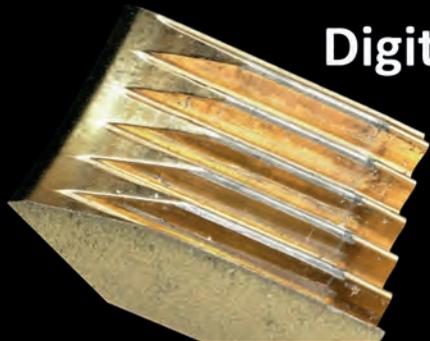




Werkzeug



Digitalisierung



Digital Services

Praxisbericht zur Digitalisierung von Umformmaschinen

Die Firmen Felss Systems GmbH und ConSenses GmbH haben mit weiteren Partnern die Herausforderung angenommen, die Digitalisierung anspruchsvoller Umformprozesse in der Massivumformung voranzutreiben. Die Zusammenarbeit folgt der Zielsetzung, aktuelle Kundenbedürfnisse besser zu befriedigen und für zukünftige Aufgaben die notwendigen Fundamente zu legen [1].

Die Partner untersuchten in einem gemeinsamen Projekt; wie der Axialformprozess messtechnisch erschlossen werden kann, um Verschleiß- und Schadensbilder zukünftig sicherer zu identifizieren. Weiterhin soll auf dieser Basis das Prozessverständnis systematisch ausgebaut und damit weiterführende Serviceangebote für die Kunden erschlossen werden.

AUTOREN



Dr.-Ing. Jörg Stahlmann

ist geschäftsführender Gesellschafter der ConSenses GmbH in Roßdorf und verantwortet die kaufmännischen Bereiche



Dr.-Ing. Matthias Brenneis

ist geschäftsführender Gesellschafter der ConSenses GmbH in Roßdorf und verantwortet die technischen Bereiche



Dr.-Ing. Matthias Kluge

ist Leiter Werkzeug- & Umformtechnik bei der Felss Systems GmbH in Königsbach-Stein



Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Michael Marré

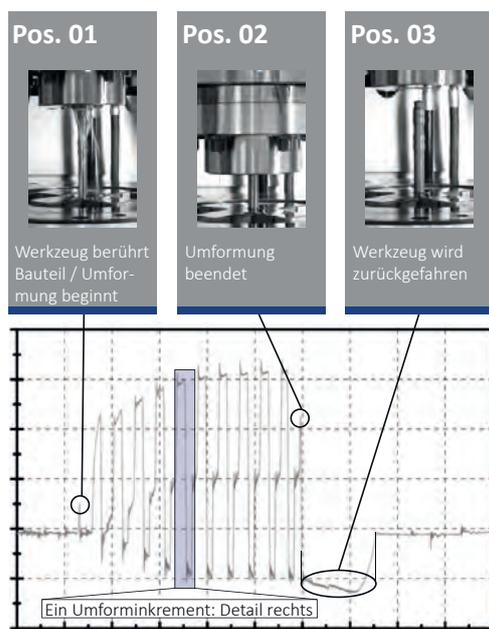
ist Leiter Engineering und Innovation bei der Felss Systems GmbH in Königsbach-Stein

In einer umfassenden Studie wurden zunächst verschiedene Messebenen identifiziert und in Werksversuchen systematisch qualifiziert. Die Ergebnisse wurden mit bestehendem Expertenwissen und Ergebnissen universitärer Laborversuche abgeglichen und in einem Serienprozess auch quantitativ erprobt. Die Ergebnisse fließen in das Digitalisierungskonzept ein und stehen Kunden damit zukünftig in Form von Retrofits und Neuananschaffungen zur Verfügung.

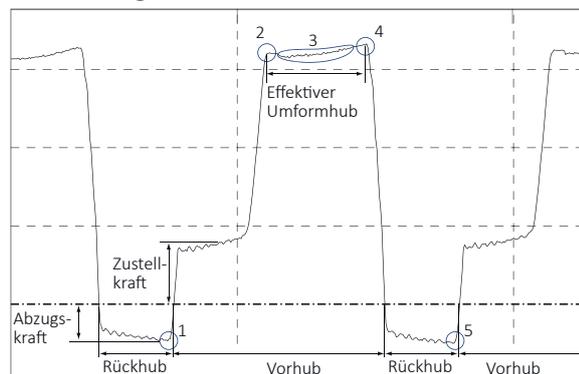
GRUNDLAGEN UND ZIELSETZUNG

Oszillierendes Umformen hat erhebliche Vorteile hinsichtlich Herstellbarkeit und Werkzeugbelastung, insbesondere bei der wirtschaftlichen Umformung von Steckverzahnungen. So wer-

