

Ein Ansatz zur ausfallvermeidenden Betriebsführung hochintegrierter adaptiver Systeme

Krischan Wolters

Dirk Söffker

Kontakt: wolters@uni-duisburg.de
soeffker@uni-duisburg.de



Lehrstuhl
Steuerung, Regelung und Systemdynamik
Universität Duisburg-Essen



Inhalt

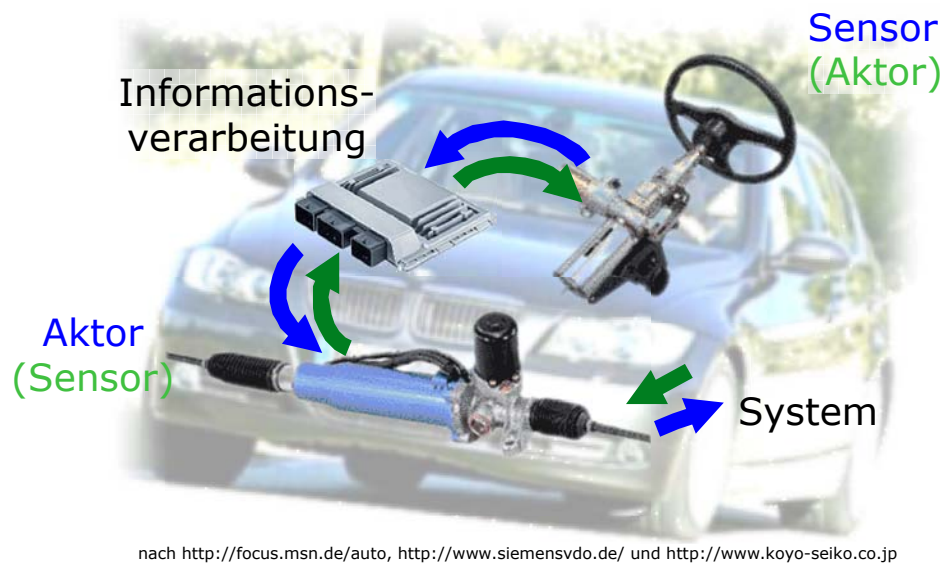
- Motivation
- Safety and Reliability Control Engineering (SRCE)
- Calculation of a SRCE reliability characteristic
- Potential of the concept
- Summary and outlook

Motivation

Schaffung hoch integrierter, kompakter Systeme mit

- verbesserten Funktionen
- neuen Funktionen

durch Mechatronik und Adaptronik



Formgedächtnis-
legierungen



<http://www.sti.nasa.gov>



<http://www.iwu.fhg.de/adaptronik/images/prospekte>

Piezoelektrika



<http://www.permedyn.com>

Magneto-
striktiva

Motivation

Verlust der Funktion(en) mechatronischer/adaptronischer Komponenten durch hohe Beanspruchungen?

- evtl. Verlust der Funktionalität/Struktur des Gesamtsystems bedingt durch hohen Integrationsgrad

Ziele

Zustand bezüglich Ausfall erfassen:

- Zuverlässigkeitsbewertung mechatronischer/adaptronischer Komponenten in Abhängigkeit ihrer Beanspruchung

Gegebenfalls Notlaufeigenschaften gewährleisten:

- Geänderte Betriebsparameter zur Gewährleistung einer weiteren Funktionalität

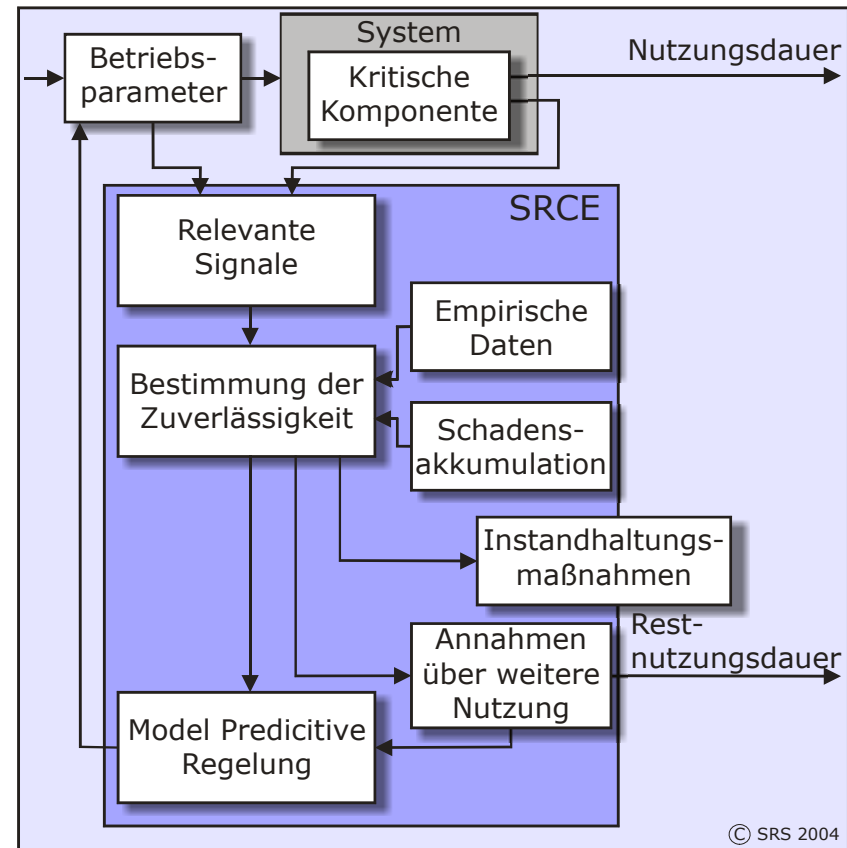
Safety and Reliability Control Engineering Konzept [Söffker, Rakowsky 1997]

