

Produktionsintegrierter Umweltschutz & Digitalisierung

Einstieg in die Digitalisierung

Autor*innen

Julia Zeulner, Technische Universität Darmstadt

Malte Vogelgesang, Technische Universität Darmstadt

Prof. Peter Kleine-Möllhoff, Hochschule Reutlingen, ESB Business School

und weitere Mitglieder des Fachausschuss Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)

1 Digitalisierung der Produktion

Die deutsche Wirtschaft befindet sich im Wandel. Neben der zunehmenden Digitalisierung der Gesellschaft erfolgt diese Entwicklung auch zusehends in der Industrie. Der digitale Transformationsprozess zeigt sich nicht nur in der wachsenden Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure, sondern vor allem auch in der interaktiven und echtzeitfähigen Vernetzung von Mensch, Maschine und Produkt, die durch die Nutzung innovativer Technologien, vor allem aus dem Informations- und Kommunikationssektor, realisiert werden kann. Mittels dieser neuen Kommunikationsmöglichkeiten wird beispielsweise im Bereich der Fertigung eine stärkere Individualisierung der Produkte unter der Bedingung einer hochflexiblen (Großserien-)Produktion sowie die Erschließung neuer Verbesserungsmöglichkeiten des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks durch den Einsatz intelligenter Monitoring- und Steuerungssysteme angestrebt.

Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind einerseits flexibel in Bezug auf Neuerungen, die auch wirtschaftliches Potential bieten, aber sie haben häufig äußerst beschränkte personelle, zeitliche und finanzielle Umsetzungskapazitäten. Dadurch fehlt ihnen auch oft die Möglichkeit, das Wissen der Digitalen Transformation aufzubauen. Es sind allerdings häufig gerade KMU, die wegen ihrer größeren Flexibilität als besonders geeignet angesehen werden, die Idee von Industrie 4.0, u.a. in Form neuer Prozesslösungen, umzusetzen. Hierzu gibt es bereits eine Anzahl vielversprechender Best-Practice-Ansätze aus dem KMU-Bereich.

Investitionen in die Digitalisierung können dabei als Treiber für ein umfassenderes Verständnis der eigenen Prozesse angesehen werden, um darauf aufbauend Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz und somit des Produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS) aufzuzeigen.

2 Digitalisierung für PIUS

Für produzierende Unternehmen hat das Thema PIUS (Produktionsintegrierter Umweltschutz) in den letzten Jahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen. Dabei werden durch die Analyse betrieblicher Material- und Energieströme Ansatzpunkte für integrative Verbesserungsmaßnahmen in Produktionsprozessen herausgearbeitet. PIUS zielt auf einen vorbeugenden, ressourcenschonenden Umweltschutz, während End-of-Pipe-Ansätze meist nur Einmallslösungen repräsentieren.

Hierbei eröffnen sich durch die digital vernetzte Produktion und die daraus resultierende Transparenz zahlreiche zusätzliche Chancen für PIUS. Durch ein kontinuierliches Monitoring der Prozessketten und weiterer innerbetrieblicher Vorgänge sowie die damit verbundene durchgängige Datenintegration ist es möglich, nicht nur eine intelligente und verbesserte Steuerung zu etablieren, sondern auch eine zielgerichtete Zustandsüberwachung durchzuführen. Die PIUS-Ansätze sollten mit digitalen Werkzeugen kombiniert werden. Somit sind Digitalisierungsansätze – ähnlich zur Herangehensweise von PIUS – ganzheitlich zu verstehen.

Neben Verbesserungen auf Ebene von Einzelprozessen kann die nötige Transparenz geschaffen werden, um Potenziale auf Betriebsebene zu identifizieren. Sichtbarmachen lässt sich der Verbrauch natürlicher Ressourcen für den Betrieb am besten anhand einfach zu ermittelnder Größen, welchen gleichzeitig ein monetärer Wert zuzuordnen ist. Somit lässt sich sowohl die ökologische als auch die ökonomische Dimension direkt am Material- und Energieverbrauch zum Beispiel durch Sankey-Diagramme darstellen. Eine Verbesserung der Prozessabläufe kann zudem gleichzeitig einen unmittelbaren Einfluss auf die Dimension Zeit und bestenfalls auf die angestrebte Produktqualität haben. Bei mindestens gleichbleibender Produktqualität sind die Reduzierung von Maschinenlaufzeiten, die Minderung des Rohstoff- und Energieeinsatzes und die Minimierung der Ausschussquote ein direktes Maß für die Ressourcenschonung.

