

# Warum die Welt cyberphysisch wird

## UND WIE GENTELLIGENTE BAUTEILE UND SYSTEME DAZU BEITRAGEN

**Die denkende Fabrik und smarte Produkte – eine Welt, in der ein Bauteil oder Werkzeug fühlt und seinen Zustand kommunizieren kann. Diese Visionen beschäftigen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Sonderforschungsbereichs »Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus«. Ihre Realisierung wird die Produktion von morgen nachhaltig beeinflussen.**

Dies ist für uns heute fast schon eine Selbstverständlichkeit: Informationen sind digital auf dem Smartphone verfügbar und können in Echtzeit ausgetauscht werden. Sensoren und Steuerungssysteme entwickeln sich rasant weiter und werden leistungsstärker. Ihr Einsatz erleichtert den Alltag. So übernehmen beispielsweise eingebettete Assistenzsysteme im Automobil immer mehr Aufgaben: Die Einparkhilfe oder Gurtwarnsysteme sind im neuen Fahrzeug fast schon die Regel.

Der Ursprung dieser Idee vernetzter Gegenstände und Systeme, die uns aktiv unterstützen, liegt weit zurück und wird bereits 1991 in dem Aufsatz »The Computer for the 21st Century« vom amerikanischen Informatiker Marc Weiser beschrieben. Er prägte den Begriff des »Ubiquitous Computing«. Danach wird der Computer als Gerät aus unserem Alltag verschwinden und durch »intelligente Gegenstände« ersetzt werden.<sup>1</sup> Der Nutzen liegt auf der Hand: Gegenstände kontrollieren sich zum Beispiel selbst, kommunizieren und tragen damit zu unserer Sicherheit bei.

1999 wurde die Idee der »intelligenten Gegenstände« vom englischen Wissenschaftler Kevin Ashton zu einer Vision eines »Internets der Dinge«<sup>2</sup> weiterentwickelt. Wie die Datenpakete im Internet sollten

zukünftig auch physische Gegenstände, unterstützt durch virtuelle Algorithmen, in der realen Welt ihr Ziel erreichen. So findet heute ein Paket mit den entsprechenden Codes eigenständig seinen Weg und der Kunde kann den Transport über entsprechende Webseiten verfolgen.

Der Sonderforschungsbereich (SFB) 653 »Gentelligente Bauteile im Lebenszyklus – Nutzung vererbbarer, bauteilinhärenter Informationen in der Produktionstechnik« greift diese Ideen auf und entwickelt sie weiter. 2005 zeigte der SFB 653 erstmals die Vision auf, Bauteil und Information inhärent miteinander zu verknüpfen: Bauteile werden ihren Zustand eigenständig überwachen, ihre Restlebensdauer kennen und bei Bedarf selbstständig eine Inspektion veranlassen. Unfälle aufgrund verfrühter Ermüdungsbrüche und teure Rückrufaktionen beispielsweise in der Automobilindustrie könnten vermieden werden. In den Folgejahren hat der SFB erste Prototypen mit erweiterten Fähigkeiten wie Belastungserfassung und Informationsvererbung entwickelt, die neue Produktionstechnologien erforderten und neue Instandhaltungsprozesse ermöglichten.

Mit diesen Forschungen hat der Sonderforschungsbereich 653 Maßstäbe gesetzt, die sich

auch in neuesten Forschungsansätzen widerspiegeln: So hat mit der 2012 gemeinsam vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Bundeswirtschaftsministerium gestarteten Forschungsinitiative »Industrie 4.0« die zunehmende Integration digitaler Information und zugehöriger physischer Komponente unter dem Begriff »cyberphysische Systeme« Einzug in die Industrie erhalten. Bis 2020 soll sich Deutschland zum Leitanbieter für cyberphysische Systeme entwickeln.

Viele Ansätze der neuen Forschungsinitiativen fokussieren auf den Einsatz von RFID-Technologien (RFID: Radio Frequency Identification). Die Forschung im Sonderforschungsbereich geht noch einen Schritt weiter. Die physikalische Trennung von Bauteil und dazugehöriger Information soll vollständig aufgehoben werden.

