

Softwaresysteme zur Qualitätssicherung in der Umformtechnik

Ein Ansatz für die echtzeitfähige und prozessübergreifende Qualitätsüberwachung

Benjamin Lindemann, Nasser Jazdi und Michael Weyrich, Universität Stuttgart

Autoren

Benjamin Lindemann, M.Sc. arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme der Universität Stuttgart.

Dr.-Ing. Nasser Jazdi arbeitet als akademischer Oberrat am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme der Universität Stuttgart.

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich leitet das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme der Universität Stuttgart und ist Vorsitzender des VDI/VDE-Fachausschusses 7.25 „Testen vernetzter Systeme für Industrie 4.0“.

Kontakt

ias@ias.uni-stuttgart.de

www.ias.uni-stuttgart.de

Produzierende Unternehmen stehen stets vor der Herausforderung, qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen, die den strengen Anforderungen der Kunden und des Gesetzgebers genügen. Das Qualitätsergebnis muss trotz entlang der Wertschöpfungskette auftretender Schwankungen und Unregelmäßigkeiten reproduzierbar sein. Das gilt speziell für die Branche der Massivumformung, die durch ihre Abhängigkeit von den Entwicklungen in der Automobil- sowie Luft- und Raumfahrtindustrie zusätzliche Anforderungen durch den dort stattfindenden strukturellen Wandel hin zur E-Mobilität und zum Leichtbau erfährt. Um diesen Herausforderungen gewachsen zu sein, werden Lösungen benötigt, die die zunehmende Komplexität entlang der Prozesskette beherrschbar machen und zu einer erhöhten Prozessstabilität und Effizienz beitragen. Dieser Beitrag stellt einen datengetriebenen Ansatz vor, der darauf abzielt, kurzfristig auftretende Qualitätsschwankungen zu verfolgen. Prozessdaten werden dazu In-Memory in einer multidimensionalen Datenbank modelliert. Auf Basis der Ergebnisse eines Online Analytical Processing (OLAP) soll in Echtzeit reagiert und steuernd auf die Prozesskette eingewirkt werden.

Die Branche der Massivumformung produziert jährlich Güter im Produktionswert von mehr als 7 Mrd. EUR und beschäftigt ca. 30.000 Mitarbeiter in vorwiegend mittelständischen Unternehmen mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße zwischen 100 bis 200 Mitarbeitern. Über 60 % der 2,8 Mio. Tonnen Rohmaterial werden in Gesenkschmiedeteile, wie Kurbelwellen, Achsen oder Getriebeteile, umgesetzt. Verarbeitet werden größtenteils Stähle und Aluminium [1].

Herausforderungen in der Prozesskette Massivumformung

Die Wertschöpfungskette beginnt mit der Rohmaterialerzeugung aus der das Halbzeug gewonnen wird. Dabei handelt es sich um ein vorverarbeitetes Werkstück mit einfachem Profil, das in eine für die Weiterverarbeitung notwendige Geometrie gebracht wurde. Es

schließt sich der Umformprozess an, dem abhängig vom Temperaturbereich des Pressvorgangs ein Erwärmungsschritt vorausgehen kann. Das Halbzeug wird vor dem Umformen auf dem Untergesenk der Anlage platziert. Das Obergesenk stellt zumeist das geometrische Negativ des Untergesenks dar und ist verantwortlich für die Formgebung. Durch Verfahren des Werkzeugs erhält das Bauteil unter Krafteinwirkung seine charakteristische Form. Das gefertigte Bauteil wird im Nachgang einer Wärmebehandlung und einer veredelnden Weiterverarbeitung unterzogen. Am Ende der Prozesskette steht die Qualitätssicherung [2]. In Bild 1 ist eine beispielhafte Wertschöpfungskette mit den für jeden Prozessschritt relevanten Prozessparametern dargestellt.

