

Konzept zum Entwurf ausfallsicherer mechatronischer Systeme

Dirk Söffker, Keiwan Kashi und Krischan Wolters, Universität Duisburg-Essen

Erhöhter Konkurrenzdruck, Festigung der Marktposition sowie Erwartungen und Vorgaben von Kunden und Gesetzgeber setzen hohe Anforderungen an neue, verbesserte Funktionalitäten. Um dem zu entsprechen, werden bewährte Lösungen mit neuen Technologien erweitert. Überwachungs- und Regelungskonzepte benötigen zusätzliche Sensoren, Aktoren und Mikroprozessoren, während andere neue oder verbesserte Funktionalitäten durch das Hinzufügen weiterer Komponenten zum System erfolgen. Mit der steigenden Zahl der Komponenten kann es jedoch zu einer Verschlechterung der Systemzuverlässigkeit kommen. Dieser Effekt ist bereits bekannt und wirkt konträr zu Entwicklungen, welche die Funktionalitäten bestehender Produkte erweitern oder verbessern. Mechatronische Sichtweisen können daher als Schlüssel zu Innovationen in vielen Industriezweigen angesehen werden. Andererseits können zusätzliche Komponenten und der erhöhte Grad an Komplexität zu einer erhöhten Anfälligkeit des Systems für Fehler und Ausfälle führen. In Abhängigkeit der Integration der mechatronischen Komponenten in die Funktionserfüllung des Gesamtsystems wirken sich Fehlfunktionen und Ausfälle der Komponenten unterschiedlich stark auf die Gesamtsystemfunktionalität aus. Es wird ein Konzept vorgestellt, das die Fehler- und Ausfallvermeidung technischer System als eine Kombination aus struktureller Zuverlässigkeitsanalyse, Anwendung moderner Verfahren der Regelungstechnik zu Diagnosezwecken und Änderung der Betriebsparameter zur Beeinflussung der Ausfallrate auffasst [1, 2, 3]. Zwei Module dieses Konzeptes wurden bereits validiert [4]. Der vorliegende Beitrag beinhaltet die Gesamtsicht der Konzeption.

Zuverlässigkeit / Fehlerdiagnose / Entwurfkonzept / Mechatronik

Design concept for fail-safe mechatronical systems

New functionalities, higher comfort, increasing performance, and new qualities of pressure of competition are often realized by adding new technologies to existing solutions. Monitoring and control approaches use additional sensors and actuators, microprocessors and new devices realizing new and improved functionalities. As a consequence, the reliability of such new systems decreases by the number of elements. These effects are known and act against new developments improving the performance of new systems especially automotive and mechatronical systems. Concepts of reliability engineering are known since decades and applied successfully to safety critical systems. Within the proposed approach, for the first time a concept is developed to understand the system performance as a combination of the systems structural design from a reliability point of view, suitable application of modern control approaches for diagnosis purposes and the control of the operating parameters affecting the failure rate of operating systems. Two core elements of the proposed concept are already validated. This contribution gives the synopsis of the approach.

System Reliability / Fault diagnosis / Design concept / Mechatronics

1. Einleitung

Moderne Überwachungs- und Regelungskonzepte benötigen zusätzliche Sensoren, Aktoren und Mikroprozessoren, um neue oder verbesserte Funktionalitäten zu realisieren. Mit der steigenden Zahl der Komponenten kann es jedoch zu einer Verschlechterung der Systemzuverlässigkeit kommen. Dies wirkt konträr zur intendierten Funktionserweiterung, was für den Automobilssektor bereits durch Zahlen belegt ist. Moderne technische Systeme bestehen neben dem Basissystem aus einer immer größeren Anzahl mechatronischer Komponenten wie Sensoren, Aktoren und Mikroprozessoren zur Informationsverarbeitung [5].