Idee:

- Beanspruchungsabhängige Signale sind vorhanden
- Schadens- und Schadensakkumulationsprozess sind bekannt
- Wissen über Zusammenhang zwischen Beanspruchung und zu erwartenden Nutzungsdauer ist verfügbar

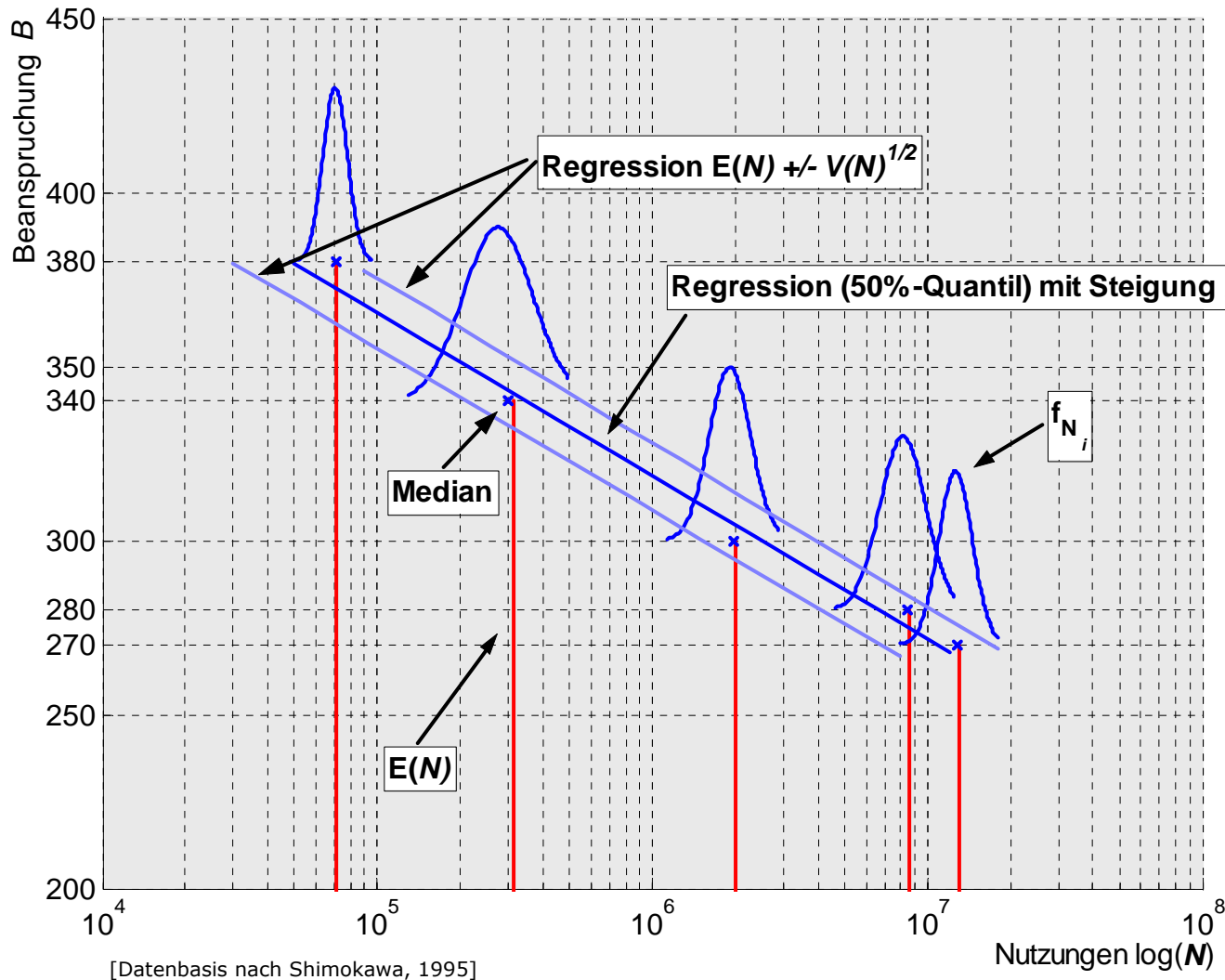
Ergebnis:

- Online Berechnung einer beanspruchungsabhängigen Zuverlässigkeitskenngröße
- Ansatz zur Verlängerung der maximalen Nutzungsdauer unter Einhaltung einer vorgegebenen Zuverlässigkeitskenngröße



Bestimmung der Zuverlässigkeitskenngröße

Empirische Lebensdauerkennlinien für gegebene Beanspruchungen B



[Datenbasis nach Shimokawa, 1995]

Annahmen:

- Kurven sind Resultat von Zufallslastversuchen
- Kurven repräsentieren die stochastischen Eigenschaften von N
- Gültig für aufeinander folgende Beanspruchungen unterschiedlicher Größe
- Steigung m in Log-Skalierung ist konstant
- Variation von m ist vernachlässigbar

5

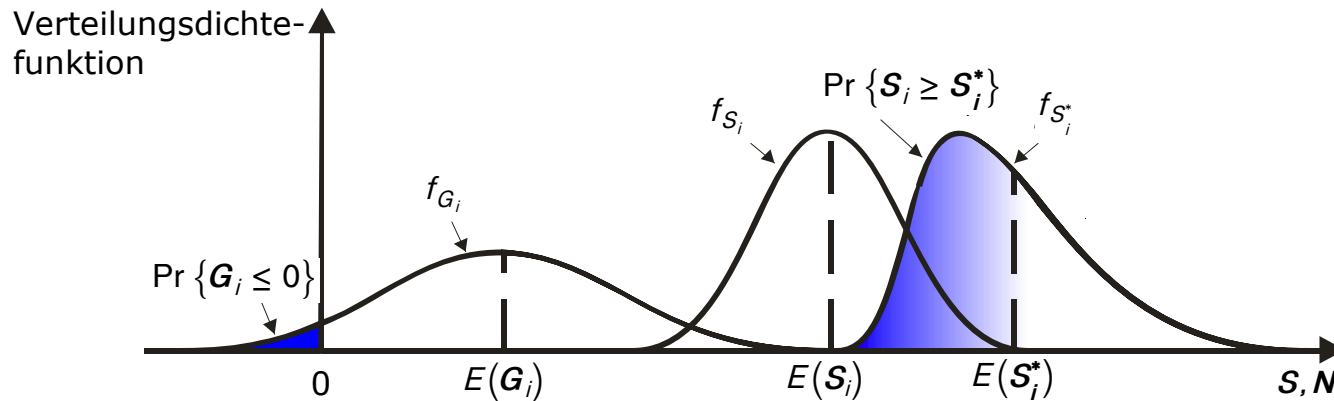
Bestimmung der Zuverlässigkeitskenngröße

Stochastische Schadensakkumulation :

- Berechnung der Zuverlässigkeitskenngröße als Wahrscheinlichkeit, dass der akkumulierte Schaden S_i größer oder gleich dem maximal kritischen Schaden S_i^* ist.

$$\Pr \{S_i \geq S_i^*\}, \quad \text{Grenzfunktion } G_i = S_i^* - S_i, \quad \text{Ausfall bei } G_i \leq 0$$

→ Berechnung der Wahrscheinlichkeit $\Pr \{G_i \leq 0\}$



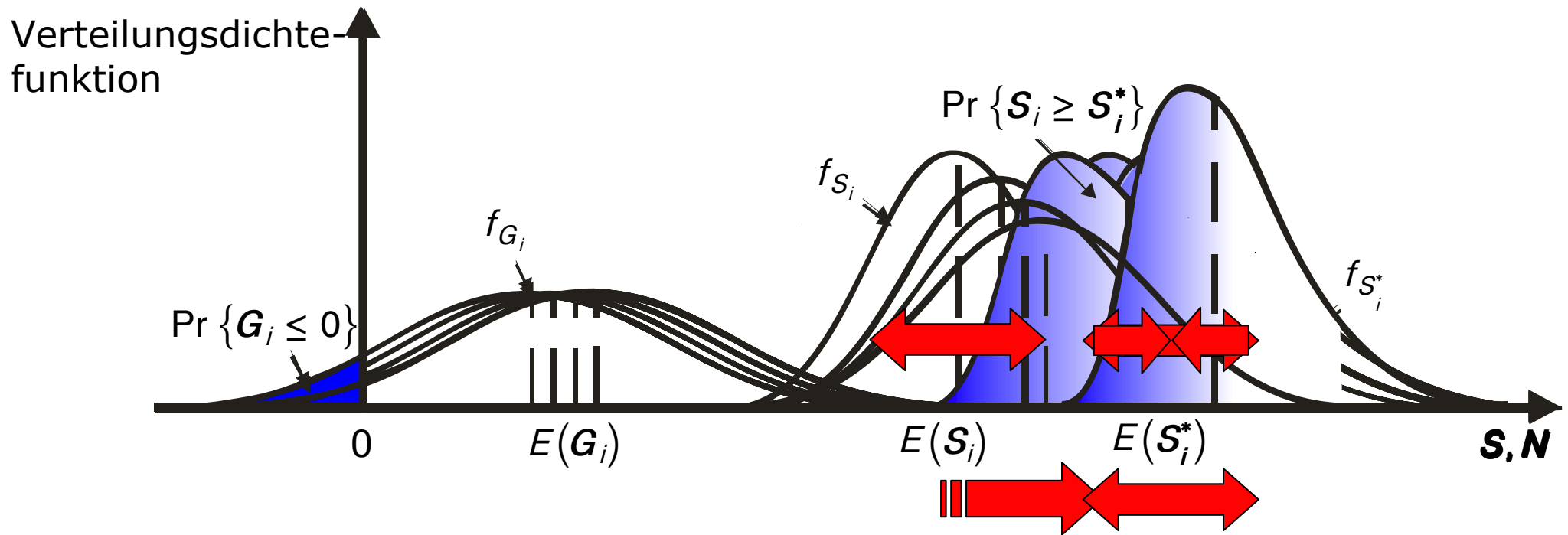
- S_i ist die Summe einzelner Schadensinkremente $\Delta S_i : S_i = \sum_{j=1}^i \Delta S_j$ mit $\Delta S_j = g(N_j)$