den beim rekursiven Axialformen diese Vorteile genutzt, um hochpräzise Verzahnungen umformtechnisch herzustellen. Beim herkömmlichen Axialformen erfolgt die Zustellung des Werkzeugs mit einer konstanten Geschwindigkeit. Werden dabei die Verformungskräfte zu hoch, kommt es zu Stauchungen am Werkstück – besonders bei dünnwandigen Rohren oder ausgedünnten Bauteilen. Durch die von Felss patentierte Rekursivmodulation bei den Aximus-Anlagen werden die Umformkräfte minimiert und die Umformgrade erhöht. Das Werkzeug führt mit kleinen, wiederkehrenden Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen, die der eigentlichen Zustellbewegung überlagert werden, die Umformung aus (Bild 1). Dadurch wird diese Rekursivmodulation für viele Anwendungen unverzichtbar [2].



Darstellung eines Umforminkrementes



- | Position | Prozessphase |
|----------|---|
| 1 | Beginn des Vorhubs
- zunächst Kraftabbau, dann Reibung in der Verzahnung |
| 2 | Beginn des effektiven Umformhubs |
| 3 | Umformung, Schmierfilm baut sich langsam ab |
| 4 | Beginn des Rückhubs |
| 5 | - zunächst Kraftabbau, dann Reibung in der Verzahnung wie 1 |

Bild 1: Prinzipieller Kraftverlauf beim rekursiven Axialformen (links)/Kraftverlauf eines einzelnen Inkrementes (rechts) [3]

Wie in allen umformtechnischen Prozessen sind Umform- beziehungsweise Reaktionskräfte wesentliche Verursacher von Verschleiß und Schäden an Werkzeug oder Maschine. Eine einfache und präzise Beobachtung dieser Beanspruchungen bietet damit auch einen zentralen Zugang für Prozessverbesserungen und Predictive-Maintenance-Ansätze. Auf diesen Ansätzen basieren die Services Smart Correction Aximus und Smart Maintenance Aximus [4].

Maschinenanbieter sind gefordert, Anlagen zu verkaufen, die Überbeanspruchungen erkennen und Auslastungsinformationen liefern. Wo in der Vergangenheit Überlastsicherungen oder einfache Monitoringsysteme ausreichten, sind schon heute Lösungen gefragt, die umfassendes Prozess- und Anlagenwissen sowie sicheres Datenhandling voraussetzen. Die gestellte Aufgabe heißt demnach, eine gesicherte Grundlage für nachhaltige Lösungen zu schaffen. Im Folgenden wird der Weg einer systematischen Systementwicklung für die Aximus-Maschinen dargestellt.

MASCHINENAUFBAU UND MESSEBENEN

Bild 2 zeigt den Kraftpfad von Aximus-Maschinen schematisch (links) und in Form der Maschinenkomponenten im Kraftfluss freigeschnitten (rechts). Von unten kommend gliedert sich der Kraftfluss wie folgt: 0) Werkzeugbereich mit Matrizenaufnahme, 1) Werkzeughalter, 2) Führungszone, 3) Kraftleitung mit 4) Messort eines Maschinensensors, 5) Antrieb.

Ziel der Untersuchung ist die sichere Erfassung von

- Verschleiß
- Werkzeugbrüchen
- Kollisionen

Im Rahmen der Untersuchung wurde die bestehende Messstelle Ebene 4) gemeinsam mit zusätzlichen Messstellen an den Ebenen 3), 2) und 1) mit zunehmender Prozessnähe evaluiert. Die vielversprechendsten Messorte werden in einer Pilotanwendung unter Serienbedingungen erprobt.