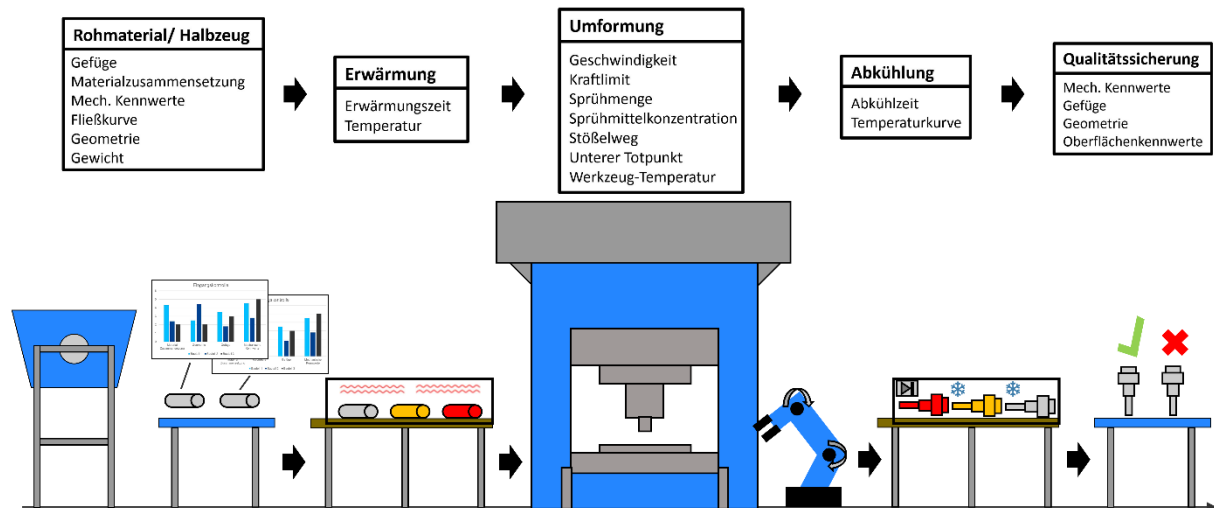


Bild 1: Prozesskette und Prozessparameter in der Massivumformung.

Die Probleme, die sich entlang der beschriebenen Wertschöpfungskette ergeben, sind verfahrensbedingt, den Umgebungsbedingungen geschuldet sowie auf die geringe Vernetzung produktionstechnischer Einheiten zurückzuführen. So kann auf Schwankungen der Produktqualität bislang nur mit größerem Zeitversatz reagiert werden, da die prozessbedingten Abläufe und die Umgebungsbedingungen keine unmittelbare Qualitätsüberwachung und -kontrolle erlauben. Die Prozessstabilität wird auf Basis von Stichproben am Ende der Prozesskette erreicht. Die unzureichende Aufzeichnung und Verwertung von Sensordaten sowie die fehlende Zuordnungsmöglichkeit dieser Daten zu einzelnen Bauteilen, Chargen oder Prozessstationen stehen einer Optimierung des Prozesses sowie einer Effizienzsteigerung im Anlagenbetrieb entgegen. Die fehlende Korrelation von Bauteileigenschaften und Prozessdaten lässt eine Gesamtoptimierung nicht zu. Die Prozesskette ist durch komplexe Wechselwirkungen gekennzeichnet. Der hohe Durchsatz in der Massenfertigung und die dynamische Produktionssystematik stehen im natürlichen Widerspruch zu der Rückverfolgung einzelner Bauteile. Die sehr rauen Betriebsbedingungen – teilweise Prozesstemperaturen über 1000 °C – erschweren den Einsatz sensibler informationstechnischer Lösungen zusätzlich. Um eine Rückverfolgung umzusetzen, werden derzeit beispielsweise Barcode-Technologien oder Lasermarkierungen verwendet, die direkt ins Material eingeprägt werden. Da die Markierung und damit die Bauteilidentifikation beim Umformprozess verloren geht und die Zuordnung von Identifikation und Bauteil nicht zwangsläufig über die Reihenfolge der Bearbeitung wiederhergestellt werden kann, ist ein durchgängiges informationstechnisches Konzept zur Umsetzung der Bauteilidentifikation notwendig. Dazu muss der digitale Zwilling des einzelnen Werkstücks stetig mitgeführt werden. Eine gezielte datengetriebene und

automatisierte Qualitätsüberwachung auf der Grundlage einer robusten Bauteilrückverfolgung konnte bislang nicht umgesetzt werden.

