

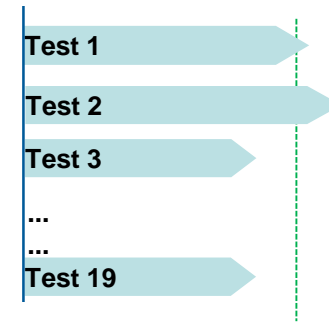
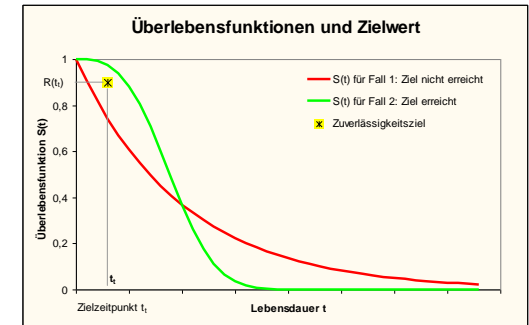
Erwartete Zuverlässigkeit

Eine Methode zur gesamthaften Bewertung
aller
Validierungs-Maßnahmen



Author	FL
Date	09 / 2019
Reference	V7

- **Zuverlässigkeitsziele** sind Markt-induzierte Kenngrößen
 - bezogen auf Gewährleistung / Lebensdauer und Betriebsweise
 - dienen zur Steuerung der Produkt-Absicherung
- **Zuverlässigkeit** ist eine **Produkteigenschaft**
 - für (Groß-)Serienprodukte: i.A. durch Testen nachgewiesen
 - für Anlagen: best practise / Simulation / Stichproben
- **Nachweisbare Zuverlässigkeit**
 - ist eine Eigenschaft des Testprogramms, nicht des Produkts



Zeit und Ressourcen zur Absicherung sind beschränkt

- die Zielerreichung ist i.A. nicht vollständig
- insbesondere bezogen auf die Lebensdauer

Beispiel:
Statistischer Nachweis des B10- Ziels von
1 Mio. km f. Fernverkehrs-LKW

erfordert das Testen von
22 Fzg. über jeweils 1 Mio. km
im Fernverkehr !

LOCATE Projektverlauf

Ausfallpotentialanalyse (APA)

Gehäuse:
HCF der Motoranbindung /
Alterung am Lagerschild

Bürstensystem:
Erosion der Bürsten

Inverter:
Therm. Alterung MOSFET
TMF MOSFET-Substrat



Modellbildung

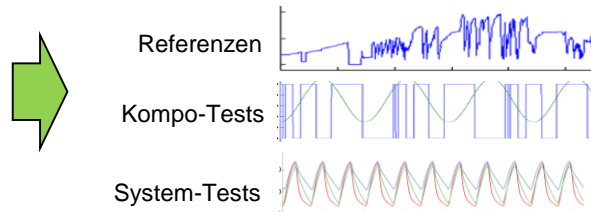
HCF Motoranbindung	$\text{resonance}(N_SGR(t), N_SGR_reso)$
Erosion Bürsten	$\# \text{starts}(t)$
Therm. Alterung Anbindung MOSFET	$A * \exp[-Q/(k * T_Inverter(t))]$



Wie könnten Bauteile ausfallen?
Welche Schädigungstreiber?

