

Ist Industrie 4.0 schon veraltet?

Die EU-Kommission in ihrer unübertrefflichen Weisheit hat im letzten Jahr Industrie 5.0 ausgerufen. Auf den ersten Blick wirkt das logisch, denn der Begriff Industrie 4.0 ist schon über zehn Jahre alt. Bei Software ist es ja auch üblich, alle paar Jahre ein neues Release heraus zu bringen.

Hier ist allerdings die Frage berechtigt, ob es sich bei Industrie 5.0 wirklich um ein neues Major Release handelt. In der letzten Ausgabe von Industrie 4.0 Management wurde dies bereits angerissen. Nach den Vorstellungen der EU-Kommission stellen Aspekte der Nachhaltigkeit, der Mensch-Zentrierung und der Resilienz die neuen Funktionen von Industrie 5.0 dar.

Meiner Meinung nach, hat die EU-Kommission sich hier nicht gründlich genug mit Industrie 4.0 auseinandergesetzt. Ökologische Fragestellungen wie Ressourcenknappheit, hohe Energiepreise, eine schlechter werdende Versorgungsqualität und härtere Anforderungen an Verbraucherschutz und Regulierung sind ja gerade Anforderungen, mit denen Industrie-4.0-Fabriken viel besser fertig werden als klassische zentral organisierte Fabrikstrukturen.

Daneben muss natürlich auch die Frage beantwortet werden, ob das Release 4.0 nicht einfach ausgelassen und gleich das Release 5.0 installiert werden kann. Dies betrifft die Umsetzung von Industrie 4.0 in den Unternehmen. Wie hoch ist der Grad an Selbstorganisation und Autonomie tatsächlich? Daran kann meines Erachtens beurteilt werden, ob Industrie 4.0 in den Fabriken angekommen ist. Leider ist die Antwort nicht sehr positiv. Trotz starker Anstrengungen von Anbietern, Regierung und Forschung ist Industrie 4.0 in vielen Unternehmen noch nicht weitgehend umgesetzt. Viele Unternehmen kämpfen noch mit der Digitalisierung des Shop Floors und sehen selbstorganisierte Produktionsprozesse und neue Geschäftsmodelle in weiter Ferne.

Wir erarbeiten am Zentrum Industrie 4.0 Potsdam gerade einen Reifegrad für Industrie 4.0, der neben der Smart Factory auch die Smart Supply Chain, Smart Products und neue Geschäftsmodelle umfasst. Wir sehen in diesen Bereichen eine in dieser Reihenfolge abnehmende Umsetzungstendenz. Und daher wird Industrie 5.0 noch eine Zeit lang warten müssen.

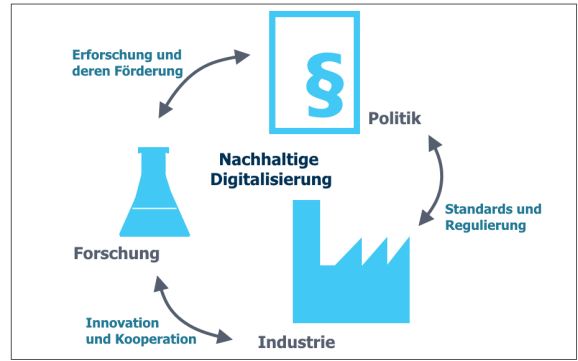



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau ist Inhaber des Lehrstuhls für Wirtschaftsinformatik, insb. Systeme und Prozesse an der Universität Potsdam und Herausgeber von **Industrie 4.0 Management** und **Fabriksoftware**.

NACHHALTIGKEIT

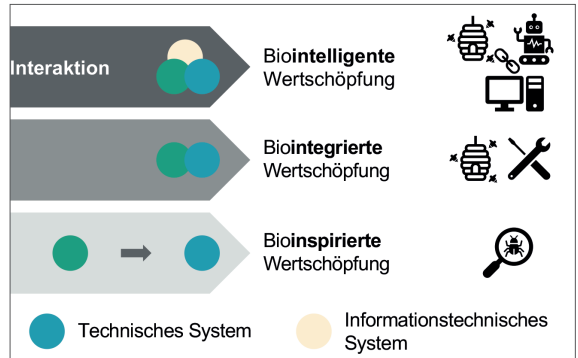
F. Schmelzle, S. Kunkel, M. Matthess, G. Beier
Digitalisierte Industrie und Nachhaltigkeit – Zwischen Synergie und Dissonanz 7 ▶

Die digital vernetzte Industrie stellt eines der zentralen Transformationsfelder für eine nachhaltige Digitalisierung dar.



J. von Geibler, J. Brandt, L. Waltersmann, R. Miehe, R. Tesch
Industrie 4.0 im Kontext systemischer Nachhaltigkeit - Anwendung des Strategic Lifecycle Assessment zur Bewertung des Beitrags von Industrie 4.0 für eine nachhaltige Entwicklung 45

Unter Einbeziehung von Industrie-Experten werden die Evolutionsstufen der Autonomie logistischer Prozesse definiert, Voraussetzungen zum Erreichen einzelner Stufen beschrieben und Herausforderungen auf dem Weg diskutiert.



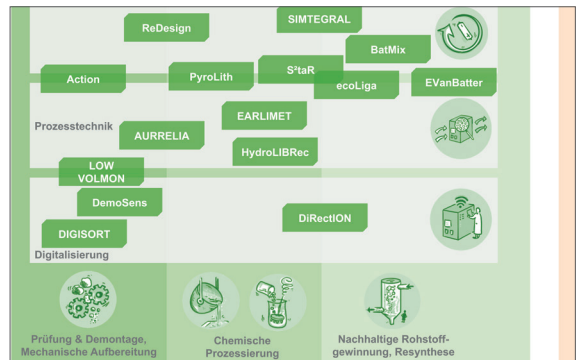
A. Lange, P. Gering, N. Oertwig, T. Knothe
Bionik in Ganzheitlichen Produktionssystemen – Bionische Verfahren zur Unterstützung von Prozessstandardisierung in KMUs 57 ▶

Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) rufen nicht nur in Großunternehmen positive Effekte hervor – auch in kleinen und mittleren Unternehmen schlagen sich diese wie beispielsweise verbesserte Liefertermintreue nieder.

KREISLAUFWIRTSCHAFT

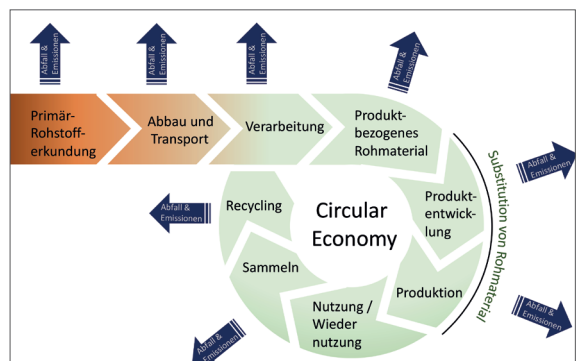
C. Herrmann, M. Mennenga, A. Kaluza, B. Friedrich, E. Rombach, A. Michaelis, M. Partsch, C. Wolf
Nachhaltiges Recycling von Traktionsbatterien – Forschungsansätze im Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) 12 ▶

Im Zuge des Wandels zur Elektromobilität steht die Nutzung von Batteriezellen als Energiespeicher vor einem exponentiellen Wachstum. Ziel in Forschung und Industrie ist es, den gesamten Lebenszyklus dieser Batteriezellen vor dem Hintergrund globaler Nachhaltigkeitsziele zu gestalten und die notwendige Rohstoffversorgung sicherzustellen.



