

Forschungsraum smartfactory@tugraz – Die Sichtbarmachung einer agilen Fertigung

Rudolf Pichler

Abstract - Agilität ist die neue Antwort zur Bewältigung immer weniger berechenbarer Märkte, und wieder scheint es, als ob nicht mehr als bloß ein neuer Begriff für die gute altbekannte Flexibilität geschaffen worden ist. Agilität kann jedoch sehr deutlich vom Begriff der Flexibilität abgegrenzt werden. Führende Unternehmen haben den Wert von Agilität bereits erkannt und leben diese neue Art der Beweglichkeit schon sehr erfolgreich. Für noch viele Unternehmen – insbesondere KMU - bleibt Agilität dennoch ein bis dato nur schwer fassbares Konzept, das insbesondere für den Fertigungsbereich konkrete Antworten für ihre Umsetzung offen lässt. Nicht zuletzt fehlt es an sichtbaren und öffentlich zugänglichen Demonstratoren, die für Unternehmen jeder Art beispielgebend sein können.

Das Institut für Fertigungstechnik der TU Graz hat sich im Zuge des Aufbaus einer Pilotfabrik (smartfactory@tugraz) zum Ziel gesetzt, gerade auch das Thema „Agilität in der Fertigung“ sichtbar zu machen. Im nachstehenden Artikel werden daher nach einleitender Abgrenzung des Begriffs Agilität ausgewählte Systemelemente einer agilen Fertigung vorgestellt, welche im Forschungsumfeld smartfactory@tugraz demnächst aufgebaut und besucht werden können. Zwecks Bemessung der dort aufgebauten agilen Fertigung besteht die Absicht, selbige Forschungslandschaft zum gegebenen Zeitpunkt auch einem Stresstest für Agilität zu unterwerfen. Die smartfactory@tugraz strebt somit nach Sichtbarmachung und Erleben von Agilität in der Fertigung sowie der Verifizierung und Weiterentwicklung seiner Erfolgsfaktoren.

Index Terms - Agilität, Flexibilität, smartfactory@tugraz, Systemelemente einer agilen Fertigung, Stresstest für Agilität.

I. DIE UNTERNEHMENSPLANER SUCHEN NEUE ANTWORTEN

Die Märkte und ihr inhärenter Wettbewerb sind wild geworden. Mehrjährige Absatzplanungen verkommen zu idealisierten Absichtserklärungen und auch Jahresplanungen geben immer weniger oft den nötigen Halt für einen erfolgreichen Budget-Vollzug. Viele Unternehmen haben mittlerweile auch erkannt, dass sie es nicht mehr bloß mit Launen der Weltwirtschaft zu tun haben, sondern dass die hohe Marktbeweglichkeit zur „neuen Normalität“ (Bundesverband der Dt. Industrie, 2015) geworden ist. Disruptive Technologien machen es möglich, dass start-up Unternehmen oder auch nur kleine Gruppen findiger Studenten binnen kürzester Zeit und ohne große Vorankündigung völlig neue Produkte mit ebenso revolutionären business-Modellen auf den Markt bringen können. Traditionell geführte Unternehmungen spüren dies rascher als gedacht und stehen mit ihren Möglichkeiten dann sehr oft mit dem Rücken zur Wand. Auch langjährig und mühsam erarbeitete Wege gelebter Flexibilität reichen dann oft nicht mehr aus, um die nötigen und richtigen Antworten geben zu können. Die Fähigkeit zur Agilität verspricht hier den entscheidenden Unterschied zum erfolgreichen Handeln in Zeiten von stetigem Wandel und fortschreitender Instabilität.