Modelle: Transfer-Funktionen
Belastung → Schädigung

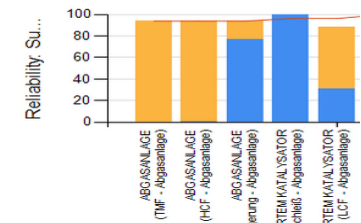
Last-Zeitreihen



vergleichende Schädigungsrechnung für
Kundenprofile und Tests

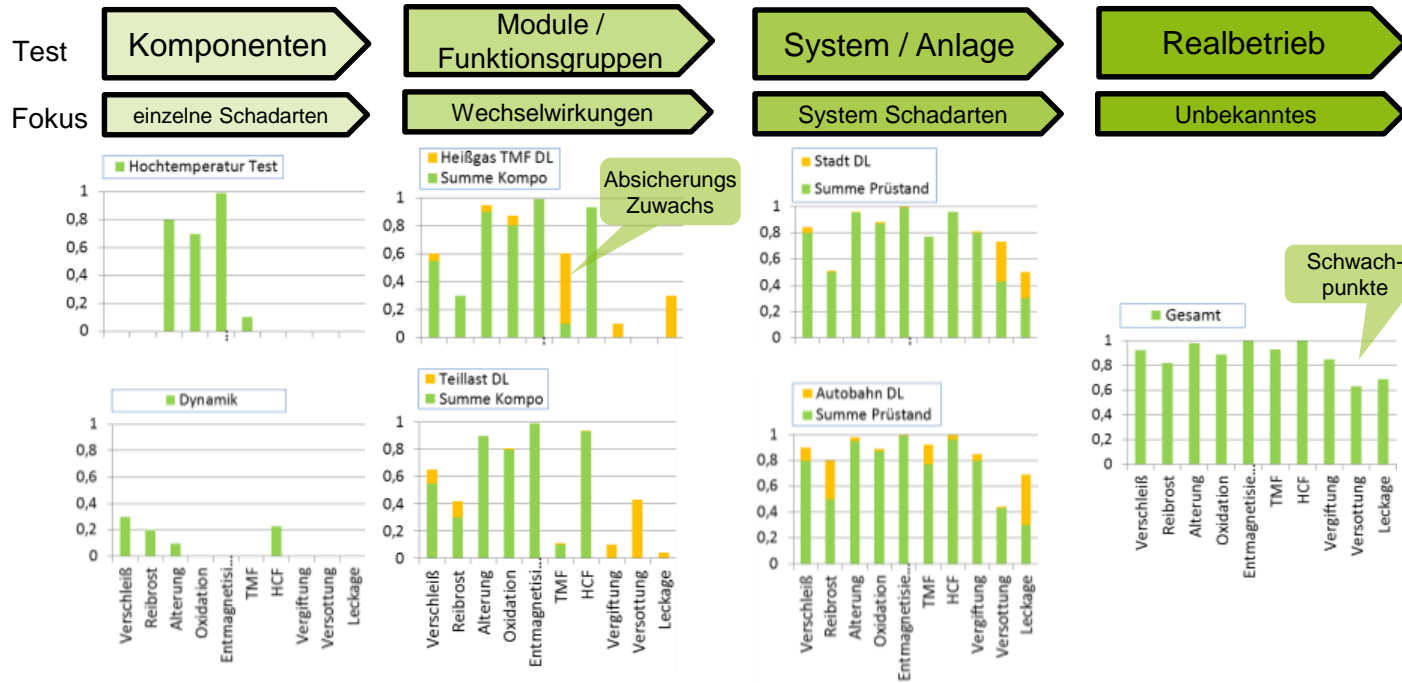
Testbewertung & Programm-Optimierung

	Referenz1	Test1	Test2
HCF Motoranbindung	1,0	0,4	3,9
Erosion Bürsten	1,0	2,2	0,2
Therm. Alterung Anbindung MOSFET	1,0	4,6	1,1



Raffung: Schädigung pro Stunde von Tests gegen
Referenzen → Testoptimierung
Programm-Design: Raffung, Überdeckung, Sequenz

Produktabsicherung via Reifegradnachweis



Status-quo: Programmbewertung nach Test-Zeit oder Laufleistung

Optimierter Prozess: Zuverlässigkeitswachstum je Schadensart
Nachweishierarchie, Riskobewertung



- Häufiges Ergebnis: Das Niveau der nachweisbaren Zuverlässigkeit ist unbefriedigend niedrig
 - d.h. die geforderte Zuverlässigkeit kann in der Realität nicht vollständig über Tests nachgewiesen werden
- **ABER:** die realen Ausfallsraten sind (sehr) viel geringer als sie lt. Nachweis sein könnten!