T. Berndt, C. Lang-Koetz, S. Rummel
Circular Economy – Chance für Innovation – Eine Methode zur kreativen Entwicklung von Circular-Economy-Geschäftsmodellen 33 ▶

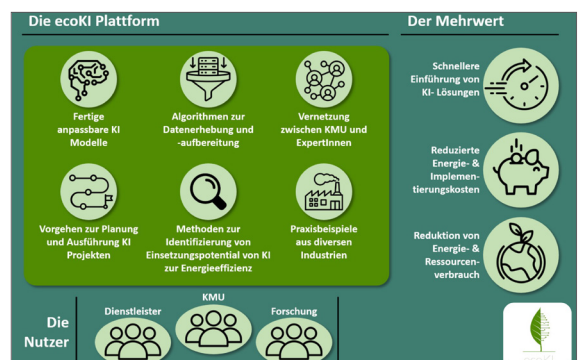
Die Circular Economy gilt als eines der vielversprechendsten Konzepte auf dem Weg hin zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise – welche die Gesellschaft zunehmend von Unternehmen einfordert. Die Erwartungshaltungen an eine verantwortungsvolle Unternehmensausrichtung steigen.



ENERGIE

D. Bode, H. Ekwaro-Osire, K.-D. Thoben
Anforderungen an den Einsatz von Digitalisierung und KI – Anwendungen zur Steigerung der Energieeffizienz 17 ▶

Die Anforderungen an den Einsatz und die reibungslose Integration von KI in Unternehmensprozesse sind komplex und vielfältig. Verschiedene Beteiligte müssen bei der Erfassung der Anforderungen integriert und unterschiedliche Technologieaspekte und Geschäftsfelder beachtet werden.



D. S. Stephan, U. Werner, C. Fichter
Electrical and Hydrogen Microgrid – Energy Control of a Self-Sufficient Supply System Based on a Combined Electrical and Hydrogen Distribution Grid 28

Das autarke Microgrid besteht aus der Einspeisung aus erneuerbaren Energiesystemen, dem Stromnetz und dem H²-Gasnetz mit einem flüssigen oder gasförmigen Energieträger. Im Gegensatz zu einem Inselnetz kann das Microgrid parallel zum Netz betrieben werden.

S. Hritz-Hagenah, G. Schories, M. Murck, S. Greiner
Grüner Wasserstoff und seine Derivate – Bremerhaven auf dem Weg zur Klimaneutralität 37 ▶

Dem Klimawandel muss entschlossen entgegengetreten werden, um zukünftiges Handeln nachhaltig und zukunftsorientiert zu gestalten. Mit Wasserstoff kann Energie gespeichert werden und damit bietet das leichteste aller Elemente die Möglichkeit, gewonnene Sonnen- und Windenergie zu konservieren.

INDUSTRIE 4.0

T. Wunder, K. P. Funk
Industrie 4.0 im Kontext systemischer Nachhaltigkeit – Anwendung des Strategic Lifecycle Assessment zur Bewertung des Beitrags von Industrie 4.0 für eine nachhaltige Entwicklung 23 ▶

Im Beitrag wird untersucht, inwieweit die Methode des „Strategic Lifecycle Assessment“ für eine weitergehende Bewertung des Lösungsbeitrags von Industrie 4.0 für eine nachhaltige Entwicklung geeignet ist.

E. Haberstock, P. Preuss
Digitale Transformation in internationalen Konzernen – Identifizierung von Best-Practice-Maßnahmen am Beispiel der MANN+HUMMEL Gruppe 53

Mit dem Einsatz von Smart Factories möchten Unternehmen eine Produktionsumgebung schaffen, in der Fertigungsmaschinen und Logistiksysteme selbständig miteinander kommunizieren und kundenindividuelle Produkte herstellen.

G. Schuh, A. Gützlaff, M. Schmidhuber, J. Fulterer, M.-F. Stroh, J. Hicking
Reif für Industrie 4.0? – Voraussetzungen für die erfolgreiche Digitalisierung in der Produktion 61 ▶

Industrie 4.0-Projekte bleiben häufig in einem Prototypenstatus und liefern keinen langfristigen Mehrwert. Die Lösung stellt eine durchgängige digitale Systemlandschaft bestehend aus einer vernetzten, digitalen Infrastruktur und einer an Industrie 4.0 ausgerichteten Unternehmensorganisation dar.

GRÜNE LOGISTIK

M. Petersen, R. van Almsick
Maßnahmen und Anreize zur Senkung von CO₂-Emissionen – Wie kleine Transportdienstleister und ihre Auftraggeber einem klimafreundlichen Straßengüterverkehr näherkommen können 41 ▶

Die Logistik macht etwa 10 % des globalen CO₂-Ausstoßes aus. Der größte Anteil entfällt auf den Straßengüterverkehr. Von Interesse ist somit, wie kleine Transportdienstleister und ihre Auftraggeber einen Beitrag zur Erreichung globaler Klimaziele leisten können.

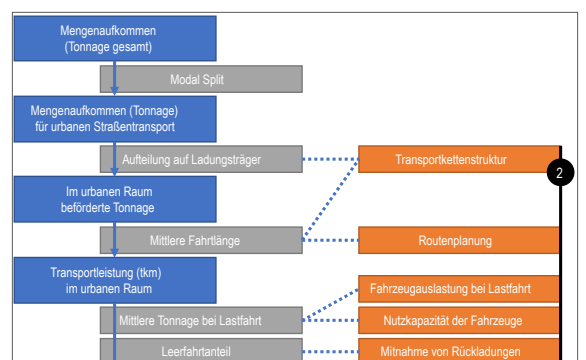
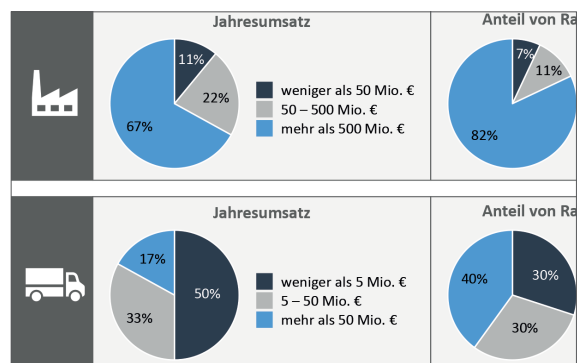
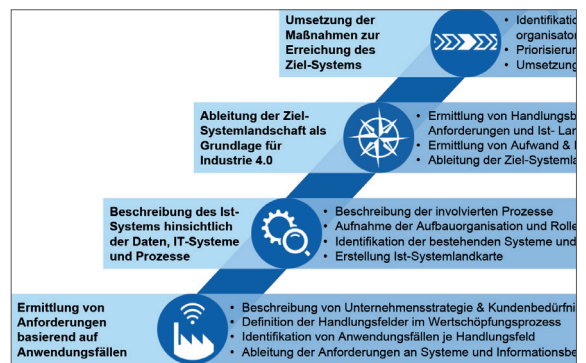
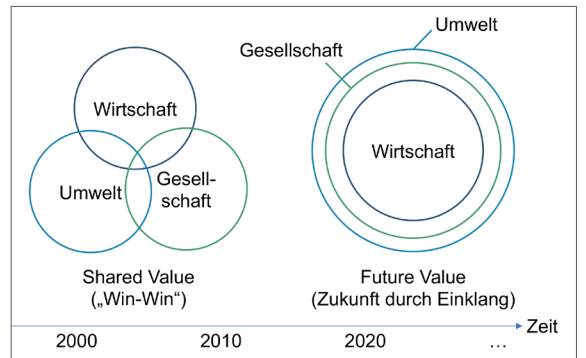
S. Stütz, D. Kirsch
Off-Peak-Logistik – Ein Ansatz zur Emissionssenkung in der Urbanen Logistik 48

Mit der Off-Peak-Logistik wird ein Anwendungsfeld für E-Lkw vorgestellt, das in verschiedenen Ländern Diesel-Lkw verschlossen ist und zur Verbreitung von E-Lkw genutzt werden kann

SERVICE

Editorial 3
Dank an Reviewer 2021 6
Rezensionen 66
Vorschau auf Industrie 4.0 Management 2/2022 67
Impressum 67

Titel: © Mediaparts / stock.adobe.com



DANKSAGUNG

Die Redaktion bedankt sich ganz herzlich bei allen Gutachtern, die Beiträge für die Industrie 4.0 Management Ausgaben im Jahr 2021 bewertet haben. Namentlich werden nachstehend die Reviewer genannt, die der Veröffentlichung zugestimmt haben:

- **Prof. Dr.-Ing. Harald Augustin**, ESB Business School
- **Prof. Dr. Bernhard Axmann**, Technische Hochschule Ingolstadt
- **Prof. Dr.-Ing. Carolin Bahr**, Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft
- **Prof. Dr. Wilhelm Bauer**, Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO
- **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl**, Universität Stuttgart
- **Prof. Dr.-Ing. Jens Bechthold**, Fachhochschule Südwestfalen
- **Prof. Dr. Oliver Bendel**, FHNW, Fachhochschule Nordwestschweiz
- **Dr. Christoph Bentele**, Grub Bahmann Rechtsanwaltspartnerschaft mbB
- **Dr. Benedikt Berger**, Ludwig-Maximilians-Universität München
- **Prof. Dr.-Ing. Thomas Bergs**, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie (IPT)
- **Prof. Dr. Daniel Beverungen**, Universität Paderborn
- **Dr. Hubert Biedermann**, Montanuniversität Leoben Universitätsprofessor
- **Prof. Dr.-Ing. Franz Bischof**, Ostbayrische technische Hochschule Amberg-Weiden
- **Prof. Dr. Sabine Bohnet-Joschko**, Universität Witten/Herdecke
- **Prof. Dr. Wolfgang Boos**, RWTH Aachen
- **Prof. Dr. Wolfgang Bremer**, Technische Hochschule Nürnberg
- **Prof. Dr.-Ing. Lennart Brumby**, Duale Hochschule Baden-Württemberg Mannheim
- **Dr. Aljoscha Burchardt**, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz DFKI
- **Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Buxbaum**, Hochschule Niederrhein
- **Prof. Dr.-Ing. Bernd Denkena**, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen (IFW)
- **Prof. Dr. Christian Drumm**, Fachhochschule Aachen
- **Prof. Dr. Rainer Eber**, Hochschule Aalen
- **Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Michael Eßig**, Universität der Bundeswehr München
- **Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay**, Helmut-Schmidt-Universität-IFW Universität Hannover
- **Prof. Dr.-Ing. Bernd Finkemeyer**, Fachhochschule Kiel
- **Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner**, Technische Universität München
- **Prof. Dr.-Ing. Jörg Franke**, Friedrich-Alexander-Universität-Erlangen
- **Prof. Dr. Andreas Gadatsch**, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg
- **Dr.-Ing. Marc Gebauer**, Brandenburgische Technische Universität
- **Prof. Dr. Werner Gleißner**, FutureValue Group AG
- **Prof. Dr. Rainer Griebhammer**, Öko-Institut e.V.
- **Prof. Dr.-Ing. Willibald Günthner**, Technische Universität München
- **Prof. Dr. Michael Hauth**, Hochschule Mannheim
- **Prof. Dr.-Ing. Peter Heisig**, Fachhochschule Potsdam
- **Dr. Thomas Heller**, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML) Sichere Informationstechnologie SIT
- **Prof. Dr. Sven Hermann**, Northern Business School
- **Prof. Dr.-Ing. Thomas Andreas Herrmann**, Ruhr-Universität Bochum
- **Prof. Dr. Georg Herzwurm**, Universität Stuttgart
- **Prof. Dr.-Ing. Henning Hinderer**, Hochschule Pforzheim
- **Prof. Dr.-Ing. Sven Hinrichsen**, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
- **Prof. Dr.-Ing. Ralf Holzhauer**, Westfälische Hochschule
- **Prof. Dr.-Ing. Christian Hopmann**, RWTH Aachen
- **Prof. Dr. Christoph Hugi**, FHNW, Fachhochschule Nordwestschweiz
- **Prof. Dr.-Ing. Carlos Jahn**, Technische Universität Hamburg
- **Prof. Dr. Germann Jossé**, Hochschule Worms
- **Prof. Dr. Matthias Klumpp**, Universität Göttingen
- **Prof. Dr. Ralf Knackstedt**, Universität Hildesheim
- **Prof. Dr.-Ing. Christian Köhler**, Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes
- **Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Konen**, Technische Hochschule Köln
- **Univ.-Prof. Ing. Mag. Dr. Otto Krickl**, Karl-Franzens-Universität Graz
- **Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter**, Ruhr-Universität Bochum
- **Prof. Dr. Claus Lang-Koetz**, Hochschule Pforzheim
- **Prof. Dr. Christian Lebrecht**, Hochschule Koblenz
- **Prof. Dr. Thomas Liebetruith**, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg
- **Prof. Dr. Michael Lorth**, Technische Hochschule Köln
- **Prof. Dr. Dr. Peter Maab**, Universität Bremen
- **Prof. Dr. Martin Manns**, Universität Siegen
- **Prof. Dr.-Ing. Dominik Tobias Matt**, Freie Universität Bozen
- **Prof. Dr. Christian Matt**, Universität Bern
- **Prof. Dr. Christoph Meinel**, Hasso-Plattner-Institut
- **Prof. Dr.-Ing. Tobias Meisen**, Bergische Universität Wuppertal
- **Prof. Dr. Markus Merkel**, Hochschule Aalen
- **Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich**, Technische Universität Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen
- **Prof. Dr. Stefan Minner**, Technische Universität München
- **Prof. Dr. Martin G. Möhrle**, Universität Bremen
- **Prof. Dr. K.-R. Moll**, Technische Universität Bremen
- **Prof. Dr. rer. pol. Kai Neumann**, Hochschule Wismar
- **Prof. Dr. Oliver Niggemann**, Helmut-Schmidt-Universität
- **Prof. Dr. Gudrun Oevel**, Universität Paderborn
- **Prof. Dr.-Ing. Boris Otto**, Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik (ISST)
- **Dr. Hansjürgen Paul**, Westfälische Hochschule
- **Prof. Dr. Sachar Paulus**, Hochschule Mannheim
- **Prof. Dr. Jan Paulus**, Technische Hochschule Nürnberg
- **Prof. Dr.-Ing. Matthias Pfeffer**, IPL Beratung GmbH
- **Prof. Tobias Popovic**, Hochschule für Technik Stuttgart
- **Prof. Dr. Thorsten Posselt**, Fraunhofer IMW
- **Prof. Dr.-Ing. Patrick Pötters**, Hochschule Koblenz
- **Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe**, Technische Universität Dortmund
- **Prof. Dr. Peter Radgen**, Universität Stuttgart
- **Prof. Dr.-Ing. Oliver Riedel**, Universität Stuttgart, Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen
- **Prof. Dr. Maximilian Röglinger**, Universität Bayreuth
- **Dr. Bernd Rosemann**, Universität Bayreuth
- **Prof. Dr.-Ing. Martin Ruskowski**, Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI)
- **Prof. Dr. Gunter Saake**, Universität Magdeburg
- **Prof. Dr. Gerrit Sames**, Technische Hochschule Mittelhessen
- **Prof. Dr. Alexander Sauer**, Universität Stuttgart
- **Prof. Dr. Michael Schaffner**, FOM Hochschule für Berufstätige
- **Prof. Dr. Daniel Schallmo**, Hochschule Neu-Ulm
- **Prof. Dr. Katja Schimmelpfeng**, Universität Hohenheim
- **Prof. Dr. Klaus-Jürgen J. Schmidt**, IPL Institut für Produktions- und Logistiksysteme
- **PD Dr. habil Meike Schröder**, Technische Universität Hamburg – Institut für Logistik und Unternehmensführung
- **Prof. Dr. Günther Schuh**, RWTH Aachen
- **Prof. Dr.-Ing. Holger Schütt**, Hochschule Bremerhaven
- **Prof. Dr. Sabine Seufert**, Universität St. Gallen
- **Prof. Dr. Christoph Siepermann**, Hochschule Albstadt-Sigmaringen
- **Dr.-Ing. Wolfgang Steger**, Technische Universität Dresden
- **Univ.-Prof. Dr. rer. pol. Dirk Stelzer**, Technische Universität Ilmenau
- **Prof. Dr. Volker Stich**, FIR e.V. an der RWTH Aachen
- **Prof. Dr. Wolfgang Stölzle**, Universität St. Gallen
- **Prof. Dr.-Ing. habil. Sascha Stowasser**, ifaa – Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e. V.
- **Prof. Dr.-Ing. Frank Straube**, Technische Universität Berlin
- **Prof. Dr. Christian Stummeyer**, Technische Hochschule Ingolstadt
- **Prof. Dr.-Ing. Sven Tackenberg**, Technische Hochschule Ostwestfalen Lippe
- **Prof. Dr.-Ing. Iman Taha**, Fraunhofer-Einrichtung für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV
- **Prof. Dr. Maja Temerinac-Ott**, Hochschule Furtwangen
- **Prof. Dr. Frédéric G. Thiesse**, Universität Würzburg
- **Prof. Dr. rer. nat. Stephan Trahasch**, Hochschule Offenburg
- **Dr.-Ing. Johannes Wagner**, Universität Siegen
- **Prof. Dr. Grit Walther**, RWTH Aachen
- **Prof. Dr. Kirstin Weber**, Hochschule für angewandte Wissenschaften Würzburg-Schweinfurt
- **Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel**, Universität Kassel
- **Prof. Dr. Matthias G. Wichmann**, Technische Universität Chemnitz - Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb
- **Prof. Dr. Reiner Wieland**, Bergische Universität Wuppertal
- **Prof. Dr. Karl Wilbers**, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- **Prof. Dr. Walter Wincheringer**, Hochschule Koblenz
- **Univ.-Prof. Dr. habil. Herwig Winkler**, Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg
- **Prof. Dr. Monika Wohlmann**, FOM Hochschulzentrum Düsseldorf
- **Prof. Dr. Heiko Wrobel**, Technische Hochschule Nürnberg
- **Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh**, Technische Universität München
- **Prof. Dr. Stephan Zalewski**, Universität Duisburg-Essen
- **Prof. Dr. Dieter Zöbel**, Universität Koblenz-Landau
- **Prof. Dr. phil. habil. Natascha Zowislo-Grünewald**, Universität der Bundeswehr München

