

3.3 Worldwide Lab – Garantierte Produktivitätssteigerung durch Lernen im Netzwerk

G. Schuh, P. Burggräf, S. Gottschalk, A. Gützlaff, M. Dannapfel, K. Thomas, M. Ebade Esfahani, C. Geukes, M. Welsing, A. Klein, S. Tschöpe, M. Henrichs, W. Weber, J. Holtbrügge, C. Benninghaus, S. Feike, P. Mairl, N. Hülsmann

Gliederung

1	Produzierende Unternehmen in der heutigen Zeit.....	256
2	Potenziale eines Worldwide Labs	257
3	Herausforderungen der produzierenden Industrie bei der Umsetzung eines Worldwide Labs	260
4	Handlungsfelder zum Erreichen eines Worldwide Labs in produzierenden Unternehmen.....	261
4.1	Nutzbare Daten	262
4.2	Lernende Prozesse	266
4.3	Flexible Teams.....	269
5	Zusammenfassung.....	274

Kurzfassung

Worldwide Lab – Garantierte Produktivitätssteigerung durch Lernen im Netzwerk

Als Konsequenz und Reaktion auf die Globalisierung haben viele Unternehmen ihre Wertschöpfung auf globale Produktionsnetzwerke verteilt. Zur Optimierung solcher Produktionsnetzwerke wurden in der Vergangenheit insbesondere die Aktivitäten und Aufgaben der einzelnen Standorte untersucht und verbessert. Neue Optimierungspotentiale bietet das Zusammenspiel und der Informationsaustausch der jeweiligen Standorte im Netzwerk. Insbesondere durch die zunehmende Vernetzung der Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 und der weltweiten Verfügbarkeit dieser Daten in Cloudumgebungen können mehr Informationen zwischen den einzelnen Standorten ausgetauscht und somit auch genutzt werden. Auf dieser Grundlage wurde im Rahmen des Forschungsprojektes Internet of Production (IoP) das Konzept des Worldwide Labs erarbeitet. Das Worldwide Lab sieht vor, dass sämtliche Datenpunkte in globalen Produktionsnetzwerken verfügbar gemacht und wie experimentelle Beobachtungsdaten behandelt werden, um Produktivitätssteigerungen zu erreichen. Der Vorteil dieser Datenbasis ist die große Anzahl an Faktoren, die berücksichtigt werden können, da die Anzahl an potentiellen Experimentaldaten so deutlich gesteigert wird. Zudem können bereits vorhandene Daten ex post zur Validierung von Hypothesen genutzt werden. Für die erfolgreiche Einführung und Nutzung des Worldwide Labs in produzierenden Unternehmen müssen verschiedene Aspekte beachtet werden, die in den einzelnen Unterkapiteln erläutert und mit Praxisbeispielen veranschaulicht werden. Zunächst muss mit *nutzbaren Daten* die technische Grundlage geschaffen werden. Zur Realisierung dieses Nutzens muss das Unternehmen zudem in *lernenden Prozessen* operieren, die von *flexiblen Teams* umgesetzt werden.

Abstract

Worldwide Lab - Guaranteed productivity increases by learning within the network

As a reaction to globalisation, many companies have distributed their production processes across global production networks. In order to optimise such production networks, the activities and tasks of the individual locations were examined and improved in the past. The interaction and exchange between the respective locations in the network offers new potential for optimisation. Especially through the increasing connectivity of manufacturing in the context of Industry 4.0 and the worldwide availability of this data in cloud environments, more information can be exchanged among the different production sites. On this basis, the concept of the Worldwide Lab was developed as part of the Internet of Production (IoP). The Worldwide Lab is designed to provide all data points in global production networks and to process them as experimental observation data. This database offers several advantages compared to classical experimental setups. On the one hand, considerably more factors can be taken into account since the number of experiments is much higher. On the other hand, already existing data can be used ex post for the validation of hypotheses. For the successful introduction and utilisation of the Worldwide Lab, various aspects have to be considered which are explained in the following subchapters and demonstrated with case studies. Initially, the technical basis must be created with the access of usable data. To realise the potential of this database, the company must furthermore operate with *learning processes* that are executed by *flexible teams*.

1 Produzierende Unternehmen in der heutigen Zeit

Die globale Wirtschaft ist seit 40 Jahren von einer starken Vernetzung und länderübergreifenden Zusammenarbeit geprägt. Während die Zeit bis 1990 im Rahmen der Internationalisierung durch vereinzelte globale Expansion ökonomischer Aktivitäten geprägt war, erwachsen nach dem Fall des Eisernen Vorhangs vollständig globale Unternehmen. [1] Diese sogenannte Globalisierung stellte die strategische Ausnutzung von Standortvorteilen bei gleichzeitiger Erzielung von Skaleneffekten in den Vordergrund. [2]

Durch die Globalisierung werden die weltweiten Verflechtungen von Unternehmen kontinuierlich stärker. Als Folge werden immer mehr Güter über nationale Grenzen hinweg transportiert. Der Welthandel steigt sogar proportional stärker an als die Weltwirtschaftsleistung. [3]

Neben dem Umfang wächst auch die Änderungsrate der unternehmerischen Verflechtungen (vgl. Bild 1). Diese Verflechtungen können in politische, kulturelle, ökologische und wirtschaftliche Dimensionen unterschieden werden. Während die politische Dimension durch die Öffnung von Ost und West der wesentliche initiale Treiber der Globalisierung war, ist sie heute vor dem Hintergrund von Handelskonflikten und protektionistischen Entwicklungen häufig Quelle von Unsicherheiten. [4] Zudem treffen verschiedene Kulturen aufeinander, die sich insbesondere in geschäftlichen Gepflogenheiten unterscheiden. Auf ökologischer Ebene erhöht die gesellschaftliche Debatte um den Klimawandel den Druck nach nachhaltigem Wirtschaften. Dieser trifft die Wirtschaft nicht nur direkt durch Umweltabgaben, sondern auch indirekt durch Störungen von Zulieferketten und Absatzmärkten. [5] Auf wirtschaftlicher Ebene ist eine Änderung der Verflechtungen insbesondere im strategischen Bereich der Unternehmungen zu beobachten. Während in den Anfängen der Globalisierung vor allem geringe Faktorkosten als Wettbewerbsvorteil gesehen wurden, gerät die Individualisierung der Produkte und somit die zunehmende Bedeutung von Kundenanforderungen in den Vordergrund. [6, 7] Diese starken Änderungen des unternehmerischen Umfelds erfordern eine hohe Flexibilität der Unternehmung. Die Gestaltung agiler Produktionsnetzwerke ist eine Möglichkeit die benötigte Flexibilität sicherzustellen, um sich in einem hochvolatilen Umfeld wirtschaftlich zu behaupten. [8] Eine Studie der John M. Olin School of Business der Washington University kommt zu dem Schluss, dass in 2025 40% der Fortune 500 Unternehmen nicht mehr existieren werden, weil ihnen die Agilität fehlt, sich in schnellerem Umfang als bislang auf einschneidende Änderungen der unternehmerischen Randbedingungen einzustellen. [9] Die zunehmende Vernetzung der Welt ist jedoch nicht lediglich passiv zu betrachten. Vielmehr stellt sich für produzierende, global agierende Unternehmen die Frage, wie sie die Vernetzung von Märkten, Prozessen und Produkten für ihr Geschäft aktiv nutzen können.

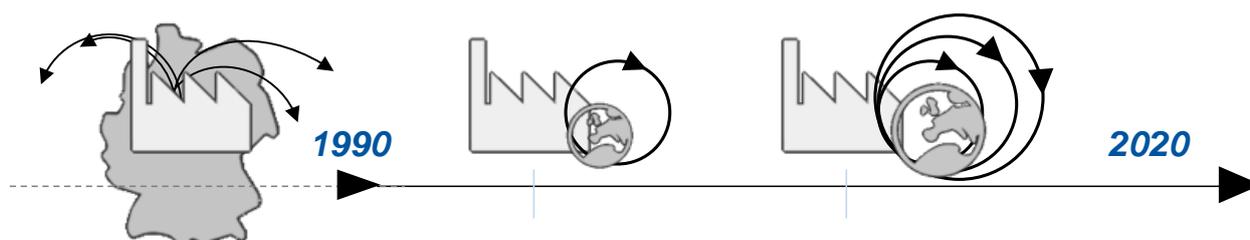


Bild 1: Zunahme unternehmerischer Verflechtungen

Die zunehmende Vernetzung der Welt ist jedoch nicht lediglich passiv zu betrachten. Vielmehr stellt sich für produzierende, global agierende Unternehmen die Frage, wie sie die Vernetzung von Märkten, Prozessen und Produkten für ihr Geschäft aktiv nutzen können. Die intelligente Verarbeitung von Daten hat bereits heute insbesondere den Dienstleistungssektor stark verändert. Als Beispiel für eine starke digitale Innovationsfähigkeit kann das Unternehmen Amazon genannt werden. Durch die Vernetzung der gesamten Geschäftsstruktur kann es Informationen sammeln, die ihm helfen interne Abläufe (z.B. die Liefergeschwindigkeit) zu verbessern und schnell auf sich ändernde Kundenbedürfnisse zu reagieren. Amazon folgt hierbei drei Prinzipien:

- Embrace data: Im Mittelpunkt der Geschäftstätigkeit steht das Sammeln und Analysieren von Daten aller Einzelaktivitäten.
- Democratise data: Jeder Mitarbeiter hat Zugang zu Daten und entsprechenden Hilfsmitteln, um eigene Ideen in einer Laborumgebung zu verproben.
- Learn from data: Informationen werden maßgeblich genutzt, um in hoher Frequenz neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle zu entwickeln. [10–13]

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags soll mithin die Frage beantwortet werden, wie ein solches Beispiel aus dem Dienstleistungssektor Potentiale für globale produzierende Unternehmen aufzeigt. Die These, der dieser Beitrag folgt, ist daher:

Wenn Unternehmen aus der Vielfalt an Einzelaktivitäten lernen und die Erkenntnisse wie in einem weltweiten Labor verknüpfen, entstehen enorme Potenziale für einen nachhaltigen Erfolg.

2 Potentiale eines Worldwide Labs

Die Übertragung des Amazon-Beispiels auf die produzierende Industrie verdeutlicht, dass auch produzierende Unternehmen ihr gesamtes Netzwerk und die damit verbundenen Daten, wie ein Labor behandeln sollten. „Wenn Du die Anzahl Deiner jährlichen Experimente verdoppelst, wirst Du Deine Innovationsfähigkeit verdoppeln.“ [14] Mit dem Blick auf die produzierende Industrie bedeutet dieses Zitat von Jeff Bezos (CEO von Amazon), dass die Durchführung einer großen Zahl an Experimenten in einem turbulenten Unternehmensumfeld sicherstellt, dass in hoher Frequenz verschiedene Lösungsansätze zeiteffizient erprobt werden können. Der folgende Abschnitt stellt dar, was der Grundgedanke eines Worldwide Labs bedeutet und welche Potentiale damit verbunden sind. Außerdem wird erläutert, weshalb die heutigen Strukturen der produzierenden Industrie noch nicht für die Erfüllung der beschriebenen Vision ausreichen, um in den darauffolgenden Abschnitten konkrete Schritte auf dem Weg zum Worldwide Lab zu erläutern. Ein Worldwide Lab bezeichnet die Vision, alle Unternehmensdaten analog zu experimentellen Beobachtungsdaten zu verwenden. Das bedeutet, dass jeder Vorgang, jede Messung und jeder Datenpunkt für mögliche Analysen zur Verfügung steht und ein Unternehmen, diese Möglichkeit nutzt, um Hypothesen bezüglich der Optimierung von Geschäftsabläufen zu validieren. [15]

Zum besseren Verständnis der einzelnen Charakteristiken des Worldwide Labs ist es hilfreich die Grundidee eines Labors und die zugehörige Arbeitsweise zu rekapitulieren. Zunächst ist die Grundfunktion eines Labors, dass Ideen in einem kontrollierten und verkleinerten Umfeld getestet werden können. Dabei gilt, dass mit einer höheren Anzahl an

Experimenten auch die Wahrscheinlichkeit für ein erfolgreiches Experiment proportional steigt. Zudem gilt, dass die Gründe für den Erfolg oder Misserfolg eines Experimentes umso besser nachvollzogen werden können, je mehr Einflussfaktoren beobachtet und kontrolliert werden. Nur wenn alle Randbedingungen vollständig bekannt sind, kann mit hinreichender Sicherheit rekonstruiert werden, welche Kombinationen von Faktoren für das beobachtete Phänomen verantwortlich sind. [16] Diese Eigenschaft der statistischen Versuchsplanung (Design of Experiments) verdeutlicht, warum der Erkenntnisgewinn für reale Produktionsabläufe in einem experimentellen Umfeld so herausfordernd ist. Die Anzahl der möglichen Einflussfaktoren auf den realen Fabrikbetrieb oder gar das Betreiben eines globalen Produktionsnetzwerkes ist zu hoch, um vollständig abgebildet zu werden. Für den Fall, dass es gelingen sollte eine äquivalente Anzahl an Einflussfaktoren in ein experimentelles Umfeld zu integrieren, so würde die Anzahl der nun notwendigen Experimente die Kapazität einer jeden Forschungseinrichtung überschreiten. Grund dafür ist die Tatsache, dass die Anzahl der möglichen Faktorkombinationen mit jedem weiteren Einflussfaktor exponentiell steigt. [17] An dieser Schwäche von konventionellen Experimenten setzt das Worldwide Lab an. Da mit einer zunehmenden Vernetzung im Rahmen von Industrie 4.0 die Anzahl der verfügbaren Produktionsdaten kontinuierlich steigt, können diese Daten ebenfalls wie experimentelle Einflussfaktoren analysiert werden. Dabei übersteigt sowohl die Anzahl der beobachteten Faktoren als auch die Anzahl der durchgeführten Produktionsvorgänge die Anzahl von konventionellen Experimentaldaten um ein Vielfaches. Diese Abhängigkeit ist auch in Bild 2 verdeutlicht. Dabei verwandelt sich die Welt der Produktion zusätzlich in ein Labor, welches die notwendigen Experimentaldaten liefert. [15]