AUFNAHME UND EVALUIERUNG VON SIGNALEN AM AXIALFORMPROZESS – DURCHGÄNGIGER ÜBERGANG VON DER THEORIE IN DIE PRAXIS

VORUNTERSUCHUNGEN IM FORSCHUNGLABOR

Dem Projekt ging eine mehrjährige Grundlagenuntersuchung in Forschungslaboren voraus. Diese Untersuchung hatte zum Ziel, die kraftreduzierenden Effekte beim oszillierenden Axialformen sicher zu identifizieren. Hierfür wurde die Werkstückaufnahme über eine Axialkraftmessplattform in einer flexiblen Servomotorpresse integriert. Für die Umformmatrize wurde eine spezielle Armierung entwickelt, die im Rückhub entspannt werden konnte, um den Effekt anisotroper Verfestigung getrennt von tribologischen Einflüssen zu untersuchen [5]. Im Laborumfeld konnten einzelne Prozessparameter gezielt variiert werden. Für den Erkenntnisgewinn hinsichtlich des Einflusses einzelner Parameter eröffnet dieser Ansatz wesentliche Denkanstöße [6].

BEWERTUNG VON MESSORTEN IN DER MASCHINE UND SERIENVERSUCHE

Im Rahmen von Betriebsversuchen wurden verschiedene Werkstoffe und Matrizen eingesetzt und Umformprozesse durchgeführt. Dabei erfolgte die Aufzeichnung und Auswertung von Messwerten an den vier Messebenen mit jeweils ein bis vier Kraftsensoren. Bild 3 zeigt je zwei exemplarische Kurven aus den Messebenen 1 und 4. Hier dargestellt sind Messwerte von neuwertigen (grün, gestrichelt) und verschlissenen (rot, durchgehend) Umformmatrizen.

In Bild 3 ist zu erkennen, dass die Unterschiede zwischen den Kraftmesswerten der neuwertigen und verschlissenen Werkzeuge sich jeweils unterschiedlich ausprägen. Der mit PiezoBolts direkt am Prozess aufgenommene Kraftwert (Ebene 1) zeigt eine deutliche Verschiebung der Kraftniveaus nach unten [7]. Das bedeutet, dass die Umformkraft in der Vorwärtsbewegung dieser Matrizengeometrie kleiner ist als bei der neuwertigen Matrize, die Rückzugskräfte allerdings leicht

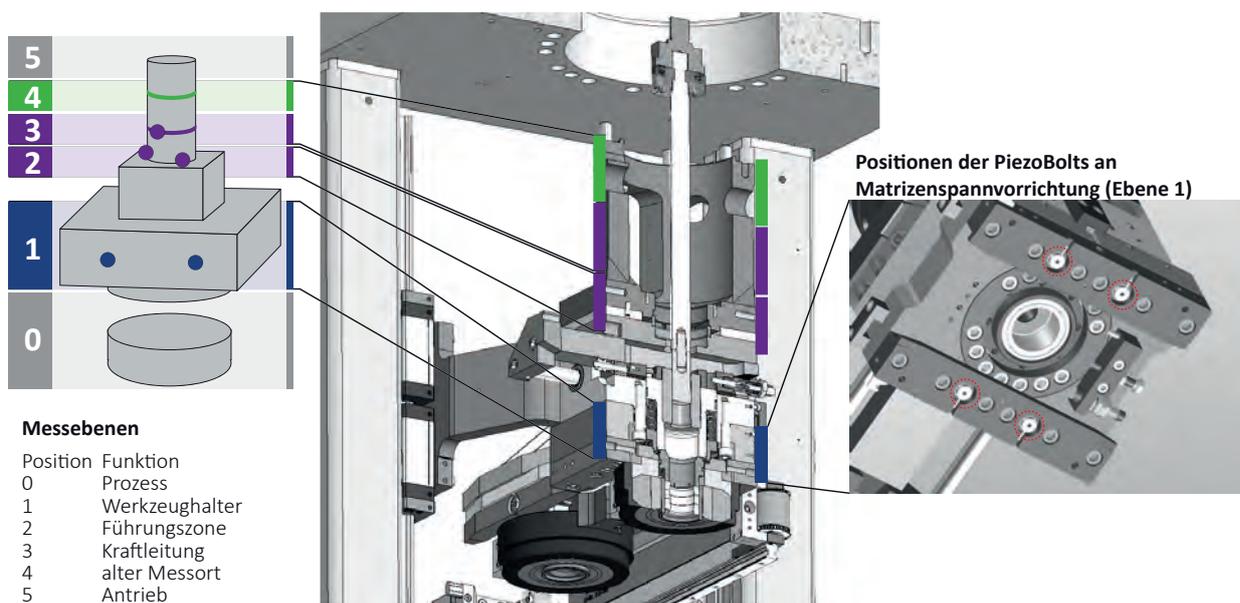


Bild 2: Komponenten im Kraftfluss und Messebenen

zunehmen. Diese Kraftveränderungen sind abhängig von dem jeweils dominierenden Verschleiß- oder Versagensmechanismus.

Die Versuche zeigen, dass an der Messebene 1 mit den vier PiezoBolts Kräfte auch räumlich aufgelöst erfasst werden

können. Das heißt, eine Lokalisierung des Schadens ist für bestimmte Schadensbilder durchführbar, mit einer entsprechenden Datenbasis scheint es daher möglich, auch Verschleißmechanismen zu unterscheiden und entsprechende vorausschauende Maßnahmen einzuleiten.

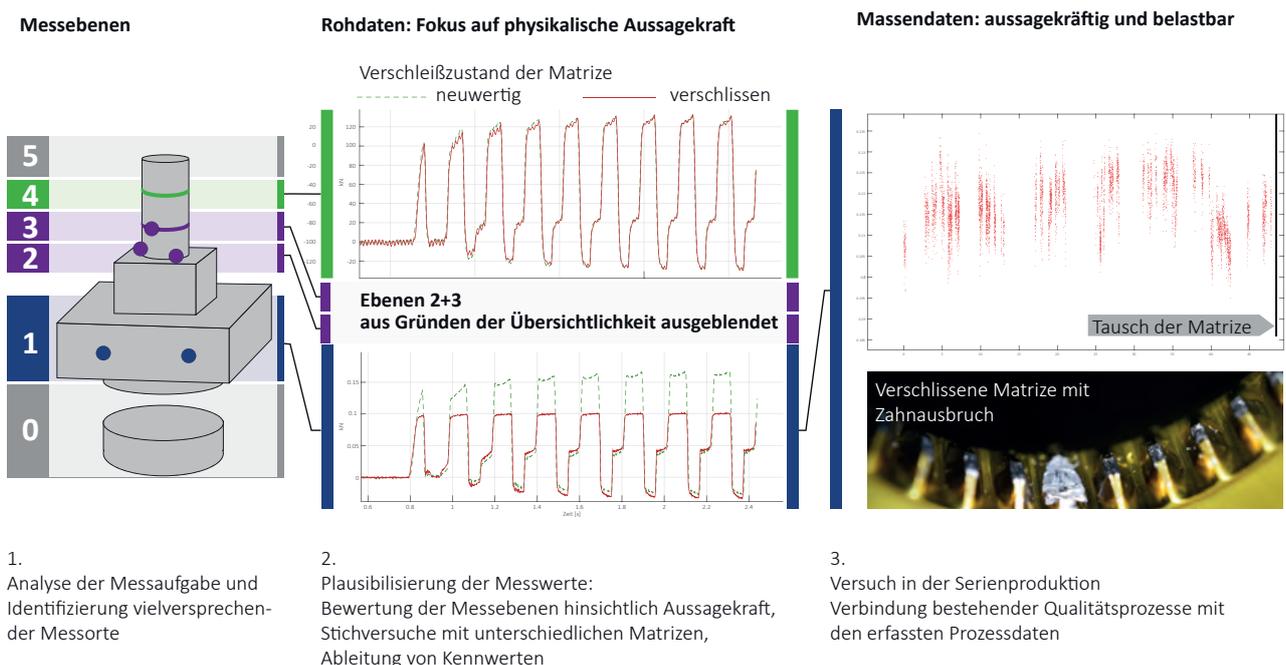


Bild 3: Aussagekraft an verschiedenen Messebenen (mitte) und Serienversuch und Verschleißbild (rechts)

Messstellen auf den Ebenen 2 bis 4 reagieren wesentlich schwächer auf Änderungen am Prozess. Stellvertretend ist der Maschinensensor dargestellt (mitte, oben). Die Kraftkurven weichen kaum voneinander ab.

Ebene 1 unterscheidet sich von den anderen Messebenen insbesondere durch ihre Lage vor den Stößelführungen. Damit liegen die PiezoBolts im Kraftfluss, noch bevor Momente über die Axialführungen abgeleitet werden können. Ähnliche Zusammenhänge sind aus anderen Untersuchungen bekannt [8].

Die oben dargestellten Untersuchungen spiegeln einen Auszug aus einem umfangreichen Versuchsportfolio wider, das an Anlagen aus dem unternehmenseigenen Maschinenpark durchgeführt wurde. Die Versuche lieferten einige wesentliche Hinweise, wie sich Matrizenverschleiß und Matrizenbruch in den Sensordaten an den verschiedenen Ebenen abzeichnen. Verschleißbewertungen können allerdings erst verlässlich unter echten Serienbedingungen erfasst werden.

Aus diesem Grund wurde mit einem Automobilhersteller eine Maschine in der Serienproduktion Ebene 1 sensorisch ausgestattet. Die Erfassung und Datenvorverarbeitung erfolgte mit ConSenses Technologie. Als Ergebnis der Verarbeitung stehen hochwertige Messdaten in strukturierter Form, die unmittelbar in Big-Data-Systeme übergeben beziehungsweise in Datenbanken oder mitgelieferten Softwareumgebungen weiterverarbeitet werden können. In diesem Fall wurden die Daten über einen Broker an ein Big-Data System weitergeleitet und gleichzeitig für die Analyse durch Menschen lokal vorgehalten. In Bild 3 (rechts) ist der Lebenslauf einer Umformmatrize vom Start bis zum Tausch wegen Verschleiß dargestellt. Die Punktwolke besteht aus Kennwerten, die aus einem der vier PiezoBolts abgeleitet werden. Jedes Bauteil ist durch einen Kennwert repräsentiert. Mit bloßem Auge lässt sich zum Ende der Matrizenlebensdauer bereits ein deutliches Absinken der unteren Kennwertgrenze erkennen.

BEWERTUNG UND KUNDENRESONANZ

Für eine effektive Nutzung der Daten – auch und besonders mit Methoden Künstlicher Intelligenz – wurden die stückweise erfassten Datensätze mit Qualitätsdaten angereichert, damit eine spätere Gruppierung der Daten unmittelbar an Gut- und Schlechteile gekoppelt werden und somit der Erfolg des Versuchs belastbar gemessen werden kann. In diesem Fall wurden die Daten durch Erweiterungen in der Maschinensteuerung erfasst und mit den Versuchsdaten synchronisiert.

Die Datenanalyse und der Vergleich der Auswertergebnisse der Methoden Künstlicher Intelligenz zeigten hohe Übereinstimmungen mit den vom Kunden festgelegten Werkzeugverschleißgrenzen. Durch diese Pilotanwendung konnte die Serientauglichkeit des Smart Corrections Services für Aximus-Pressen nachgewiesen werden. Durch diesen Smart Service haben die Kunden künftig folgende zusätzliche Möglichkeiten:

- Automatisches Nachregeln/Korrigieren der Maschineneinstellparameter bei äußeren Einflüssen
- Vorausschauende Verschleißerkennung der Werkzeuge

- Automatische Maschinenstopps beziehungsweise Ausschleusen von fehlerhaften Teilen

Es ergeben sich für den Maschinenbetreiber folgende Vorteile. Das System

- ist auf Kundensituation anpassbar durch das Scoring-Modul, welches auf Methoden Künstlicher Intelligenz basiert und trainierbar ist
- kann Verschleiß vorhersagen und folglich den Werkzeugwechsel im Voraus planen
- erkennt Verschleiß und Matrizenausbrüche
- reduziert Qualitätskosten
- ist einfach in vorhandene Maschinen nachrüstbar, da teilweise vorhandene Sensoren genutzt werden

Für den Kunden war die Projektbearbeitung der Partner derart überzeugend, dass bereits eine weitere Maschine nachgerüstet wird.

ERFAHRUNGEN ZUM ERGEBNISÜBERTRAG

In dem beschriebenen Projekt wurde ein Prozess systematisch von der theoretisch motivierten Grundlagenuntersuchung bis zum Serienversuch und der Produktkonzeption betrachtet. Beim Ergebnisübertrag von Forschungs- auf Produktionsanlagen sowie Serienprozesse wurden folgende Unterschiede augenscheinlich:

- Im Laborumfeld werden Kräfte aus Gründen der Eindeutigkeit üblicherweise im direkten Kraftfluss gemessen. Gegenüber serientauglichen Werkzeugkonfigurationen sind solche Aufbauten typischerweise weniger steif.
- Im Laborumfeld werden in der Regel weniger Teile umgeformt als im Feldversuch oder Serienprozess, damit werden Stichproben klein. Streuungen und Ausreißer können dadurch die Wahrnehmung trüben. Darüber hinaus können trendartige Verläufe nicht beobachtet werden.
- Im Feldversuch, bei dem manuelle Versuchsprogramme mit mehreren Tests durchfahren werden, können Einrichtprozesse durch häufige und nicht standardisierte Umbauten die Ergebnisse beeinflussen.
- Im Serienprozess sind Messwerte unbestechlich, allerdings muss durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass wesentliche Informationen eindeutig in die gemeinsame Versuchsdatenbank eingeschleust werden. Darüber hinaus sind Einflüsse durch unerwartete Eingriffe zu minimieren.