2. Arten von mechatronischen Systemen

In Abhängigkeit der Integration der mechatronischen Komponenten in die Funktionserfüllung des Gesamtsystems wirken sich Fehlfunktionen und Ausfälle der Komponenten unterschiedlich stark auf die Gesamtsystemfunktionalität aus. Zu diesem Zweck werden in diesem Beitrag mechatronische Systeme in Abhängigkeit des Integrationsgrades ihrer mechatronischen Komponenten in drei Klassen unterteilt. Die nachstehende Teilung wurde im Rahmen des FVA-Projektes 408 „Fehlerdiagnose und Notlaufkonzepte mechatronischer Systeme“ entwickelt [6]:

- Die erste Klasse der Systeme mit einem hohen Integrationsgrad sind Systeme, bei denen neben dem Basissystem

auch alle mechatronischen Komponenten zur Funktionserfüllung des Gesamtsystems funktionsfähig sein müssen. Ein Fehler oder Ausfall einer mechatronischen Komponente führt unweigerlich zu einem Fehlverhalten bzw. Ausfall des Gesamtsystems, z.B. bei einem Steer-by-Wire-System.

- Die zweite Klasse sind mechatronische Systeme mit einem mittleren Integrationsgrad der mechatronischen Komponenten. Ein Fehler in einer der mechatronischen Komponenten würde die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems zwar beeinträchtigen, es existiert jedoch immer noch eine Rückfallebene im System, die eine gewisse Mindestfunktionsfähigkeit gewährleistet. Hier sei eine elektro-motorische Servolenkung als Beispiel genannt. Ein Ausfall der Aktorik würde den Lenkvorgang des Fahrzeugs zwar erschweren, jedoch nicht unmöglich machen.
- Die dritte Klasse beinhaltet Systeme mit einem geringen Integrationsgrad ihrer mechatronischen Komponenten. Bei diesen Systemen hat ein Ausfall einer mechatronischen Komponente keinen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems. Ein Beispiel hierfür ist eine Ölzustandsüberwachung eines Verbrennungsmotors.

Da nur die mechatronischen Systeme der ersten und zweiten Klasse (hoher und mittlerer Integrationsgrad) sicherheitskritisch bezüglich des Ausfalls oder des Fehlverhaltens der Komponenten sind, werden im Rahmen des hier vorgestellten Konzepts auch nur solche Systeme betrachtet.

3. Konzeptentwurf

Der folgende Abschnitt skizziert einen Ansatz zur Vermeidung und Beseitigung von Ausfällen mechatronischer Systeme bei gleichzeitiger Verbesserung der Systemzuverlässigkeit.

3.1 Klassische Vorgehensweise

Die klassische Vorgehensweise zum Entwurf von fehlertoleranten, robusten und zuverlässigen Systemen ist in Bild 1 (linke Seite) dargestellt.

Hierbei erfolgt zunächst eine Zuverlässigkeitsanalyse des geplanten Funktionsentwurfs. Zur Analyse der Systemzuverlässigkeit werden qualitative und auch quantitative Verfahren und Methoden wie die Formblattanalyse (FMEA, FMECA,

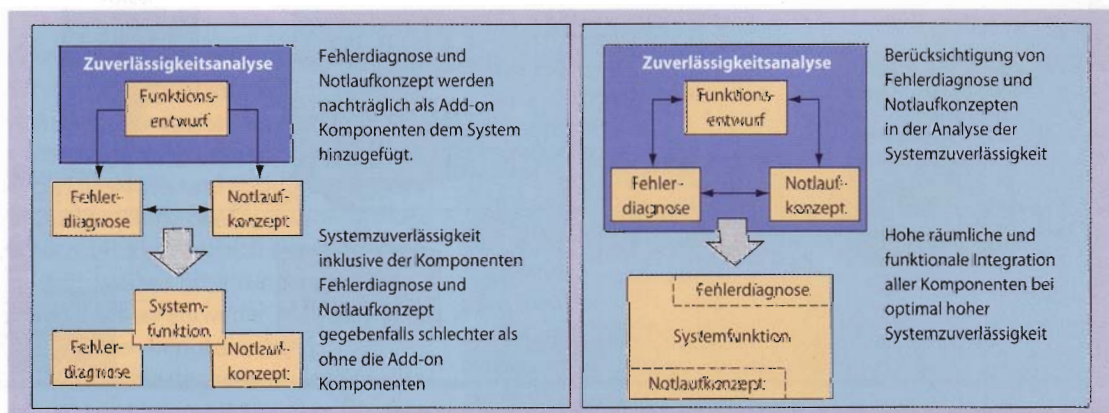
PAAG), die Fehlerbaumanalyse, die Ereignisbaumanalyse, die Berechnung von Importanzkenngrößen oder andere eingesetzt [7]. Je nach Ergebnis der Analyse erfolgt eine Änderung und Überarbeitung des Entwurfs, der wiederum auf seine Zuverlässigkeit hin analysiert wird. Nach Abschluss dieses Prozesses liegt ein Systementwurf mit optimaler Zuverlässigkeit für den Auslegungszustand vor.