→ Für die reale Zuverlässigkeit muss der Nachweis der Ziele über Testzeiten nicht vollständig erfolgen



ABER:

- Wo kann eingespart werden, ohne dass die Ausfallsraten steigen?
- Wie können wir das entscheiden?
- Konzept der *Projizierten Zuverlässigkeit*
Extrapolation der Nachweisniveaus je nach Risiko
- Konzept der *Erwarteten Zuverlässigkeit*
 - *Risiko-basierter Startwert und*
 - *Berücksichtigung aller Aktivitäten zur Risiko-Reduktion*



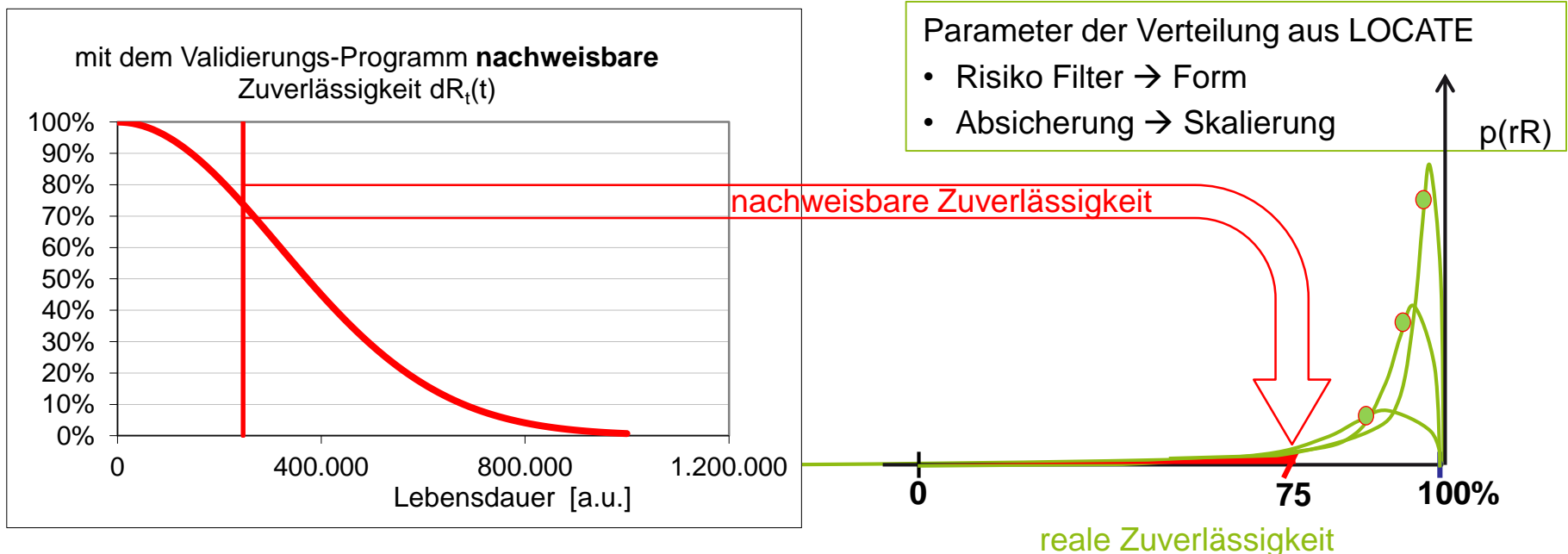
Die *Projizierte Zuverlässigkeit* als Schätzwert für die reale ZV

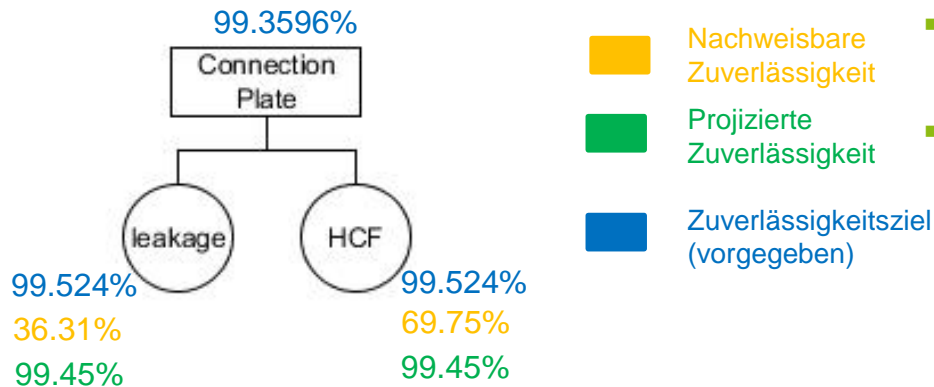
Die **Produkt-Zuverlässigkeit** liegt höher als das **Nachweisniveau**,