II. AGILITÄT IST DEUTLICH MEHR ALS FLEXIBILITÄT

Flexibilität lässt sich u.a. als Eigenschaft definieren, nach der ein System – somit auch ein Produktionssystem - schnell und mit geringem Aufwand in den Grenzen eines vorgegebenen Bereiches an

geänderte Rahmenbedingungen angepasst werden kann (Nyhius 2008). So wertvoll Flexibilität für ein Produktionssystem nun auch ist, so kann sie Nachfrage-Schwankungen lt. obiger Definition - und auch vielfacher Erfahrung - leider nur innerhalb bestimmter Mengen-Zeit-Korridore bewältigen. Nachfrageänderungen, die sich von bisherigen Produkten und Leistungen nun aber z.B. in Geometrie, Bauart, Funktionsumfang und integralem Service-Umfang deutlich unterscheiden, übersteigen dann sehr schnell die unternehmerischen Handlungsmöglichkeiten, die mit bekannten Mustern der Flexibilität bewältigt werden könnten.

Die evolutionäre Weiterentwicklung der Flexibilität auch außerhalb besagter Mengen-Zeit-Korridore – dies samt Berücksichtigung von Änderungen in den Dimensionen Stückzahl, Technologie, Qualität, Produkt- und Kostenstruktur - führt zum Begriff der Wandlungsfähigkeit (Nyhius 2010). Der Betrachtungsrahmen der Wandlungsfähigkeit bleibt dabei zumeist noch stark auf Produktionssysteme im engeren Sinn verhaftet (Heger 2007). Im Unterschied dazu zielt das Potenzial von Agilität auf jene Wandlungsfähigkeit, die wesentlich weiter gefasste Wertschöpfungsketten betrachtet und den gesamten unternehmerischen Leistungsapparat (über den klassischen Order-Fulfillment-Prozess hinaus) mit einbezieht. Das ganz wesentliche Kennzeichen von Agilität besteht darin, dass besagte, schwer vorher bestimmbare Marktveränderungen viel mehr als Chance denn als Bedrohung betrachtet werden. Mit Agilität wird das Potential für bedarfsbezogene Veränderungen geschaffen, das trotz oft nicht geringer Investitionen und Vorhaltungen die erkennbare Steigerung von Betriebsergebnissen möglich macht.

Agilität ist damit ein sehr offensives Konzept. Ohne Berücksichtigung der evolutionären Zwischenstufe der Wandlungsfähigkeit ist in nachstehender Tab. 1 der Begriff der Flexibilität von jenem der Agilität in einigen wesentlichen Kenngrößen abgegrenzt.

	Flexibilität	Agilität
Motivation	Erfüllung bestehender Aufträge	Ergreifen neuer Marktchancen
Aktivitätsmuster	Reaktiv, anlassbezogen	Proaktiv, vorbereitend
Wirtschaftliche Zielgröße	Kosten	Betriebsergebnis
Betrachtungsebene	internes Produktionssystem	Gesamte Wertschöpfungskette
Betrachtetes Portfolio	Standardprogramm	Neues erweitertes Portfolio
Ressourceneinsatz	Fokussiert und schlank	Bereitschaft zur Überkapazität

Tab.1: Abgrenzung von Flexibilität und Agilität

Die nachstehenden Ausführungen konzentrieren sich auf gestaltende Merkmale und die hilfreiche technische Infrastruktur zur Schaffung von Agilität in Fertigungen. Aus dem zuvor Gesagten könnte man meinen, dass eine auf Fertigungen fokussierte Betrachtung von Agilität den Inhalten der zuvor skizzierten Wandlungsfähigkeit gleichkommt. Aufgrund der gänzlich anderen Zielgrößen und Reichweiten der Agilität (vgl. Tab. 1) ist dem allerdings entschieden nicht so. Die Agilität einer Fertigung ist untrennbar von und höchst kompatibel mit der ebenso nötigen Agilität der Unternehmensleitung, der Agilität der Beschaffung, der Agilität des Engineering und der Agilität von Kooperationspartnern und Lieferanten zu agieren. Nur im Kontext dieser erweiterten Dimensionen kann auch die eigene Fertigung agil konzipiert werden.