Besteht immer noch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten bestimmter Fehler, deren Ursache durch eine Entwurfsänderung nicht beseitigt werden kann, so wird der Funktionsentwurf des Systems um eine Fehlerdiagnoseeinheit erweitert. Die Fehlerdiagnose besteht üblicherweise aus den Teilaufgaben der Fehlerdetektion (Extraktion von Merkmalen) und der Fehlerlokalisierung (Fehlerzuordnung). Zur Merkmalgewinnung werden sowohl signalbasierte als auch vermehrt modellbasierte Verfahren wie Parameterschätzung und Beobachter erfolgreich eingesetzt [8, 9, 10]. Diese basieren auf einem analytischen oder qualitativen Modell des zu betrachtenden Systems und erlauben daher einen eindeutigeren Rückschluss von der erfassten Wirkung auf die Ursache des Fehlverhaltens. Der Entscheidungsprozess darüber, ob ein detektiertes Merkmal wirklich einen Fehler darstellt kann mit bekannten Verfahren (Schwellwertlogik, statistischer Entscheidungslogik, Mustererkennung, geometrische Ansätze, Fuzzy-Entscheidungslogik oder neuronale Netze) erfolgen [8, 11].

Zur Vermeidung schwerwiegender Fehler, wird das System mit einem Notlaufkonzept ausgestattet, um eine bestimmte Mindestfunktionalität vorübergehend oder dauerhaft im Fehlerfall zu gewährleisten. Dies kann auch unter Abschaltung oder Leistungsminderung von weniger wichtigen Funktionen zugunsten der sicherheitskritischen Funktion erfolgen. Konzepte hierzu sind unter den Stichpunkten strukturelle oder funktionelle Redundanzen sowie Rekonfiguration [12] bekannt.

Am Ende des Entwurfsprozesses besteht ein System aus dem Entwurf zur Systemfunktion sowie den Zusatzmodulen Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept. Im unglücklichen Fall sind diese drei Komponenten strukturell und funktional schlecht integriert, und auch die Systemzuverlässigkeit des Gesamtsystems ist unbekannt, eventuell sogar schlechter. Weiterhin hat jede neue Komponente gewollte oder ungewollte Effekte auf ihre nachfolgenden oder benachbarten Komponenten.

Bild 1: Klassischer (links) und neuer (rechts) Ansatz zum Systementwurf mit Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept.



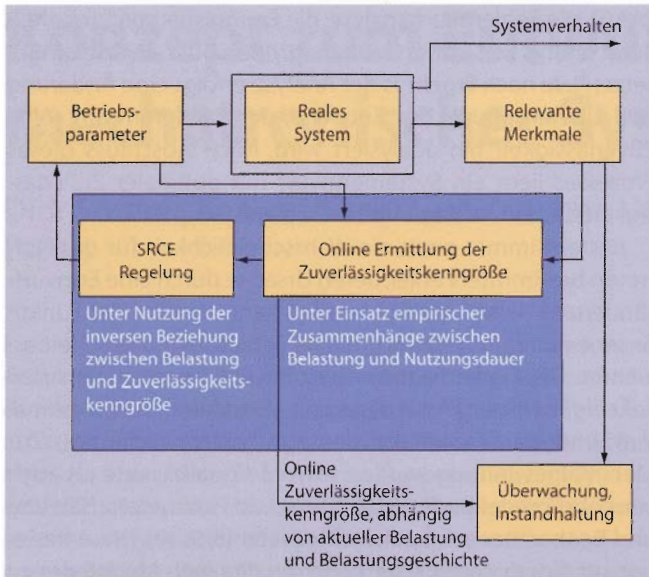


Bild 2: Struktur des neuen, erweiterten Ansatzes.