- **wenn** geringes Risiko vorliegt
UND
- **wenn** keine Fehler in der Absicherung auftreten

→ **Projizierte Zuverlässigkeit** liefert den Erwartungswert für die **Ausfallsrate** des Produkts

- durch Extrapolation des Nachweisniveaus
- als Funktion des Risikos und der Ausfälle während der Absicherung





- Die **nachweisbare** Zuverlässigkeit ist unterschiedlich auf niedrigem Niveau
- Die **projizierte** Zuverlässigkeit liegt deutlich höher auf gleichem Niveau
 - Grund: Einstufung im Risikofilter als „Komponente mit geringem Risiko“ (4 von 12 möglichen Risiken)

- **Achtung: Die projizierte Zuverlässigkeit**
 - ist unabhängig vom Nachweisniveau (für beide Schadensmoden gleich)
 - basiert also ausschließlich auf der Bewertung im Risikofilter
- Grund: beide Nachweisniveaus (für leakage und HCF) liegen unter der Mindestschranke, die zu einer Erhöhung der projizierten Zuverlässigkeit führen würde
 - Solange das so ist, haben Erweiterungen der Testzeiten oder -Volumina keinen Einfluss auf die projizierte Zuverlässigkeit!
 - Unzureichender Nachweis ist wegen Ressourcenknappheit der Regelfall

→ Bewertung von Szenarien oder Optimierung des Testprogramms nicht möglich




„Erwartete Zuverlässigkeit“

- Schritt 1: Ermittlung des Zuverlässigkeits-Startwerts („a-priori Zuverlässigkeit“) aus dem Risiko-Filter (oder analoger System-Risiko Bewertung)
 - Komponenten ohne Eintrag im Risiko-Filter erreichen ihr Ziel
 - Mit jedem Eintrag im Risiko-Filter sinkt die a-priori Zuverlässigkeit progressiv
 - Für Komponenten mit maximalem Risiko im Risiko-Filter wird die a-priori Zuverlässigkeit festgelegt:
 - aus aktuellen Ausfallsraten: für evolutionäre Entwicklung
 - an Hand des TRL*-Werts: für hoch-innovative Lösungen
- Schritt 2: Prozess zur Erhöhung der Erwarteten Zuverlässigkeit
 - I Aktionsplan bearbeitet verschiedene **Risiko-Typen**
 - II Teststrategie optimiert den Nachweis durch **Dauerläufe**
 - III Risiko-Reduktionsplan hebt die Synergie von **Simulation & Tests**

→ Jede - tatsächlich und messbar erfolgreich durchgeführte - Aktivität führt zu einer bewertbaren Erhöhung der Erwarteten Zuverlässigkeit