Diese Unsicherheiten muss das Projektteam erkennen und in den jeweiligen Phasen geeignete Maßnahmen treffen, die Bewertung entsprechend vornehmen. In den frühen Phasen bedeutet das, Unsicherheiten bei der Modellbildung und Abstraktion zu hinterfragen und einzugrenzen. In späteren Phasen müssen Versuchsaufbauten und Vorgehensweisen praktisch prozessfähig im Sinne der Serienfertigung sein, weil sonst wesentliche Informationen verloren gehen können oder schlimmstenfalls große Datenmengen unbrauchbar werden beziehungsweise aufwendig rekonstruiert werden müssen [9].

UMSETZUNG IN PRODUKTE

Für die Felss-Gruppe stellt dieses Projekt einen Schritt beim Aufbau der Felss Smart Services dar. Dabei ist Smart Correction

nur einer von weiteren Services [10]. Die Entwicklung dieser einzelnen Services bietet die Grundlage für die Angebotserweiterung zu vielseitigen Dienstleistungen im Rahmen von Industrie 4.0 für die Prozesse Rundkneten und Axialformen.

Die ConSenses GmbH liefert Digitalisierungslösungen vom Sensor bis zum IT-System. Mit dem vorliegenden Projekt wurden Softwarekomponenten und Systeme erprobt, die Systeme Künstlicher Intelligenz robust und zuverlässig mit geeigneten Daten im Produktionstakt zu versorgen. Die erfolgreiche Handhabung, Pufferung und Ausbildung vielfältiger Maschinschnittstellen flossen in die parallele Entwicklung von ConSenses Edge-Devices ein.



[1] Schmidt, W.; Marré, M.; Kluge, M.: Mit Predictive Analytics die Qualität von Fertigungsprodukten vorhersagen, <https://x-integrate.com/mit-predictive-analytics-die-qualitat-von-fertigungsprodukten-vorhersagen/>, 2017

[2] Grupp, P.; Haggemüller, W. A.: Ressourceneffizienter Leichtbau am Beispiel hohler Leichtbauwellen im Getriebe, Antriebsstrang und Lenkung, UKH 2017, Umformtechnisches Kolloquium Hannover, 2017, ISBN 978-3-95900-122-9

[3] Michi, W.; et al.: Verfahren und Vorrichtung zum Umformen eines Werkstückes durch Fließpressen, München, Europäisches Patentamt, 2017, EP 3 181 249 A1

[4] Marré, M.; Beihofer, D.; Kluge, M.: Leichtbau mit neuen, smarten Prozessketten, Jahrestreffen der Kaltmassivumformer, Volume: 32, Düsseldorf, 2017

[5] Hess, B.; Groche, P.: Untersuchungen zum oszillierenden Verzahnungsdrücken, SchmiedeJOURNAL, März 2014

[6] Heß, B.: Präzise Kaltmassivumformung für die Herstellung von Verzahnungen mittels oszillierendem Verzahnungseindrücken durch optimierte Reibverhältnisse, Berichte aus Produktion und Umformtechnik, 2016

[7] Brenneis, M.; Stahlmann, J.: Mehr Produktivität durch sichere Entscheidungen im Presswerk, blechnet, Bd. 5, 2016

[8] Stahlmann, J.; Brenneis, M.; Hauß, J.; et al. Prozesskräfte lokal aufnehmen und be-werten. <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/>. [Online], 29.04 2015, [Zitat vom: 11. 01 2017.], <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/prozesskraefte-lokal-aufnehmen-und-bewerten-a-487757/>

[9] Jiawei, H.; Kamber, M.: Data Mining – Concepts and Techniques, Amsterdam, Elsevier, 2006, p. 48

[10] Haggemüller, W. A.: Mehr als Industrie 4.0, Buzzwords: Informationen statt Daten, Tagungsreader industrie 4.0, area 2017, 2017, Bde. http://mav.industrie.de/wp-content/uploads/m/a/mav-EMO-Reader_dt.pdf, S. 14