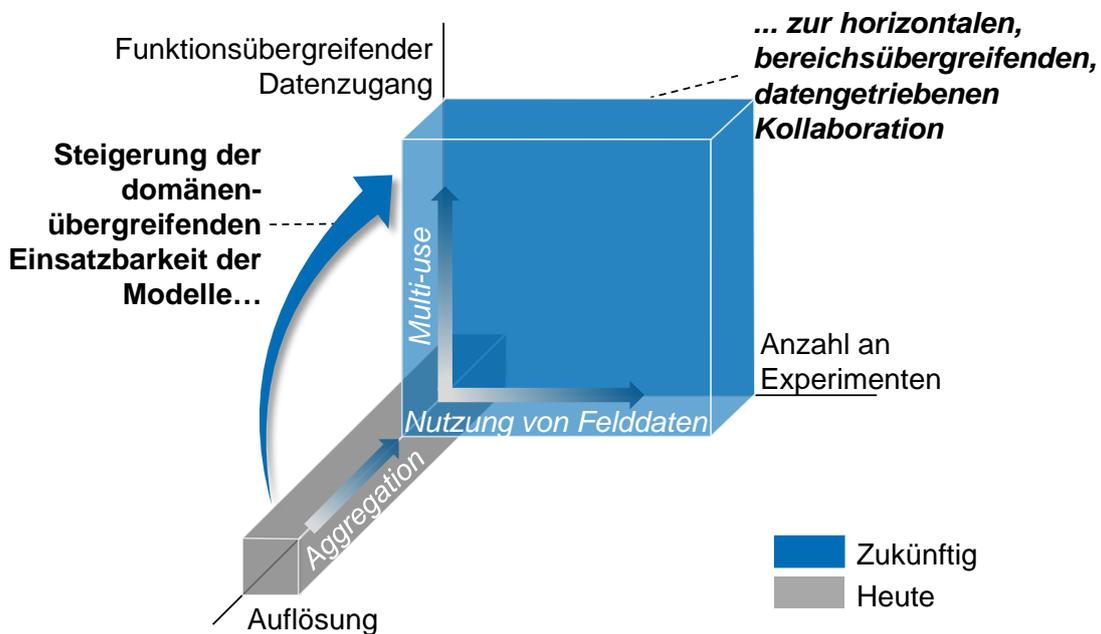


Bild 2: Vision des Internet of Production und Grundgedanke des Worldwide Labs [15]

Die Datenverfügbarkeit ist jedoch nur eine Etappe auf dem Weg zum Worldwide Lab. Auch die Arbeitsweise eines Labors muss auf das Unternehmen übertragen werden. In Bild 3 ist der Arbeitszyklus eines Labors mit seinen jeweiligen Phasen dargestellt. In der ersten Arbeitsphase „Measure“ wird ein Experiment durchgeführt und die zuvor definierten Einflussfaktoren gemessen und dokumentiert. Darauf folgt die Phase „Analyze“.

dieser Phase werden die zuvor erhobenen Daten analysiert und auf mögliche Gesetzmäßigkeiten untersucht. Diese Phase ist notwendig für die Validierung von zuvor aufgestellten Hypothesen. Für den Fall, dass die vorhergesagte Wirkungsbeziehung nachgewiesen werden kann, wird die letzte Phase des Arbeitszyklus angestoßen. In der Phase „Scale“ wird das bisher nur experimentell nachgewiesene Phänomen in einem größeren Kontext untersucht oder genutzt. Je nach Wissenschaftsdisziplin, kann dies Unterschiedliches bedeuten. So kann z.B. eine chemische Reaktion in ein neues Herstellungsverfahren integriert werden oder ein psychologischer Effekt in eine neue Marketingkampagne einfließen. Im produktionstechnischen Kontext des Worldwide Labs sind die Einführung von neuen Fertigungsfahren oder Betriebsabläufen denkbar. Insbesondere die Identifikation von erfolgreichen lokalen Lösungen in einem globalen Produktionsnetzwerk und die Übertragung dieser Ansätze auf andere Standorte, ist ein vielversprechender Ansatz. [18] Hierbei sollten alle relevanten Erfolgsfaktoren identifiziert werden, um die Erfolgswahrscheinlichkeit bei der Implementation an einem neuen Standort zu maximieren.

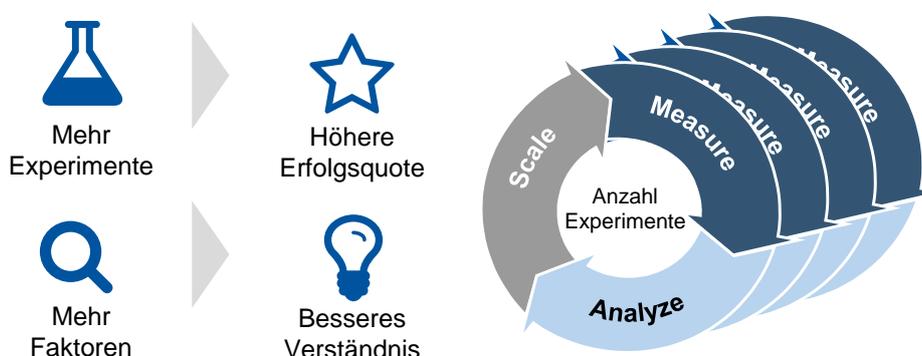


Bild 3: Skizzierung der Funktion und Arbeitsweise eines Labors

Bei einer konsequenten Umsetzung des Worldwide Lab Gedankens können die folgenden Potentiale für produzierende Unternehmen realisiert werden:

- Steigerung der der Effizienz
- Verbesserung der Innovationsfähigkeit
- Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit auf Marktbedürfnisse

Die Steigerung der Effizienz kann dank einer erhöhten vertikalen und horizontalen Transparenz erreicht werden. Aufgrund einer besseren Verfügbarkeit der Daten bezüglich der Geschäftsprozesse in allen Entitäten eines globalen Produktionsnetzwerkes können sowohl inter- als auch intrasystemische Effizienzen gesteigert werden. [19] Die Innovationsfähigkeit der Produktion kann durch einen funktionsübergreifenden Informationsaustausch erleichtert werden, da so die domänenspezifischen Restriktionen und Fähigkeiten für alle Akteure nachvollziehbar sind. Eine solche Ausgangsbasis ermöglicht einen schnelleren Austausch zwischen den verschiedenen Fachbereichen und somit auch die Identifikation und Umsetzung von Innovationen. Ein weiterer Vorteil der transparenten Datenbasis ist, dass hinreichend schnell abgeschätzt werden kann, welche Produktionskapazitäten für neue Produkte zur Verfügung stehen und somit schneller auf die Anforderungen der Märkte reagiert werden kann. Insbesondere die Fähigkeit Lösungen für Kundenbedürfnisse ad hoc in Serie zu produzieren wird dadurch vereinfacht, dass existierende Prozesse als Reverenz für Planungs- und Vorhersageaufgaben verwendet werden können. [19]

3 Herausforderungen der produzierenden Industrie bei der Umsetzung eines Worldwide Labs

Die Wertschöpfungsketten in den meisten produzierenden Unternehmen sind nicht die optimale Lösung für ein ausführlich ausgearbeitetes Planungsproblem, sondern das Ergebnis einer historischen Entwicklung. Während solcher Entwicklungen werden Produktionsnetzwerke durch interne und externe Restriktionen und ständig wechselnde Einflussfaktoren geprägt. Für jeden Standort, jeden Fertigungsprozess und jede logistische Operation ist eine Vielzahl von technischen und organisatorischen Randbedingungen zu beachten. Es ist somit allgemein anerkannt, dass Produktionsnetzwerke eines der komplexesten und dynamischsten vom Menschen geschaffenen Systeme sind. [20] Die IT-Landschaft von produzierenden Unternehmen orientiert sich an der Organisation und dem Ablauf der zugehörigen Wertschöpfungsketten. Es ist ein bekanntes Phänomen, dass Unternehmenssoftware ein Spiegelbild der zu unterstützenden Geschäftsfunktionen erzeugt. [21] Eine solche Ausgestaltung von EDV-Programmen unterstützt die Abläufe und erzeugt keine Problematiken, solange ein Unternehmen im Rahmen der vorgesehenen und einprogrammierten Prozesse agiert. Die Umsetzung von neuen Aufgaben und die Anpassung der zugehörigen Computerprogramme an neue Abläufe kann jedoch beachtliche zeitliche und monetäre Aufwendungen benötigen. Somit führen bereits digital abgebildete Unternehmensabläufe teilweise zu einem Zuwachs der Starrheit in den Abläufen von ohnehin schon unflexiblen Wertschöpfungsketten. Zudem entstehen durch geschlossene IT-Systeme informationstechnische Silos, die in ihrer Ausprägung der organisatorischen Gestaltung einer Firma ähneln. Besonders in der Vergangenheit wurden IT-Systeme nicht dafür konzipiert Daten für zusätzliche Parteien offenzulegen und technische Voraussetzungen, wie vollständige dokumentierte Schnittstellen, wurden nicht geschaffen. [22] Diese Ausgangslage verdeutlicht die Problematik warum, trotz der zunehmenden technischen Möglichkeiten und des weltweiten Wachstums an Datenspeicherungsmöglichkeiten in der Cloud, viele Unternehmen es nicht schaffen ihre Produktionsdaten weltweit verfügbar und somit nutzbar zu machen. Bild 4 verdeutlicht, wie solche starren Wertschöpfungsketten im Widerspruch zu den Potentialen der weltweit verfügbaren Daten stehen. Trotz der exponentiell zunehmenden Menge an Daten, die in der Cloud gespeichert werden, schaffen es vielen Firmen nicht diese Möglichkeit für ihre eigenen IT-Landschaften und Wertschöpfungsketten zu nutzen.

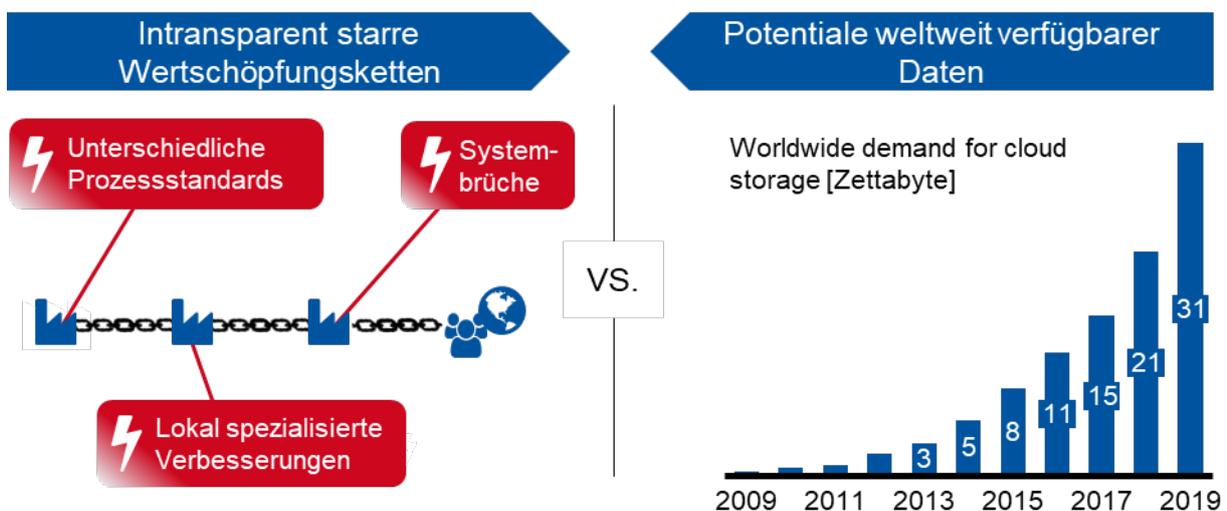


Bild 4: Herausforderung von starren Wertschöpfungsketten gegenüber den technischen Potentialen der Cloudspeicherung [23]

Viele Firmen im produzierenden Sektor operieren unter einem starken Kostendruck, der die Nutzung bereits abgeschriebener Infrastruktur zwingend notwendig macht. Für solche Unternehmen existiert eine weitere Problematik hinsichtlich der Generierung von Mehrwerten aus den potentiell verfügbaren Daten. So existieren in vielen Firmen keine Prozesse oder Organisationseinheiten, die von den neuen Daten ausreichend profitieren könnten, um die Investitionen in Datenverfügbarkeit wirtschaftlich zu gestalten. Erst wenn ein Unternehmen organisatorisch in der Lage ist einen Mehrwert aus den zusätzlichen Daten zu gewinnen, lohnt sich die Investition in neue IT-Lösungen. [24, 25] Erste Ansätze für die Verbesserung der Datentransparenz und die Nutzung neuer Datenquellen aus dem Industrie 4.0 Kontext kommen nur in wenigen Unternehmen über den Pilotstatus hinaus. Obwohl die Realisierung von digitalen Produktionslösungen von vielen Entscheidungsträgern als oberste Priorität genannt wird, können nur wenige vollständig umgesetzte Ansätze vorweisen. [26] Existierende Prozesse und Organisationseinheiten in Unternehmen sind viel zu wenig darauf ausgerichtet ihre Entscheidungen an den Erkenntnissen der Analyse von großen Datenmengen auszurichten. Ein Grund dafür ist, dass die Mitarbeiter in den einzelnen Fachbereichen nicht für solche Aufgaben geschult sind und bei der Zusammenarbeit mit internen oder externen Spezialisten enorme Reibungsverluste auftreten können. Diese Art des Henne-Ei Problems kann nur durchbrochen werden, wenn ein Unternehmen sowohl die technischen als auch organisatorischen Problematiken erkennt und koinzident zu lösen versucht. In dem nachfolgenden Kapitel werden Handlungsfelder vorgestellt, die zeigen, wie sowohl auf technischer als auch auf organisatorischer und prozessualer Ebene das Ziel eines Worldwide Labs erreicht werden kann und somit ein Mehrwert aus der neuen Datenlandschaft generiert werden kann.