3.2 Neuer Ansatz

Ziel des Ansatzes nach Bild 1 (linke Seite) ist es, Methoden und Techniken der Systemzuverlässigkeit, der Fehlerdiagnose und der Notlaufkonzepte derart zu kombinieren, dass ein räumlich und funktional integriertes System mit hoher Zuverlässigkeit entsteht. Auf diese Weise werden die Einflüsse der Zusatzmodule Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept auf das Ausfallverhalten und die Systemzuverlässigkeit minimiert.

4. Belastungsabhängige Zuverlässigkeit und Nutzungsdauer optimierende Regelung

Sowohl das konventionelle als auch das vorgestellte neue Konzept gehen von einem bestehenden System mit individueller Alterung aus. Lebensdauer- oder verschleißorientierte Überwachungen, welche komponenten- oder systemweise probabilistische Ausfalleffekte erfassen und entsprechend dynamisch vorbeugend Systemfunktionalität garantieren, sind nicht bekannt, stellen aber eine sinnvolle und geeignete Möglichkeit dar, noch weitergehende Ausfälle zu erfassen bzw. zu

vermeiden. Dies setzt jedoch eine dynamische Berechnung von Zuverlässigkeitskenngrößen voraus, welche bisher noch nicht üblich ist. Das Safety and Reliability Control Engineering Konzept (SRCE) [2] erlaubt eine derartige Betriebsführung. Ein genutztes, beanspruchtes System soll bis zu einer vorgegebenen Nutzungsdauer unter Einhaltung einer vorgegebenen Ausfallwahrscheinlichkeit eingesetzt werden. Umgesetzt wird dieses durch Beeinflussung des Zuwachses der Ausfallwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von der Belastung. Das Konzept kann in zwei Schritte unterteilt werden:

1. Der erste Schritt besteht in der Erfassung relevanter Merkmale der zu betrachtenden Komponente. Dies geschieht entweder mit signal- oder modellbasierten Methoden. Die Signale müssen die Belastung oder noch besser die Beanspruchung der Komponente widerspiegeln.
2. Der zweite Schritt beinhaltet die Umformung dieser Merkmale in eine Zuverlässigkeitskenngröße, z. B. über empirische Zusammenhänge, wie sie im Rahmen der Betriebsfestigkeit genutzt werden. Hierzu werden Modelle über den Zusammenhang zwischen Belastungen wie Spannungen, Temperaturen, Feuchtigkeit etc. und der Nutzungsdauer in Zeit, Kilometer, Schwingspiele etc. aufgestellt. Ebenfalls ist ein Ansatz über wissensbasierte Modelle wie der Fuzzy-Logik möglich. Das Ergebnis ist eine Zuverlässigkeitskenngröße, die nicht von der Zeit, sondern von der Lastgeschichte und der aktuellen Belastung abhängt. Die Kenngröße kann daher zur quantifizierten Aussage über die mögliche weitere Nutzung eines bereits im Betrieb befindlichen Systems eingesetzt werden. Über den Zusammenhang zwischen Belastung und Zuverlässigkeitskenngröße kann nun im Umkehrschluss die Zuverlässigkeitskenngröße durch Änderung der Belastung beeinflusst werden. In Bild 2 wird das SRCE Konzept detaillierter dargestellt.

Die Bestimmung der Zuverlässigkeitskenngröße kann direkt im Rahmen einer Zustandsüberwachung als Indikator zum Aktivieren von präventiven Instandhaltungsmaßnahmen, als Entscheidungshilfe für Abschaltvorgänge oder im Rahmen eines Regelungskonzepts eingesetzt werden. Ziel ist es, einen vorgegebenen Betrag für die Zuverlässigkeitskenngröße nicht zu überschreiten.