Digitalisierte Industrie und Nachhaltigkeit

Zwischen Synergie und Dissonanz

Frieder Schmelzle, Stefanie Kunkel, Marcel Matthes und Grischa Beier,
Institute for Advanced Sustainability Studies IASS

Ein erheblicher Teil der globalen Treibhausgasemissionen wird durch die Industrie verursacht. Ihre Digitalisierung wird oft als Weg zu mehr Nachhaltigkeit gesehen. Zugleich zeichnen sich ökologische und soziale Risiken ab, deren Erforschung noch am Anfang steht. Bisherige Erkenntnisse zeigen multiple Herausforderungen auf. Soll eine nachhaltige Industrie 4.0 gelingen, müssen diese bereits konzeptionell einbezogen werden. Aufbauend auf einer konzeptionell-theoretischen Literaturanalyse präsentiert der folgende Beitrag aktuelle Entwicklungen aus Forschung, Wirtschaft und Politik. Wir beleuchten ausgewählte Ansätze, die auf eine nachhaltige Industrie 4.0 abzielen und skizzieren abschließend praktische Gestaltungsoptionen.

Bisherigen Anstrengungen zur Verringerung energiebezogener Treibhausgasemissionen zum Trotz, entstehen diese weiterhin zu etwa einem Viertel im industriellen Sektor [1]. Im Jahr 2017 galt die Industrie als Haupttreiber für Europas steigende Emissionen [2]. Nach wie vor sind weitreichende Veränderungen erforderlich, um die Klimaziele des Pariser Abkommens erreichen zu können [3]. Die Industrie befindet sich angesichts des gesamtgesellschaftlichen Imperativs in Richtung Nachhaltigkeit und der parallel stattfindenden Digitalisierung in einer Phase, die die Integration zweier Megatrends erfordert. Die *Ausgestaltung* der Digitalisierung wird dabei entscheidenden Einfluss darauf haben, ob sie eine nachhaltige Entwicklung befördern wird [4]. Drei Merkmale zeichnen eine digitalisierte Wirtschaft aus [4]: Zum einen verfügt sie (1.) über einen ausgeprägten Sektor für Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), der die benötigte technologische Infrastruktur bereitstellt. Auf ihrer Grundlage agieren (2.) „Digital-Unternehmen“, deren Wertschöpfungsmodelle fundamental auf digitalen Infrastrukturen aufbauen. Ein fließender Übergang besteht schließlich zu (3.) den „Digital-Anwendern“, welche ihre Geschäftsmodelle mit Hilfe der Digitalisierung umstrukturieren oder erweitern (ebd.). Hierzu gehören Unternehmen, die Elemente der Industrie 4.0 bereits implementiert haben.

In diesem Beitrag wird die digital vernetzte Industrie betrachtet. Sie stellt eines der zentralen Transformationsfelder für eine nachhaltige Digitalisierung dar [5]. Ziele dieses Beitrags ist es, das Spannungsfeld zwischen den beiden genannten Megatrends aufzuzeigen und mögliche Lösungsansätze für auftretende Konflikte zu beleuchten. Einerseits eröffnet die Industrie 4.0 Chancen für umweltschonendere Produktionsweisen, Managementkonzepte und Beiträge zur Energiewende. Andererseits zeichnen sich auch Risiken ab, zum Beispiel durch den ökologischen Fußabdruck der digitalen Technologien selbst. Aufbauend auf einer konzeptionell-theoretischen Literaturanalyse, den Erkenntnissen aus eigenen Forschungsarbeiten und aktuellen transdisziplinären Dialogprozessen sowie ausgewählten Initiativen aus Politik und Industrie kontrastieren wir Chancen und Risiken für mehr Nachhaltigkeit. Dabei muss der Blick auch auf indirekte, geografisch und zeitlich verteilte Effekte geweitet werden. Zuletzt werden politische Gestaltungsoptionen auf nationaler und europäischer Ebene skizziert.

Chancen der digitalisierten Industrie

Auf drei Ebenen erfährt die Industrie durch Digitalisierung besonders deutliche Veränderungen: 1.) Informations-

Digitalized Industry and Sustainability – Between Synergy and Dissonance

A considerable part of global greenhouse gas emissions is caused in the industrial sector. Its digitization is often seen as a means to increase sustainability. At the same time, ecological and social risks emerge. Their exploration is still in its infancy, however, previous findings point out multiple challenges. These must be conceptually taken into account in order to realize a sustainable industry 4.0. Building on a literature analysis, the following contribution presents current developments in research, industry, and policy. We shed light on a number

Keywords:

industry 4.0, sustainability, digitalization

Frieder Schmelzle arbeitet als wissenschaftliche Hilfskraft am IASS Potsdam in der Nachwuchsgruppe „Nachhaltigkeitsmanagement 4.0 (ProMUT)“.

Stefanie Kunkel und Marcel Matthes arbeiten als wissenschaftliche Mitarbeitende am IASS Potsdam in der Forschungsgruppe „Digitalisierung & Nachhaltigkeit“.

Dr.-Ing. Grischa Beier leitet am IASS Potsdam die Forschungsgruppe „Digitalisierung & Nachhaltigkeit“ sowie die Nachwuchsgruppe „Nachhaltigkeitsmanagement 4.0 (ProMUT)“.

Grischa.Beier@iass-potsdam.de
www.iass-potsdam.de/de/forschungsgruppe/
digitalisierung-nachhaltigkeit





Bild 1: Ausgewählte Zusammenhänge zwischen Industrie 4.0 und Nachhaltigkeit (Quelle: IASS Potsdam).

flüsse, 2.) Ressourcenströme und 3.) Wertschöpfungsmodelle [4]. Dabei ist die Annahme, dass hieraus insgesamt Ressourceneinsparungen resultieren, in Unternehmen weit verbreitet [6]. Die Erforschung von Nachhaltigkeitspotenzialen und -risiken steht jedoch noch am Anfang [7] und in Konzepten der Industrie 4.0 finden sich nur selten ökologische Gesichtspunkte wieder [8].