*TRL = Technology Readiness Level

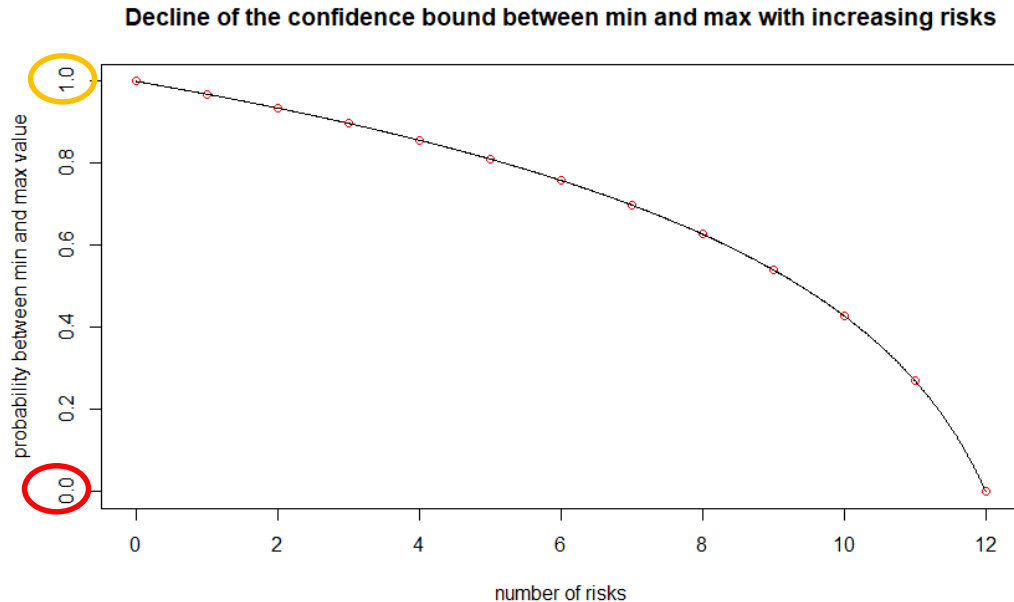
Betrachtungsumfang (Zielrelevanz)	Technisches Risiko			Zeitliches Risiko			Organisatorisches Risiko			Produktions- und Wartungsrisiko		
	Konstruktion	Last	Belastbarkeit	Machbarkeit	Umfang	Sequenz	Änderungen	Ziele	Kooperation	Qualitätssicherung	Wartung	Reputation
 FAHRZEUG (Elternknoten)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ABGASANLAGE (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MOTOR (2x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MOTORELEKTRIK (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
KRAFTSTOFFAUFBEREITUNG UND REGELUNG (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
KUEHLUNG (2x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
KUPPLUNG (0x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
SCHALTGETRIEBE (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VORDERACHSE, VORDERRADFUEHRUNG (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
HINTERACHSE, HINTERRADANTRIEB, FUEHRUNG (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Top-down Risiko Analyse - strukturiert nach Risiko-Typen

Startwert: A-priori Zuverlässigkeit

- Berechnung der a-priori Zuverlässigkeit
 - **Maximum**: festgelegt durch das Zuverlässigkeitsziel
 - **Minimum**: Durch Ausfallraten von repräsentativer Vorläufer oder TRL definiert
- A-priori Zuverlässigkeit $R_{0,i}$ für 12 Risiko-Kategorien r_i des Risiko-Filters:

$$R_{0,i} = \text{minbound}_i + (\text{maxbound}_i - \text{minbound}_i) \cdot \frac{1}{\ln(13)} \cdot \ln(13 - r_i)$$





„Erwartete Zuverlässigkeit“

- Schritt 1: Ermittlung des Zuverlässigkeits-Startwerts („a-priori Zuverlässigkeit“) aus dem Risiko-Filter (oder analoger System-Risiko Bewertung)
 - Komponenten ohne Eintrag im Risiko-Filter erreichen ihr Ziel
 - Mit jedem Eintrag im Risiko-Filter sinkt die a-priori Zuverlässigkeit progressiv
 - Für Komponenten mit maximalem Risiko im Risiko-Filter wird die a-priori Zuverlässigkeit festgelegt:
 - aus aktuellen Ausfallsraten: für evolutionäre Entwicklung
 - an Hand des TRL*-Werts: für hoch-innovative Lösungen
- Schritt 2: Prozess zur Erhöhung der Erwarteten Zuverlässigkeit
 - I Aktionsplan bearbeitet verschiedene **Risiko-Typen**
 - II Teststrategie optimiert den Nachweis durch **Dauerläufe**
 - III Risiko-Reduktionsplan hebt die Synergie von **Simulation & Tests**