Rückverfolgung und Datenintegration

Die Grundlage für eine durchgängige Rückverfolgung eines möglichst kleinen Fertigungsloses ist die Integration einer geeigneten Infrastruktur, zum Beispiel einer Smart-Tag-Lösung, die für den Einsatz unter den zuvor skizzierten Umgebungsbedingungen geeignet ist. Anforderungen ergeben sich in besonderem Maß durch die hohen Prozesstemperaturen, die durch die induzierten elektromagnetischen Störfelder eine dezentrale Informationshaltung auf den Smart Tags erschweren. Auf der Basis einer robusten Identifikationstechnologie kann ein Assistenzsystem für die datengetriebene Qualitätsüberwachung konzipiert und umgesetzt werden.

Der erste Schritt in einer datenbasierten Automationskette zur informationstechnischen Umsetzung der Bauteilrückverfolgbarkeit ist eine konsistente Datenerfassung. Der Datenraum beinhaltet sowohl die Sensordaten als auch die auf den Smart Tags mitgeführten Produktdaten. Um ein durchgängiges, bauteilbezogenes Datenmodell umzusetzen, registriert sich jedes Bauteil vor der Bearbeitung an der jeweiligen Prozessstation. Dies wird durch einen Lesevorgang realisiert. Die im Zuge der Bearbeitung an der Station anfallenden Prozessdaten werden dem Bauteil bzw. dessen im Datenmodell hinterlegter Identifikation direkt zugeordnet. Über den durch die Registrierung erfassten Zeitstempel können Bearbeitungs- und Verwendungszeit von Bauteil und Anlage ermittelt werden. Die Sensordaten werden mit einem Zeitstempel versehen und in das Datenmodell integriert. Auf diese Weise wird sukzessiv und in Echtzeit ein für jedes Bauteil individuelles Datenmodell generiert und im Produktionsablauf stetig aktualisiert. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette wird das digitale Abbild der einzelnen Werkstücke in prozessabhängigen Zyklen geladen und erweitert. Am Datenmodell ist damit auch der aktuelle Bearbeitungsstand ablesbar. Das eingangs beschriebene Problem einer fehlenden Zuordnung von Prozessdaten zu Bauteileigenschaften wird dadurch behoben. Der digitale Zwilling der Werkstücke ist die Grundlage weiterführender datenanalytischer Betrachtungen.

Jedes System entlang der Prozesskette verfügt über eine eigene Steuerung und ein eigenes, autarkes Bussystem, über das Sensorwerte gelesen und Aktoren eingestellt werden können. Um die Heterogenität der Informationsflüsse abstrahieren zu können, wird auf einem am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme entwickelten Konnektoren-Ansatz aufgebaut, der für jedes dieser Systeme eine individuelle Kommunikationsschnittstelle vorsieht und die Informationen in einheitlicher Form einer höheren Steuereinheit zur Verfügung stellt [3]. Diese Konnektor-Anwendung wird als Client-Server-Architektur realisiert. Auf den Systemen in der Feldebene läuft die auf das Bussystem individuell abgestimmte Serveranwendung, die die tatsächlich vorhandenen Parameterwerte aufzeichnet. Auf einem übergeordneten Rechner wird ein zentraler Client implementiert, der die benötigten Daten bei den Servern anfragt und in einem einfachen Tabellenformat erhält. Die individuellen Serveranwendungen können in einer alternativen Architekturvariante auch auf dem zentralen Rechner realisiert werden und remote mit der jeweiligen Steuerung kommunizieren. Client und Server würden auf derselben Hardware laufen. Die im vorherigen Abschnitt beschriebene Anwendung zur Generierung eines einheitlichen Datenmodells kapselt die Konnektor-Anwendung, indem sie die Informationsabfrage der einzelnen Subsysteme koordiniert. Das wird dadurch erreicht, dass sie direkt mit den Lesegeräten in