- ΔS_i ist eine Zufallsgröße mit der Verteilungsdichte $f_{\Delta S_i} = \frac{f_{N_i}(N_{i,0_1})}{|\dot{g}(N_{i,0_1})|} + \dots + \frac{f_{N_i}(N_{i,0_n})}{|\dot{g}(N_{i,0_n})|}$

- S_i^* ist eine Zufallsgröße mit gleicher Verteilung und gleichem Variationskoeffizient VK wie die empirische Nutzungsdauer \mathbf{N} .

Bestimmung der Zuverlässigkeitskenngröße

- Änderung des akkumulierten Schadens S_i
- Änderung des kritischen Schadens S_i^*
- Beispiel



Theoretisches Beispiel

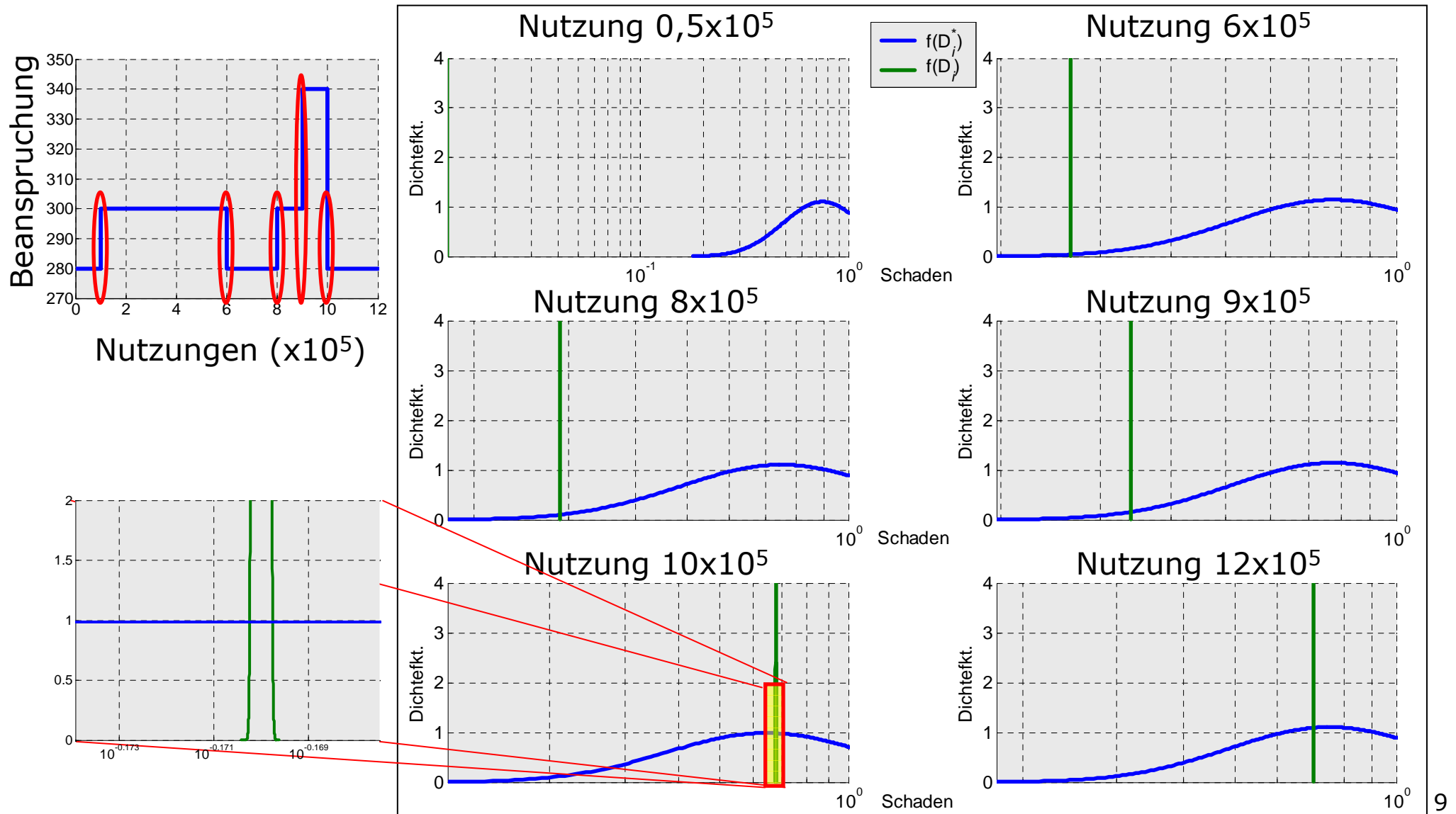
- Drei Beanspruchungshöhen: $B_L = 280, B_M = 300, B_S = 340$
- Stochastische lineare Schadensakkumulation („stochastischer Palmgren-Miner“)
- Nutzungsdauer ist lognormal-verteilt: $N_i \sim \text{LN}(\mu_{L,N_i}, \sigma_{L,N_i})$