4 Handlungsfelder zum Erreichen eines Worldwide Labs in produzierenden Unternehmen

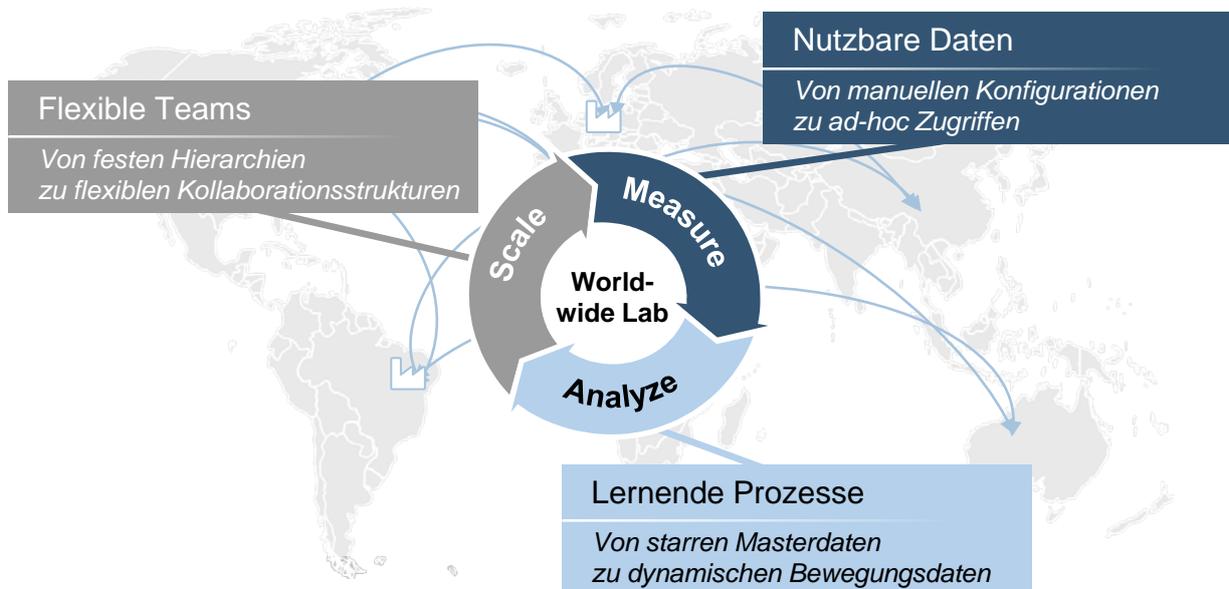


Bild 5: Übertragung der Arbeitsweise eines Labs auf die notwendigen Handlungsfelder zur Einführung eines Worldwide Labs

Trotz der zuvor erläuterten Herausforderungen ist die Umsetzung des Worldwide Lab Gedankens in Unternehmen möglich, wenn die Arbeitsweise eines solchen Labors und die daraus resultierenden Handlungsfelder berücksichtigt werden. Eine passende Übertragung des Arbeitsmodus eines Labors auf die Einführungsfelder des Worldwide Labs ist in Bild 5 dargestellt. Für den ersten Arbeitsschritt „Measure“ müssen die Unternehmens- und Produktionsdaten in ein nutzbares Format übertragen werden. Dies ist eine vornehmlich technische Aufgabe, die je nach Unternehmensbedürfnissen unterschiedlich gelöst werden kann. Wichtig ist dabei, dass möglichst wenig manuelle Konfigurationsarbeit von den potentiellen Nutzern durchgeführt werden muss und schnelle ad hoc Zugriffe möglich sind. In dem folgenden Unterkapitel 4.1 wird dieses Vorgehen ausdetailliert und an Unternehmensbeispielen verdeutlicht. Für den zweiten Arbeitsschritt „Analyze“ muss eine Organisation über lernende Prozesse verfügen, die in der Lage sind aus den nutzbaren Daten Erkenntnisse zu gewinnen und entsprechende Maßnahmen abzuleiten, da die reine Erfassung der Daten für ein Unternehmen nicht mit einem konkreten Mehrwert verbunden ist. Erst durch das Gewinnen von Erkenntnissen aus den Informationen und das Verbessern von wertschöpfenden Tätigkeiten, kann ein Mehrwert generiert werden. Bei den zu untersuchenden Informationen ist ein Prozessbezug wichtig, da so sichergestellt werden kann, dass in einem agilen Umfeld stets aktuelle Vorgänge mit einbezogen werden. Bei einer reinen Untersuchung von Masterdaten entsteht hingegen die Gefahr, dass veraltete und somit nicht relevante Aspekte anstelle von neusten Entwicklungen berücksichtigt werden. Somit sollten vor allem dynamische Bewegungsdaten anstelle von starren Masterdaten, im Fokus der Analyse und lernenden Prozesse stehen. Auch dieses Handlungsfeld wird in Kapitel 4.2 ausführlich beleuchtet und anhand von praktischen Exempeln erläutert. Die letzte Phase in dem Arbeitszyklus eines Labors ist die Aufgabe „Scale“. „Scale“ bedeutet, dass die abgeleiteten Optimierungsmaßnahmen aus dem vorangegangenen Analyseprozess in weitreichender Form im globalen Produktionsnetzwerk implementiert werden. Diese Aufgabe kann je nach Maßnahme unterschiedliche Kapazitäten, Fähigkeiten und Zeiträume benötigen. Aus diesem Grund muss ein Unternehmen zur Bewältigung der Aufgabe über flexibel Teams verfügen. Anstelle von festen hierarchischen Gliederungen sollten flexible Kollaborationsstrukturen geschaffen werden. Nur mit einer schnellen Anpassung und Zusammenführung der notwendigen Mitarbeiter für die Umsetzung der zuvor definierten Maßnahmen kann die erforderliche Geschwindigkeit für die Umsetzung von Skalierungsmaßnahmen erreicht werden. Wie diese organisatorische Umgestaltung gelingen kann und welche Vorgehensweisen dafür von Unternehmen gewählt wurden, wird in Kapitel 4.3 vorgestellt.

4.1 Nutzbare Daten

Interaktive Dashboards zur Steuerung des Fabrikbetriebes und zur Erhöhung der Prozesstransparenz sind heutzutage keine Seltenheit an den lokalen Standorten eines Produktionsnetzwerkes. Zusammen mit dem wachsenden Einsatz von Manufacturing Execution Systemen (MES) in den 90er Jahren wurden solche Systeme unter dem Namen SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) bekannt und eingesetzt. [27] Die Standards und Ausprägungen der eingesetzten IT-Systeme können dabei an den verschiedenen Standorten des Unternehmens sehr unterschiedlich sein. Gründe hierfür sind meist historische und organisatorische Entwicklungen, wie die Übernahme von neuen Firmen und die Entscheidungsbefugnisse der lokalen Führungskräfte. [28] Eine der schwerwiegendsten Folgen einer solch gemischten IT-Landschaft ist, dass eine Transparenz, die analog zu den lokalen SCADA-Übersichten ist, auf globaler Ebene meist fehlt. [29] Die standortübergreifende Steuerung des gesamten Produktionsnetzwerkes ist daher nur schwer möglich.

Die vorgestellte Middleware des Internet of Production (IoP) setzt an dieser Stelle an, indem sie es ermöglicht, die verschiedenen Datenquellen miteinander zu verbinden und die Informationen in aggregierter Form verfügbar zu machen. Das IoP unterscheidet zwischen drei verschiedenen Datenebenen. Die unterste Datenebene trägt den Namen Raw Data und bezeichnet die gespeicherten Daten in ihren jeweiligen nativen Anwendungssystemen, wie z.B. einen MES oder ERP-System. Für die Verbindung dieser Daten existiert eine weitere Smart Data Ebene, in der eine Middleware und passende Algorithmen domänen- und funktionsübergreifende Datenmodell erzeugen. Auf dieser Grundlage basiert die oberste Smart Expert Ebene, welche die Entscheider im Produktionssystem mit Hilfe von Visualisierungen, Analysen und Vorhersagen bei seiner Arbeit unterstützt. Um dem dynamischen Umfeld eines globalen Produktionsnetzwerks gerecht zu werden, können so die Daten prozessbezogen miteinander verknüpft werden. Zur Erleichterung einer solchen Verknüpfung bieten sich standardisierte Datenbausteine an, welche bereits in der Middleware definiert sind. [30] Sie bieten klare Anknüpfungspunkte, die für den Datenfluss zwingend notwendig sind. Die Gesamtheit aller Daten in der Middleware stellt die Basis für die Smart-Expert Ebene des IoP dar. Diese Smart Expert Ebene bietet eine vollumfängliche Entscheidungsunterstützung. Dafür wird zunächst eine Transparenz der Daten erzeugt, indem Produktivitätskennzahlen berechnet und Warenflüsse visualisiert werden. Diese Art der Datenbündel wird im Rahmen des IoP auch als Global Control Center bezeichnet (vgl. Bild 6). Welche Informationen bereitgestellt werden und die Ausprägung der jeweiligen Informationspräsentation, erfolgt in Abhängigkeit von den Charakteristiken des Nutzers und kann spezifisch individualisiert werden. Für die Aggregation der benötigten Informationslevel und die Identifikation der geeigneten Detaillierungslevel eignet sich die Verwendung eines digitalen Schattens. [31] Dabei ist ein digitaler Schatten definiert, als eine Menge von Modellen und Datenspuren, die neben dem reinen Datensatz auch kontextbeschreibende Metadaten zum jeweiligen Verwendungszweck enthalten. [32]

Dabei wird das langfristige Ziel angestrebt, dass der Nutzer keine Datenaufbereitungsaufgaben ausführen muss, sondern vielmehr als Interpret der Informationen agiert, da die Datenvorverarbeitung bereits automatisiert abläuft. Die angezeigten Informationen sind zudem nicht mehr reine Kennzahlen, wie es bei BI-Dashboards meist der Fall ist, sondern das Ergebnis einer tiefergehenden Datenanalyse mittels maschinellen Lernalgorithmen und regelbasierten Verarbeitungsvorschriften. Besonders relevante Vorkommnisse und Erkenntnisse werden dem Nutzer zusätzlich per „Push Notification“ mitgeteilt und reduzieren den Umfang der reaktiven Analysen. Die diversen Funktionen der Smart Expert Ebene sind in domänen- und funktionspezifische Apps unterteilt, um den Bedienungs- und Implementierungsaufwand zu reduzieren. Diese Gestaltung der Dashboards erleichtert zudem die Bedienung des Global Control Centers. Je nach Fragstellung muss lediglich die passende App verwendet werden, damit der Anwender die bestmögliche Unterstützung für seine Aufgabe erhalten kann. Auf diese Art ermöglicht ein Global Control Center ein zentrales Management des Produktionsnetzwerkes und die Bündelung von Ressourcen im Unternehmen.