Als Folge wird die maximal mögliche Nutzungsdauer des Systems über die im obigen Sinne unregelmäßige Nutzungs-

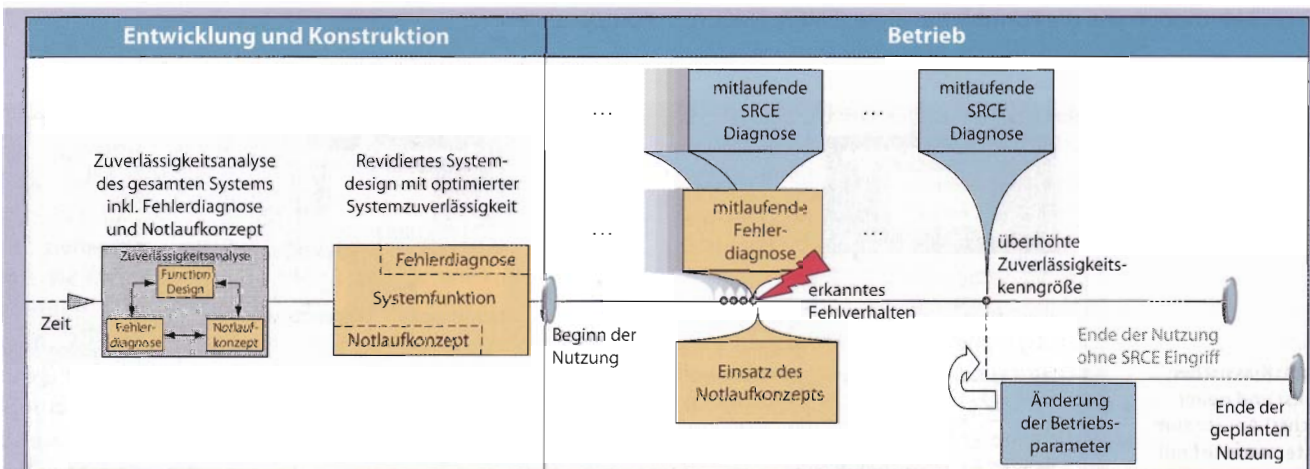


Bild 3: Struktur des Safety and Reliability Control Engineering (SRCE)-Konzepts.

dauer hinaus erhöht, unter Umständen auf Kosten der Systemleistung. Das SRCE-Konzept eignet sich daher vor allem für Systeme, bei denen ein bestimmter zukünftiger Zeitpunkt erreicht werden muss, um Instandhaltungs- und Reparaturmaßnahmen durchführen zu können.

5. Neuer, erweiterter Ansatz für zuverlässige, fehlertolerante Systeme

Die Verschmelzung des neuen Systementwurfs mit dem SRCE-Konzept führt zu einem weiteren Ansatz zur Gestaltung von zuverlässigen, fehlertoleranten Systemen (Bild 1).

Das Ergebnis ist ein System, welches durch die Zuverlässigkeitsanalyse sämtlicher Systemmodule eine optimale Systemzuverlässigkeit besitzt. Eine robuste und fehlertolerante Fehlerdiagnose zur Detektierung und Lokalisierung von Fehlern ermöglicht es, die Auswirkungen dieser Fehler auf die Systemfunktionalität durch geeignete Notlaufkonzepte zu minimieren und weitere nutzungsbedingte Ausfallursachen wie Materialermüdung, Verschleiß, Korrosion und andere Umwelteinflüsse durch Überwachung und Regelung der aktuellen Ausfallwahrscheinlichkeit statistisch zu verringern (Bild 3).

Aus einer abstrakten Sichtweise heraus führt der neue Ansatz zu einem System mit verminderter Ausfalltendenz, da das Notlaufkonzept eine gewisse Mindestfunktionalität für die durch die Fehlerdiagnose detektierten Fehler gewährleistet. Gleichzeitig ermöglicht die Anwendung des SRCE-Konzepts durch Nutzung und Schädigung bedingte stochastische Ausfälle zu vermeiden und in eine ausfallvermeidende Betriebsführung zu wechseln.

In Tabelle 1 sind die Anwendungspotenziale aller drei Ansätze gegenübergestellt.

6. Validierung

Einzelne Module des vorgestellten Ansatzes konnten bereits validiert werden. Die Ergebnisse werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Die Validierung der modellbasierten Fehlerdiagnose erfolgt an einem Hardware-in-the-Loop-Versuchsstand [13] zur Untersuchung eines Fahrdynamikregelungssystems der Firma TRW Automotive Inc. Unter Einsatz eines Proportional-Integral-Beobachters (PIO) [14] werden die Kräfte und Positionen der Hydraulikzylinder nur unter Zuhilfenahme der Drucksensoren und Ventilspannungen geschätzt [4]. Ein Vergleich der experimentellen Werte mit den modellbasierten Schätzungen ist in Bild 4 gegeben. Die Schätzungen können entweder zur Fehlerdiagnose oder zum Ersatz für Sensoren benutzt werden.