→ Schadensinkrement ist lognormal-verteilt

$$\Delta S_i \sim \text{LN}(\mu_{L,\Delta S_i}, \sigma_{L,\Delta S_i})$$

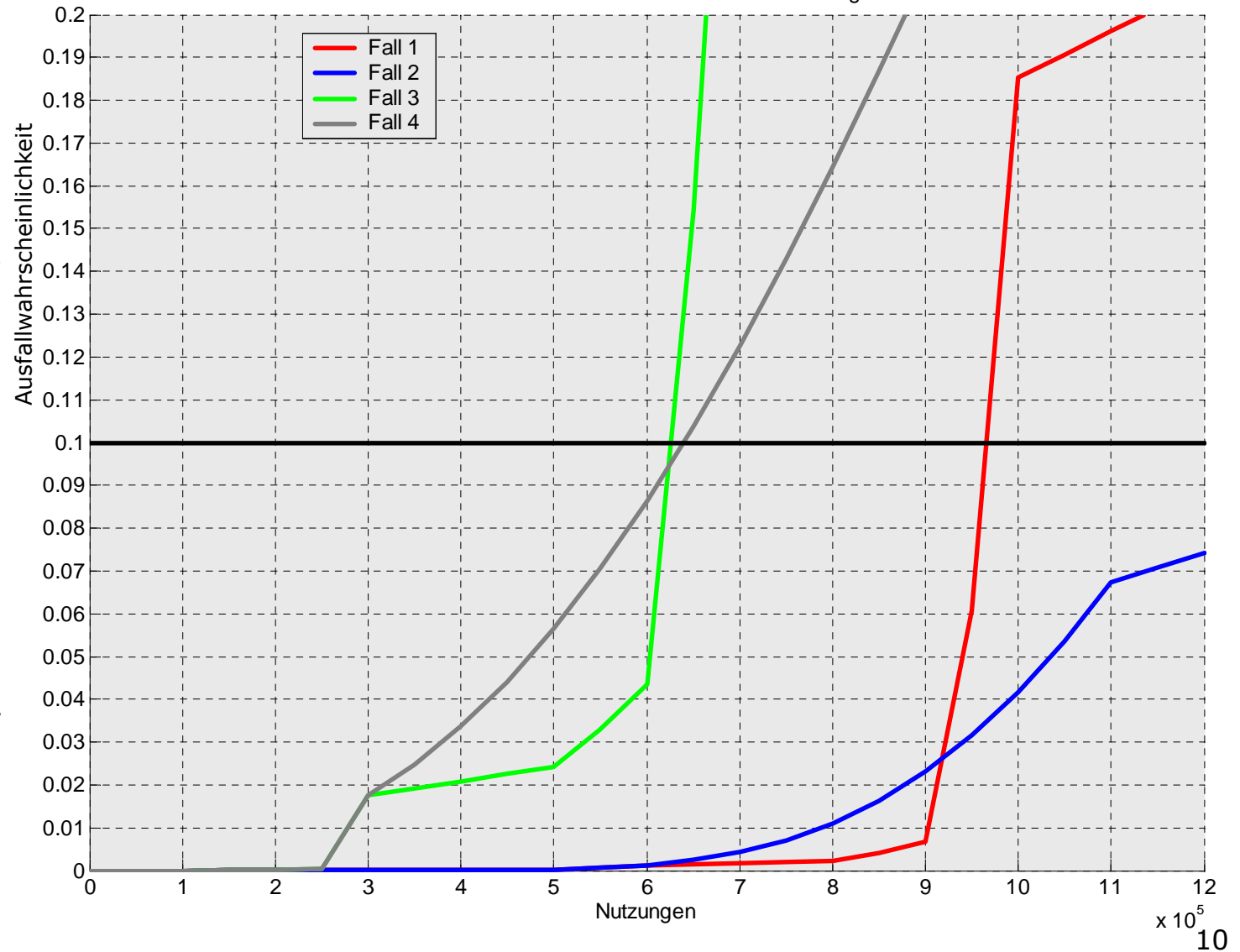
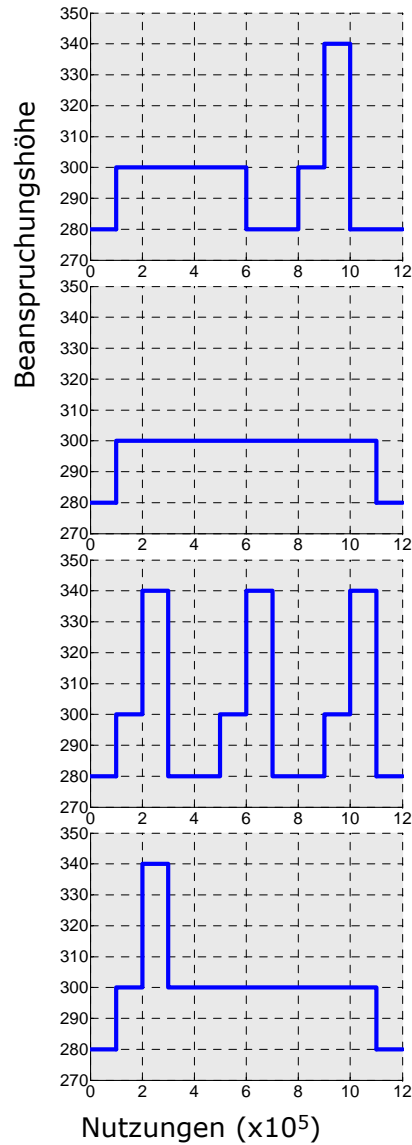
- Regressionsgerade des $E(\mathbf{N})$ -Quantils: $\log(E(N_i)) = \frac{1}{-47,24}(B_i - 604,03)$
- Regressionsgerade des $E(\mathbf{N}) - \sigma(\mathbf{N})$ -Quantils: $\log(E(N_i) - \sigma(N_i)) = \frac{1}{-46,56}(B_i - 587,92)$
- Regressionsgerade des $E(\mathbf{N}) + \sigma(\mathbf{N})$ -Quantils: $\log(E(N_i) + \sigma(N_i)) = \frac{1}{-47,21}(B_i - 611,28)$
- Akkumulierter Schaden ist normal-verteilt (Zentraler Grenzwertsatz)
- Kritischer Schaden ist lognormal-verteilt
- Grenzfunktion ist lognormal-verteilt