The Paper was accepted September 12th 2017, by Prof. Siegfried Vössner. The Paper was revised once. Prof. R. Pichler works for Graz, University of Technology with e-mail rudolf.pichler@tugraz.at

III. AUSGEWÄHLTE ELEMENTE EINER AGILEN FERTIGUNG

Eingangs und vorne weg muss bei jedem agilen System der arbeitende und denkende Mensch angeführt werden. Dieser bleibt trotz wachsender künstlicher Intelligenz, Robotik und ähnlicher Entwicklungen für jedwede Form von Agilität zu den am höchsten befähigten „System-Elementen“ (Gunasekaran, 2002). Sein hoher Stellenwert wird gerade auch für agile Fertigungen noch lange maximale Bedeutung haben. Niemand erfüllt die Anforderungen der Agilität mit den Merkmalen Universalität, Mobilität Skalierbarkeit, Modularität und Kompatibilität (Hernandez 2003) besser als die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter eines Unternehmens. Daher gilt diesen in einer agilen Systemgestaltung auch die höchste Zuwendung und Pflege. Wertschätzende Kommunikation, die Bereitstellung von Innovationsräumen und nachhaltig gewährte Fortbildungen werden so zu wertvollen Katalysatoren für agile Fertigungskonzepte. Ohne eine darauf ausgerichtete Unternehmenskultur werden auch die besten technologischen agilen Einrichtungen nicht zum Erfolg führen. Darum besteht das Forschungsziel der smartfactory@tugraz auch darin, keinesfalls Konzepte einer menschenleeren Fabrik zu entwickeln und zu zeigen.

Ab hier konzentrieren sich die weiteren Ausführungen auf technische und technologische Merkmale einer agilen Fertigung. Dabei finden insbesondere solche Applikationen Erwähnung, die in der smartfactory@tugraz Einzug halten werden.

A. Gebäudetechnische Infrastruktur

Industriegebäude sind Beschützer (Dach, Heizung, Arbeitssicherheit) sowie Ver- und Entsorger (Daten, Strom, Druckluft, Kühlwasser, Absaugung, Abfalllogistik) industrieller Prozesse. Agile Konzepte benötigen in dieser Hinsicht maximale Möglichkeiten zur raschen Rekonfiguration von Material- und Datenströmen, von Bearbeitungsfolgen und der dazugehörigen peripheren Prozesse. Daher sollten für alle benötigten bereitgestellten Medien und deren Kanäle durchaus mehr Schnittstellen vorhanden sein sollten, als für den derzeitigen Betrieb eigentlich nötig sind. Da z.B. für die Verschiebung der Betriebsmittel der Boden uneingeschränkt nutzbar bleiben muss, sind sämtliche Ver- und Entsorgungen vorzugsweise von der Decke her zu bewerkstelligen. Aufwändige Fundamentierungen für schwere Betriebsmittel bleiben einmal mehr Vermeidungsziel, die Anbieter von Schwermaschinen bieten hier mittlerweile Auflager-Lösungen an, die mit Böden herkömmlicher Belastbarkeit machbar sind. Mobile Trennwände oder Kapselungen geben Schutz vor Licht, Lärm oder Staubbelastungen, die jederzeit und leicht veränderbar sind. Die Berücksichtigung von Modularität und Skalierbarkeit in allen Belangen ist hierfür eine gezielte strategische Investition in Agilität. Da Umbauten von bestehenden Infrastrukturen bekanntermaßen ein schlechtes Kosten/Nutzenverhältnis besitzen, münden ernsthafte Vorhaben in agile Gebäudetechnik sehr oft auch unmittelbar in green-field Investitionen.

B. Mobile Arbeitsstationen (MAS)

Abgesehen von sehr großen oder schweren Anlagen (Werkzeugmaschinen, Stanzen, Großpressen), gibt es in industriellen Prozessen unzählige Fertigungsstufen, die nicht an spezielle Fundamentierungen oder aufwändige Ver- und Entsorgungsströme (Öfen, Kühlkammern, Lackierkabinen) gebunden sind, so z.B. Stationen für einfache Montagen, Vermessung, Reinigung, Prüfung, Kennzeichnung, Verpackung u.v.m. Zur Schaffung maximaler Agilität empfiehlt es sich, so auch in der smartfactory@tugraz, diese Fertigungsstufen über universelle „Mobile Arbeitsstationen“ (MAS, vgl. Abb. 1a) zu konzipieren. Diese bestehen aus einem für universelle Anwendungen standardisierten Grundkörper, der für mögliche Präzisionsbearbeitungen prinzipiell aus schwingungsarmem Grundmaterial aufgebaut ist. Die Schaffung einer universellen Schnittstelle für Aufbauten erfolgt über eine Stahlplatte mit T-Nutenprofil. Der Grundkörper sitzt auf stationären oder wechselbaren Luftkissen,

