

atp ~~e~~dition

Automatisierungstechnische Praxis

Exklusiver Vorabdruck „Handbuch
der Prozessautomatisierung“, 6. Auflage
1.3 Prozessleittechnik – Begriffe und Strukturen
2.3 Smarte Sensoren und Aktoren

Technical Faults in Elastically-Actuated Robots

Fahrzeugkomponenten in Echtzeit überwachen

Multimodale Smartphone-Interaktion
für Jung und Alt?

Im Abo:
Print.
Digital.
Heftarchiv.

Andere landen im Papierkorb,
wir landen hier...



Bestellen Sie Ihr Probeheft:
www.atpinfo.de

Das praxisnahe Magazin für
die **Automatisierungstechnik**.

atp₊
plus

Auf dem Weg zur Mensch-Siri-Maschine-Kommunikation

Das Internet der Maschinen, die vernetzte „machine-to-machine“-Kommunikation via Industrial Internet of Things (IIoT) nimmt, bedingt durch den rasanten Zuwachs cloudbasierter Services, jetzt immer schneller Gestalt an.

Im Sog dieser Technologie-Rallye erhält auch die Mensch-Maschine-Kommunikation derzeit einen neuen Schub. Das zeigen zwei unserer Hauptbeiträge in dieser Ausgabe der atp edition, die eindrucksvoll belegen, wie schnell sich auch hier der Wandel vollzieht.

Wie immer gilt es hierbei, alte Zöpfe abzuschneiden und sich von liebgewonnenen Gewohnheiten und scheinbar unumstößlichen „Wahrheiten“ in der Prozess- und Fertigungsautomatisierung zu trennen.

Eine dieser scheinbar absoluten Gewissheiten ist der seit über 25 Jahren durch die Produktionshallen schallende Unkenruf: „Sprachsteuerung wird sich im industriellen Umfeld – weil zu fehleranfällig – niemals durchsetzen.“

Doch wie so oft wurde und wird die Rechnung ohne den Algorithmus gemacht. Immer besser aufs Wort hörende Sensorik, immer bessere Signalverarbeitung, vor allem aber Hochleistungssoftware, die eine nach menschlichem Ermessen fehlerfreie Hochrechnung der Daten in Echtzeit Wirklichkeit werden lässt, führen jetzt dazu, dass Siri & Co. ihren Siegeszug auch in der produzierenden Industrie und speziell bei Robotik- und Assistenzsystemen rasch und in großem Stil fortsetzen werden.

Sichtbarstes Zeichen, dass dieser Trend unumkehrbar ist, ist nicht zuletzt das sich ebenfalls rasant verändernde Kommunikationsverhalten der jungen Generation, die sich den Geschwindigkeitsvorteil der Sprachkommunikation zunutze macht. Dort werden im Messaging zum Beispiel über Whats App derzeit immer öfter Textnachrichten von Sprachnachrichten abgelöst.

Etwas Wehmut empfinde ich schon bei diesem Gedanken. Hat doch der Short Messenger Service, wie oft in den Medien diskutiert, die Ausdrucksfähigkeit einer ganzen Generation limitiert und auf Verben wie tun, haben, sein etc. ergänzt mit Emoticons reduziert. Blumige Adjektive kommen schon gar nicht mehr vor. Reden wir in Zukunft nur noch in der maschinellen Befehlsform? Siri mach ...!



DR. THOMAS STECKENREITER,
Member of Executive Board, CTO
SAMSON AKTIENGESELLSCHAFT

NACHRICHTEN

FORSCHUNG

- 6 | Call for atp experts: Cyber Security
- 6 | Dechema-Positionspapier: Was smarte Sensoren für die Biotechnologie künftig können müssen
- 7 | Roboterforschung am DFKI: Ruskowski folgt auf Zühlke
- 8 | Künstliche Intelligenz: Software, die sich automatisch generiert, schafft Automatisierern mehr Freiheit
- 8 | Deutschland und Australien kooperieren bei I4.0
- 9 | Sprachsteuerung ermöglicht den Dialog mit Robotern
- 10 | Roboterhand macht sich mit Gegenständen vertraut
- 10 | Predictive Maintenance: Es mangelt an Überführung der Daten in konkreten Kundennutzen und Geschäft

BRANCHE

- 11 | Wiedergewählter ZVEI-Präsident Michael Ziesemer: „Die Ansprüche an die digitale Kompetenz steigen“
- 12 | Plus neun Prozent: Sensorik und Messtechnik boomen
- 12 | Outside-in statt Inside-out: Geschäftsmodelle für Industrie 4.0 erfordern grundsätzliches Umdenken
- 13 | Studie: Europäische Unternehmen haben beim Internet der Dinge derzeit die Nase vorn – USA auf Platz zwei
- 13 | Namur-Empfehlung 107 ist aktualisiert worden
- 14 | AMA Innovationspreis 2017: Hochfrequenz-basierter Partikelfiltersensor erlaubt Emissionsreduzierung
- 14 | Fraunhofer hilft KMU beim Start in Industrie 4.0
- 15 | Umsetzung im Master: IO-Link-Safety-Spezifikation freigegeben – erste Produkte werden für 2018 erwartet
- 15 | Digitalisierung erhöht die Nachfrage nach Facharbeitern
- 16 | GMA-Richtlinie „Plant Asset Management (PAM) in der Prozessindustrie – Spezifikationen und Methoden“
- 16 | Profinet soll die Prozessautomatisierung erobern
- 16 | Produktionsforschung: Kooperation mit China

AUS DER PRAXIS

- 18 | OPC-UA-Schnittstelle als Standard-Interface zu externen Steuerungen sorgt für Sicherheit im Tunnel
- 20 | Maßgeschneiderte Zykloidgetriebe verhelfen Robotern zu hoher Präzision, Beschleunigung und Beständigkeit

EXKLUSIVER VORABDRUCK

„HANDBUCH DER PROZESSAUTOMATISIERUNG, 6. AUFLAGE

- 22 | 1.3 Prozessleittechnik – Begriffe und Strukturen
- 30 | 2.3 Smarte Sensoren und Aktoren

HAUPTBEITRÄGE

- 36 | Technical faults in Elastically-Actuated Robots
PHILIPP BECKERLE, GERNOT PERNER, FLORIAN STUHLENMILLER, STEPHAN RINDERKNECHT
- 46 | Multimodale Smartphone-Interaktion für Jung und Alt?
MANUEL RADZIWILL, ROMY KNIEWEL, LUDGER SCHMIDT
- 54 | Fahrzeugkomponenten in Echtzeit überwachen
STÉPHANE FOULARD, STEPHAN RINDERKNECHT, RAFAEL FIETZEK

RUBRIKEN

- 3 | Editorial
- 63 | Impressum, Vorschau

Dechema-Positionspapier: Was smarte Sensoren für die Biotechnologie künftig können müssen

Das Aufkommen neuer Fertigungsphilosophien bewirkt eine Neuausrichtung der Sensortechnologie, die für die Prozesse der Biotechnologie mit ihren speziellen Anforderungen – besonders der kontinuierlichen und/oder integrierten Produktion – zukunftsweisend sein wird. Damit einhergehend zeigt sich unter der Maxime von Prozessbeobachtbarkeit und -steuerbarkeit ein klarer Trend zu Smarten Sensoren mit einer klaren Fokussierung hinsichtlich Sensorintelligenz, Dezentralisierung, Multisensorsystemen und Miniaturisierung. Im Positionspapier „Smarte Sensoren für die Biotechnologie“ erklärt die Dechema-Fachgruppe „Messen und Regeln in der Biotechnologie“ genauer, welche Funktionen ein Sensor für die Prozesstechnik von morgen mitbringen muss. Sie reichen von der Selbstdiagnostik bis zur dezentralen Interaktion mit anderen Komponenten. Das Papier ist unter www.dechema.de/SmartSensors zum Herunterladen verfügbar.

Hintergrund für den Paradigmenwechsel in der Sensortechnologie sind neue Ansätze in der Prozesstechnik, die der Philosophie von Industrie 4.0 und Internet der Dinge folgen: Auch in der Bioverfahrenstechnik sollen Prozesse zukünftig integriert und kontinuierlich laufen und möglichst in Echtzeit gesteuert und optimiert werden. Die Biotechnologie stellt dabei besonders hohe Ansprüche an Produktqualität und -sicherheit; gleichzeitig sind die Prozesse und Strukturen teils hochkomplex. Eine Vielzahl an Messdaten allein nützt wenig; die Datenflut muss gleichzeitig ausgewertet und die Ergebnisse müssen in den Prozess zurückgespeist werden.

Die sogenannten „Smart Sensors“ sind in der Lage, nicht nur zu messen, sondern auch Aufgaben der komplexen Signalverarbeitung zu übernehmen und zusätzliche Informationen über sich und die Prozessumgebung bereitzustellen. Diese erweiterte Sensorintelligenz umfasst Selbstdiagnose, die Ausführung dezentraler Logikfunktionen, die eigenständige Validitätsprüfung der Messwerte, die Selektion und Bewertung von Prozessprofilen bis hin zur Vorhersage von Prozessabläufen und die direkte Interaktion mit zugeordneten Akteuren über dezentrale Steuereinheiten.

Damit die Vision des Smart Sensors Wirklichkeit werden kann, sind allerdings noch einige Hürden zu überwinden – vom Nachweis der Prozess- und Produktsicherheit über Schnittstellengestaltung und Standards für Daten bis hin zur Datensicherheit. In der Dechema-Fachgruppe „Messen und Regeln in der Biotechnologie“ arbeiten Experten aus Wissenschaft und Industrie zusammen. Im Zentrum der Aktivitäten der Fachgruppe steht die Entwicklung und Evaluierung einer möglichst umfassenden sensorbasierten Prozessintelligenz in der Biotechnologie. Die Fachgruppe analysiert daher kontinuierlich den aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstand der Mess- und Analysetechnik.

DECHEMA GESELLSCHAFT FÜR CHEMISCHE
TECHNIK UND BIOTECHNOLOGIE

Call for atp experts: Cyber Security

DIE AUSGABE 59 (12) DER ATP EDITION IM DEZEMBER 2017 widmet sich dem Thema Cyber Security. Mit der horizontalen und vertikalen Vernetzung der Produktion, der Instrumente und Apparate und der Supply-Chain-Systeme ergeben sich IT-Sicherheitsrisiken. Die Chancen und Risiken dieser vernetzten Produktion gilt es zu verstehen, Schutzmaßnahmen zu definieren und Handlungsempfehlungen auszusprechen sowie technische und organisatorische Maßnahmen zu implementieren und kontinuierlich zu pflegen. Die Dezemberausgabe der *atp edition* strebt an, ein umfassendes Bild des Beitrags der Automation zu Cyber Security in der vernetzten Prozess- und Fertigungsindustrie zu geben. Wir bitten Sie, bis zum 12. September zu diesem Themenschwer-

punkt einen gemäß der Autorenrichtlinien der *atp edition* ausgearbeiteten Hauptbeitrag per E-Mail an urbas@di-verlag.de einzureichen.

Die *atp edition* ist die hochwertige Monatspublikation für die digitale Transformation in der Automatisierungsbranche. Sie bereitet aktuelle und zukünftige Entwicklungen für Fach- und Führungskräfte auf. Neben Beiträgen aus aktuellen Forschungsarbeiten suchen wir Fallanalysen, Einführungsbeispiele und praxisnahe Berichte. In den wissenschaftlichen Hauptbeiträgen, die einer Qualitätssicherung durch ein Peer-Review-Verfahren unterliegen, werden Themen mit hohem wissenschaftlichem, und technischem Anspruch und vergleichsweise abstrakt dargestellt. Im Journalteil werden pra-

xisnahe Erfahrungen von Anwendern mit neuen Technologien, Produkten oder Prozessen beschrieben.

Für Rückfragen steht Ihnen die Redaktion der *atp edition* gern zur Verfügung.

Leon Urbas, Simon Meyer, Gerd Scholz

CALL FOR **atp**experts

Aufruf zur Beitragseinreichung
Thema: Cyber Security
Kontakt: urbas@di-verlag.de
Termin: 12. September 2017

Roboterforschung am DFKI: Ruskowski folgt auf Zühlke

Professor Dr. Martin Ruskowski übernimmt die Nachfolge von Professor Dr.-Ing. Detlef Zühlke in der Leitung des Forschungsbereichs „Innovative Fabrikssysteme“ am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Kaiserslautern sowie am bisherigen Lehrstuhl für Produktionsautomatisierung (PAK) der Technischen Universität Kaiserslautern. Am neubenannten Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen und Steuerungen (WSKL) der TU tritt er eine Professur im Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik an. Seine Forschungsschwerpunkte sind Industrieroboter als Werkzeugmaschinen, Künstliche Intelligenz in der Automatisierungstechnik sowie neuartige Steuerungskonzepte für die Automatisierung.

„Ein Schwerpunkt meiner Arbeit an der TU Kaiserslautern und am DFKI wird es sein, Roboter für anspruchsvolle mechanische Bearbeitungsaufgaben zu ertüchtigen. Mittels neuer Technik auf Basis dieser Forschungsergebnisse können sich Unternehmen flexibler aufstellen und am Standort Deutschland Arbeitsplätze schaffen“, sagt Ruskowski über sein neues Aufgabenfeld.

Professor Dr. Wolfgang Wahlster, CEO und Wissenschaftlicher Leiter des DFKI betont, der DFKI-Forschungsbereich Innovative Fabrikssysteme habe sich unter Zühlke „mit der SmartFactoryKL zu einer internationalen Pilgerstätte in Sachen Industrie 4.0 entwickelt“. Wahlster ist überzeugt, dass man diese Erfolgsgeschichte mit Ruskowski fortschreiben werde. „Besonders die Frage der Kooperation von mehreren Robotern mit mehreren Facharbeitern in hybriden Teams kann in Zukunft für weitere Wachstumsimpulse sorgen.“

Ruskowski ist Experte auf den Gebieten Robotik und Industrie 4.0. Am DFKI sowie an der TU Kaiserslautern wird er auch Lösungen für die Digitalisierung von Fabrikhallen entwickeln. Dabei wird er an neuen Steuerungssystemen und Robotermechaniken arbeiten, um Industrieroboter für die Zukunft leistungsfähig zu machen. Zudem wird er der Frage nachgehen, wie sich Maschinen selber optimieren können. Ein starker Fokus liegt auf der Interaktion von Mensch und Maschine bei automatisierten Produktionsanlagen. „Im Rahmen der Digitalisierung der Produktion benötigen wir neue Techniken und Lösungen, mit denen die Menschen enger mit dem Produktionsprozess verbunden sind“, erläutert er. „Daran forschen wir, auch in Zusammenarbeit mit der Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V.“

Darüber hinaus wird Ruskowski im Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik zahlreiche Lehrveranstaltungen aus dem Umfeld der Werkzeugmaschinen und Industrieroboter halten.

DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUMS FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ (DFKI), TU KAISERSLAUTERN



Martin Ruskowski: „Ein Schwerpunkt meiner Arbeit an der TU Kaiserslautern und am DFKI wird es sein, Roboter für anspruchsvolle mechanische Bearbeitungsaufgaben zu ertüchtigen.“ Bild: DFKI



Produkte. Prozesse. Performance. Diagnose.

Mess- & Analysentechnik von ABB verfügt über modernste Funktionen der Gerätediagnose. Die Gerätediagnose der Instrumentierung ermöglicht eine Verbesserung des verfahrenstechnischen Prozesses. Dadurch erreichen Sie höhere Genauigkeiten und erhalten detaillierte Auswertungen sowie Plausibilitätsprüfungen, die helfen, den Betrieb Ihrer Anlagen sicherer zu machen und die Verfügbarkeit zu steigern. Die Verifikation von Messwerten bietet Ihnen stets eine realistische Einschätzung des Prozesszustands und damit die entscheidenden Informationen für eine gesteigerte Anlageneffizienz.

Lesen Sie mehr unter:
www.abb.de/messtechnik

ABB bietet Ihnen zudem zuverlässige Produkte und Lösungen für effiziente Leittechnik sowie erstklassigen Service.



Künstliche Intelligenz: Software, die sich automatisch generiert, schafft Automatisierern mehr Freiheit



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ MACHT'S MÖGLICH: Der moderne Automatisierer programmiert ohne Programmcode. Bild: CIIT

Mit einer Software, die sich selbst programmiert, wollen Forscher des Instituts für industrielle Informationstechnik (inIT) der Hochschule OWL in Lemgo neue Standards in der Steuerungsarchitektur und in Engineering-Prozessen von Produktionssystemen setzen. Hauptengpass bei Anpassung und Umkonfiguration von Produktionsanlagen ist die Programmierung der Automationssoftware. „De facto gibt es jedoch nicht ausreichend Programmierer auf dem Markt, um ständig neue Software für ein modularisiertes Anlagenmodell schreiben oder nachprogrammieren zu können“, erläutert inIT-Vorstand Prof. Oliver Niggemann. Die Lemgoer Lösung aus dem BMWi-Projekt Opak (Offene Engineering-Plattform für autonome, mechatronische Automatisierungskomponenten in funktionsorientierter Architektur): eine Software, die sich weitgehend automatisch generiert. Funktionsorientiertes Engineering und modulare, intelligente Komponenten lauten die Schlagworte.

Mit dem Konzept soll der Anwender mehrfach unterstützt werden: Modulare, intelligente mechatronische Komponenten werden die Konstruktion und Montage einer Produktionsanlage erleichtern. Zusätzlich generiert ein Algorithmus große Teile des Steuerungscode einer Anlage automatisch, lediglich die beteiligten mechatronischen Komponenten sowie deren Fähigkeiten werden benötigt. „Mit unserer Lösung wird eine

höhere Wandlungsfähigkeit technischer Systeme und ein reduzierter Engineering-Aufwand bei der Projektierung der Automatisierungslösung erreicht. Damit setzen wir neue Standards in der Steuerungsarchitektur und in Engineering-Prozessen von Produktionssystemen für die Industrie“, so Niggemann.

Die Forschungsergebnisse wurden in einen Demonstrator in der SmartFactoryOWL, der gemeinsamen Forschungs- und Demonstrationsfabrik des Fraunhofer IOSB-INA und der Hochschule OWL, implementiert. Diese Multi-Vendor-Anlage ist modular aufgebaut: Jedes Modul hat seine eigene dezentrale Steuerung und besteht aus Automatisierungskomponenten verschiedener Hersteller. Für die Steuerung der Module kommt beispielsweise ein Raspberry PI mit Codesys-Laufzeitumgebung als Kleinsteuerung zum Einsatz. Das gesamte System ist durchgängig vernetzt auf Basis von Standards wie Ethernet, WLAN oder OPC-UA.

Der Opak-Ansatz bietet eine visuelle Schnittstelle, mit der eine Applikation aus bereits vordefinierten Komponentenbeschreibungen und durch das Aufrufen von Komponentenfähigkeiten (Skills) schnell und einfach realisiert werden kann. Das Schreiben von Quelltext beziehungsweise Funktionsblöcken und Programmcode wurde durch einen grafischen Editor, den Codesys Application Composer, ersetzt. Diese Entwicklungsumgebung zur Erstellung beziehungsweise Konfiguration von Anwendungapplikationen befreit den Automatisierer zukünftig von nicht wertschöpfenden Tätigkeiten (wie Programmierung auf Signalebene) und stellt somit Planung, Entwurf sowie Optimierung von Automationsabläufen wieder in den Vordergrund.

Damit, so die inIT-Forscher, kann sich der Automatisierer künftig wieder verstärkt auf die Optimierung von Abläufen konzentrieren. Der Mensch als Planungsinstanz werde damit wieder in den Vordergrund gestellt: Mit geeigneten (erweiterten) Engineering-Tools kann er einen Produktionsprozess dann soweit planen, dass dieser nachfolgend ohne signifikanten Installations-, Steuerungs- und Inbetriebnahmeaufwand in die Realität umgesetzt werden kann.

CENTRUM INDUSTRIAL IT (CIIT)

Deutschland und Australien kooperieren bei I4.0

Deutschland und Australien haben ein Memorandum of Understanding unterzeichnet. Ziel der Kooperationsvereinbarung zwischen beiden Ländern: die gemeinsamen Standardisierungsaktivitäten im Bereich Industrie 4.0 zu vertiefen. Neben dem Bundeswirtschaftsministerium (BWi) wirkten die Plattform Industrie 4.0, SAP und Siemens an der Ausarbeitung des Memorandums mit.

Das Standardization Council 4.0 (SCI 4.0) ist mit den thematischen Schwerpunkten Referenz-Architekturmodelle und Harmonisierung von Standards involviert.

Als konkretes Ziel ist die gemeinsame Harmonisierung von Standards im Internet of Things (IoT) vereinbart worden, vor allem auf Basis des Rami-4.0-Modells. Weitere Kernpunkte der Kooperation sind der gemeinsame Aufbau virtueller Use Cases sowie eines umfassenden Testlab-Netzwerks unter Einbeziehung deutscher und australischer Forschungs- und Lehrinrichtungen.

DKE DEUTSCHE KOMMISSION ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK IM DIN UND VDE

Sprachsteuerung ermöglicht den Dialog mit Robotern

„Bitte fülle drei Kilogramm Sechskant-Schrauben ab und bringe sie zur Verpackungsabteilung“ – diese Aufforderung bekommt zukünftig kein Logistikmitarbeiter mehr, sondern ein sprachgesteuerter Roboter. Und dank der integrierten akustischen Ereigniserkennung kann der Roboter unterscheiden, ob die richtige Sorte Schrauben in den Behälter gefüllt wird. Eine solche Demonstrationsanwendung haben Forscher des Fraunhofer-Instituts für Digitale Medientechnologie IDMT entwickelt. Interessant für den Einsatz im Produktionskontext ist dabei, dass die Spracherkennung auch in lauten Umgebungen und bei einem größeren Abstand zwischen Sprecher und zu steuernder Maschine funktioniert.

Die robuste Erkennung der Spracheingabe basiert auf dem aktuellen wissenschaftlichen Stand psychoakustischer und -physikalischer Grundlagen. Zusätzlich optimiert wird die Erkennungsleistung durch die Berücksichtigung der jeweiligen akustischen Umgebungsbedingungen wie Störgeräusch oder Nachhall. Für die Sprachsteuerung selber kann auf frei wählbares Vokabular zurückgegriffen werden. Dabei erhöht sich die Erkennungsgenauigkeit der Befehle, wenn das Vokabular an die Anforderungen des Einsatzgebietes angepasst wird. „Prinzipiell kann unsere Sprachsteuerung an jeden noch so individuellen Einsatz angepasst werden – von der einfachen Befehlssteuerung mit wenigen Worten bis hin zu einem komplexen dialogbasierten Robotersystem“, erklärt Entwickler Dr.-Ing. Stefan Goetze.

Die intelligenten Erkennungs-Algorithmen können aber nicht nur zur Detektion von Sprache und zur Ansteuerung durch Sprache eingesetzt werden, sondern auch für die akustische Prozessüberwachung in der Industrie. So können Abfüllvorgänge überwacht oder Produkte auf Basis ihrer Klangeigenschaften eindeutig zugeordnet werden.

**FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR DIGITALE
MEDIEN TECHNOLOGIE IDMT**



DER ROBOTER kann am Schüttgeräusch erkennen, um welches Material es sich handelt. Bild: Fraunhofer IDMT

Äußerst präzise. Äußerst schnell.

Die neue Messtechnik-
Generation der Beckhoff
EtherCAT-Klemmen.



< 1 μ s zeitsynchron
100 ppm
24 Bit
10.000 Samples/s

www.beckhoff.de/EL3751

Mit der EtherCAT-Klemme EL3751 präsentiert Beckhoff das erste Mitglied seiner neuen Generation hochpräziser Messtechnik-I/Os. Diese skalierbaren Klemmen integrieren Highend-Messtechnik direkt in das Standard-I/O-System. Maximale Präzision und Abstraten gewährleisten eine hohe Qualität der erfassten Daten:

- Multifunktionseingang: U, I, R, DMS (Messbrücke), RTD (PT100/1000)
- Zeitpräzise: Exakte Synchronisierung < 1 μ s
- Wertpräzise: Messgenauigkeit besser als 100 ppm bei 23 °C
- Schnell: 10.000 Samples/s
- Proaktiv: selbstständige Anschluss- und Funktionsdiagnose
- 24 Bit $\Delta\Sigma$ ADC, Distributed-Clocks integriert, 107 % Extended-Range
- Abgleich höherer Ordnung auch anwenderseitig möglich
- Durch EtherCAT einsetzbar in vielen Messtechnik-Anwendungen

Roboterhand macht sich mit Gegenständen vertraut



Lernt wie ein Kind: Die Roboterhand der Bielefelder Forscher. Bild: Uni Bielefeld

Forscher der Universität Bielefeld haben ein Greifsystem mit Roboterhänden entwickelt, das sich selbstständig mit unbekanntem Gegenständen vertraut macht. Das neue System funktioniert, ohne vorher die Merkmale von Objekten wie Obst oder Werkzeug zu kennen. Entwickelt wurde das Greif-Lern-System im Großprojekt „Famula“ des Exzellenzclusters Kognitive Interaktionstechnologie (CITEC) der Universität Bielefeld.

„Unser System lernt durch Probieren und eigenes Erkunden – so wie auch Babys sich neuen Objekten widmen“, sagt Professor Dr. Helge Ritter. Der Neuroinformatiker leitet das Projekt zusammen mit dem Sportwissenschaftler und Kognitionspsychologen Professor Dr. Thomas Schack sowie dem Robotiker und Privatdozent Dr. Sven Wachsmuth. Eine Banane muss man umgreifen, einen Knopf gilt es zu drücken. „Das System lernt, solche Möglichkeiten aus Merkmalen zu erkennen und baut sich ein Modell für den Umgang und die Wiedererkennung auf“, sagt Helge Ritter. Dafür verbindet das interdisziplinäre Projekt Arbeiten in der künstlichen Intelligenz mit Forschungsarbeiten in weiteren Disziplinen.

Mit dem Projekt Famula betreiben die CITEC-Forscher Grundlagenforschung, die künftigen selbstlernenden Robotern in Haushalt und Industrie zugutekommen kann. „Wir wollen verstehen, wie wir lernen, unsere Umwelt dank unserer Hände buchstäblich zu begreifen. Der Roboter ermöglicht uns dabei, unsere Erkenntnisse in der Realität zu überprüfen und Lücken in unserem Verständnis schonungslos aufzudecken. Dadurch leisten wir einen Beitrag für den künftigen Einsatz komplexer, vielfingriger Roboterhände, die heute noch zu kostspielig und zu komplex für den Einsatz zum Beispiel in der Industrie sind“, sagt der Neuroinformatiker Prof. Ritter.

UNIVERSITÄT BIELEFELD, EXZELLENZCLUSTER KOGNITIVE INTERAKTIONSTECHNOLOGIE (CITEC)

Predictive Maintenance: Es mangelt an Überführung der Daten in konkreten Kundennutzen und Geschäft

Predictive Maintenance (PM) gilt als ein Schlüsselthema in der produzierenden Industrie und wird als eindeutige Voraussetzung für zukünftigen und nachhaltigen Erfolg im Service gesehen. Es sind deutliche und schnelle Entwicklungsfortschritte im Bereich der dafür notwendigen Technologien auszumachen, jedoch bestehen noch Defizite bei der systematischen Überführung von Daten in (Kunden-) Nutzen sowie der Umsetzung in konkrete Geschäftsmodelle. Das sind einige Ergebnisse einer Studie zum Status von Predictive Maintenance von VDMA, Roland Berger und Deutscher Messe.

Fast alle befragten Unternehmen bestätigten die Bedeutung von PM als Erfolgsfaktor, Chance und Notwendigkeit für das künftige Geschäft – und das nicht nur im Service. Die technische Realisierbarkeit von PM ist – trotz signifikanter Herausforderungen insbesondere im Bereich der Datenanalytik – nach Meinung des Großteils der Unternehmen weitestgehend gegeben und beherrscht.

PM wird der Studie zufolge aktuell noch recht opportunistisch betrieben. Große Unsicherheit und Intransparenz besteht hinsichtlich der eigenen

Position und Rolle im künftigen PM-Ökosystem. Hier existiert Handlungsbedarf in der Festlegung des eigenen spezifischen Wertbeitrags in der PM-Wertschöpfungskette sowie der Auswahl geeigneter Strategien zur Monetarisierung der PM-Angebote.

Es wird erwartet, dass PM-Geschäftsmodelle dabei hauptsächlich durch Software-Kompetenz bestimmt sind und der Wertschöpfungsanteil der Hardware graduell abnimmt. Genaue Kundenanforderungen an PM sind häufig noch unbekannt und aktuell zumeist aus der internen technischen Perspektive (beispielsweise weitere Produktverbesserung) definiert – Co-Creation mit Kunden (gemeinsame PM-Ausgestaltung mit Kunden) ist zumeist bestenfalls angedacht. Erkennbar ist ein klarer Trend zu Kollaboration: Ein Großteil der Befragten glaubt daran, dass Partnerschaften mit externen Kooperationspartnern, gegebenenfalls, auch dem direkten Wettbewerb, wichtig zur Generierung kundenspezifischen PM-Mehrwerts sind.

VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU VDMA

Wiedergewählter ZVEI-Präsident Michael Zieseemer: „Die Ansprüche an die digitale Kompetenz steigen“

Michael Zieseemer amtiert weitere drei Jahre als ZVEI-Präsident. Der ZVEI-Vorstand bestätigte Zieseemer im Amt. Zieseemer ist seit dreizehn Jahren Mitglied des ZVEI-Vorstands, seit 2008 als Vizepräsident und ab 2014 als Präsident. Als ZVEI-Präsident führt Zieseemer auch sein Amt als Vizepräsident des BDI (Bundesverband der Deutschen Industrie) fort. Zieseemer ist Vizepräsident des Verwaltungsrates der Endress + Hauser Gruppe.

„Die Digitalisierung in allen Facetten steht auch in den kommenden Jahren im Mittelpunkt unserer Verbandsarbeit“, so Zieseemer. „Der Schlüssel zum Erfolg lautet Zusammenarbeit. Wir sind überzeugt davon, dass es uns nur im Dialog mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft gelingt, den Wandel erfolgreich zu gestalten.“ Dazu gehöre auch, über Ländergrenzen hinweg zu denken. Zieseemer: „Nicht Abschottung und Nationalismus, sondern ein starkes und geeintes Europa ist die richtige Antwort auf die Herausforderungen unserer Zeit.“

Für dieses Vorhaben sei gut ausgebildeter Nachwuchs in Ausbildungsberufen und Studiengängen ausschlaggebend, betont Zieseemer. „Die Ansprüche an die digitale Kompetenz steigen jedoch nicht nur bei den Nachwuchskräften, sondern auch bei bestehenden Belegschaften“, ist Zieseemer überzeugt. „Hier müssen Unternehmen und auch die Politik tätig werden, um den Standort Deutschland langfristig zu stärken.“

Ein weiterer thematischer Fokus der ZVEI-Arbeit liegt auf der Energiewende. „Wir wollen, dass die Energiewirtschaft zur ersten vollständig digitalisierten Branche Deutschlands und die Energiewende als Ganzes ein Exporterfolg wird“, verdeutlicht Zieseemer. „Auf dem Weg dorthin haben wir bereits einiges erreicht, in puncto Erhöhung der Energieeffizienz und Reduzierung der CO₂-Emission herrscht jedoch unnötiger Stillstand.“

ZENTRALVERBAND ELEKTROTECHNIK- UND ELEKTRONIKINDUSTRIE



Michael Zieseemer: „Die Digitalisierung in allen Facetten steht auch in den kommenden Jahren im Mittelpunkt unserer Verbandsarbeit.“
Bild: ZVEI



Radar-Füllstandmess- geräte für spezifische Branchenanforderungen

OPTIWAVE Serie – technology driven by KROHNE

- Neue 24 und 80 GHz FMCW Radar-Füllstandmessgeräte für Flüssigkeiten und Feststoffe
- Über 28 Jahre Erfahrung mit FMCW-Radartechnologie
- Linsen-, Tropfen- und Horn-Antennen mit Prozessanschlüssen ab 3/4"



KROHNE

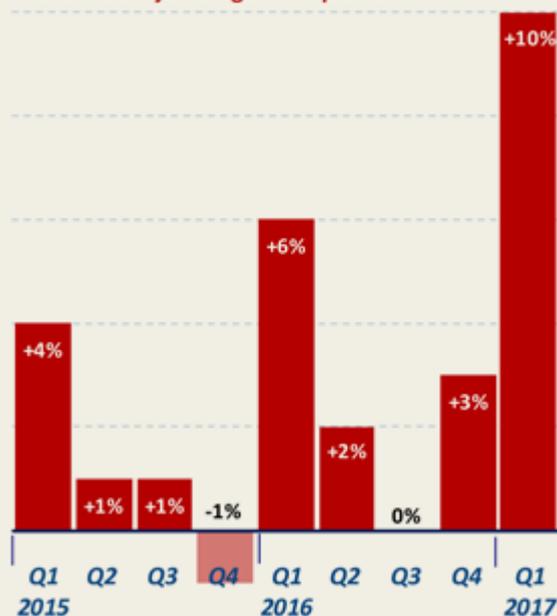
▶ measure the facts

Mehr facts unter: www.krohne.de

Plus neun Prozent: Sensorik und Messtechnik boomen

Das Geschäft mit Sensorik und Messtechnik hat im ersten Quartal 2017 deutlich angezogen. Die Branche erwirtschaftete von Januar bis März neun Prozent höhere Umsätze und verbuchte bei den Auftragseingängen

Änderung Auftragseingang
Relativ zum jeweiligen Vorquartal



Quelle: AMA Verband für Sensorik und Messtechnik

UNGEBROCHENES WACHSTUM: Neben den Umsätzen legt auch der Auftragseingang bei den deutschen Sensorik- und Messtechnikherstellern weiter zu.

ein Plus von zehn Prozent. Das geht aus der jüngsten Umfrage des AMA Verband für Sensorik und Messtechnik unter seinen 460 Mitgliedern hervor. Damit wurde das solide Vorjahresergebnis von vier Prozent Umsatzwachstum mehr als verdoppelt.

Die Branche der Sensorik und Messtechnik profitiert derzeit stark von der zunehmenden Digitalisierung der Industrie. Gefragt sind immer häufiger intelligente Verknüpfungen von verschiedenen Sensordaten mit anwendungsrelevanten Informationen. Diese können von der Lokalisierung durch GPS oder WLAN bis zu modellbasiertem Wissen über den Prozess reichen. Sensoren mit intelligenten Algorithmen entscheiden im laufenden Betrieb, welche Messergebnisse weiter kommuniziert werden müssen. Die Digitalisierung der Industrie eröffnet der überwiegend mittelständisch geprägten Branche Sensorik und Messtechnik somit neue Chancen, nicht zuletzt durch die Erweiterung der eigenen Wertschöpfungskette.