1.) Die digitale Erfassung von *Informationsflüssen* erleichtert die Abbildung von Produktionsprozessen, um diese besser verstehen und agiler steuern zu können. Neben betriebswirtschaftlichen Einsparpotenzialen bestehen somit Chancen, Rohstoff- und Energieverbräuche sowie damit einhergehende Treibhausgasemissionen zu reduzieren [9]. Stand-by-Zeiten und Transportwege können in verteilten Produktionssystemen durch Fernzugriff auf vernetzte Geräte, Maschinen und Standorte sowie ihre verbesserte Abstimmung untereinander minimiert werden. Cyber-Physische Produktionssysteme ermöglichen ihre effizientere Koordination [10]. Somit lässt sich bestenfalls der Einsatz von Materialien, Energie, aber auch von manuellen Tätigkeiten reduzieren [6]. Digitale Datenerfassung entlang industrieller Wertschöpfungsketten könnte zu mehr Nachhaltigkeit beitragen, indem die Umweltwirkungen von Gütern in einem sogenannten digitalen Zwilling abgebildet werden [11].

2.) Ressourcenflüsse, insbesondere klimarelevante Energie- und Rohstoffverbräuche, können im Rahmen eines betrieblichen Nachhaltigkeitsmanagements datengestützt aufgezeigt und idealerweise reduziert werden. Voraussetzung für eine effektive Analyse und umweltgerechte Optimierung von Unternehmensaktivitäten ist

nendere und langfristig günstigere Alternativen womöglich erst erkennbar.

3.) Wertschöpfungsmodelle sind in der digitalisierten Wirtschaft verstärkt dienstleistungsorientiert, so etwa im Rahmen der sogenannten Plattformökonomie [14]. Auch im Industriesektor sind Nachhaltigkeitsaspekte mit digitalen Plattformlösungen adressierbar, etwa über das Management von Energie- und Stoffströmen zwischen Produktionsstandorten [15] oder innerhalb großer Fertigungsanlagen. Unternehmensübergreifend eröffnen sich mitunter datenbasierte Geschäftsmodelle. Sharing-Angebote für Teil- und Tauschhandlungen lassen sich über Plattformen effizient aufeinander abstimmen. So können (zeitweise) ungenutzte Ressourcen verschiedenen Nutzenden zugänglich gemacht werden und bestehende Aktivitäten rohstoffschonender gestaltet werden [16].

Mit dem weiteren Voranschreiten der Energiewende und der Einbindung weiterer Sektoren darin wächst auch dort die Relevanz datengetriebener Lösungen. Die Integration kleinteiliger Erzeugungsstrukturen in bestehende Energiesysteme verlangt zunehmend anspruchsvolle und datengetriebene Koordinationsleistungen [17, 18, 19]. Auch in industriellen Fertigungssystemen kann ein digitalisiertes Energiemanagement helfen, Produktionsprozesse flexibel zu planen, zu überwachen und zu steuern (siehe z. B. [20, 21]). Vor dem Hintergrund des zukünftig stärker schwankenden Energieangebots leistet ein solches System gleichzeitig einen Beitrag zur Netzintegration und -stabilisierung, und somit letztendlich zu niedrigeren Energiekosten. Pechmann und Shrouf (2017) berichten

die Etablierung geeigneter Datenstandards [12]. Diese sollten Komptabilität zwischen Maschinen, Fabriken, Sektoren und Regionen gewährleisten. So wird ein niederschwelliger und effektiver Austausch der erforderlichen Informationen auf allen Ebenen ermöglicht. Insbesondere in der Fertigung ist dafür die Installation von Sensor- und Übertragungsarchitekturen erforderlich (siehe z. B. [13]). Detailliert erfasste ökologische Fußabdrücke von Dienstleistungs- und Produktlebenszyklen helfen, ein tieferes Verständnis für diese zu entwickeln. Dies macht schon

Literatur

- [1] IEA (International Energy Agency): Global energy-related CO₂ emissions by sector. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-by-sector>, Abrufdatum 08.10.2021.
- [2] Europäische Kommission: EU and the Paris Climate Agreement: Taking stock of progress at Katowice COP. Brüssel, 2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2018:716:FIN>, Abrufdatum 11.10.2021.
- [3] Sachs, J. D.; Schmidt-Traub, G. u. a.: Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals. In: *Nature Sustainability* 2 (2019) 9, S. 805-814.
- [4] Beier, G.; Fritzsche, K. u. a.: Grüne digitalisierte Wirtschaft?. Potsdam, 2020. URL: <http://doi.org/10.2312/iass.2020.017>, Abrufdatum 14.12.21.
- [5] BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit): *Umweltpolitische Digitalagenda*. Berlin, 2020. <https://www.bmu.de/publikation/umweltpolitische-digitalagenda/>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [6] Kiel, D., Müller, J. M. u. a.: Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. In: *International Journal of Innovation Management* 21 (2017) 8, S. 231-270.
- [7] Semeraro, C.; Lezoche, M. u. a.: Digital twin paradigm: A systematic literature review. In: *Computers in Industry* 130 (2021), 103469.

etwa, dass ein mittelständisches Metallverarbeitungsunternehmen in Deutschland potenziell rund 850 kWh seines täglichen Energiebedarfs verschieben kann, um einen niedrigeren Preis zu erzielen und zugleich das Versorgungsnetz zu entlasten [22]. Die engere Kopplung industrieller Anlagen an Energiesysteme, etwa über Power-to-X-Anwendungen, wird maßgeblich digital organisiert sein [18, 22, 23].

Risiken der digitalisierten Industrie

Neben den Chancen der Digitalisierung sind auch Umweltrisiken zu berücksichtigen. Materielle Grundlage moderner IKT sind häufig kritische Rohstoffe wie Lithium, Tantal oder Metalle der Seltenen Erden. Mit dem Einsatz digitaler Technologien steigt deren Verbrauch seit Jahren stark an [24]. Die Rohstoffe werden größtenteils in Ländern des Globalen Südens abgebaut. Oft herrschen Arbeitsbedingungen vor, die schädlich für Menschen und lokale Ökosysteme sind [25, 26]. In politisch instabilen Regionen bestehen gravierende soziale Risiken, wenn der Handel mit Konfliktmineralien z. B. auf Zwangsarbeit beruht, Korruption befeuert oder bewaffnete Konflikte finanziert [27]. Nach der Nutzung von Elektronik-Produkten ist das Rohstoffrecycling aus entsorgten Geräten in vielen Fällen nur schwer möglich oder unwirtschaftlich [24]. Ausgediente Hardware verursacht enorme Mengen an Elektroschrott, welcher dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen zufolge zu etwa 90 % illegal entsorgt wird [28].

Datenverarbeitung ist zudem energieaufwändig: Speicher- und Rechenkapazitäten werden elektrisch betrieben und müssen gekühlt werden. Im Jahr 2018 belief sich der Energiebedarf aller in Deutschland stationierten Server und Rechenzentren auf 14 Milliarden kWh [29]. Laut einer Metastudie des Branchenverbands *Bitkom* verursachen IKT bis zu 3,2 % aller menschengemachten Treibhausgasemissionen [30]. Gleichzeitig wird ein Anstieg ihres Energieverbrauchs erwartet, dessen Grad je nach Projektion variiert [4]. Um diesem Trend entgegenzuwirken, sind effizientere Lösungen zur Datenübertragung und -verarbeitung unumgänglich [31]. Auf Geschäftsmodellebene sind Substitutions- und Rebound-Effekte zu bilanzieren, die zur Folge haben, dass einzelne Güter und Dienstleistungen durch Digitalisierung zwar mitunter effizienter hergestellt, durch sinkende Preise jedoch absolut stärker konsumiert werden [16]. Die zusätzlichen Verbräuche können somit Vorteile in Gesamtbilanzen zunichtemachen.

Auch aus internationaler Perspektive zeichnen sich Risiken ab. Insbesondere in Weltregionen

mit geringen bis mittleren Einkommensniveaus sind digitale Technologien oft nur begrenzt implementierbar, da benötigte digitale Infrastruktur fehlt. Erst seit 2018 verfügt mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung über Internetzugang [33]. Dadurch ergeben sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Chancen von Digitalisierung in Industrieunternehmen. Es bleibt somit eine globale Herausforderung, dass sich Wertschöpfungs- und Produktivitätssteigerungen durch Digitalisierung auch in Ländern mit geringen und mittleren Einkommensniveaus entfalten [17].

Umsetzung und Gestaltung einer nachhaltigkeitsorientierten Industrie 4.0

Eine nachhaltigkeitsorientierte Industrie 4.0 kann nur durch das Zusammenspiel von Forschung, Industrie und Politik gestaltet werden. Zahlreiche Forschungsaktivitäten zielen auf die Entwicklung und Optimierung von Konzepten für grünere Fabriken ab. Untersucht wird beispielsweise, wie in der Industrie 4.0 schlanke Produktionssysteme mit Prinzipien der grünen Fertigung vereinbart werden können [34]. Konzepte und Werkzeuge zur Minderung energiebezogener Emissionen wurden bereits in vernetzten Produktionsstätten erprobt [35]. Andere Ansätze verfolgen die Abbildung von Fertigungsabläufen als digitale Zwillinge in Cloud-Strukturen. Als virtuelle Repräsentation physischer Prozesse wird diese parallele Simulation einem erweiterten Lebenszyklusmanagement zugänglich gemacht [36]. Vorausschauende Instandhaltung auf Basis digitaler Sensordaten kann Lebenszyklen von Produkten und Maschinen verlängern sowie Arbeitsbedingungen verbessern [37]. Mit Blockchain-Lösungen lassen sich Informationen entlang industrieller Lieferketten transparent und dezentral dokumentieren. Dies kann sowohl interne Kontrollen als auch externe Sozial- und Umweltberichterstattung stärken [38, 39].

Auch in der Industrie existieren entsprechende Initiativen. Als Unternehmensverband für IKT legt die *Global enabling Sustainability Initiative* (GeSI) einen Fokus auf die Förderung des Beitrags digitaler Technologien zu einer nachhaltigen Entwicklung. Für Industrieunternehmen steht ein Schwerpunkt der Potenziale im Zeichen von Transparenz und Nachvollziehbarkeit [40]. So soll zum Beispiel enger vernetzte Zusammenarbeit mit Partnerfirmen Transparenz in Lieferketten schaffen [1], um Handlungsoptionen für Unternehmen und Produktinformationen für die Endkundschaft aufzeigen zu können. Eine um-

- [8] Beier, G.; Ullrich, A. u. a.: Industry 4.0: How it is defined from a socio-technical perspective and how much sustainability it includes - A literature review. In: *Journal of Cleaner Production* 259 (2020), 120856.
- [9] Beier, G.; Niehoff, S. u. a.: Industry 4.0: A step towards achieving the SDGs? A critical literature review. In: *Discover Sustainability* 2 (2021), S. 1-21.
- [10] Waibel, M. W.; Steenkamp, L. P. u. a.: Investigating the Effects of Smart Production Systems on Sustainability Elements. In: *Procedia Manufacturing* 8 (2017): S. 731-737.
- [11] Barni, A.; Fontana, A. u. a.: Exploiting the Digital Twin in the Assessment and Optimization of Sustainability Performances. In: Jardim-Gonçalves, R.; Mendonça, J. P. u. a. (Hrsg.): *International Conference on Intelligent Systems (IS)*. Funchal, 2018.
- [12] Vogel-Heuser, B. Hess, D.: Industry 4.0-Prerequisites and Visions. In: *Transactions on Automation Science and Engineering* 13 (2016) 2, S. 411-413.
- [13] Tang, H.; Yang, X. u. a.: Effort at Constructing Big Data Sensor Networks for Monitoring Greenhouse Gas Emission. In: *International Journal of Distributed Sensor Networks* 10 (2014) 7, 619608.
- [14] Kenney, M.; Zysman, J.: The Rise of the Platform Economy. In: *Issues in Science and Technology* 32 (2016) 3, S. 61-69.
- [15] WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen): *Towards Our Common Digital Future*. Berlin, 2019. URL: <https://www.wbgu.de/en/publications/publication/towards-our-common-digital-future>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [16] Plepys, A.; Singh, J.: Evaluating the sustainability impacts of the sharing economy using input-output analysis. In: Mont, O. (Hrsg.): *A Research Agenda for Sustainable Consumption Governance*. Cheltenham, 2019.
- [17] GeSI (Global Enabling Sustainability Initiative): *Digital Solutions for Climate Action*. Brüssel, 2020. URL: <https://gesi.org/research/download/52>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [18] Agora Energiewende: *Energiewende 2030: The Big Picture - Megatrends, Ziele, Strategien und eine 10-Punkte-Agenda für die zweite Phase der Energiewende*. Berlin, 2017. URL: <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/energiewende-2030-the-big-picture/>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [19] Rohde, F.; Gährs, S. u. a.: *Wie viele Bits braucht die Energiewende?*. Berlin, 2020. URL: <https://www.nachhaltige-digitalisierung.de/bits-baeume/forum-bits-baeume.html>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [20] Heutmann, T.; Schmitt, R.: Energieorientierte Produktionsplanung und -steuerung – Höhere Energieeffizienz durch intelligentes MES-Softwaremodul. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 112 (2017) 9, S. 563-566.
- [21] Shrouf, F.; Miragliotta, G.: Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management. In: *Journal of Cleaner Production* 100 (2015), S. 235-246.

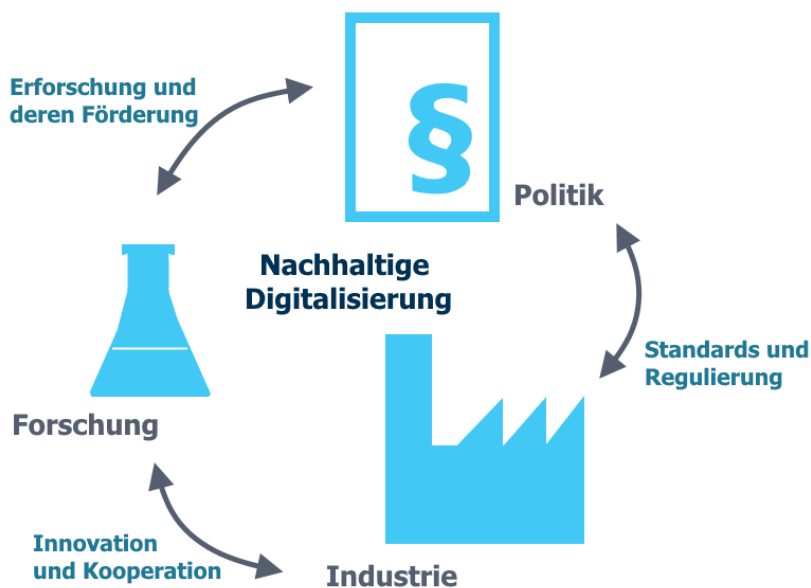


Bild 2: Beziehungen zwischen Gestaltungsfaktoren einer nachhaltig digitalisierten Industrie (Quelle: IASS Potsdam).

fangreiche Bereitstellung von Daten kann Vertrauen und Compliance unter allen Beteiligten erhöhen [41]. Beim Aufbau und Management digitaler Informationssysteme profitieren Unternehmen dabei von entsprechend qualifizierten Beschäftigten sowie von Forschungskooperationen und Audits durch Dritte [42].

Von politischer Seite werden beispielsweise industrie- und umweltbezogene Aktivitäten im Bereich der Künstlichen Intelligenz gezielt gefördert sowie eine verstärkte Nutzung digitaler Produkt- und Umweltdaten angestrebt [5, 43]. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) werden Angebote [2] zur Qualifizierung von Arbeitskräften in der industriellen Produktion angeboten, die speziell die Reduzierung von Material- und Energieverbräuchen durch digitale Technologie behandeln. Wird Wolfram, Zinn, Tantal oder Gold in die Europäische Union importiert, muss seit 2021 eine Sorgfaltsprüfung der Lieferketten erfolgen [23]. Nachhaltigkeitsbewusste nationale Produktpolitik orientiert sich häufig an europäischen Rechtsrahmen, es werden jedoch auch weitergehende Regelungen diskutiert, etwa bezüglich Herstellergarantien auf Wartbarkeit. Mit verpflichtenden Angaben zur Reparierbarkeit von Hardware hat zuletzt Frankreich einen Vorstoß in diese Richtung unternommen [44].

