

Foto: IBM

Andreas Schumacher, Philip Geißler, Wilfried Sihh

Von Smart Technologies zur Smart Factory

Die Basistechnologien der Industrie 4.0 und deren Potential

I. EINFÜHRUNG

In den letzten Jahren ist das nationale und internationale Interesse an einem Themenkomplex der Industrie rasant gestiegen, nämlich jenem der proklamierten Vierten Industriellen Revolution – der sog. „Industrie 4.0“. So hat sich die Anzahl der Treffer für den Suchbegriff „Industrie 4.0“ auf der offenen wissenschaftlichen Suchplattform Google Scholar seit dem Jahr 2013 bis heute fast versiebenfacht (Google Scholar, Mai 2016), sowie die Treffer für den Begriff „Industry 4.0“ in der einschlägigen Wissenschaftsdatenbank Science Direct im gleichen Zeitraum sogar fast verdreißigfacht (Science Direct, Mai 2016). Diese Zahlen belegen eine inflationäre Verwendung der Begrifflichkeit und rechtfertigen somit etwa die Definition des Begriffes „Industrie 4.0“ als „Marketingbegriff der Wissenschaftskommunikation“ im Gabler Wirtschaftslexikon (Gabler Wirtschaftslexikon, 2016). Der folgende Beitrag setzt daher, passend zum Thema „Smart Technologies“ des 21. Kongresses der Wirtschaftsingenieure in Wien, einen bewussten Fokus auf die Basistechnologien der Industrie

4.0 und deren Potentiale. Aus Ingenieursicht mit dem Ziel, ein weiteres Abtriften des Zukunftsprojektes Industrie 4.0 zu verhindern und so die Realisierung der Smart Factory in Ihrem Ursprungsfeld, der produzierenden Industrie, voranzutreiben.

II. DER TECHNOLOGIEASPEKT VERGANGENER INDUSTRIELLER REVOLUTIONEN

Die Begrifflichkeit „Technologie“ hat ihren Ursprung im Griechischen und bedeutet „Lehre von der Handwerkskunst“, was folglich zu einer Verankerung des Begriffes im deutschen Ingenieurwesen als „Verfahrenskunde“ geführt hat (vgl. Bullinger, 1994). Im heutigen Ingenieurwesen wird diese Verfahrensbetrachtung oftmals mit dem Begriff „Technik“ in Verbindung gebracht, was wiederum eine Verschmelzung der Begriffe Technik und Technologie nach sich zog. In diesem Beitrag wird der Begriff Technologie als Umschreibung aller befähigenden Kenntnisse und physikalischer Hilfsmittel zur Lösung praktischer Probleme verstanden. Der Begriff Technik

hingegen, von uns als die Art der Anwendung von Technologien verstanden, wird in diesem Beitrag impliziert, und daher auch nicht weiter vertieft.

Technologische Errungenschaften folgen, abhängig von der Granularität der Betrachtung, gut voraussagbaren Entwicklungsverläufen. Beginnend bei der feinsten Betrachtungsebene beschrieb etwa das sog. „Moore'sche Gesetz“ bereits 1965, dass sich die Anzahl der Integrationsdichte der Transistoren in integrierten Schaltkreisen alle ein bis zwei Jahre verdoppelt (Moore, 1965). Eine Prognose, mit der Moore für Dekaden rechthaben sollte, und welche erst kürzlich von der Realität abweicht.

Betrachtet man diese integrierten Schaltkreise in einer nächsthöheren Betrachtungsebene als Bestandteil eines größeren Systems, z.B. eines Telefons, so folgt die Entwicklung dieser Technologie ebenfalls einem Entwicklungsverlauf, etwa dem sog. S-Kurvenmodell, welches u.a. Aussagen über den Lebenszyklus einer Technologie zulässt. Der s-förmige Verlauf der Reife einer Technologie über der Zeit dauert