Ein PIUS-Digitalisierung-Projekt zeigt die Schnittstellen der bisher analogen hin zu den digitalen Anwendungsmöglichkeiten auf. Nicht jeder Prozess muss zwingend digitalisiert werden. Es sollte jedoch Transparenz bestehen im Monitoring und auch in der Bewertung der einzelnen Fertigungsschritte einer Produktion

Nachfolgend soll anhand von ausgewählten Praxisbeispielen die potentiell positive Wirkung in den Bereichen Qualität, Zeit, Kosten, Energie und Material in Bezug auf prozessbezogene Einzellösungen sowie Systemlösungen dargestellt werden, welche durch die Etablierung von Digitalisierungsmaßnahmen zugunsten des PIUS erreicht werden kann. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Einbindung der Mitarbeitenden für die erfolgreiche Durchführung von Digitalisierungsprojekten in Unternehmen von großer Bedeutung ist.

2.1 Einzellösungen auf Prozessebene

Die Digitalisierung führt nicht per se zu einer Verbesserung des PIUS, sie bietet aber Methoden und Werkzeuge, die diesen verbessern können. Dies lässt sich am Beispiel der Transparenzschaffung von Ressourcenströmen im Unternehmen gut verdeutlichen.

Die Datengrundlage für eine Übersicht über Einsatzmengen von Ressourcen in Bezug auf einzelne Prozesse ist oftmals lückenhaft oder gar nicht vorhanden. Die Ursache liegt hier häufig in der als zu aufwändig angesehenen Datenerhebung der unterschiedlichen Ressourcenverbräuche. Zudem stellen die Vergleichbarkeit und somit die Bewertbarkeit der verschiedenen Stoffströme eine weitere Herausforderung dar. Dies erschwert die Bilanzierung zwischen möglichen Einsparungen und den dafür notwendigen Aufwänden, welche durch eine PIUS-Maßnahme erzielt werden können. So bleiben Verbesserungspotenziale im verarbeitenden Gewerbe, vor allem bei KMU, oft ungenutzt. Diese Verbesserungspotenziale werden in Unternehmen in der Regel erst dann genutzt, wenn der ökologischen Motivation auch ein greifbarer ökonomischer Mehrwert gegenübersteht (siehe Tabelle 1, Punkt „Data-Mining“).

Ein weiteres Beispiel kommt aus dem Themenfeld des „Condition Monitoring“. Durch kontinuierliches Überwachen von intensiv genutzten betrieblich materiellen und energetischen Res-sourcen können Abweichungen vom Regelbetrieb schnell entdeckt und gezielt behoben werden (Ausreißer-Erkennung). Zudem können durch eine nachgelagerte Analyse von bestehenden Daten Trends in der Datenhistorie aufgedeckt oder neue Querverbindungen zwischen einzelnen Werten und den zu Grunde liegenden Prozessgrößen ermittelt werden. Dies bildet die Grundlage für neue Verbesserungsstrategien im Prozessablauf sowie ggf. auf Produktebene (siehe Tabelle 1, Punkt „Condition Monitoring“).

Mittels bedarfsgerechter Steuerung der Prozessperipherie ist es zudem möglich, den Energieverbrauch von Prozessen erheblich zu minimieren. Werden bspw. Beleuchtungs-, Heizungs-, Klima- oder Lüftungsanlagen innerhalb des Prozesses dynamisch und automatisiert entsprechend ihres Bedarfs zu- oder abgeschaltet, kann die Energiemenge, die im Vergleich zu einem andauernden Betrieb der Peripheriekomponenten aufgewendet werden muss, deutlich reduziert werden (siehe Tabelle 1, Punkt „Intelligente Steuerungskonzepte auf Maschinenebene“).

Nachfolgende Tabelle listet beispielhaft Digitalisierungsmaßnahmen auf, die im produzierenden Gewerbe heute schon erfolgreich angewendet werden und direkten Einfluss auf die ausgewiesenen Potentialbereiche haben.