Im Vordergrund steht die Erforschung und Entwicklung neuer Produktionstechniken, die für dieses Ziel erforderlich werden. Nur im Zusammenschluss zum System können die hergestellten Bauteile anschließend in zukünftigen Anwendungsfeldern wie zum Beispiel den Bereichen Automotive und Werkzeugmaschinen ihre Möglichkeiten entfalten. Daher werden in den 16 interdisziplinären Teilprojekten des SFB unterschiedliche

<sup>1</sup> Marc Weiser, XEROX PARC: The Computer for the 21st Century, Scientific American, September 1991.

<sup>2</sup> Kevin Ashton, MIT AutoID Center, 1999: »That Internet of Things«, RFID Journal 2009.

Technologie- und Anwendungsbereiche untersucht, zusammengeführt und erste Ergebnisse in die industrielle Anwendung überführt. Neben der Fakultät für Maschinenbau und der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik der Leibniz Universität Hannover ist auch das Laser Zentrum Hannover e.V. beteiligt.

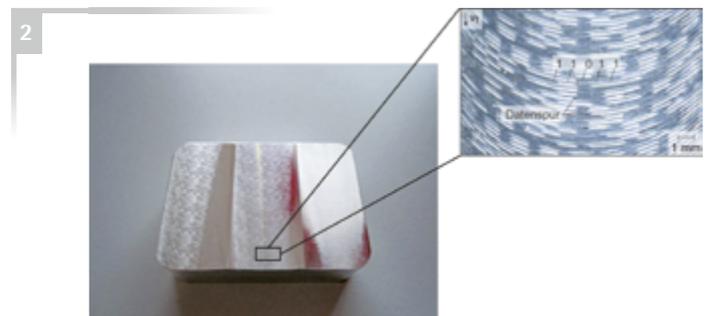
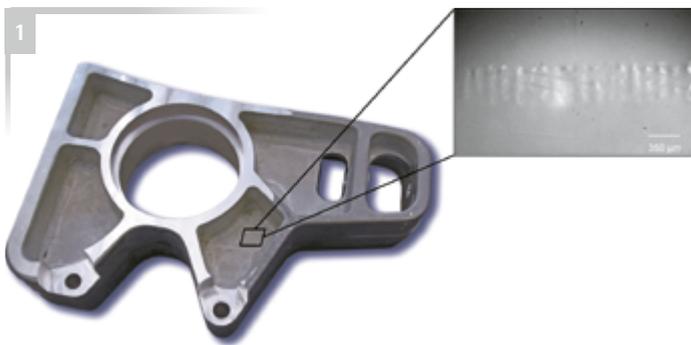
Für die Informationserfassung, -speicherung und -kommunikation werden konven-

hergestellt. Die Wissenschaftler im Sonderforschungsbereich haben beim Sintervorgang von Bauteilen aus Aluminium und Magnesium gezielt Fremdpulver eingebracht und Verfahren entwickelt, die resultierenden Matrizen im Körpervolumen zur Informationsspeicherung einzusetzen. Durch einen neuen Ansatz der Integration magnetoelastischer Sensorelemente während des Sinterns wird das Bauteil darüber hinaus

wird: Eine neue Technologie ermöglicht die Fertigung von Mikrosensoren auf dünnen, flexiblen Polymerfolien. Diese Mikrosensoren mit modularem Aufbau zum Messen von Dehnungen, Temperaturen oder Magnetfeldern können unabhängig von der Kontur der Oberfläche auf diese aufgebracht werden.