sodass die MAS über den einfachen Druckluftanschluss schnell und leicht verschoben werden können. Die einfache Mobilisierung solcher MAS ist bereits erfolgreich erprobt, die ersten Prototypen (Kantenlänge 1300 mm, Gesamtgewicht inkl. Aufbau: ca. 5 t) können ab Dezember 2017 in der smartfactory@tugraz besucht werden.

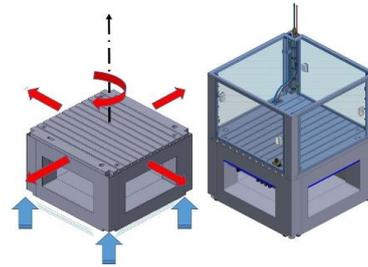


Abb. 1a: Grundaufbau mobiler Arbeitsstationen (MAS)

Mittels solcher MAS kann im Fall notwendig gewordener neuer Technologiefolgen die passende Fertigungslinie rasch und unkompliziert aufgebaut werden (vgl. Abb. 1b). Dieser über die MAS geschaffene Baukasten ermöglicht eine erneut ideale Betriebsmittelanordnung und schafft so auch ein neuerlich schlankes Produktionskonzept. Diese Art der Modularität erlaubt die Hereinnahme oder Auslassung von Technologieschritten, ermöglicht über die Skalierung einzelner Schritte eine optimierte Austaktung und vermeidet sonst auftretende logistische Zusatzaufwände.



Abb. 1b: Agile Verkettung von MAS

C. Monofunktionale Fertigungseinrichtungen

Agile Fertigungskonzepte aufzubauen bedeutet auch, die Bereitschaft aufzubringen, sich in einem definierten Ausmaß mit mehr Kapazität und mehr Funktionalität aufzustellen, als für die derzeitigen Aufgabenstellungen nötig ist. Es gilt, für neue Herausforderungen des Marktes einen höchst universellen Baukasten aus Fertigungstechnologien und -einrichtungen vorzuhalten, damit rasch neue Fertigungsprozesse eingerichtet werden können. Um dabei dennoch möglichst schlank zu bleiben, sind hierfür tendenziell eher monofunktionale Fertigungseinrichtungen empfohlen, als in anderen Konzepten der Serienfertigung mit Technologiefolgenfixierung zunehmend auf Hybridanlagen gesetzt wird. Die Hereinnahme von Hybridanlagen in ein agiles Konzept würde für die Ausrichtung neuer Prozessfolgen zumeist bedeuten, dass die kombinierte zweite – in der konkreten Aufgabenstellung nicht benötigte – Technologie unnötig und teuer mitgeschleppt werden muss. Dies veranlasst zur Aussage, dass Hybridanlagen tendenziell nicht zum Baukasten einer agilen schlanken Fertigung gehören.

Besagte zwecks Abdeckung der Basistechnologien monofunktionale Fertigungseinrichtungen sollen umso mehr modular und ausbaufähig gestaltet sein. Am Beispiel eines CNC-Drehzentrums sollten daher zumindest die Schnittstellen für z.B. Stangenförderer oder die Erweiterung um bestimmte (Dreh)-Achsen gegeben sein. In Analogie sollten bei Fräszentren z.B. Schnittstellen für Beladungssysteme und andere Logistikanbindungen gegeben sein. Derart standardisierte Ergänzungen (Pointner, 2017) können immer bedarfsgerecht zu

attraktiven Beschaffungszeiten angeschafft werden. So sind derartige Basissysteme nicht nur agil sondern bleiben immer auch noch schlank. Die beschafften Anlagen der smartfactory@tugraz berücksichtigen diese Aspekte maximal.

D. Generative Fertigungstechnologien

Nebst der bekannten Flexibilität und auch Agilität von CNC- und DNC-Technologien im Bereich der Zerspanung und dem Einsatz von Robotern ist an dieser Stelle die additive Fertigung mit all ihren bisherigen und zukünftigen Ausprägungen angeführt. Die Freiheit der Formgebung und die Verwendbarkeit von schon sehr vielen Materialien eröffnet jene agilen Räume, die für schnelle Umstellungen unverzichtbar sind. Auch wenn die additive Fertigung für Serienproduktionen noch vielfach nicht den Anforderungen hinsichtlich Kostenziele, Beanspruchbarkeit und Wiederholbarkeit erfüllt, ist es stark empfohlen, sich frühzeitig mit den additiven Technologien auseinanderzusetzen. Sollte auch der Reifegrad für eine bestimmte Anwendung in Richtung Endprodukt noch nicht gegeben sein, so ist das Prototyping über die additive Fertigung noch immer eines der wichtigen beschleunigenden Elemente, welche eine Fertigung agil machen. Abseits der Ausrichtung auf Endprodukte können mittels additiver Fertigung die ebenso wichtigen Werkzeuge, Vorrichtungen und alle anderen Hilfsmittel für notwendige rasche Umstellungen von Fertigungsfolgen höchst dienlich sein. Die smartfactory@tugraz verfügt bereits über eine Laserschmelzanlage für Metalle und diverse Kleindrucker. Sie wird ihr „Add-Lab“ weiter dahingehend einrichten, um wirtschaftliche additive Prozessketten darstellen und beforschen zu können.

E. Modifizierbare Intralogistik über frei navigierende FTS

Die Leistungsfähigkeit fertigungstechnischer Prozessketten ist ganz maßgeblich auch durch ihre logistischen Verknüpfungen geprägt. Agile Konzepte benötigen daher auch in dieser Hinsicht jede Form von nicht starren, beweglichen Systemelementen, die eine neue Prozesslinien adequat und rasch auf- und umbauen lassen. Schienen- oder andersartig flurgebundene Transportsysteme beschränken eine fortwährend geforderte Modifizierbarkeit zu sehr, auch dann, wenn mittels der zuvor ausgeführten MAS die eine oder andere zielführende Lösung gefunden werden kann.



Abb. 2: Beispiele für frei navigierende FTS (Bildquellen: incubedIT, DVZ, KUKA, fetch robotics)

Die wohl agilste Lösung zur Bewältigung potenziell neuer intralogistischer Aufgabenstellungen stellen hier unumstritten die frei navigierenden fahrerlosen Transportsysteme dar (vgl. Abb. 2). Sie benötigen - vereinfacht dargestellt - lediglich die neu programmierte örtliche Umgebung und die Koordinaten der neuen logistischen Quellen und Senken. Gemeinsam mit ebenso frei programmierbaren Roboterarmen als Aufbauten solcher Fahrgestelle erreicht man jene Form der Agilität, die einen für neue logistische Herausforderungen bestens vorbereitet macht. Das Zusammenwirken solcher Transportsysteme mit den Fertigungseinheiten der vorgesehenen Getriebefertigung ist fixierter Bestandteil der Forschungsagenda der smartfactory@tugraz.

F. Adaptive und leistungsfähige Informationstechnologie

Agilität im Sinne rascher Veränderungsfähigkeit beruht selbstverständlich ganz wesentlich auf den Möglichkeiten der heutigen Informations- und Kommunikationstechnologie. Hierbei ist zu beo-

achten, dass agile Unternehmen nicht bloß auf moderne Hard- und Software-Implementierungen zurück greifen, sondern ursprüngliche IT-Fachkräfte zunehmend mit agilen Geschäftsmodellen vertraut machen, um diese dann in Topmanagement-Positionen des Verkaufs oder der Unternehmensleitung einzusetzen, dies z.B. bei GE, MCI Citigroup, u.v.m. (Melarkode, 2004). Abseits dieses richtungsweisenden Ansatzes sind für die Gestaltung einer agilen Fertigung nachstehend drei konkrete IT-relevante Systemelemente angeführt.