Theoretisches Beispiel: Überlappung $f(S_i)$, $f(S_i^*)$



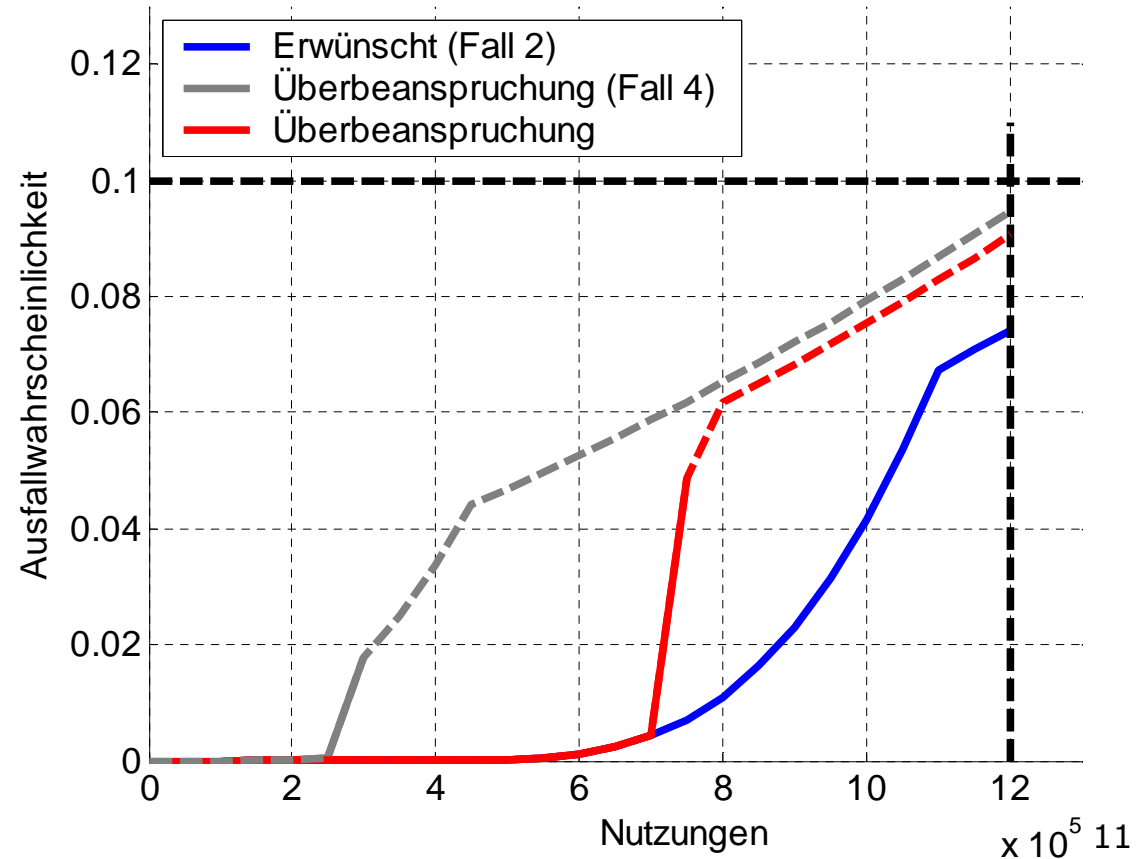
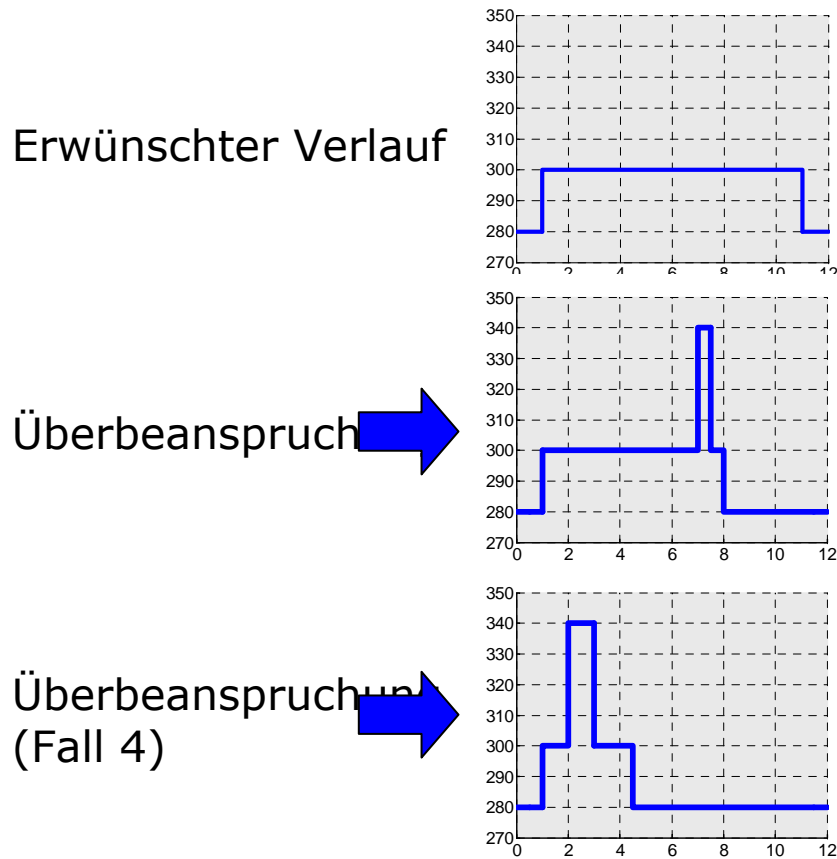
Theoretisches Beispiel: Einfluss des Beanspruchungsverlaufs

Ausfallwahrscheinlichkeiten für unterschiedliche Nutzungsweisen



Theoretisches Beispiel

- Vorgabe: maximale Nutzungsdauer n_{\max} bei maximaler Ausfallwahrscheinlichkeit F_{\max}
- Gewünschter Beanspruchungsverlauf ($\hat{=}$ Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit) wird nicht eingehalten