„Die Sensorik und Messtechnik zeigte sich bereits in den letzten Jahren als stabile Wachstumsbranche. Mit den Ergebnissen des ersten Quartals 2017 mit einem Umsatzplus von neun Prozent und einer Steigerung von zehn Prozent in den Auftragseingängen übertreffen unsere Mitglieder die prognostizierten fünf Prozent Wachstum bereits jetzt“, fasst Thomas Simmons, AMA Geschäftsführer, die aktuellen Zahlen zusammen. „Diese erfreuliche wirtschaftliche Entwicklung konkretisiert die Relevanz, die Sensorik und Messtechnik für die moderne Industrie hat. Die Ergebnisse des ersten Quartals liegen über dem mehrjährigen Durchschnitt. Wir dürfen auf die weitere Marktentwicklung gespannt sein. Unsere Mitglieder rechnen auch für das laufende Quartal mit einem Umsatzwachstum, dieses liegt voraussichtlich bei vier Prozent.“

AMA VERBAND FÜR SENSORIK UND MESSTECHNIK

Outside-in statt Inside-out: Geschäftsmodelle für Industrie 4.0 erfordern grundsätzliches Umdenken

Welche neuen Geschäftsmodelle mit Industrie 4.0 möglich sind und welche Chancen die Digitalisierung für neue Geschäftsmodelle bietet, vermittelt das Seminar „Geschäftsmodelle 4.0: Ansätze für vernetzte Unternehmen“. Teilnehmer der Veranstaltung am 12. und 13. September in Düsseldorf lernen die veränderten Anforderungen an Geschäftsmodelle kennen und erfahren, welche Folgen diese Veränderungen für die mögliche Transformation von Unternehmen haben.

Der Siegeszug der Industrie 4.0 stellt bestehende Geschäftsmodelle in Frage, bietet aber gleichzeitig auch Chancen für neue Geschäftsmodelle. Technologische Veränderungen sind dabei nicht die einzige Herausforderung für Unternehmen. Auch die Anforderungen von Markt- und Kundenseite verändern sich und müssen berücksichtigt werden. Der heutige Kunde sucht nicht mehr nur nach einem fertigen Produkt, sondern nach einer spezifisch auf ihn zugeschnittenen Lösung für

sein individuelles Bedürfnis. Dies macht ein Umdenken vom Inside-Out- zum Outside-In-Prinzip notwendig. In diesem Umfeld verändern sich Prozesse und die klassischen internen Funktionen in Unternehmen rasant.

Das Seminar „Geschäftsmodelle 4.0: Ansätze für vernetzte Unternehmen“ bietet den Einstieg in die spezifischen Führungsherausforderungen für Industrie 4.0 und betrachtet diese ganzheitlich. Die Teilnehmer erfahren, wie sie ihr aktuelles Geschäftsmodell beschreiben, innovative Geschäftsmodelle entwickeln und den Kundennutzen eines Geschäftsmodells definieren. Sie lernen zudem, wie Sie Ertrags- und Kostenmodelle formulieren sowie die Wertschöpfungskette (um-)gestalten.

Diese Themen stehen im Seminar auf dem Programm:

- Industrie 4.0 und ihre Auswirkungen auf Geschäftsprozesse sowie die Zusammenarbeit mit Kunden, Partnern und Lieferanten.

- Ausrichtung neuer Geschäftsmodelle am Bedürfnis des Kunden.
- Eigenschaften digitaler Geschäftsmodelle: Individualisierung, Dematerialisierung und Integration des Prosumers.
- Phasenmodell für den unternehmerischen Wandel.
- Elemente digitaler Geschäftsmodelle: Potenziale identifizieren und nutzen.

- Ermittlung des digitalen Reifegrads Ihres Unternehmens.

Weitere Informationen sind zu finden unter <https://www.vdi-wissensforum.de/industrie-40-weiterbildung/geschaeftsmodelle-40/>.

VDI-WISSENSFORUM

Studie: Europäische Unternehmen haben beim Internet der Dinge derzeit die Nase vorn – USA auf Platz zwei

Viele US-amerikanische IT-Unternehmen diskutieren über die Möglichkeiten des Internets der Dinge. Ihre europäischen Wettbewerber hingegen haben sich längst positioniert und schicken sich an, die Führungsrolle bei dieser Zukunftstechnologie zu übernehmen. Zu diesem Ergebnis kommt die Studie „Finding Europe's Edge in the Internet of Things“, für die Berater von Bain & Company weltweit mehr als 500 Führungskräfte in unterschiedlichen Branchen befragt haben. Danach sind viele europäische IT-Unternehmen bereits aus der Experimentierphase heraus und machen das Internet der Dinge für ihre Kunden nutzbar. „Europäische Anbieter profitieren von ihren traditionellen Stärken in puncto Neuentwicklung, Präzision und Qualität“, erklärt Michael Schertler, Bain-Partner und Co-Autor der Studie.

Zu den Innovationstreibern gehört laut Bain unter anderem die deutsche Automobilindustrie. Rund 2,6 Milliarden Euro haben Audi, BMW und Daimler für den Kauf des Digital-Mapping-Spezialisten Here von Nokia investiert. Damit wollen die drei deutschen Premiumautobauer an Google und Apple vorbeiziehen. Zudem sicherten sie sich mit dieser Akquisition den Zugang zu einer bahnbrechenden Technologie für das autonome Fahren. Darüber hinaus sind sie zahlreiche Partnerschaften eingegangen und haben ihre Mobilitätsdienste ausgebaut. Nicht zuletzt dank ihres erhöhten Sicherheitsbewusstseins dürften sich deutsche Tech-Unternehmen in Zukunft exzellent auf dem internationalen Markt positionieren

können, meinen die Berater. Die Deutsche Telekom etwa könne als Partner von Microsoft Azure hierzulande Cloud-Dienste anbieten und damit Kunden gewinnen, die ihre Daten im eigenen Land wissen wollen.

Laut Bain-Studie sind europäische Führungskräfte generell mehr auf Sicherheit bedacht als ihre US-Kollegen. So sind in Europa für 39 Prozent der Kunden Sicherheitsbedenken das größte Hindernis bei der Nutzung von Technologien rund um das Internet der Dinge. In den USA sind es lediglich 27 Prozent. Ähnlich verhält es sich in Bezug auf Compliance: Probleme bei diesem Thema bewerten 22 Prozent der Europäer als kritisch, aber nur acht Prozent der US-Amerikaner. „Das Bewusstsein für sicherheitsrelevante Fragen kann zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil für europäische Unternehmen werden“, betont Bain-Experte Schertler. „Es eröffnet ihnen die Chance, kostengünstige Lösungen für ein breites Spektrum an Regularien zu entwickeln und damit sicherheitsbewusste Kunden weltweit zu überzeugen.“

„Die europäischen Anbieter müssen jetzt schnell aktiv werden und ihren Wettbewerbsvorsprung nutzen“, stellt Christopher Schorling, Bain-Partner in der Technologie-Praxisgruppe und Co-Autor der Studie, fest. „Die heutigen Vorreiter sind prädestiniert, ihre Kunden weltweit für das Internet der Dinge zu sensibilisieren und ihnen die vielfältigen Möglichkeiten dieser Technologie aufzuzeigen.“

BAIN & COMPANY

Namur-Empfehlung 107 ist aktualisiert worden

Die Namur hat die NE 107 „Selbstüberwachung und Diagnose von Feldgeräten“ überarbeitet. In diesem Papier werden die Vorstellungen von Herstellern und Anwendern bezüglich der Nutzung von Diagnosemöglichkeiten in Feldgeräten zusammengestellt. Feldgeräte im Sinne dieser Empfehlung sind ausschließlich Sensoren und Aktoren.

Mess- und Stellsignale sind die wichtigsten Informationen von Feldgeräten. Darüber hinaus sind weitere Informationen von Interesse, die Aussagen über ihren Zustand ermöglichen und entsprechende Maßnahmen von Anlageneigentümern, PLS oder Instandhaltung einleiten können.

Diese Namur-Empfehlung fasst wesentliche Begriffe zusammen, gibt dem Anwender Nutzungshinweise für die Diagnosefunktionalität von Feldgeräten, beschreibt Statussignale, ihre Bedeutung und ihre Darstellung in Symbolen,

priorisiert die Statussignale und gibt den Feldgeräte-Herstellern Entwicklungsziele für die Diagnosefunktionalität von Feldgeräten durch Auflistung von Fehlfunktionen.

Gegenüber der NE 107 Ausgabe 2006-06-12 ergeben sich neben redaktionellen Anpassungen folgende Änderungen. Kapitel 8.1 wurde um den Punkt „Allgemeines“ ergänzt. In Kapitel 8.2 wurde der Punkt Priorisierung der Statussignale (Tabelle 2) ergänzt um die Anforderung, dass Änderungen von Statusmeldungen unmittelbar angezeigt werden müssen. Eingefügt wurde das Kapitel 8.3.3 „Darstellung der Statussignale mit LED“ und der Anhang wurde um Default-Einstellungen der Diagnose im Auslieferungszustand ergänzt.

NAMUR – INTERESSENGEMEINSCHAFT AUTOMATISIERUNGSTECHNIK DER PROZESSINDUSTRIE

AMA Innovationspreis 2017: Hochfrequenz-basierter Partikelfiltersensor erlaubt Emissionsreduzierung



PREISTRÄGER: Jochen Schnetz, Nick Scruton und Dr. Alexander Sappok von der Firma CTS (2., 3. und 4. v.l.). Links AMA-Vorstandschef Peter Krause, rechts Prof. Stefan Zimmermann, Vorsitzender des AMA-Wissenschaftsrats. Bild: AMA Verband

Der AMA-Innovationspreis 2017 ging in die USA: Mit dem Preis des AMA Verband für Sensorik und Messtechnik (AMA) zeichnete die Jury ein dreiköpfiges Entwicklerteam aus, das einen hochfrequenz-basierten Diesel- und Benzin-Partikelfiltersensor konstruiert hatte. Die Sieger Alexander Sappok und Paul Ragaller von der CTS Corporation, Boston Innovation Office, und Leslie Bromberg vom Massachusetts Institute of Technology konnten die mit 10000 Euro dotierte Auszeichnung während der Messe Sensor + Test in Nürnberg entgegennehmen.

Die ausgezeichnete Entwicklung, der CTS-RF-Sensor, ist ein hochfrequenz-basierter Sensor für die direkte Zustandserfassung von Diesel- und Benzin-Partikelfiltern für Emissionskontroll-Systeme. Diese Technologie liefert Echtzeitwerte und ermöglicht Rückkopplungsregelungen, die auf dem tatsächlichen Ladezustand von Partikelfiltern und Katalysatoren, gemessen mit einem fahrzeugseitigen Sensor, basieren, was mit derzeit verfügbaren Sensoren bislang nicht möglich war. Der Sensor verbindet eine robuste mechanische Lösung mit einer intelligenten und flexiblen Messtechnik für die Datenauswertung. Motor- und Fahrzeugherstellern ermöglicht es der CTS-RF-Sensor, die immer strengeren Emissionsgrenzwerte zu erfüllen und gleichzeitig Gesamtkosten und Komplexität zu senken.

„In diesem Jahr bewarben sich 41 Teams mit hochkarätigen Entwicklungen um den AMA Innovationspreis. Uns überzeugte die Entwicklung des Gewinnerteams mit einer Lösung zum hochaktuellen Thema Verringerung der Emissionen und Kontrolle des Abgasreinigungssystems. Nicht zuletzt durch die derzeit weltweit geführten Diskussionen lässt sich eine enorme Marktrelevanz für den CTS RF Sensor erahnen“, begründet der Juryvorsitzende Professor Andreas Schütze von der Universität des Saarlandes die diesjährige Auswahl.

Der Sonderpreis in der Kategorie ‚Junges Unternehmen‘ ging in diesem Jahr an das Team um Jens Karsten Lange von der SLT Sensor- und Lasertechnik GmbH in Wildau und Vertreter der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (Berlin). Gemeinsam entwickelten sie Detektoren zur absoluten Leistungsmessung im Terahertz-Spektralbereich.

AMA VERBAND FÜR SENSORIK UND MESSTECHNIK

Fraunhofer hilft KMU beim Start in Industrie 4.0

I4.0 Comlab: So heißt die Testumgebung des Fraunhofer-Instituts für Eingebettete Systeme und Kommunikationstechnik ESK, mit der kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) ihre Geräte und Softwarelösungen für die Industrie 4.0 prüfen lassen können. Unternehmen haben die Möglichkeit, für ihre Projekte eine Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zu beantragen.

Kleine und mittlere Unternehmen tun sich oft schwer, ihre Produktideen für die Digitalisierung von Geschäftsprozessen bis zur Marktreife zu bringen. Mit seiner Testumgebung I4.0 Comlab bietet das Fraunhofer ESK Unterstützung bei der Erstellung von Testspezifikationen, es übernimmt Vorbereitung und Konfiguration bestehender Testumgebungen und kümmert sich um Testdurchführung und -auswertung. Außerdem leistet das Fraunhofer ESK Hilfestellung bei Fehlerbehebung und Optimierungsmaßnahmen.

Das Fraunhofer ESK stellt mit I4.0 Comlab vor allem Anwendungsfälle der Kommunikation zwischen

Maschinen (M2M) auf den Prüfstand. Beispiele dafür sind neue Geräte und Softwarelösungen mit funkbasierter Kommunikation und solche mit IoT-basierten Protokollen, Auslegung, Konfiguration und Betrieb von Funknetzen sowie der Test von Geräten, Apps und von komplexen Client-/Server-Anwendungen in I4.0-Szenarien.

I4.0 Comlab versteht sich als herstellerneutrale Experimentalfabrik. Die Testumgebung ist eine von derzeit 30 bundesweit und die einzige, deren Fokus klar auf der Kommunikation liegt. Sie wurde in einem standardisierten Verfahren vom Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung klassifiziert. Weitere Informationen zum I4.0 Comlab des Fraunhofer ESK unter: www.esk.fraunhofer.de/de/forschung/projekte/i40Comlab.html.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR EINGEBETTETE SYSTEME UND KOMMUNIKATIONSTECHNIK ESK

Umsetzung im Master: IO-Link-Safety-Spezifikation freigegeben – erste Produkte werden für 2018 erwartet

Mit der Freigabe und Veröffentlichung der IO-Link-Safety-Spezifikation durch die IO-Link Community sowie der erfolgreichen Konzeptbeurteilung durch den TÜV Süd steht der Umsetzung in Systeme und Geräte nichts mehr im Wege, betonen die Experten von PI (Profibus & Profinet International). Hand in Hand werden parallel dazu die Testspezifikation und Testsysteme sowie die Zertifizierung vorbereitet. So ist zwar 2017 voraussichtlich noch nicht mit Produkten zu rechnen – im Anschluss wird jedoch ein zügiges Rollout weltweit, besonders in Asien und Europa, erwartet.

So wie IO-Link ist auch IO-Link Safety feldbus- und systemunabhängig. Erreicht wird dies durch die Umsetzung der vielen am Markt verfügbaren Safety-Protokolle zu IO-Link Safety im Master. Die IO-Link Safety Devices bleiben damit weltweit einheitlich. Bedenkt man, dass es bereits heute mit den 4000 Device-Typen wesentlich mehr gibt als IO-Link Master, so liegen die Vorteile auf der Hand. Soll ein neuer Markt oder ein neues System für IO-Link Safety erschlossen werden, so muss nur ein entsprechender IO-Link Safety Master entwickelt werden. Alle vorhandenen IO-Link Safety Devices können unverändert verwendet werden.

Der Konfigurationsaufwand für IO-Link Safety ist PI zufolge gering. Die Authentifizierung ergibt sich aus der Zuordnung zum Master-Port und die Überwachungszeit je Device wird automatisch eingestellt. Wie bei IO-Link können Devices ohne den Einsatz eines Engineering Tools ausgetauscht werden. Ein ausgetauschtes Device erhält nach Wiederanlauf automatisch die gespeicherten Parameter seines Vorgängers. Zudem sorgt die Authentifizierung dafür, dass Verwechslungen aber auch Manipulationen ausgeschlossen werden.

Eine große Herausforderung ist die offene und sichere Parametrierung von Safety Devices. IO-Link Safety Devices besitzen immer eine Gerätebeschreibung IODD, die die Kommunikationseigenschaften, die Identifikation, die Parametrierung und die Diagnose vollständig enthält.



DIE IO-LINK SAFETY SPEZIFIKATION ist freigegeben. Die Hersteller können jetzt beginnen, IO-Link Safety in ihre Systeme zu integrieren. Bild PI International

Die einschlägigen Normen verlangen aber ein „Dedicated Safety Tool“, um Manipulationen auszuschließen. Daher gibt es eine Software-Schnittstelle zur Integration der zu den Devices gehörenden Dedicated Tools in die IO-Link Engineering Tools. Das Device Tool Interface (DTI) ist sehr einfach gehalten und stellt somit sicher, dass die Integration in die vorhandenen IO-Link Engineering Tools kein Problem darstellt und auf der Device-Seite auch vorhandene sicherheitsgerichtete Gerätesoftware leicht angepasst und weiterverwendet werden können.

Wichtig hierbei ist, dass das Paket aus IO-Link Safety Device, IODD und „Dedicated Tool“ unverändert weltweit in allen Systemumgebungen eingesetzt werden kann. Damit können Anwender auf ein großes Spektrum an Geräten zugreifen – gleich welches Automatisierungssystem sie verwenden oder in welcher Branche und Region sie tätig sind.

PI PROFIBUS & PROFINET INTERNATIONAL

Digitalisierung erhöht die Nachfrage nach Facharbeitern

In etlichen Berufen übertrifft die Nachfrage des Maschinenbaus das Angebot bei weitem. Besonders groß sei die Diskrepanz in Bereichen, die eng mit der zunehmenden Digitalisierung der Industrie verbunden sind, wie zum Beispiel in der Automatisierungstechnik und in der elektrischen Betriebstechnik, betont der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau VDMA. So bot die Bundesagentur für Arbeit für Berufe in der elektrischen Betriebstechnik zuletzt 9172 offene Stellen an, denen nur 3049 Arbeitssuchende gegenüberstanden. In der Automatisierungstechnik seien 1662 offene Stellen, aber nur 615 Arbeitssuchende gemeldet gewesen. Für Mechatroniker habe es 5387 offene Stellen gegeben, während nur 1339 von ihnen arbeitslos waren.

Dr. Susanne Krebs aus der VDMA-Abteilung Volkswirtschaft und Statistik beobachtet, dass inzwischen

Ingenieure nicht mehr stärker als andere Fachkräfte nachgefragt werden. Ihr Anteil an den Beschäftigten im Maschinenbau sei zuletzt nicht mehr gestiegen, bleibe aber weiter auf hohem Niveau. Krebs stellt fest: „Fachkräfte, die dank einer dualen Berufsausbildung eine technische Qualifikation nachweisen können, werden ebenso sehr wie Ingenieure gesucht.“ Nach Berechnungen des VDMA lag die Nachfrage des Maschinenbaus nach Ingenieuren aller Fachrichtungen im April 2017 zwischen 5000 und 6000. Vor allem Elektroingenieure wurden gesucht – ein weiterer Hinweis darauf, dass die Digitalisierung das Anforderungsprofil der Personalchefs verändert hat.

VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU VDMA

GMA-Richtlinie „Plant Asset Management (PAM) in der Prozessindustrie – Spezifikationen und Methoden“

Die Richtlinie VDI/VDE 2651 Blatt 2 „Plant Asset Management (PAM) in der Prozessindustrie – Spezifikationen und Methoden“ ist als Weißdruck erschienen. In ihr werden ein PAM-Spezifikationsblatt und ein PAM-Methodenblatt eingeführt und deren Verwendung und Nutzen für Anwender und Anbieter anhand vieler Beispiele dargestellt. Eine CD liegt bei. Diese Richtlinie richtet sich an Anwender und Anbieter von PAM in der Prozessindustrie.

Der Anwendungsbereich der PAM-Spezifikations- und Methodenblätter erstreckt sich auf den gesamten Lebenszyklus einer Anlage und unterstützt den strukturierten Dialog zwischen Anwender und Anbieter auf Basis eines standardisierten Informationsaustauschs. Dabei werden betrachtet: Auswahl- und Beschaffungsprozess, Zustands- und Fehlerdiagnose, Betriebsdokumentation, Ersatzbeschaffung, weitergehende Optimierungen.

Die Erstellung eines PAM-Spezifikationsblatts, dessen Aufbau und Struktur detailliert beschrieben wird, ist als iterativer Prozess zwischen dem Anbieter einer PAM-Funktion und dem Anwender implementiert. Es dient

somit auch als direktes Kommunikationsmittel zwischen beiden Parteien und kann folglich auch als Bestandteil der Anlagendokumentation verwendet werden.

Das PAM-Methodenblatt dient der grundsätzlichen Beschreibung und Spezifikation einer PAM-Methode und ergänzt damit das PAM-Spezifikationsblatt. Es wird typischerweise vom Anbieter der Methode erstellt.

Im Rahmen der gemeinsamen Arbeiten des Fachausschusses 6.23 „Plant Asset Management“ der VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik und des Namur-Arbeitskreises 4.13 „Asset Management“ an diesem Richtlinienblatt wurde eine Merkmalleiste nach Namur-Empfehlung NE 100 entwickelt, die den Inhalt des PAM-Spezifikationsblatts abbildet. Die Merkmalleiste ist Bestandteil der eClass-Version 9.1, so dass Software-Werkzeuge, die diese Werkzeugleiste nutzen können, auch die Arbeit mit dem PAM-Spezifikationsblatt unterstützen.

GMA VDI/VDE-GESELLSCHAFT MESS- UND AUTOMATISIERUNGSTECHNIK

Profinet soll die Prozessautomatisierung erobern

Mit Industrie 4.0 und dem Industrial Internet of Things (IIOT) wird sich die Ethernet-Technologie – und damit einhergehend Profinet – in der Prozessautomatisierung etablieren. Davon gehen Experten von PI (Profibus & Profinet International) aus. Daher hat PI mit dem PA Profile 4.0 eine Profil-Spezifikation entwickelt, die unabhängig vom Kommunikationsprotokoll ist.

Alle Parameter und Funktionen, die im PA-Profil spezifiziert sind, sind sowohl über Profinet als auch über Profibus verwendbar. Um die Handhabung von Feldgeräten weiter zu vereinfachen, wurde außerdem die Möglichkeit geschaffen, dass mit der Nutzung von Profile GSDs alle für das Messprinzip spezifischen Diagnosen der Namur-Spezifikation NE 107 verfügbar sind.

Auch werden die Standard-Geräteparameter der angekündigten neuen Version der NE 131 unterstützt sowie ein herstellerübergreifender Gerätetausch ermöglicht.

Um auch Branchen wie Öl und Gas oder Chemie bedienen zu können, müssen weitere technische Voraussetzungen für Ethernet im Feldbereich geschaffen werden. Längere Verkabelungsdistanzen, 2-Leitertechnik, Stromversorgung über den Bus und Eigensicherheit sind mit heutigem Ethernet noch nicht standardisiert realisierbar, betont man bei PI. Dieses Thema werde man als nächstes angehen, um Profinet in allen Bereichen der Prozessautomatisierung einsetzen zu können.

PI PROFIBUS & PROFINET INTERNATIONAL

Produktionsforschung: Kooperation mit China

Deutsche und chinesische Produktionswissenschaftler wollen enger zusammenarbeiten. Das ist ein Ergebnis des 1st Sino-German Forum on Manufacturing (SGFM) 2017, das die Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) organisiert hat. Mit diesem Treffen sollte die politisch vereinbarte Kooperation zwischen China und Deutschland in Sachen Industrie 4.0 auf belastbare Beine gestellt werden. Ausgerichtet wurde die Veranstaltung von WGP und der University of Aeronautics and Astronautics (NUAA) in Nanjing.

„Ziel dieses Forums war der Austausch der unterschiedlichen Sichtweisen von Industrie 4.0. Wo gibt es Synergien und Potenziale für eine Zusammenarbeit, wie sie ja auf politischer Ebene bereits mit der Koopera-

tion der nationalen Initiativen Plattform Industrie 4.0 und Made in China 2025 vereinbart wurden?“, erläutert Prof. Eberhard Abele, Präsident der WGP und Leiter des Instituts Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW der TU Darmstadt.

Eine ganze Reihe von WGP-Instituten verfügen bereits über enge Kontakte zu chinesischen Universitäten. Auf dem deutsch-chinesischen Produktionsforum vereinbarten die Forscher, künftig über die gemeinsamen Forschungsaktivitäten hinaus regelmäßige Kolloquien zu organisieren.

WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT FÜR PRODUKTIONSTECHNIK



Handbuch der Prozessautomatisierung

Klassisch und immer up-to-date:
das Handbuch der Prozessautomatisierung



Handbuch der Prozessautomatisierung

Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen

Herausgeber: K.F. Früh, D. Schaudel, L. Urbas und T. Tauchnitz

6. Auflage 2018

Seiten: ca. 800

ISBN Buch: 978-3-8356-7351-9

ISBN eBook: 978-3-8356-7352-6

Preis: € 200,00

Erscheint im November 2017

www.atpinfo.de/shop

Weitere Informationen: +49 201 82002-14 | bestellung@di-verlag.de



OPC-UA-Schnittstelle als Standard-Interface zu externen Steuerungen sorgt für Sicherheit im Tunnel

Handling des Gesamtsystems deutlich vereinfacht – Zuverlässigkeit erhöht



SICHERHEIT IM FOKUS: Als Ortsumgehung trägt der neue San-Fedele-Tunnel dazu bei, die Lebensqualität im schweizerischen Roveredo deutlich zu steigern. Bilder: Siemens

Als Ortsumgehung des Städtchens Roveredo in der Schweiz realisierte das Schweizer Bundesamt für Straßen zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft zur gemeinsamen Ausführung eines Bauprojektes den Neubau eines 2,5 Kilometer langen Tunnels, der im November 2016 eröffnet wurde. Das Projekt, das mit Siemens-Lösungen umgesetzt wurde, setzt neue Standards im Bereich der Anbindung der Steuerungstechnik an das kantonale Verkehrssystem. Erreicht wurde eine stark erhöhte Durchgängigkeit des Systems, die der Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer dient.

STEUERUNGSSPEZIALISTEN UND IT-EXPERTEN REALISIERTEN DAS PROJEKT GEMEINSCHAFTLICH

Durch Roveredo, einen kleinen Ort im Misox-Tal in der Schweiz, führt die vielbefahrene A13, deren hohe Verkehrsbelastung die Lebensqualität der Einwohner deutlich mindert. Als Ortsumfahrung baute daher das Schweizer Bundesamt für Straßen (Astra) zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft zur gemeinsamen Ausführung eines Bauprojekts (Arge) den 2,5 Kilometer langen, zweispurigen San Fedele-Tunnel, dessen Steuerungstechnik von Siemens stammt.

Die Firmen Rigamonti, Spezialist für Steuerung von Beleuchtungsanlagen und Automatisierungen von Tunnelsystemen, und Sopra Steria, IT-Profi, bilden die Arge und realisierten gemeinsam mit Astra das



FÜR DIE ÜBERGEORDNETEN Anlagensteuerungen der einzelnen Gewerke wurde eine CPU 1516 eingesetzt.

Projekt. Die Herausforderung dabei bestand darin, die Anlagen und Hardware ganz unterschiedlicher Lieferanten, wie zum Beispiel der Ventilatoren oder Brandmelder, in ein System zu integrieren. Ein wichtiger Aspekt in der Umsetzung des Projektes war darüber hinaus die Kommunikation – zum einen innerhalb des Leitsystems selbst, zum anderen mit dem übergeordneten Kantonleitsystem. Und da der Tunnel direkt an der Grenze zwischen Tessin und Graubünden liegt, ist eine Kommunikation mit beiden Leitstellen nötig.

Um eine größtmögliche Durchgängigkeit und Transparenz zu erreichen, dient eine Open Unified Architecture (OPC UA)-Schnittstelle als Standard-schnittstelle zu externen Anlagensteuerungen – zunächst übergangsweise über eine zwischen Simatic S7-1500 und Leitsystem geschaltete Simatic Microbox mit Simatic-Net-OPC-UA-Server. Geplant ist, künftig direkt über das TIA-Portal V14 auf den OPC-UA-Server der S7-1500 zuzugreifen, was die einfache Anbindung eines beliebigen Clients erlaubt. Die Kommunikation zwischen Client und Server kann bei Bedarf mit der Verschlüsselung des Datenverkehrs gesichert werden. Das TIA Portal V14 bietet hier die Möglichkeit, Zertifikate zu generieren oder von Clients zu importieren. Da mit OPC UA ganz unterschiedliche Hardware an das Leitsystem angebunden werden kann, erhöht sich mit dieser Lösung die Durchgängigkeit des Gesamtsystems, was dessen Handling deutlich vereinfacht und die Zuverlässigkeit steigert.

LEITSYSTEM DER STEUERUNGSTECHNIK BESTEHT AUS KOMPONENTEN DES SIMATIC-PORTFOLIOS

Als Leitsystem für die Steuerungstechnik der gesamten Tunnelanlage kommt das Simatic-Portfolio von Siemens zum Einsatz, das sich laut Alfredo Rigamonti, Geschäftsführer bei Rigamonti, vor allem durch seine Zuverlässigkeit und Zukunftssicherheit qualifiziert. Zur Automatisierungsumgebung gehören zudem Stromversorgungen aus dem Sitop-Portfolio und der Ethernet-Standard Profinet.

Insgesamt werden die Beleuchtung, die Signalanlagen (beispielsweise der Fluchtwege), die Belüftung und einige Zusatzeinrichtungen mit dem Simatic-S7-1500 Controller automatisiert. Für die einzelnen Tunnelabschnitte setzt Arge auf die lokalen Central Processing Units (CPU) S7-1511 und S7-1515, denen der zentrale Controller S7-1516 als Anlagensteuerung übergeordnet ist.

Mit den Simatic-Steuerungen ist es möglich, die hohen Verfügbarkeitsanforderungen der Tunnelanlage zu erfüllen und den Sicherheitsanforderungen Rechnung zu tragen. So verarbeitet beispielsweise eine Simatic-S7-1500-Steuerung die Signale der Rauchmelder und der Fibro-Lasertechnik von Siemens. Das Wärmemeldesystem FibroLaser reagiert auf Hitze und ermöglicht eine schnelle, fehlerfreie Erkennung von Brandherden, wodurch im Brandfall automatisch Lüftungsklappen geöffnet und Ventilatoren für den Rauchabzug eingeschaltet werden. Darüber hinaus führen regelbare Stahlventilatoren an den beiden Tunnelenden Frischluft zu.



ÜBER DIE HUMAN MACHINE INTERFACES (HMI) Comfort Touch Panels TP 1200 lässt sich das Leitsystem mit Simatic-Automatisierung einfach bedienen.

Die Bedienung der Steuerungen erfolgt über Simatic HMI (Human Machine Interface) Comfort Panels TP 1200, und als dezentrale Peripherie haben Astra und Arge sich für die Peripheriesysteme Simatic ET 200SP und ET 200MP entschieden. Neben der hohen Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Technik punktet die Siemens-Lösung auch durch die einfache Programmierbarkeit im Engineering Framework TIA (Totally Integrated Automation) Portal, die bis zu einem Viertel an Zeit gegenüber anderen Systemen spart.

BEFEHLSBIBLIOTHEK MACHT AUSPROGRAMMIEREN MIT IF-THEN-ELSE-BEFEHLEN ÜBERFLÜSSIG

Entscheidend für diesen enormen Zeitgewinn war der komplett überarbeitete SCL (Structured Control Language)-Editor. „Die aus der Befehlsbibliothek aufrufbaren vorgefertigten Befehle machen das mühsame Ausprogrammieren über If-then-else-Befehle überflüssig. Das Programm wird kompakter und übersichtlicher. Tests, Inbetriebnahme und Anpassungen lassen sich wesentlich einfacher durchführen“, resümiert Rigamonti.

KONTAKT

Gerhard Stauß,
Gerhard.Strauss@siemens.com,
Tel. +49 (0) 911 895 79 45

Maßgeschneiderte Zykloidgetriebe verhelfen Robotern zu hoher Präzision, Beschleunigung und Beständigkeit

Kraftübertragung über Bolzen und Rollen optimiert den Wirkungsgrad und verringert das Spiel



FÜR DEN EINSATZ IN SCARA- UND DELTA-ROBOTERN hat Nabtesco die RF-P-Serie optimiert. Bilder: Nabtesco

Roboter sind aus vielen Branchen nicht mehr wegzudenken. Ein Großteil der Industrieroboter findet beim Punktschweißen, bei Lackieranwendungen sowie Pick-and-Place- und Handling-Applikationen Verwendung. Diese Einsatzbereiche erfordern ein hohes Maß an Geschwindigkeit, Beschleunigung, Präzision und Beständigkeit über lange Zeit, um teure Stillstandzeiten zu vermeiden. Anforderungen, die genauso für die „Gelenke“ der Roboter gelten: Die Getriebe sind besonders hohen Belastungen ausgesetzt und müssen reibungslos und zuverlässig ihr Werk verrichten.

Etabliert sind hier die Zykloidgetriebe von Nabtesco mit einem Marktanteil von rund 60 Prozent. Der Weltmarktführer entwickelt und fertigt an seinem deutschen Sitz in Düsseldorf in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden spezielle Getriebelösungen, die optimal an die individuelle Applikation angepasst sind. Die Getriebe dieses Typs, wie die Serien RV-N, RV-C, RF-P oder RH-N, arbeiten im Gegensatz zu Planetengetrieben mit zweistufigen Antriebskomponenten, die hauptsächlich aus vier Bauelementen bestehen: einer Antriebswelle, zwei oder drei Exzenterwellen, zwei Kurvenscheiben sowie einer der Untersetzung entsprechend langsam laufenden Abtriebswelle.

Da die beiden Kurvenscheiben auf den Exzentern um 180° zueinander verschoben sind, ist auf dem gesamten Umfang des Kurvenprofils ein sogenannter Zahneingriff gewährleistet. Dies erlaubt es, sehr hohe Drehmomente mit extremer Präzision und Laufruhe zu

übertragen und – dank der beiden Untersetzungsstufen – ohne zusätzliche Vorstufen Untersetzungsverhältnisse von 30:1 bis über 300:1 zu erzielen.

Die Kraftübertragung über Bolzen und Rollen sorgt für einen hohen Wirkungsgrad, eine lange Lebensdauer und ein extrem geringes Spiel des Getriebes. Die rollende Reibung aller an der Kraftübertragung beteiligten Elemente ermöglicht zudem ein sehr geringes Losbrechmoment.

VORTEILE DURCH ZWEISTUFIGE UNTERSETZUNG

Das zweistufige Untersetzungsprinzip, das bei den RV-Einbausätzen, der Basis des Produktprogramms von Nabtesco, Verwendung findet, reduziert die Vibrationen sowie die Massenträgheit und lässt größere Untersetzung zu. Der fast vollständige Kontakt innerhalb der Zykloiden-Bolzen-Konstruktion und die gleichmäßige Kraftverteilung innerhalb des Getriebes erlauben außerdem eine hohe Belastung bei geringem Spiel.

Durch diesen besonderen Aufbau erreichen die RV-Getriebe eine hohe Wiederhol- und Bahngenauigkeit sowie ein konstantes Betriebsverhalten über die komplette Lebensdauer. Da die Getriebe hohe Lastspitzen bis zum Fünffachen des Nenndrehmoments verkraften, stellen auch Not-Aus-Situationen kein Problem dar.

Eine besonders kompakte und leichte Ausführung der RV-Einbausätze ist die RV-N-Serie. Diese entwickelte Nabtesco speziell für Robotik-Anwendungen, die

zwar hohe Drehmomentleistungen erfordern, bei denen der verfügbare Bauraum jedoch stark begrenzt ist. Die Getriebe dieser Serie bieten dank einer verstärkten Exzenterwellenlagerung eine hohe Leistungsdichte und Schockbelastbarkeit. Außerdem arbeiten die RV-N-Getriebe extrem genau und verschleißarm, was hohe Standzeiten der Roboter sicherstellt.

Eine weitere RV-Variante ist die Serie RV-C. Diese Getriebe sind äußerst leistungsstark und ebenfalls relativ kompakt konstruiert. Ihre Besonderheit ist die großzügig bemessene Hohlwelle von bis zu 138 mm: Sie erlaubt es, Datenkabel und Versorgungsleitungen platzsparend durch das Innere des Getriebes durchzuführen. Ein Hystereseverlust von weniger als einer Winkelminute und geringe Vibrationen sorgen für einen präzisen und zuverlässigen Betrieb.

KOMPAKT UND MIT HOHEM WIRKUNGSGRAD

Speziell für Delta- und Scara-Roboter hat Nabtesco die RF-P-Serie konstruiert. Neben einer kompakten Bauweise standen eine hohe Leistungsdichte und ein hoher Wirkungsgrad im Fokus der Entwicklung. So ermöglicht der Einbausatz Abtriebsgeschwindigkeiten von 200 min^{-1} und arbeitet dabei außerordentlich präzise. Ein geringes Spiel über die komplette Lebensdauer von bis zu 20 000 Betriebsstunden ist sichergestellt.

Dass die kompakten und leichten RF-P-Getriebe in der High-Speed-Robotik ihre Vorteile besonders ausspielen können, zeigt der Einsatz in den Delta-Robotern eines französischen Herstellers für Pick-and-Place-Anwendungen in der Lebensmittelindustrie. Die Arme dieser Hochgeschwindigkeitsroboter bestehen aus leichten Carbonfasern und bewegen sich dank der Zykloidgetriebe von Nabtesco mit Geschwindigkeiten von teilweise über sechs Metern pro Sekunde. Aufgrund der deutlich besseren Leistungsdaten hat der Roboter-Hersteller die bisher verwendeten Planetengetriebe durch Zykloidgetriebe von Nabtesco ersetzt.

FLEXIBLE PLUG-AND-PLAY-LÖSUNG

Ein kompletter, einbaufertiger Getriebekopf für Robotik-Anwendungen ist die RH-N-Baureihe. Sie eignet sich besonders für Handling- und Palettierroboter. Dank ihres modularen Designs mit definierten Schnittstellen ist diese Plug-and-Play-Getriebelösung besonders flexibel. Antriebsritzel und Motorflansch für gängige Motortypen sind im Getriebekopf bereits integriert, wodurch die Getriebe leicht zu montieren und wartungsarm sind.

Die Getriebeköpfe der RH-N-Serie liefert Nabtesco seinen Kunden ab Werk mit Schmiermitteln vorgefüllt und verschlossen. Gerade bei Hochgeschwindigkeitsanwendungen bietet sich dazu das neue RV Oil an. Dieses synthetische Getriebeöl hat Nabtesco in Zusammenarbeit mit seinen Kunden und einem externen Forschungsinstitut als leistungsfähige Alternative zu Schmierfetten entwickelt. Zahlreiche Tests und Analysen haben bestätigt, dass RV Oil sowohl bei hohen Drehzahlen einen wirksamen kühlenden Effekt hat als auch gegenüber Schmierfetten eine deutlich bessere Wärmekapazität aufweist und homogenere Wärmeverteilung im Getriebe erlaubt. Für Anwendungen in der



DELTA-ROBOTERN VERLEIHEN die Zykloidgetriebe von Nabtesco ein hohes Maß an Präzision und Dynamik.



DIE HOHLWELLEN der RV-C-Getriebe ermöglichen es, Datenkabel und Leitungen platzsparend hindurchzuführen.

Medizintechnik und der Lebensmittelbranche bietet Nabtesco zudem auch H1-Schmierstoffe an, die sich durch Lebensmittelverträglichkeit und Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen auszeichnen.

Getriebelösungen wie die RH-N-Baureihe passt Nabtesco auf Wunsch auch individuell an die jeweiligen Anforderungen des Anwenders an. Oft reicht zwar schon die richtige Zusammenstellung und Lieferung bereits vorhandener Komponenten. In anderen Fällen müssen Ritzel, Aufnahmebohrungen, Abdeckungen oder Antriebe verändert werden, um die Anforderungen zu erfüllen.

Spezielle Antriebslösungen hat Nabtesco beispielsweise für einen Hersteller von Bohrplattform-Robotern entwickelt. Dort kommen sie unter anderem in einem 7-Achs-Roboter zum Einsatz, der eine maximale Traglast von 1500 kg hat. Dank der Anpassungen, die die Ingenieure von Nabtesco für diese Anwendung an den Sondergetrieben vornahmen, ist der Roboter trotz seiner extremen Leistungsfähigkeit in der Lage, sich außerordentlich präzise und dynamisch zu bewegen.

In Fällen wie diesen übernehmen die Konstrukteure von Nabtesco das Engineering und entwickeln gemeinsam mit dem Kunden eine maßgeschneiderte Lösung. Zu diesem Zweck hat der Getriebespezialist am Standort Düsseldorf in den vergangenen Jahren seine Kompetenzen stark ausgebaut. Mit einem Stab erfahrener Entwicklungsingenieure verfügt Nabtesco Precision Europe somit heute über umfassende Customising-Möglichkeiten, um den vielen verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden.

AUTOR

DANIEL OBLADEN ist Head of Sales General Industries bei Nabtesco Precision Europe.

Nabtesco Precision Europe GmbH,
Tiefenbroicher Weg 15,
40472 Düsseldorf,
Tel. +49 (0) 211 17 37 90,
E-Mail: info@nabtesco.de

Exklusiver Vorabdruck

„Handbuch der Prozessautomatisierung“

6. Auflage

Klassiker sind zeitlos und doch immer aktuell. So auch das Handbuch der Prozessautomatisierung, dessen 5. Auflage im Jahr 2014 erschien und der großen Nachfrage und der Aktualität wegen in der 6. Auflage schon zur NAMUR-Hauptsitzung und zu der SPS IPC Drives im November 2017 erscheint. Die alten und neuen Herausgeber (Dieter Schaudel, Thomas Tauchnitz und Leon Urbas) haben dieses Standardwerk für alle Belange der Prozessautomatisierung vom Kopf auf die Füße gestellt und, ohne die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen zu vernachlässigen, den Hauptthemen von heute und morgen neu breiten Raum gegeben. Digitale Transformation und IT für die Geschäftsmodelle und den praktischen Betrieb der Prozessautomation im Kleinen wie global im Großen finden sich in fast allen Kapiteln wieder. Antworten auf brennende Fragen der Safety einschließlich der Funktionalen Sicherheit sowie der Security werden gegeben. Und auch, was neue Verfahren der Prozessanalysenmesstechnik und was Smarte Sensoren und Aktoren für die Effizienz der Verfahren und Anlagen (Industrie 4.0!) leisten sollen und können, werden diskutiert. Dafür konnten über 60 erfahrene Fachleute aus Anbieter- und Nutzerfirmen sowie Universitäten, Hochschulen und Fachverbänden wieder oder erstmals gewonnen werden – in dieser Bündelung von Wissen, Know-how und praktischer Erfahrung aus und für die Prozessautomatisierung in Europa einmalig! Und dies alles in verständlicher Sprache, mit vielen Hinweisen auf Standards, Normen, Vorschriften, Regelwerke, Richtlinien, Applikationen und Best Cases.

Neu hinzugekommen sind auch Kapitel zur Begrifflichkeit der Prozessleittechnik, Safety und Security in der Feldebene, Industrie 4.0 – IIOT, Logistik und Prozessautomation, Simulation, Gerätediagnose – um nur die wichtigsten zu nennen. Alle anderen Kapitel dieser 6. Auflage wurden gründlich überarbeitet und auf den neuesten Stand des Wissens und der Praxis gebracht. Wie gewohnt werden im Anhang für die Prozessautomation wichtige Fachorganisationen vorgestellt, erstmals auch die Plattform Industrie 4.0.

Als besonderen Service für Leser der atp edition drucken wir an dieser Stelle exklusiv zwei Kapitel der neuen Auflage. Das Kapitel 1.3 von Dr.-Ing. Thomas Tauchnitz erläutert die Begriffe und Strukturen der Prozessleittechnik, das Kapitel 2.3 von Dieter Schaudel und Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer Smarte Sensoren und Aktoren.

1.3 PROZESSLEITTECHNIK – BEGRIFFE UND STRUKTUREN

THOMAS TAUCHNITZ

1.3.1 PROZESSLEITTECHNIK – WAS IST DAS?

- Der Begriff Prozessleittechnik (abgekürzt PLT) setzt sich aus drei Bestandteilen zusammen:
- **Prozess** (von lat. *procedere* = vorwärts gehen) ist ein gerichteter Ablauf eines Geschehens. Im Bereich der Prozessindustrie wird darunter speziell ein Herstellprozess verstanden, bei dem chemische oder biologische Stoffe gezielt verändert werden, also zu Produkten werden.
- **Leiten** ist hier das zielgerichtete Beeinflussen des Prozesses.
- **Technik** ist hier die Gesamtheit der Gegenstände und des Könnens, mit der der Prozess geleitet wird.

Neben diesem Begriff gibt es andere gängige Begriffe:

- Prozessautomatisierung (siehe Titel dieses Buches) betont das Ziel des automatisch ablaufenden Prozesses.
- Elektro-, Mess- und Regelungstechnik (abgekürzt EMR) zählt die wichtigen technischen Bereiche der Prozessleittechnik auf.
- Der verbreitete englische Begriff für die PLT ist „process control“.

Im Alltag werden die Begriffe Prozessleittechnik, Prozessautomatisierung sowie Elektro-, Mess- und Regelungstechnik gleichbedeutend verwendet, häufig aufgrund hergebrachter Bezeichnungen von Organisationseinheiten.

Der Begriff Prozessleittechnik bezieht sich auf die Prozessindustrie bzw. Verfahrenindustrie. Dort geht es schwerpunktmäßig um die verfahrenstechnische Stoffumwandlung. Neben der chemischen und pharmazeutischen Industrie gehören auch die Petrochemie, die Lebensmittelindustrie, die Zellstoff- und Papierindustrie sowie die Stahl- und Zementindustrie zur Prozessindustrie. In Abgrenzung zur Prozessindustrie stellt die Fertigungsindustrie Stückgüter her – von der Automobilindustrie über die elektrotechnische Industrie bis zur Konsumgüterindustrie.

1.3.2 EBENEN UND FUNKTIONEN

Die Prozessleittechnik hat einen sehr breiten und komplexen Funktionsumfang. Alles, was zur Automatisierung von Prozessen dient, gehört dazu. Die PLT definiert sich durch diesen Zweck und ist insofern eine Querschnittstechnologie. Egal ob es um Messen, Steuern und Regeln, um Elektrotechnik, Netzwerke, Datentechnik oder sogar Industrie 4.0 geht – alles, was der Prozesssteuerung dient, ist PLT.

Der klassische Ansatz zur Strukturierung dieses Fachgebiets ist das „Ebenenmodell der Automatisierungstechnik“ [1], auch bekannt (und in Wikipedia beschrieben) als „Automatisierungspyramide“ oder „NAMUR-Pyramide“, siehe Bild 1.

- Der „**Prozess**“ selbst ist die Basis der Pyramide. Ohne Prozess keine Prozessleittechnik.
- Der Begriff „**Feldebene**“ entstammt eigentlich nicht der funktionalen Sichtweise, sondern bezeichnet die örtliche Anordnung im „Feld“, d. h. innerhalb der Produktionsanlage, außerhalb von Schaltraum und Warte. Damit verbunden war ursprünglich die funktionale Vorstellung, dass die „Feldgeräte“ einfache Messumformer und Stellgeräte sind, die lediglich zum Messen und Stellen und zur Übertragung der Mess- und Stellsignale dienen. Auch heute noch gehören Sensoren und Aktoren in die Feldebene. Da diese Feldgeräte heute „intelligent“ sind, können sie häufig auch Funktionen wie Anzeigen und Regeln wahrnehmen, die zur Prozesselebene gehören.
- Zur „**Prozesselebene**“ gehören die Funktionen, die unmittelbar mit den Feldgeräten kommunizieren und zur direkten Prozessleitung gehören. Dies sind z. B.
 - **Basisautomatisierung:** unmittelbar prozessnahe Funktionen wie Messen (siehe Abschnitt 1.3.3), Stellen (siehe Abschnitt 1.3.4), Steuern (siehe Abschnitt 1.3.5) und Regeln (siehe Abschnitt 1.3.6) ohne übergeordnete Regelungen,
 - **höhere Prozesselektionen:** übergeordnete Regelungen (z. B. MPC, siehe Kapitel 5.3), Prozeduren für Rezeptfahrweisen, übergeordnete Steuerungen für Produktionsabläufe (in der Fertigungstechnik), Optimierung, Überwachungs- und Diagnosefunktionen,
 - **Anzeige- und Bedienfunktionen:** Anzeige von aktuellen Zuständen des Prozesses und der Automatisierungsfunktionen, Speicherung und Anzeige von Signalverläufen, Melden von Ereignissen und Alarmierung, Bedienfunktionen,
 - **Prozessdaten-Server-Funktionen:** Bereitstellung von Information für übergeordnete Systeme sowie ggf. zur Dokumentation des Produktionsprozesses (Speicherung und Archivierung von Zuständen, Ereignissen und Parametern).

Die einfacheren Funktionen können weitgehend den Kennbuchstaben der in den R&I-Fließschemata enthaltenen PLT-Stellen-Kennzeichen [2] entnommen werden, z. B. Anzeige (I),

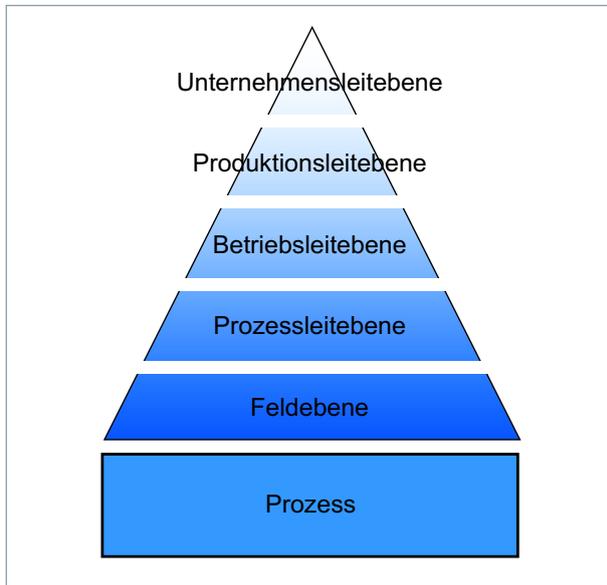


BILD 1: Ebenenmodell der Automatisierungstechnik

Trendspeicherung (R), Regelung (C, sofern einfache PID-Regelung), Schaltfunktion (S), Alarm (A). Sie erfordern nur noch eine geeignete Parametrierung. Verknüpfungs- und Ablaufsteuerungen und komplexere Rechen- und Regelungsfunktionen müssen dagegen separat im Detail spezifiziert werden.

Die Funktionen der Prozessleitenebene, die nicht zur Basisautomatisierung gehören, werden im Hauptkapitel 5 „Prozessleitfunktionen“ dargestellt.

- Die „Betriebsleitenebene“ umfasst Funktionen, die zur Leitung von Betrieben beitragen. Neben dem verfahrenstechnischen Prozess gehören hierzu beispielsweise logistische Prozesse und die betriebliche Produktionsfeinplanung.
- Zur „Produktionsleitenebene“ gehören betriebsübergreifende Funktionen, beispielsweise die standortweite Logistik und die betriebsübergreifende Produktionsplanung. Die Funktionen der Betriebsleitenebene und Produktionsleitenebene werden im Hauptkapitel 6 „Höhere Ebenen: Informationsverbund und MES“ dargestellt.
- Die „Unternehmensleitenebene“ ist die Spitze der Pyramide und gehört eigentlich nicht mehr zur Prozessleitetechnik. Sie ist aber in der Pyramide dargestellt, weil die Anbindung der Produktion an die Systeme der Unternehmensleitenebene wichtig ist.

Die Automatisierungspyramide ist nicht nur eine anschauliche, strukturierte Darstellung der Funktionen der Prozessleitetechnik, sondern beinhaltet auch technische Anforderungen:

- Die Tauglichkeit für die raue Produktionsumgebung nimmt von unten nach oben ab. Das Equipment der Feldebene muss robust für den Betriebsalltag sein:

Dazu gehören beispielsweise Wetterbeständigkeit, Schutz vor aggressiven Medien, Schwingungsfestigkeit, falls erforderlich Explosionsschutz. Auch Geräte der Prozessleitenebene sind häufig noch in der Anlage verteilt und müssen diesen Anforderungen entsprechen. Geräte der Betriebs- und Produktionsleitenebene sind meist nur noch in Büros anzutreffen und unterliegen den normalen Büroanforderungen.

- Die Echtzeitanforderung nimmt von unten nach oben ab. Geräte und Systeme der Feld- und Prozessleitenebene müssen ihre Funktion innerhalb einer vorgegebenen Zeit ausführen – bei Feldgeräten geht es häufig um einige Millisekunden, bei Prozessleitsystemen um ein oder zwei Sekunden. Die überlagerten Systeme sind nicht zeitkritisch und tolerieren daher längere Antwortzeiten.
- Auch die geforderte Verfügbarkeit nimmt von unten nach oben ab. Feldgeräte sind meist nicht redundant und müssen daher eigentlich „immer“ funktionieren. Wobei andererseits der Ausfall eines Aktors oder Sensors durch andere Geräte oder Maßnahmen häufig kompensiert werden kann. Die Systeme der Prozessleitenebene müssen – zumindest bei kontinuierlichen Prozessen – redundant ausgelegt werden können, weil der Ausfall eines Systems meist ein Abschalten und Wiederanfahren der Anlage erfordert. Störungen bei Systemen der höheren Ebenen können häufig manuell kompensiert werden – was allerdings ein entsprechendes Systemdesign erfordert. Es wäre beispielsweise schlecht, wenn der Ausfall eines Barcodelesers zum Produktionsstillstand führen würde, weil keine manuelle Ersatzeingabe möglich ist.

Es wird zunehmend diskutiert, ob die „klassische“ Automatisierungspyramide noch zeitgemäß ist. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- Häufig werden die Funktionen mehrerer Ebenen mit den gleichen Systemen realisiert. So können Feldgeräte durchaus Funktionen der Prozessleitenebene (wie Regeln und Anzeigen) übernehmen. Vor allem bei kleineren Betrieben ist es wirtschaftlich, einzelne Funktionen der Betriebsleitenebene auf dem Prozessleitsystem laufen zu lassen. Und die Funktionen der oberen Ebenen werden häufig auf gemeinsamen Servern implementiert.
- [3] schlägt statt der Pyramide eine Diabolo-Form vor. Der untere Teil entspricht der Pyramide, oben wird die wachsende Informations-Architektur dargestellt mit dem Anlagenlebenszyklus als dritte Dimension. Zwischen den Diabolo-Hälften wird ein standardisiertes Informationsmodell vorgesehen.
- [4] sagt im Blick auf Industrie 4.0 eine völlige Auflösung der Automatisierungspyramide voraus: Cyber-Physical Systems können miteinander über alle Ebenen hinweg kommunizieren, siehe Bild 2.

Dennoch sollte aus Sicht des Autors die Pyramide nicht aufgegeben werden. Schließlich stellt sie eine funktionale

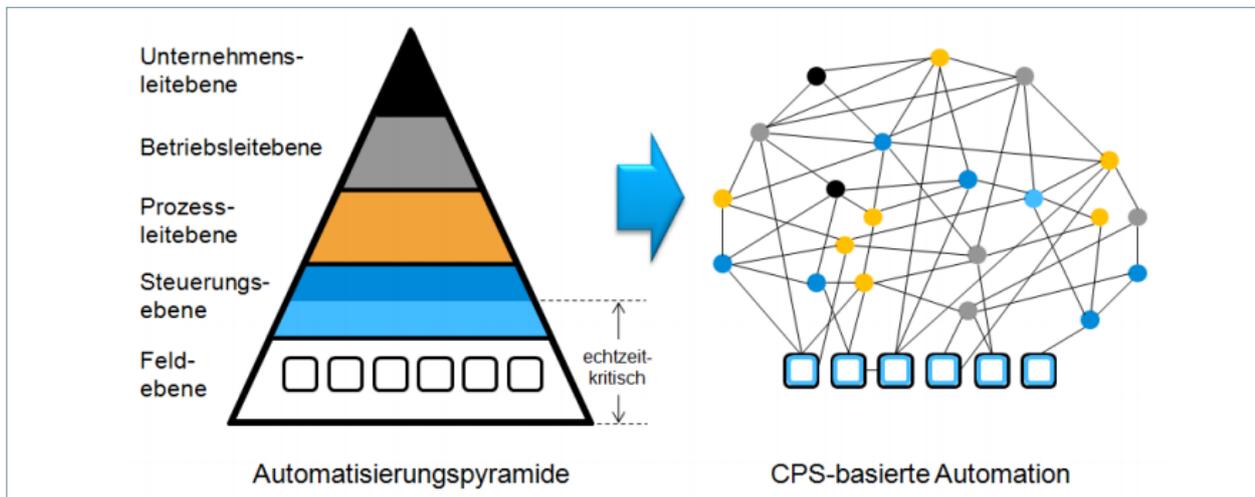


BILD 2: Automatisierungspyramide versus CPS-basierte Automation. aus: VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation, April 2013

Strukturierung dar und lässt völlig offen, auf welchen Komponenten diese Funktionen implementiert werden. Sie erinnert auch an die unterschiedlichen Anforderungen für die verschiedenen Ebenen – schließlich garantieren viele Netzwerke keinerlei Echtzeitverhalten. Und sie macht auch klar, dass eine strukturierte Verwendung der Daten sinnvoll ist: Zum Beispiel kann ein Vorstand über integrierte Systeme die Temperatur in einem Kessel ablesen, aber ist das wirklich seine Aufgabe? Darüber hinaus ist die Automatisierungspyramide weitgehend konform zu den Ebenen (levels) der IEC 62264 („Enterprise Control System Integration“) [5]. Und – nicht zuletzt – verwendet dieses Handbuch die Automatisierungspyramide als Grundlage seiner Gliederung.

1.3.3 MESSEN

Das Messen dient der Erfassung von Information über den aktuellen Prozesszustand.

Außer der Erfassung analoger physikalischer Größen (z. B. Temperatur, Druck, Durchfluss, Füllstand, Drehzahl, Analysenmesswert) soll hier auch die Erfassung binärer Zustände über binäre Sensoren (z. B. Berührungsschalter, Näherungsschalter = „Initiatoren“, Lichtschranken, Grenzsignalgeber für Füllstand) unter dem Begriff „Messen“ eingeschlossen werden. Im weiteren Sinn soll auch die Vorverarbeitung der Signale, ihre Übertragung bis hin zum Prozessleitsystem (PLS) und die dortige Weiter-Vorverarbeitung bis zum Erhalt eines den Messwert repräsentierenden Variablenwerts berücksichtigt werden.

Dann ergeben sich für **analoges Messen** (d. h. für das Messen einer analogen physikalischen Größe) folgende Funktionen:

- ggf. **Geberfunktion:** Umformung der physikalischen Größe durch einen Messwertgeber (Fühler, Sensor, z. B. Pt 100)

in eine für einen Messumformer geeignete elektrische oder pneumatische Größe.

- **Messumformer-Funktion:** Umformung des Gebersignals durch einen Messumformer (engl. „transducer, transmitter“) entweder in ein standardisiertes analoges Signal (meist 4 – 20 mA) oder in einen digitalen Wert für die Übertragung über eine digitale Kommunikationsschnittstelle. *Anmerkung: In vereinfachender Sichtweise, eigentlich nicht ganz korrekt, wird der Begriff „Sensor“ oft für die gesamte Messeinrichtung (einschließlich Messumformer, nicht nur Messwertgeber) verwendet. Messwertgeber und Messumformer sind nicht immer getrennt, sie können zu einem Messgerät vereinigt sein. Bei komplizierteren Messverfahren übernimmt das Messgerät auch die erforderliche Steuerung des Messablaufs.*
- **Übertragung** über Kabel (seltener: Lichtwellenleiter oder drahtlos) direkt oder indirekt (über ein Remote-I/O-System) in den Schaltraum, entweder als analoges Signal oder über eine digitale Kommunikationsschnittstelle (z. B. Feldbus, siehe Kapitel 2.2).
- **Speisung** des Messumformers (elektrische Energie-speisung bei Zweileiter-Messumformern, über ein Messumformer-Speisegerät oder über geeignete Eingänge des PLS oder über den Feldbus).
- **Ex-Trennung** (im Messumformer-Speisegerät oder über geeignete Eingänge des PLS bzw. eigensicherer Feldbus-Anschluss, siehe Kapitel 2.1 und 5.3).
- **Messwert-Erfassung** analoger Signale über einen Analog-Digital-Umsetzer bzw. Erfassung der Werte, die über ein Kommunikationsprotokoll übertragen werden.
- **Vorverarbeitungsfunktionen** (diese können teils schon im meist prozessorbestückten Messumformer, teils im PLS realisiert sein):

- analoge Tiefpassfilterung (anti-aliasing),
- Erfassung und Digitalisierung,
- digitale Filterung,
- Linearisierung (Kompensation nichtlinearer Kennlinien),
- Skalierung (Umrechnung in physikalische „Engineering“-Einheiten oder in normierte Wertebereiche wie 0 bis 100 %).

Für die **Erfassung binärer Zustände** sind Geberfunktion, Übertragung, Speisung, Ex-Trennung und Erfassung des Wertes im PLS erforderlich. Typische Vorverarbeitungsfunktionen sind hierbei:

- Entprellung (vor allem im Fall elektromechanischer Kontakte),

- evtl. Inversion zur richtigen Zuordnung der zwei Zustände zur logischen „0“ und „1“.

Manchmal kann eine Größe ohne direkte Messung indirekt aus anderen Messgrößen und ggf. zusätzlich aus bekannten Stellgrößen berechnet werden („**Soft-Sensor**“), wenn ein geeignetes Prozessmodell verfügbar ist. Im einfachsten Fall kann dies ein statischer Zusammenhang sein (z. B. zwischen den Zustandsgrößen von Gasen). Im allgemeineren Fall benötigt man ein (meist nichtlineares) dynamisches Modell, das innerhalb eines „Zustandsbeobachters“ oder „Zustandsschätzers“ verwendet wird (wie in der Theorie der Zustandsregelungen).

1.3.4 STELLEN

Das Stellen dient der Beeinflussung des Prozesses, zumeist durch Veränderung von Stoff- oder Energieströmen mittels Stellgeräten (z. B. Ventilen) oder Antrieben. Das Stellsignal wird entweder automatisch erzeugt durch Regelungs- oder Steuerungsfunktionen oder manuell durch den Bediener eingestellt. Zu unterscheiden ist eine stetige Verstellung (analoges Stellen) und ein Schalten (binäres Stellen). Beim analogen Stellen ist auf der Softwareseite eine zumeist lineare Skalierung der Stellgröße auf den Stellbereich erforderlich. Eine statische Nichtlinearität kann zur Kompensation einer nichtlinearen statischen (Betriebs-)Kennlinie dienen. Stetig verstellbare Stellgeräte (meist „Regelventile“) sind oft mit einem Stellungsregler (Positionsregler) kombiniert, dessen Sollwert durch das ansteuernde Stellsignal vorgegeben wird. In vereinfachender Sichtweise wird oft das gesamte Stellgerät mit Stellungsregler als „Aktor“ (engl. „actuator“) betrachtet. Der in solchen Stellgeräten meist enthaltene Prozessor kann möglicherweise weitere Prozessleitfunktionen übernehmen, die über die Funktion „Stellen“ hinausgehen.

Nicht weiter betrachtet werden hier die umfangreichen Steuerungs- und Regelungsfunktionen, die in der Antriebselektronik von Antriebssystemen enthalten sein können und die über das eigentliche Stellen von Position oder Drehzahl oder Drehmoment hinausgehen. In der Verfahrenstechnik ist vor allem das Einstellen der Drehzahl von Antrieben (z. B. für Pumpen oder Rührer) mittels ansteuerbarer Frequenzumrichter von Bedeutung.

1.3.5 STEUERN

Unter „Steuern“ werden hier binäre Steuerungsfunktionen verstanden (nicht jedoch das vom Regeln zu unterscheidende Steuern mit analogen Stellgrößen). Beim binären Steuern wird unterschieden zwischen Verknüpfungssteuerungen und Ablaufsteuerungen.

Bei **Verknüpfungssteuerungen** stehen logische Verknüpfungen (boolesche Funktionen) im Vordergrund. Darüber hinaus werden oft Zeitglieder benötigt (z. B. Ein- oder

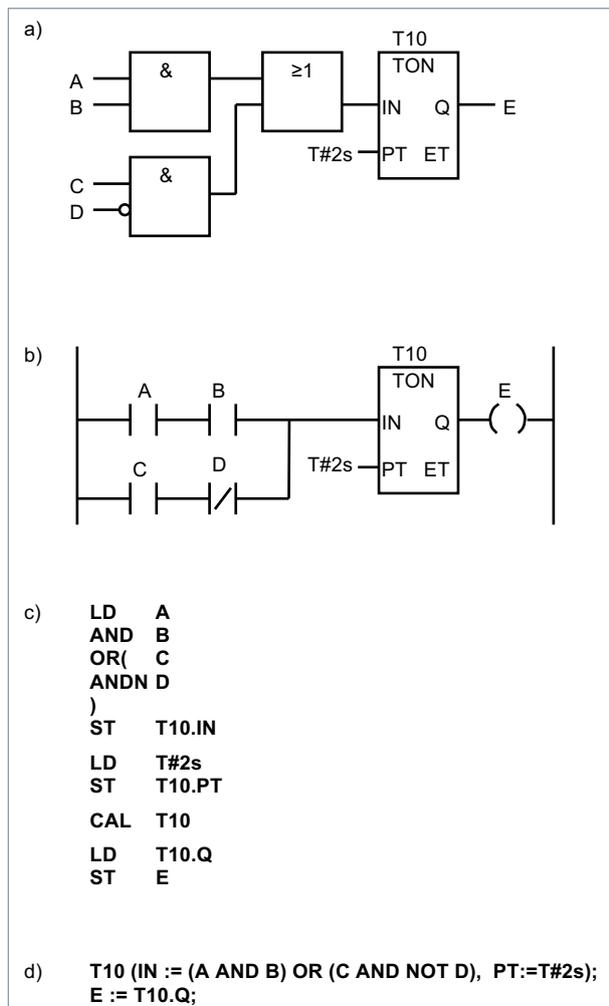


BILD 3: Beispiel für eine Verknüpfungssteuerung mit booleschen Funktionen und Einschaltverzögerung (TON), dargestellt in der Funktionsbausteinsprache FBS (function block diagram, FBD) nach IEC 61131-3 [6]

Ausschaltverzögerung, Impulsglied). Zähler dienen zum Zählen von Impulsen / Flanken eines binären Signals. Der Vergleich zweier numerischer Werte (größer, größer gleich, usw.) ist oft die Quelle eines binären Signals. Auch Auswahlfunktionen zur Umschaltung zwischen verschiedenen Signalen werden gelegentlich benötigt. Ein Beispiel für eine Verknüpfungssteuerung zeigt Bild 3.

Eine **Ablaufsteuerung** ist durch einen schrittweisen Ablauf gekennzeichnet, bei dem in jedem Schritt bestimmte Aktionen stattfinden können. Das Weiterschalten von Schritt zu Schritt kann zustandsabhängig (abhängig vom erreichten Prozesszustand) oder zeitabhängig erfolgen. Die Sequenz von Schritten kann auch Alternativverzweigungen oder Parallelverzweigungen enthalten.

Für die Programmierung von Ablaufsteuerungen wird in SPS und PLS meist die Ablaufsprache AS (sequential function chart, SFC) verwendet. Ein Beispiel zeigt Bild 4.

Solche Strukturen aus Schritten und Transitionen können als ein einfacher Sonderfall von Petrinetzen [7, 8] angesehen werden, wobei die Verbindungslinien als von oben nach unten gerichtete Kanten anzusehen sind. Anfangsschritte (Rechtecke mit doppelter Umrahmung) sind im Anfangszustand gesetzt. In der SFC schaltet eine Transition (ausgefüllter Querbalken), wenn alle ihre Vorgängerschritte gesetzt sind und alle ihre Nachfolgerschritte nicht gesetzt sind und wenn zusätzlich die an der Transition angegebene Transitionsbedingung erfüllt ist. Das Schalten der Transition bewirkt dann das Rücksetzen aller ihrer Vorgängerschritte und das Setzen aller ihrer Nachfolgerschritte.

Bei gesetztem Schritt sind die zugehörigen Aktionen („Befehle“) aktiv. Das genaue Verhalten hängt von einem „Action Qualifier“ ab, z. B.:

- N nichtgespeichert (d. h. nur solange der Schritt gesetzt ist),
- S speichernd setzen (bleibt auch nach Verlassen des Schritts gesetzt),
- R speichernd rücksetzen,
- D einschaltverzögert (verzögert nach Setzen des Schrittes),
- L zeitlich begrenzt (definierte Impulsdauer)

oder Kombinationen davon. Weitere Details hierzu sind der Literatur [7, 9] zu entnehmen.

1.3.6 REGELN

Auch die Weiterverarbeitung von Messwerten sowie Regelungen können in grafischer Form wie in der Funktionsbausteinsprache FBS beschrieben werden, so auch bei der Programmierung / Konfigurierung von SPS und PLS. Diese Pläne werden manchmal auch „continuous function chart“ (CFC) genannt.

Die grafischen Blöcke mit ihren Ein- und Ausgangssignalen stellen entweder Funktionen (functions) oder Funktionsbausteine (function blocks) dar. Bei Funktionen sind die

Ausgangsgrößen nur von den momentanen Werten der Eingangsgrößen abhängig. Funktionsbausteine besitzen auch innere Zustandsgrößen (interne Speichervariablen), die abhängig sind vom Anfangszustand und vom gesamten zeitlichen Verlauf der Eingangsgrößen (vom Anfangszeitpunkt in der Vergangenheit bis zur Gegenwart). Entsprechend sind die Ausgangsgrößen nicht nur von den momentanen Eingangsgrößen, sondern auch von den momentanen Zustandsgrößen abhängig und damit auch von der Vergangenheit der Eingangsgrößen.

Typische Funktionen sind

- arithmetische Ein-Operanden-Funktionen (ABS, SIN, COS, TAN, ASIN, ACOS, ATAN, Exponentiation, Logarithmus, Wurzel, Begrenzung, statische Nichtlinearität),
- arithmetische Mehr-Operanden-Funktionen (ADD, SUB, MUL, DIV, Modulo, ...),
- Auswahlfunktionen,
- Vergleichsfunktionen.

Typische Funktionsbausteine sind z. B.:

- Regler (vor allem PID-Regler),
- weitere dynamische Übertragungsglieder (Differentiation, Integration, Totzeit, allgemeine Übertragungsglieder 1. und 2. Ordnung, gleitende zeitliche Mittelwertbildung).

Jedes PLS hat einen umfangreichen Vorrat herstellerspezifischer Funktionsbaustein-Typen. Ein geeigneter Vorrat an herstellerneutralen Funktionsbaustein-Typen ist in [10] vorgeschlagen. Bei Bedarf können in den meisten PLS neue Funktionsbaustein-Typen mittels grafischer FBS oder mittels Programmierung im „strukturierten Text“ definiert werden und anschließend mehrfach verwendet werden (Prinzip der Kapselung, Wiederverwendbarkeit bewährter Bausteine).

Regelungsfunktionen werden ausführlich im Kapitel 5.3 (Industrielle Regelung) behandelt. Unter anderem werden in 5.3 die PID-Basisregelungen und die Anforderungen an die Eigenschaften des Reglers und damit des Regler-Funktionsbausteins betrachtet (u. a. stoßfreie Umschaltung der Betriebsarten, Anti-Windup-Maßnahme). In einem PLS stehen typischerweise solche Reglerbausteine zur Verfügung, in einer SPS muss in der Regel ein entsprechender Baustein erst programmiert werden.

Über solche PID-Basisregelungen hinaus werden häufig strukturelle Varianten (erweiterte Regelungsstrukturen, siehe 5.3) verwendet. Dazu gehören Kaskadenregelung, Verhältnisregelung, Störgrößenaufschaltung, Totzeitkompensation, Override-Regelung, Gain Scheduling, Entkopplung bei Mehrgrößenregelungen.

Bezüglich höherer Regelungsfunktionen finden sich weitere Verweise im Kapitel 5.3 (höhere Prozessleitfunktionen). Modellbasierte prädiktive Regelungen werden ausführlich in Kapitel 5.6 behandelt.

1.3.7 ÜBERWACHUNG UND DIAGNOSE

Überwachung (Monitoring) beruht auf der Erfassung und Auswertung von Daten mit dem Ziel,

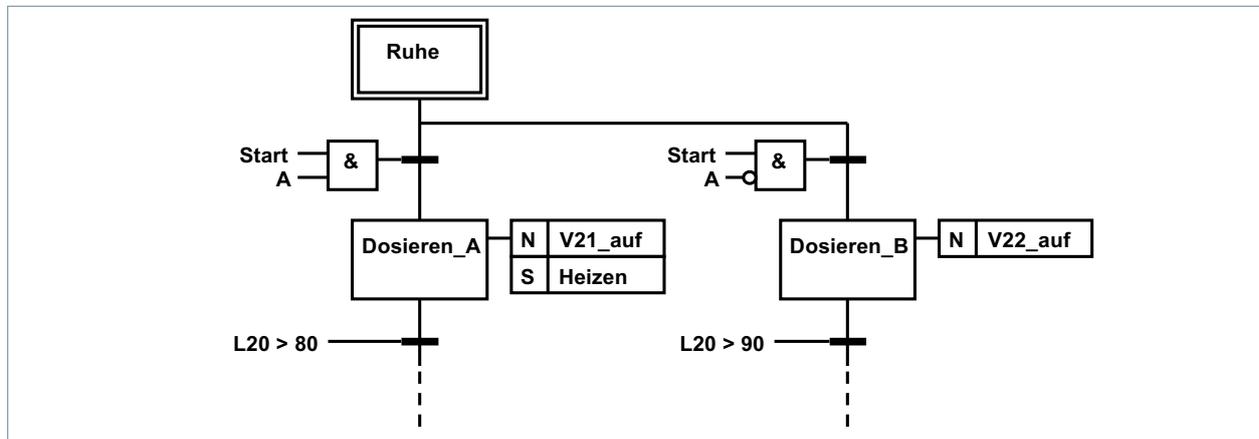


BILD 4: Beispiel für eine Ablaufsteuerung (hier mit Alternativverzweigung), dargestellt in der Ablaufsprache AS (sequential function chart, SFC) nach IEC 61131-3

- unerwünschte Zustände (Fehlerbereich) oder unbefriedigendes Verhalten (schlechter „performance index“) des Prozesses oder von Teilen des Prozesses zu erkennen,
- oder den Zustand („condition“) von Anlagenkomponenten zu bewerten,
- oder Fehler oder Ausfälle von Anlagen- oder Automatisierungskomponenten zu erkennen.

Die Frage der Diagnose, der eigentlichen Ursache und die automatische oder manuelle Einleitung von Gegenmaßnahmen gehen darüber hinaus.

Signalbasierte Überwachung des Prozesszustands

Am weitesten verbreitet ist die signalbasierte Überwachung, bei der Messwerte oder andere errechnete Werte mit oberen oder unteren Grenzwerten verglichen werden. Daraus resultiert eine Klassifikation des Prozesszustands in die Klassen „Gutbereich“ oder „Fehlerbereich“. Eine Überwachungseinrichtung spricht also an der Grenze zwischen Gutbereich und Fehlerbereich an. Eine Alarmmeldung an das Bedienpersonal mit nachfolgenden Bedieneingriffen oder eine automatische Reaktion sollen dann dafür sorgen, dass der Prozess wieder in den Gutbereich zurückgebracht wird. *Anmerkung: Keine Überwachungseinrichtungen, sondern Sicherheitseinrichtungen sind solche, die vor dem Erreichen der Grenze zwischen zulässigem und unzulässigem Fehlerbereich ansprechen und Gefahren für Menschen oder Umwelt vermeiden sollen; dies sind Fragen der Sicherheit, die in Kapitel 7.3 behandelt werden.*

Invariante Grenzwerte und situationsunabhängig aktive Überwachungen können zu sehr häufigen Alarmmeldungen führen, so dass viele Alarmmeldungen vom Bedienpersonal nicht mehr ernst genommen werden. Daher ist schon bei der Projektierung darauf zu achten, dass

- Grenzwertüberwachungen gegebenenfalls situationsabhängig deaktiviert werden, wenn eine Grenzwertverletzung ohne vorliegenden Fehlzustand zu erwarten ist, z. B. in bestimmten Phasen der Ablaufsteuerung, beim An- oder Abfahren,
- Grenzwerte gegebenenfalls situationsabhängig (z. B. abhängig von der Phase der Ablaufsteuerung, abhängig vom Rezept) verändert werden.

Modellbasierte Überwachung des Prozesszustands

Bei manchen Prozessen wäre eine Überwachung mittels dynamischer Modelle angemessen oder sogar erforderlich. Denn es ist möglich, dass die rein statische signalbasierte Überwachung einen Prozesszustand in den Gutbereich klassifiziert, obwohl sofortige Maßnahmen erforderlich wären, um ein späteres Verlassen des Gutbereichs noch verhindern zu können. So eine Situation kann nur erkannt werden, wenn die Dynamik des Prozesses berücksichtigt wird (man denke z. B. an Kernspaltungs-Reaktoren).

Überwachung von Regelkreisen

Auch schlecht funktionierende Regelkreise können Ursache nicht nur für schlechtes Regelkreisverhalten, sondern auch für häufige Alarmmeldungen sein. Schon eine Analyse der Häufigkeit der Alarmmeldungen und der Bedieneingriffe (Meldearchivanalyse) erlaubt die Erkennung solcher Problem-Regelkreise. Unter dem Begriff „Controller Performance Monitoring“ (siehe Kapitel 5.3) existieren heute ausgefeilte Methoden, solche Problem-Regelkreise nicht nur zu erkennen, sondern auch die Ursache des unbefriedigenden Verhaltens zu diagnostizieren, um dann Abhilfe schaffen zu können.

Condition Monitoring

Anlagenkomponenten und ebenso produktberührende oder mechanisch sich bewegende Automatisierungskomponenten (z. B. Stellgeräte, produktberührende Messeinrichtungen) können durch Verschleiß oder durch Ablagerungen (engl. „fouling“) ihre Eigenschaften allmählich verändern. Ihren Zustand zu erkennen und zu bewerten („condition monitoring“) spielt eine Rolle für die zustandsabhängige Instandhaltung (siehe Kapitel 7.7).

Gewisse Diagnosefunktionen bieten heute intelligente Feldgeräte („Asset Management“, jedoch beschränkt auf die Feldgeräte).

Für die eigentlichen Anlagenkomponenten erfolgt heute noch recht selten ein automatisiertes Condition Monitoring, da hierzu in der Regel mangels direkter Messmöglichkeiten aufwändige modellgestützte Verfahren notwendig sind.

Fehlererkennung und Fehlerdiagnose

Als Fehler gilt der Ausfall oder das Versagen einer an der Gesamtfunktion beteiligten Komponente, entweder einer Anlagenkomponente oder einer Hardware- oder Softwarekomponente, die Automatisierungsfunktionen realisiert. Man unterscheidet

- Fehlerdetektion (Erkennung, dass ein Fehler aufgetreten ist) und
- Fehlerisolation (Erkennung, welcher Fehler aufgetreten ist).

Entsprechende Maßnahmen sind in den meisten Anlagen noch sehr beschränkt. Üblich sind

- Systemfehlermeldungen des PLS und anderer Rechensysteme (erkannte Fehler innerhalb der Rechner oder bei deren Kommunikation),
- Erkennung defekter Feldgeräte durch nichtplausible Messwerte oder unzulässige Signalpegel bei analogen oder binären Prozess-E/A-Signalen,
- Diagnoseergebnisse intelligenter Feldgeräte über ihren eigenen Zustand (z. B. Stellgerät-Diagnose).

Erst die Verknüpfung verschiedener Mess- und Stellgrößen, z. B. mit Hilfe von statischen oder dynamischen Modellen, lässt Rückschlüsse auf den Zustand weiterer Anlagenkomponenten zu. Die Theorie bietet hierfür eine Vielzahl von geeigneten Methoden [11] an, die aber zumeist ein – möglicherweise vereinfachtes – Modell des Prozesses erfordern.

1.3.8 HÖHERE PROZESSLEITFUNKTIONEN

Der Begriff „Höhere Prozessleitfunktionen“ ist nicht eindeutig definiert. Kriterien können die Komplexität der Funktionalität, aber auch die Anordnung in der Hierarchie der Automatisierungsfunktionen sein. Eine höhere Hierarchieebene liegt vor, wenn die betrachtete Funktion Stellgrößen nicht selbst ausgibt, sondern unterlagerte Basis-Steuerungen oder

Basis-Regelungen beeinflusst, z. B. durch Sollwert-Vorgaben für unterlagerte Regler.

Zu den höheren Prozessleitfunktionen zählt die Steuerung des Ablaufs im Fall von Rezeptfahrweisen, die im Kapitel 5.5 ausführlich besprochen werden. Übergeordnete Steuerungen von Produktionsabläufen in der Fertigungstechnik werden in diesem Handbuch nicht behandelt.

In der Hierarchie der Regelungsfunktionen können darüber noch modellbasierte prädiktive Regelungen (MPC, model predictive control, siehe Kapitel 5.6) stehen, die typischerweise nur die Sollwerte der unterlagerten Regelungen vorgeben. Die Sollwerte der MPC-Regler können wiederum aus einer statischen Arbeitspunktoptimierung resultieren. Die aus der Regelungstheorie bekannten Zustandsregelungen spielen in der Prozessindustrie keine große Rolle. Sie erfordern geeignete dynamische Prozessmodelle. Jede Änderung am Prozess, die zu verändertem Verhalten führt, erfordert ein aufwändiges Re-Engineering solcher Regelungen.

LITERATUR

- [1] Polke, M.: Prozessleittechnik für die Chemie – Status und Trend. Automatisierungstechnische Praxis atp (27) 1985 H. 5, S. 214 – 223.
- [2] DIN EN 62424:2010-01; VDE 0810-24:2010-01: Darstellung von Aufgaben der Prozessleittechnik – Fließbilder und Datenaustausch zwischen EDV-Werkzeugen zur Fließbilderstellung und CAE-Systemen (IEC 62424:2008).
- [3] Vogel-Heuser, B., Kegel, G., Bender, K., Wucherer, K.: Global Information Architecture for Industrial Automation. In: Automatisierungstechnische Praxis atp (51) 2009 H. 1, S. 108 – 115.
- [4] VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik: Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. April 2013.
- [5] IEC 62264-1:2013: Enterprise-control system integration – Part 1: Models and terminology.
- [6] DIN EN 61131-3:2014-06: Speicherprogrammierbare Steuerungen – Teil 3: Programmiersprachen (IEC 61131-3:2013).
- [7] Pickhardt, R.: Grundlagen und Anwendung der Steuerungstechnik – Petri-Netze, SPS, Planung. Vieweg Wiesbaden 2000.
- [8] Reisig, W.: Petrinetze – Modellierungstechnik, Analysemethoden, Fallstudien. Vieweg+Teubner Wiesbaden 2010.
- [9] John, K.-H., Tiegelkamp, M.: SPS-Programmierung mit IEC 1131-3. 4. Aufl. Springer Berlin 2009.
- [10] [VDI/VDE 3696 Blatt 2:1995-10: Herstellerneutrale Konfigurierung von Prozessleitsystemen – Standard-Funktionsbausteine. Dokument zurückgezogen.
- [11] Ding, S. X.: Model-Based Fault Diagnosis Techniques. Springer Berlin 2013.

2.3 SMARTE SENSOREN UND AKTOREN

DIETER SCHAUDEL (2.3.1), JÖRG KIESBAUER (2.3.2)

2.3.1 SMARTE SENSOREN

2.3.1.1 Was ist ein Sensor, was ein „Smart Sensor“?

Eine gute Frage! Denn verbindlich definiert, gar in einem internationalen Standard, scheinen die Begriffe nicht zu sein. Selbst in Wikipedia [1] herrscht dazu Resignation: „Die Abgrenzung der Begriffe Sensor und Messgrößen-aufnehmer, Messfühler, Messgerät, Messeinrichtung etc. ist fließend, da dem Sensor zusätzlich zum eigentlichen Aufnehmer teilweise weitere Elemente der Messkette zugeordnet werden. Auch verwandte Begriffe sind in der Literatur nicht eindeutig definiert.“ Beispielsweise definiert die AMA in [2] einen Sensor so (Bild 1): „Eine Messgröße wird durch das physikalische Messprinzip des Sensorelements in ein internes Signal gewandelt. Nach evtl. elektronischer Weiterverarbeitung steht am Ausgang der Messwert als elektrisch verwertbares oder elektrisches Signal zur Verfügung – im einfachen Fall z. B. eine einfallende Lichtintensität als analoger Spannungswert.“ Vorsichtshalber wird dann im Weiteren darauf verzichtet, zu definieren, was ein „Smart Sensor“ sei. Das übernimmt dafür Wikipedia [3] wie folgt: „Ein Smart-Sensor (auch Smartsensor oder intelligenter Sensor, engl. smart sensor) ist ein Sensor, der neben der eigentlichen Messgrößenerfassung auch die komplette Signalaufbereitung und Signalverarbeitung in einem Gehäuse vereinigt. Solche komplexen (sic!) Sensoren beinhalten meist u. a. einen Mikroprozessor oder Mikrocontroller, wenn nötig auch zusätzlich mit DSP-Funktionalität und dergleichen mehr ausgestattet, komplexe (sic!) Logikeinheiten wie z. B. FPGAs, ... und stellen standardisierte Schnittstellen zur Kommunikation mit übergeordneten Systemen bereit, z. B. über Feldbussysteme, Sensornetze oder ... Weil sie sozusagen „Intelligenz“ besitzen, werden diese Sensoren als „smart“ bezeichnet. Auf diese Weise soll die komplette anspruchsvolle Aufgabe solcher Sensoren ohne einen externen Rechner erfüllt werden – und dafür gibt es gute Gründe, wie zum Beispiel Miniaturisierung, Dezentralisierung, Erhöhen der Zuverlässigkeit, Reduzieren der Kosten, Verbessern der Flexibilität. Die technologische Basis dafür, dass solche komplexen (sic!) intelligenten Sensoren in Miniaturform überhaupt realisiert werden können, bieten u. a. die Mikro-technik, die Mikrosystemtechnik und die Nanotechnologie.“ Eine heute gebräuchliche Definition beschreibt [4] einen Smart Sensor (Bild 2) als ein System, das

- ein digitales Ausgangssignal liefert, häufig über ein standardisiertes Interface; bei autarken Systemen auch über eine drahtlose Datenverbindung,
- über eine Adresse ansprechbar ist und eine bidirektionale digitale Schnittstelle aufweist,
- Befehle und logische Funktionen ausführt (komplizierte Messwertverarbeitung bis hin zur Messwertbewertung),
- umfangreiche Abgleich- und Diagnosefähigkeiten besitzt,
- meistens einen Datenspeicher und, vor allem bei autarken Systemen, einen Energiespeicher aufweist.

Ein Smart Sensor ist geeignet, die steigenden Anforderungen an die Sensorik bezüglich

- Miniaturisierung, näherer Heranführung der Sensoren an die Messgrößen,
- höherer Genauigkeit und Zuverlässigkeit,
- Erfassung und dezentraler Verarbeitung räumlich verteilter Messdaten,
- Kombination unterschiedlicher Sensordaten (Sensorfusion),
- (drahtloser) Vernetzung und Autarkie,
- höherer Zuverlässigkeit und geringerer Wartung,
- Kostenreduktion

zu erfüllen und damit neue Anwendungen für die Sensorik im Bereich Condition Monitoring, eingebetteter Systeme oder verteilter, großzelliger Steuer- und Regelsysteme zu erschließen.

2.3.1.2 Anforderungen an Prozesssensoren

Prozesssensoren beschaffen Informationen aus verfahrenstechnischen Prozessen. Basisanforderungen sind Robustheit, mechanische Stabilität und Chemietauglichkeit. Sie sollen den beobachteten Prozess weder chemisch noch thermodynamisch noch strömungsmechanisch beeinflussen.

Die allgemeinen Anforderungen gehen über diejenigen an Sensoren in anderen Branchen weit hinaus [5]. Dazu zählen insbesondere der Explosionsschutz (Kapitel 2.1) und Hygieneanforderungen, aber auch die Anforderung an die funktionale Sicherheit (Kapitel 7.3). Diese erfordern in den meisten Fällen explizite **Zertifizierungen**. Eine Besonderheit stellen darüber hinaus Anforderungen der regulierten Industrien (z. B. der Pharmabereich) dar, wo nicht nur der Sensor vorgeschriebene konstruktive Vorgaben einhalten muss, sondern auch die Entstehungs- und Produktionsprozesse dieses Sensors besondere Ansprüche erfüllen müssen.

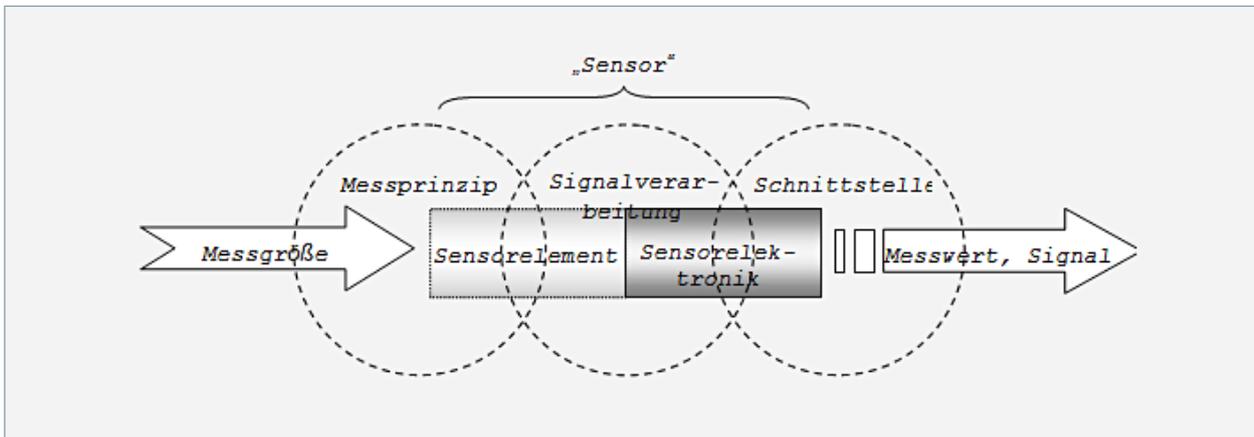


BILD 1: Einordnung des Begriffs „Sensor“ der AMA [2] – Eine Messgröße wird durch das physikalische Messprinzip des Sensorelements in ein internes Signal gewandelt. Nach evtl. elektronischer Weiterverarbeitung steht am Ausgang der Messwert als elektrisch verwertbares oder elektrisches Signal zur Verfügung.

Ein Prozesssensor muss alle in Frage kommenden Betriebsbedingungen (wie Betrieb, Stillstand, Wartung, Reinigung, ...) mit entsprechenden Reserven berücksichtigen. Für den Betreiber ist eine **Interoperabilität** wünschenswert, um ohne Verifikation oder sogar Validierung neue Bauarten und verbesserte Versionen von Prozesssensoren direkt einsetzen zu können.

Der Prozesssensor soll die aus Sicht der Prozessführung maßgebliche Messgröße selbst generieren. Das zur Erzeugung der Messgröße notwendige Beziehungswissen sollte in ihm konzentriert und nicht auf höheren Steuerungsebenen verteilt sein. Ein idealer Prozesssensor benötigt keine Kalibrierung oder Justierung. Zur Aufwandsbegrenzung stehen verschiedene wirksame Strategien zur Verfügung, die ein Sensorsystem ermöglichen sollte:

- Selbständige, explizite Ermittlung eines Justierungsbedarfes, so dass eine Kalibrierung und Justierung nur dann erfolgen muss, wenn sie wirklich notwendig ist.
- Anstelle einer Vor-Ort-Kalibrierung der Austausch von kalibrierten Sensorelementen, die vorher an zentraler Stelle deutlich effizienter und ökonomischer kalibriert und justiert werden.
- Eine automatisierte Kalibrierungsprozedur, die im Sensor integriert ist, bei Bedarf automatisch gestartet und auf den Bedarf hin angepasst werden kann.

Weder die Investitionskosten noch die Instandhaltungskosten sind isoliert zu betrachten. Vielmehr ist betriebswirtschaftlich das Minimum der Gesamtkosten TCO (Total Cost of Ownership) anzustreben. Hierbei sind die notwendigen Verfügbarkeiten im Sinne einer sogenannten RCM (Reliability Centered Maintenance) zu berücksichtigen, d. h. die Ausrichtung der Instandhaltungsaktivitäten auf die geforderte Verfügbarkeit. Dieses steht auch vor dem Hintergrund von Kosten durch Nichtverfügbarkeit.

Falls Kennlinien oder Kalibrierdaten zum Betrieb des Sensors in diesen implementiert sind, muss der valide Transfer dieser Daten sichergestellt sein – etwa nach einem Austausch fehlerhafter Teile. Hier ist hervorzuheben, dass Kennlinien und Kalibrierdaten in der Regel einen hohen wirtschaftlichen Wert darstellen.

Die aus Sicht der Prozessführung interessierende Messgröße muss ohne externes Beziehungswissen interpretierbar sein. Dabei soll den eigentlichen Messwerten stets eine Information über die Vertrauenswürdigkeit dieses Messwerts mitgegeben werden.

TABELLE 1: Generische Anforderungen an heutige Prozesssensoren

Generische Anforderungen an Prozesssensoren 2.0 / 3.0
eindeutige Marktspezifikation (Markt- und Wettbewerbssituation, Kundennutzen, Preise und Stückzahlen, Vertriebs- und Servicestrategie)
berechenbar zuverlässig, sicher (Safety) und hoch verfügbar
für den vorgesehenen Einbauort (Umgebungsbedingungen, Kontakt mit dem Messgut und am Messort, ...) mechanisch, thermisch, chemisch und elektronisch (Security) dauerstandfest
konform mit den jeweils einschlägigen nationalen und internationalen Standards, Normen, Richtlinien, Sicherheitsvorschriften, Zulassungen, ...;
wartbar, nötigenfalls auch im laufenden Betrieb einfach austauschbar
keine (oder nur einfache) Kalibrier- oder Justiernotwendigkeit; Bedienung muss einfach und intuitiv sein

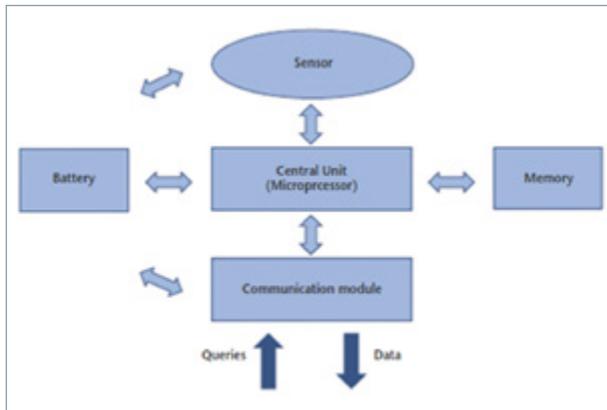


BILD 2: Smart Sensor [4]

TABELLE 2: Generische Zusatzanforderungen an smarte, „intelligente“ Sensoren und Sensorsysteme, nach [9]

wie in Tabelle 1, zusätzlich:
inhärent datensicher (Security!), kommuniziert verschlüsselt
liefert Information an standardisierter Schnittstelle in Echtzeit
verknüpft und bewertet Daten von unterschiedlichen Sensorelementen zu einer prozessrelevanten Information (Sensorfusion)
kann aktuelle Information mit vorgegebenen Mustern vergleichen
überwacht sich selbst auf Funktion und auf Richtigkeit der Information
kompensiert Abnutzung oder Verschleiß selbsttätig
meldet interne Störung oder Ausfall
meldet Arbeitsort, Einbaustelle
benötigt wenig Fläche und Raum
kann bei laufendem Betrieb störungsfrei eingebunden oder ausgetauscht werden
konfiguriert sich und seine externe Kommunikation selbst (plug & play)
ist jahrelang unverändert oder kompatibel lieferbar
ist in großen Stückzahlen kostengünstig herstellbar
ist energieautark
ist kommunikationsautark, hat eigene IP-Adresse
organisiert standardisierte bidirektionale Kommunikation selbsttätig: wireless, drahtgebunden oder optisch, im Dialog auch mit einer Cloud
verwendet bei der externen Kommunikation international standardisierte Semantik

Die Bedienung des Prozesssensors – sei es vor Ort, über das Leitsystem oder über ein Asset-Management-System – muss einfach und intuitiv sein. Die besonderen Rahmenbedingungen, die sich durch die Bedienung (andere Sprachen, wechselndes Personal etc.) sowie die verfahrenstechnische Anlage ergeben, müssen berücksichtigt werden. Prozesssensoren, die diese Anforderungen mindestens erfüllen, werden im Kapitel 3 „Prozessmesstechnik“ in all ihrer Vielgestaltigkeit im Detail beschrieben, geordnet nach den Messgrößen Druck, Temperatur, Füllstand, Durchfluss, Masse und Gewicht sowie für die Prozessanalyse. In Tabelle 1 sind die heutigen **generischen Anforderungen** an sie zusammengefasst.

2.3.1.3 Anforderungen an Smarte Sensoren und Sensorsysteme

Zunächst gelten die oben beschriebenen Anforderungen uneingeschränkt weiter. Zusätzlich werden nach dem heutigen Diskussionsstand um die Referenzarchitekturen von „Industrie 4.0“ (RAMI 4.0) [6] respektive „IIoT“ (Industrial Internet Reference Architecture des Industrial Internet Consortium IIC) [7] und den noch zu schaffenden Normen und Standards weitere Leistungen von einem Sensor beziehungsweise Sensorsystem erwartet:

- liefert Information, nicht nur Daten, und zwar in systemverständlicher, standardisierter Semantik in Echtzeit,
 - verknüpft und bewertet Daten von unterschiedlichen Sensorelementen zu einer prozessrelevanten Information,
 - kann seine aktuelle Information mit vorgegebenen Mustern vergleichen,
 - überwacht sich umfassend selbst auf Funktion und auf Richtigkeit der Information, kompensiert Abnutzung oder Verschleiß selbsttätig, meldet eine interne Störung oder seinen Ausfall, meldet seinen Arbeitsort,
 - benötigt extrem wenig Fläche und Raum und ist in großen Stückzahlen kostengünstig hochautomatisiert herstellbar,
 - ist energieautark, holt sich die benötigte elektrische Leistung aus der Umgebung und speichert sie (Energy Harvesting),
 - ist kommunikationsautark, hat eigene IP-Adresse, organisiert seine bidirektionale Kommunikation selbsttätig: wireless, drahtgebunden oder optisch, im Dialog mit einer Cloud,
 - ist inhärent datensicher (Security!), kommuniziert verschlüsselt,
 - kann bei laufendem Betrieb störungsfrei eingebunden oder ausgetauscht werden, konfiguriert sich und seine externe Kommunikation selbst („plug & play“),
 - ist jahrelang unverändert oder kompatibel lieferbar.
- Prozesssensoren sollen darüber hinaus weitere Leistungsmerkmale aufweisen [9]:
- enthalten ein Benutzerinterface zu Standardhardware (Smartphone, Tablet, ...) und können kontrolliert und IT-sicher ferngesteuert werden,

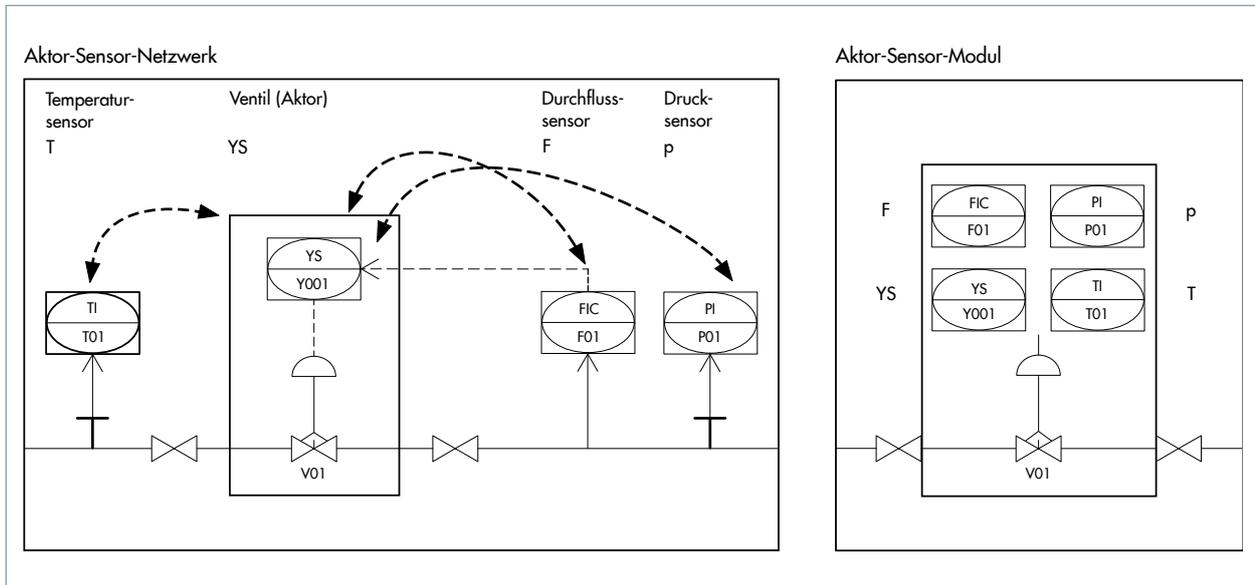


BILD 3: Smart Sensor [4]

- störungsfreie Kommunikation untereinander mit einheitlichem Protokoll (vorzugsweise OPC UA [8] und einheitlicher, international standardisierter Semantik
- im Hinblick auf Kalibrierung und Validierung muss die Gültigkeit der Sensorinformationen sichergestellt sein,
- automatisierte Updates der Sensorfirmware und der Bedienprogramme sind möglich,
- eine Sensorkalibrierung ist gegebenenfalls kompatibel zu den Anforderungen von Pharmaprozessen,
- für die Planung, Simulation und Überwachung der Prozessanlage werden virtuelle Modelle (3D-Modelle, Simulationsmodelle) bereitgestellt.

Smarte, „intelligente“ Prozesssensoren, die alle genannten Kriterien bereits erfüllen, sind derzeit (2017), noch nicht auf dem Markt. In den Entwicklungsabteilungen aller führenden Hersteller wird aber heftig daran gearbeitet, so dass ein praktikables Angebot ungefähr in 2022 erwartet werden kann. Hauptthemenschuhe sind derzeit noch die fehlende Standardisierung für die Semantik und für die Kommunikation sowie noch offene Fragen bezüglich der Security.

2.3.2 SMARTE AKTOREN

2.3.2.1 Allgemeine Anforderungen an Prozessaktoren

Aktoren setzen elektrische Signale (z. B. vom Prozessleitsystem) in mechanische Bewegung oder andere physikalische Größen (z. B. Druck oder Temperatur) um und greifen damit aktiv in den Prozess ein. Sie bilden in der Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik die Stellglieder

in einem Regelkreis [10]. Das Kapitel 4 „Prozessstelltechnik (Aktorik)“ widmet sich ausführlich den Hauptkomponenten solcher Aktoren. Danach werden Stellglieder in der Prozessautomatisierung vorwiegend als Stellventile realisiert. Sie bestehen aus

- dem eigentlichen Ventil – aufgrund von unterschiedlichsten verfahrens- und automatisierungstechnischen Prozessanforderungen – in sehr verschiedenen Ausführungen von der Stellklappe bis zum Hubstellventil,
- dem meist pneumatischen Antrieb in Kombination mit weiteren Anbaugeräten wie Stellungsregler, Magnetventile und Grenzsignalgeber
- oder alternativ dem in bestimmten Anwendungsfällen auch zum Einsatz kommenden elektrischen oder elektrohydraulischen Antrieb.

Tabelle 3 zeigt die heutigen generischen Grundanforderungen an Prozessaktoren.

Zusätzlich sei hier auch auf die Anforderungen an Prozesssensoren des Abschnitts 2.3.1.2 verwiesen. Eine Reihe dieser Anforderungen sind auch auf den Prozessaktor übertragbar.

2.3.2.2 Aktoren

In [9] wird der Begriff „Smart“ bezüglich Prozessautomatisierung als Maß für den Digitalisierungs- und Vernetzungsgrad einer Technologie und eines Prozesses verstanden, kurz umschrieben als „digitale Intelligenz“. Ansonsten sei auch hier auf die ausführliche Beschreibung der smarten Sensoren in 2.3.1.1 verwiesen.

Die smarten Eigenschaften von Stellventilen werden von den Mikroprozessoren digital-elektrischer Antriebe und

TABELLE 3: Generische Anforderungen an heutige Prozesssensoren

eindeutige Marktspezifikation (Markt- und Wettbewerbssituation, Kundennutzen, Preise und Stückzahlen, Vertriebs- und Servicestrategie)
berechenbar zuverlässig, sicher (Safety) und hoch verfügbar
für den vorgesehenen Einbauort (Umgebungsbedingungen, Kontakt mit dem Prozessmedium und am Messstellenort, ...) mechanisch, thermisch, chemisch und elektronisch (Security) dauerstandfest
konform mit den jeweils einschlägigen nationalen und internationalen Standards, Normen, Richtlinien, Sicherheitsvorschriften, Zulassungen, ...
wartbar, nötigenfalls auch im laufenden Betrieb einfach austauschbar
keine (oder nur einfache) Kalibrier- oder Justiernotwendigkeit; Bedienung muss einfach und intuitiv sein
die benötigte hohe Varianz aufgrund unterschiedlichster Prozessanforderungen ist durch ausgeprägte Modularisierung wirtschaftlich herstellbar

digital-elektropneumatischer Stellungsregler bei pneumatischen Antrieben bestimmt. Mikroprozessoren sind es, die digitale Intelligenz am Stellventil im obigen Sinne durch Datengewinnung und Funktionen erst ermöglichen. Bei Pumpen gibt es ebenfalls smarte Pumpenüberwachungseinheiten mit Diagnosefunktionen [11].

Trotz der genannten Möglichkeiten für die Aktorik werden heute weiterhin hauptsächlich Stellventile mit pneumatischen Stellantrieben und digital-pneumatischem Stellungsregler verwendet.

Grundsätzlich bieten digital arbeitende Stellungsregler eine Reihe von Funktionen für die eigentliche Hauptaufgabe – Ventilstellungsregelung bei pneumatischen Antrieben –, die bei nicht digitalen Stellungsreglern nicht möglich oder nur mit hohem Aufwand realisierbar sind. Hierüber gibt Kapitel 4.3.2.2 Aufschluss. Zusätzlich ermöglicht der digitale Stellungsregler weitere Funktionen in Form von Diagnosen über seine eigene Performance sowie hinsichtlich Stellventil, Antrieb, Anbaugeräten und Anlagenrandbedingungen (z. B. Druckluftversorgung). Detaillierte Informationen hierzu stehen in den Kapiteln 4.3.2.4, 4.3.2.5 und 4.3.4. Mit optionaler Ausrüstung des digitalen Stellungsreglers in Form von weiteren Sensoren für Antriebsdruck (integrierter Drucksensor im Stellungsregler), Körperschall (Beschleunigungssensor am Ventil) oder Druckschalter am Kontrollanschluss für Stopfbuchs- oder Balg-Abdichtungssysteme können die Diagnoseinformationen verfeinert und verifiziert werden [12, 13].

Die Diagnosemöglichkeiten beim Aktor Stellventil sind heute grundsätzlich mit mehreren hundert Parametern schon sehr mächtig. Allerdings ist ein Stellventil ein kompliziertes mechatronisches System aus mehreren Komponenten. Es ist zudem sehr unterschiedlichen Prozesszuständen wie Medium, Druck, Differenzdruck und Temperatur unterworfen, die die betrachteten Diagnoseparameter signifikant beeinflussen können. Dadurch sind die Diagnosemeldungen unter Umständen nicht eindeutig.

Ein Beispiel:

Der Stellungsregler erkennt den typischen Arbeitsbereich des Stellventils bezogen auf die Ventilstellung. Wenn dieser sich nun vom Normalöffnungsbereich von 70 % bis 90 % nach und nach in den Bereich von kleiner 30 % verschiebt, könnte Verschleiß am Drosselement, z. B. durch Kavitation, der Grund sein. Eine andere Erklärung könnte aber auch der merklich erhöhte Differenzdruck sein. Um für den Prozess weiterhin die gleiche erforderliche Durchflussmenge zu stellen, müsste das Stellventil dann weiter schließen. Für die Veränderung des Ventilbereiches gäbe es hier also zwei mögliche Ursachen.

Wären aber in diesem Fall die Prozessdaten des Stellventils bekannt, könnte die Diagnose eindeutig werden.

Im Sinne von Industrie 4.0 würde es also helfen, wenn der Aktor durch Vernetzung mit Sensoren aus seiner Umgebung solche Prozessinformationen nutzen könnte. Umgekehrt kann das natürlich genauso vorteilhaft für den Sensor sein. Aktor-Sensor-Systeme werden deshalb in Zukunft mehr und mehr an Bedeutung gewinnen.

In Anlehnung an Aussagen bei der NAMUR-Hauptsitzung 2014 zur smarten Sensorik [14] wird sich ein smarterer Aktor möglicherweise in Zukunft mehr zum Aktor/Sensor-System entwickeln, das

- mehrere Messgrößen erfasst und regelt,
- sich automatisch in die Anlagenarchitektur integriert,
- sich selbst kalibriert,
- sich im Netzwerk optimiert,
- mit Betriebsdaten korreliert,
- Handlungsanweisungen induziert.

Dabei gewinnt auch zunehmend das Thema „Softsensorik“ an Bedeutung. Die Messwerte werden dann nicht direkt gemessen, sondern aus vorhandenen Sensordaten und Simulationsmodellen berechnet.

Für Aktoren gibt es schon digitale Stellungsregler, welche die Drucksensorwerte, bezogen auf den pneumatischen Antrieb, so auswerten, dass Differenzdruck und Durchflussmenge für das Stellventil geschätzt werden können und daraus weitere Funktionen ermöglicht werden [13]. Durch Korrelation mit eventuell vorhandenen Messwerten könnten noch weitere Informationen abgeleitet werden. Noch interessanter wird es, wenn nicht nur Stellventile und Sensoren in einen Kontext gestellt werden, sondern auch Pumpen oder Verdichter in die Betrachtung einbezogen werden (vgl. Kapitel 4.4).

TABELLE 4: Generische Zusatzanforderungen an smarte, „intelligente“ Aktoren

ist inhärent datensicher (security), kommuniziert verschlüsselt
liefert Information an standardisierter Schnittstelle in Echtzeit
verknüpft und bewertet Daten von unterschiedlichen Sensorelementen zu einer prozessrelevanten Information (Aktor-Sensorfusion)
kann aktuelle Information mit vorgegebenen Mustern vergleichen
überwacht sich selbst auf Funktion und auf Richtigkeit der Information
kompensiert Abnutzung oder Verschleiß selbsttätig
meldet interne Störung oder Ausfall
meldet Arbeitsort und Einbaustelle
benötigt wenig Fläche und Raum
kann bei laufendem Betrieb störungsfrei eingebunden oder ausgetauscht werden
konfiguriert sich und seine externe Kommunikation selbst (Plug-and-Play)
ist jahrelang unverändert oder kompatibel lieferbar
ist in großen Stückzahlen kostengünstig herstellbar
ist energieautark
ist kommunikationsautark, hat eigene IP-Adresse
organisiert standardisierte bidirektionale Kommunikation selbsttätig: drahtlos, drahtgebunden oder optisch, im Dialog auch mit einer Cloud
verwendet bei der externen Kommunikation international standardisierte Semantik

Datenvernetzung auf horizontaler Ebene und Datenauswertung zur Gewinnung von Systeminformationen sind mehr und mehr gefragt. Alles in allem hat dieses Thema, getrieben durch Industrie 4.0, an Fahrt aufgenommen. Aktor-Sensor-Module sind, horizontal vernetzt, in der Lage, autonom (ohne Leitsystem) Prozessführungsaufgaben zu übernehmen.

Wichtig ist dabei auch eine schnellere, echtzeitnähere Datenübertragung z. B. durch Ethernet. Ethernet IP und ProfiNet sind wichtige Kommunikationswege der Zukunft. Im Hinblick auf die notwendige Verdrahtung ist auch hier ein Trend zu 2-Leiter-Lösungen von Bedeutung, vgl. Kapitel 2.2. Interessant werden auch die Entwicklungen und Möglichkeiten von schnelleren Mobilfunknetzen durch den neuen 5G-Standard sein.

Wenn sich der Aktor in die Anlagenarchitektur integriert, ist es auch wichtig, dass die Engineeringdaten z. B. über

Automation ML, OPC UA und/oder FDI zur Verfügung stehen. Es lassen sich dann sicherlich noch bessere Informationen im Kontext zum aktuellen und geplanten Betrieb gewinnen. Diagnosen lassen sich verfeinern und für Serviceingenieure nutzen, wenn bekannt ist, wofür das Stellventil „ins Feld geschickt wurde“ und wie es dann real eingesetzt wird. Diese Trends folgen den IT-fokussierten Industrie-4.0-Aspekten. Industrie 4.0 bietet aber auch Potenzial zu grundsätzlichen Überlegungen, ob die eingesetzten mechanischen Komponenten und Systeme an sich neu konzipiert werden sollten.

Bei den Aktoren könnten Energieautonomie (z. B. durch Energy Harvesting), die generelle Vermeidung von Undichtigkeiten (z. B. dichtunglose Ausführungen) sowie einfachere, variabelere und modularisierte Ventillinnenkomponenten spannende Innovationsfelder darstellen.

Zusammenfassend können die zukünftigen Entwicklungen und Anforderungen für smarte Aktoren wie auch bei den Sensoren in einer Tabelle (Tabelle 4) als Ergänzung zur Tabelle 3 dargestellt werden.

LITERATUR

- [1] Wikipedia [Zitat vom 08. März 2017]: de.wikipedia.org/wiki/Sensor [Online].
- [2] AMA Trendstudie: www.ama-sensorik.de/site/de/309/einzeldruckschriften.html.
- [3] Wikipedia [Zitat vom 08. März 2017]: de.wikipedia.org/wiki/Smart-Sensor [Online].
- [4] Sauerer, J.: Smart Sensors. AMA-FVEE-Workshop 2013.
- [5] VDI/VDE-GMA, NAMUR (Hrsg.): Technologie-Roadmap „Prozess-Sensoren 2015+“.
- [6] VDI Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). April 2015.
- [7] INDUSTRIAL INTERNET CONSORTIUM: Industrial Internet Reference Architecture. www.industrialinternetconsortium.org/IIRA.htm [Online].
- [8] OPC UA (Unified Architecture) – OPC Foundation: opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/ [Online].
- [9] VDI/VDE-GMA, NAMUR (Hrsg.): Technologie-Roadmap „Prozesssensoren 4.0“.
- [10] Wikipedia [Zitat vom 8. März 2017]: de.wikipedia.org/wiki/Aktor [Online].
- [11] KSB: www.ksb.com/ksb-de/Produkte_Leistungen/automation/pumpmeter/ [Online].
- [12] Samson: www.samson.de/pdf_de/t83891de.pdf [Online].
- [13] Kiesbauer, J., Vnucec, D.: Minimierung und Monitoring des Energieverbrauches bei Stellventilen. *Industriearmaturen* (2012) H. 2.
- [14] Chemmanager: www.chemmanager-online.com/themen/mess-automatisierungstechnik/am-anfang-steht-die-sensorik [Online].

Technical faults in elastically-actuated robots

Expert opinions and methodological analyses

Robotic systems using elastic actuators provide safe human-robot interaction and energy-efficient operation. Since increased complexity and critical operation states could foster fault occurrence, this paper investigates faults in elastically-actuated robots. To identify and assess relevant faults, expert opinions from an online survey are statistically evaluated and methodological analyses are performed considering a practical example. A variable torsion stiffness actuator is therefore examined by a function and structure analysis that feeds a failure mode and effects analysis. Beyond confirming the results of previous studies, the analyses in this paper substantiate the potential relevance of faults in the elastic elements and that faults might have crucial effect on human-machine interaction in general. From a methodological perspective, failure mode and effects analysis appears very suitable for fault analysis in systems engineering.

KEYWORDS Fault diagnosis / failure mode and effects analysis / elastic actuators / robotics.

Technische Fehler in Robotern mit elastischen Aktoren – Experteneinschätzungen und methodische Analysen

Robotersysteme mit elastischen Aktoren ermöglichen eine sichere Mensch-Roboter-Interaktion und einen energieeffizienten Betrieb. Da steigende Komplexität und kritische Betriebssituationen das Auftreten von Fehlern begünstigen können, untersucht der vorliegende Beitrag technische Fehler bei Robotersystemen mit elastischen Aktoren. Um relevante Fehler zu identifizieren und zu bewerten, wurden Expertenaussagen aus einer Onlinebefragung statistisch ausgewertet und zudem methodische Analysen an einem Praxisbeispiel durchgeführt. Hierzu wurde ein Aktor mit variabler Torsionssteifigkeit einer Funktions- und Strukturanalyse unterzogen und deren Daten für eine Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse genutzt. Die vorliegende Arbeit bestätigt zum einen die Ergebnisse früherer Studien. Darüber hinaus untermauert sie die praktische Relevanz von Fehlern in den elastischen Elementen und deutet darauf hin, dass Fehler im Allgemeinen entscheidende Auswirkungen auf die Mensch-Maschine-Interaktion haben können. Aus methodischer Sicht, erscheint die Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse für die Fehleranalyse im Systemengineering sehr geeignet.

SCHLAGWÖRTER Fehlerdiagnose / Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse / elastische Aktoren / Robotik

**PHILIPP BECKERLE, GERNOT PERNER, FLORIAN STUHLENMILLER,
STEPHAN RINDERKNECHT,** Technische Universität Darmstadt

Currently, an increasingly close human-robot interaction drives the importance of elastic robot designs [1, 2, 3]. Elastic robots have significant potential to ensure the safety of human workers in industrial environments because they deform on contact [1, 3]. Moreover, they are promising for application in assistive and rehabilitation robotics [4, 5, 6]. Additionally, elastic actuators can improve energy efficiency by adapting actuator stiffness to the task [7]. To this end, the natural dynamics of the robot can be tuned to comply with the trajectory frequencies [8, 9].

In the recent decades, this potential has led to the development of a variety of actuator concepts with fixed or variable elasticity [10]. Such actuators can facilitate safe human-robot interaction [11] and improve energy efficiency [9]. First concepts such as the Series Elastic Actuator (SEA) [12] and the Mechanical Impedance Adjuster (MIA) [13] rely on an elastic coupling of drive and link. More recently, various elastic actuators based on different architectures with either fixed or variable physical stiffness have been proposed [10]. However, faults in elastic actuators do not appear to have received adequate attention [14] and few specific studies have been conducted [15, 16].

This paper extends the exploration of faults in [14] using additional expert survey data and methodological analyses of a Variable Torsion Stiffness (VTS) actuator [17, 16]. The additional questionnaire responses from international experts in robotics research improve the reliability of fault relevance investigation. The results of the renewed descriptive analysis are given in Section 1. In section 2 Function and Structure Analysis and a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) of the VTS actuator are presented. This is followed by a discussion of the results and conclusions.

1. EXPERT OPINIONS

While elastic actuators have been a topic of robotics research since the 1990s [12, 13], they are still not

frequently used in industrial/commercial applications [14]. This affects practical experience of fault probability and severity although such knowledge could be of distinct importance because elastic actuators exhibit increased system complexity and might lead to higher control requirements [18, 14]. Hence, the possible number of faults as well as the possibility of fault occurrence might increase. To cope with this, fault diagnosis and fault tolerance methods could be helpful, e.g. such described in [19]. By surveying expert opinions, this paper aims at improving the knowledge of faults in elastic actuators. The subsequent evaluation focuses on the fault probability of specific components and fault relevance in general.

1.1. Survey and evaluation methods

The applied questionnaire consists of thirteen items and three open questions [14]. Three items survey the participants' profession and technical information, i.e. actuator-elasticity configuration and variable stiffness implementation according to [20]. An open question asked about operating hours, and nine items asked for the frequency of faults in components of the elastic actuators. The survey differentiated between structural/mechanical components (abbreviated MECH, e.g. shafts, couplings, housings, etc.), bearings (BEAR), gearboxes (GEAR),

TABLE 1: Fault occurrence rating scale

Option	Occurrence
Very often	> 1 in 10 h
Fairly often	1 in 10 – 100 h
Sometimes	1 in 100 – 10; 000 h
Seldom	< 1 in 10; 000 h
Never	0

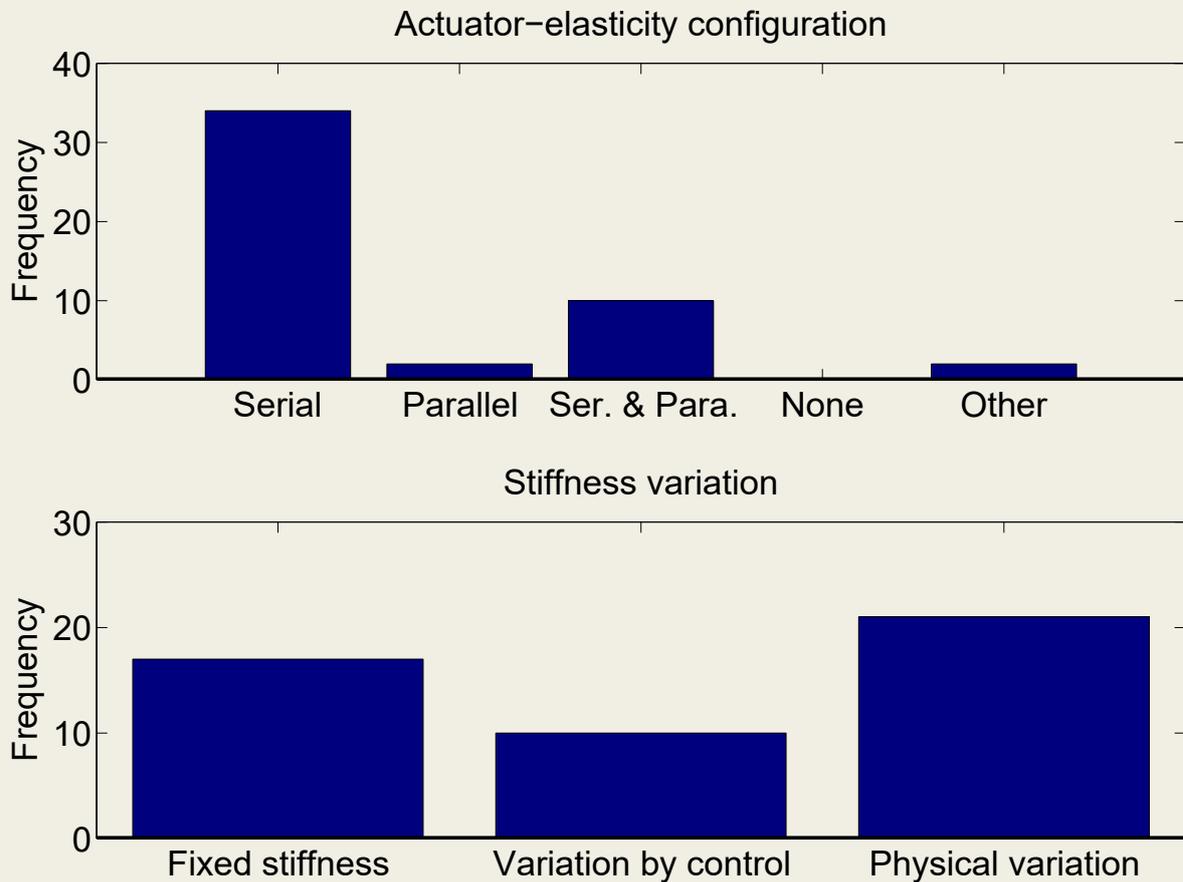


FIGURE 1: Frequencies of actuator-elasticity configurations and stiffness variation implementations

elastic elements (ELAS, e.g. springs, elastomers, etc.), kinematic components (KINE, e.g. linkages, pulleys, cam disks, cables, etc.), actuators (ACTU, e.g. DC motors, pneumatic cylinders, etc.), electronic components (ELEC, e.g. microcontrollers, motor controllers, etc.), sensors (SENS, e.g. encoders, force transducers, etc.), and software (SOFT, e.g. embedded control algorithms). Participants were asked to assess fault occurrence using a five point scale as shown in Table 1. The large range of operating hours reflects the fact that elastic actuation is still mostly applied in robotics research. Two open questions collected information about highly fault-sensitive components and counter measures that are practically applied by the participants. The final item asked for a general assessment of how relevant faults in elastic actuators are from a practical perspective. The relevance could be rated to be “very high”, “high”, “neutral”, “low”, or “very low”.

Participants were acquired by personal contacts to distinguished (soft) robotics experts and an invitation via the robotics worldwide newsletter. After two acquisition phases during the preparation of [14], additional participants from research and industry were contacted to prepare this study.

Descriptive statistic analyses of the questionnaire data were performed using Matlab R2014a. Professions of the participants and technical information about the actuators were analyzed regarding frequency. We evaluated means, standard deviations, and the corresponding box plots for the nine fault occurrence items and the final item concerning the practical relevance of faults. For the interpretation of box plot data, faults with a clear trend towards ratings below 4 were assessed to be of practical relevance [14]. As such faults would occur more than every 10,000 operating hours, they are assumed to appear more often than other faults in technical systems considering common literature [19, 14]. The

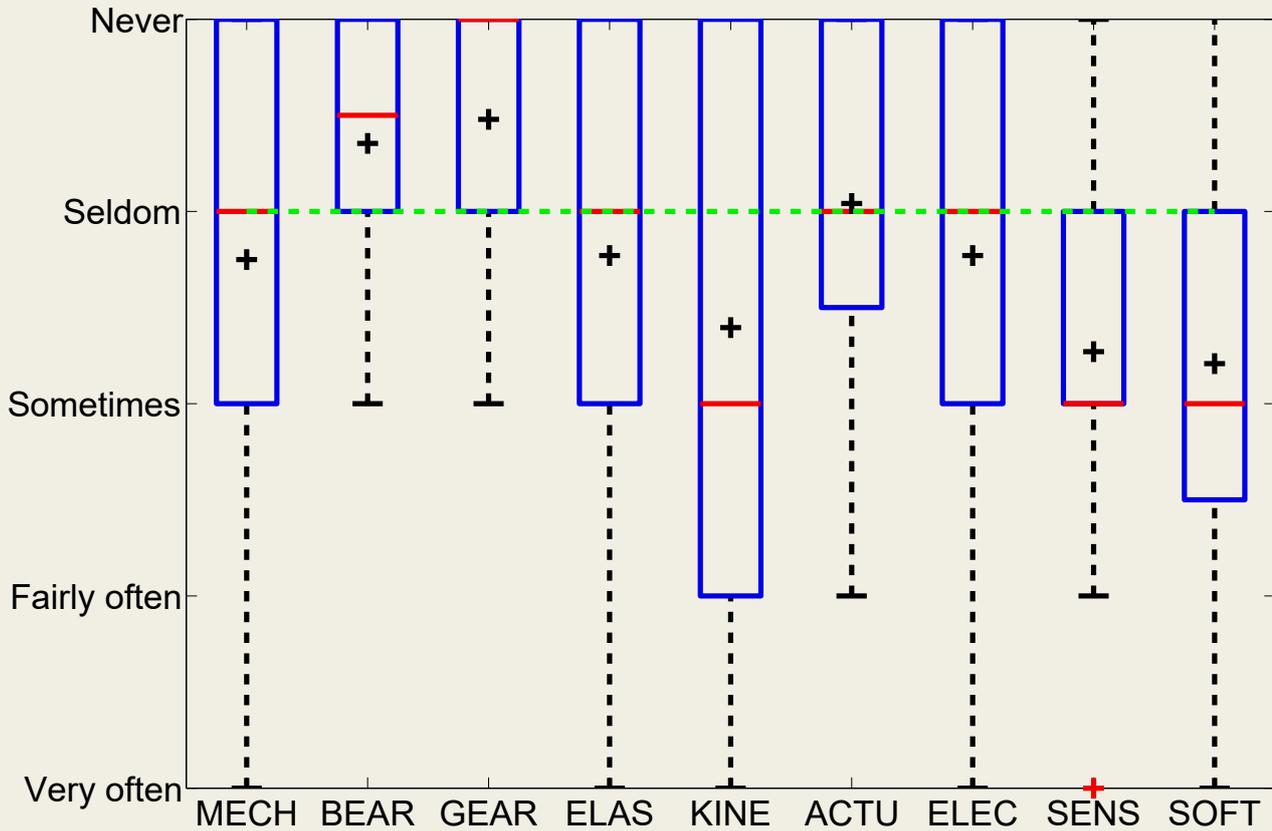


FIGURE 2: Box plot of responses to items assessing fault occurrence

open question regarding fault sensitivity is evaluated using the tag cloud generator of tagcrowd.com with default options.

1.2. Professions and technical information

All 51 participants who anonymously completed the questionnaire responded to each numerical item. Three responses were excluded because the participants used non-elastic actuators. Among the remaining 48 experts, some did not answer all open questions. The participants included 16 professors, 9 postdoctoral researchers, 12 PhD students, 4 engineers from academia, 5 engineers from industry, and 2 participants stating “other”. As mentioned above and observed in [14], the majority of experts have an academic research background, since elastic actuators are rarely used in industrial applications. However, the responses are assumed to give practically relevant ratings due to the experimental experience of the participants [14]. Fig-

ure 1 shows the actuator-elasticity configurations and stiffness variation techniques reported by the experts, which are comparable to those in [14]. Most actuators are series elastic (34), while only two are exclusively parallel elastic, 10 combine both, and two belonged to “other” categories. Stiffness is fixed in 17 actuators while 10 vary apparent elasticity by control and 21 exhibit physical stiffness modification mechanisms.

1.3. Fault relevance and component sensitivity

Figure 2 shows the box plot of the responses on fault occurrence in the specific technical components. Means and medians of the responses are represented by black crosses and red lines, respectively. The range between the 25th and 75th percentile comprising the second and third quartile of the data are indicated by the blue boxes. Black whiskers mark the most extreme data points not considered outliers (red crosses) by the software.

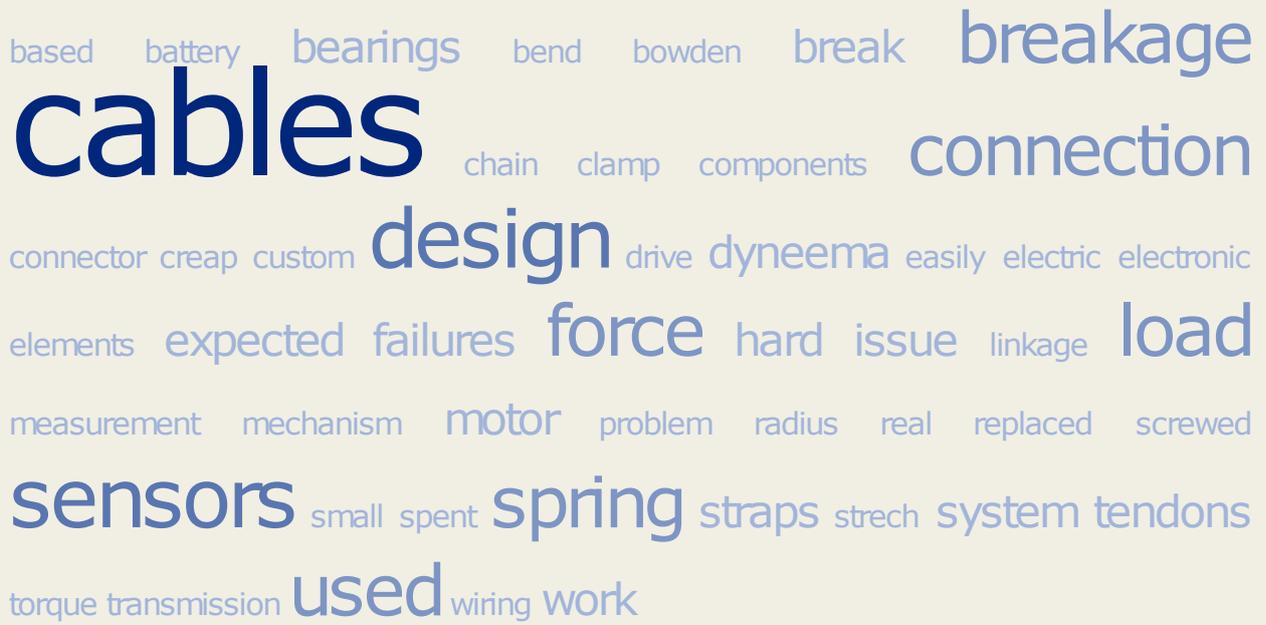


FIGURE 3: Tag cloud of responses to the open question asking for sensitive components

The whiskers in Figure 2 indicate the rather high spread of response data already observed in [14]. Still, the number of operating hours stated by the participants are highly differing and generally low but should facilitate an exploration of fault relevance regarding the individual components. Despite slight changes compared to [14], off-the-shelf components appear uncritical, i.e. bearings (BEAR), gearboxes (GEAR), and actuators (ACTU). Although the assessment of the mechanical components (MECH) and elastic elements (ELAS) is still spread around 4, slight trends towards increased relevance can be observed. This supports the interpretation of [14], that these components might be relevant. Although ratings of the kinematics (KINE) are spread wider, the relevance of these components is confirmed. Faults in sensors (SENS) retain a rather high occurrence probability and those relating to electronics (ELEC) are confirmed at the threshold. A distinct change is observed in the assessment of software (SOFT) faults which appeared to be of very high relevance in [14] but receive ratings similar to KINE and SENS in this study.

The tag cloud in Figure 3 confirms the relevance of kinematic and electrical components as well as

sensors. Additionally, the rather high frequency of “spring“ underlines the interpretation that elastic elements seem relevant. As in [14], mechanical and electrical connections as well as contacts are mentioned rather often.

Figure 4 shows the general assessment of practical fault relevance. Compared to the previous study [14], the trend towards high ratings is underlined. The median increases from “neutral“ to “high“ while mean and second and third quartile lie between those ratings.

2. METHODOLOGICAL ANALYSES

The questionnaire results indicate which components of elastic actuators are prone to faults. For a more in-depth analysis of faults in elastic actuators and their effects, a VTS actuator is considered as a practical example. This sheds light on how fault diagnosis and fault-tolerant design might be used and which methodological approaches are suitable.

For a systematic assessment of faults and their impacts on the VTS actuator, a Function and Structure Analysis (FSA) and a Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) [21, 22] were conducted by a mul-

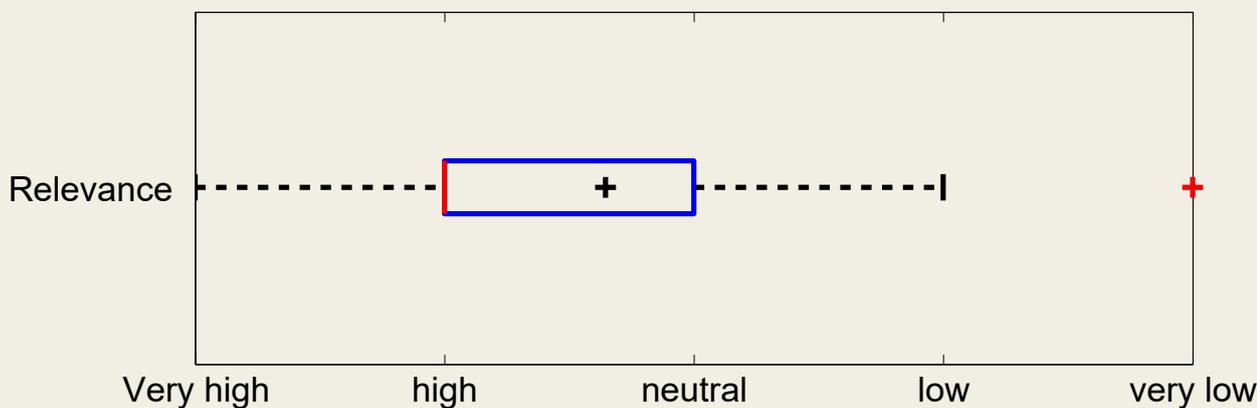


FIGURE 4: Box plot of responses regarding the practical relevance of faults

ti-disciplinary group of six experts recruited from the faculties of mechanical engineering, computer science, and sports science of Technische Universität Darmstadt, Germany.

2.1. Variable torsion stiffness actuator

As a practical example, the VTS actuator introduced in [17] is considered. Functionally, VTS changes the physical actuator stiffness by altering the active length of a torsion spring.

A prototype VTS actuator is presented in Figure 5. The lower actuator gearbox unit drives the joint, while the upper one sets stiffness through a ball screw mechanism. A pendulum serves as the load and the torsional elastic element is realized by a polyoxymethylene rod in serial configuration. To provide the torques of the lower actuator to the pendulum, a relocatable brass slider connects the elastic element to the slitted tube that is located around it [17].

Both actuators and the link are equipped with optical motion encoders.

3.2. Function and structure analysis

After briefing the experts about the function and setup of the VTS actuator, a structure analysis was conducted to determine inter-dependencies between the components. The edges of the resulting graph were extended by information about the function of the components. Due to the high granularity of the analysis, Figure 6 depicts a distinctly reduced representation of the non-directed, combined function and structure graph. The VTS system is divided into the lower actuator that drives the joint, the elastici-

ty, the load, and the stiffness adaptation mechanism. The details of the complete graph serve as the basis for the subsequent FMEA. It includes 62 elements (nodes) connected by the corresponding functions (edges).

2.3. Failure mode and effects analysis

FMEA represents a formalized method to analyze failures and minimize the impacts of faults in systems engineering [21, 22]. It guides the identification of severe and critical faults and components that have high impact on the system reliability and safety. The risk of particular failures can be characterized by the risk priority number (RPN) which is the product of fault severity, probability, and detection rate [19].

The graph resulting from the FSA was pre-analyzed by the whole expert group yielding a starting point for an in-depth FMEA. The functions of the elements are assigned to the components actuator, load, elasticity, and stiffness adaptation from the FSA. Furthermore, human-machine interaction (HMI) was added to consider possible applications where elastic actuators operate closely with human users. Fault severity, probability, and detection rate were rated by the two experts from mechanical engineering using a scale ranging from 1 (low, uncritical) to 10 (high, critical). Rating tables specifying the assessment criteria were developed by the technical experts, e.g. verbalizing how function is affected (severity) or if components are off-the-shelf or custom-built parts (probability).

Figure 7 summarizes the RPN values of the elements in a box plot, categorized in the corresponding function classes. In view of the close interaction of human and actuator, many failures yield very high

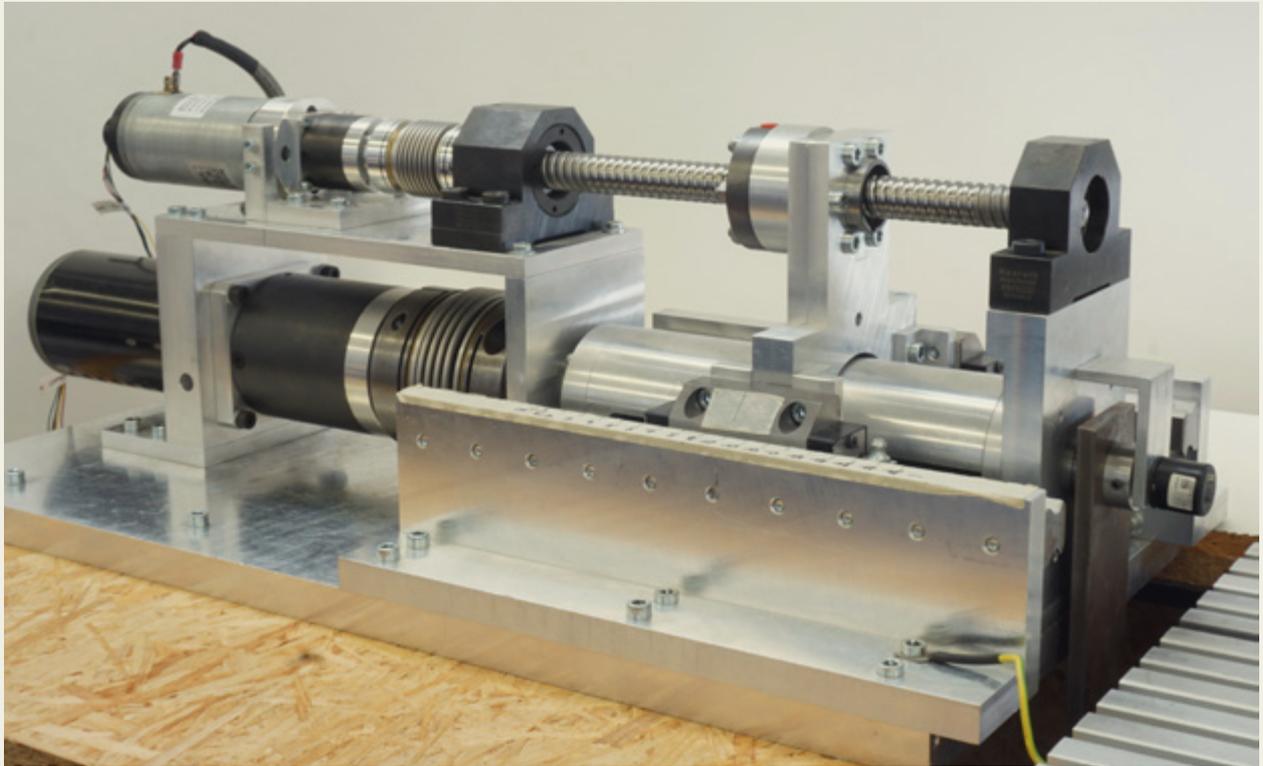


FIGURE 5: Variable torsion stiffness actuator

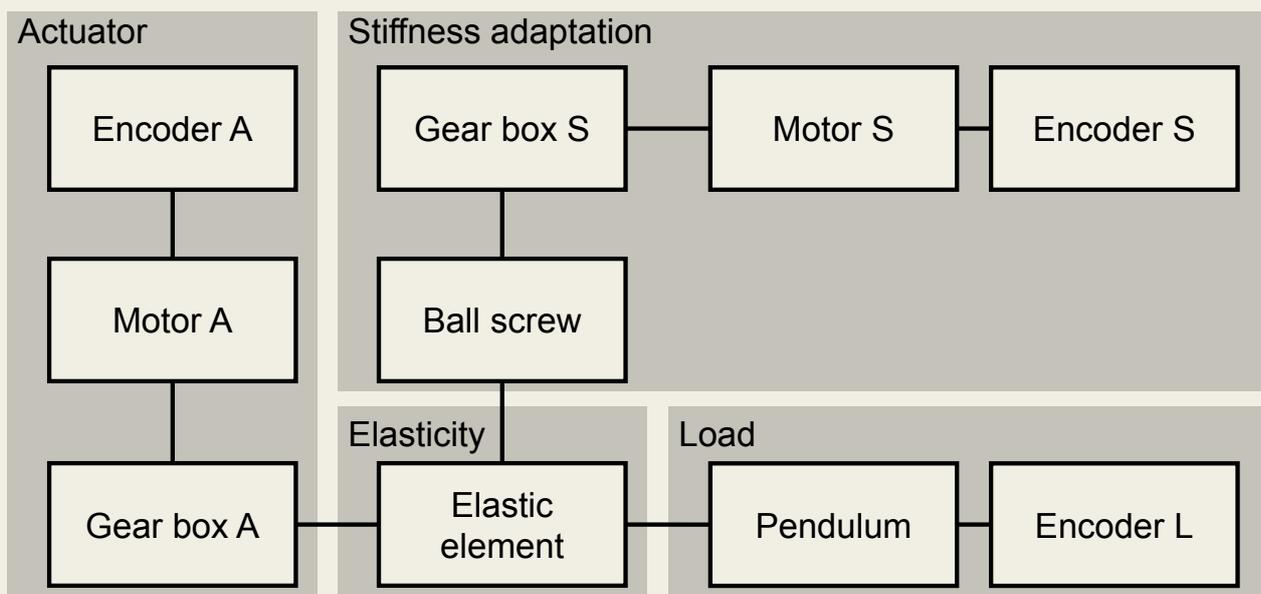


FIGURE 6: Reduced functional and structure graph of the VTS actuator. Edges indicate moving connections of the drive train elements. The housing is excluded

RPN distribution according to specific component

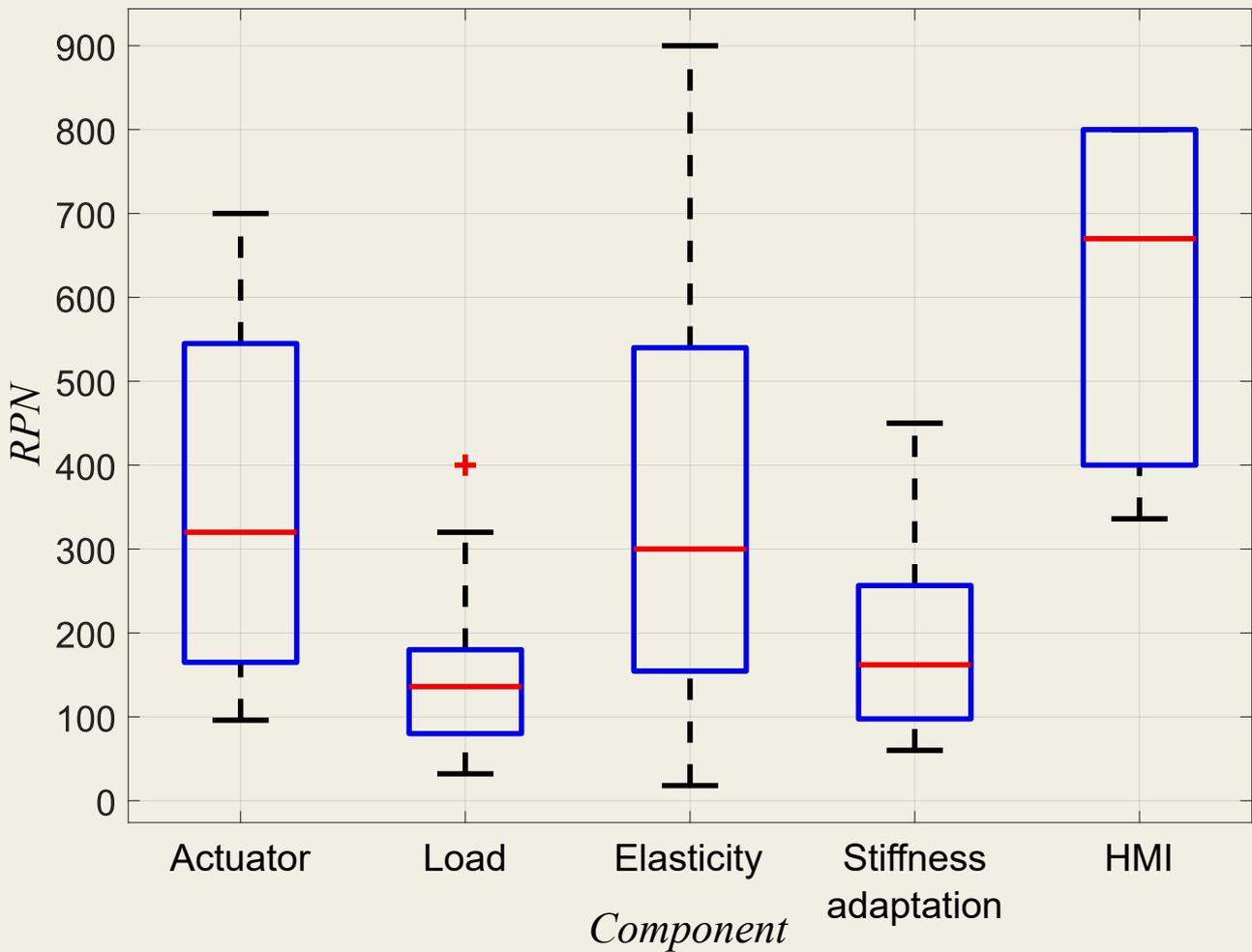


FIGURE 7: Box plot of the risk priority numbers of components in the different classes determined by FMEA

RPN values with a median of 670. Additionally, it is noticeable that the elasticity has a very broad range of values (between 18 and 900). This is in accordance with the questionnaire results and due to generally high probability and low detection rate assessment. One reason for this is the prototypic nature of the VTS actuator, which is similarly found in many other elastic actuators developed for research. This outcome of the FMEA highlights the need for an improved knowledge base and the potential relevance of faults in the elastic elements. The encoders are mainly assigned to the actuator, pendulum, and stiffness variation classes and show moderately high RPN values. Overall, actuator and

stiffness variation exhibit low RPN ratings since they involve known and industrial proven hardware with low fault probability.

3. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This paper extends the analysis of faults in elastically-actuated robots from [14]. The exploration of fault probability and severity is based on an extended data set of 51 expert opinions. The experts' professions and the technical characteristics of the applied actuators are comparable to those in [14]. Due to limited industrial application, most responders have a background in academic research. Additionally, methodological stu-

REFERENCES

- [1] S. Haddadin, A. Albu-Schaeffer, A. De Luca, G. Hirzinger, Collision detection and reaction: A contribution to safe physical human-robot interaction, in: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008.
- [2] J.-J. Park, Y.-L. Lee, J.-B. Song, B.-S. Kim, Safe joint mechanism based on nonlinear stiffness for safe human-robot collision, in: IEEE International 255 Conference on Robotics and Automation, 2008.
- [3] T. Lens, O. von Stryk, Investigation of safety in human-robot-interaction for a series elastic, tendon-driven robot driven robot arm, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2012.
- [4] A. M. Dollar, H. Herr, Lower extremity exoskeletons and active orthoses: Challenges and state-of-the-art, IEEE Transactions on Robotics 24 (1) (2008) 144 – 158.
- [5] J. Veneman, E. Burdet, d. K. H. van, D. Lefeber, Emerging directions in lower limb externally wearable robots for gait rehabilitation and augmentation - a review, in: Advances in Cooperative Robotics, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2017, pp. 840–850.
- [6] M. Windrich, M. Grimmer, O. Christ, S. Rinderknecht, P. Beckerle, Active lower limb prosthetics: a systematic review of design issues and solutions, BioMedical Engineering OnLine 15 (3) (2016) 5–19.
- [7] B. Vanderborght, R. Van Ham, D. Lefeber, T. G. Sugar, K. W. Hollander, Comparison of Mechanical Design and Energy Consumption of Adaptable, Passive-compliant Actuators, International Journal of Robotics Research 28 (2009) 90 – 103.
- [8] P. Beckerle, J. Wojtusich, S. Rinderknecht, O. von Stryk, Analysis of system dynamic influences in robotic actuators with variable stiffness, Smart Structures and Systems 13 (4) (2014) 711 – 730.
- [9] P. Beckerle, T. Verstraten, G. Mathijssen, R. Furnémont, B. Vanderborght, D. Lefeber, Series and parallel elastic actuation: Influence of operating positions on design and control, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics 22 (1) (2017) 521–529.
- [10] B. Vanderborght, A. Albu-Schaeffer, A. Bicchi, E. Burdet, D. G. Caldwell, R. Carloni, M. Catalano, O. Eiberger, W. Friedl, G. Ganesh, M. Garabini, M. Grebenstein, G. Grioli, S. Haddadin, H. Hoppner, A. Jafari, M. Laffranchi, D. Lefeber, F. Petit, S. Stramigioli, N. Tsagarakis, M. Van Damme, 14R. Van Ham, L. C. Visser, S. Wolf, Variable impedance actuators: A review, Robotics and Autonomous Systems 61 (12) (2013) 1601 – 1614.
- [11] A. De Santis, B. Siciliano, A. De Luca, A. Bicchi, An atlas of physical humanrobot interaction, Mechanism and Machine Theory 43 (3) (2008) 253 – 270.
- [12] G. A. Pratt, M. M. Williamson, Series elastic actuators, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 1995.
- [13] T. Morita, S. Sugano, Design and development of a new robot joint using a mechanical impedance adjuster, in: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995.
- [14] P. Beckerle, Practical relevance of faults, diagnosis methods, and tolerance measures in elastically actuated robots, Control Engineering Practice 50 (2016) 95–100.
- [15] Y. Izumikawa, K. Yubai, J. Hirai, Fault-tolerant control system of flexible arm for sensor fault by using reaction force observer, in: IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, 2004.
- [16] G. Perner, L. Yousif, S. Rinderknecht, P. Beckerle, Feature extraction for fault diagnosis in series elastic actuators, in: Conference on Control and Fault-Tolerant Systems, 2016.
- [17] P. Beckerle, J. Wojtusich, J. Schuy, B. Strah, S. Rinderknecht, O. v. Stryk, Power-optimized stiffness and nonlinear position control of an actuator with variable torsion stiffness, in: IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2013.
- [18] P. Erler, P. Beckerle, B. Strah, S. Rinderknecht, Experimental comparison of nonlinear motion control methods for a variable stiffness actuator, in: IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, 2014.
- [19] R. Isermann, Fault-Diagnosis Systems: An Introduction from Fault Detection to Fault Tolerance, Springer, 2006.
- [20] R. Van Ham, T. G. Sugar, B. Vanderborght, K. W. Hollander, D. Lefeber, Compliant Actuator Designs Review of Actuators with Passive Adjustable Compliance/Controllable Stiffness for Robotic Applications, IEEE Robotics & Automation Magazine 16 (2009) 81 – 94.
- [21] J. Feldhusen, K.-H. Grote (Eds.), Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Springer Vieweg, 2013.
- [22] R. F. Stapelberg, Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and 320 Safety in Engineering Design, Springer, 2009.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by Deutsche Forschungsgemeinschaft, grant BE 5729/1. The authors thank all experts who participated in the online survey and the methodological analyses.

dies systematically investigate faults and their impacts considering a VTS actuator as a practical example.

The questionnaire results substantiate those from the previous study and show which components appear to be more prone to faults. Frequent occurrence is reported regarding kinematic components, sensors, and software. It should be noted that elastic elements and actuators receive higher probability ratings which supports the potential relevance concluded by [14]. The results of the FMEA of the VTS actuator confirm the interpretation that elastic elements could be crucial. Beyond supporting the expert survey outcome, the FMEA results indicate that fault affecting human-machine interaction should receive increased attention.

The expert survey yields even higher ratings for overall practical fault relevance than the previous study. This might be due to the increased system complexity and control requirements. It complies with the FMEA results, and highlights the demand to further examine the relevance of faults in elastic actuators as well as fault diagnosis methods and fault-tolerance measures. As the FMEA results basically agree with the questionnaire responses, FMEA appears to be a suitable analysis method and could guide the reduction and/or avoidance of risks in elastically-actuated robots.

Methods for fault analysis and fault diagnosis, and fault-tolerance measures for elastically-actuated robots are promising aspects for future research. To improve the knowledge about faults in such systems, additional questionnaire data would be helpful. The authors invite the readers of this paper to participate in the online study: <http://umfrage.rogcampus.de/rogator/TU-Darmstadt/EAF/>

AUTHORS

PHILIPP BECKERLE (1983) received his Dr.-Ing. in mechatronics from Technische Universität Darmstadt, Germany, in 2014. He is chief engineer and deputy head of the Institute for Mechatronic Systems in Mechanical Engineering at TU Darmstadt and heads Human-Mechatronics Synergy research. His main research topics are human-machine-centred design, elastic actuation, and control of wearable robotic systems. His further interest is in modelling, simulation, and control, human factors and biomechanics, fault diagnosis and tolerance as well as human-computer/robot interaction.

**Institute for Mechatronic Systems in Mechanical Engineering,
Technische Universität Darmstadt,
Otto-Berndt-Str. 2, 64287 Darmstadt, Germany,
Tel. +49 (0) 6151 162 32 56,
e-mail: beckerle@ims.tu-darmstadt.de**

GERNOT PERNER (1986) received his Dipl.-Ing. in mechanical engineering from the Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Germany, in 2015. He is currently research associate at Technische Universität Darmstadt, Institute for Mechatronic

Systems in Mechanical Engineering in the field of Human-Mechatronics Synergy. His research interests include elastic actuation and fault diagnosis and tolerance for elastically actuated systems with emphasis on robotic applications as well as human-robot interaction.

FLORIAN STUHLENMILLER (1988) received his M.Sc. in Mechanical and Process Engineering from Technische Universität Darmstadt, Germany, in 2016. Currently, he is a research associate at the Institute for Mechatronic Systems in Mechanical Engineering at TU Darmstadt in the field of Human-Mechatronics Synergy. His research focuses on the design and control of elastic actuation for prosthetic and biomechanical applications.

STEPHAN RINDERKNECHT (1964) received his Dr.-Ing. from the University of Stuttgart, Germany, in 1994. Since 2009, he is full professor and head of the Institute for Mechatronic Systems in Mechanical Engineering at Technische Universität Darmstadt. His main research interests are system integration, vehicle systems, energy storage systems, active vibration systems, and human-machine interaction.

Multimodale Smartphone-Interaktion für Jung und Alt?

Gebrauchstauglichkeit und Akzeptanz von Sprachsteuerung

Sprachsteuerungen halten verstärkt Einzug in den Alltag der Menschen, wenn diese mit technischen Geräten interagieren. Die Frage nach der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen stellt sich auch in der Automatisierungstechnik. Um die Gebrauchstauglichkeit und kontextabhängige Akzeptanz sprachbasierter Smartphone-Steuerung mittels Google-Now in Bezug auf Nutzer unterschiedlicher Alterskohorten zu evaluieren, wurden im Rahmen einer Laborstudie mit zwei unabhängigen Stichproben die Effektivität und die Effizienz sprachbasierter Smartphone-Interaktion mit dem heute üblichen Interaktionsmuster der virtuellen Touchscreen-Tastatur verglichen. Außerdem wurden die empfundene Einfachheit der Nutzung sowie die kontextabhängige Nutzungsbereitschaft der beiden Eingabemodalitäten evaluiert. Die Studie zeigt, dass beide Eingabemodalitäten sowohl von jüngeren als auch von älteren Nutzern zur Erledigung von navigationsbezogenen Aufgaben genutzt werden können. Jedoch treten im Hinblick auf Effektivität (Häufigkeit von Fehleingaben) und Effizienz (Bearbeitungsdauer) der Aufgabenerfüllung signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Eingabemodalitäten als auch zwischen den beiden Alterskohorten auf.

SCHLAGWÖRTER Sprachsteuerung / Tastatureingabe / Multimodale Interaktion / Mobile Navigation

Multimodal smartphone interaction for all ages? – Applicability and acceptability of voice control

Voice control and speech recognition features are becoming increasingly important in the interaction of humans with technical appliances. This raises problems for the design of human-machine interfaces in automation engineering. In order to evaluate the applicability and contextual acceptability of speech-based smartphone control with Google Now for various age cohorts, the effectiveness and the efficiency of speech-based smartphone interaction was compared with virtual touchscreen keypad interaction patterns in a laboratory study with two independent random samples of older and younger participants. In addition, the perceived simplicity of use and the contextual willingness to use each of the input modalities was also evaluated. The results show that both options could be used by both groups for navigation-related tasks. However, with regards to effectiveness (frequency of input errors) and efficiency (task completion time) there were significant differences between the two input modalities and also between the two age cohorts.

KEYWORDS voice control / keyboard entries / multimodal interaction / mobile navigation

Weltweit ist in den letzten Jahren der zunehmende Trend zu beobachten, dass Smartphones in unterschiedlichsten Nutzungskontexten und zur Erledigung verschiedenster Aufgaben von einem stetig wachsenden Personenkreis genutzt werden. So stieg der Anteil mobiler Internetnutzer in Deutschland von 38 % im Jahr 2013 und 52 % im Jahr 2014 auf 56 % im Jahr 2015 an [1]. Zu Beginn der Smartphone-Ära galten vor allem technikaffine, jüngere Menschen als Pioniere der mobilen Endgeräte, doch mittlerweile haben sich diese in der breiten Bevölkerung etabliert, und Menschen unterschiedlichsten Alters besitzen und nutzen zunehmend Smartphones. Studien zeigen jedoch, dass sich die Gebrauchstauglichkeit zwischen jüngeren und älteren Nutzern unterscheiden kann und für ältere Nutzer häufiger Nutzungsbarrieren bei der Smartphone-Interaktion auftreten als für jüngere Nutzer [2], [3]. In diesem Zusammenhang konnte unter anderem gezeigt werden, dass sich die Eingabe von Reisezielen im Kontext von Navigationsaufgaben zwischen jüngeren und älteren Nutzern bei der Nutzung einer virtuellen Touchscreen-Tastatur unterscheidet und ältere Nutzer signifikant mehr Zeit zur Aufgabenbewältigung benötigen als jüngere Nutzer [4].

Multimodale Interaktion, das heißt die Bereitstellung unterschiedlicher Ein- und Ausgabemodalitäten kann die Gebrauchstauglichkeit von Benutzungsschnittstellen verbessern. Vor allem in bestimmten Nutzungssituationen, beispielsweise während der Fahrt mit einem Auto, besitzt die Sprachsteuerung Vorteile gegenüber der tastaturbasierten Eingabe, da Aufmerksamkeitsressourcen für die Fahraufgabe geschont werden können [5]. Aber auch in anderen Nutzungssituationen besitzt die sprachbasierte Eingabe das Potenzial, die Interaktion zwischen Mensch und Smartphone effektiver und effizienter zu gestalten, da die Sprache aufgrund ihrer Vertrautheit aus der zwischenmenschlichen Kommunikation als intuitiver Zugang zur Technik betrachtet wird [6]. Sprache ermöglicht eine „natürlichere“ Interaktion, da Nutzer sprachbasierter Systeme die gleichen Interaktionsstrategien nutzen können, welche bereits

in der Mensch-Mensch-Kommunikation erlernt wurden [7]. Wird die Sprache als alternative Modalität zur Verfügung gestellt, so kann dies außerdem die Nutzerakzeptanz erhöhen, da nutzerabhängig unterschiedliche Präferenzen im Hinblick auf die Aufgabenlösung auftreten [6].

1. SPRACHBASIERTE SMARTPHONE-STEUERUNG

Mit Einführung der sogenannten Sprachassistenten „Siri“ für Apples Betriebssystem iOS und „Google Now“ für das Betriebssystem Android sind Smartphones in der Lage, über gesprochene Befehle gesteuert zu werden und Informationen aus dem Internet abzurufen. Die Sprachsteuerung geht dabei über das reine Diktieren von Text hinaus, da das Smartphone zum einen vom Nutzer initiierte Sprachkommandos entgegennimmt, an einen Server sendet, welcher die Kommandos analysiert und eine entsprechende Antwort zum Smartphone zurückschickt. Zum anderen werden auch Ressourcen des Telefons verwendet, um Aufgaben wie etwa Termine in einen Kalender einzutragen, mittels Sprachbefehlen ermöglicht. Durch die Nutzung von Standortdaten werden des Weiteren auch ortsbezogene Suchdienste ermöglicht, beispielsweise um sich bestimmte Lokalitäten oder Routen im Rahmen von Orientierungs- und Navigationsaufgaben anzeigen zu lassen.

2. ERKENNTNISSE DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG

Zur Bewertung der Gebrauchstauglichkeit sprachbasierter Smartphone-Steuerungen wurden bereits mehrere Studien für unterschiedlichste Anwendungsfälle durchgeführt. Bezogen auf die Effizienz der Aufgabenerfüllung konnte dabei unter anderem festgestellt werden, dass mittels Sprachsteuerung eine signifikant schnellere Aufgabenbewältigung ermöglicht wird als mittels Tastatureingaben [8]. Zur Eingabe längerer Textbausteine (etwa das Verfassen von E-Mails) konnte in diesem Zusammenhang gezeigt werden, dass die Sprache eine bis zu fünffach schnellere Aufgabenbewältigung ermöglicht [9]. Auch lässt sich durch die

TABELLE 1: Aufgaben des Versuchsszenarios

Nr.	Inhalt der Aufgabe
A	Auffinden einer Zugverbindung von Ort [x] nach Ort [y]
B	Darstellung einer (Auto-) Route von Ort [x] nach Ort [y]
C	Darstellung einer (Fußgänger-) Route von Ort [x] nach Ort [y]
D	Darstellung einer Kartenansicht von Ort [x]
E	Auffinden eines bestimmten Standorts [x] in Ort [y]

Verwendung von Spracheingaben die Fehlerrate gegenüber tastaturbasierter Eingabe minimieren [8], wobei die Art und Anzahl von Eingabefeldern stark vom Layout der eingesetzten Tastatur abhängig ist. Mittels physischer QWERTY-Tastatur konnten beispielsweise weniger Fehler bei der Texteingabe beobachtet werden als mittels virtueller Touchscreen-Tastatur [10, 11]. Auch in Bezug auf ältere Nutzer konnte bereits gezeigt werden, dass Spracheingaben eine effektivere und effizientere Mensch-Smartphone-Interaktion ermöglichen als Tastatureingaben und keine signifikanten Unterschiede bei der sprachbasierten Interaktion im Vergleich zu jüngeren Nutzern bestehen, wohingegen unterschiedliche Tastaturlayouts (virtuelle Touchscreen-Tastatur, Swipe-Gesten, Handschrift) von jüngeren Nutzern effektiver und effizienter eingesetzt werden können als von älteren Nutzern [11]. Des Weiteren wird die Spracheingabe als leicht zu erlernen empfunden, und es wird ihr eine hohe Nützlichkeit im mobilen Nutzungskontext zugesprochen [8]. Da mit der Verwendung von Sprachbefehlen in der Öffentlichkeit jedoch auch eine Einschränkung der Privatsphäre einhergeht, können auch Nutzungshemmnisse auftreten. So zeigen die Ergebnisse einer im Jahr 2004 mit Studenten durchgeführten Studie auf, dass die Nutzungsbereitschaft für sprachbasierte Interaktion ohne das Beisein von weiteren Personen am stärksten ausgeprägt ist. Im Beisein von bekannten Personen nimmt die Nutzungsbereitschaft ab. Am geringsten akzeptiert wird die Nutzung im Beisein von fremden Personen [12].

3. FORSCHUNGSFRAGE UND HYPOTHESEN

Die Befunde der angewandten Forschung zeigen auf, dass mittels Sprachsteuerung eine effektivere und effizientere Mensch-Smartphone-Interaktion sowohl für jüngere als auch für ältere Nutzer ermöglicht werden kann. Allerdings bestehen auch Erkenntnisse darüber, dass vor der Einführung der heutigen Sprachassistenten, je nach Nutzungskontext eine unterschiedlich stark ausgeprägte Nutzungsbereitschaft bei jüngeren Nutzern bestand. Für ältere Nutzer existieren in diesem Zusammenhang keine

Erkenntnisse. Es stellt sich demnach die Frage, welche Nutzungsbereitschaft der heutigen mobilen Sprachinteraktion zugesprochen werden kann und wie sich die Gebrauchstauglichkeit im Vergleich zur Tastatur für Nutzergruppen unterschiedlichen Alters verhält. Auf Grundlage der Erkenntnisse der angewandten Forschung wurde bei der Hypothesenbildung davon ausgegangen, dass mittels Sprachsteuerung sowohl älteren als auch jüngeren Nutzer eine effektivere und effizientere Bearbeitung von Orientierungs- und Navigationsaufgaben mit Hilfe der „Google-Now-App“ ermöglicht wird als mittels virtueller Touchscreen-Tastatur. Weiterhin wurde davon ausgegangen, dass bei der Spracheingabe im Gegensatz zur Tastatureingabe keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen bezogen auf die Gebrauchstauglichkeit bestehen und dass die Spracheingabe von beiden Altersgruppen nützlicher als auch einfacher zu nutzen bewertet wird als die Tastatureingabe. In Bezug auf die Nutzungsbereitschaft wurde davon ausgegangen, dass die Anwesenheit fremder Personen noch immer das größte Nutzungshemmnis in Bezug auf Spracheingabe hervorruft, wobei vermutet wurde, dass dieser Effekt bei älteren Nutzern stärker ausgeprägt auftritt als bei jüngeren Nutzern.

4. METHODE

Um Aussagen über die Gebrauchstauglichkeit, die Nutzungsbereitschaft und die Akzeptanz sprachbasierter Smartphone-Interaktion für Orientierungs- und Navigationsaufgaben treffen zu können, wurde eine Laborstudie mit zwei unabhängigen Stichproben durchgeführt, wobei zwei Technikgenerationen als Ausprägungen der unabhängigen Variable „Kohorten-Zugehörigkeit“ betrachtet wurden. Die „Generation der zunehmenden Haushaltstechnisierung“ (Geburtsjahrgänge 1949-1963) wurde als Versuchsgruppe und die „Internetgeneration“ (Geburtsjahrgänge 1979-1996) als Kontrollgruppe betrachtet [13]. Im Rahmen der Studie sollten mit Hilfe der „Google-Now-App“ (Android v5.4.28.19) fünf unterschiedliche Aufgaben zur Orientierung und Navigation bearbeitet werden (vergleiche Tabelle 1), wobei die Eingabemodalität als

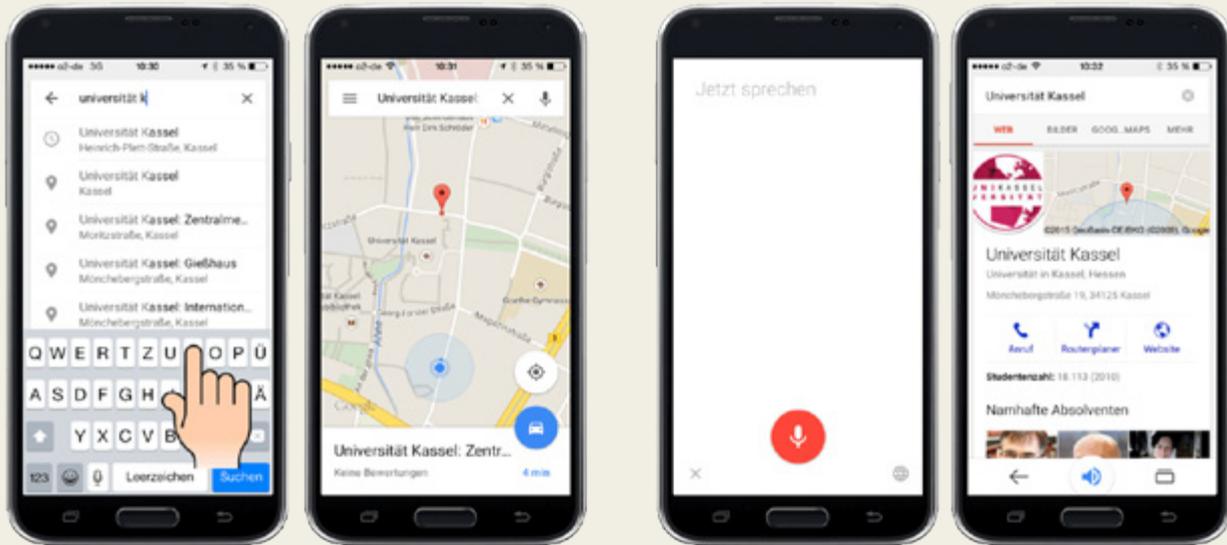


BILD 1: Vergleich der Eingabemodalitäten zur Auffindung des Standorts „Universität Kassel“ mittels „Google-Now“ (links: Tastatureingabe; rechts: Spracheingabe)

zweite unabhängige Variable betrachtet wurde, mit den Ausprägungsstufen „virtuelle Touchscreen-Tastatur“ und „Spracheingabe“ (vergleiche Bild 1).

Jede der fünf Aufgaben wurde im Rahmen der Versuchseinführung mit exemplarischen Ortsnamen einmal mittels virtueller Touchscreen-Tastatur und einmal mittels Spracheingabe vom Versuchsleiter vorgeführt. In einem nächsten Schritt mussten die Probanden mit weiteren exemplarischen Ortsnamen jede Aufgabe einmal üben, um die Vergleichbarkeit in Bezug auf die Vertrautheit der Eingabemethoden zu gewährleisten. Anschließend folgte die eigentliche Bearbeitung der Aufgaben mit unterschiedlichen Ortsnamen, wobei die Vergleichbarkeit untereinander durch eine gleiche Anzahl an Buchstaben pro Namen gewährleistet wurde. Um Lern- und Reihenfolgeeffekte auszuschließen, wurden sowohl die Aufgabenreihenfolgen, die Ortsnamen als auch die Eingabemodalitäten interindividuell ausbalanciert, und es wurde nach einem ausgeglichenen Versuchsplan vorgegangen.

Für die Studie dienten die Effektivität und Effizienz als Maße der Gebrauchstauglichkeit sowie die Nutzerakzeptanz als abhängige Variablen. Die Effektivität wurde objektiv über die Zielerreichung und die Häufigkeit an Eingabefehlern erhoben. Die Effizienz wurde über die benötigte Eingabedauer bis zur Zielerreichung gemessen. Zur Messung der Akzeptanz wurde der auf dem Technology Acceptance Model basierende Standardfragebogen von Davis eingesetzt, welcher die wahrgenommene Nützlichkeit und die Einfachheit der Nutzung als zwei Komponenten der Akzeptanz betrachtet

[14]. Des Weiteren wurden den Probanden Fragen zu kontextabhängigen Modalitätspräferenzen gestellt.

5. ERGEBNISSE

Die Versuchsgruppe bestand aus 20 älteren Probanden im Alter zwischen 50 und 69 Jahren ($M=57,8$ Jahre, $SD=7,2$ Jahre), die Kontrollgruppe setzte sich aus 20 jungen Erwachsenen im Alter zwischen 20 und 31 Jahren ($M=28,1$ Jahre, $SD=4,4$ Jahre) zusammen. Die Geschlechterverteilung war in beiden Gruppen ausgeglichen. Alle Teilnehmer der beiden Versuchsgruppen waren im Besitz eines Smartphones, wobei keiner der Probanden angab, Vorerfahrung im Umgang mit Smartphone-basierter Sprachsteuerung zu besitzen.

5.1 Modalitätsabhängige Anzahl an Fehleingaben

Alle fünf Aufgaben des Versuchsszenarios wurden sowohl von der Versuchsgruppe als auch von der Kontrollgruppe in beiden Versuchsbedingungen (tastatur- beziehungsweise sprachbasierte Eingabe) zu 100 % erfüllt. Aufgrund nicht-normalverteilter Daten wurde mittels Wilcoxon-Test jedoch festgestellt, dass innerhalb der Versuchsgruppe signifikant mehr Fehler mittels Tastatur- als mittels Spracheingabe getätigt wurden ($p=0,003$). Über alle Aufgaben hinweg wurden dabei 187 Eingabefehler mittels Tastatureingabe und 16 Eingabefehler mittels Spracheingabe identifiziert. Der gleiche Effekt konnte auch in der Kontrollgruppe

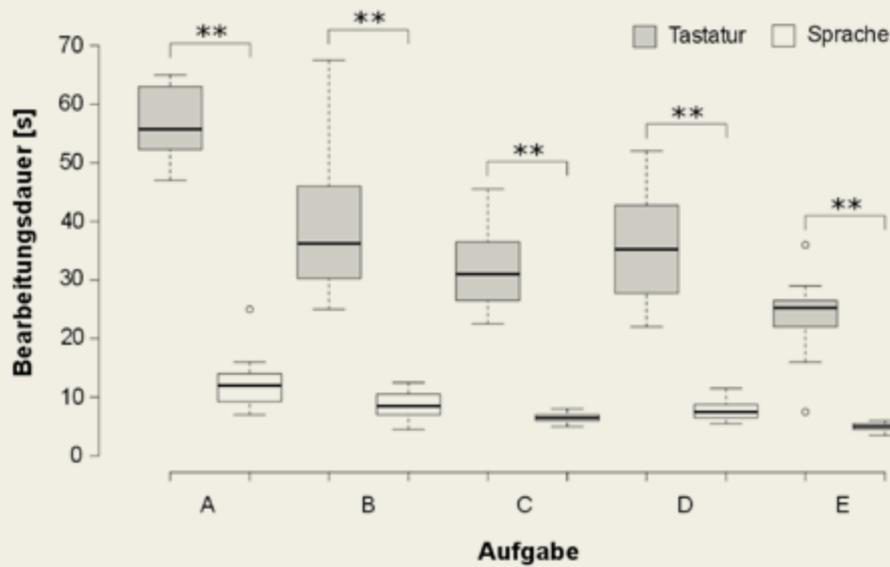


BILD 2: Aufgabenspezifische Bearbeitungsdauern innerhalb der Versuchsgruppe (**:p<0,01)

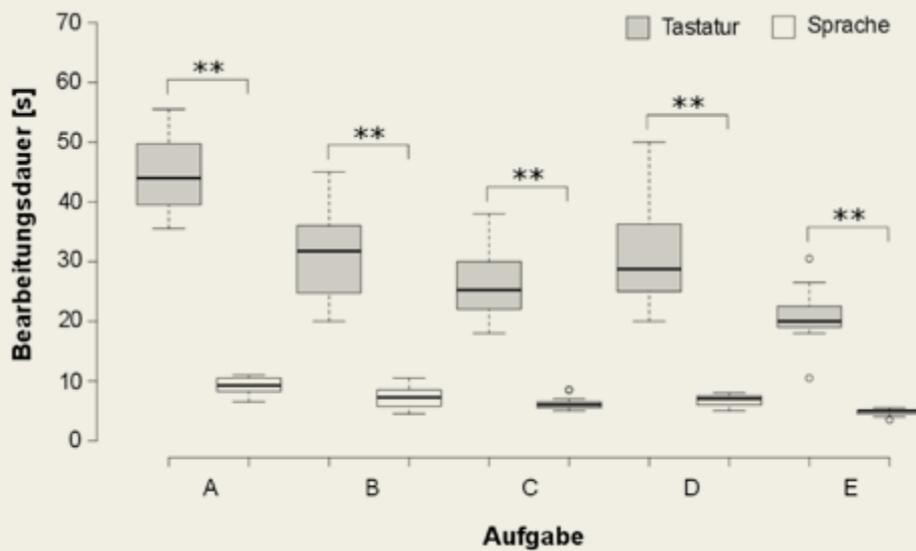


BILD 3: Aufgabenspezifische Bearbeitungsdauern innerhalb der Kontrollgruppe (**:p<0,01)

festgestellt werden. Hierbei wurden 101 Eingabefehler mittels Tastatureingabe und 7 Eingabefehler mittels Spracheingabe identifiziert (p=0,004).

5.2 Modalitätsabhängige Bearbeitungsdauer

Für die Bearbeitung des Gesamtszenarios benötigte die Versuchsgruppe durchschnittlich 203,2 s mittels Tastatureingabe und 43,7 s mittels Spracheingabe. Die aufgabenspezifischen Bearbeitungsdauern der

Versuchsgruppe sind in Bild 2 dargestellt. Mit Hilfe des Wilcoxon-Tests konnte festgestellt werden, dass innerhalb der Versuchsgruppe durch die Benutzung der Spracheingabe für alle fünf Aufgaben signifikant schnellere Eingaben möglich waren als mittels Tastatureingabe. In der Kontrollgruppe ergab sich eine durchschnittliche Bearbeitungsdauer von 153,2 s mittels Tastatur- und 34,5 s mittels Spracheingabe. Analog zur Versuchsgruppe konnte hierbei ebenfalls festgestellt werden, dass alle Aufgaben des Szenarios

TABELLE 2: Aufgabenspezifischer Vergleich zwischen beiden Gruppen

Aufgabe	Gruppe	Tastatur		Sprache		Tastatur		Sprache	
		Fehleingaben				Bearbeitungsdauer			
		Anzahl	p	Anzahl	p	\bar{x} [s]	p	\bar{x} [s]	p
A	alt	56	0,004	7	0,294	63,1	0,000	12,3	0,004
	jung	26		4		44,9		9,3	
B	alt	39	0,093	5	0,018	40,6	0,014	8,5	0,079
	jung	21		0		30,5		7,3	
C	alt	20	0,954	2	1,0	31,7	0,006	6,5	0,109
	jung	16		2		25,9		6,3	
D	alt	37	0,035	2	0,152	43,8	0,013	11,6	0,017
	jung	18		0		31,1		6,8	
E	alt	35	0,324	0	0,317	24,0	0,007	4,8	0,454
	jung	20		1		20,8		4,8	

mittels Spracheingabe signifikant schneller bearbeitet werden konnten als mittels Tastatureingabe (vergleiche Bild 3).

5.3 Modalitätsabhängiger Vergleich der Gebrauchstauglichkeit zwischen den Kohorten

Zur Überprüfung der Unterschiede zwischen den beiden Kohorten wurden aufgrund nicht-normalverteilter Daten U-Tests für unabhängige Stichproben eingesetzt. Die aufgabenspezifisch erzielten Werte der abhängigen Variablen (Fehleingaben und Bearbeitungsdauer) sowie die Ergebnisse der U-Tests sind in Tabelle 2 zusammengefasst dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Versuchsgruppe mittels Tastatur signifikant mehr Fehleingaben im Rahmen von Aufgabe A ($p_A=0,004$) und D ($p_D=0,035$) tätigte als die Kontrollgruppe. Mittels Spracheingabe wurden signifikant mehr Fehler im Rahmen von Aufgabe B festgestellt ($p_B=0,018$). Außerdem benötigte die Versuchsgruppe mittels Tastatureingabe über alle Aufgaben hinweg signifikant mehr Zeit als die Kontrollgruppe ($p_A=0,000$; $p_B=0,014$; $p_C=0,006$; $p_D=0,013$; $p_E=0,007$). Bezogen auf die Spracheingabe konnte dieser Effekt lediglich für die Aufgaben A ($p_A=0,004$) und D ($p_D=0,017$) festgestellt werden.

5.4 Wahrgenommene Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung

Um zu überprüfen, ob sich die beiden Eingabemodalitäten bezüglich der subjektiv wahrgenommenen Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung innerhalb der beiden Kohorten signifikant unterscheiden, wurden

aufgrund ordinalskaliertter Skalenniveaus der Fragebogen-Items Vorzeichentests für verbundene Stichproben durchgeführt. Zur Überprüfung der Unterschiede zwischen den beiden Kohorten wurden U-Tests für unabhängige Stichproben eingesetzt. Die wahrgenommene Nützlichkeit der Spracheingabe wurde sowohl in der Versuchsgruppe als auch in der Kontrollgruppe signifikant besser bewertet, als die Nützlichkeit der Tastatureingabe ($p_{VG}=0,015$; $p_{KG}=0,021$). Der gleiche Effekt konnte für die wahrgenommene Einfachheit der Nutzung der Spracheingabe festgestellt werden ($p_{VG}=0,015$; $p_{KG}=0,031$). Zwischen den Gruppen ergab sich kein signifikanter Unterschied.

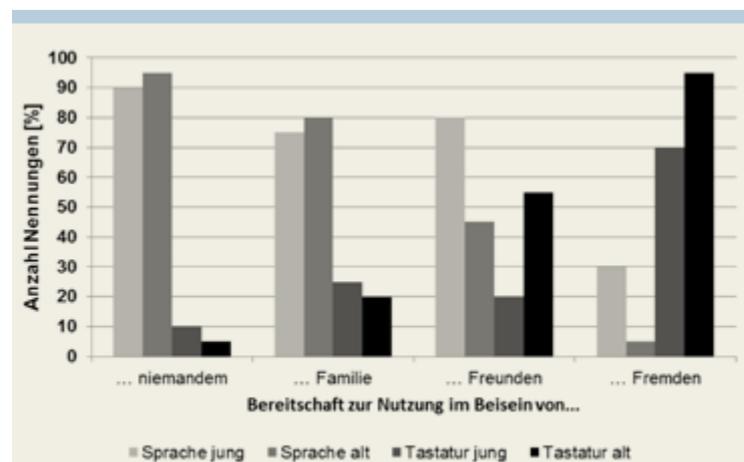


BILD 4: Kontextabhängige Modalitätspräferenzen

5.5 Kontextabhängige Modalitätspräferenzen

Neben der Gebrauchstauglichkeit und der wahrgenommenen Nützlichkeit und Einfachheit der Nutzung wurde die Präferenz beziehungsweise Nutzungsbereitschaft der beiden Modalitäten in unterschiedlichen Nutzungssituationen erhoben (vergleiche Bild 4).

Die Ergebnisse zeigen, dass in beiden Alterskohorten die höchste Nutzungsbereitschaft für Spracheingaben im Beisein von keinen weiteren Personen besteht. Die Bereitschaft nimmt in beiden Gruppen über die Anwesenheit von Familienangehörigen und Freunden ab. Im Beisein von fremden Personen sind lediglich 5 % der Versuchsgruppe und 30 % der Kontrollgruppe bereit

REFERENZEN

- [1] Arbeitsgemeinschaft Online Forschung (AGOF) e.V.: Mobile Facts 2015-I. http://www.agof.de/download/Downloads_Mobile_Facts/Downloads_Mobile_Facts_2015/Downloads_Mobile_Facts_2015_I/mf%202015I%20AGOF%20mobile%20facts%202015-I.pdf?3823c4
- [2] Wilkowska, W., Ziefle, M.: Which Factors form Older Adults' Acceptance of Mobile Information and Communication Technologies? In: Holzinger, A., Miesenberger, K. (Hrsg.): HCI and Usability for e-Inclusion, Proceedings of 5th Symposium Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society (Linz 2009). Berlin: Springer 2009, S. 81-101
- [3] Radziwill, M., Schmidt, L.: Akzeptanz und Gebrauchstauglichkeit Smartphone-assistierter ÖPNV-Nutzung im Spannungsfeld des demographischen Wandels. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft: 60. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (München 2014). Dortmund: GfA-Press, 2014, S. 91-93
- [4] Radziwill, M., Kniewel, R., Schmidt, L.: Nutzungsbarrieren im Bereich Smartphone-assistierter, multimodaler Mobilität bei älteren Nutzern. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.): VerANTWORTUNG für die Arbeit der Zukunft: 61. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Karlsruhe 2015). Dortmund: GfA-Press, 2015, S. 1-6 (C.2.19)
- [5] Kortus-Schultes, D., Lankes, B., Meese, R.: Mobile Connectivity Zielgruppe Autofahrerinnen und ihre Präferenzen für Smartphone-basierte Infotainment-Lösungen. In: Proff, H. (Hrsg.): Schritte in die künftige Mobilität: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Springer 2013, S. 317-330
- [6] Seifert, K.: Evaluation multimodaler Computer-Systeme in frühen Entwicklungsphasen: Ein empirischer Ansatz zur Ableitung von Gestaltungshinweisen für multimodale Computer-Systeme. Technische Universität Berlin Diss. 2002
- [7] Gibbon, D., Mertins, I., Moore, R.: Handbook of multimodal and spoken dialogue systems: Resources, terminology, and product evaluation, volume SECS 565 of The Kluwer international series in engineering and computer science. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000
- [8] Turunen, M., Melto, A., Hella, J., Heimonen, T., Hakulinen, J., Mäkinen, E., Soronen, H.: User expectations and user experience with different modalities in a mobile phone controlled home entertainment system. In: Eisenhauer, M., Jarke, M. & Wulf, V. (Hrsg.): Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computing Interaction with Mobile Devices and Services. New York: ACM Press, 2009, Nr. 31
- [9] Azenkot, S., Lee, N. B.: Exploring the use of speech input by blind people on mobile devices. In: ACM (Hrsg.): 15th International ACM SIGACCESS Conference. New York, 2013, S. 1-8
- [10] Allen, J. M., McFarlin, L. A., Green, T.: An In-Depth Look into the Text Entry User Experience on the iPhone. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 52(5), 2008, S. 508-512
- [11] Smith, A. L., Chaparro, B. S.: Smartphone Text Input Method Performance, Usability, and Preference With Younger and Older Adults. Human factors, 57(6), 2015, S. 1015-1028
- [12] Jöst, M., Häußler, J., Merdes, M., & Malaka, R.: Multimodal Interaction for Pedestrians: An Evaluation Study. In: St. Amant, R., Riedl, J. & Jameson, A. (Hrsg.): Proceedings of the 10th International Conference on Intelligent User Interfaces. New York: ACM, 2005, S. 59-66
- [13] Sackmann R., Weymann A.: Die Technisierung des Alltags: Generationen und technische Innovationen. Frankfurt am Main: Campus-Verlag, 1994
- [14] Davis F. D.: Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. In: MIS Quarterly Vol. 13. Minnesota: MIS, 1989, S. 319-340

die Spracheingabe zu nutzen. In Bezug auf die Frage, welche Modalität zur Erledigung der Aufgaben des Versuchsszenarios bevorzugt werden würde, gaben sowohl in der Versuchs- als auch in der Kontrollgruppe jeweils 90 % der Probanden an, sich eine situationsabhängige Auswahl der Modalität zu wünschen.

6. GESTALTUNGSEMPFEHLUNG

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass mittels Sprachsteuerung altersunabhängig sowohl eine effektivere als auch effizientere Mensch-Smartphone-Interaktion ermöglicht werden kann als mittels tastaturbasierter Eingabe. Die subjektiven Einschätzungen der Probanden bezüglich der wahrgenommenen Nützlichkeit und

Einfachheit der Nutzung bekräftigen dabei die objektiv ermittelten Werte. Allerdings konnte mit der Studie auch gezeigt werden, dass weiterhin eine gewisse Hemmnis gegenüber der Nutzung von Spracheingaben besteht, vor allem wenn diese in der Öffentlichkeit beziehungsweise im Beisein von fremden Personen und von älteren Nutzern genutzt werden soll. Gerade im Kontext von Orientierungs- und Navigationsaufgaben spielt die Nutzung im öffentlichen Raum jedoch eine zentrale Rolle. Aus diesem Grund kann für die Gestaltung von mobilen Applikationen dieser Domäne festgehalten werden, dass die Sprache als alternative Eingabemodalität bereitgestellt werden sollte, allerdings als optionale Eingabemodalität und nicht als Ersatz für die tastaturbasierte Eingabe.

AUTOREN



Dipl.-Ing. **MANUEL RADZIWILL** (geb. 1984) ist als Informationsarchitekt/UX Designer bei der Trumpf Laser GmbH in Berlin tätig. Er studierte von 2005–2011 Mensch-Maschine-Systeme in der Flugführung an der TU Berlin. Anschließend war er als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik der Universität

Kassel sowie als Produktingenieur bei der GRACE E-Bike GmbH in Berlin tätig.

**Trumpf Laser GmbH, Niederlassung Berlin,
Volmerstr. 10,
12489 Berlin
Tel. +49 (0) 30 20 09 70 74 63,
E-Mail: manuel.radziwill@de.trumpf.com**



M.F.A. **ROMY KNIEWEL** (geb. 1981) studierte Informationsdesign an der Hochschule der Medien in Stuttgart und Interaction Design an der Bauhaus-Universität Weimar. Von 2010–2016 war sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik der Universität Kassel.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. **LUDGER SCHMIDT** (geb. 1969) ist seit 2008 Univ.-Prof. für Mensch-Maschine-Systemtechnik im Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel. Nach dem Studium der Elektrotechnik an der RWTH Aachen und einer Tätigkeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter erfolgte 2004 die Promotion zum Dr.-Ing. in der Fakultät für Maschinenwesen

der RWTH Aachen. 2000–2005 verantwortete er als Forschungsgruppenleiter das Feld „Benutzerzentrierte Gestaltung von Informations- und Kommunikationssystemen“ und „Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme“ am Lehrstuhl und Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen. Anschließend leitete er die Abteilung „Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme“ am Fraunhofer/FGAN Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie, Wachtberg bei Bonn

Fahrzeugkomponenten in Echtzeit überwachen

Big-Data nutzen, um Überdimensionierung zu vermeiden

Aufgrund der zunehmend verschärften Emissionsanforderungen und der Notwendigkeit für die Automobilhersteller und -zulieferer, wettbewerbsfähig zu bleiben, werden die Aspekte Kosten, Entwicklungszeiten und Leichtbau heutzutage stark fokussiert. In diesem Zusammenhang schöpft der aktuelle Stand der Technik allerdings wichtige Potenziale bei Auslegung, Betrieb und Wartung von mechatronischen Fahrzeugkomponenten nicht aus. In der Tat wird eine eher konservative Vorgehensweise gewählt, um ein hohes Maß an Zuverlässigkeit zu garantieren und Betriebsausfälle so weit wie möglich zu vermeiden. Diese ist vor allem durch die begrenzten Kenntnisse über das tatsächliche Nutzungsprofil im realen Betrieb bedingt. Als direkte Folge sind die mit Standardindustrieverfahren entwickelten Fahrzeugkomponenten für den Großteil der Endkunden überdimensioniert, also schwerer und teurer als nötig. Daher wurde am Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau (IMS) der TU Darmstadt in den vergangenen Jahren ein neuartiger und rein softwarebasierter Ansatz zu kosteneffizientem Leichtbau und belastungsgerechterer Auslegung am Beispiel von Fahrzeuggetrieben entwickelt. Als Ausgründung des IMS betreibt die Compredict GmbH, nun aktiv den Forschungstransfer in die Industrie und erweitert die Grundmethodik für weitere Fahrzeugkomponenten im Rahmen eines Smart-Big-Data-Ansatzes.

SCHLAGWÖRTER Sensorfusion / Last- und Lebensdauerüberwachung / softwarebasierter Leichtbau

Monitoring vehicle components in real time – Using big-data to avoid over-engineering

Faced with stringent emission standards and high levels of competition, the focus in the automotive industry is increasingly on costs, development times and lightweight design. However, the current state of the art does not achieve its full potential concerning the dimensioning, operation and maintenance of mechatronic vehicle components. Indeed, due mainly to the limited knowledge about use profiles under real operating conditions, a conservative approach is generally adopted in order to guarantee a high degree of reliability and to minimise operating failures. As a result, transmissions developed with standard procedures are overdesigned for most end customers, making them heavier and more expensive than necessary. An innovative software-based approach has been developed in recent years at the Institute for Mechatronic Systems in Mechanical Engineering (IMS) of the TU Darmstadt for cost-efficient, lightweight and load-adequate design for the example of automotive transmissions. The Spin-Off of IMS, Compredict GmbH, is now actively transferring the research results to the industry and extending the basic method for other vehicle components in the context of a smart big data approach.

KEYWORDS sensor fusion / load and lifetime monitoring / software-based lightweight design

STÉPHANE FOULARD, Compredict
STEPHAN RINDERKNECHT, TU Darmstadt
RAFAEL FIETZEK, Compredict

Bei der Auslegung von mechatronischen Fahrzeugkomponenten wird üblicherweise der 99 %-Fahrer als Bezugspunkt angenommen, welcher theoretisch 99 % der Nutzungsprofile abdeckt. Dieser wird hauptsächlich durch Simulationen und immer weniger Feldtests bestimmt. Somit werden sehr anspruchsvolle Fahrsituationen berücksichtigt, die allerdings das reale Fahrerverhalten nicht zwangsläufig darstellen und oft überschätzen. Dies führt zu überflüssigem Gewicht, das wiederum höhere Materialkosten und Emissionen verursacht.

Ein zusätzlicher Aspekt ist, dass die Lastkollektive von Fahrzeugkomponenten und die daraus abgeschätzten Lebensdauern nur während der Entwicklungsphase betrachtet werden. Das heißt konkret, dass auch nach der Markteinführung keine Daten bezüglich der realen Nutzungsprofile generiert werden. Dies bringt drei Nachteile mit sich. Erstens können die künftigen Komponentengenerationen im Hinblick auf die realen Nutzungs- und Schädigungsverhalten nicht optimiert werden. Zweitens kann der Grund eines Feldausfalls nur mit viel Aufwand identifiziert werden, da die Belastungshistorie nicht verfügbar ist und das dazu führende Belastungsszenario nicht mehr reproduzierbar ist. Drittens können die mechatronischen Fahrzeugkomponenten unter Berücksichtigung der Komponentenschädigungsniveaus nicht betrieben werden, da die benötigten Eingangsgrößen fehlen. Eine schädigungsorientierte Betriebsstrategie kann aber vorteilhaft sein, um die gesamte Komponentenlebensdauer für jedes Einzelfahrzeug im Betrieb zu erhöhen.

Vor diesem Hintergrund bleiben noch heute folgende Fragen offen: Wie werden Fahrzeugkomponenten tatsächlich betrieben und belastet? Was sind die realen Belastungs- und Nutzungsprofile von diesen Komponenten? Werden sie die nominell vorgesehene Mindestlebensdauernanforderung im Betrieb erreichen? Sind sie statistisch gesehen überdimensioniert beziehungsweise unterdimensioniert?

Im Umkehrschluss, was wäre, wenn die Belastungsprofile von Fahrzeugsystemen und -komponenten

genau bestimmt und deren Restlebensdauer vorhergesagt werden könnten? Was wäre, wenn solche Daten auf Fahrzeugflottenebene analysiert werden könnten? Was wäre, wenn die reale Fahrzeugflotte Teil eines wissensbasierten und proaktiven Optimierungsprozesses im Rahmen eines Smart-Big-Data-Ansatzes werden würde? Um dies zu ermöglichen, sollte jedes Fahrzeug mit einem Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem ausgerüstet werden. Das ist nur machbar, wenn alle relevanten physikalischen Größen – wie Drehmoment oder Kraft – dynamisch und hochgenau aufgenommen werden. Fahrzeuge werden in der Regel mit der dafür notwendigen Sensorik serienmäßig nicht ausgerüstet. Eine Nachrüstung mit dedizierter Sensorik wird in den meisten Fällen aus Kosten-, Zuverlässigkeits- und technischen Gründen ausgeschlossen. In diesem Zusammenhang besteht die einzige Möglichkeit darin, dieses praktische Problem durch einen reinen Softwareansatz zu lösen. Und genau das wurde die letzten Jahre am IMS am Beispiel von Fahrzeuggetrieben verfolgt und entwickelt, wobei die Compredict GmbH nun den Forschungstransfer übernommen hat und die Weiterentwicklung in Kooperation mit IMS betreibt. Für seine Technologie und seine Geschäftsidee wurde Compredict durch das sogenannte Exist-Gründerstipendium des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt und bereits mit drei Preisen ausgezeichnet: Dem ersten Preis des Johann Puch Automotive Awards 2016 des Automobilzulieferers Magna in der Kategorie Open Innovation, einem Hauptpreis und dem Sonderpreis für Big-Data bei dem Gründerwettbewerb Digitale Innovationen 2017 des BMWi. Erste Pilotprojekte werden bereits mit namenhaften Automobilherstellern und -zulieferern bearbeitet.

1. BEISPIEL FÜR FAHRZEUGGETRIEBE

Das Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem erfasst rein softwarebasiert die dynamischen Getriebebelastungen durch Sensorfusion und akkumuliert die induzierten Teilschädigungen in Echtzeit

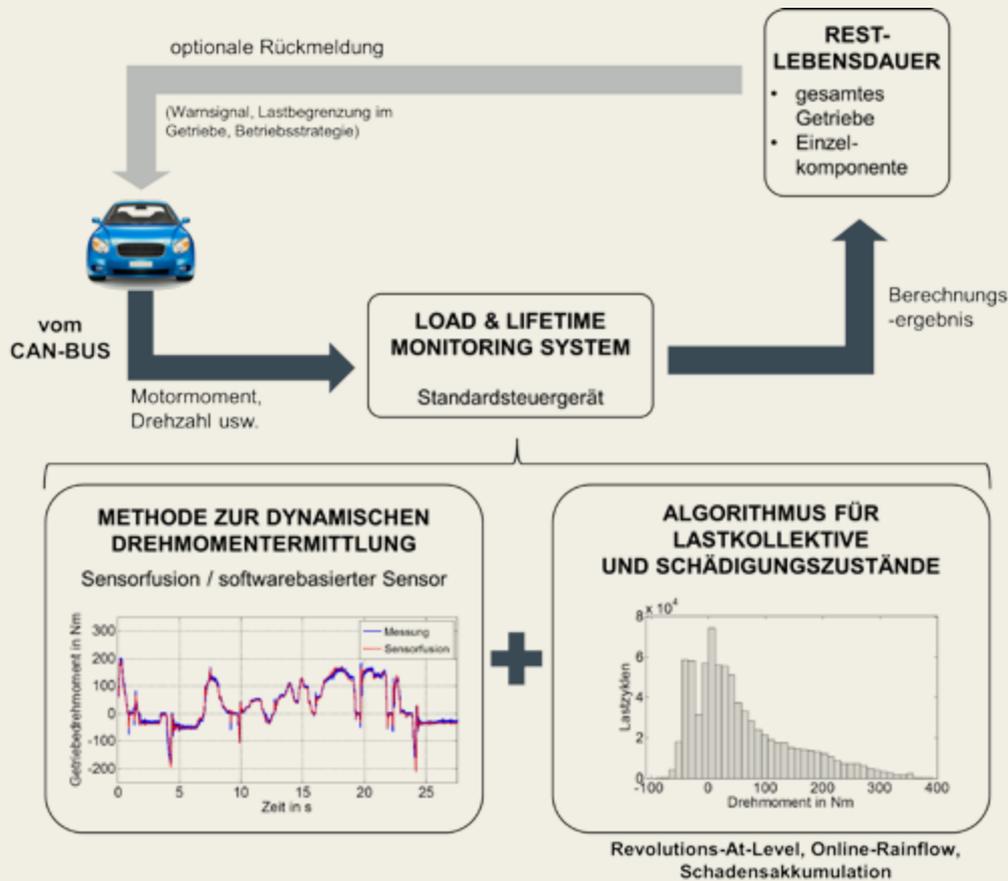


BILD 1: Grundstruktur des Lastüberwachungs- und Lebensdauerüberwachungssystems für Fahrzeuggetriebe

während des Fahrzeugbetriebs. Auf diese Weise werden die Komponentenlastkollektive kontinuierlich und unter Betriebsbedingungen berechnet und die Restlebensdauer ab dem ersten Nutzungstag vorhergesagt. In diesem Sinne wird nicht von einem bereits vorhandenen beziehungsweise sich entwickelnden Schaden ausgegangen, sondern von einem kontinuierlichen Vergleich zwischen Auslegung (Belastbarkeit) und Betrieb (Belastung) (sogenannte DO-4-LIFE-Berechnung für „Design vs. Operation FORecasts LIFETIME“). Das ist ein wesentlicher Unterschied im Vergleich zu üblichen Condition-Monitoring-Verfahren, wobei solche Verfahren auch vom IMS und Compredict erforscht und umgesetzt werden. Somit wird eine innovative Antwort zur Verbesserung der heutigen Auslegungs- und Betriebsprozeduren gegeben.

Das anwendungsorientierte, leicht anpassbare und zuverlässige System erfordert keine zusätzliche Hardware und beruht ausschließlich auf bereits vorhandenen Fahrzeugsensoren und -signalen, die auf dem Kommunikationsbus zur Verfügung stehen

(zum Beispiel Controller-Area-Network-Bus). Durch die Sensorfusion liefern die generierten Daten eine hohe Qualität und Aussagekraft. Auch werden sowohl die vom Motor als auch von den Reifen kommenden Lasten erfasst und einbezogen. Zudem werden die Eigenschaften von Standardsteuergeräten (ECU) berücksichtigt. Vor allem arbeitet das Lebensdauerüberwachungssystem in diskreter Zeit. Außerdem werden auch die begrenzte Rechenleistung und Speicherkapazität betrachtet, damit das System weiterhin ohne besonderen Aufwand in beliebigen Fahrzeugen auf einem ECU implementiert werden kann. Die Menge an generierte Daten wird niedrig gehalten, sodass die Ausgaben des Überwachungssystems zum Beispiel drahtlos übertragen werden können oder bei den Service-Inspektionen ausgelesen werden können, um Datenbanken zu generieren.

Zwei konkrete Anwendungsfälle für Fahrzeuge mit Hinterradantrieb wurden bei der ursprünglichen Systementwicklung untersucht, ein Handschalt- und ein Doppelkupplungsgetriebe (DKG) [1-4]. Mittlerweile

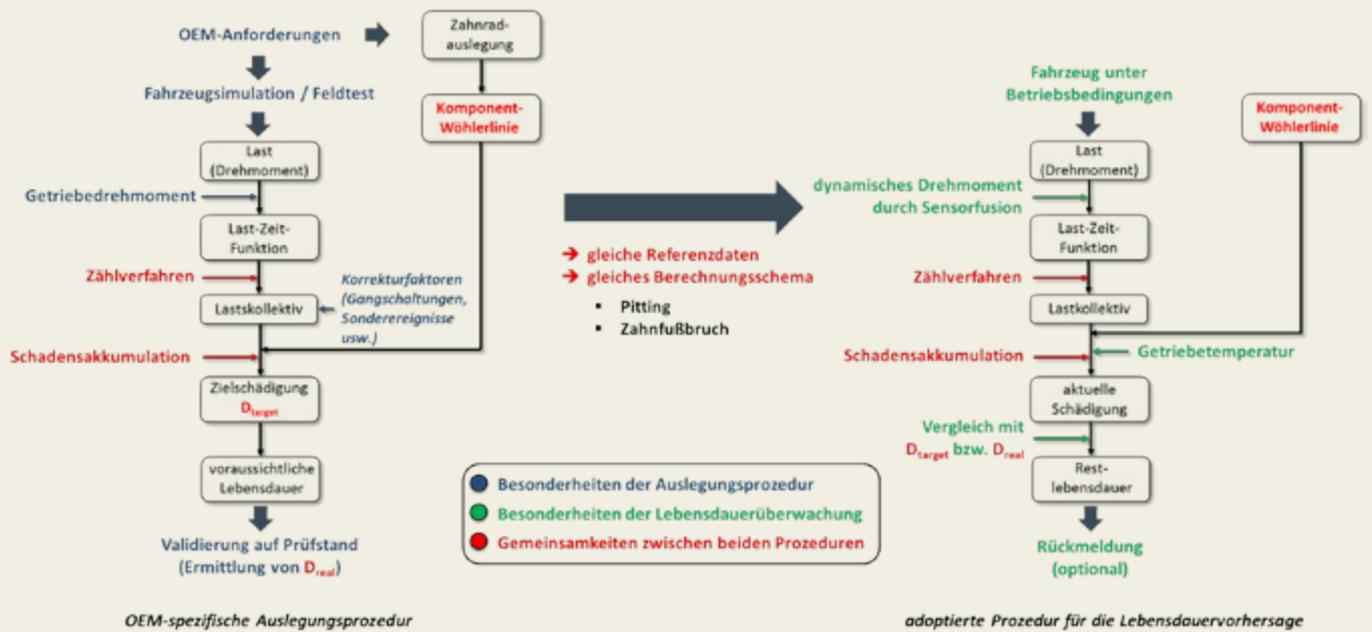


BILD 2: OEM-spezifische Auslegungsprozedur vs. adoptierte Prozedur (DO-4-LIFE) für das Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem am Beispiel der Zahnräder

ist allerdings das System für alle Getriebe- und Antriebsstrangkonfigurationen einsetzbar. In allen Fällen dient ein Sensorfusionsalgorithmus zur Rekonstruktion der dynamischen Antriebsstrangdrehmomente. Der Sensorfusionsalgorithmus wurde seit den ersten Veröffentlichungen in [1, 2, 4] weitgehend erweitert und optimiert. Je nach Anwendungsfall beruht dieser Algorithmus auf einer Kombination von Signal-Pre-Processing, stochastischen und Bayesschen Ansätzen und Machine Learning. Parallel dazu berechnet ein anderer Algorithmus die Lastkollektive und die Schädigungsniveaus von Getriebekomponenten in Echtzeit (Bild 1).