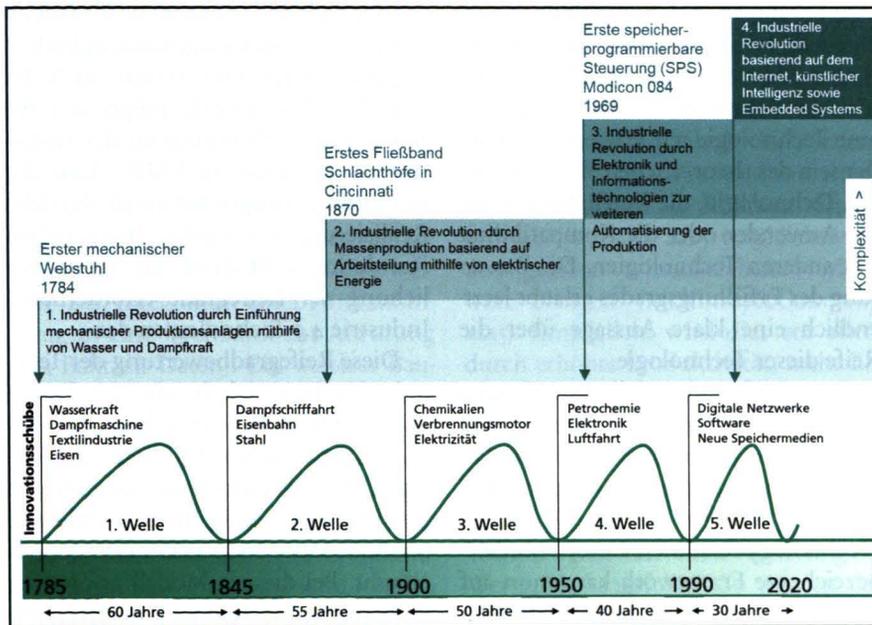


ABBILDUNG 1: GEGENÜBERSTELLUNG DER INDUSTRIELLEN REVOLUTIONEN (OBEN) UND DER KONDRATJEW-ZYKLEN (UNTEN)

im Normalfall einige Jahre bis zur End-Reife und wurde von Abernathy und Utterback im Jahre 1975 belegt (Abernathy und Utterback, 1978). Das S-Kurvenmodell besagt, dass sich die Reife einer Technologie, in unserem Beispiel jene des konventionellen Schnurtelefons, nach seiner Einführung anfangs langsam entwickelt, bis alle Kinderkrankheiten beseitigt sind. Danach kommt es zu einer schnellen Ausnutzung des technologischen Potentials bis dieses erschöpft ist und die Weiterentwicklung wieder abflacht. Am oberen Ende der S-Kurve setzt meist eine neue, verwandte Technologie an, welche auf dem erreichten Entwicklungsstand aufsetzt. In unserem Beispiel setzte etwa die Entwicklung des Mobiltelefons auf den Erkenntnissen des Schnurtelefons auf und folgt anschließend in seiner Entwicklung einer weiteren S-Kurve (Nieto et al. 1991).

Auch diese S-Kurven-Entwicklung lässt sich wieder in eine höhere Betrachtungsebene einbetten, beschrieben etwa durch die sog. Kondratjew-Zyklen (siehe Abbildung 1 - unten), auf welche sich auch der berühmte österreichische Ökonom Josef Schumpeter bei seinen Beschreibungen der Konjunkturzyklen bezog. Die Kondratjew-Zyklen besagen, dass grundlegende Paradigmenwechsel in der Gesellschaft, z.B. das Bestreben nach flächendeckender Versorgung mit Nahrung und Kleidungsmitel im 17. Jahrhundert zu Veränderungen bei Technologie-Investitionen führen, und

somit in ca. 50-jährigen Abständen neue Technologien in den Fokus rücken (Händler 2009). Passend zu den derzeitigen Entwicklungen hat Kondratjew in seinem Werk im Jahre 1980 einen Zyklus vorausgesagt, welcher eine Fokussierung auf Digitale Technologien beschreibt - ein Paradigmenwechsel, welcher in enger Verbindung mit der aktuellen Vision der Vierten Industriellen Revolution steht.

Eine klare Basistechnologie festzumachen scheint bei dieser ausgerufenen industriellen Revolution schwerer möglich als in der Vergangenheit. So lässt



ABBILDUNG 2: DIE TECHNOLOGIEFELDER DER INDUSTRIE 4.0 SOWIE DEREN TECHNOLOGICAL READINESS LEVEL (TRL) VON 1 BIS 9

sich die Erste Industrielle Revolution in den 1780er Jahren klar auf die Mechanisierung, die Zweite um 1870 auf die Elektrifizierung, sowie die Dritte ab 1970 auf die Automatisierung zurückführen (Bauernhansl et al., 2014). Diese Vierte Industrielle Revolution baut jedoch auf einer Vielzahl von Technologien wie z.B. der Sensorik und Aktorik oder modernen Informations- und Kommunikationstechnologien und den daraus resultierenden technologischen Konzepten wie Embedded Systems oder Cyber-Physical Systems auf. Im Folgenden sollen nun jene Technologien vorgestellt und eingeordnet werden, auf welche diese stattfindende Vierte Industrielle Revolution vermutlich in Zukunft zurückgeführt werden kann.