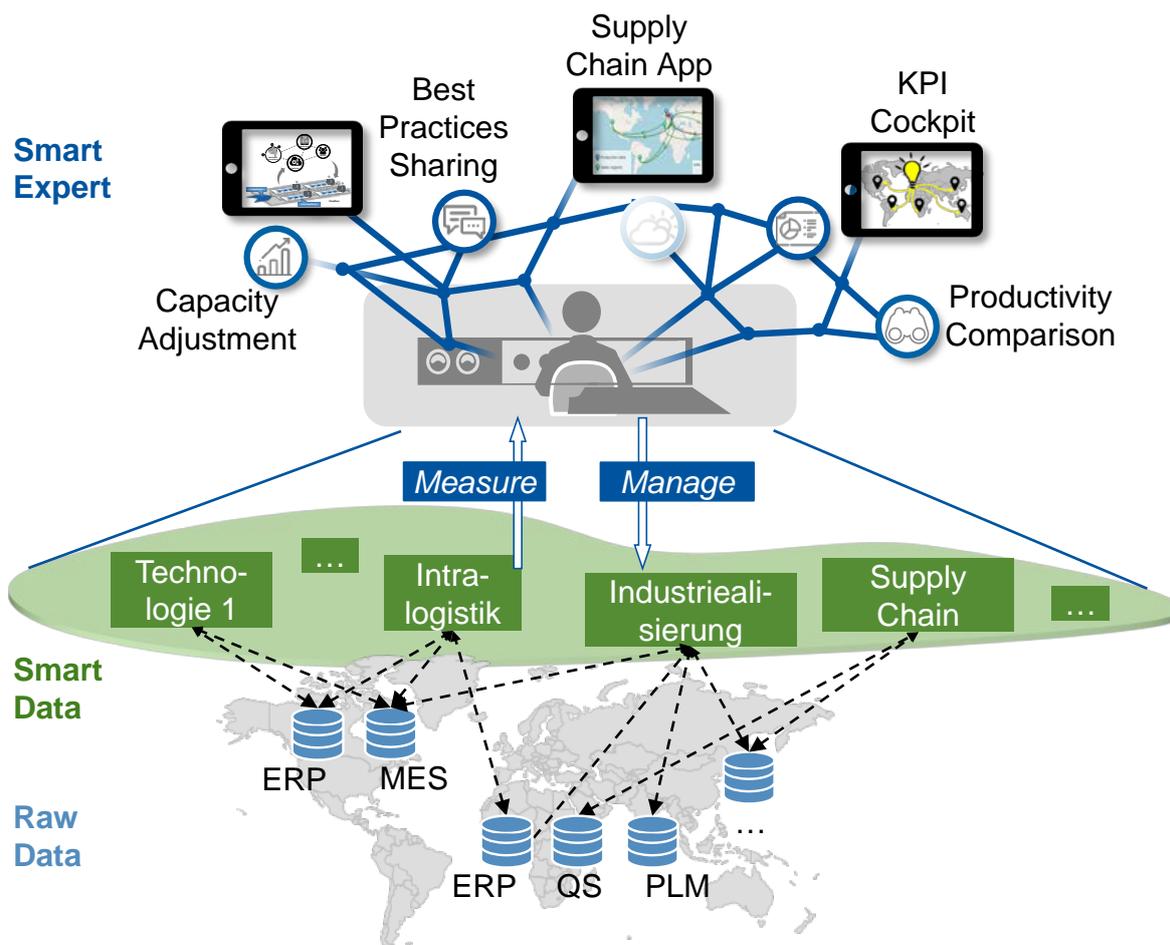


Bild 6: Skizzierte Veranschaulichung des Globalen Leitstands im Kontext des Internet of Production

Die Gestaltung von Middleware Architekturen ist eine breite Disziplin der Informatikforschung. [33] Für die Verwirklichung der Vision von einfachen „Plug & Play“ Lösungen müssen enorme Aufwände getätigt werden. Neben der technischen Umsetzung und dem Beachten zahlreicher Sicherheitsaspekte muss auch die Organisation und Systematisierung der auszutauschenden Informationen erfolgen. Die Eigenschaften einer solchen Systematik sind stark von der Unternehmensorganisation, den jeweiligen Geschäftsprozessen und den branchenspezifischen Besonderheiten geprägt. [34] Somit gibt es keine Standardlösungen für den Aufbau einer Middleware, sondern unterschiedliche Vorgangsweisen, um sich der optimalen Gestaltung anzunähern. Zudem sollten sowohl Architektur als auch Architekturentwicklung in Bezug zu den Produkt- und Prozesscharakteristika der jeweiligen Organisation stehen. [35] Dass unterschiedliche Ansätze erfolgreich sein können, zeigen die Beispiele der Firmen Henkel AG & Co. KGaA und Hilti AG (vgl. Bild 7)

Die Firma Henkel hat für den Aufbau ihrer Middleware das Ziel einer Self-Analytics Plattform verfolgt. Dafür wurden alle wichtigen IT-Systeme an einen zentralen Data Lake angebunden. Ein solcher Data Lake ist ein Speicherort, an dem alle Daten als Rohkopien in ihrem natürlichen Format gespeichert sind und für weiterführende Aufgaben, wie Visualisierung und Analyse, zur Verfügung stehen. [36] Zusätzlich können alle Datenquellen kommentiert und mit „Tag“-Markierungen erweitert werden. Auf diese Weise soll verhindert werden, dass der Data Lake zu einem Data Swamp wird, der für den Nutzer nur bedingt bedienbar ist. [37] Ein großer Unterschied zu konventionellen Datenspeicherungen besteht bei einem solchen Data Lake durch die Vorgabe des „schema on read“.

Diese Vorgabe bedeutet, dass eine mögliche Datenstruktur erst beim Abruf der Daten erzeugt wird. Die Alternative dazu, ist ein „schema on write“ bei dem bereits bei der Datenspeicherung eine Struktur vorgeben wird. Um den Nutzen der Plattform zu maximieren, ist der Zugriff auf die Inhalte für einen Großteil der Mitarbeiter verfügbar. Somit kann jeder Mitarbeiter, nach seinem Bedarf, individuelle und passende Analysen anfertigen. Ein Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass der Data Lake mit jeder neuen Anwendung, die angebunden wird, und jeder Applikation und Analyse die von den Nutzern erstellt wird organisch und nach Bedarf wachsen kann. Dadurch, dass jede erstellte Applikation für alle Nutzer verfügbar ist, kann die gesamte Plattform mit der Zeit überproportional wachsen.

Ein alternativer Ansatz wurde von der Firma Hilti verfolgt. Anstelle eines offenen Data Lakes wurde ein Data Warehouse mit standardisierten Datenbausteinen für einen Data Stream erarbeitet. Ein Data Warehouse ist in Analogie zu einem Data Lake ein zentraler Aufbewahrungsort für aktuelle und historische Daten aus unterschiedlichen Quellen. Jedoch werden die Daten im Data Warehouse nach einer vordefinierten Logik gespeichert und in ein standardisiertes Datenformat formatiert. Somit arbeitet ein Data Warehouse nach dem zuvor erwähnten Prinzip des „schema on write“. [38] Die Bausteine vereinfachen anschließend die Interpretation der Daten. Zudem können Applikationen, welche mit diesen Bausteinen gebaut wurden, in einem besseren Maße skaliert werden und benötigen weniger Wartungsaufwand. Die Anpassung aller Datentypen und -quellen an die Struktur des Data Warehouse ist jedoch mit enormen Aufwendungen verbunden. [39]

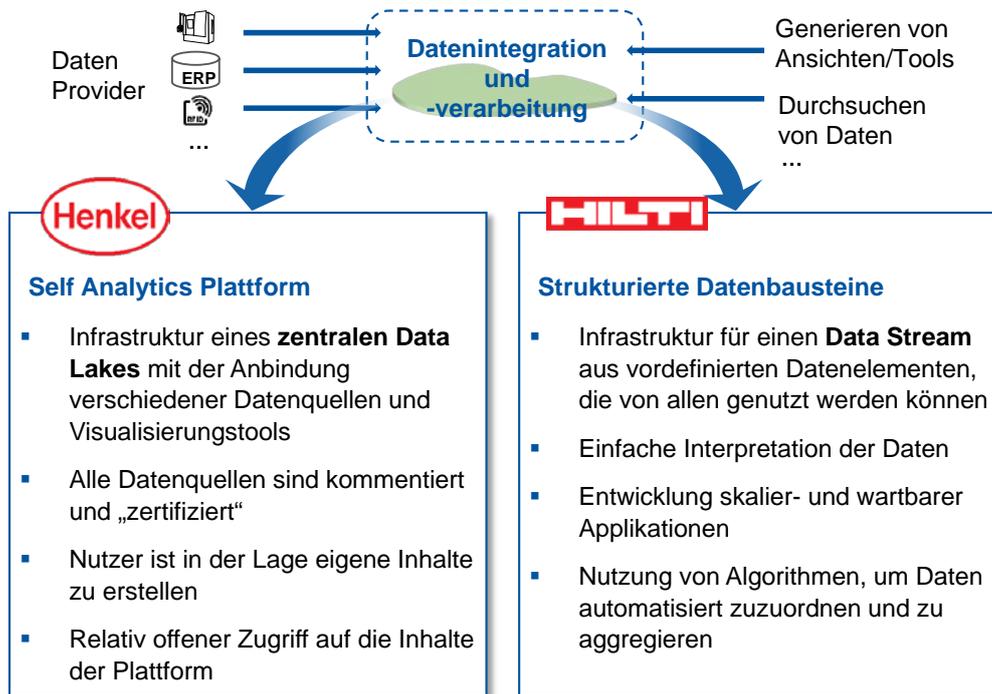


Bild 7: Unterschiedliche Ansätze der Firmen Henkel und Hilti zur Integration und Verarbeitung der weltweiten Produktionsdaten

Eine weitere alternative Option, um ein Global Control Center zu erschaffen, ist die Einführung von globalen Standards in der IT-Landschaft aller Produktionsstandorte. Der Einsatz von kongruenten Softwarelösungen an allen Produktionsstandorten erleichtert die Zusammenführung und Auswertung der Daten auf einem globalen Level. [34] Beispielhaft für ein solches Vorgehen ist die Firma GKN Powder Metallurgy, Inc., welche an allen Standorten weltweit das gleiche MES eingeführt hat. So können stets die gleichen KPIs

berechnet und identische Auswertungsanalysen durchgeführt werden. Dank dieser Vorgehensweise wird eine Transparenz zwischen den Standorten geschaffen und das standortübergreifende Management erleichtert. Ein weiteres, übergeordnetes Ziel dieser Vorgehensweise ist es, eine digitale Kultur zu schaffen. In einer solchen Kultur steht die standardisierte Echtzeitauswertung an der Stelle von bisherigen PowerPoint Analysen und Besprechungen zum Informationsaustausch. So werden bei GKN in allen Werken tägliche Austauschrunden in der Produktion mit den gleichen digitalen Tools und Kennzahlen durchgeführt. Der Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass keine aufwendige Middleware Architektur entwickelt werden muss. Demgegenüber stehen jedoch die Aufwände eines standardisierten weltweiten Software-Rollout Projektes. [40]

4.2 Lernende Prozesse

Durch eine sinnvolle Vernetzung weltweit verfügbarer Felddaten ergeben sich neue Möglichkeiten des Lernens in Produktionsnetzwerken, wie das in Kapitel 2 erläuterte Worldwide Lab. Eine deutlich erhöhte Anzahl verfügbarer Felddaten erlaubt es, jeden Vorgang in der realen Produktion als ein mögliches Experiment zu betrachten. Experimente in den Ingenieurwissenschaften berücksichtigen meist eine Vielzahl möglicher Einflussfaktoren. Jedoch nimmt die Anzahl der benötigten Experimente mit einer steigenden Anzahl an zu beobachtenden Faktoren exponentiell zu [41]. Da die Anzahl gleichzeitig durchführbarer Experimente stets durch Ressourcenengpässe begrenzt und die Menge der verfügbaren Daten in der Regel limitiert ist, wird die Auflösung eines Experiments oftmals dadurch reduziert, dass weniger Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Mit einer solchen Vorgehensweise können jedoch nur kleine Modelle experimentell bestätigt werden, die lediglich einen Teilbereich der Aktivitäten in globalen Produktionsnetzwerken abdecken. Für die Validierung von bereichsübergreifenden Modellen wird eine höhere Auflösung und somit eine größere Anzahl an Experimenten benötigt. Durch die Erhöhung der verfügbaren Felddaten kann jeder Vorgang in der realen Produktion als ein Experiment betrachtet werden. Auf diese Weise kann das gesamte Produktionsnetzwerk als ein Labor betrachtet werden, welches die notwendige Menge an Experimenten zur Verfügung stellt. Die Nutzung dieser Daten mit neuen explorativen Forschungsmethoden in Kombination mit konventionellen, axiomatischen Ansätzen bietet eine neue Stufe der Verbindung von Wissenschaft und Industrie.