Ihren Einsatz finden diese Mikrosensoren in einer Werkzeugmaschine: Wie Nerven

Abbildung 1  
Speicherung des Bauteilzustands auf einem Radträger aus magnetischer Magnesiumlegierung  
Quelle: IW Hannover



tionelle Bauteileigenschaften neu überdacht: Idealerweise ist es der Bauteilwerkstoff selbst, der Informationen speichern kann und Aufschluss über den aktuellen und vergangenen Belastungszustand gibt. Dazu werden magnetische Magnesiumlegierungen mit sensorischen Eigenschaften entwickelt. Unter Belastung, der Einwirkung von Kraft, ändern diese Bauteile ihre magnetischen Eigenschaften: Eine werkstoffinhärente Belastungserfassung wird möglich. Durch die Weiterentwicklung der hochauflösenden Wirbelstromtechnik ist ein betriebsparalleles Auslesen des Belastungszustands möglich.

Neben diesen gießtechnischen Fertigungsverfahren werden auch Prozesse der Pulvermetallurgie zur Befähigung gentelliger Bauteile weiterentwickelt. Die Bauteile werden gesintert, das heißt, sie werden durch Verpressen und Erhitzen umformtechnisch

durch die messbare Änderung des Magnetfelds belastungssensitiv.

Auch die bei der spanenden Bearbeitung eingestellte Mikrogeometrie der Bauteiloberfläche kann durch neue Prozesse zur Informationsspeicherung und Belastungserfassung genutzt werden. Mit den neu entwickelten hochdynamischen und piezoaktorischen Dreh- und Fräswerkzeugen werden gezielt digital codierte Strukturen während der Bearbeitung auf der Bauteiloberfläche abgebildet. Neue Bildverarbeitungsalgorithmen in Kombination mit optischen Verfahren zur Dekodierung und Bauteilidentifizierung erreichen eine Genauigkeit über der eines menschlichen Fingerabdrucks.

Wo eine bauteilinhärente Realisierung nicht möglich ist, entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ausgefeilte Sensorkonzepte, durch die diese angenähert

sind die kleinen Sensoren auf dem Prototyp einer »führenden« Werkzeugmaschine verteilt, der im SFB entwickelt wird und das Anwendungsszenario für die gentelligen Komponenten und deren Zusammenschluss zu gentelligen Systemen bildet. Teilprojektleiter Dr.-Ing. Kai Litwinski hat zur Integration der Sensoren kleinste Kerben in den Schlitten der Werkzeugmaschine gefräst:

»Der typische Ingenieur kennt Kerben und weiß, dass er sie vermeiden soll. Aber wenn man die Kerbwirkung verstanden hat, kann man sie für sich nutzen. Hierdurch werden nämlich unsere mikroskopischen Sensoren wesentlich empfindlicher.« Sie sind damit geschützt vor Umgebungseinwirkungen, zum Beispiel vor Kühlschmierstoff oder fliegenden Spänen beim Fräsen. Die Signale der Sensornetze werden über in die Kontur der Werkzeugmaschine integrierte polymeroptische Wellenleiter

Abbildung 2  
Genauer als ein Fingerabdruck: Informationstragende Mikrostrukturen auf der Bauteiloberfläche  
Quellen: IFW Hannover, tnt Hannover

Der Begriff **gentelligent** setzt sich aus »genetisch« und »intelligent« zusammen und beschreibt in Anlehnung an die Biologie Bauteile mit genetischen und intelligenten Eigenschaften. Die Bauteile werden befähigt, in ihrem Lebenszyklus Informationen zu sammeln, zu speichern und zu kommunizieren. Damit wird die Grundlage zur Übertragung von Prinzipien der Biologie im Sinne des Vererbens von Informationen an nachfolgende Bauteilgenerationen und im Sinne des lebenslangen Lernens geschaffen.



**Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena**

Jahrgang 1959, leitet seit 2001 das Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW) am Produktionstechnischen Zentrum der Leibniz Universität Hannover. Nach dem Studium des Maschinenbaus an der Universität Hannover war Denkena ab 1987 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IFW; 1992 promovierte er dort. Es schlossen sich berufliche Stationen bei Thyssen in Deutschland und den USA an. Er ist Sprecher des SFB 653. Kontakt: [denkena@ifw.uni-hannover.de](mailto:denkena@ifw.uni-hannover.de)



**Gerold Kuiper M.A.**

Jahrgang 1959, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit des Sonderforschungsbereich 653. Kontakt: [kuiper@ifw.uni-hannover.de](mailto:kuiper@ifw.uni-hannover.de)

weitergeleitet, für die im Sonderforschungsbereich eine neue Fertigungstechnologie entwickelt wird.