Innerhalb der Europäischen Union soll die Industrie durch politische Maßnahmen und einen angekündigten Rechtsrahmen ermächtigt werden, einen simultanen „doppelten Übergang“ hin zu digitalen und grüneren Strukturen erfolgreich zu meistern [45]. Der sogenannte europäische Grüne Deal soll eine Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenver-

brauch befördern und hierfür den ehrgeizigen Weg zu einer „klimaneutralen und kreislaufforientierten Wirtschaft“ ebnet [23]. Die Mobilisierung der Industrie und die Zuhilfenahme digitaler Instrumente werden explizit als Voraussetzungen hierfür angesehen (ebd.). In Europa zählen Verkehr und Energie zu jenen Sektoren, in denen digitale Lösungen besonders effektiv sein können, um diese Ziele zu erreichen [46].

Auch die an den Grünen Deal anschließende europäische Industriestrategie bekräftigt die Rolle der Digitalisierung für eine dekarbonisierte Wirtschaft, betont jedoch gleichzeitig, dass Kompetenzen in der Arbeitnehmerschaft aktuell noch nicht hinreichend darauf ausgerichtet sind [47]. Kleine und mittelständische Unternehmen sollen besondere Unterstützung erfahren. In der Produktpolitik verfolgt die Kommission die Etablierung flächendeckender Nachhaltigkeitsstandards [47]. Damit in Zusammenhang steht etwa das Bestreben auf eine höhere durchschnittliche Lebensdauer von Hardware sowie ihre Auslegung auf einfachere Wartung, Reparatur und Recycling [46].

Auch in vielen nicht-europäischen Ländern mit großen Industriesektoren gibt es Politiken oder Initiativen mit dem Anspruch, die Digitalisierung der Industrie voranzutreiben. Beispielhaft zu nennen wären hier die chinesische Strategie „Made in China 2025“, die „Digital Transformation Strategy“ in Brasilien – oder das „Industrial Internet Consortium“ in den Vereinigten Staaten. Nachhaltigkeit in der Industrie 4.0 ist jedoch ein Thema, welches aktuell beispielsweise in der internationalen Zusammenarbeit der EU noch keine deutliche Rolle spielt (vgl. [49]). Hier gilt es im Sinne einer globalen Nachhaltigkeitsstrategie geeignete Mechanismen zu erforschen und zu entwickeln, damit Erkenntnisse und Politiken für eine nachhaltige Industrie 4.0 auch international diskutiert und geteilt werden können.

Zusammenfassung und Ausblick

Die raschen und weitreichenden Auswirkungen der Digitalisierung auf Wirtschaft und Gesellschaft sind enorm. Während die Digitalisierung auf Unternehmensebene Chancen für Transparenz und Optimierung ökologischer Parameter bieten kann, stellt sie Gesellschaften und natürliche Ökosysteme vor große Herausforderungen. Um die digitalisierte Industrie mit den normativen Zielen nachhaltigen Wirtschaftens zu verknüpfen, ist eine bloße digitale Nachbesserung alter Praktiken nicht ausreichend. Stattdessen müssen nicht-nachhaltige Konsum- und Produk-

- [22] Pechmann, A.; Shrouf, F. u. a.: Load-shifting potential at SMEs manufacturing sites: A methodology and case study. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 78 (2017) C, S. 431-438.
- [23] Europäische Kommission: Der europäische Grüne Deal. Brüssel, 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [24] Marschneider-Weidemann, F.; Langkau, S. u. a.: Rohstoffe für Zukunftstechnologien. Berlin, 2016. URL: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccn/2016/Studie_Zukunftstechnologien-2016.pdf, Abrufdatum 14.12.2021.
- [25] Coderre-Proulx, M.; Campbell, B. u. a.: International Migrant Workers in the Mining Sector. Genf, 2016. URL: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/--ed_protect/--protrav/--migrant/documents/publication/wcms_538488.pdf, Abrufdatum 14.12.2021.
- [26] Manhart, A.; Vogt, R. u. a.: The environmental criticality of primary raw materials — a new methodology to assess global environmental hazard potentials of minerals and metals from mining. In: *Mineral Economics* 32 (2019) 1, S. 91-107.
- [27] Europäische Kommission: Verordnung über Mineralien aus Konfliktgebieten: Wissenswertes über die Verordnung. Brüssel, 2020. URL: https://ec.europa.eu/trade/policy/in-focus/conflict-minerals-regulation/regulation-explained/index_de.htm, Abrufdatum 13.12.2021.
- [28] UNEP (United Nations Environment Programme): Waste Crime – Waste Risks: Gaps in Meeting the Global Waste Challenge. Nairobi, 2015. URL: <https://repub.eur.nl/pub/99476>, Abrufdatum 14.12.2021.

tionsweisen transformativ verändert werden. Ohne gezielte Maßnahmen ist ein solcher Weg unwahrscheinlich [8]. Über die mit der digitalisierten Industrie einhergehenden indirekten Umwelteffekte, z. B. hinsichtlich Energie- und Materialeinsparungen, liegen bislang nur wenige gesicherte Erkenntnisse vor [50, 51].

Obwohl insbesondere eine integrierte Digitalisierung des Energiesektors und der industriellen Produktion großen Nutzen für mehr Nachhaltigkeit bringen könnte, werden Potenziale für Umwelt- und Klimaschutz bei der Umsetzung von Industrie 4.0 häufig nachrangig betrachtet [32]. Weiterführende Forschung in diesem Bereich sollte auf empirische und quantifizierbare Erkenntnisse abzielen, die konkrete Entscheidungshilfen ermöglichen. Um die gesamtgesellschaftlichen Potenziale einer nachhaltig gestalteten Digitalisierung realisieren zu können, müssen dabei die Perspektiven direkt und indirekt betroffener Stakeholder, insbesondere auch aus dem Globalen Süden, zwingend berücksichtigt werden [52]. Dies ist auch zur Erforschung der Bedingungen digitalisierter, globaler Wertschöpfungsketten wichtig. Neben technischen Herausforderungen der Datenintegration stellen die Bedingungen für interorganisationalen Informationsaustausch ein relevantes Forschungsfeld dar, ebenso wie die Rolle umfassender und einheitlicher politischer Rahmenbedingungen.

Politische Leitlinien für die Industrie sollten zum Ziel haben, nicht nur die wachsende digitalisierte Industrie in Deutschland und anderen Industrieländern nachhaltiger zu gestalten, sondern Nachhaltigkeit auch frühzeitig in den Industrialisierungsprozessen schnell wachsender Länder in Afrika, Südamerika oder Asien zu verankern [32]. Wo nachhaltigkeitsrelevante Effekte digitaler Lösungen nicht berücksichtigt werden, könnte ihr Preis zu späterer Zeit deutlich steigen. Wird die digitalisierte Industrie hingegen auf Basis fundierter wissenschaftlicher Erkenntnisse an den Zielen nachhaltiger Entwicklung der Vereinten Nationen ausgerichtet, kann sie industrielle Prozesse und Entwicklungen langfristig zukunftsfähig machen. Hierzu besteht reichlich Raum für Forschungsarbeit, die mit ambitionierten Initiativen aus Praxis und Politik Hand in Hand gehen sollte.