Ein weiteres Ziel des Worldwide Labs ist die situationsspezifische Verknüpfung von Produktionsdaten und -wissen. [41] Je nach situativer Fragestellung können durch das Worldwide Lab die jeweils relevanten Daten für eine tiefergehende Analyse bereitgestellt werden. Für die Allokation von Baugruppen werden beispielsweise die folgenden Daten aus unterschiedlichen Systemen benötigt und zu Analysezwecken miteinander verbunden:

- Produktinformationen (PLM)
- Aktuelle Produktionsallokationen (ERP)
- Auslastung und Status der Produktionskapazitäten (MES)
- Warenflüsse und -bestände (WMS und SCM)
- Betriebswirtschaftliche und finanzielle Ausgangssituation der bisherigen Konfiguration (ERP, Controlling und Bloomberg)

Auf dieser Datenbasis kann eine umfangreiche Analyse und Visualisierung erfolgen. Die Funktionalitäten des Global Control Centers übersteigen dabei die klassischen Darstellungsmöglichkeiten für Kennzahlen. Bereits etablierte Software-Tools, wie z.B. Tableau und PowerBI, bieten für diese Aufgabe bereits passende Werkzeuge, können jedoch nicht eine automatisierte Weiterverarbeitung mit fortgeschrittenen Algorithmen bieten. Ein

Beispiel für Applikationen, die diese Art der Datenverarbeitung bieten sind die vom WZL der RWTH Aachen entwickelten Apps wie das „KI-Tool“ und „OptiWo“. Das „KI-Tool“ hilft Unternehmen dabei, das Potential von KI abzuschätzen und aufwandsarme KI-Verfahren anzuwenden. Dafür wurde das Tool auf einem Standardvorgehen der Datenanalyse aufgebaut und erleichtert somit die Zusammenarbeit von Experten aus den verschiedenen Domänen. Gegenüber konventionellen Software-Tools unterscheidet sich das „KI-Tool“ in folgenden Dimensionen: Integration von Expertenwissen, Reduzierung der Datenkomplexität, Identifikation von Einflussfaktoren und Interpretation von identifizierten Mustern. [42] Dabei profitieren sämtliche Machine-Learning-Algorithmen davon, dass die zu untersuchenden Daten schnell verfügbar sind und in der Regel auf eine aufwendige Datenaufbereitung verzichtet werden kann. Zudem liegt die Kontrollhoheit zu jedem Zeitpunkt beim Menschen, die künstliche Intelligenz unterstützt nur bei der Entscheidung. [43] Die App „OptiWo“ ermöglicht über die Verknüpfung von datenbezogenen Analysen und Expertenwissen die Entwicklung des Ziel-Footprints eines Produktionssystems in nachvollziehbarer Weise. Auf der Basis der Ermittlung von Total Landed Costs und verschiedener Optionen zur Visualisierung können Produktionsnetzwerk-Szenarien bewertet werden und als Entscheidungsgrundlage für die weitere Gestaltung herangezogen werden. Neben der Darstellung des weltweiten Warenaustausches des Unternehmens kann mit „OptiWo“ auch eine Prozessvisualisierung für die Wertschöpfung eines Produktes über die Standortgrenzen hinweg aufgezeigt werden. Zudem kann in einer Ressourcenansicht die grafische Darstellung der Ressourcenverfügbarkeit sowie deren Auslastung angezeigt werden. Dadurch lassen sich die Auswirkungen verschiedener Szenario Konfigurationen schnell miteinander vergleichen. [44]

Um das Ziel einer schnellen und tiefergehenden Datenanalyse zu erreichen, muss eine passende Architektur für die IT-Systeme des Internet of Production erstellt werden (siehe Kapitel 4.1). Die Architektur dafür sollte schrittweise aufgebaut werden, um das Ziel einer ganzheitlichen und datenbasierten Entscheidungs- und Handlungsunterstützung zu erreichen. Auf diese Weise soll insbesondere der nicht-wertschöpfende Teil der Entscheidungsvorbereitung, wie das Suchen und Warten auf Informationen, drastisch reduziert werden. Die verschiedenen Ausprägungen einer solchen Vorgehensweise sind in Bild 8 veranschaulicht. Die erste Ausprägung einer solchen IoP-Architektur besteht in der manuellen Extraktion von Daten aus unterschiedlichen IT-Systemen des Unternehmens in ein tabellarisches Format. Diese tabellarischen Auszüge müssen dann wiederum händisch zu einer einheitlichen Tabelle vereint werden, welche die Grundlage für individuelle Reports darstellt. Auch die Reports können meist nicht automatisiert angefertigt werden. Diese aufwendige und manuell geprägte Art der Datenanalyse und Entscheidungsvorbereitung entspricht in vielen Fällen der Praxis in produzierenden Unternehmen [45]. In den folgenden Ausbaustufen der IoP-Architektur sollen die einzelnen Vorgänge zunehmend automatisiert und erweitert werden. In der zweiten Ausprägungsstufe der IoP-Architektur werden die einzelnen Reports aus unterschiedlichen IT-Systemen bereits automatisiert in eine gemeinsame Datenbasis eingefügt. Anschließend werden die Reports ebenfalls automatisiert in funktionsspezifischen Apps zur jeweiligen Entscheidungsunterstützung zur Verfügung gestellt. In einer dritten Stufe wird die Architektur um einen automatisierten Datentransfer von den IT-Systemen in die gemeinsame Datenbasis erweitert. Zudem kann in dieser Stufe die Anzahl der miteinander vernetzten Apps erhöht werden. Mit dieser Erweiterung ist eine essenzielle Voraussetzung für die Echtzeitfähigkeit solcher Analyse-Apps gegeben. In der finalen Ausbaustufe werden alle Apps miteinander vernetzt, sodass sie die jeweiligen situativen und spezifischen Aggregationsebenen vollständig widerspiegeln.

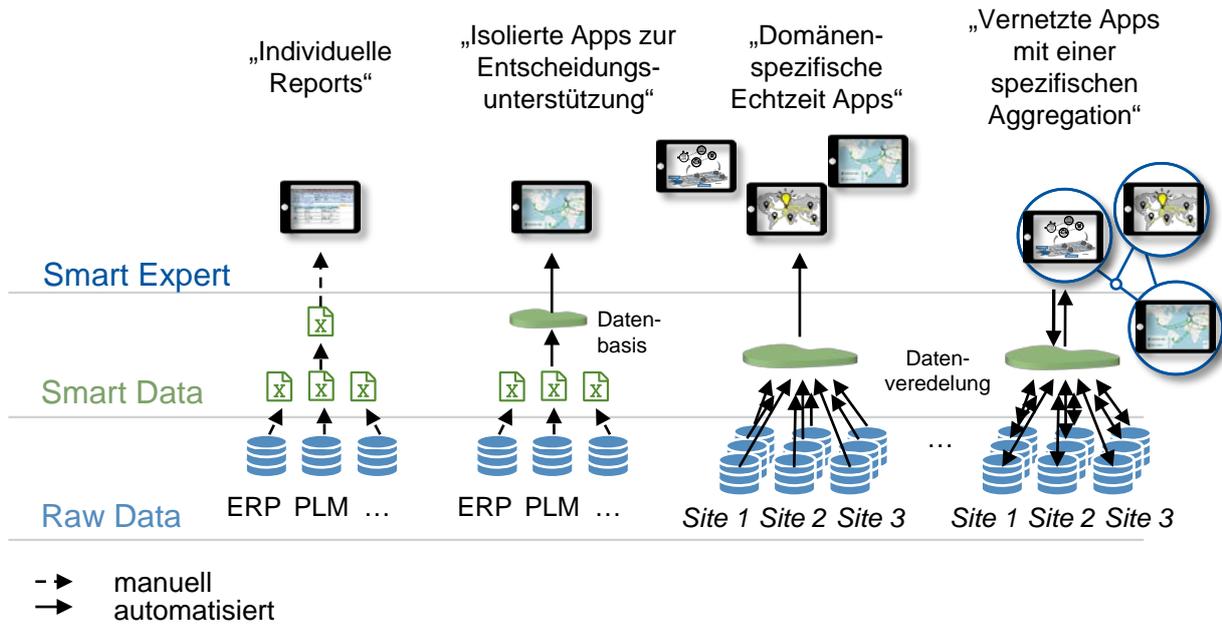


Bild 8: Vorgehensweise zur schrittweisen Implementierung einer Internet of Production Datenarchitektur

Welche Ausmaße ein solches digitales „Backbone“, wie es für das Worldwide Lab benötigt wird, annehmen kann, zeigt das Beispiel der Firma Henkel. Das Unternehmen strebt seit 2013 die Vernetzung aller produzierenden Standorte untereinander an. Seit dem initialen Start in 2013 sind im Produktionsnetzwerk von Henkel mittlerweile über 3.500 Sensoren miteinander vernetzt. Sie liefern gemeinsam mit den angebotenen Datensystemen Informationen für über 400 automatisierte Dashboards. Die Dashboards wurden von allen Nutzern entlang der Supply Chain auf einer Self Analytics Plattform erstellt. Bild 9 zeigt ein Beispiel derartiger Dashboards bei der Firma Henkel. Insgesamt arbeiten über 1.900 Nutzer mit dieser Art der Datenauswertung und greifen über 18.000 Mal am Tag auf die verfügbaren Reports zu. Die hohen Zugriffszahlen sind besonders durch die Aktualität der Informationen bedingt, da täglich über eine Million neue Datenpunkte auf der Plattform bereitgestellt werden. Die Vorteile einer solchen Transparenz und der Einfluss auf die Handlungen im Unternehmen, zeigt z.B. die Überwachung der Energieeinsparung im Netzwerk. Bei Henkel wird der Energieverbrauch täglich getrackt und die Performance werksübergreifend analysiert. Die jeweiligen Werksleiter erhalten diese Auswertung anschließend als Push-Notification. Durch die Einführung eines online verfügbaren Energie-Monitorings konnten die Verbrauchswerte enorm verbessert werden, da durch die Transparenz bei allen Stakeholdern insgesamt ein gesteigertes Bewusstsein und Interesse für mögliche Verbesserungen erwirkt wurde. Insgesamt konnten die Einsparung dank der digitalen Überwachung um zusätzliche 14 Prozent gesteigert werden.

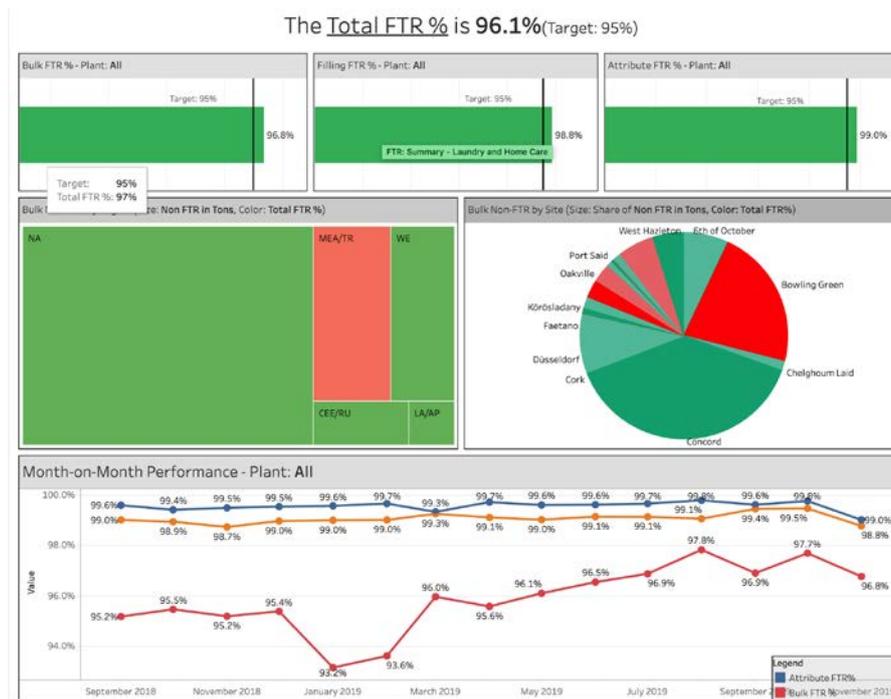


Bild 9: Beispielhaftes Dashboard auf der Self Analytics Plattform der Firma Henkel

4.3 Flexible Teams

Bei der Transformation zum Worldwide Lab ist neben dem Aufbau einer Datenarchitektur auch ein grundlegender Wandel der Organisationsstruktur erforderlich. Denn nur durch den Wandel von einer starren Hierarchie hin zu flexiblen Kollaborationsstrukturen kann mittels Datentransparenz ein übergreifendes Prozessverständnis erzielt werden, sodass verschiedene Lösungsansätze in einem Unternehmen oder sogar in einem Produktionsnetzwerk zeiteffizient im Sinne eines Worldwide Labs erprobt werden können. Dieser Wandel geht mit einer Reihe von technologischen und organisatorischen Anforderungen einher, die den Wandel der Organisationsstruktur ermöglichen.