III. BASISTECHNOLOGIEN DER INDUSTRIE 4.0

Wir sprechen somit nicht mehr nur von einer dominierenden, disruptiven Technologie welche eine Revolution auszulösen vermag, sondern von mehreren sogenannten „Enabler“-Technologien, welche erst in ihrem Zusammenspiel zu revolutionsartigen Veränderungen führen. Im Fall der Industrie 4.0 lassen sich fünf Technologiefelder definieren (Abbildung 2), welche sich wiederum aus den einzelnen Enabler-Technologien zusammensetzen (Agiplan, 2015).

Das Kerntechnologie-Feld der Industrie 4.0 bildet jenes der „Eingebetteten Systeme“, da diese die erforder-

liche „Intelligentisierung“ technischer Systeme mittels Integration elektronischer Rechner in zuvor „dumme“ Objekte erlauben. Speziell auf dem Shopfloor-Level ist das Feld der „Sensorik & Aktorik“ von höchster Bedeutung, da diese Elemente jegliche Art der Vernetzung, Steuerung und Überwachung von Produktionsmaschinen sowie Auto-ID-Lösungen ermöglichen. Unter das Technologiefeld der „Kommunikation“ fallen alle Elemente zur Herstellung des drahtlosen, selbstorganisierten und echtzeitbasierten Informationsaustausch zwischen Menschen und Maschinen.“ Lösungen des Feldes „Mensch-Maschine Schnittstelle“ wie z.B. realitätserweiternde Visualisierungen oder Intuitivsteuerungen sollen helfen die Potentiale der Mensch-Maschine Kollaboration zu nutzen. Um die so entstehende Komplexität der Produktionssysteme zu beherrschen sind u.a. Elemente des Feldes „Software/Systemtechnik“ erforderlich, welche die Vernetzung und Integration der Technologien der Industrie 4.0 ermöglichen und diese durch die Nutzung entstehender Daten erweitern. Das Feld „Standards und Normung“ ist als Querschnitts-Thema zu verstehen, welches die passenden Rahmenbedingungen für die Implementierung der Smart Technologies von der Maschinen- bis hin zur Strategieebene schaffen soll.

Für die Realisierung von Industrie 4.0-Anwendungen ist nun immer das Zusammenspiel von Elementen aus mehreren Technologiefeldern notwendig. So erfordert etwa der Ansatz der zustandsorientierten Instandhaltung (Instandhaltung 4.0) zumindest die Ausstattung der Produktionsmaschinen mit Sensoren, sowie das Vorhandensein von echtzeitfähiger und drahtloser Kommunikation. Des Weiteren ist eine Softwareumgebung erforderlich, welche Instandhaltungskonzepte auf Basis der erhobenen Daten erarbeitet und bereitstellt. Diese entstehende Abhängigkeit der Technologien voneinander, sowie deren notwendige Integration zur Realisierung von ganzheitlichen Industrie 4.0-Anwendungen erfordert höchste Kompatibilität der Technologien, welche oftmals nur durch einen ähnlichen Entwicklungsstand dieser zu erreichen ist (vgl. Entwicklung einer Technologie im S-Kurvenmodell).

Die Erhebung der Entwicklungsstufe einer Technologie lässt sich mit sog. Reifegradmodellen durchführen. Diese Modelle definieren Anforderungen an eine Technologie wie etwa das Vorhandensein des theoretischen Wissens über die Technologie, die Verfügbarkeit für die Anwender oder die Kompatibilität mit anderen Technologien. Die Bewertung des Erfüllungsgrades erlaubt letztendlich eine klare Aussage über die Reife dieser Technologie.

Ein Reifegradmodell zur Bewertung von Technologien wurde etwa von der NASA entwickelt und gibt den Ist-Reifegrad auf einer neunstufigen Skala an (Mankins, 1995). Dieses, als „Technology-Readiness-Level Modell“ bezeichnete Framework kann nun auf die beschriebenen Basis-Technologien der Industrie 4.0 angewendet werden und ermöglicht den objektiven und konsistenten Vergleich der einzelnen Reifegrade. Die neun Levels reichen dabei von der „Beobachtung und Beschreibung von Grundlagenprinzipien“ (entspricht Technology Readiness Level 1 = TRL 1) bis hin zu einem „qualifizierten System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes“ (TRL 9). Als wichtigstes Kriterium für die Einstufung wird bei diesem Modell die „Zeit bis zur Marktreife der Technologie“ gehandelt, was vor allem auch für die Industrie 4.0-Anwender in den Industriehallen von großer Bedeutung ist.

Die Anwendung des Modells auf die Enabler-Technologien der angeführten fünf Technologiefelder der Industrie 4.0 zeigt, dass sich ein Großteil der notwendigen Technologien noch in der Grundlagenphase befindet, was einer Einstufung in den Reifegrad-Levels TLR1 bis TLR3 entspricht. Die Verwendung von Technologien mit einem niedrigen Reifegrad ist vor allem für mittelständische Unternehmen noch problematisch, da diese nicht über ausreichend finanzielle Mittel verfügen um Technologiedefizite und damit entstehende Inkompatibilitäten zwischen den

erforderlichen Enabler-Technologien mit Eigenentwicklungen auszugleichen [Agiplan, 2015]. Dies erklärt auch die zögerliche Nutzung der jungen und damit unreifen Technologien der Industrie 4.0 vor allem in KMUs. Eine der Kernanforderungen für die erfolgreiche Realisierung der Vierten Industriellen Revolution stellt damit die Vereinheitlichung der Reifegrade erforderlicher Industrie 4.0-Technologien dar.

Diese Reifegradbewertung der Technologien lässt sich in ein von Fraunhofer Austria Research bzw. der TU Wien entwickeltes Industrie 4.0-Reifegradmodell einbetten, welches die Ermittlung der allgemeinen Industrie 4.0-Reife eines Industrieunternehmens erlaubt. Bei diesem Modell erfolgt die Bewertung der Reife in neun Unternehmensdimensionen (Produkte, Kunden, Strategie, Leadership, ... etc.) beginnend bei der Reifestufe 1 (unreif für Industrie 4.0) bis Reifestufe 5 (sehr reif für Industrie 4.0). Das Fraunhofer-Reifegradmodell soll Unternehmen helfen den Ist-Stand der eigenen Industrie 4.0-Kompetenzen zu erheben, um so die nötigen Schritte zur Realisierung der, im folgenden Kapitel beschriebenen, smarten Fabrik zu definieren (Schumacher, 2015).

IV. SMART FACTORY UND IHR WIRTSCHAFTLICHES POTENTIAL

Die beschriebenen Technologiefelder und deren Elemente ermöglichen nun in ihrem Zusammenspiel den Aufbau der sog. „Smart Factory“ – dem Zielzu-

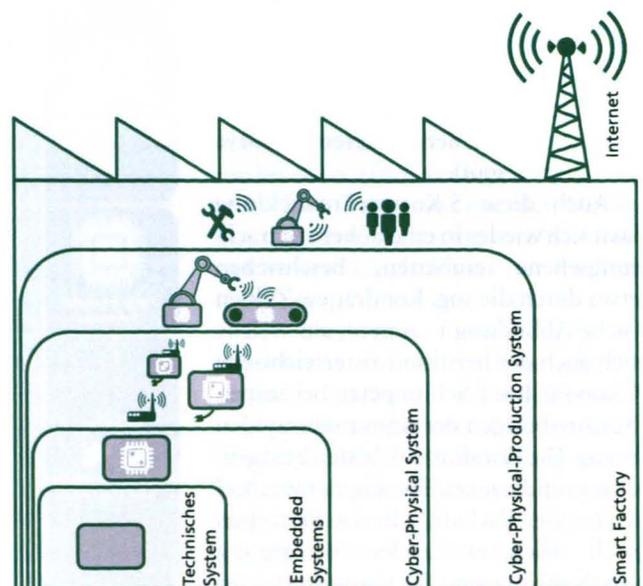


ABBILDUNG 3: ELEMENTE DER SMART FACTORY IN DER INDUSTRIE 4.0

stand einer Fabrikhalle in der Industrie 4.0-Vision (Abbildung 3).

Als grundlegendstes Element dienen die sog. „Embedded Systems“, dabei handelt es sich um die Integration von Hardware- und Softwarekomponenten in ein technisches System. Durch diese Kombination können bis dato nichtexistierende Funktionen realisiert werden (z.B. Integration einer Funkanbindung in eine Drehbank zur Abrufung von Echtzeit Daten). Ein weiterer Baustein ist das Internet, welches in diesem Zusammenhang als „Internet of Things - IoT“ oder „Internet of Services - IoS“ bezeichnet wird. Dieses erlaubt die daten- und echtzeit-basierte Integration aller Akteure über Breitband-Leitungen bzw. Funk und wird folglich zum „Internet of Everything - IoE“.

Durch die so entstehende Verschmelzung physikalischer Objekte (z.B. einer CNC-Maschine) mit der virtuellen Welt (z.B. einem ERP-System) über das IoE kommt es zur Entstehung der sogenannten „Cyber-Physical Systems - CPS“ (z.B. Assistenzsysteme in der Produktion durch „Virtual Reality“). Die Beherrschung der dadurch entstehenden Systemkomplexität wird durch den Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) ermöglicht. Diese IKT kontrollieren das Zusammenspiel der Elemente in der Smart Factory und ermöglichen die geforderte flexibilisierte Standardisierung – ein Widerspruch, den es in der Industrie 4.0 aufzuheben gilt.

Eine globale Studie des Beratungsunternehmens McKinsey&Company erhob in 2015 das generierbare wirtschaftliche Potential durch vernetzte Wertschöpfung über das „Internet of Everything“. Hierbei sei erwähnt, dass die vernetzte Wertschöpfung weltweit schon länger unter verschiedenen Bezeichnungen vorangetrieben wird – etwa als „Digital Manufacturing“ in den USA. Als Resultat soll diese Vernetzung weltweit einen wirtschaftlichen Mehrwert von bis zu 11 Billionen Dollar pro Jahr, prognostiziert für das Jahr 2025, generieren. Die Grenzen zwischen modernen Technologiefirmen und traditionellen Unternehmen werden dabei verschwimmen und somit disruptive Geschäftsmodelle ermöglicht. Das größte wirtschaftliche Potential der Industrie 4.0 ist derzeit entlang der Wertschöpfungskette noch

in Konsumentennähe zu finden – etwa im Bereich der smarten Produkte wie Smart Phones, Smart Watches oder Smart Health-Devices. Doch soll die Intelligensierung und Vernetzung letztendlich im Produktionsbereich mit zusätzlichen 3,7 Billionen Dollar pro Jahr im Jahr 2025 vergleichsweise den größten wirtschaftlichen Mehrwert bringen (McKinsey&Company, 2015). Ermöglicht wird dies vor allem durch erhöhte Produktivität, mehr Energieeffizienz und eine Verbesserung der Arbeitsumgebung. Um diesen wirtschaftlichen Mehrwert in der Produktion realisieren zu können bedarf es neben der Implementierung smarter Technologien auch einer Änderung des Wertschöpfungsfokus. So werden derzeit noch weniger als ein Prozent der erzeugten Daten während des Produktionsprozesses aktiv strukturiert, analysiert und genutzt (CISCO, 2011).

Erst die datengestützte Integration innerhalb der Smart Factory vom Shopfloor bis zur Strategieebene, sowie die horizontale Integration in der entstehenden Wertschöpfungslandschaft erlauben das volle Potential der, bis dato als Insellösungen bestehenden, smarten Technologien zu nutzen.

V. SCHLUSSBEMERKUNG

Anhaltende Diskussionen, ob Industrie 4.0 als Vision einer futuristischen Wertschöpfung, oder als Mission zur Erhaltung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit zu verstehen ist sind letztendlich nebensächlich. Ebenso wie künstlich angeheizte Debatten über den revolutionären oder doch nur evolutionären Charakter der anstehenden Veränderungen der industriellen Wertschöpfungslandschaft. Das deutsche Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ dient, abgesehen von aller Kritik, der Kanalisierung der technologischen Weiterentwicklungen und schafft so u.a. die nötige Kommunikationsgrundlage für Industrie, Wissenschaft und staatliche Entscheidungsträger.

Zu dieser Schaffung von allgemeinverständlichen Beschreibungen des Themenkomplexes wollen wir mit der Einordnung und Bewertung der Enabler-Technologien beitragen und so dort Bewusstsein schaffen wo die Industrie 4.0-Vision ihren Ursprung nahm, in den Fabriken und Produktionsstätten.

Literatur:

- Abernathy, W.J., Utterback, J.M., 1978. Patterns of Industrial Innovations. Technology Review.
- Bauernhansl, T., Ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (Eds.), 2014. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Bischoff, J., Taphorn, C., Wolter, D., Braun, N., Fellbaum, M., Goloverov, A., Ludwig, S., Hegmanns, T., Prasse, C., Henke, M., ten Hompel, M., Döbeler, F., Fuss, E., Kirsch, C., Mättig, B., Braun, S., Guth, M., Kaspers, M., Scheffler, D., 2015. Studie - „Erschließung der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand.“ Agiplan GmbH, Fraunhofer IML, ZENIT GmbH.
- Bullinger, H.-J., 1994. Einführung in das Technologiemanagement Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden.
- Devezas, T.C. (Ed.), 2006. Kondratieff waves, warfare and world security. IOS Press, Gazelle Books, distributor, Amsterdam : Lancaster.
- Evans, D., 2011. Das Internet der Dinge So verändert die nächste Dimension des Internet die Welt. CISCO - Whitepaper.
- Gabler Wirtschaftslexikon, 2016. Definition Begriff „Industrie 4.0.“
- Google-scholar, 2016. Trefferanalyse „Industrie 4.0“ von 2013-2015.
- Händler, E., 2009. Kondratieffs Welt: Wohlstand nach der Industriegesellschaft, 4.Aufl. ed. Brendow, Moers.
- IBM - Industrie 4.0, n.d. Beitrags-Titeld. www.ibm.com.
- Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J., 2013. Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0- Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. DFKI und Deutsche Post.
- Mankins, J.C., 1995. Technology Readiness Levels. NASA, Washington.
- McKinsey & Company, 2015. The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype.
- Moore, G.E., 1965. Cramming more components onto integrated circuits. Electronics Volume 38.
- Nieto, M., López, F., Cruz, F., 1998. Performance analysis of technology using the S curve model: the case of digital

signal processing (DSP) technologies. Technovation 18, 439–457. doi:10.1016/S0166-4972(98)00021-2

Schumacher, A., Erol, S., Sihn, W., 2015. Whitepaper - Development of a Maturity Model for assessing the Industry 4.0 Maturity of Industrial Enterprises. Wien.

Science direct, 2016. Trefferanalyse "Industry 4.0" von 2013 - 2015.

Autoren:

Dipl.-Ing. Andreas Schumacher ist als Projektassistent am Institut für Managementwissenschaften (Fachbereich Betriebstechnik und Systemplanung) der Technischen Universität sowie als wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Fraunhofer Austria Research GmbH tätig. Sein Studium absolvierte er an der TU Wien in der Studienrichtung Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau. Der inhaltliche Schwerpunkt auf Lehrseite liegt im Bereich des Produktions- und Qualitätsmanagement. Auf Forschungsseite liegt der Fokus auf der Implementierung der neuartigen Konzepte des "smart manufacturing" (Industrie 4.0), sowie der Konzeption und Anwendung von Reifegradmodellen zur Firmenbewertung in diesem Bereich

Philip Geißler ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement der Fraunhofer Austria Research GmbH tätig. Er absolviert derzeit sein Studium an der TU Wien in der Studienrichtung Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau. Sein Schwerpunkt liegt im Bereich des „smart manufacturing“ (Industrie 4.0). Der inhaltliche Fokus liegt bei der Erarbeitung von

Vorträgen und Beiträgen zur Schaffung von Bewusstsein in Industrie und Wissenschaft für das Thema der Industrie 4.0.

Univ.-Prof. Prof. eh. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Wilfried Sihn ist

seit 2004 Professor am Institut für Managementwissenschaften und seit 2016 Institutsvorstand. Von März 2009 bis Dezember 2010 war er turnusmäßig Vorstand des vorgenannten Institutes; Professor Sihn war stellvertretender Institutsleiter am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart, und ist Geschäftsführer von Fraunhofer Austria seit Dezember 2008. Professor Sihn ist seit mehr als 25 Jahren im Bereich der angewandten Forschung und Beratung tätig. Seine Schwerpunkte liegen im Bereich Produktionsmanagement, Unternehmensorganisation, Unternehmenslogistik, Fabrikplanung, Auf-

tragsmanagement und Geschäftsprozessoptimierung. Professor Sihn trug maßgeblich zur konzeptionellen Entwicklung der Fraktalen Fabrik bei.



Dipl.-Ing. Andreas Schumacher

Projektassistent an der TU Wien, wissenschaftlicher Mitarbeiter Fraunhofer Austria Research GmbH



Philip Geißler

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fraunhofer Austria Research GmbH



Univ.-Prof. Prof. eh. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Wilfried Sihn

Prof. und Institutsvorstand am Inst.f. Managementwissenschaften, TU Wien; GF Fraunhofer Austria Research GmbH