittleren Lebensdauer (MTTF) von Steckverbindern auf der Grundlage physikalischer Ausfallmechanismen vorgestellt.

### EINFLUSS VON QUALITÄT UND ENTWICKLUNG AUF DIE ZUVERLÄSSIGKEIT

Die nach dem schwedischen Ingenieur und Mathematiker Waloddi Weibull benannte Verteilung zur Materialermüdung und dem Ausfall von elektronischen Bauteilen gliedert sich in die Bereiche I der Frühausfälle, II der natürlichen Lebensdauer und III der Verschleißausfälle. Ein hoher Grad von Frühausfällen weist immer auf einen schwierigen oder nicht ausgereiften Fertigungsprozess hin.

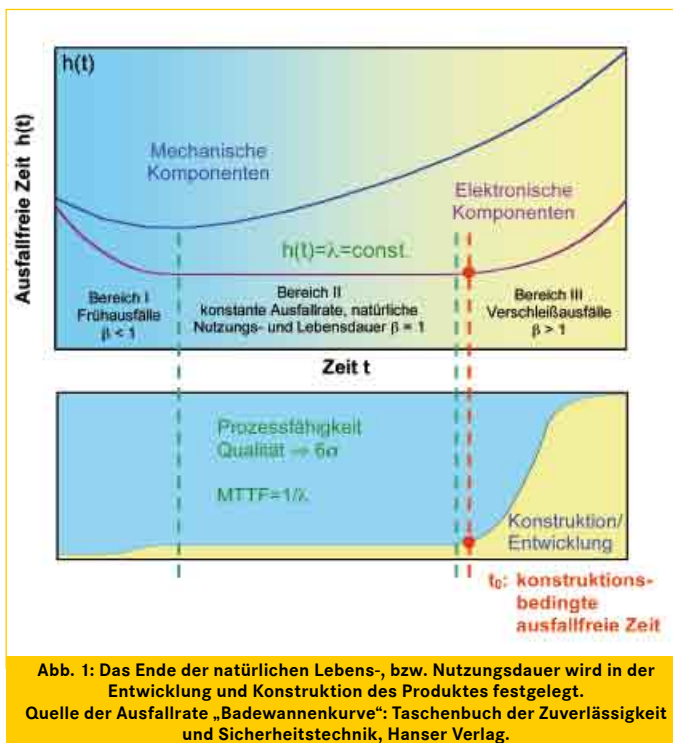


Abb. 1: Das Ende der natürlichen Lebens-, bzw. Nutzungsdauer wird in der Entwicklung und Konstruktion des Produktes festgelegt. Quelle der Ausfallrate „Badewannenkurve“: Taschenbuch der Zuverlässigkeit und Sicherheitstechnik, Hanser Verlag.

Die Ausfallrate  $\lambda = \frac{1}{\text{MTTF}}$  im Zeitbereich der natürlichen Lebens- bzw. Nutzungsdauer wird außer bei konstruktiven Mängeln maßgeblich durch die Güte und Fähigkeit des Fertigungsprozesses bestimmt. Bei gegenwärtigen, hochautomatisierten Herstellungsprozessen tendiert die Ausfallrate  $h(t) = \lambda$  bei Prozessfähigkeiten für und Produkten ohne gravierende konstruktive Schwachpunkte gegen Null  $h(t) = \lambda \rightarrow 0$ .

Verschleißausfälle beenden den natürlichen Bereich der Lebensdauer. Der Beginn dieses Zeitbereichs wird in der Entwicklung und während der Konstruktion des Produktes festgelegt.

### RELAXATION DES KONTAKTDRUCKS ALS PHYSIKALISCHER GRENZWERT

Eine sichere Kontaktgabe eines Steckverbinderkontaktes wird gewährleistet, wenn der Druck  $\sigma = \frac{F_N}{A}$  im Kontaktpunkt den konstruktiven Mindestwert nicht unterschreitet, so dass Fremdschichten unter Trockenreibbedingungen sicher durchbrochen werden.



Die Edelmetallbeschichtung und Geometrie des Kontaktsystems werden in erster Näherung als feste Größen angenommen, so dass die zeitabhängige Variable auf den Kontaktdruck die Normalkraft darstellt. Die Zuverlässigkeit wird somit von der Relaxation des Federkontaktes über die Zeit bestimmt.