Als eine solche Anforderung wird in diesem Zusammenhang die vollständige Datentransparenz identifiziert (vgl. Abschnitt 3.1 und 3.2). Die Datentransparenz und die vollständige globale Informationsverfügbarkeit ermöglicht die Auflösung lokaler Strukturen und gilt somit als Voraussetzung für ein globales Verständnis des Produktionsnetzwerks. Da in Extremfällen nur der Maschinen-Operator über ein allumfassendes Prozessverständnis verfügt, sind die benötigten Daten gegenwärtig nur lokal und personengebunden vorhanden (vgl. Abschnitt 4.1). [46] Dies erfordert eine top-down gerichtete Delegation von Entscheidungen von der obersten Hierarchieebene bis in die untersten Ebenen, da das für Entscheidungen notwendige Wissen in dem erforderlichen Umfang und in der entsprechenden Kontextsensitivität nicht auf Ebene der jeweilig befugten Entscheidungsinstanz vorliegt. Beispielsweise muss der Werksleiter aufgrund des fehlenden Prozessverständnisses die Verantwortung bzw. Entscheidungsbefugnis an seine Mitarbeiter auf den unteren Hierarchieebenen delegieren. Das Beispiel zeigt, dass durch den wachsenden Umfang und die Kontextsensitivität des notwendigen Wissens ein Zwang zur Delegation und Dezentralisation von Entscheidungen ausgelöst wird. [47] Somit sind aufgrund der fehlenden Datentransparenz und Informationsverfügbarkeit eindeutig zuordenbare Verantwortungsbereiche erforderlich und begründen die gegenwärtig starren Strukturen innerhalb einer Organisation (vgl. Bild 10 links). Diese zeichnen sich somit durch eine möglichst klare Verantwortungszuordnung (Single Accountability) und stark strukturierte Verhältnisse entlang der Prozesse aus. [48]

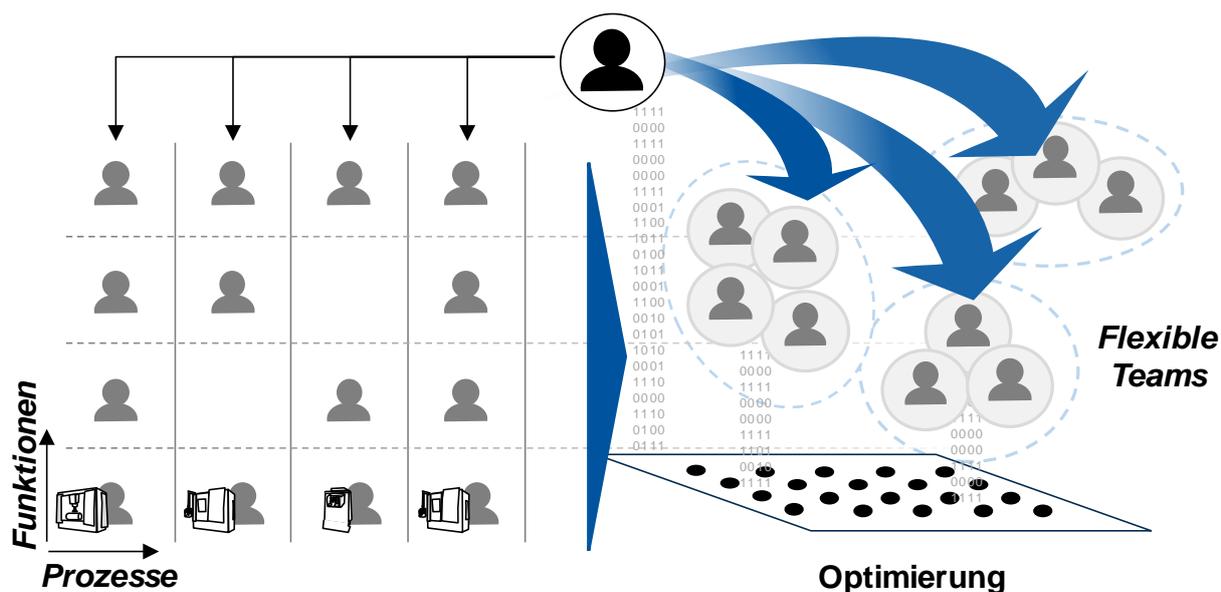


Bild 10: Auflösen von starren Strukturierungen zur Konfiguration flexibler Teams

Die in Abschnitt 3.1 und 3.2 vorgestellten Lösungsansätze zur domänenübergreifenden Vernetzung und Nutzung der Daten können im Sinne eines Optimization Centers als Befähiger zur Ermöglichung der notwendigen, hierarchieübergreifenden Datentransparenz genutzt werden. Das Optimization Center ermöglicht durch die Aufnahme und Aufarbeitung von Kennzahlen über eine rechnergestützte Plattform die automatische Bereitstellung von Prozessdaten und damit die erforderliche Datentransparenz, sodass eine vollständige Informationsverfügbarkeit personen- und ortsunabhängig erreicht wird. So wird jedem Mitarbeiter ermöglicht sich aus den zur Verfügung stehenden Informationen ein umfangreiches Prozessverständnis zu erarbeiten. Folglich dient das Optimization Center als eine datenbasierte Entscheidungs- und Handlungsunterstützung, sodass personen- und ortsunabhängig Entscheidungen basierend auf den erforderlichen Informationen getroffen werden können und die Entwicklung von Knowhow durch die Mitarbeiter vereinfacht wird. Die Ebene der Entscheidungsautonomie kann infolge dessen freier festgelegt werden, wodurch Entscheidungen nicht mehr top-down delegiert werden müssen und starre Strukturen zugunsten einer flexiblen Organisation aufgelöst werden können. Die Rollen und Funktionen lösen sich in diesem Sinne aus der Hierarchie heraus und verschwimmen zunehmend, sodass abteilungs- und funktionsübergreifende Zusammenschlüsse aus Mitarbeitern zu flexiblen Teams möglich sind, die sich für einen bestimmten Zeitraum zur Bearbeitung von spezifischen Fragestellungen konfigurieren können (vgl. Bild 10 rechts). Das Optimization Center befähigt zudem die Erweiterung der Führungsspanne der weisungsbefugten Instanz, da Aufgaben durch Zugriff auf die Datenebene kompetenzorientiert koordiniert und delegiert werden können. Denn durch die vollständige Informationsverfügbarkeit entfällt ein Teil der koordinierenden Arbeit der weisungsbefugten Instanz. So kann die Führungsspanne der weisungsbefugten Instanz erweitert werden, welches dazu führt, dass diese vermehrt als Systemarchitekt agieren kann.

Bei Betrachtung des gesamten Produktionsnetzwerks zeigt sich, dass Werke eines Wertschöpfungsnetzwerks in der Regel auf denselben Funktionen und Strukturen basieren, jedoch oftmals weder bereichs- noch werksübergreifend kommuniziert bzw. gehandelt wird. Die fehlende standortübergreifende Zusammenarbeit und Kommunikation stellt das gesamte Produktionsnetzwerk bzgl. des Handelns im Sinne des „globalen Optimums“ vor

eine große Herausforderung. [49] Für die Umsetzung von Innovationen müssen heutzutage die vorliegenden Daten zunächst lokal aufbereitet und analysiert werden, bevor Rückschlüsse auf die Produktion gezogen werden können. So werden Innovationen oftmals nicht großflächig, sondern lediglich inkrementell im Sinne von Projektpiloten vorangetrieben und nur in einem kleinen Rahmen lokal umgesetzt. [50] Dies hat zur Folge, dass entwickelte Verbesserungsideen häufig nur lokal und nicht im Sinne des „globalen Optimums“ des Produktionsverbunds umgesetzt werden, da die vorhandene Datenbasis zur Überprüfung der Auswirkungen auf das globale Optimum aufgrund der fehlenden Datentransparenz nur unzureichend ist. [49] Auch an dieser Stelle können die bereits beschriebenen Lösungsansätze in Form eines Optimization Centers zur Überbrückung dieses Defizits herangezogen werden. Im Rahmen einer werksübergreifenden Betrachtung stellt dieses die notwendigen Prozessdaten nicht nur personen- und orts-, sondern insbesondere auch werksunabhängig zur Verfügung, sodass lokal auf das vollständige Prozessverständnis zurückgegriffen werden kann (vgl. Bild 11).

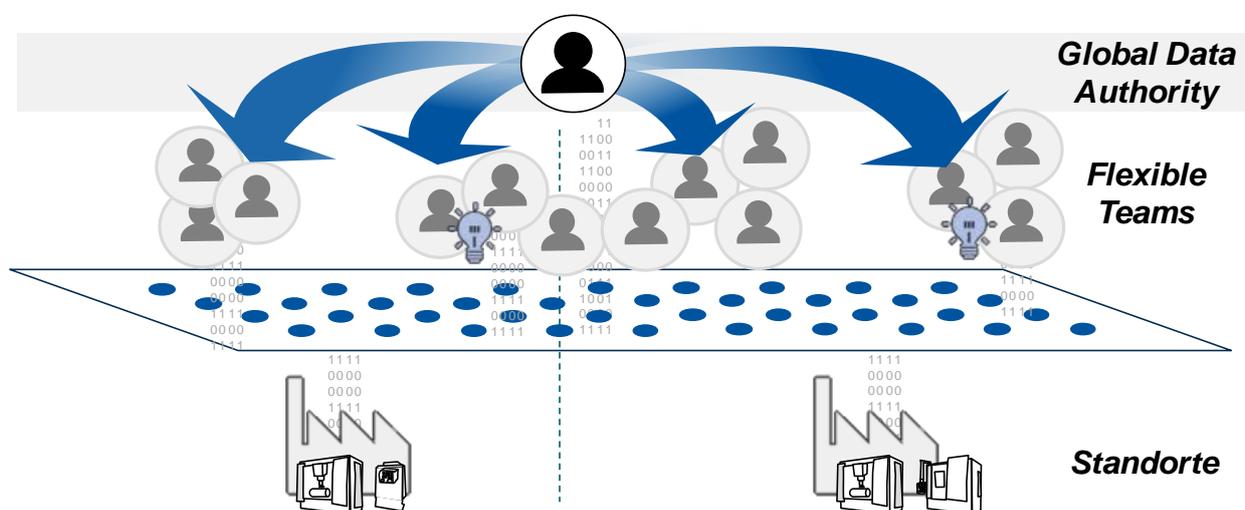


Bild 11: Standortübergreifende Konfiguration zu flexiblen Teams durch Datentransparenz

Dies ermöglicht, dass zukünftig nicht nur Rollen und Funktionen innerhalb der Hierarchien zunehmend verschwimmen, sondern auch, dass sich innerhalb eines Produktionsnetzwerks Mitarbeiter zu flexiblen Teams zusammenschließen können. Die Mitarbeiter können durch die Datentransparenz und vollständige Informationsverfügbarkeit auf das gesamte Prozesswissen standortübergreifend zurückgreifen und dieses als Unterstützung für Entscheidungen und Handlungen im Sinne des „globalen Optimums“ heranziehen. Trotz der Zusammenarbeit in flexiblen Strukturen ist bspw. im Fall einer Konfliktlösung bzw. zur Koordination eine übergeordnete, weisungsbefugte Instanz notwendig, um die flexiblen Teams werksübergreifend zielgerichtet zu steuern, effizient einzusetzen und das Einbringen von Verbesserungsideen zu fördern. In diesem Fall dient die weisungsbefugte Instanz als Global Data Authority und gilt als Multiplikator zur gezielten Informationsweitergabe, als Übersetzer zur Ideenverbreitung und als Motivator, um das Lernen im Netzwerk zu fördern. So können die flexiblen Teams auf Basis der werksübergreifenden Datengrundlage die Verbesserungsideen entwickeln und hinsichtlich der globalen Effektivität erproben. Bei der Entwicklung von Verbesserungsideen sollte im Sinne des Scale-Gedankens auch eine globale Umsetzung der entwickelten Lösung berücksichtigt werden, sodass lokale Verbesserungsideen auf alle Produktionswerke vollständig ausgeweitet werden können.

Jedoch muss neben der Incentivierung eines jeden Werks, im Sinne des globalen Optimums zu handeln, auch die jeweilige Verantwortung für lokale Ergebnisse bestehen bleiben. Denn die Fokussierung und Priorisierung globaler Optimierungsansätze, könnte dazu führen, dass der Verantwortung für lokale Ergebnisse vernachlässigt wird. Die Hilti AG beabsichtigt in diesem Kontext durch die Entwicklung verschiedener Ansätze, dass einzelne Werke einerseits lokale Entscheidungen zu Gunsten des globalen Optimums priorisieren, ohne dass die Verantwortung zur Erreichung lokaler Ziele vernachlässigt wird.