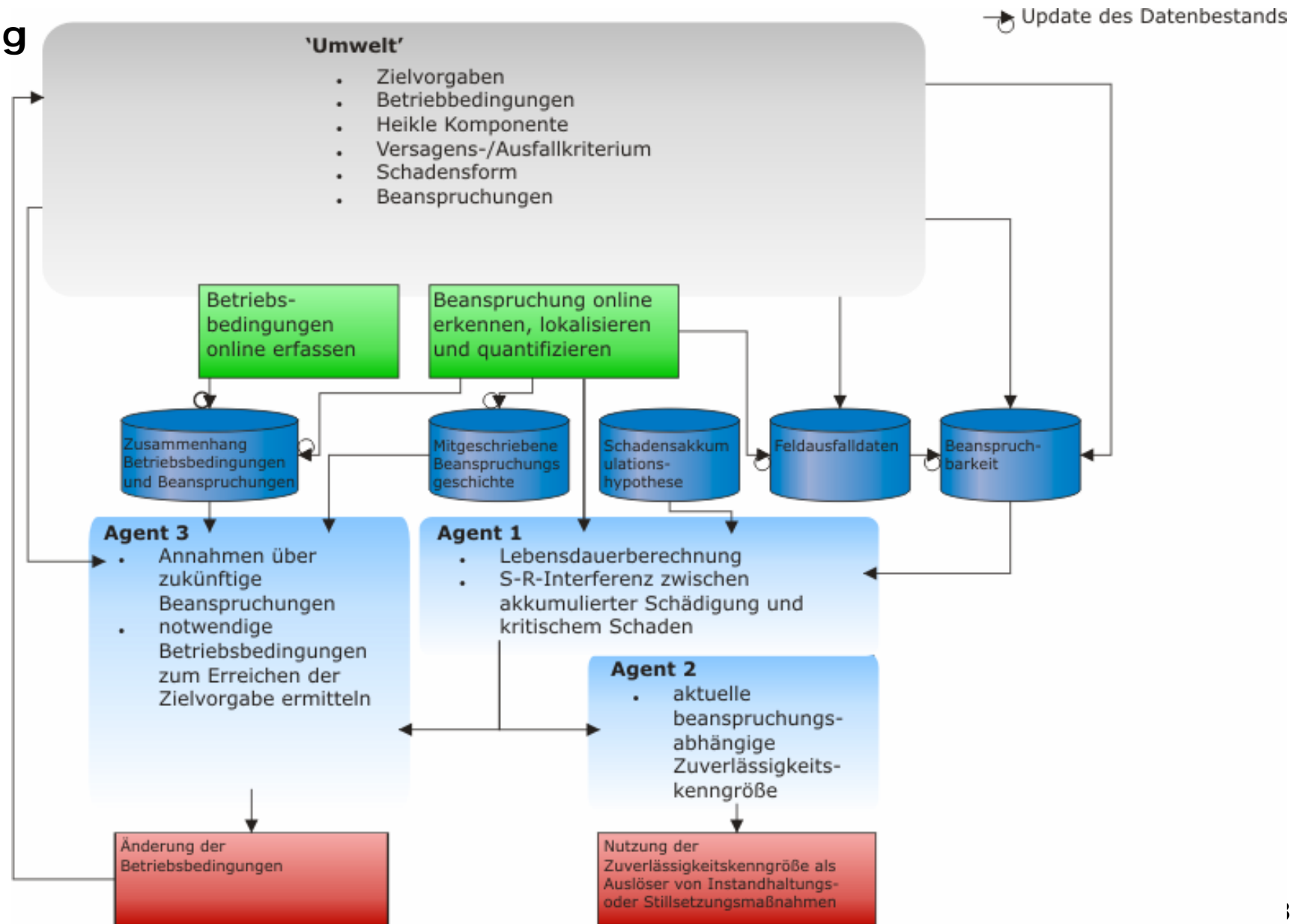


Umsetzung

Idee: Agentenstruktur

Vorteile:	Autonom	Keine Benutzereingriffe → SRCE läuft selbstständig parallel zum System
	Proaktiv	Aktionen aus Eigeninitiative → SRCE wird aktiv, sobald schädigende Beanspruchungen auftreten
	Reaktiv	Reagiert auf Umgebungsänderungen → Änderungen der Beanspruchungen
	Lernfähig	Aktualisierung der Wissensbasis → Updaten der Lebensdauerkennlinie aus Felddaten
	Kommunikativ	Kommunikation mit anderen Agenten → Integration von SRCE in Asset-Managementsysteme, Diagnosesoftware, ...

Umsetzung



Wolters, Söffker:

Ein Ansatz zur Ausfallvermeidenden Betriebsführung hochintegrierter Adaptronischer Systeme

© for all figures/illustrations by SRS U DuE

Potenziale des SRCE-Konzepts

Benefits

Probabilistische Beurteilung des Systems bezüglich seines Ausfalls

- ↳ Beanspruchungsabhängige Zuverlässigkeitskenngröße
 - Unterstützung bei Entscheidungen bezüglich Abschaltung
 - Planungsgrundlage für weiteren Einsatz