der Feldebene kommuniziert und das Datenmodell in einem einheitlichen Format wie XML weitergibt. Über das Auslesen der Informationen auf den Tags wird die Abfrage der einzelnen Subsysteme getriggert.

Die beiden beschriebenen Anwendungsebenen werden von einer dritten höheren Schicht vervollständigt, die echtzeitfähige Verbindungen des Client-Rechners mit externen Servern („Cloud“) verwaltet und zusätzlich eine Schnittstelle zur Rückführung von Steuerdaten zu den beiden darunter liegenden Schichten bietet. Handelt es sich bei den Servern um Datenbanken, kann die Datenübertragung beispielsweise über direkte Datenbankverbindungen erfolgen. Die Übertragung der Daten kann auf verschiedene Arten gesteuert werden. Serverseitig kann über Webservices eine konstant frequentierte Abfrage des zentralen Rechners erfolgen. Alternativ kann clientseitig ein ereignisgesteuerter Datenübertragungsvorgang eingerichtet werden. Die Entscheidung für eine Lösung ist abhängig von den bestehenden Echtzeitanforderungen. Bei der eingangs beschriebenen Prozesskette ist eine zyklische, serverseitige Datenabfrage ausreichend für eine effektive Qualitätsüberwachung.

Nach der Durchführung einer Datenanalyse in der Cloud werden die Ergebnisse in Form von Steuerdaten zurückgeleitet. Die Steuerdaten werden von der zweiten koordinierenden Anwendungsebene verarbeitet. So ist es möglich, abhängig von den in den vorangegangenen Prozessschritten erfassten, bauteilbezogenen Sensordaten die passenden Stellgrößen für den nächsten Prozessschritt bzw. das nächste Werkstück zu wählen. Eine Anpassung der einzustellenden Parameter über mehrere Werkstücke hinweg ist ebenfalls umsetzbar. Die Analyse dient der Adaption des aktuellen Prozessgeschehens und wird für eine situationsbasierte Qualitätsüberwachung genutzt. Die beschriebene Architektur ist in Bild 2 dargestellt.