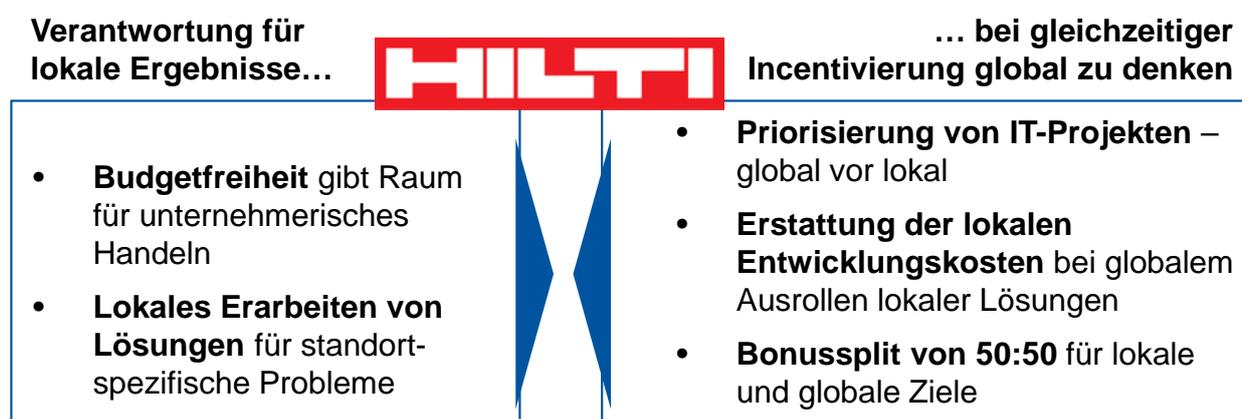


Bild 12: Erste Ansätze der Hilti AG

Getreu dem Motto „So viele Standards wie nötig, so wenig wie möglich.“ gewährt die Hilti AG den einzelnen Standorten Raum für unternehmerisches, freies Handeln. Durch eine Budgetfreiheit wird den Standorten jeweils die Möglichkeit gegeben, eigene lokale Lösungen für standortspezifische Probleme zu entwickeln, um so ihre lokalen Ziele zu erreichen. Da Probleme häufig nicht nur standortspezifisch, sondern vor allem auch werksübergreifend auftreten, soll bei der Erarbeitung lokaler Lösungen insbesondere auch eine globale Umsetzung dieser Lösung berücksichtigt werden. Um dies gezielt zu incentivieren, können die lokal aufgewandten Entwicklungskosten dem jeweiligen Standort im Falle eines globalen Ausrollens der Lösungen erstattet werden. Darüber hinaus wird jedem Standort die eigenständige Entscheidung zur Entwicklung kurzfristiger, standortspezifischer Einzellösungen für verschiedene Anwendungsfälle gewährt. Falls für denselben Anwendungsfall zu einem späteren Zeitpunkt eine Lösung global implementiert werden soll, muss diese auch in dem jeweiligen Standort übernommen und die lokal entwickelte Lösung ersetzt werden. Die Priorisierung von globalen Projekte, spiegelt sich somit auch in der Skalierungsstrategie von IT-Projekten wider. Neben den genannten Anreizen wird die notwendige Verantwortung für lokale Ergebnisse bei gleichzeitiger Priorisierung des globalen Optimums auch durch Messung der Leistung lokaler Einheiten anhand von cross-funktionalen KPIs, beispielsweise im Sinne eines Bonussplits von 50:50, erreicht. Die Hilti AG unterstreicht somit, dass trotz Priorisierung des globalen Optimums die Verantwortung für lokale Ergebnisse nicht vernachlässigt werden darf und zeigt durch die Entwicklung verschiedener Ansätze wie dies erfolgreich umgesetzt werden könnte (vgl. Bild 12).

Ein weiteres Beispiel zeigt das Unternehmen GKN Metallurgy. Es besitzt einen historisch gewachsenen Produktionsbetrieb mit einer hohen Anzahl an Schichtleitern zur Mitarbeiterkoordination. Zudem führt der globale Trend des Fachkräftemangels bereits heute zu Problemen bei der Maschinenbelegung, bei der Ausbildung und bei der Industrialisierung von Neuprojekten. Um dieser Herausforderung zu begegnen, wurde zur Aufweitung der Führungsspanne auf dem Shopfloor eine kompetenzbezogene Aufgabenzuteilung per

Smartwatch eingeführt. Hierzu wurde zunächst eine Plattform entwickelt, welche einerseits Daten bezüglich der Mitarbeiterkompetenzen, deren Verfügbarkeit und andererseits Daten bezüglich der zur Verfügung stehenden Maschinen und der jeweiligen Job Profile umfasst. So kann eine neue Aufgabe mithilfe der Plattform automatisiert und kompetenzorientiert einem Mitarbeiter zugewiesen werden. Der dadurch entstandene Prozess kann vereinfacht an folgendem Beispiel verdeutlicht werden: Eine Maschine befindet sich ungeplant im Stillstand oder benötigt einen Umrüstvorgang. Als Reaktion darauf sucht das neu eingeführte System auf Basis einer Matrix, in der jedem Mitarbeiter individuelle Kompetenzen zugewiesen sind, den adäquatesten der verfügbaren Mitarbeiter für die notwendige Tätigkeit. Das Projekt wurde zunächst im Rahmen einer Pilotphase mit 10-15 Mitarbeitern erprobt, um es anschließend auf Bereiche von 100 Mitarbeitern auszuweiten. Für 2020 strebt GKN eine globale Implementierung des Systems in 7 Werken an.



Bild 13: Auszug der Darstellung auf der Smartwatch

Durch diese organisatorische Umstrukturierung war es GKN möglich die Führungsspanne pro Schichtleiter zu erhöhen. Gleichzeitig wird der Schichtleiter mittels des Systems von koordinierenden Aufgaben entlastet, so dass mehr Zeit der Organisationsoptimierung (z.B. Schulungsbedarfe) widmen kann. Weiterhin können Arbeitsaufgaben individueller eingeteilt werden, so dass Kapazitäten besser nivelliert werden können und gleichzeitig die Mitarbeiterzufriedenheit durch individuelleres Arbeiten steigt. Die Implementierung des Systems und damit die Akzeptanz der Mitarbeiter wurde insbesondere durch die Smartwatch und somit durch einen Gamification-Ansatz ermöglicht (vgl. Bild 13).

Für ein drittes Beispiel in diesem Handlungsfeld kann auch die Beiersdorf AG herangezogen werden. Die Beiersdorf AG hat zur cross-funktionalen und zeiteffizienten Erprobung von Produkt- und Produktionsinnovationen eine physische Kick-Start Factory erbaut (vgl. Bild 14). In dieser Kick-Start Factory arbeiten Abteilungen des gesamten Unternehmens daran, neuartige (z.B. pulverbasierte) Produkte in Kleinserien zu verproben, um eine Produktionstauglichkeit mit bestehenden Anlagen zu testen. Gleichzeitig werden Produktionsinnovationen getestet, indem bislang manuelle Tätigkeiten einem Roboter übergeben werden. Insbesondere in der Prozessindustrie ist eine reibungslose Integration eines automatisierten Produktionsschritts essentiell für den Gesamtanlagen OEE. Dieser flexible und zielorientierte Zusammenschluss von Experten innerhalb der Kick-Start Factory unterstützt Beiersdorf dabei, Produkt- und Produktionsinnovationen in kleinem, aber realem Rahmen zu testen und eine globale Skalierung dieser Lösungen vorzubereiten.

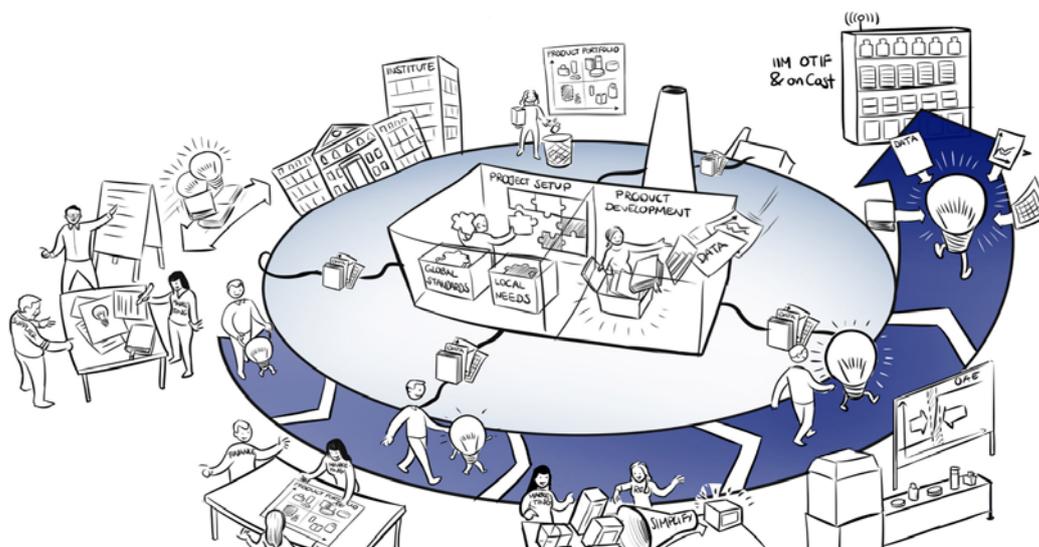


Bild 14: Schnelle Entwicklung und Verprobung von Innovationsideen im Netzwerk am Beispiel der Beiersdorf AG

5 Zusammenfassung

Das Umfeld der produzierenden Industrie ist weltweit einem starken Wandel ausgesetzt. Dieser Wandel ist unter anderem auf eine immer stärkere Vernetzung von Kunden-, Produkt- und Systemdaten zurückzuführen. Hieraus ergeben sich für die produzierende Industrie neue Möglichkeiten ihre globalen Produktionsnetzwerke effizienter zu nutzen und durch die Analyse bestehender Daten Lösungsansätze für konkrete Problemstellungen zeiteffizient anzuwenden. Das Konzept eines Worldwide Lab soll an dieser Stelle sämtliche Datenpunkte in globalen Produktionsnetzwerken verknüpfen und sie wie experimentelle Beobachtungsdaten behandeln. Durch solche Experimentaldaten könnten enorme Produktivitätssteigerungen erreichbar sein und Lösungsansätze für konkrete Problemstellungen zeiteffizient bewertet und ausgerollt werden. Aufgrund von intransparenten, starren Wertschöpfungsketten, lokalen IT-Standards und unterschiedlichen Prozessstandards ist es Unternehmen heute jedoch noch nicht möglich ihre Standorte im Netzwerk als Elemente eines globalen, experimentalen Labors zu nutzen. Eine Folge hiervon ist unter anderem, dass der Fokus vieler Projekte auf einer lokalen Verbesserung und nicht auf der effizienten Implementierung der Projekte im gesamten Produktionsnetzwerk liegt. Der vorliegende Beitrag hat daher einen Ansatz entwickelt, wie sowohl auf technischer als auch auf organisatorischer und prozessualer Ebene das Ziel eines Worldwide Labs erreicht werden kann und somit ein Mehrwert aus der neuen Datenlandschaft generiert wird (vgl. Bild 15). Dieser Ansatz besteht aus drei Säulen

- **Nutzbare Daten:** Verbindung und Analyse verschiedener, global verteilter Datenquellen und Sicherstellung der ad hoc Verfügbarkeit der resultierenden Informationen in aggregierter Form
- **Lernende Prozesse:** Betrachtung eines jeden Vorgangs im Produktionsnetzwerk als Felddaten eines Experiments sowie situationsspezifische Verknüpfung von Produktionsdaten und -wissen mittels funktionspezifischer Apps
- **Flexible Teams:** Wandel von starren Hierarchien und Verantwortlichkeiten hin zu flexiblen Rollen und Strukturen

Mittels expliziter Beispiele aus der Industrie konnte gezeigt werden, dass bereits einige Etappenziele auf dem Weg zu einem Worldwide Lab erreicht wurden. In Zukunft werden sich die Handlungsfelder der Mitarbeiter global agierender Produktionsunternehmen noch stärker ausweiten. Hiermit stark verbunden ist die Weiterentwicklung von Kompetenzen in Richtung der Data Science. Durch die Neugestaltung von Organisationsstrukturen hin zu dynamischen Teams können diese Maßnahmen dazu verhelfen, dass ein global agierendes Unternehmen alle Standorte des Produktionsnetzwerks als Bestandteile ein und desselben Labs versteht. In diesem Zusammenhang hat der vorliegende Beitrag einen Ansatz aufgezeigt, mithilfe welcher Schritte eine Gestaltung eines Produktionsnetzwerks im Sinne eines Worldwide Lab erreicht werden kann, damit Mitarbeiter aus Daten und Ereignissen des Produktionsnetzwerks sowie voneinander lernen können. Dieser Labor-Gedanke kann dazu führen, die Produktivität des gesamten Netzwerks auch unter stark kundenzentrierten und änderungsbehafteten Rahmenbedingungen drastisch zu steigern.