Tabelle 1: Beispielhafte Verbesserungspotentiale durch Digitalisierungsmaßnahmen auf Prozessebene

Einzellösungen auf Prozessebene		Verbesserungspotential in den Bereichen				
		Qualität	Zeit	Kosten	Energie	Material
Data-Mining	Auswertung von Prozessdaten zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen im Prozess	x	x	x	x	x
Condition Monitoring	Überwachung von verfahrensrelevanten Prozessdaten bspw. zur Minimierung von Ausschuss	x	x	x		x
Integration von Sensorik und Aktorik	Verbesserung von Prozessen durch sensorgestützte Prozesslösungen (z.B. Sortieranlagen)	x	x	x	x	x
Intelligente Steuerungskonzepte auf Maschinenebene	Einsatz elektronischer Drehzahlregelung bei in Teillast betriebenen Anlagen			x	x	
	Minimierung von maschinenspezifischen Stand-by-Verlusten		x	x	x	
	Ausschussreduktion		x	x		x
	Verschnittoptimierung durch intelligente Verschachtelungssoftware			x	x	x
Datenmonitoring und dynamische Prozesssteuerung (Data Mining/Dynamic Manufacturing)	Verbesserter Einsatz von Hilfs- und Betriebsstoffen (u.a. Druckluft, Chemikalienzugabe)			x	x	x
	Verbesserung von Badstandzeiten durch dynamische Temperaturregelung			x	x	x
	Bedarfsgerechte Steuerung der Prozessperipherie (u.a. Beleuchtung, Lüftungsanlagen)			x	x	

Prognose- und Simulationssoftware (selbstlernende Systeme, siehe Tabelle 2)	Integration der Produktverbesserung in frühe Entwicklungsphasen	x	x	x		x
	Softwareunterstützte Auslegung der Prozesskette zur Verbesserung von Prozessparametern (z.B. Rüstzeiten)		x	x	x	x
	Vorausschauende Instandhaltung, um Ausfallzeiten von Maschinen zu verringern, Wartungseinsätze zu bündeln und Fehlproduktion zu minimieren.	x	x	x	x	x

2.2 Systemlösungen auf Ebene des Betriebs

Verbesserungen können jedoch nicht nur aus der isolierten Betrachtung von Einzelprozessen resultieren, sondern werden oft erst durch die ganzheitliche Betrachtung auf Betriebsebene aufgedeckt. So ist es ganz im Sinne von PIUS, den gesamten Betriebsprozess zu betrachten, um negative Wechselwirkungen vorzubeugen und bspw. für Reststoffe oder die anfallende Wärme des einen Prozesses einen Abnehmer in einem anderen Prozessschritt zu finden. Die Digitalisierung stellt dabei einerseits Werkzeuge zur Verfügung, um solche prozessübergreifenden Synergien zu ermitteln, andererseits liefert sie Möglichkeiten zur flexiblen und effizienten Steuerung von Prozessen und Gütern im Betrieb.

Die durchgängige Datenintegration über alle Betriebsebenen – unter Berücksichtigung der Schnittstellenthematik – stellt ein wesentliches Mittel zur Flexibilisierung und effizienten Steuerung interner und externer Abläufe dar. Ausgehend vom ERP-System¹ auf Unternehmensebene, über das Produktionsleitsystem², bis hin zur Steuerung einzelner Prozesse, können Daten gespeichert, verarbeitet und weitergegeben werden. So kann durch die Kopplung von Auftragsmanagement und Produktion, z.B. direkt beim Bestellprozess, auf freie Kapazitäten und daraus resultierende Lieferzeiten Rücksicht genommen werden. Insgesamt erlaubt eine durchgängige Datenintegration die direkte medienbruchfreie Kommunikation aller Ebenen des Betriebs und damit Kapazitäten bestmöglich und flexibel zu nutzen. (siehe Tabelle 2, Punkt „Sensorintegration und Data-Mining“).

Die Digitalisierung kann auch im Bereich Produktionslogistik Vorteile für den PIUS bringen. Eine digitale Verfolgung von Rohmaterial, Werkstücken und fertigen Produkten im Betrieb unterstützt dabei, Durchlaufzeiten, Bestände und Kapitalbindung zu reduzieren. In einfacher Form kann etwa ein elektronisches Kanban eingesetzt werden. Eine weitere Neuerung in der digital vernetzten Logistik stellt der automatisierte Transport mittels fahrerloser Transportsysteme dar. Durch maximale Transparenz sowie hohe Zuverlässigkeit und Pünktlichkeit können Bestände abgebaut und dabei gleichzeitig Transportschäden und Fehllieferungen vermieden werden (siehe Tabelle 2, Punkt „Smarte Logistik“).