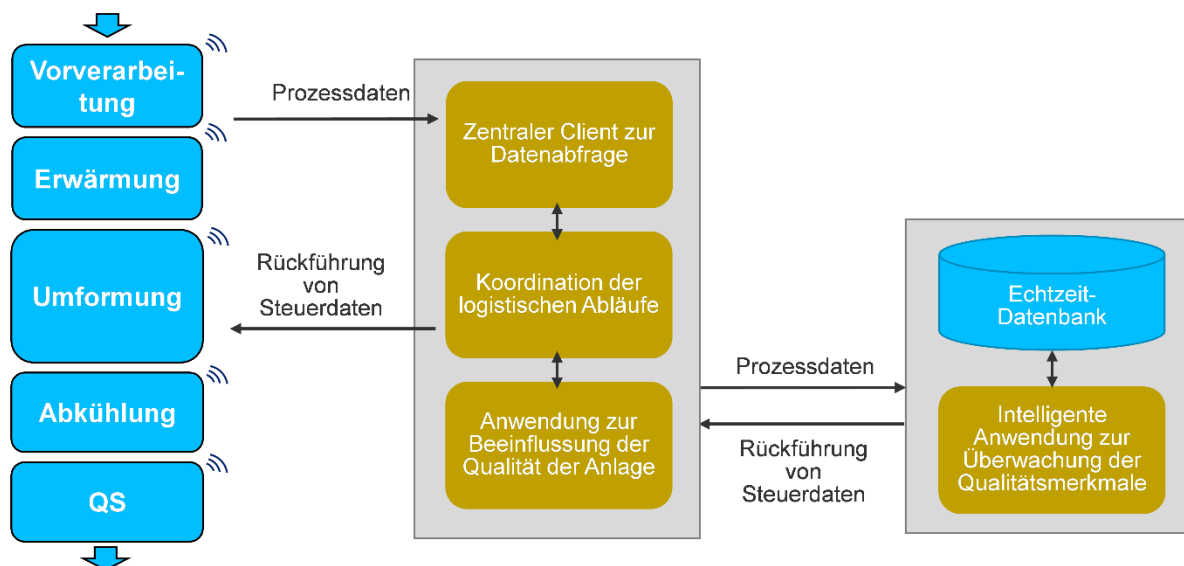


Bild 2: Übersicht über die Datenintegration.

Datenmodellierung und Analyse

In der Factory Cloud wird im vorliegenden Fall eine Echtzeitdatenbank realisiert, die die Daten In-Memory verarbeitet und Online Analytical Processing ermöglicht. OLAP bietet die Möglichkeit, Daten in einer multidimensionalen Struktur zu modellieren und zu analysieren. Dabei ist die multidimensionale Betrachtung unabhängig von der Datenquelle und der Datenstruktur dieser Quelle. So ist es möglich, OLAP auf verschiedenste, heterogene

Datenquellen anzuwenden. Sowohl konventionelle relationale Datenbanken, MES- und ERP-Systeme als auch diverse Dateiformate und Webservices können in eine Modellierung einbezogen werden.

Die multidimensionale Datenmodellierung ist unabhängig von der tatsächlichen physikalischen Speicherstruktur der aus verschiedenen Quellen integrierten Daten. Die integrierten Daten können zum einen relational abgelegt werden. In diesem Fall wäre nur die Modellierung multidimensional. Zum anderen kann auch die tatsächliche Speicherung multidimensional erfolgen. Dadurch würden sich zusätzlich zu den Vorteilen der Datenmodellierung noch erhebliche Geschwindigkeitsvorteile ergeben [4].

Die Dimensionen der multidimensionalen Datenstruktur ergeben sich aus den verschiedenen Sichten auf die Daten. Jede Dimension verfügt über eine interne, hierarchische Struktur über die durch die Daten navigiert werden kann. An den Verzweigungen jedes Strukturpfads stehen Attribute, die die logische Beschreibung der Daten vornehmen. Die Granularität der Datenbeschreibung steigt mit der Hierarchietiefe. Die Daten selber können für verschiedene Dimensionen in verschiedenen Granularitäten vorliegen, ohne dass dadurch eine homogene Datenmodellierung verhindert wird. So ist es möglich, stark heterogene Datenstrukturen in einer Struktur zu vereinen. Da sich im Fall von drei Dimensionen bei der Datenvisualisierung ein Würfel ergeben würde, hat sich der Begriff des „Data Cube“ etabliert [4].

Das aufgespannte Datenmodell ist die Grundlage für weiterführende Analysen. Im Sinne einer Vorverarbeitung kann eine Selektion bezüglich einzelner oder mehrerer Dimensionen erfolgen. Mit einfachen Operationen kann die hierarchische Struktur auf eine Teilstruktur eingeschränkt werden, um beispielsweise ein bestimmtes Teilproblem zu betrachten. Diese Einschränkungen können flexibel gestaltet und in allen Dimensionen umgesetzt werden. Dadurch ist eine angepasste Betrachtung der Daten und eine darauf zugeschnittene Analyse möglich.

Die flexible Datenzusammenführung heterogener Datenstrukturen wird in einem vorverarbeitenden Schritt als Grundlage für die Datenaggregation genutzt. Das beschriebene Konzept soll mit einer tiefgreifenden Datenanalyse kombiniert werden, indem es in ein Analyseframework eingebunden wird. Im Hinblick auf den in der Umformtechnik bestehenden Datenraum ergeben sich durch die Anwendung von OLAP diverse Vorteile. Entlang der Prozesskette der Massivumformung entstehen die in Bild 1 dargestellten Prozessdaten. Das vorgestellte Konzept erlaubt es, die Daten der einzelnen Prozessschritte in einem separaten oder in einem gemeinsamen Modell zu verwalten. So ist es möglich, auf einzelne Prozessstationen spezifisch zugeschnittene Analysen durchzuführen, aber auch Zusammenhänge entlang der gesamten Prozesskette abzubilden. Durch die flexible Navigation im erstellten Datenmodell können auch bauteil- oder chargenbezogene Analysen realisiert werden. Das Modell für den Schritt der Umformung beinhaltet, neben den Verläufen der Prozessgrößen wie der Geschwindigkeit des Werkzeugs oder der Presskraft, zusätzlich die Zeit, den Prozessschritt und die aus dem Smart Tag ausgelesene Identifikation als weitere Dimensionen. In Bild 3 ist eine mögliche Datenmodellierung mit den Dimensionen Produkt, Prozessschritt und Zeit beispielhaft dargestellt. Über die Dimensionen kann eine Zuordnung und Korrelation einzelner Prozessparameter stattfinden und eine Wissensbasis geschaffen werden. Die eingangs dargelegten Probleme einer fehlenden Zuordnung von Bauteil- und Prozessdaten können durch das Konzept gelöst werden. Durch Ad-hoc-Analysen können unverzüglich fehlerbehaftete Verläufe und Anomalien erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Abhängig von den Ergebnissen der Analysen werden Steuerdaten generiert, die über die zuvor beschriebene Infrastruktur direkt Einfluss auf das Anlagenverhalten nehmen können. Eine Steuerung aus der Cloud ist dadurch möglich.