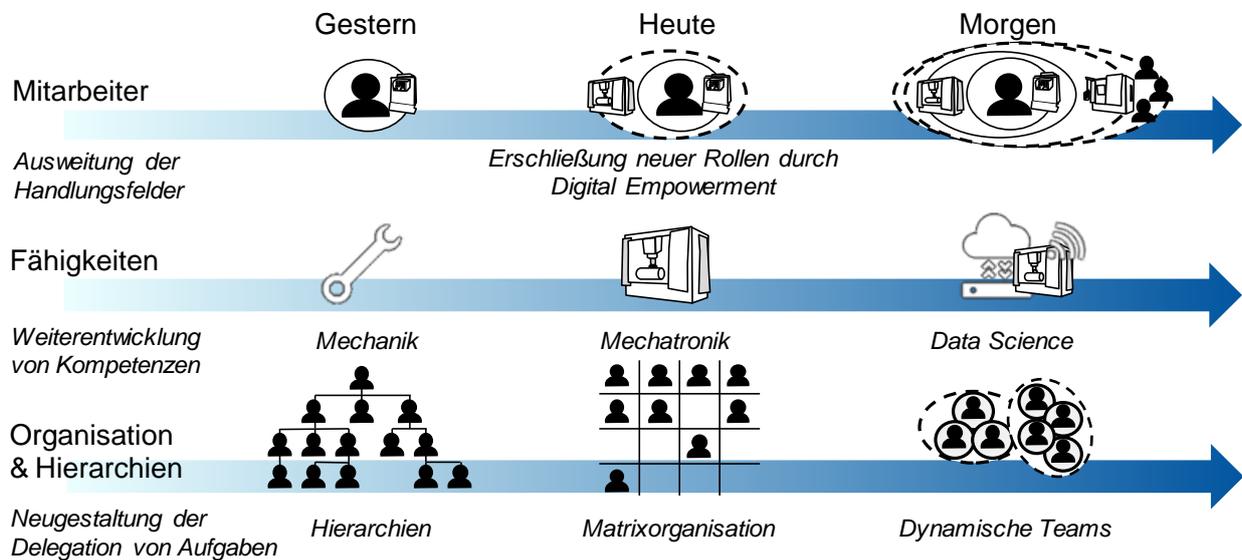


Bild 15: Durch technologische und organisatorische Änderungen können enorme Potenziale durch das Worldwide Lab genutzt und Erfolge nachhaltig erreicht werden

Literatur

- [1] Haas, H.-D.: Internationalisierung. URL:<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/internationalisierung-53726/version-276794> [Stand: 27.02.2020].
- [2] Suchanek, A.; Lin-Hi, N.; Feess, E.; Engelhard, J.: Globalisierung. URL:<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/globalisierung-35657/version-259135> [Stand: 27.02.2020].
- [3] Ferdows, K.: Keeping up with growing complexity of managing global operations. In: International Journal of Operations & Production Management. 38. Jg., 2018, Nr. 2, S. 390–402.
- [4] Mumme, T.: Unternehmen leiden unter Unberechenbarkeit der Politik. URL:<https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/brexit-trump-und-russland-unternehmen-leiden-unter-unberechenbarkeit-der-politik/23209704.html> [Stand: 27.02.2020].
- [5] Hirschfeld, J.: Wie der Klimawandel indirekt die deutsche Wirtschaft trifft. URL:<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wie-der-klimawandel-indirekt-die-deutsche> [Stand: 27.02.2020].
- [6] Reinert, C.: Über die Herausforderungen der Produktindividualisierung. URL:<https://nachrichten.idw-online.de/2019/02/25/ueber-die-herausforderungen-der-produktindividualisierung/> [Stand: 27.02.2020].
- [7] Schuh, G.; Reuter, C.; Prote, J.-P.; Stöwer, M.; Witthohn, C.; Fränken, B.: Konsortial-Benchmarking. Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken. Alsdorf: AWD, 2016.
- [8] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Franken, B.; Ays, J.; Cremer, S.: Dedicated Agility: A New Approach for Designing Production Networks. In: 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) 2018. 16-19 Dec., Bangkok, Thailand. Piscataway: IEEE, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607608>.
- [9] Ioannou, L.: The Exponential Future of Finance. A decade to mass extinction event in S&P 500. URL:<https://www.cnbc.com/2014/06/04/15-years-to-extinction-sp-500-companies.html> [Stand: 27.02.2020].
- [10] Tucker, R.: How Does Amazon Do It? Five Critical Factors That Explain Amazon's Incredible Success. URL:<https://www.forbes.com/sites/robertbtucker/2018/11/01/how-does-amazon-do-it-five-critical-factors-that-explain-amazons-incredible-success/#dfea23641b9e> [Stand: 27.02.2020].
- [11] Selinger, D.: Data Driven: What Amazon's Jeff Bezos Taught Me About Running a Company. URL:<https://www.entrepreneur.com/article/237326> [Stand: 27.02.2020].
- [12] Bird, K.: 5 Lessons the B2B Supply Chain Can Learn from Amazon. URL:<https://www.getconvey.com/blog/5-tips-b2b-supply-chain-amazon/> [Stand: 27.02.2020].

- [13] Soper, S.: Got a Hot Seller on Amazon? Prepare for E-Tailer to Make One Too. URL:<https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-04-20/got-a-hot-seller-on-amazon-prepare-for-e-tailer-to-make-one-too> [Stand: 27.02.2020].
- [14] Bezos, J.: If you double the number of experiments you do per year you're going to double your inventiveness. URL:<https://citatis.com/a8482/36d997/> [Stand:13.03.2020].
- [15] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Gützlaff, A.; Thomas, K.; Sauermann, F.; Rodemann, N.: Internet of Production: Rethinking production management. In: Wulfsberg, J. P.; Hintze, W.; Behrens, B.-A. (Hrsg.): Production at the leading edge of technology. Proceedings of the 9th Congress of the German Academic Association for Production Technology (WGP), September 30th - October 2nd, Hamburg 2019. Berlin: Springer, 2019, S. 533-542.
- [16] Box, G. E. P.; Hunter, J. S.; Hunter, W. G.: Statistics for experimenters. Design, innovation, and discovery. 2. ed. New York: Wiley, 2005.
- [17] Schuh, G.; Potente, T.; Varandani, R.; Schmitz, T.: Global Footprint Design based on genetic algorithms – An “Industry 4.0” perspective. In: CIRP Annals. 63. Jg., 2014, Nr. 1, S. 433–436.
- [18] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Gützlaff, A.; Thomas, K.: Framework for Cross-Site Learning to Enable Knowledge Transfer in Production Networks. In: 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference. IESTEC 2019: 9-11 October 2019, Panama City, Panama. Piscataway: IEEE, 2019, S. 359-364.
- [19] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Molitor, M.; Cremer, S.: Internet of Production – Steigerung des Wertschöpfungsanteils durch domänenübergreifende Kollaboration. In: Hompel, M. ten; Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Berlin: Springer, 2020.
- [20] Váncza, J.: Production Networks. In: Produ, T. I. A. f.; Laperrière, L.; Reinhart, G. (Hrsg.): CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin: Springer, 2016.
- [21] O'Brien, J. A.; Marakas, G. M.: Management information systems. 10th ed. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [22] Shi, L.; Zhong, H.; Xie, T.; Li, M.: An Empirical Study on Evolution of API Documentation. In: Giannakopoulou, D.; Orejas, F. (Hrsg.): Fundamental Approaches to Software Engineering. 14th International Conference, FASE 2011, Held as Part of the Joint European Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2011, Saarbrücken, Germany, March 26–April 3, 2011. Proceedings. Berlin: Springer, 2011, S. 416-431.
- [23] Holst, A.: Data storage supply and demand worldwide. URL: <https://www.statista.com/statistics/751749/worldwide-data-storage-capacity-and-demand/> [Stand: 26.02.2020].
- [24] Wieczorrek, H. W.; Mertens, P.: Management von IT-Projekten. 2. Auflage. Berlin: Springer, 2007.

- [25] Guerriero, A.; Kubicki, S.; Reiter, S.: Building Information Modeling in use: How to evaluate the Return on Investment? In: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2016. Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2016), Limassol, Cyprus, 7-9 September 2016. London: Taylor & Francis, 2016, S. 573-544.
- [26] Aramayo-Prudencio, A.; Coxon, M.; de Boer, E.; De Ocampo, D.; Kadocsa, A.; Mühlreiter, B.; van Niel, J.: Digital manufacturing — escaping pilot purgatory. Cleveland: McKinsey, 2018.
- [27] Osterhage, W. W.: ERP-Kompendium. Berlin: Springer, 2014.
- [28] Rakowski, A.: Ansätze zur Optimierung der IT-Systemlandschaft. Eine Untersuchung von EA-Software am Beispiel von "MEGA Suite". Hamburg: Diplomica, 2013.
- [29] Treber, S.; Lanza, G.: Transparency in Global Production Networks: Improving Disruption Management by Increased Information Exchange. In: Procedia CIRP. 72. Jg., 2018, Nr. 2, S. 898–903.
- [30] Meyes, R.; Tercan, H.; Thiele, T.; Krämer, A.; Heinisch, J.; Liebenberg, M.; Hirt, G.; Hopmann, C.; Lakemeyer, G.; Meisen, T.; Jeschke, S.: Interdisciplinary Data Driven Production Process Analysis for the Internet of Production. In: Procedia Manufacturing. 26. Jg., 2018, S. 1065–1076.
- [31] Schuh, G.; Walendzik, P.; Luckert, M.; Birkmeier, M.; Weber, A.; Blum, M.: Keine Industrie 4.0 ohne den Digitalen Schatten. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 111. Jg., 2016, Nr. 11, S. 745–748.
- [32] Schuh, G.; Häfner, C.; Hopmann, C.; Rumpe, B.; Brockmann, M.; Wortmann, A.; Maibaum, J.; Dalibor, M.; Bibow, P.; Sapel, P.; Kröger, M.: Effizientere Produktion mit Digitalen Schatten. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 115. Jg., 2020, Special, S. 105-107.
- [33] Etzkorn, L. H.: Introduction to Middleware. Web Services, Object Components, and Cloud Computing. Milton: CRC Press, 2017.
- [34] Cui, Y.; Kara, S.; Chan, K. C.: Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 62. Jg., 2020, April. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101861>.
- [35] Kozjek, D.; Vrabič, R.; Rihtaršič, B.; Lavrač, N.; Butala, P.: Advancing manufacturing systems with big-data analytics: A conceptual framework. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 33. Jg., 2020, Nr. 2, S. 169–188.
- [36] Fang, H.: Managing data lakes in big data era: What's a data lake and why has it become popular in data management ecosystem. In: 2015 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER) 2015. 8 - 12 June 2015, Shenyang, China. Piscataway: IEEE, 2015, S. 820-824.

- [37] Brackenbury, W.; Liu, R.; Mondal, M.; Elmore, A. J.; Ur, B.; Chard, K.; Franklin, M. J.: Draining the Data Swamp. In: Proceedings of the Workshop on Human-In-the-Loop Data Analytics - HILDA'18. New York: ACM, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3209900.3209911>.
- [38] Bauer, A.; Günzel, H.: Data-Warehouse-Systeme. Architektur, Entwicklung, Anwendung. Heidelberg: dpunkt, 2013.
- [39] Prakash, N.; Prakash, D.: Data Warehouse Requirements Engineering. A Decision Based Approach. Singapore: Springer, 2018.
- [40] Laske, M.; Luxem, R.: Einführung der Prozesse — Prozess-Roll-out. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Berlin: Springer, 2000, S. 233-261.
- [41] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Molitor, M.; Sauermann, F.; Schmitz, S.: Databased learning of influencing factors in order specific transition times. In: Procedia Manufacturing. 31. Jg., 2019, S. 356–362.
- [42] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Sauermann, F.; Schmitz, S.: Production Analytics. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 114. Jg., 2019, Nr. 9, S. 588–591.
- [43] Khurana, U.; Turaga, D.; Samulowitz, H.; Parthasarathy, S.: Cognito: Automated Feature Engineering for Supervised Learning. In: 2016 IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW) 2016. 12-15 December 2016, Barcelona, Catalonia, Spain. proceedings. Piscataway: IEEE, 2016, S. 1304-1307.
- [44] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Gützlaff, A.; Rodemann, N.: Gestaltung von Produktionsnetzwerken. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 114. Jg., 2019, Nr. 1-2, S. 7–10.
- [45] Kaiser, A.; Tetzner, A.: Business Analytics mit SAP HANA Möglichkeiten und Grenzen. In: ERP Management. 13. Jg., 2017, Nr. 1, S. 52–54.
- [46] Vogel-Heuser, B.; Karaseva, V.; Folmer, J.; Kirchen, I.: Operator Knowledge Inclusion in Data-Mining Approaches for Product Quality Assurance using Cause-Effect Graphs. In: IFAC-PapersOnLine. 50. Jg., 2017, Nr. 1, S. 1358–1365.
- [47] Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft, 4. Auflage. Berlin: Springer, 2018.
- [48] Bach, N.; Brehm, C.; Buchholz, W.; Petry, T.: Organisation. Gestaltung wertschöpfungsorientierter Architekturen, Prozesse und Strukturen, 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Springer, 2017.
- [49] Thomas, S.; Mundt, A.; Friedli, T.: Management globaler Produktionsnetzwerke. Strategie. Konfiguration. Koordination. München: Hanser, 2013.
- [50] Thomas, S.; Liebetrau, F.; Friedli, T.: Knowledge Exchange in Production Networks: Operational Excellence Multiplied. In: Friedli, T.; Basu, P.; Bellm, D.; Werani, J. (Hrsg.): Leading pharmaceutical operational excellence. Outstanding practices and cases. Berlin: Springer, 2013, S. 337-344.

Mitarbeiter der Arbeitsgruppe für den Beitrag 3.3:

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. G. Schuh, WZL der RWTH Aachen

Prof. Dr.-Ing. Peter Burggräf, Institut für Produktionstechnik, Universität Siegen

Dr.-Ing. C. Benninghaus, Hilti AG, Schaan

Dipl.-Ing. M. Dannapfel, WZL der RWTH Aachen

M. Ebade Esfahani, M.Sc., WZL der RWTH Aachen

S. Feike, Hilti AG, Schaan

C. Geukes, M.Sc., WZL der RWTH Aachen

Dr.-Ing. S. Gottschalk, Beiersdorf AG, Hamburg

A. Gützlaff, M.Sc., WZL der RWTH Aachen

M. Henrichs, Miele & Cie. KG, Gütersloh

Dr.-Ing. J. Holtbrügge, Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf

N. Hülsmann, M. Sc., ABB Ltd, Zürich

Dipl.-Ing. A. Klein, HMZ Europe GmbH, Osnabrück

P. Mairl, GKN Powder Metallurgy, Inc., Bolzano

K. Thomas, M.Sc., WZL der RWTH Aachen

Dr.-Ing. S. Tschöpe, Miele & Cie. KG, Gütersloh

W. Weber, Henkel AG & Co. KGaA, Düsseldorf

M. Welsing, M.Sc., WZL der RWTH Aachen