→ Jede - tatsächlich und messbar erfolgreich durchgeführte - Aktivität führt zu einer bewertbaren Erhöhung der Erwarteten Zuverlässigkeit

*TRL = Technology Readiness Level

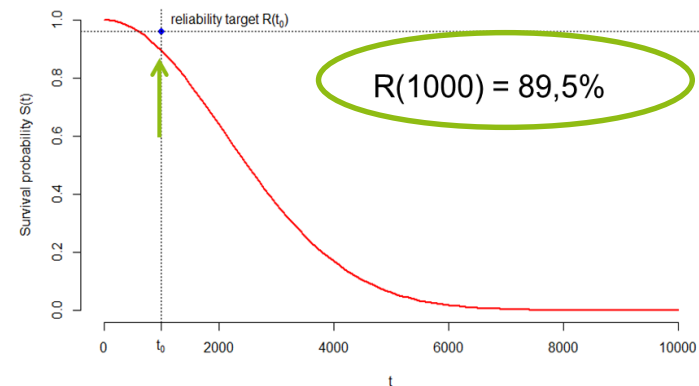


I: Aktionsplan

- Adressiert alle Risiko-Typen
- alle erfolgreichen Maßnahmen während der Entwicklung erhöhen die Erwartete Zuverlässigkeit

Komponente	Technisches Risiko			Zeitliches Risiko			Organisatorisches Risiko			Produktions- und Wartungsrisiko			# Risiken	
	Konstruktion	Last	Belastbarkeit	Machbarkeit	Umfang	Sequenz	Änderungen	Ziele	Kooperation	QS	Wartung	Reputation		
														3

- Maßnahmen sind
 - unterschiedlich je Risiko-Typ
 - SMART



Betrachtungsumfang (Zielrelevanz)	Technisches Risiko			Zeitliches Risiko			Organisatorisches Risiko			Produktions- und Wartungsrisiko		
	Konstruktion	Last	Belastbarkeit	Machbarkeit	Umfang	Sequenz	Änderungen	Ziele	Kooperation	Qualitätssicherung	Wartung	Reputation
FAHRZEUG (Elternknoten)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ABGASANLAGE (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MOTOR (2x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MOTORELEKTRIK (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
KRAFTSTOFFAUFBEREITUNG UND REGELUNG (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
KUEHLUNG (2x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
KUPPLUNG (0x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
SCHALTGETRIEBE (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VORDERACHSE, VORDERRADFUEHRUNG (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
HINTERACHSE, HINTERRADANTRIEB, ...FUEHRUNG (1x)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Aktions-Plan

Konzept FMEA	Analyse Belastung	Analyse Belastbarkeit	Nachweis Reifegrad	Nachweis Reifegrad	Technologie-Entwicklung	Zulieferer Qualifizierung	Ziel Definition	interkulturelle Kommunikation	Parameter-Studie	Konzept FMEA
Design Review	DoE Testflotte	HALT	ZV-Wachstum	Frühwarn-System	Rückfall-Lösung	Reifegrad Nachweis	Szenario Analysen	Bauteil Spezifikation	PPAP	Wartungs Konzept
	Nutzungsraum Analyse				ZV-Wachstum			Schnittstellen Definition	Prozess Entwicklung	

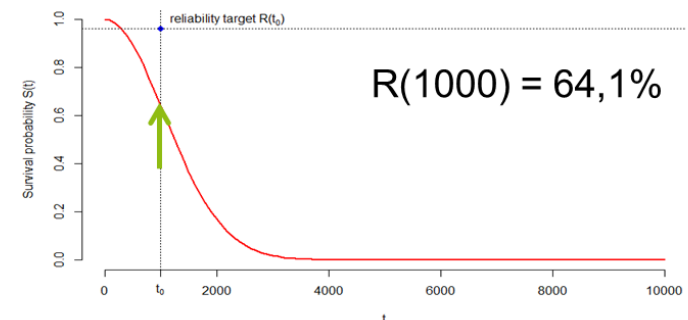
unterschiedliche Maßnahmen je nach Risiko-Typ