Die Besonderheit der »fühlen- den« Werkzeugmaschine: Wie ein Werker, der manuell ein Werkstück bearbeitet, erfühlt sie die Bearbeitung, zum Beispiel ob ein Werkzeug stumpf ist. Gemessen werden beispielsweise die Zerspankräfte und Schwingungen der Werkzeugmaschine. So ermöglicht die Maschine ein sofortiges Eingreifen für Korrekturen, wenn beispielsweise Schwingungen beim Fräsen auftreten und die Oberflächenqualität des Werkstücks leiden könnte.

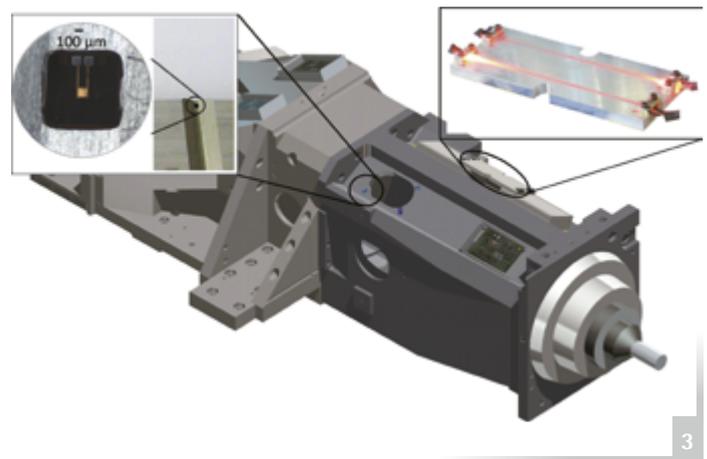
Mit dem Verfahren wurde bereits nachgewiesen, dass die Verschmelzung von Bauteil und Information möglich ist. Die fühlende Werkzeugmaschine zeigt, dass sich die Idee auch in komplexen Maschinen umsetzen lässt. Die Bearbeitung belastungssensitiver Bauteile durch die sensorischen Komponenten in der Werkzeugmaschine schafft eine völlig neue Dimension der Zustandserfassung und Prozessbewertung.

Das nächste Etappenziel des Sonderforschungsbereichs ist die Weiterentwicklung dieser neuen Art der Produktion: Gentelligente Maschinenkomponenten und gentelligente Bauteile werden veränderliche Belastungsgrößen, beispielsweise Kräfte und Temperaturen, während der Herstellungsphase erfassen und vorverarbeiten. Das gentelligente Produktionssystem ist dann in der Lage, den Zustand zu be-

urteilen und bei Bedarf eine Handlungsaufforderung an die Fertigungssteuerung zu übertragen.

Ein weiteres Ziel um die »gentelligente Produktion« zu realisieren, ist die Rückführung der im gentelligenten Bauteil gespeicherten Informationen in die Fertigung: So sollen zum Beispiel im Automobil die im Radträger während der Fahrt erfassten Belastungsdaten für seine Gestaltelevolution, also die Optimierung nachfolgender Bauteilgenerationen verwendet werden.

In der Fabrik der Zukunft werden Bauteile und Maschinen miteinander kommunizieren und eigenständig Entscheidungen treffen. Sie sind aktive, eigenständige Bestandteile



vernetzter cyberphysischer Produktionssysteme. Mit der Entwicklung gentelliger Bauteile und Werkzeuge schaffen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Sonderforschungsbereichs dafür die Voraussetzungen.

Abbildung 3 Die Mikrosensoren sind in winzigen Kerben des Werkzeug-schlittens integriert und kommunizieren über bauteilintegrierte Wellenleiter  
Quellen: IMPT Hannover, ITA Hannover, IFW Hannover