Fertigungsbetriebe sind mittlerweile sehr große Datenverarbeiter, wofür die notwendigen Programme und die temporären Bedarfe an Rechnerleistung immer schwieriger vorhersagbar werden. Um auch in diesem Fall nicht überdimensioniert investieren zu müssen und Mobilität und Skalierbarkeit zu erhalten, bevorzugt ein agiles IT-Management das variantenreiche *Cloud Computing*. Die benötigten Applikationen können dabei höchst bedarfsgerecht bezogen werden, d.h., auch große Schwankungen bei Datenmengen und Rechenleistung können gut und aufwandsgerecht bewältigt werden. Umfassende Daten- und Wartungsservices ergänzen die Leistungspakete, die somit selbst als agil zu bezeichnen sind.

Die *Drahtlose Kommunikation* ist per definitionem eine hoch agile Installation, weil sie keine Rücksicht auf Verkabelungen und physische Schnittstellen Rücksicht nehmen muss. Infolge der daraus erwachsenen mobilen Einsatzfähigkeit der Kommunikationspartner ist die drahtlose Kommunikation ein höchst förderliches Element für Agilität in der Fertigung, wobei anzumerken ist, dass insbesondere in der Feldebene die Funktechnologien noch nicht an die Leistungsfähigkeit von gängigen Bussystemen herankommen (Sersultanov 2015). Zukünftige Industrial-WLAN und Time-Sensitive-Networking-Produkte versprechen hierzu die zusätzlich geforderte Echtzeitfähigkeit und Datensicherheit in der drahtlosen Kommunikation. Der 5G-Netzaufbau gehört damit zweifelsfrei zu den wichtigen Bausteinen einer drahtlosen, leistungsfähigen, agilen Kommunikation.

Agilität adressiert entschieden auch die Realisierung steiler Hochlaufkurven von neuen Produktlinien. Eine unabdingbare Hilfe dafür ist der Einsatz von Werkzeugen der *Virtuellen Inbetriebnahme*. Auf Basis des digitalen Zwillings wird die Neukonfiguration einer Fertigung bereits in der Entwicklungsphase auf mögliche Störungen oder Inkompatibilitäten hin geprüft und rechtzeitig korrigiert. Dies führt zu entscheidenden Verkürzungen der späteren realen Hochlaufzeiten. Die virtuelle Inbetriebnahme als ausgewiesener Enabler einer agilen Fertigung und wird daher ebenso in der smartfactory@tugraz als Demonstrator aufgebaut werden. Indem reale Wertschöpfungsketten in der Regel betriebsübergreifend angelegt sind, müssen bisherige Virtual-Enterprise-Konzepte auch um diese Dimensionen der Agilitätsbestrebungen erweitert werden (Elmoselhy, 2013). In einer späteren Ausbaustufe möchte sich die smartfactory@tugraz mit anderen Lernfabriken zusammenschließen, um auch auf dieser Modell-Ebene tatsächliche Lieferketten beforschen zu können.

IV. AGILITÄTS-MESSUNG IN DER SMARTFACTORY@TUGRAZ

Wie bisher dargestellt, lässt sich der Begriff Agilität hinreichend klar beschreiben und hat mittlerweile auch Eingang in unzähligen Veröffentlichungen gefunden. Fortschrittliche Unternehmen arbeiten bereits erfolgreich mit diesem Konzept, allein Raum, Zeit und Zugang zu solch verifizierten Konzepten für Unternehmen, die in der Orientierungsphase sind, finden sich kaum. Diese Lücke möchte die smartfactory@tugraz schließen und u.a. das Thema Agilität in der Fertigung als Erlebnis- und Testfeld auf Basis einer industriegerechten Fertigungskette für Industriepartner jeder Größe anbieten.