Tabelle 2 stellt ausgewählte Digitalisierungsmaßnahmen vor, welche Lösungen auf Systemebene repräsentieren und Verbesserungspotentiale in den ausgewiesenen Bereichen hervorrufen können.

¹ Enterprise Resource Planing

² Englisch: Manufacturing Execution System, MES

Tabelle 2: Beispielhafte Verbesserungspotentiale durch Digitalisierungsmaßnahmen auf Betriebsebene

Systemlösungen auf Ebene des Betriebs		Verbesserungspotential in den Bereichen				
		Qualität	Zeit	Kosten	Energie	Material
Sensorintegration und Data-Mining	Einsatz eines geeigneten Betriebsinformationssystems zur Speicherung und Analyse von betriebspezifischen Daten	x		x		x
	Durchgängige Datenintegration von ERP bis Prozessebene zur Überwachung, Steuerung und Verbesserung von Prozessen auf allen Unternehmensebenen	x	x	x	x	x
Smarte Logistik	Automatisierte Transportsysteme	x	x	x	x	x
	Tracking und gezielte Steuerung von Materialien und Produkten	x	x	x		
	Einbindung von Lieferanten in ein intelligentes Logistikmanagementsystem		x	x	x	x
Nutzung von Cloud-Services	Nutzung von Cloud-Dienstleistungen (z.B. für Speicher- oder Rechenkapazität) anstelle von betriebseigenen Servern			x	x	
	Datentransfer betriebsintern und über Standorte hinaus zur Minimierung von Reaktionszeiten		x	x		
	Methoden von Big Data für die systematische Analyse und Nutzung großer unstrukturierter Datenmengen	x	x	x	x	x
Integration von KI-Technologien	Maschinelles Lernen bspw. zur Feststellung von bisher nicht bekannten Trends im Produktionsablauf	x	x	x	x	x
	Maschinelles Lernen zur Ausschussreduktion		x	x	x	x
Nutzung von 5G	Vereinfachte Kommunikation und Einbindung von Sensoren und Aktoren im Produktionsbereich	x	x	x		
Energieversorgung	Intelligentes Lastmanagement			x	x	

2.3 Empfohlenes Vorgehen für Projekte „PIUS durch Digitalisierung“

In einem ersten Schritt gilt es, Ausgangslage und Potenziale bzgl. der Digitalisierung im Unternehmen und die Schnittstellen der bisher analogen hin zu möglichen digitalen Anwendungen zu untersuchen zu untersuchen.

Im zweiten Schritt sind die Daten der betrieblichen Stoff- und Energieströme zu erfassen und auszuwerten, um PIUS-Ansatzpunkte und -Potenziale zu ermitteln.

Im dritten Schritt sollte schließlich eine – gegebenenfalls schrittweise – Strategie zur PIUS-Optimierung durch Digitalisierung entwickelt werden.

3 Fazit

Die gegenwärtige Entwicklung, insbesondere während der COVID-19-Pandemie zeigt, welche Potentiale in der Digitalisierung liegen und wie Unternehmen diese in vorteilhafter Weise nutzen können, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Dass die Digitalisierung im produzierenden Gewerbe in besonderem Maße dazu geeignet ist, innerbetriebliche Energie- und Ressourceneffizienz- und damit Kosteneinsparungspotentiale zu generieren, wurde in den letzten Jahren mehrfach belegt. Die Digitalisierung ist aber auch dazu geeignet, Produkte und Lieferketten umweltfreundlicher zu gestalten sowie zirkuläre Wirtschaftsformen (Circular Economy) mit serviceorientierten innovativen Geschäftsmodellen zu etablieren.

Hierzu sollten Digitalisierungsstrategien möglichst ganzheitlich von der Produktentwicklung ausgehend angegangen werden, um die Nutzenpotentiale aus innovativen digitalen Technologien möglichst wertbringend für die Unternehmen zu generieren.

PIUS & Digitalisierung müssen zusammen gedacht und umgesetzt werden, um die größtmöglichen Effekte bei Ressourceneinsparungen, Flexibilität der Mitarbeitenden und Emissionsminderung zu erreichen. Diese Kombination macht kleine und mittlere Unternehmen ganz besonders zukunftsfähig und damit nachhaltig.

Passende Veröffentlichungen des VDI

- VDI 4075 (Richtlinienreihe) Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) (2014)
- VDI ZRE (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes