

## Konkrete Chancen der Digitalisierung

# Ökologische Nachhaltigkeit in der digitalen Produktion

Die industrielle Produktion durchläuft aktuell einen erheblichen Transformationsprozess, ermöglicht durch die rasante Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnologien. Welche Rolle spielt die Industrie 4.0. für eine sozial-ökologische Entwicklung?

Von Grischa Beier und Johanna Pohl

In Deutschland wird der Transformationsprozess der Produktion unter dem Begriff „Industrie 4.0“ zusammengefasst und ist mit der Erwartung an eine stärker ressourceneffiziente Produktion verknüpft, die sich automatisch und flexibel an veränderte Rahmenbedingungen anpassen kann.

Aus sozial-ökologischer Perspektive ist dieser Trend auch deshalb relevant, weil die fertigende Industrie für verschiedene Nachhaltigkeitsdimensionen ein wesentlicher Faktor ist: Gemäß Eurostat zeichnete sie 2013 in Deutschland für rund 20 % aller Treibhausgas-Emissionen, 28 % des Energieverbrauchs und fast jede fünfte Arbeitsstelle verantwortlich. Es ist jedoch weitgehend unerforscht, wie stark insbesondere die ökologischen Nachhaltigkeitsfaktoren vom digitalen Transformationsprozess der Industrie beeinflusst werden.

## Hoffnung auf Effizienzsteigerungen

Einerseits ist die Digitalisierung mit der Hoffnung auf Effizienzsteigerungen und Inputreduktion verbunden, auf der anderen Seite bedeutet jede Digitalisierungsmaßnahme zunächst, dass in einen vormals großteils analogen Prozess digitale Hardware (u. a. Sensoren, Aktuatoren, Prozessoren, Sender, Empfänger) integriert werden muss. Das stellt zwangsläufig einen initialen Materialaufwand dar, der vom Optimierungspotenzial des digitalisierten Prozesses abgezogen werden muss. Darüber hinaus muss die digitale Hardware während des Betriebs kontinuierlich mit Elektrizität versorgt werden. Lutz (2017) weist zu Recht darauf hin, dass insbesondere die Verwendung von drahtloser Kommunikationstechnik aufgrund ihres geringen Wirkungsgrads einen erheblichen Stromverbrauch erfordert. Ähnliches gilt für den Energiebedarf von Datenzentren, die notwendig sind, um die erfassten Daten zu verwalten. Horner (2016) schätzt, dass allein Datenzentren für 1–2 % des weltweiten Stromverbrauchs verantwortlich zeichnen.

Dieser Artikel stellt mögliche Ansätze vor, wie die Digitalisierung in der Produktion genutzt werden kann, um ihre ökologischen Wirkungen zu verbessern. Konkret wird dabei das Thema Ressourceneffizienz adressiert und diskutiert, wie sich die Digitalisierung und Vernetzung industrieller Produktion auf Energie- und Materialeffizienz auswirken könnte.

## Nachhaltige Energie

Aus der Digitalisierung können sich für die industrielle Produktion neue Möglichkeiten für die verstärkte Anwendung nachhaltiger Energie ergeben. Unter nachhaltiger Energie werden hier sowohl die Steigerung der Energieeffizienz als auch die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien in der Produktion subsumiert.

Aufseiten der Energieeffizienz gibt es Ansätze, bei denen eine große Anzahl digital vernetzter Produktionseinheiten, die nicht kontinuierlich mit Volllast operieren, durch eine digitale Systemsteuerung so orchestriert werden, dass ein energetisches Bedarfsminimum erreicht wird, ohne die prozessual notwendige Taktung zu kompromittieren. Mit einer solchen Steuerung konnte für Roboterparks, allein durch die Modifikation ihres kinematischen Beschleunigungsverhaltens, eine Energieeinsparung von bis zu 30 % erreicht werden (Lennartson/Bengtsson 2016).

Digitale Technologien bieten ebenfalls Ansätze, um den Anteil erneuerbarer Energie am industriellen Gesamtenergieverbrauch zu erhöhen. Voraussetzung dafür ist es, die fertigende Industrie als aktiven Teilnehmer in einen dezentralen Energiemarkt zu integrieren, wie es unter anderem mittels sogenannter virtueller Kraftwerke möglich wird. Unter virtuellen Kraftwerken versteht man eine digital verwaltete Zusammenschaltung von dezentralen Stromerzeugern, Speichersystemen und flexiblen Lasten (Shabanzadeh et al. 2015). Produktionsunternehmen können als integrierter Teil eines digitalen Strommarktes sowohl durch flexible Lasten als auch als Energiespeicher helfen, die Volatilität der erneuerbaren Energien zu kompensieren und den Strommarkt somit weiter zu stabilisieren. In beiden Fällen sind digitale Technologien unter anderem notwendig, um die Verfügbarkeit überschüssigen Stroms möglichst zügig zu detektieren und zu kommunizieren, die jeweils geeigneten flexiblen industriellen Lasten bzw. Speicher auszuwählen und diese schlussendlich zu steuern.

Nicht kontinuierlich unter Volllast produzierende Unternehmen können als flexible Lasten agieren, indem sie ihre (durch Digitalisierung ihrer Prozesse befähigte) zeitliche Pro-

duktionsflexibilität nutzen, um verstärkt zu Zeiten von Stromüberschüssen zu produzieren. Dieser Ansatz wird mit dem Begriff Demand Response beschrieben. Für die Funktion als Energiespeicher können produzierende Unternehmen jeweils geeignete Power-to-X-Verfahren anwenden. Die Idee hinter diesen Verfahren ist es, bei Stromüberschüssen durch erneuerbare Energieträger diese dann sehr preiswerte Energie mittels verschiedener Verfahren zu speichern (beispielsweise in Form von Wärme oder Gas) oder sie direkt zu nutzen, wie zum Beispiel durch die Umwandlung in Methangas. Das Kopernikus-Projekt SynErgie untersucht diese Ansätze derzeit [1]. So wird am Beispiel von Aluminiumhütten untersucht, wie überschüssiger Strom zeitlich flexibel in thermische Energie gewandelt und bei Bedarf wieder freigegeben werden kann.

Digitale Technologien könnten aber auch in strukturschwachen Regionen für die Vernetzung kleiner, verteilter Erzeuger grüner Energie und Verbraucher genutzt werden. Die Blockchain-Technologie ist ein möglicher Ansatz, um vergleichsweise unkompliziert digitale Abmachungen zwischen Erzeugern und Verbrauchern festzulegen und somit flexible Mini-Grids zu realisieren [2]. Solche Mini Grids sind insbesondere für weniger entwickelte Regionen relevant, um unabhängiger von einem Anschluss an das nationale Energienetz zu werden (African Progress Panel 2017) und fossile Brennstoffe durch elektrische Energie ersetzen zu können.

Insgesamt bietet die Digitalisierung der Produktion also zahlreiche Möglichkeiten für eine punktuelle Steigerung der Energieeffizienz und Unterstützung der Energiewende. Ob dies in Summe umweltentlastend sein wird, hängt jedoch unter anderem von der Höhe resultierender Rebound-Effekte ab, weil gerade eine verbesserte Energieeffizienz häufig zu Verbrauchsanstiegen führt (Santarius 2015). Ob und wie stark solche Effekte auch im industriellen Kontext auftreten, sollte daher näher untersucht werden.

## Effiziente Materialnutzung

Eingesetzte Ressourcen und Material können durch die Optimierung von Prozessen und den Einsatz neuer Fertigungstechnologien reduziert werden. Die Optimierungsmöglichkeiten im Produktionsprozess (z. B. verringerter Einsatz von Primärrohstoffen durch Wiederverwendung von Rohstoffen und Kreislaufwirtschaft) sind zunächst klassische Maßnahmen (Shabazi et al. 2017), die üblicherweise mittels digitaler Werkzeuge in frühen Planungsphasen umgesetzt werden können. Es stellt sich die Frage, inwieweit Digitalisierung tatsächlich zur Optimierung des Ressourceneinsatzes beitragen kann. Bei einer Befragung des Instituts der deutschen Wirtschaft im verarbeitenden Gewerbe gaben die Teilnehmer die Potenziale zur Einsparung von Material sehr unterschiedlich an – zwischen 0% und mehr als 10% (Neligan/Schmitz 2017).

Durch den Einsatz neuer additiver Fertigungstechnologien, zum Beispiel 3-D-Druck, können Rohstoffe sparsamer eingesetzt werden, indem sie additiv, also Schicht für Schicht, aufge-

tragen werden. Insbesondere bei der Herstellung von Prototypen oder Produkten mit hoher Varianz aber geringer Stückzahl können solche Verfahren die deutlich material- und energieintensiveren abtragenden Verfahren ablösen. Bei General Electric's LEAP Engine konnte durch die komplexe Geometrie der per 3-D-Druck hergestellten Brennstoffeinspritzdüse die Haltbarkeit verfünffacht und dabei noch eine verbesserte Verbrennungseffizienz erreicht werden (Ford/Despeisse 2016).

Bislang gibt es nur wenige Studien, die versuchen, Einsparpotenziale einer digitalisierten Produktion für den gesamten Sektor zu beziffern. Die Global e-Sustainability Initiative (GeSI) prognostiziert, dass durch Effizienzsteigerungen in der digitalisierten Produktion bis 2030 81 Mrd. Liter Wasser und 4,2 Mrd. MWh Strom gespart werden können (GeSi 2015). Die Ergebnisse der Studie werden in der Wissenschaft jedoch kontrovers diskutiert (Hilty et al. 2014).

## Flexiblere Produktionsgestaltung

Neben technischen Ansätzen bieten sich auch Chancen für eine ökologisch nachhaltigere Herstellung in der flexibleren Produktionsgestaltung. So können Kund/innen stärker in die Produktgestaltung einbezogen werden: Eine Produktion von individualisierten Produkten in kleineren Mengen (bis hin zur Losgröße 1) wird durch die digitalen Technologien möglich. Wenn dies dazu genutzt wird, die im Produkt integrierte Hardware und Funktionalität auf das wirklich vom Kunden Gewünschte zu begrenzen, könnten damit Ressourcen eingespart werden. Hingegen erscheint ein gegenteiliger Effekt wahrscheinlich, wenn die Individualisierbarkeit genutzt wird, um primär die äußere Anmutung der Produkte mit kundenspezifizierten Formen, Farben und Schriftzügen zu variieren. Darüber hinaus könnten durch die digitale Vernetzung mit potenziellen Kunden Produktüberschüsse durch eine konkrete Bedarfsermittlung vermieden werden.

Aus der digitalen Vernetzung aller entlang des Lebenszyklus von Produkten entstehenden Daten erwächst darüber hinaus die Chance, Produktions- und Lieferketten transparent zu gestalten und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Kund/innen könnten damit die Möglichkeit bekommen, sich umfassend über Produkte, dafür verwendete Materialien und deren Herkunft zu informieren und auf deren Basis Kaufentscheidungen bewusst zu tätigen (z. B. für ökologisch fair gehandelte Produkte). Für Behörden würden solche Mechanismen die Möglichkeit bieten, leichter die Umsetzung regulatorischer Vorgaben nachzuvollziehen. Nicht zuletzt könnten transparente und zugängliche Informationen über verbaute Materialien und Komponenten dazu beitragen, die stoffliche Wiederverwertung von eingesetzten Ressourcen (Recycling) am Ende des Produktlebenszyklus zu erleichtern sowie Stoffkreisläufe im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu schließen. Ob solche Transparenz-Mechanismen ohne externe regulatorische Vorgaben von der Industrie implementiert werden, erscheint jedoch fraglich.

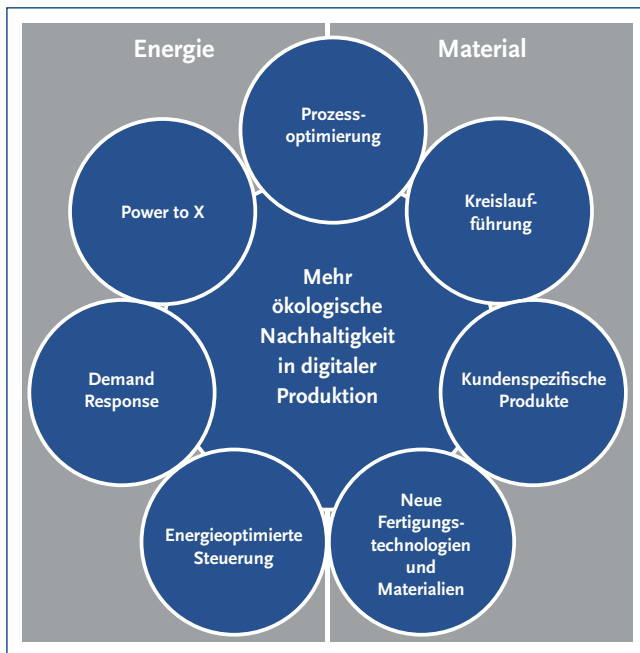


Abbildung 1: Ansätze für mehr ökologische Nachhaltigkeit in der digitalen Produktion

## Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Aufsatz stellt ein Spektrum an Ansätzen vor (siehe Abbildung 1), wie die Digitalisierung industrieller Produktion genutzt werden kann, um ihre ökologischen Auswirkungen zu verbessern. Gegenteilige Effekte, die aus den Effizienzsteigerungen resultieren (wie beispielsweise Rebound-Effekte) dürfen jedoch nicht außer Acht gelassen werden. Inwieweit der beschriebene Mehraufwand an Material und Energie bei Herstellung und Betrieb digitaler Produktionssysteme durch potenziell realisierbare Effizienzgewinne aufgrund digitalisierter Prozesse kompensiert wird, kann heute noch nicht umfassend beurteilt werden.

Auch vor dem Hintergrund international stark variierender Erwartungshaltungen in Bezug auf die durch Digitalisierung realisierbaren Effizienzsteigerungen (Beier et al. 2017) sollte dies kritisch analysiert werden. Diese Analyse möglicher Steigerungen der Effizienz auf ein wissenschaftliches Fundament zu stellen, ist Motivation und Herausforderung für unsere zukünftigen Forschungsarbeiten.

## Anmerkungen

- [1] Nähere Informationen unter: <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/industrieprozesse>
- [2] Blockchains sind verteilte Datenbanken, die auf einer großen Anzahl von Maschinen gespeichert und deren Integrität durch kryptographische Verkettung gesichert sind. Sie erlauben es, dass alle Änderungen an der Datenbank dauerhaft aufgezeichnet werden und in einem dezentralen Netzwerk eine Einigkeit zwischen den Knoten erzielt werden kann. (Haber and Stornetta 1991, Crosby et al. 2016)

## Literatur

- Africa Progress Panel (2017): Lights Power Action report.
- Beier, G./Niehoff, S./Ziems, T./Xue, B. (2017): Sustainability Aspects of a Digitalized Industry – A Comparative Study from China and Germany. In: International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Green Technology (4) 2. S. 227–234.
- Crosby, M./Nachiappan/Pattanayak, P./Verma, S./Kalyanaraman, V. (2016): Blockchain technology: Beyond bitcoin. In: Applied Innovation Review 2. S. 6–19.
- Ford, S./Despeisse, M. (2016): Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. In: Journal of Cleaner Production 137. S. 1573–1587.
- GeSI (2015): Global e-Sustainability Initiative: Smarter 2030. ICT Solutions for 21<sup>st</sup> Century Challenges. Brüssel.
- Haber, S./Stornetta, W.S. (1991): How to Time-Stamp a Digital Document. In: Advances in Cryptology – Crypto '90. Lecture Notes in Computer Science 537. S. 437–455.
- Hilty, L.M./Aebischer, B./Rizzoli, A.E. (2014): Modeling and evaluating the sustainability of smart solutions. In: Environmental Modelling & Software 56. S. 1–5.
- Horner, N.C. (2016): Powering the Information Age: Metrics, Social Cost Optimization Strategies, and Indirect Effects Related to Data Center Energy Use. Dissertation 696.
- Lennartson, B./Bengtsson, K. (2016): Smooth robot movements reduce energy consumption by up to 30 percent. In: European Energy Innovation. S. 38.
- Lutz, J. (2017): Informationstechnik und Industrie 4.0 unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit. In: Community.dialog. pcim Europe. S. 2.
- Neligan, A./Schmitz, E. (2017): Digitale Strategien für mehr Materialeffizienz in der Industrie. Ergebnisse aus dem IW-Zukunftspanel. Institut der deutschen Wirtschaft Köln.
- Santarius, T. (2015): Der Rebound-Effekt. Ökonomische, psychische und soziale Herausforderungen für die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch. Metropolis Verlag, Marburg.
- Shabanzadeh, M./Sheikh-El-Eslami, M.-K./Haghifam, M.-R. (2015): The design of a risk-hedging tool for virtual power plants via robust optimization approach. In: Applied Energy 155. S. 766–777.
- Shahbazi, S./Salloum, M./Kurdve, M./Wiktorsson, M. (2017): Material Efficiency Measurement: Empirical Investigation of Manufacturing Industry. In: Procedia Manufacturing 8. S. 112–120.

## AUTORINNEN + KONTAKT

Das von **Grischa Beier** geleitete IASS-Projekt „Digitalisierung und Auswirkungen auf Nachhaltigkeit“ untersucht, welchen Einfluss die digital vernetzte Industrieproduktion der Zukunft auf den Ressourcenverbrauch hat, wie neue, digitale Kommunikationsformen für demokratische Beteiligungsprozesse genutzt werden können und welche Möglichkeiten und Herausforderungen die Digitalisierung für die internationale Zusammenarbeit birgt.

Institute for Advanced Sustainability Studies e.V. (IASS),  
Berliner Straße 130, 14467 Potsdam. Tel.: +49 331 28822367,  
E-Mail: [grischa.beier@iass-potsdam.de](mailto:grischa.beier@iass-potsdam.de)

In der Nachwuchsgruppe „Digitalisierung und sozial-ökologische Transformation“ forscht **Johanna Pohl** zur Verschiebung von Ressourcenströmen und deren ökologischen Auswirkungen durch eine zunehmende Digitalisierung von Dienstleistungen.

TU Berlin, Zentrum Technik und Gesellschaft,  
Hardenbergstr. 16–18, 10623 Berlin.  
Tel.: +49 30 31429812, E-Mail: [pohl@ztg.tu-berlin.de](mailto:pohl@ztg.tu-berlin.de)