Alle relevanten Getriebekomponenten können mit dem System überwacht werden, wie etwa Zahnräder [1], Welle, Lager und Kupplung. Für die Zahnräder wird zum Beispiel das Nennspannungskonzept verwendet, gekoppelt mit einem Revolutions-At-Level-Zählverfahren und einer linearen Schadensakkumulation nach Miner-Haibach [5, 6]. Für die Wellen wird eher eine Online- und Echtzeit-Rainflow-Zählung eingesetzt, gekoppelt mit einer amplitudenabhängigen Schädigungsberechnung. Die entwickelten Algorithmen zur Schädigungsvorhersage beziehen sich auf die ursprünglichen Spezifikationen des Getriebeherstellers, sodass eine direkte Gegenübereinstellung der Auslegungsprozedur und der realen Betriebsbedingungen erfolgen kann. Dafür werden die bei der Komponentenentwicklung angenommenen Wöhlerlinien sowie zugrundegelegten

Schadenssummen und Festigkeitsgrenzen als Referenzbasis für die Echtzeit-Abschätzung der Schädigungsniveaus berücksichtigt. Die drehzahl- und lastabhängigen Größen werden bei der Umrechnung vom Drehmoment zur Spannung mit denselben Hypothesen wie bei der Auslegung betrachtet. Die dynamischen Effekte im Antriebsstrang werden vom Drehmoment-Sensorfusionsalgorithmus abgebildet. Dadurch bringt eine Implementierung des Systems keine zusätzlichen Unsicherheiten im Vergleich zu heutigen Berechnungsschemen, zum Beispiel im Hinblick auf die Streuung der Belastbarkeitsgrenzen, mit sich (Bild 2) [7, 8]. Der Anspruch liegt somit nicht in einer Verbesserung der Lebensdauervorhersage im Vergleich zu den bei der Auslegung verwendeten Prozeduren, sondern in der neuen Möglichkeit, die für die Auslegungslastkollektive berechneten maximal zulässigen Schadenssummen mit den berechneten Schadenssummen basierend auf den realen Lasten zu vergleichen. Zusätzlich kann der Einfluss der Getriebetemperatur auf die Lebensdauer berücksichtigt werden. Die Temperatur wird von einem Sensor gemessen oder mit einem Modell berechnet.

Selbst wenn die verwendeten theoretischen Grundlagen allgemein bekannt sind, wurde eine solche Vorgehensweise für eine softwarebasierte Echtzeitanwendung unter realen Betriebsbedingungen bisher nie umgesetzt. Deshalb ergeben sich die folgenden Fragen:

- Welche Betriebslastfälle beeinflussen das Schädigungsverhalten und müssen berücksichtigt werden? Welche können vernachlässigt werden?

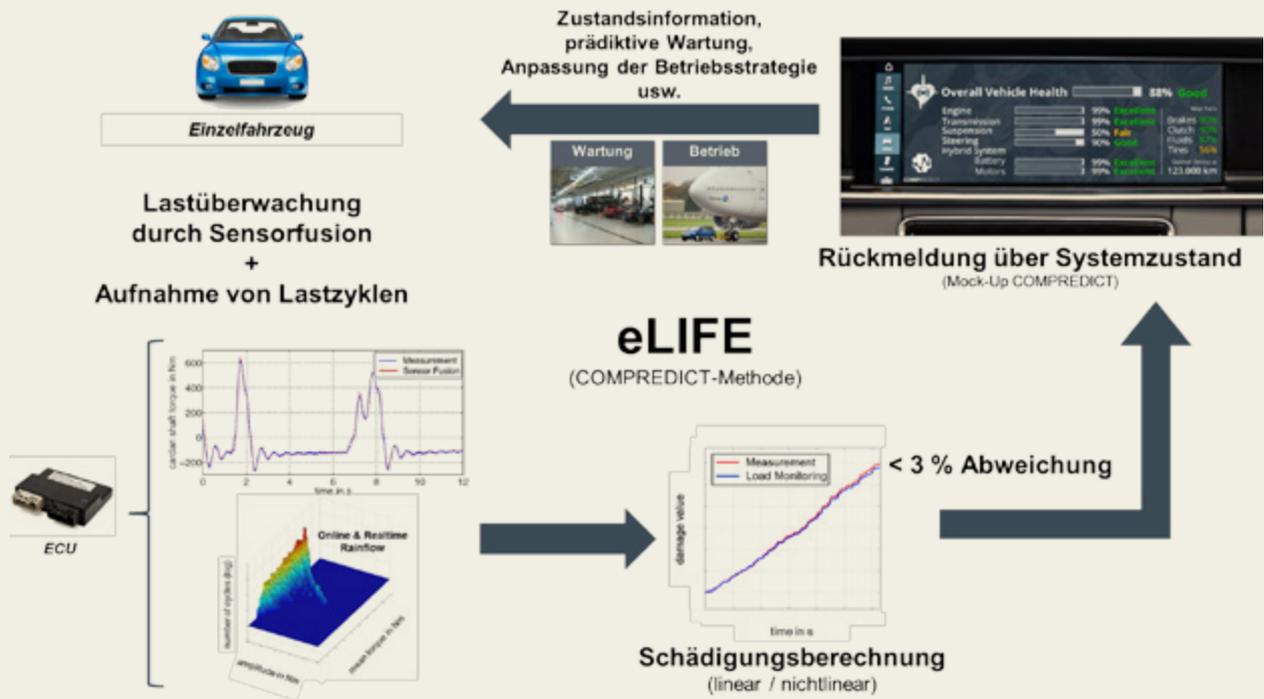


BILD 3: eLIFE-Verfahren für beliebige Fahrzeugkomponenten

- Welche Drehmomente sind repräsentativ für die Getriebebelastungen und müssen anhand des Sensorfusionsalgorithmus rekonstruiert werden?
- Welche Standardfahrzeugsignale können somit benutzt werden, um eine gute Abschätzung der Lastkollektive und Schädigungsniveaus durchführen zu können?

In diesem Zusammenhang wurde ein umfangreiches Antriebsstrangmodell zur Simulation der longitudinalen Fahrzeugdynamik entwickelt, welches alle relevanten Fahrsituationen sowie die Getriebedynamik (inklusive Schaltvorgänge und Zahneingriffssteifigkeiten) abbildet [9]. Anhand dieses mit Fahrversuchen validierten Modells wurde eine Parameterstudie realisiert, um eine Anforderungsanalyse für das Lebensdauerüberwachungssystem durchzuführen [1, 4]. Die Ergebnisse zeigen zum Beispiel für Zahnräder, dass sowohl die Gangschaltungen beziehungsweise Kupplungsvorgänge als auch Sonderereignisse wie Reifenhaftverlust/Wiederhaftung den größten Einfluss haben. Andererseits können die im Schubbetrieb oder bei Rückschaltungen erzeugten Negativdrehmomente vernachlässigt werden. Zusätzlich ist nur die erste Eigenfrequenz des Antriebsstrangs beziehungsweise Ruckelfrequenz relevant. Die Zahneingriffsdynamik kann in der Tat vernachlässigt werden, wenn eine parametrische Anregung der Zahneingriffseigenfrequenz

ausgeschlossen werden kann. Mit dieser Annahme können entweder das Getriebeeingangs- beziehungsweise -ausgangsdrehmoment unter Berücksichtigung der Getriebeverluste als repräsentative Drehmomente verwendet werden. Eine Abtastrate von 200 Hz ist allerdings empfehlenswert, um die Genauigkeit der Berechnungen in diskreter Zeit zu garantieren.

Im Vergleich zu einer Berechnung mit gemessenen Signalen weist die aktuelle Version des Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystems für Getriebe eine durchschnittliche Abweichung unter 3% auf. Diese Abweichung findet im System allerdings Berücksichtigung, sodass die Schädigungsabschätzung auf der sicheren Seite bleibt.

Visionäre Anwendungen des Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystems werden hier als Basis für einen Business-Case im Rahmen von Leichtbaumaßnahmen für Sportwagengetriebe präsentiert. Angenommen die Getriebe werden nicht mehr wie üblich für den 99%-Fahrer entwickelt und die anspruchsvollsten Fahrer werden bei der Auslegung nicht mehr berücksichtigt: Das im Forschungsprojekt betrachtete DKG könnte zum Beispiel für zirka 100 Nm weniger Eingangsmoment ausgelegt werden, woraus sich eine vergleichbare Situation wie nach einer für dieses Fahrzeugsegment durchaus üblichen Drehmomentsteigerung des Motors durch einen freien

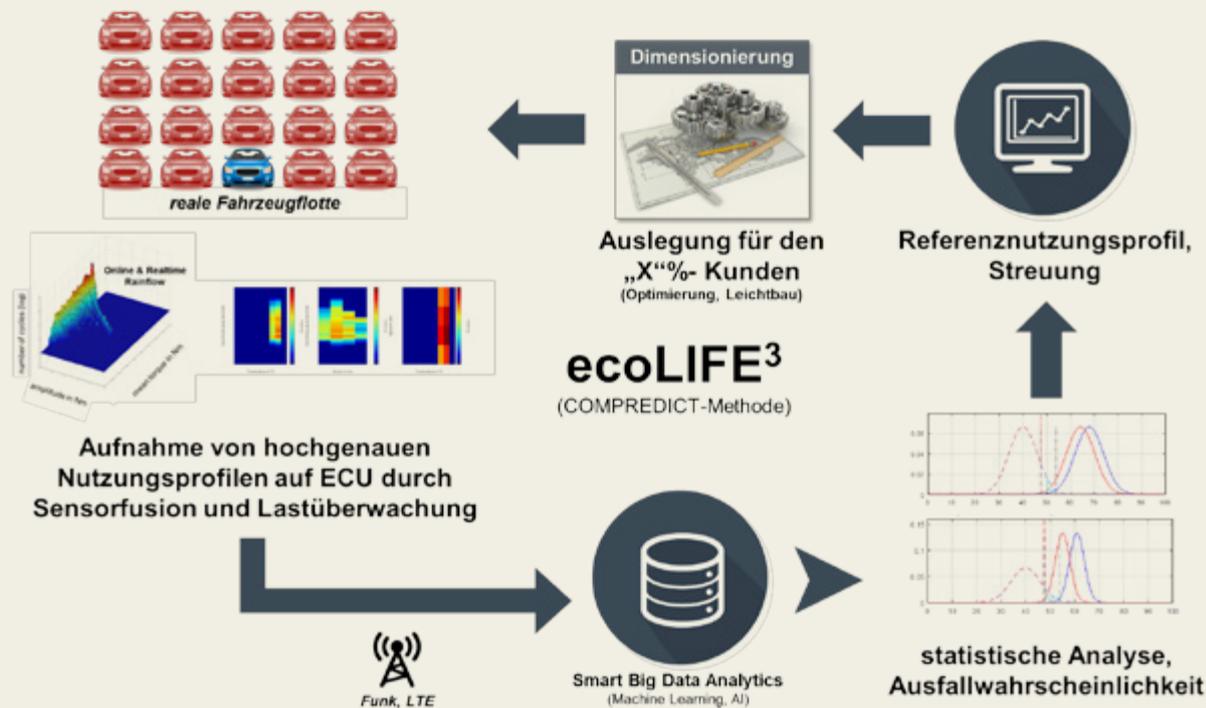


BILD 4: Grundprinzip des ecoLIFE3-Verfahrens für die optimierte Auslegung von Fahrzeugkomponenten

Tuner ergeben würde. Laut Naunheimer [10] entstünde hierdurch Potenzial für eine Reduktion des Getriebegewichts um 10 % und der Kosten des Einzelaggregates um 8,5 %. Das Mindergewicht würde wiederum zu einer potenziellen Reduktion der im Betrieb erzeugten CO₂-Emissionen um 0,19 % führen [11].

Mithilfe des Lastüberwachungs- und Lebensdauer-
vorhersagesystems könnte weiterhin ein sicherer Betrieb für jeden Fahrer gewährleistet und ein Austausch der Getriebe für diejenigen Fahrer, welche die Lebensdauerergrenze erreichen, ermöglicht werden. Die Restlebensdauer kann als Serviceinformation angezeigt werden und zusätzlich rechtzeitig vor Erreichen der Lebensdauerergrenze ein Motoreingriff als Sicherheitsmaßnahme erfolgen (Bild 3). Da eine frühzeitige Erkennung von Grenzfällen immer erfolgen kann, birgt eine solche Vorgehensweise kein erhöhtes Feldausfallrisiko. Ein sicherer Betrieb kann somit für alle Fahrer gewährleistet werden, auch wenn die Getriebe leichter gebaut werden und nicht mehr alle Fahrerprofile abdecken. Die Getriebe für die nicht abgedeckten Fahrerprofile müssen zwar ausgetauscht werden, diese Zusatzkosten können abhängig von den tatsächlichen Nutzungsprofilen und gewählten Auslegungen aber durch die reduzierten Kosten der Einzelaggregate kompensiert oder sogar überkompensiert werden. Alle Fahrer profitieren

vom Mindergewicht sowie der damit verbundenen reduzierten CO₂-Emission.

Weiterführend können anhand der mit dem Lastüberwachungs- und Lebensdauer-
vorhersagesystem abgeschätzten Schädigungsniveaus intelligente Schutzfunktionen entwickelt und die Betriebsstrategie von automatisierten Getrieben beziehungsweise die bei Handschaltgetrieben angezeigte Schaltempfehlung erweitert werden. Diese Anwendungen des Lastüberwachungs- und Lebensdauer-
vorhersagesystems werden auch als Teil der in Bild 3 vorgestellten eLIFE-Methode betrachtet. Dies bietet die Möglichkeit, für jedes Einzelfahrzeug die gesamte Getriebelebensdauer im Betrieb zu beeinflussen. Hierdurch lassen sich die wirtschaftlichen und ökologischen Potenziale noch weiter steigern.

Neben der Nutzung der Potenziale bei Neuentwicklungen könnten mit der Anwendung dieses Verfahrens auch drehmomentgesteigerte Einsätze bereits entwickelter Getriebe realisiert werden. Dabei würden sich neben den für Neuaggregate geltenden Vorteilen weitere signifikante Vorteile in Bezug auf die Entwicklungskosten und -zeiten ergeben. Besonders hochmotorisierte Fahrzeuge sind hier prädestiniert, da ihr volles Leistungspotenzial im öffentlichen Straßenverkehr nur selten genutzt werden kann. Zudem stellen auch Elektro- und Hybridfahrzeuge einen hochinteressanten

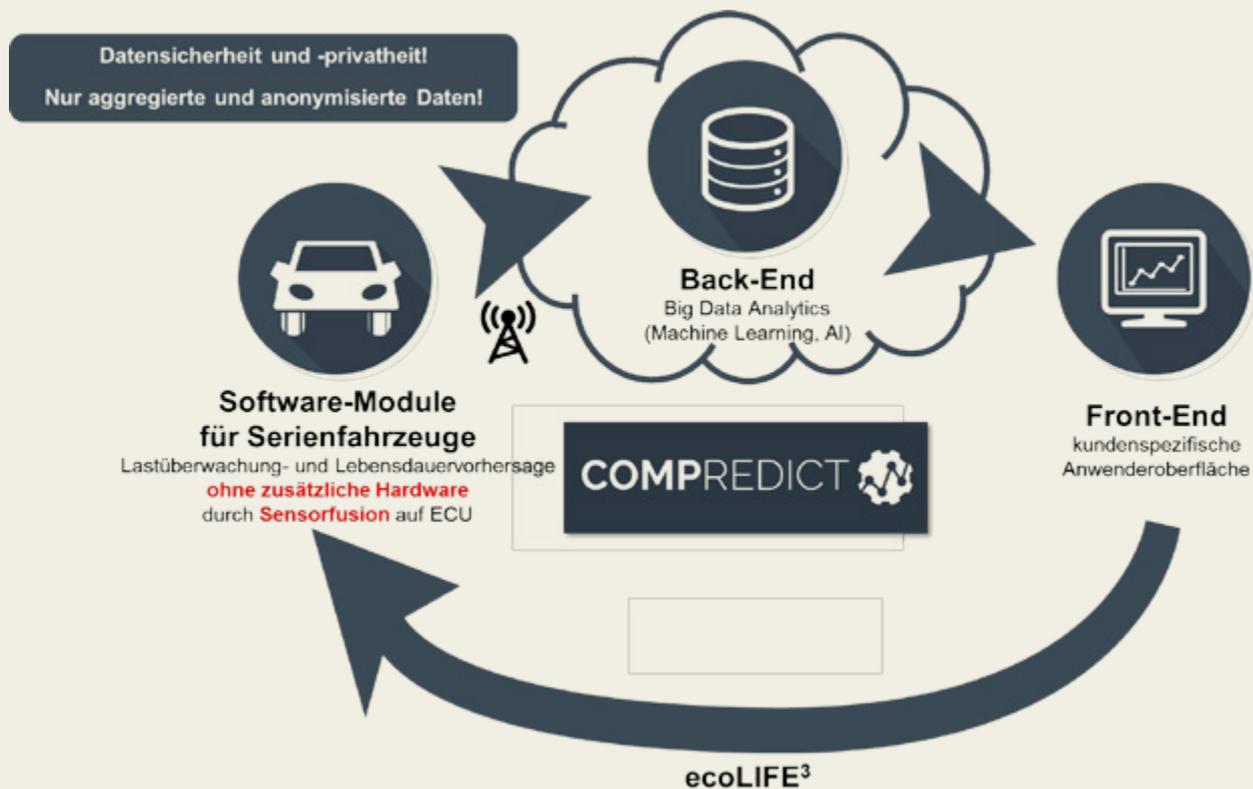


BILD 5: ecoLIFE3 als Teil der Compredict Suite

Einsatzfall dar, da die heutigen Auslegungsverfahren bezüglich der Ermittlung von Referenzlastkollektiven noch sehr großen Entwicklungsbedarf aufweisen [12].

Diese Überlegungen sollen als Denkanstöße für einen Paradigmenwechsel bei der Getriebeauslegung dienen, stellen aber mittelfristig durchaus realistische Anwendungen des Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystems dar.

2. SMART BIG DATA: ECOLIFE3 UND COMPREDICT SUITE

Über die Getriebe und Einzelfahrzeuge hinaus ergibt sich für alle mechatronischen Fahrzeugkomponenten und eine Fahrzeugflotte die Möglichkeit zu einem kontinuierlichen Optimierungsprozess auf Basis des Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystems für eine bessere Kontrolle der Nutzungsstreuungen, eine kundenorientierte und belastungsgerechte Dimensionierung, Kosteneffizienz (im Sinne des Materialansatzes, der Fehlerbehebung und der Wartung) und verbessertes Ressourcenmanagement. Diese Möglichkeit wird mit dem am IMS entwickelten und sich bei Compredict in der Umsetzung befindenden ecoLIFE3-Verfahren verfolgt. Die Grundidee des als Patent angemeldeten

ecoLIFE3-Verfahrens basiert auf der Miteinbeziehung der durch das Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem generierten Daten in der Auslegungsroutine, der Betriebsstrategie und der prädiktiven Wartung von Fahrzeugkomponenten und -systemen. Dadurch wird die gesamte Fahrzeugflotte Teil eines kontinuierlich überwachten Optimierungsproblems im Rahmen eines wissensbasierten Verbesserungsprozesses (Bild 4).

Zu diesem Zweck werden die vom Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem berechneten und aggregierten Daten an externe Bewertungseinheiten zur tiefgehenden Analysis und Gewinnung neuer Erkenntnisse übertragen, wobei Werkzeuge der Statistik, des Machine Learning und der künstlichen Intelligenz beispielhaft eingesetzt werden.

Um das ecoLIFE3-Verfahren zu ermöglichen, arbeitet derzeit Compredict an der ersten Version der Compredict Suite. Das übergeordnete Ziel ist eine komplette, lizenzierbare und schlüsselfertige Softwarelösung für Fahrzeughersteller, -zulieferer und -betreiber anzubieten, die Softwaremodule für Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersage, eine Back-End-Serverstruktur zur Datenverwaltung und -analyse und eine kundenspezifische Anwenderoberfläche (Client-Software beziehungsweise Webinterface)

zur Aufbereitung und Darstellung der Kernergebnisse umfassen wird (Bild 5).

3. AUF DEM WEG ZUM SOFTWAREBASIERTEN LEICHTBAU

Bei einer vollständigen Umsetzung des vom IMS und Compredict verfolgten Ansatzes wird ein visionärer Paradigmenwechsel in der Betriebs-, Wartungs- und Auslegungsphilosophie von Fahrzeugkomponenten und -systemen ermöglicht.

Die Lebensdauer einer Komponente wird durch das Zusammenspiel zwischen Belastbarkeit und effektiver Belastung bestimmt. Die Belastbarkeit ist eine feste Eigenschaft des Systems und kann nach dem Systemeinsatz nicht mehr geändert werden. Ein Einfluss auf die Belastungen kann allerdings vorgenommen werden. Dies kann anhand einer auf dem Lastüberwachungs- und Lebensdauer vorhersagesystem basierenden Betriebsstrategie realisiert werden (Bild 3). Tatsächlich kann das Lastüberwachungs- und Lebensdauer vorhersagesystem nicht nur eine Echtzeit-Information über die aktuellen Belastungsprofile und die entsprechenden Komponentenzustände sondern auch eine Prognose bezüglich des Einflusses eines Betriebspunkts auf den künftigen Zustand liefern. Mit all diesen Informationen kann die Betriebsstrategie von Fahrzeugkomponenten immer wieder angepasst werden, sodass kritische Betriebszustände vermieden werden und die Restlebensdauer von jeglichen

Komponenten während des Betriebs erhöht wird. Erste Untersuchungen für Fahrzeuggetriebe zeigen eine potenzielle Lebensdauererhöhung über 50 % mit dem eLIFE-Ansatz. Darüber hinaus können Wartungsintervalle beeinflusst werden und für Flottenbetreiber das Flottenmanagement verbessert werden. Beim Erreichen eines kritischen Komponentenzustands kann auch ein Notmodus freigeschaltet werden, um Ausfälle beziehungsweise Schaden zu vermindern.

Zum Thema Wartung wird auf Grundlage der ermittelten Komponentenzustände prognostiziert, wann die Komponenten ihre Endlebensdauer erreichen sollten. Dies wird mit einer zusätzlichen Bestimmung der Ausfallwahrscheinlichkeit verschärft, die unter anderem auf statistischen Analysen und Lernfahren über die gesamte Fahrzeugflotte basiert. Verknüpft mit softwarebasierten Condition Monitoring Ansätzen, die auch Bestandteil des Produktportfolios von Compredict sein werden und bereits in der Entwicklung sind, werden auch System- und Parameteränderungen in Einzelfahrzeugen erkannt und verfolgt, die wiederum die Aussage über die tatsächlichen Komponentenzustände und Ausfallwahrscheinlichkeit erhöhen. Mit all diesen Informationen kann mit hoher Zuverlässigkeit bestimmt werden, wann eine Komponente ausgetauscht werden muss. In Verbindung mit dem eLIFE-Ansatz kann sogar das Wartungsmanagement angepasst, optimiert und individualisiert werden.

Der nächste und vervollständigende Schritt, der zum softwarebasierten Leichtbau führt, ist

REFERENZEN

- [1] Foulard, S.: Online and Real-Time Load Monitoring for Remaining Service Life Prediction of Automotive Transmissions. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation, 2015
- [2] Foulard, S.; Rinderknecht, S; Fietzek, F.: Leichtbau von Fahrzeuggetrieben durch Online- und Echtzeit-Lebensdauerüberwachung. In: ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift (2016), Vol. 118/3, S. 74-79
- [3] Rinderknecht, S.: GETRAG Powershift 7DCI600 - Dual Clutch Transmission for high Efficiency and Dynamics in Inline Powertrains. In: Innovative Automotive Transmissions, 6th International CTI Symposium (2007)
- [4] Foulard, S.; Ichchou, M.; Rinderknecht, S; Perret-Liaudet, J.: Online and real-time monitoring system for remaining service life estimation of automotive transmissions - Application to a manual transmission. In: Mechatronics (2015)
- [5] Köhler, M.: Zählverfahren und Lastannahme in der Betriebsfestigkeit. Springer, 2012
- [6] Haibach, E.: Betriebsfestigkeit: Verfahren und Daten zur Bauteilberechnung. VDI-Verlag, 2002
- [7] DIN 3990 – Tragfähigkeitsberechnung von Stirnrädern. Deutsches Institut für Normung, 1987
- [8] Kurtzke, A.; Hierlwimmer, P.: CAE-basierte Abstimmung bezüglich des Fahrzeug-Leistungsverhaltens und der Getriebelebensdauer. In: Systemanalyse in der Kfz-Antriebstechnik V (2009), S. 126-141
- [9] Foulard, S.; Rinderknecht, S.; Ichchou, M.; Perret-Liaudet, J.: Automotive drivetrain model for transmission damage prediction. In: Mechatronics (2015)
- [10] Naunheimer, H.: Automotive Transmissions: Fundamentals, Selection, Design and Application. Springer Berlin Heidelberg, 2007
- [11] Fontaras, G.; Samaras, Z.: On the way to 130g CO₂/km – estimating the future characteristics of the average european passenger car. In: Energy Policy (2010), Nr. 38, S. 1826-1833
- [12] Lavall, T.: Der Hybrid-Effekt: Einfluss der Hybridisierung auf die Lebensdauer von Automatikgetrieben. In: Internationaler VDI-Kongress Getriebe in Fahrzeugen (2009), Nr. 2071, S. 661-672

die Einführung des ecoLIFE3-Ansatzes. Auf dieser Basis kann ganz genau aus der Flotte gelernt werden, wie die tatsächlichen Nutzungsprofile im realen Feld verteilt sind. Dadurch kann der tatsächliche 99%-Fahrer ohne Annahmen und ohne besonderen Aufwand hochgenau identifiziert werden. Infolgedessen kann sogar ein neues Referenznutzungsprofil für die neue Generation von Komponenten bestimmt werden, das eine Optimierung im Hinblick auf Gewicht, Materialeinsatz, CO₂-Fußabdruck, Kosten und andere Aspekte ermöglicht. Somit können im Zusammenspiel mit den Ansätzen für Betrieb, Betriebsstrategie und Wartung softwarebasierte Leichtbaumaßnahmen eingeführt werden. Dadurch kann es dazu kommen, dass für manche anspruchsvolle Fahrer beziehungsweise hochbelastete Fahrzeuge gewisse Komponenten öfter getauscht werden sollen. Für die betroffenen Fahrzeuge dienen allerdings die beiden vorerwähnten Ansätze in diesem Fall dazu, dass diese Komponenten frühzeitig erkannt werden, und dass das Ausfallrisiko sowie die Ausfallwahrscheinlichkeit der leichter dimensionierten Komponenten nicht erhöht werden. Dies bedeutet, dass kein unerwarteter Ausfall auftreten wird und dass ein Komponentenaustausch während üblicher Service-Inspektionen transparent gemacht werden kann. In diesem Zusammenhang zeigen die ersten Fallstudien, dass eine Kostenübernahme durch den Automobilhersteller für einen früheren Komponentenaustausch schon nur aufgrund der verringerten Materialkosten durch die leichtere Dimensionierung einen positiven Business-Case generieren kann.

4. FAZIT UND AUSBLICK

Das rein softwarebasiert entwickelte Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem für Fahrzeugkomponenten ist als serientauglich einzustufen und wird derzeit in Entwicklungsfahrzeugen für diverse Anwendungsfälle bei namenhaften Automobilherstellern und -zulieferern umgesetzt. Das Lastüberwachungs- und Lebensdauervorhersagesystem ist mittlerweile nicht nur für Getriebe verfügbar, sondern auch für Fahrwerk, Bremssystem, Lenksystem, Gelenkwelle, Traktionsbatterie und weitere Komponenten. Auf Basis eines Smart-Big-Data-Ansatzes eröffnet das System neue Perspektiven, um Fahrzeugkomponenten belastungsgerechter, kosteneffizienter und leichter zu bauen und kann als Basis für einen Paradigmenwechsel bei der Komponentenauslegung im Sinne eines softwarebasierten Leichtbaus dienen. Grundsätzlich eröffnet dieses System die Möglichkeit für ein besseres Verständnis der realen Nutzungsprofile und des Schädigungsverhaltens im Feld, um die Komponentenauslegung genauer an die tatsächliche Kundennutzung anzupassen und gegebenenfalls bei extremen Nutzungsprofilen sogar gezielt einen Komponentenaustausch ohne Zusatzrisiko und Verschlechterung des Business-Case vorzusehen. Darüber hinaus eröffnet das System auch neue Möglichkeiten, um schädigungsorientierte Betriebsstrategien und neue prädiktive Wartungsmaßnahmen einzuführen. Selbst wenn der Fokus derzeit auf Fahrzeuge gelegt wird, sind das System und die vorgestellten Verfahren für verschiedenste andere Anwendungen wie Maschinen und Anlagen anwendbar und umsetzbar.

AUTOREN



Dr.-Ing. **STÉPHANE FOULARD** ist Geschäftsführer und CTO der Compredict GmbH.

COMPREDICT GmbH,
Caroline-Herschel-Straße 8,
64293 Darmstadt,
foulard@compredict.de



Prof. Dr.-Ing. **STEPHAN RINDERKNECHT** ist Leiter des Instituts für Mechatronische Systeme im Maschinenbau (IMS), TU Darmstadt, und als Mitgründer für die strategische Ausrichtung Compredict GmbH zuständig.



Dr.-Ing. **RAFAEL FIETZEK** ist Geschäftsführer und CEO der Compredict GmbH.

AUSGEWÄHLTE BEITRÄGE DES VDI/VDE-GMA-KONGRESSES AUTOMATION

Aus aktuellem Anlass können sich die Themen kurzfristig verändern.

IMPRESSUM

Verlag:

DIV Deutscher Industrieverlag GmbH
Arnulfstraße 124, 80636 München
Telefon +49 89 203 53 66-0, Fax +49 89 203 53 66-99
Internet: www.di-verlag.de

In Zusammenarbeit mit

Vulkan Verlag GmbH
Friedrich-Ebert-Straße 55, 45127 Essen
Telefon +49 201 820 02-0, Fax +49 201 820 02-40
Internet: www.vulkan-verlag.de

Geschäftsführer: Carsten Augsburg, Jürgen Franke

Spartenleiter: Jürgen Franke

Herausgeber: Dr. rer. nat. Thomas Albers, Dr.-Ing. Dagmar Dirzus,
Dr. Gunther Kegel, Dr.-Ing. Jörn Oprzynski, Dr.-Ing. Wilhelm Otten,
Dr.-Ing. Thomas Steckenreiter

Beirat: Prof. Mike Barth, Dr.-Ing. Kurt Dirk Bettenhausen, Prof. Dr.-Ing.
Christian Diedrich, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Epple, Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay,
Prof. Dr.-Ing. Georg Frey, Dipl.-Ing. Thomas Grein, Prof. Dr.-Ing. Hartmut
Haehnel, Dr.-Ing. Andreas Helget, Dr.-Ing. Thomas Hauff, Prof. Dr.-Ing. Jens
Jäkel, Dr.-Ing. Jörg Kiesbauer, Dipl.-Ing. Gerald Mayr, Antonio Monaco,
Dr.-Ing. Josef Papenfort, Dipl.-Ing. Igor Stolz, Prof. Dr.-Ing. Birgit Vogel-
Heuser, Dr. Andreas Wernsdorfer, Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich, Dr.rer.nat.
Christian Zeidler

Organschaft: Organ der GMA (VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und
Automatisierungstechnik)
und der NAMUR (Interessengemeinschaft Automatisierungstechnik der
Prozessindustrie).

Redaktion:

Jürgen Franke (verantwortlich)
Telefon +49 (0) 89 203 53 66 0
E-Mail: franke@di-verlag.de

Simon Meyer
Telefon +49 (0) 201 820 02 32
E-Mail: s.meyer@vulkan-verlag.de
Gerd Scholz (gz)

Einreichung von Hauptbeiträgen:

Prof. Dr.-Ing. Leon Urbas
(Chefredakteur, verantwortlich für die Hauptbeiträge)
Technische Universität Dresden,
Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Professur für
Prozessleittechnik,
01062 Dresden
Telefon +49 (0) 351 46 33 96 14
E-Mail: urbas@di-verlag.de

Fachredaktion:

Dr.-Ing. Michael Blum, Dipl.-Ing. Heinrich Engelhard, Prof. Dr.-Ing.
Jürgen Jasperneite, Dr.-Ing. Bernhard Kausler, Dr.-Ing. Niels Kiupe,

Prof. Dr.-Ing. Gerrit Meixner, Dr.-Ing. Jörg Neidig, Dipl.-Ing. Ingo Rolle,
Dr.-Ing. Stefan Runde, Prof. Dr.-Ing. Frank Schiller

Verantwortlich für den Anzeigenteil:

Helga Pelzer
Telefon +49 (0) 201 82002-35
E-Mail: h.pelzer@vulkan-verlag.de
Es gelten die Preise der Mediadaten 2017

Anzeigenverwaltung:

Martina Mittermayer
Telefon +49 (0) 89 203 53 66 16
E-Mail: mittermayer@di-verlag.de

Satz, Layout und Herstellung:

Sylvia Kierdorf, Vulkan Verlag GmbH

Bezugsbedingungen: „atp edition – Automatisierungstechnische Praxis“
erscheint monatlich mit Doppelausgaben im Januar/Februar und Juli/August.

Bezugspreise: Der Jahres-Abonnementpreis beinhaltet den Bezug
des gedruckten Hefts sowie eine Einzellizenz für das ePaper und das
Online-Archiv der Jahrgänge seit 2008.

Abonnement: € 595,-
Einzelausgabe (Heft): € 62,-
Einzelausgabe (ePaper): € 59,-
* inkl. Versand

Die Preise enthalten bei Lieferung in EU-Staaten die Mehrwertsteuer, für
das übrige Ausland sind sie Nettopreise. Bestellungen sind jederzeit beim
Leserservice oder bei Buchhandlungen im In- und Ausland möglich. Bei
Neubestellungen gelten die zum Zeitpunkt des Bestelleingangs gültigen
Bezugspreise. Abonnements verlängern sich um ein Jahr, wenn sie nicht bis
acht Wochen vor Ende des Bezugszeitraums schriftlich gekündigt werden.
Die Abonnementgebühren werden im Voraus in Rechnung gestellt oder bei
Teilnahme am Lastschriftverfahren bei den Kreditinstituten abgebucht. Bitte
teilen Sie Änderungen von Adressen oder Empfängern bis spätestens sechs
Wochen vor Gültigkeit dem Leserservice mit.

Abonnement-/Einzelheftbestellung:

Leserservice atp
Postfach 9161
97091 Würzburg
Telefon +49 (0) 931 4170-1615
Telefax +49 (0) 931 4170-492
leserservice@di-verlag.de

Druck:

Druckerei Chmielorz GmbH
Ostring 13, 65205 Wiesbaden-Nordenstadt

Die atp wurde 1959 als „Regelungstechnische Praxis – rtp“ gegründet.

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind
urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle
ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlages strafbar.

ISSN : 2190-4111

eISSN : 2364-3137

Jetzt Zugang sichern!

Print. Digital. Heftarchiv.



Mit dem **All-in-one-Abo** der **atp edition** lesen Sie flexibel:
Print oder digital, online oder offline, jederzeit und überall. Und alles im Preis inbegriffen.
Registrieren Sie sich jetzt und nutzen Sie alle Optionen!

Einfach mit Kunden- und Abonummer unter www.di-verlag.de freischalten.

atpedition
Automatisierungstechnische Praxis