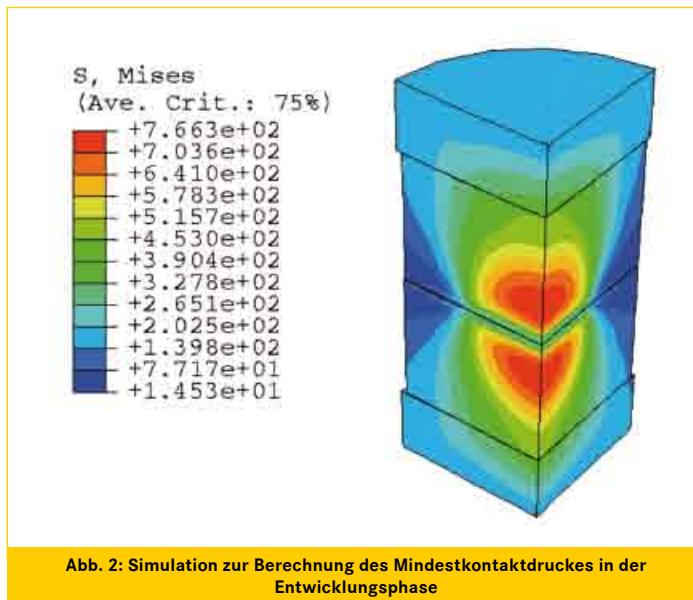


Abb. 2: Simulation zur Berechnung des Mindestkontaktdruckes in der Entwicklungsphase

In der Laboruntersuchung werden die Prüflinge bei verschiedenen Temperaturen gelagert und die Normalkraft der Federkontakte über die Lagerzeit gemessen.

Für die mechanische Spannung gilt allgemein  $\sigma_s \approx \ln(t)$ , so dass die logarithmierte Darstellung der gemessenen Federkräfte Geraden ergeben.

### BESTIMMUNG DER LEBENSDAUER ÜBER DAS ARRHENIUS-DIAGRAMM

Es gilt, die Frage zu beantworten, nach welcher Zeit und Kontakttemperatur die Normalkraft des Federkontaktes noch oberhalb des Mindestwertes liegt.

Die nach dem schwedischen Wissenschaftler und Nobelpreisträger Svante Arrhenius benannte Funktion beschreibt Diffusionseigenschaften und lässt sich somit ideal auf Relaxationsprozesse anwenden.

Aus dem Schnittpunkt der extrapolierten Geraden mit der Mindestnormalkraft kann der Zeitbereich für die zuverlässige Funktion des Kontaktes abgelesen werden. Die zuvor ermittelten Zeitwerte für den Zuverlässigkeitsbereich werden reziprok gegen den Logarithmus der Zeit in das Arrheniusdiagramm eingetragen. Hieraus lässt sich jetzt die Zuverlässigkeit der Konstruktion in Jahren für die Kontakttemperaturen während des Einsatzes ablesen.

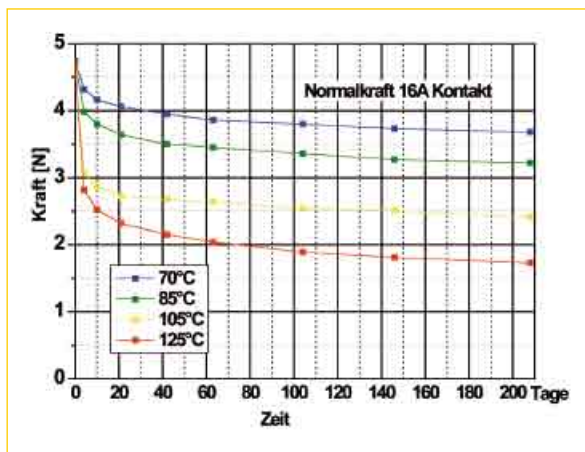


Abb. 3: Normal- bzw. Federkraft als Funktion der Zeit bei den Auslagerungstemperaturen  $T= 70\text{ °C}, 85\text{ °C}, 105\text{ °C}$  und  $125\text{ °C}$

