

Industrie 4.0 im Kontext systemischer Nachhaltigkeit

Anwendung des Strategic Lifecycle Assessment zur Bewertung des Beitrags von Industrie 4.0 für eine nachhaltige Entwicklung

Thomas Wunder, Hochschule für angewandte Wissenschaften Neu-Ulm und
Kieron Patrick Funk, Technische Universität Delft (NL)

Intelligente und durch das Internet of Things (IoT) digital vernetzte Systeme werden in der produzierenden Industrie als vielversprechende Möglichkeiten zur Erreichung von ökologischen Nachhaltigkeitszielen gesehen, da sich damit die Ressourcen- und Energieeffizienz in Wertschöpfungsketten verbessern lässt. Als Beitrag der Industrie 4.0 (I.4.0) für eine nachhaltige Entwicklung ist dies jedoch zu kurz gegriffen. Denn für „Nachhaltigkeit“ zu sorgen erfordert heute weit mehr als Effizienzverbesserung zur Schadensbegrenzung. Im Beitrag wird untersucht, inwieweit die Methode des „Strategic Lifecycle Assessment“ für eine weitergehende Bewertung des Lösungsbeitrags von I.4.0 für eine nachhaltige Entwicklung geeignet ist. Anhand von Beispielen wird gezeigt, dass vermeintlich „nachhaltige“ I.4.0-Lösungen mit systemischen Nachhaltigkeitsprinzipien im Widerspruch stehen können. Wirksame Beiträge sind dann zu erwarten, wenn I.4.0 in den Kontext nachhaltiger Zielbilder von Unternehmen eingebettet und auch für die Gestaltung nachhaltiger Geschäftsmodelle und Business-Ökosysteme eingesetzt wird.

Digitalisierung und Nachhaltigkeit sind zwei wichtige Transformationstreiber, die für die Zukunftsfähigkeit von Gesellschaft und Unternehmen von großer Bedeutung sind. Mit der EU-Taxonomie und verschärften Offenlegungspflichten wird sich für viele Unternehmen der Handlungsdruck in Richtung Nachhaltigkeit in den nächsten Jahren deutlich erhöhen. Unternehmen setzen in ihrer Berichterstattung über die eigene Nachhaltigkeitsleistung typischerweise ökologische Indikatoren wie Energieverbrauch, Abfallmenge, Wasserverbrauch oder CO₂-Ausstoß in Vergleich zur Vorperiode oder einem selbst gesetzten Referenzjahr. Es wird dann eine kontinuierlich prozentuale Verbesserung ökologischer Kennzahlen angestrebt, um damit u. a. Reputations- oder Kosteneffekte zu realisieren.

Ökologische Nachhaltigkeitsleistung und Industrie 4.0

Industrie 4.0 (I.4.0) und die damit verbundene Weiterentwicklung der Orga-

nisation und Struktur von Wertschöpfungsketten über den gesamten Lebenszyklus von Produkten können zur Erreichung solcher Nachhaltigkeitsziele einen wesentlichen Beitrag leisten. Dies wird durch die Vernetzung von allen Bereichen der Wertschöpfungskette ermöglicht [1]. Wesentliche Technologien sind das Internet der Dinge (engl. Internet of Things (IoT)) und Cloud Services [2]. So lassen sich beispielsweise durch die horizontale Integration von Wertschöpfungspartnern in Wertschöpfungsnetzwerken die Flexibilität und die Transparenz der Fertigungsunternehmen entlang der Wertschöpfungskette erhöhen [2-5]. Mithilfe einer vertikalen Integration werden Produktionsmaschinen, Lagersysteme, Fabriken und Smarte Produkte in übergeordneten IT-Systemen vernetzt und so zu Cyber-Physikalischen Systemen (CPS) umgewandelt [2, 3], wodurch sich die Ressourcen- und Energieeffizienz in der Fertigung verbessern lässt [6, 7]. Zudem kann die Durchgängigkeit des Engineerings über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts und eines Produktionssystems

Industry 4.0 in the Context of Systemic Sustainability

Intelligent and digitally networked systems through the Internet of Things are seen as promising ways to achieve environmental sustainability goals, as they can improve resource and energy efficiency in value chains. As a contribution of Industry 4.0 (I.4.0) to sustainable development, however, this falls short. Ensuring “sustainability” today requires more than improving eco-efficiency to limit damage. “Strategic Lifecycle Assessment” is applied to comprehensively evaluate I.4.0 contributions to sustainable development showing the relevance of a sustainable strategizing context for I.4.0.

Keywords:

industry 4.0, internet of things, sustainability, strategy, transformation, systemic



Prof. Dr. rer. pol. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Wunder ist Professor für Unternehmensführung an der Hochschule Neu-Ulm sowie Gründer und Geschäftsführer der SustainUp GmbH in Ulm (www.sustainup.com). Er forscht und lehrt zur Verknüpfung von Strategie und Nachhaltigkeit sowie den zugehörigen Transformationsprozessen in Unternehmen.



Kieron P. Funk, B. Eng., studiert im Masterstudiengang “Complex Systems Engineering and Management” an der Technischen Universität Delft und wurde mit seiner Thesis zu Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit an der Hochschule Neu-Ulm mit dem Hochschulpreis der Schwäbischen Wirtschaft der IHK Schwaben ausgezeichnet.

thomas.wunder@hnu.de
kieron@jfcc.de
www.hnu.de/thomas-wunder

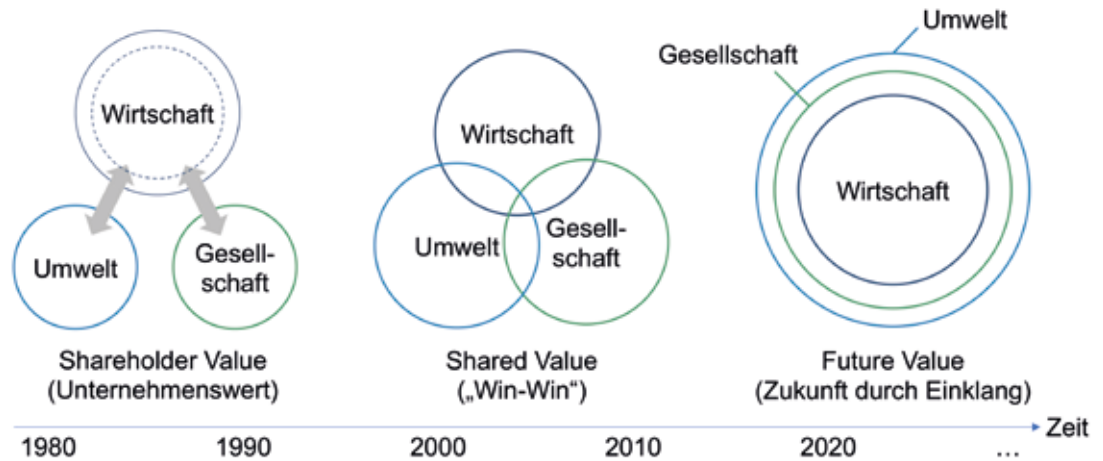


Bild 1: Sichtweisen von Strategie und Nachhaltigkeit im Wandel (in Anlehnung an [18]).

sowie die Verfügbarkeit und Verknüpfung aller über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts anfallenden Informationen die Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung und das Recyclings fördern, wenn dies bei der Entwicklung von Produkten und Prozessen entsprechend berücksichtigt wird [3, 8, 9]. All dies suggeriert Fortschritt in Sachen Nachhaltigkeit durch I.4.0. Doch mit welcher Aussagekraft?

Systemisches Nachhaltigkeitsverständnis und I.4.0

Die kontinuierliche Verbesserung der Ressourcen- und Energieeffizienz zeigt zwar einen positiven Trend in Richtung ökologischer Nachhaltigkeit, doch zentrale Fragen geraten dabei aus dem Blick. Nämlich, ob das zugrundeliegende Geschäftsmodell oder Business-Ökosystem überhaupt „nachhaltig“ ist bzw. bis wann es in ein nachhaltiges transformiert werden kann. Inkrementeller Fortschritt hinsichtlich bestimmter Nachhaltigkeitsindikatoren vermindert zwar die Geschwindigkeit, mit der wir auf planetare Belastungsgrenzen und Kipppunkte zusteuern [10], ändert aber nicht die Richtung. Mit einem systemischen Verständnis von Nachhaltigkeit wird dagegen versucht, die Auswirkung der Unternehmenstätigkeit auf Systemkapazitäten und Grenzen zu ermitteln. Systemdenken hilft dabei, die dynamischen und komplexen Beziehungsgeflechte zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Systemen zu verstehen [11].

Zahlreiche Wissenschaftler argumentieren bereits seit Anfang der 1970er Jahre, dass die Transformation in Richtung Nachhaltigkeit ein Systemdenken erfordert, in welchem die sozialen Systeme (Gesellschaften, Unternehmen) als Teil der natürlichen Systeme (Umwelt) betrachtet werden und die Abhängigkeit der Wirtschaft von der Umwelt anerkannt wird [12-15]. Diesem Verständnis folgend ist ein Unternehmen dann „nach-

haltig“, wenn es im Rahmen seiner Wertschöpfung für Kunden und weitere Stakeholder die Grundlagen der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Systeme, auf denen es basiert, unbeschadet lässt oder diese sogar regeneriert [16]. Bei diesem Verständnis wird der vorher skizzierte Ansatz des Leistungsvergleichs ökologischer Indikatoren mit Vorperioden oder anderen Unternehmen durch die Frage abgelöst, ob ein Unternehmen mit seiner Geschäftstätigkeit im Einklang mit systemischen und damit zukunftsrelevanten Nachhaltigkeitsgrenzen liegt („enkeltaugliche Strategie“) bzw. wie weit es davon entfernt ist. Ökologische Ziele würden nicht nur dann mit I.4.0 verknüpft, wenn es von relevanten Interessengruppen des Unternehmens wie Kunden, Investoren oder Banken gefordert und zur Steigerung des Unternehmenswerts erforderlich ist („Shareholder Value“). Auch das Schaffen von „Shared Value“ im Sinne eines „Win-Win“ von Umwelt und Wirtschaft durch I.4.0-basierte Effizienzverbesserungen oder geringeren Material- und Energiekosten, um damit finanzielle Effekte am Markt zu erzielen, wäre hier nicht ausreichend. Vielmehr wird im Kontext systemischer Nachhaltigkeit mit I.4.0 ein Wertschöpfungsprozess angestrebt, der im Einklang mit ökologischen und sozialen Systembedingungen ist („Future Value“), da dies als Voraussetzung für die Zukunftsfähigkeit von Unternehmen gesehen wird [17]. Die drei skizzierten Sichtweisen sind in Bild 1 dargestellt.

Überprüft werden kann der skizzierte „Einklang“ mithilfe sogenannter Nachhaltigkeitsprinzipien (NPs) des Framework for Strategic Sustainable Development. Hierbei handelt es sich um eine wissenschaftlich basierte Festlegung von „Systembedingungen“ für ökologische und soziale Nachhaltigkeit, die von der Organisation The Natural Step entwickelt und seit fast drei Jahrzehnten kontinuierlich verbessert wurden. Die Wissenschaftler argumentieren, dass diese Definition von Nachhaltigkeit die notwendigen

Literatur

[1] Bitkom e.V.; VDMA e.V.; ZVEI e.V.: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0. URL: www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/I/industrie-40-verbaendeplattform-bericht.pdf?__blob=publicationFile&v=1, Abrufdatum 20.09.2021.

[2] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. URL: www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf, Abrufdatum 20.09.2021.

[3] Stock, T.; Obenaus, M.; Kunz, S.; Kohl, H.: Industry 4.0 as Enabler for a Sustainable Development: A Qualitative Assessment of its Ecological and Social Potential. In: Process Safety and Environment Protection, Vol 118 (2018), S. 254-267.

[4] Stock, T.; Seliger, G.: Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. In: Procedia CIRP (2016) 40, S. 536-541.

[5] Bonilla, S. H.; Silva, H. R. O.; Terra da Silva, M.; Franco Goncalves, R.; Sacomano, J.B.: Industry 4.0 and Sustainability Implications: A Scenario-Based Analysis of the Impacts and Challenges. In: Sustainability 10 (2018) 3740, S. 1-24.

[6] Beier, G.; Niehoff, S.; Xue, B.: More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things? In: Appl. Sci. (2018) 8, S. 219.

[7] Shrouf, F.; Miragliotta, G.: Energy management based on Internet of Things: Practices and framework for adoption in production management. In: J. Clean. Prod. (2015) 100, S. 235-246.

[8] Ellen MacArthur Foundation: Intelligent Assets: Unlocking the circular economy potential. URL: www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/intelligent-assets, Abrufdatum 18.09.2021.

[9] Bressanelli, G.; Adrodegari, F.; Perona, M.; Saccani, N.: Exploring How Usage- Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies. In: Sustainability (2018) 10, S. 639.

Bedingungen festlegt, die erfüllt werden müssen, um die systematische Zerstörung unserer ökologischen und sozialen Systeme zu verhindern [19, 20]. Im Folgenden wird auf die drei ökologischen NPs fokussiert. Diese besagen, dass in einer nachhaltigen Gesellschaft die Natur

1. nicht einer systematischen Zunahme der Konzentration von Stoffen unterliegt, die der Erdkruste entnommen wurden, z. B. Schwermetalle und fossile Brennstoffe;
2. nicht einer systematischen Zunahme der Konzentration von menschengemachten Stoffen unterliegt, z. B. Kunststoffe und Dioxine;
3. nicht einer systematischen Zunahme die Zerstörung durch physikalische Einwirkungen unterliegt, z. B. Abholzung der Wälder und Überfischung.

Strategic Lifecycle Assessment von I.4.0

Die Methode des „Strategic Life Cycle Assessment“ (SLCA) ermöglicht eine Wirkungsanalyse hinsichtlich ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit von Produkten und Dienstleistungen anhand der NPs über den gesamten Lebenszyklus [21]. Sie stellt eine qualitative Form von Life Cycle Assessment (LCA) dar, mit der explizit auf die genannten Nachhaltigkeitsprinzipien referenziert wird. LCAs ermöglichen es Unternehmen im Allgemeinen „Hot Spots“ ihrer ökologischen Auswirkungen zu identifizieren, um Entscheidungen auf der Grundlage eines ganzheitlichen

Verständnisses ihrer Aktivitäten zu treffen [22]. Nach Wissen der Autoren ist dies die erste Anwendung der SLCA-Methode für die Analyse der Wirkung von IoT-Anwendungen der I.4.0 auf systemische Nachhaltigkeitsbedingungen.

Mithilfe der SLCA werden in den unterschiedlichen Stufen der Wertschöpfungsketten eines Unternehmens sowie entlang der Wertschöpfungsketten von beteiligten Unternehmen ökologische Einflüsse analysiert, die durch die Entwicklung und Anwendung von I.4.0 entstehen. Dies entspricht einer Betrachtung von Scope 1, 2 und 3 aus dem Greenhouse Gas Protocol [23], die jedoch auf alle ökologischen Auswirkungen gemäß den skizzierten NPs angewendet wird.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurden mithilfe einer systematischen Literaturrecherche für den Zeitraum von 2015 bis 2020 in den Datenbanken ‚Web of Science‘ und ‚ABI/INFORM Global‘ 25 IoT-Anwendungsmöglichkeiten identifiziert. Deren ökologischen Auswirkungen wurden entlang der gesamten Wertschöpfungskette eines fiktiven produzierenden Unternehmens analysiert und anhand der NPs bewertet. Die SLCA kann mithilfe einer Matrix dargestellt werden, in der die verschiedenen Phasen des Lebenszyklus der Produkte und Dienstleistungen auf der horizontalen Achse und die drei NPs entlang der vertikalen Achse dargestellt sind. Teilergebnisse dieser Analyse sind in Bild 2 veranschaulicht und nachfolgend erläutert. Sie beleuchten beispielhaft die vorher dargestellte systemische Nachhaltigkeitsperspektive von

[10] Steffen, W.; Rockström, J.; Richardson, K.; Lenton, T. M.; Folke, C.; Liverman, D.; et al.: Trajectories of the earth system in the Anthropocene. Proceedings of the National Academy of Sciences 115 (2018) 33, S. 8252-8259.

[11] Holling, C. S.: Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. In: Ecosystems (2001) 4, S. 390-405.

[12] Daly, H. E. (Hrsg): Toward a steady-state economy. San Francisco, USA 1973.

[13] Barbier, E.: The concept of sustainable economic development. Environmental Conservation 14 (1987) 2, S. 101-110.

[14] Giddings, B.; Hopwood, B.; O'Brien, G.: Environment, economy and society: fitting them together into sustainable development. Sustainable Development 10 (2002) 4, S. 187-196.

[15] Senge, P. M.; Smith, B.; Kruschwitz, N.; Laur, J.; Schley, S.: The Necessary Revolution: How Individuals and Organizations Are Working Together to Create a Sustainable World, Doubleday, New York, USA 2018.

[16] Schaltegger, S.; Hansen, E.; Lüdeke-Freund, F.: Business Models for Sustainability. Origins, Present Research, and Future Avenues (Editorial). In: Organization & Environment 29. Jg. (2016) 1, S. 3-10.

Bild 2: Exemplarische Wirkungsanalyse von Anwendungen des IoT in der I.4.0 auf ökologische Nachhaltigkeit entlang der Wertschöpfungskette.

Lebenszyklusphasen	Rohmaterialbeschaffung	Produktion	Transport	Nutzung	Entsorgung/Wiederverwertung
IoT-Anwendungseffekte	Reduzierter Ressourcenverbrauch durch verbesserte Ressourceneffizienz	Verbesserte Energieeffizienz in der Fertigung	Verringerte Emissionen durch effizientere Tour- und Routenplanung	Personalisierte Smart Products	Durchgängiges Produktdesign für Wiederverwertung und Recycling
Nachhaltigkeitsprinzip 1	X	X	X	✓/X	✓
Nachhaltigkeitsprinzip 2		X	X	✓/X	✓
Nachhaltigkeitsprinzip 3	X				

Legende:
 Nachhaltigkeitsprinzip 1: In einer nachhaltigen Gesellschaft unterliegt die Natur nicht einer systematischen Zunahme der Konzentration von Stoffen, die der Erdkruste entnommen wurden, z. B. Schwermetalle und fossile Brennstoffe.
 Nachhaltigkeitsprinzip 2: In einer nachhaltigen Gesellschaft unterliegt die Natur nicht einer systematischen Zunahme der Konzentration von menschengemachten Stoffen, z. B. Kunststoffe und Dioxine.
 Nachhaltigkeitsprinzip 3: In einer nachhaltigen Gesellschaft unterliegt die Natur nicht einer systematischen Zunahme der Zerstörung durch physikalische Einwirkungen, z. B. Abholzung der Wälder und Überfischung.
 X = Anwendung verstößt gegen das Nachhaltigkeitsprinzip | ✓ = Anwendung ist im Einklang mit dem Nachhaltigkeitsprinzip