Aufbauend auf der PI-Beobachertechnik sowie auf weiteren geeigneten Residuen wird die vollständige Überwa-

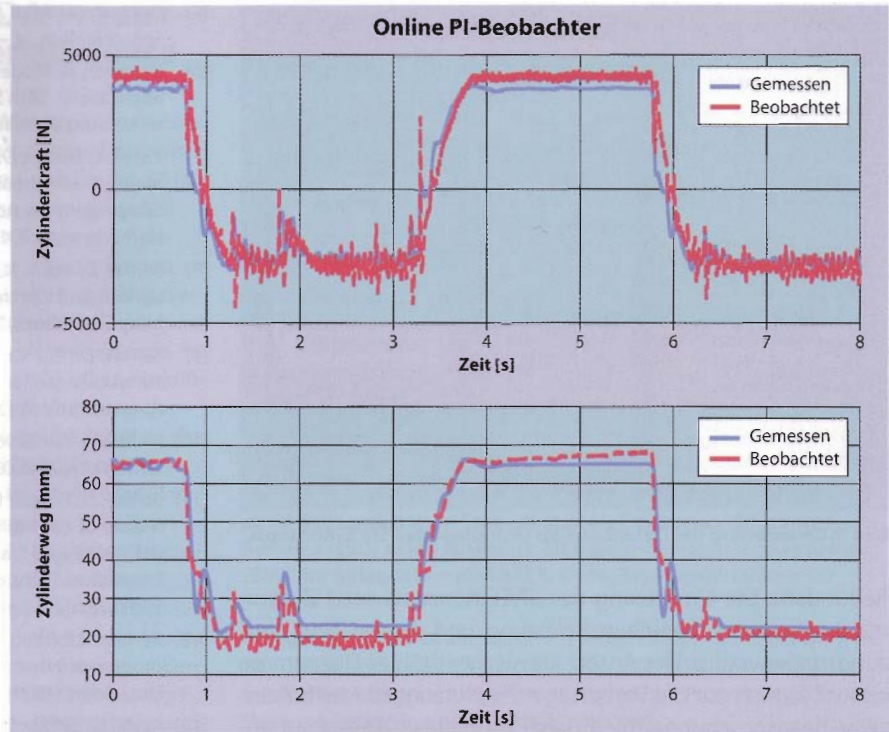


Bild 4: Echtzeitbeobachtung von Zylinderkraft und -weg.

chung und Fehleranalyse sowie eine Änderung von Regelparametern zur Gewährleistung von sicheren Fahrzeug- bzw. Systemzuständen führen.

Diese Technik erlaubt somit für eine weite Klasse von Problemen eine adäquate und robuste Möglichkeit zur analytischen

Tabelle 1: Kriterien zur Unterscheidung des erweiterten, neuen Ansatzes zum einfachen neuen Ansatz und zur klassischen Vorgehensweise.

Kriterium	Klassische Vorgehensweise	Neuer Ansatz	Erweiterter, neuer Ansatz
Fehlertoleranz durch den Einsatz von Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept	+	+	+
Funktionale Integration von Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept	-	+	+
Räumliche Integration von Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept	-	+	+
Systemzuverlässigkeitsanalyse berücksichtigt Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept	-	+	+
Optimale Integration von Fehlerdiagnose und Notlaufkonzept bezüglich der Systemzuverlässigkeit	-	+	+
Prognose über aktuelle Zuverlässigkeitskenngrößen	-	-	+
Prognose der maximalen Nutzungsdauer	-	-	+
Berücksichtigung stochastischer Ausfälle	-	-	+