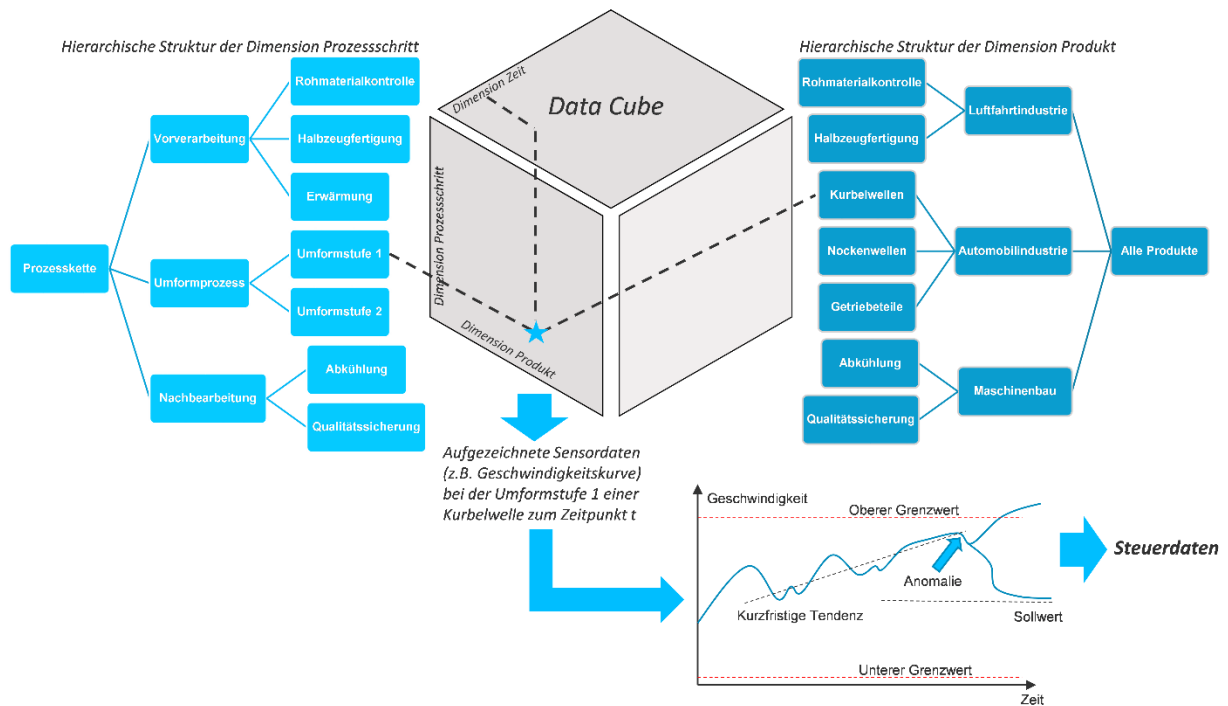


Bild 3: Datenmodellierung in einer Echtzeitdatenbank.

Darüber hinaus werden über eine Benutzerschnittstelle Handlungsempfehlungen gegeben, die von einer höheren Entscheidungsebene akzeptiert oder verworfen werden können. So ist es möglich, die Entscheidung über eine Einflussnahme auf das Prozessgeschehen entweder vollautomatisiert oder mit dem Menschen als letzte Kontrollinstanz umzusetzen. Das beschriebene Konzept für ein cloudbasiertes Assistenzsystem zur Überwachung der Qualität in der Umformtechnik wird anhand eines Modellprozesses erprobt und validiert. Der Modellprozess bildet die Sensordatenlandschaft der Massivumformung nach und beinhaltet die beschriebene informationstechnische Systemarchitektur von der Datenerfassung bis hin zur Datenmodellierung und Analyse.

Literatur

- [1] Industrieverband Massivumformung e. V.: Kennzahlen der Branche. URL: <http://www.massivumformung.de/branche/kennzahlen/>, Abrufdatum 10.07.2017.
- [2] Liewald, M.; Karadogan, C.; Felde, A.; Lodwig, R.: Entwicklung und Integration digitaler Technologien in Prozessfolgen der Massivumformung. In: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung (NEMU) 2017.
- [3] Faul, A.; Jazdi, N.; Weyrich, M.: Approach to Interconnect Existing Industrial Automation Systems with the Industrial Internet. In: 21st IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) 2016.
- [4] Schwarz, H.: Konzeptueller und logischer Data-Warehouse-Entwurf: Datenmodelle und Schematypen für Data Mining und OLAP. In: Informatik Forschung und Entwicklung. 18(2004) 2, S. 53-67.

Schlüsselwörter:

Online Analytical Processing, Echtzeitdatenbank, Cyber-Physische Systeme, Qualitätsüberwachung, Massivumformung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Effizienzschub in der Massivumformung durch Entwicklung und Integration digitaler Technologien im Engineering der gesamten Wertschöpfungskette“ (EMuDig 4.0), das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Technologiewettbewerbs „Digitale Technologien für die Wirtschaft“ (PAiCE) gefördert wird.

Software Systems for Quality Assurance for the Processes of Forming Technology 4.0 - An Approach for Real-Time Quality Control

Solid forming companies are always faced with the challenge of producing high-quality products that meet the strict requirements of the customers. The quality has to be reproducible despite fluctuations occurring along the value chain. In order to meet the requirements, solutions for an improved process stability and quality are needed. This paper presents a data-driven approach that aims to adapt quality fluctuations. Thus, process data is modeled in-memory in a multidimensional database. Based on the results of an online analytical processing, the process is controlled in real-time.

Keywords:

online analytical processing, real-time database, cyber-physical systems, quality control, massive forming