Ausdehnung der maximalen Nutzungsdauer bei Gewährleistung einer gegebenen Zuverlässigkeitskenngröße

- ↳ Änderung der Beanspruchungshöhe
 - Notlauffunktion
 - Optimierung der Verfügbarkeit
 - Life Cycle Cost Optimierung

Zusammenfassung

- SRCE-Konzept als Ansatz zur Realisierung einer 'ausfallfreien' Nutzung mechatronischer/adaptronischer Komponenten
- Formalisierter Weg zur Bestimmung der beanspruchungsabhängigen Zuverlässigkeitskenngrößen
- Erläuterung des Einflusses der Beanspruchung auf die Zuverlässigkeitskenngröße an einem theoretischen Beispiel
- Prognose und Änderung der Beanspruchung zum Einhalten vorgegebener Ziele
- Ansatz zur Umsetzung mit Hilfe von Software-Agenten

Ausblick

- Anwendung des Konzepts auf einen Fressverschleißprüfstand der Universität Duisburg-Essen

Ein Ansatz zur ausfallvermeidenden Betriebsführung hochintegrierter adaptiver Systeme

Krischan Wolters

Dirk Söffker

Kontakt: wolters@uni-duisburg.de
soeffker@uni-duisburg.de



Lehrstuhl
Steuerung, Regelung und Systemdynamik
Universität Duisburg-Essen