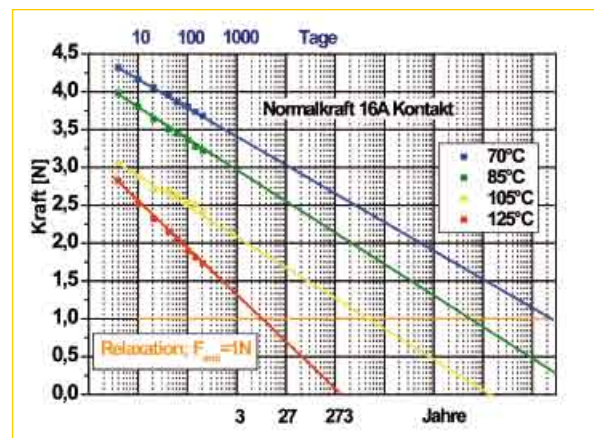


Abb. 4: Extrapolation der Relaxationsmessungen zur Bestimmung des Zuverlässigkeitsbereiches

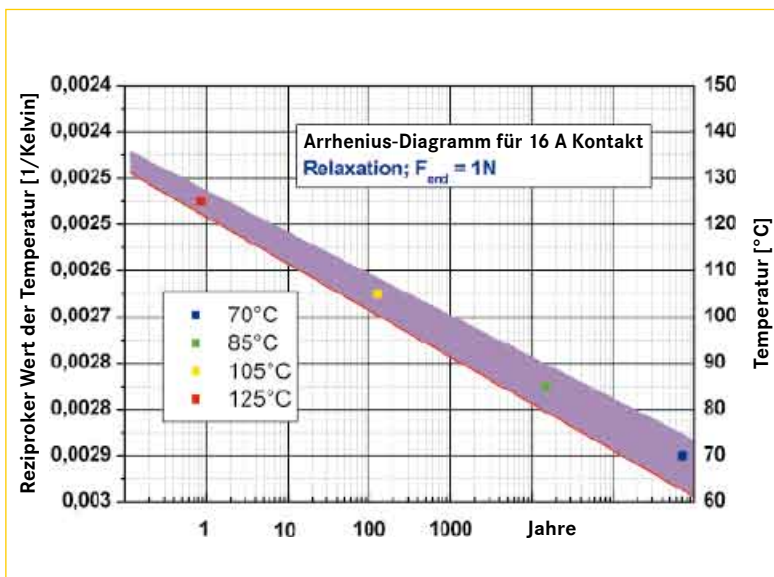


Abb. 5: Arrhenius-Diagramm aus den experimentell bestimmten Zuverlässigkeitswerten

Beispielsweise ist der Kontakt bei einer kontinuierlichen Temperaturbelastung im Betrieb von  $T_K = 110\text{ °C}$  noch nach  $t_o = 100$  Jahre arbeitsfähig ( $t_o = \text{die konstruktionsbedingte ausfallfreie Zeit}$ ).

Die Kontakttemperatur  $T_K$  ergibt sich aus Strombelastung und Umgebungstemperatur in der Applikation. Sie lässt sich mit diesen Eingaben aus dem Diagramm zur Stromtragfähigkeit entnehmen.

### ABSICHERUNG DES MODELLS UND BESTÄTIGUNG DES MINDESKONTAKTDRECKES

Zur Bestätigung der konstruktiv bestimmten Mindestnormalkraft wurden an einem zweiten Los Prüflinge vor der Belastung mit trockener Wärme 200 Steckzyklen durchgeführt.

Im Anschluss an die Relaxationsprüfung, also im vorgealterten Zustand, wurden die Prüflinge mit 21 Tage Mischgastest nach IEC 60068-2-60, Vibrationsbelastung und Klimafolge belastet. Die

Prüfgrößen waren der Durchgangswiderstand und die Stromtragfähigkeit.

Die Stromtragfähigkeit vermindert sich gegenüber dem Anfangswert vor der Wärmelagerung um 5 %, dieses begründet sich durch den infolge der Relaxation etwas erhöhten Engwiderstand.

Die ausgewählten Belastungen und Messungen an den Prüflingen nach Alterung bestätigen somit den Mindestkontakttdruck und auch unser Modell zur Bestimmung der Lebensdauer bzw. ausfallsfreien Zeit.

### BESTIMMUNG DER MITTLEREN LEBENSDAUER AUF DER GRUNDLAGE PHYSIKALISCHER AUSFALL-MECHANISMEN

Während wir die Belastungsprüfungen trockene Wärme, Steckzyklen, Mehrkomponentenindustriegastest, Klimafolge, Schock und Vibration durchführten, wurden die physikalischen Ausfallmechanismen Relaxation, Abrieb und Korrosion als Grundlage des Modells vorausgesetzt.