Der schon etablierte Forschungsschwerpunkt Agilität an der TU Graz am Institut für Innovation und Industriemanagement (Ramsauer et al. 2016; Rabitsch et al. 2015) beschäftigt sich auch stark mit der quantifizierten Bewertung von Agilität. Mittels diverser Simulationsmodelle wurden auf Basis eines definierten Produktionsnetzwerks

und eines hoch volatilen Anforderungsprofils so z.B. die quantifizierten Auswirkungen in Richtung möglicher IST-Ausstoß und EBIT in Abhängigkeit verschieden vorgehaltener Agilitätsniveaus gezeigt (Schurig 2015, Schurig 2016).

Das Institut für Fertigungstechnik der TU Graz möchte hier aufsetzen und diese Art Stresstest dahingehend fortentwickeln, dass mittels Realsimulation das Agilitäts-Niveau der smartfactory@tugraz gemessen und aufgezeigt werden kann. So ist geplant, dass die darin installierte Fertigungsorganisation (Fertigungs-Infrastruktur und Fertigungs-Personal), welche ein bestimmtes Produkts A produziert, an einem nicht vorher bekannt gegebenen Tag X mit einer völlig neuen Marktsituation konfrontiert wird. Diese besteht darin, dass möglichst rasch ein neuartiges Produkt B in bestimmten Mengen produzieren zu können. Das gesamte Team ist ab dann gefordert, die bestehende Fertigung und seine Organisation (Produktplanung, Prozessplanung, Qualitätssicherung, Materialversorgung u.v.m.) möglichst rasch umzubauen, um reibungsfrei und erneut kostenoptimiert das Produkt B herstellen zu können. Ab diesem Tag X müssen zu allen Vorgängen die Zeitbedarfe, Investitionsaufwände, die Erfolge und Schwierigkeiten aufgezeichnet werden, um das vorangegangene Agilitätsniveau bemessen und beurteilen zu können. Das Ergebnis aus diesem Stresstest muss sein, zu erkennen, in welchen Bereichen man für Agilität bereits gut gerüstet ist, bzw. wo noch Nachbesserungen für verbesserte Agilität zu treffen sind. Ein anschließender Simulationslauf inkl. dieser Nachbesserungen ergibt eine neuerliche Möglichkeit zur Beurteilung der Sinnhaftigkeit von Investitionen in eine zweckmäßige anforderungsgerechte Agilität.

Nur in einer Lernfabrik wie der smartfactory@tugraz können derartige Versuche gestartet werden, um zu solchen Ergebnissen zu gelangen, ohne einen realen Betrieb massiv zu stören. Diese Art der Sichtbarmachung von Agilität ist ein hoch ambitioniertes Ziel und soll die smartfactory@tugraz somit zu einem weiteren Markenzeichen der Agilitäts-Forschung an der TU Graz machen.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Agilität ist ein die Flexibilität klar übersteigendes, proaktives Konzept, welches den Marktanforderungen der Zukunft offensiv begegnet und die Chancen im erhöhten Betriebserfolg sucht. Im Rahmen der Fertigung bieten sich hierzu eine Reihe von Systemelementen an, die Agilität beschleunigen oder überhaupt erst ermöglichen. Die fertigungsorientierte Lernfabrik der TU Graz – die smartfactory@tugraz – baut eine dafür nötige Forschungslandschaft auf und wird sich nebst der Demonstration von fertigungsagilen Einrichtungen auch der Sichtbarmachung und Messbarkeit von Agilität widmen.

VI. REFERENZEN

Abele, E. (2009), Wörn, A.: Reconfigurable Machine Tools and Equipment, in: ElMaraghy (Hrsg.), Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems, Springer 2009

Bundesverband der deutschen Industrie e.V. (2015): Zukunft durch Industrie, Den Wandel als Chance begreifen – Herausforderungen und Implikationen, Berlin, 2015

Elmoselhy, A.M. (2013): Hybrid lean-agile manufacturing system technical facet in automotive sector, in: Journal of Manufacturing Systems, Vol. 32, issue 4, Oct 2013, Pages 598-61

Gunasekaran, A.; Yusuf, Y.Y. (2002) Agile manufacturing: A taxonomy of strategic and technological imperatives, International Journal of Production Research, 40:6, 1357-1385.

Hartmann, E. (2014), Hohenstein, N.-O.; Feisel, E.: Der Innovation-würfel: Strategien zum erfolgreichen Umgang mit Supply Chain Störungen, in: Motoren der Innovation, Verlag Springer 2014

Heger, C. L. (2007): Bewertung der *Wandlungsfähigkeit* von Fabrikobjekten, Verlag PZH, Produktionstechnisches Zentrum 2007.

Hernandez, R.(2003): Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung, PhD Thesis, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, Düsseldorf 2003, S. 54 -56.

Kreutzer, R.T. (2017), Neugebauer, T., Pattloch, A.: Digital Business Leadership, Digitale Transformation-Geschäftsmodell-Innovation-agile Organisation-Change-Management.

Melarkode, A.; From-Poulsen, M.; Warnakulasuriya, S.: Delivering agility through IT. In: Business Strategy Review, Jg. 15, H. 3, 2004, S. 45–50

Nyhuis, P. (2008), Heinen, T.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Abele, E.; Wörn, A.: Wandlungsfähige Produktionssysteme : Theoretischer Hintergrund zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. In: wt Werkstattstechnik online 98 (2008) Nr. 1/2, S. 85-91.

Nyhuis, P. (2010), Klemke, T.; Wagner, C.: Wandlungsfähigkeit – Ein systemischer Ansatz, in: Nyhuis, P (Hrsg.) Wandlungsfähige Produktionssysteme, Berlin 2010, S. 3-21.

Pointner, A. (2017): Vorbereitet – Anwendung der Agilitätsstellschrauben, S. 207, in: Ramsauer, C., Kayser, D., Schmitz, C. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Agilität, Chancen für Unternehmer in einem volatilen Marktumfeld, Weinheim 2017 - Verlag Wiley

Rabitsch C. (2015), Schurig, M., Ramsauer, C.: Operationalisierung der Agilität. Agilitätsdimensionen und Stellgrößen, in: Industrie 4.0 Management 31 (4).

Ramsauer, C. (2016), Rabitsch, C: Agile Produktion – Ein Produktionskonzept für gesteigerten Unternehmenserfolg in volatilen Zeiten, in: Biedermann, H. (Hrsg.): Industrial Engineering und Management, Verlag Springer, Wiesbaden, 2016.

Schurig, M., (2016): Methodology to evaluate the agility of a production network using a stress test approach, PhD Thesis, Technische Universität Graz, Graz, 2016, S 42 ff

Schurig, M.(2015), Messung der Agilität von Produktionsnetzwerken: Ein Vorgehensmodell zur Messung der Agilität von Produktionsnetzwerken mit Hilfe von operativen Stresstests, in: in ZWF Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 110(3):114-117 · March 2015

Sersultanov, U. (2015): Kommunikationstechnologien für die Industrie 4.0; Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Elektro-technik und Informationstechnik.

Wiendahl, H.P., (2014), Reichardt, J., Nyhuis, P. - 2014 Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten.



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Rudolf Pichler

studierte Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau an der TU Graz und promovierte am Institut für Wirtschafts- und Betriebswissenschaften (Abschluss 1995). Im Anschluss war er 5 Jahre Produktionsleiter in der Chemischen Industrie und wechselte für die folgenden 15 Jahre in die Metalltechnische Industrie. Dort war er in den Funktionen Produktionsleitung, Betriebsleitung und Geschäftsführung für Unternehmen wie Zumtobel AG, Umdasch AG, Siemens AG, TCM Tool Consulting und Management GmbH und im Anlagenbau tätig. Seit Oktober 2015 bekleidet Hr. Prof. Pichler die Stiftungsprofessur für Advanced Manufacturing am Institut für Fertigungstechnik der TU Graz und darin auch verantwortlich für Inhalt, Aufbau und Betrieb der Lernfabrik „smartfactory@tugraz“.