- nicht vorgesehen, + vorgesehen

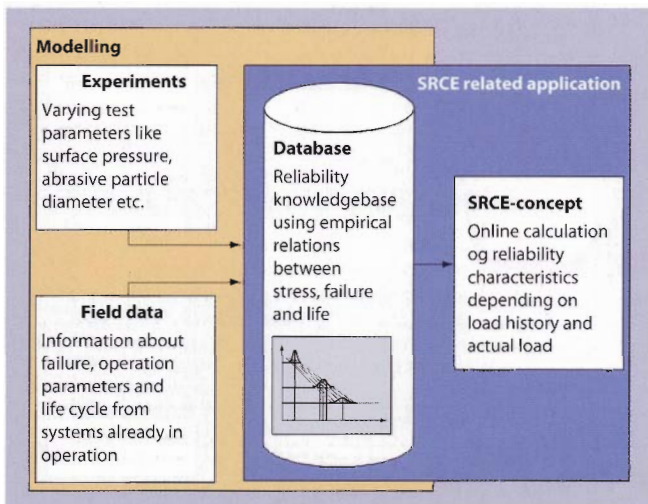


Bild 5: Generierung der Datenbasis als Grundlage des SRCE-Konzepts.

Redundanz. Die Umsetzung des SRCE-Konzepts setzt Zusammenhangswissen zwischen Belastung und Ausfall bzw. Nutzungsdauer voraus. Der Ansatz klassischer Wöhler-Diagramme erlaubt jedoch nur die Vorhersage der Nutzungsdauer für einzelne Beanspruchungsstufen, daher kann dieser Ansatz nur unter Beachtung bestimmter Annahmen genutzt werden [3].

Um Informationen über den Zusammenhang zwischen Belastungsgeschichte, aktueller Belastung und Ausfallverhalten zu erlangen, wurde für ein konkretes Industrieprojekt mit Stahl-Stahl-Reibpartnern ein Versuchsstand aufgebaut. Als Ausfallursache wird hierbei das Fressen zweier Reibpartner betrachtet, während unterschiedliche Betriebsparameter wie Flächenpressung, Gleitgeschwindigkeit etc. als Belastung definiert sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchung ermöglichen das Erstellen einer Datenbasis, die die Vorhersage der Ausfallwahrscheinlichkeit eines solchen Systems in Abhängigkeit seiner Belastungsgeschichte und seiner aktuellen Belastung ermöglicht (Bild 5).

Ein folgender konsequenter Schritt ist die Verschmelzung von geeignet generiertem Ausfallwissen zur Nutzung in einem SRCE-Modul zur Überwachung kritischer Komponenten sowie die vollständige Integration dieser und weiterer Module (z.B. des PI-Beobachters oder anderer Filtertechniken) und einer Online-Zuverlässigkeitsbetrachtung von Struktur und System mit dem Ziel eines sich selbst überwachenden, rekonfigurierbaren technischen Systems aus Hard- und Software mit höchster Verlässlichkeit.

Manuskripteingang: 15. März 2005.

Literatur

- [1] FVA Abschlussbericht 408 (Wolters, K., Söffker, D.): Diagnoseverfahren und Notlaufkonzepte. Hrsg.: Forschungsvereinigung Antriebstechnik, FVA, Frankfurt a. M. (2004).
- [2] Meyna, A.: Zuverlässigkeitsbewertung zukunftsorientierter Technologien. Vieweg Verlag, Braunschweig (1994).
- [3] Frank, P. M., Ding, S. X., Marcu, T.: Model-based diagnosis in technical processes. Transactions of the Institute of Measurement and Control 22 (2000), No. 1, S. 57-101.
- [4] Wolters, K., Söffker, D.: Improving systems availability by combining reliability and control engineering techniques. Proceedings of the 2nd European Workshop of Structural Health Monitoring, Munich, Jul. 7-9, 2004, S. 711-718.