Auf dieser Basis lassen sich bei einer ausreichend großen Stichprobe und unter Kenntnis der Beschleunigungsfaktoren auch die MTF-Werte im Prüflabor bestimmen. Die Stichprobe muss groß genug gewählt sein (mindestens 500 Kontakte), weil die Belastungszeit und -obergrenze nicht beliebig erweitert werden kann, ohne dass man

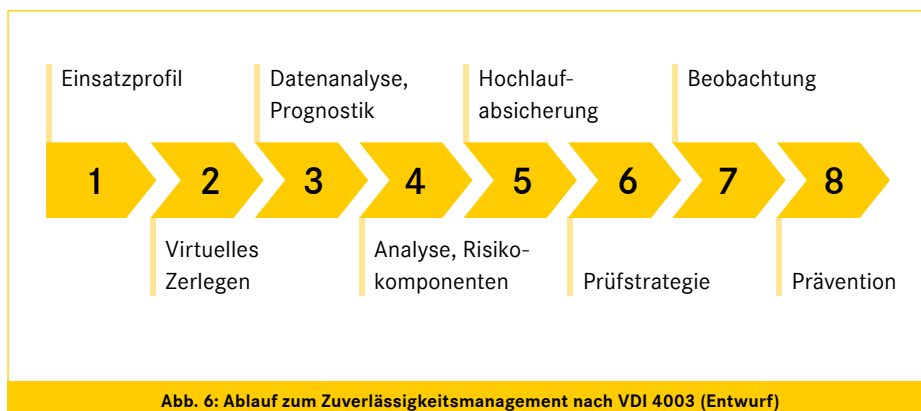


Abb. 6: Ablauf zum Zuverlässigkeitsmanagement nach VDI 4003 (Entwurf)



Ergebnisse aus dem Verschleiß- anstelle des Nutzungsbereiches erzielt.

Der Korrosionsbelastung durch Mixed Flowing Gases (MFG) lassen sich wissenschaftlich bestätigte Beschleunigungsfaktoren zuordnen, die in den 80er Jahren von W. H. Abbott am Battelle Institute und in den 90ern vom Swedish Corrosion Institute erarbeitet wurden.

Beide Forschungen bestätigen den Beschleunigungsfaktor in erster Näherung, dass ein Tag unter MFG-Belastung einem Jahr in realer Anwendung unter Outdoor-Bedingungen entspricht.

Für die anderen Belastungen wurden im Automobilbereich bereits Beschleunigungsfaktoren ermittelt, aber sie lassen sich auch mit Hilfe der Arrheniusfunktion aus experimentellen Daten errechnen.

Nach Einbindung der Beschleunigungsfaktoren bestimmt sich die Ausfallrate für den 16 A-Kontakt unter strengen Industriegasbedingungen und im Außenbereich vom Zugwagen auf  $\lambda_{\text{Applikation}} = 0,4 \text{ FIT}$  und der MTTF-Wert auf  $\text{MTTF} = 2375 * 10^6 \text{ h}$  für den Zeitbereich der natürlichen Lebens- und Nutzungsdauer mit einem Vertrauensbereich von 90 %. Der Vertrauensbereich ergibt sich aus der Anwendung der  $\chi^2$ -Funktion.

### BAUSTEINE IM ZUVERLÄSSIGKEITSMANAGEMENT

HARTING hat für Merkmale wie Kontaktdruck, Stromtragfähigkeit und Relaxation auch prognosesichere Simulationsmodelle entwickelt (siehe tec.News 13). Auf der Grundlage des Arrheniusmodells kann somit die Zuverlässigkeit bereits in der Entwicklungsphase sichergestellt und in das Produkt eidesignt werden.

Diese beiden wichtigen Bausteine zur Zuverlässigkeitsabsicherung im Prüfwesen und in der Simulationsphase sind eng miteinander verwoben und fügen sich nahtlos in das Zuverlässigkeitsmanagement (VDI 4003 - Entwurf) ein.



**Dr. Georg Staperfeld**  
Senior Manager  
Corporate Technology Services  
HARTING KGaA  
georg.staperfeld@HARTING.com