II: Test-Strategie

- klassischer Zugang: effektiv bei technischen Risiken
- für evolutionäres Design (hoher TRL)
 - Längere / effizientere / mehr erfolgreiche Tests drücken den ZV-Nachweis nach oben
- Für hohen Innovationsgrad (niedriger TRL)
 - Neuartige Testverfahren zur Abbildung neuartiger Ausfalls-Risiken

	Technisches Risiko			Zeitliches Risiko			Organisatorisches Risiko	
	Konstruktion	Last	Belastbarkeit	Machbarkeit	Umfang	Sequenz	Änderungen	Ziele
Komponente								





III: Risiko Reduktionsplan

- Spezifiziert die Synergien aus Simulation mit Messung/Test
 - Simulation liefert Effekte von Lastfällen, Last-Variation, Bauteil-Varianten, Toleranzen
 - Messungen/Tests liefern reale Lasten und Belastbarkeiten
- Definiert die Akzeptanz-Kriterien für Methoden und Ergebnisse
- Bewertet das Maßnahmen-Potenzial zur Risiko-Reduktion

Erhöhung der Erwarteten Zuverlässigkeit III: Risiko-Reduktionsplan



Failure Potential			Design Risk Mitigation							
Component	Failure Mode	Critical Location	Simulation Task / Load cases	Input / Quality	Output / Quality	Effect	Component Testing Task	min. Sample / required Quality	Part Inspection	Effect
PISTON, RINGS and BOLT	HCF	piston-bowl in bolt axis towards rim	FEA assessment with FEMFAT or FE-safe or similar / max. PFP, max. speed	gas load, thermal boundaries, meshed design / material fatigue data f(T) with scattering bandwidth	safety factor / with error band	2	pulse rig test	piston with pin / representative microstructure	microcracks, res. Hardness, distortion	2
PISTON, RINGS and BOLT	therm. Overload	piston crown, at locations of reduced cooling efficiency					-	ICE	visual, microstructure, oxidation traces	
PISTON, RINGS and BOLT	distortion	piston pin bore	FEA assessment with FEMFAT or fe-safe or similar / bore distortion during thermal transient operation	gas load, thermal boundaries, meshed design / residual stress, Young's modulus f(T)	pressure distribution for realistic load ramps	2	-	ICE	pin - wear pattern	
PISTON, RINGS and BOLT	HCF	piston skirt	piston secondary motion / max. side force @ max	gas pressure f(t), piston clearance f(N)	safety factor / with error band	2	skirt pulsation test	piston / representative	microcracks, res. Hardness, distortion	2
<h2>Simulation</h2> <p>von Lastfällen & Varianten & Toleranzen Input: reale Lasten & Belastbarkeiten & Streuung → Risiko-Reduktion & Test-Bedingungen</p>			<h2>Tests</h2> <p>an Komponenten und Funktionsgruppen Input: kritische Betriebsbedingungen → Belastungen und Belastbarkeiten</p>							
PISTON, RINGS and BOLT	abrasive wear	ring face	radial ring pressure EHD assessment / max. PFP @ max. T_oil @ var piston speed	gas pressure f(t), T_oil (P_ICE)	mixed friction map f(N, MD, T_oil)	2	segment oscillating on liner material with aged oil at high T_oil	ring segment, liner segment, aged oil / series microstructure	wear of ring and line	2
PISTON, RINGS and BOLT	therm. Aging	piston pin					Auslagerung bei T_max		Vermessung, Gefügeanalyse	



Gesamthaftes Risiko Management

auf Basis des Risiko-Filters

Gemeinsame Bewertung aller Validierungs-Aktivitäten

Jede erfolgreich durchgeführte Maßnahme erhöht die *Erwartete Zuverlässigkeit*

Durchgängiger Prozess

liefert Input für Entwicklung / Qualität / zustandsbasierte Wartung

Kosten/Nutzen Bewertung

ist mit der *Erwarteten Zuverlässigkeit* für alle Validierungsmaßnahmen durchführbar



UPTIME
ENGINEERING®

www.uptime-engineering.com