- [5] Lunze, J., Steffen, T.: Rekonfiguration linearer Systeme bei Aktor- und Sensorfehlern. at – Automatisierungstechnik 51 (2003), S. 60-68.
- [6] Isermann, R.: Model-based fault detection and diagnosis – status and applications. 16th Symposium on Automatic Control in Aerospace, St. Petersburg, Russland, June 14-18, 2004.
- [7] Kashi, K., Söffker, D.: Model-based estimation of forces and displacement of a hydraulic cylinder. Proceedings of the 7th International Symposium on Advanced Vehicle Control, KIVI-NIRIA, Arnhem, The Netherlands (2004).
- [8] Söffker, D., Kashi, K., Wolters, K.: Integration of Reliability Concepts, Diagnosis and Control Realizing Safe Systems. European Safety & Reliability Conference, Tri City, Poland, Jun. 27-30, 2005, accepted.
- [9] Söffker, D.: Zur Online-Bestimmung von Zuverlässigkeits- und Nutzungskenngrößen innerhalb des SRCE-Konzeptes. at – Automatisierungstechnik 48 (2000), S. 383-391.
- [10] Richtlinie VDI 2206: Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme, Februar 2003.
- [11] Söffker, D.: Robust fault detection of large vibrating structures by the means of control theory. In: A Critical Link: Diagnosis to prognosis. (H.C. Pusey, ed.), a publication of the Society for Machinery Failure Prevention Technology; Proc. 12th ASME Conference on Reliability, Stress Analysis and Failure Prevention, Virginia Beach, April 1997.
- [12] Isermann, R. (Hrsg.): Überwachung und Fehlerdiagnose. Moderne Methoden und ihre Anwendung bei technischen Systemen. VDI Verlag, Düsseldorf (1994).
- [13] Kashi, K., Söffker, D., Nissing, D., Kesselgruber, D.: Vehicle Dynamics Investigation Using a Hydraulic Hardware-in-the-Loop test-Rig, 1st Int. Conf. on Computational Methods in Fluid Power Technology, Melbourne, Australia, FPNI (2003).
- [14] Söffker, D., Yu, T., Müller, P.C.: State estimation of dynamical systems with nonlinearities by using proportional-integral observer. International Journal of Systems Science 26(9), 1571-1582.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Söffker (42) leitet den Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik in der Abteilung Maschinenbau der Universität Duisburg-Essen. Seine Hauptarbeitsgebiete sind neben der Entwicklung modellgestützter Methoden zur Diagnose und Regelung mechanischer Systeme Notlaufkonzepte mechatronischer Systeme sowie Autonome Systeme / Mensch-Maschine-Systeme.

Adresse: Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik, Lotharstr. 1, D-47057 Duisburg, Tel. +49 203 379-3429, Fax -3027, E-Mail: soeffker@uni-duisburg.de



Keiwan Kashi, M.Sc. (29) ist seit 3 Jahren an der Universität Duisburg-Essen im Lehrstuhl für Steuerung, Regelung und Systemdynamik als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt. Hauptarbeitsgebiete sind die Entwicklung modellgestützter Fehlerdiagnose und Notlaufkonzepte mechatronischer Systeme sowie Fahrdynamikregelungssysteme.

Adresse: Siehe oben, Tel. +49 203 379-1585, Fax -3027, E-Mail: kashi@uni-duisburg.de



Dipl.-Ing. Krischan Wolters (33) ist seit 3 Jahren an der Universität Duisburg-Essen im Lehrstuhl für Steuerung, Regelung und Systemdynamik als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt. Hauptarbeitsgebiete sind Zuverlässigkeit, Fehlerdiagnose und Notlaufkonzepte mechatronischer Systeme sowie Konzepte zur Optimierung des Ausfallverhaltens und Nutzungspotenzials technischer Systeme.

Adresse: Siehe oben, Tel. +49 203 379-3422, Fax -3027, E-Mail: wolters@uni-duisburg.de

atp

Automatisierungs-
technische Praxis

Effizientes Engineering – Begleitende Fortschrittskontrolle großer Projekte der Automatisierungstechnik

Semantische Integration, eine Herausforderung für Geräte- und Leitsystemhersteller

Verteilte Automatisierungssysteme – Stand der Technik und entstehende Anforderungen an industrielle Kommunikationssysteme

Anwendung der ISO 13849-1 respektive IEC 62061 in der Maschinensicherheit

Mechatronische Systeme zur Steigerung des Geräusch- und Schwingungskomforts in Kraftfahrzeugen

Konzept zum Entwurf ausfallsicherer mechatronischer Systeme

atp-Sonderheft für alle Mitglieder der GMA.

Journal

GMA-Information 2/2005

PROLIST-Merkmalleisten für PLT-Geräte und -Systeme

Integrationsplattform für den Engineeringprozess

Werkzeug zur Lösung mathematischer Aufgaben

Produktionssteuerung nach Bedarf

Ueware

High Power Trunk Konzepte