Schlüsselwörter:

Industrie 4.0, Nachhaltigkeit, Digitalisierung

- [29] Hintemann, R.: Effizienzgewinne reichen nicht aus: Energiebedarf der Rechenzentren steigt weiter deutlich an. Berlin, 2018. URL: <https://d-nb.info/1215359780/34>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [30] Bitkom (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V.): Klimaschutz Durch Digitale Technologien – Chancen Und Risiken. Berlin, 2020. URL: https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-05/2020-05_bitkom_klimastudie_digitalisierung.pdf, Abrufdatum 17.12.2021.
- [31] Andrae, A.: Comparison of Several Simplistic High-Level Approaches for Estimating the Global Energy and Electricity Use of ICT Networks and Data Centers. In: *International Journal of Green Technology* 5 (2019) 1, S. 50-63.
- [32] UNIDO (United Nations Industrial Development Organization): Accelerating clean energy through Industry 4.0 - Manufacturing the next revolution. Wien, 2017. URL: https://www.unido.org/sites/default/files/2017-08/REPORT_Accelerating_clean_energy_through_Industry_4.0.Final_0.pdf, Abrufdatum 14.12.2021.
- [33] ITU (International Telecommunication Union): For the first time, more than half of the world's population is using the Internet. URL: <https://www.itu.int/en/mediacentre/Pages/2018-PR40.aspx>, Abrufdatum 19.09.2019.
- [34] Aggarwal, A.; Gupta, S. u. a.: Adoption of smart and sustainable manufacturing practices: An exploratory study of Indian manufacturing companies. In: *Journal of Engineering Manufacture* (2021) August.
- [35] Pease, S. G.; Trueman, R. u. a.: An intelligent real-time cyber-physical toolset for energy and process prediction and optimisation in the future industrial Internet of Things. In: *Future Generation Computer Systems* 79 (2018), S. 815-829.
- [36] Židek, K.; Pitel, J. u. a.: Digital Twin of Experimental Smart Manufacturing Assembly System for Industry 4.0 Concept. In: *Sustainability* 12 (2020) 9, S. 1-16.
- [37] Jasiulewicz-Kaczmarek, M.; Legutko, S. u. a.: Maintenance 4.0 Technologies - New Opportunities for sustainability driven Maintenance. In: *Management and Production Engineering Review* 11 (2020) 2, S. 74-87.
- [38] Esmailian, B.; Sarkis, J. u. a.: Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. In: *Resources, Conservation and Recycling* 163 (2020), 105064.
- [39] Venkatesh, V. G.; Kang, K. u. a.: System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability. In: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 63 (2020), 101896.
- [40] GeSI (Global Enabling Sustainability Initiative); Deloitte: *Digital with Purpose: Delivering a SMARTer 2030*. Brüssel, 2019. URL: <https://gesi.org/research/download/36>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [41] abbour, C. J. C.; Fiorini, P. D. C. u. a.: Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. In: *Science of the Total Environment* 725 (2020) 138177, S. 1-14.
- [42] Bag, S.; Telukdarie, A. u. a.: Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. In: *Benchmarking: An International Journal* 28 (2018), S. 1410-1450.
- [43] Bundesregierung: *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie*. Berlin, 2018. URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-aktualisierung-2018-1559086>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [44] Kulbatzki, J.: Frankreich legt vor, wird die EU-Kommission nachziehen? URL: <https://netzpolitik.org/2021/right-to-repair-frankreich-legt-vor-wird-die-eu-kommission-nachziehen/>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [45] Europäische Kommission: *Aktualisierung der Industriestrategie von 2020: hin zu einem stärkeren Binnenmarkt für die Erholung Europas*. Brüssel, 2021. URL: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_21_1884, Abrufdatum 14.12.2021.
- [46] Europäische Kommission: *Gestaltung der digitalen Zukunft Europas*. Brüssel, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:67:FIN>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [47] Europäische Kommission: *Eine neue Industriestrategie für Europa*. Brüssel, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0102>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [48] Europäische Kommission: *Eine KMU-Strategie für ein nachhaltiges und digitales Europa*. Brüssel, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:103:FIN>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [49] Europäische Kommission: *Europe's strategy for international cooperation in a changing world*. Brüssel, 2021. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=COM%3A2021%3A0252%3AFIN>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [50] ritzsche, K.; Niehoff, S. u. a.: Industry 4.0 and Climate Change — Exploring the Science-Policy Gap. In: *Sustainability* 10 (2018) 4511, S. 1-17.
- [51] Weihe, C.: *Hinter den Bildschirmen - Energie- und Ressourcenbedarf der Digitalisierung*. URL: <https://www.oeko.de/e-paper/digitalisierung-konzepte-fuer-mehr-nachhaltigkeit/artikel/>, Abrufdatum 14.12.2021.
- [52] Renn, O.; Beier, G. u. a.: *The opportunities and risks of digitalisation for sustainable development: A systemic perspective*. In: *GAIA* 30 (2021) 1, S. 23-28.

Nachhaltiges Recycling von Traktionsbatterien

Forschungsansätze im Kompetenzcluster
Recycling & Grüne Batterie (greenBatt)

**Christoph Herrmann, Mark Mennenga, Alexander Kaluza, TU Braunschweig,
Bernd Friedrich, Elinor Rombach, RWTH Aachen University,
Alexander Michaelis, Mareike Partsch und Constantin Wolf, Fraunhofer IKTS**

Sustainable Recycling of EV Traction Batteries

In the course of the shift to electromobility, the use of battery cells as energy storage is facing exponential growth. The goal in research and industry is to design the entire life cycle of these battery cells in the light of global sustainability goals and to ensure the necessary supply of raw materials. In this context, the establishment of efficient recycling technologies plays a central role. In particular, there is a need for research into the further development of process routes according to technological, ecological, economic and social criteria. The competence cluster Recycling & Green Battery (greenBatt) addresses these challenges in 15 research projects. This article presents overarching solution approaches and project highlights.

Keywords:

traction batteries, recycling, process technology, digitalization, life cycle engineering

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann leitet das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik an der Technischen Universität Braunschweig sowie das Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST.

Dr.-Ing. Mark Mennenga ist stellvertretender Leiter und Abteilungsleiter System of Systems Engineering am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik an der Technischen Universität Braunschweig.

Alexander Kaluza, M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik an der Technischen Universität Braunschweig.

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Bernd Friedrich ist Institutsleiter des IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling der RWTH Aachen University.

Dr.-Ing. Elinor Rombach arbeitet als wissenschaftliche Angestellte und Lehrbeauftragte am IME Metallurgische Prozesstechnik und Metallrecycling der RWTH Aachen University.

Prof. Dr. rer. nat. Alexander Michaelis leitet das Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS Dresden und ist Lehrstuhlinhaber am Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Dresden.

Dr.-Ing. Mareike Partsch ist Abteilungsleiterin Mobile Energiespeicher und Elektrochemie am Fraunhofer IKTS Dresden.

Dipl.-Ing. Constantin Wolf ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Mobile Energiespeicher und Elektrochemie am Fraunhofer IKTS Dresden.

c.herrmann@tu-braunschweig.de
www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce
www.greenbatt-cluster.de

Im Zuge des Wandels zur Elektromobilität steht die Nutzung von Batteriezellen als Energiespeicher vor einem exponentiellen Wachstum. Ziel in Forschung und Industrie ist es, den gesamten Lebenszyklus dieser Batteriezellen vor dem Hintergrund globaler Nachhaltigkeitsziele zu gestalten und die notwendige Rohstoffversorgung sicherzustellen. Hierbei kommt der Etablierung leistungsfähiger Recyclingtechnologien eine zentrale Rolle zu. Insbesondere besteht Forschungsbedarf in der Weiterentwicklung von Prozessrouten nach technologischen, ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Kriterien. Das Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt) adressiert diese Herausforderungen in 15 Forschungsprojekten. Dieser Beitrag stellt übergreifende Lösungsansätze und Projekthighlights vor.

Leistungsfähige Energiespeicher sind eine Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität und für das Erreichen der gesteckten Klimaziele. Nach Szenarien der EU kann die jährliche benötigte Kapazität an Batteriezellen allein für Elektromobilität von derzeit 77 GWh auf 4.000 GWh im Jahr 2040 anwachsen [1]. Um einen Betrag zur Erreichung globaler Nachhaltigkeitsziele zu leisten, müssen diese Energiespeicher nicht nur technisch-wirtschaftlich, sondern auch im Hinblick auf ökologische und soziale Nachhaltigkeit überzeugen. Eine zentrale Voraussetzung hierfür sind Rohstoffe für Batteriezellen, welche in Europa zu großen Teilen importiert werden müssen. Durch Etablierung einer Circular Economy könnte die Nachfrage nach Batteriematerialien 2030 bereits zu etwa 10% aus Rezyklaten gedeckt werden [2, 3]. Die Ausschöpfung der Potenziale effizienter Recyclingtechnologien zur Rückgewinnung dieser Materialien ermöglicht so die Realisierung nachhaltiger Batterielebenszyklen mit reduzierten CO₂-Emissionen. Parallel können internationale Wettbewerbsvorteile durch die Senkung der Abhän-

gigkeit von Materialimporten erschlossen werden [2].

Nachhaltiges Recycling von Traktionsbatterien

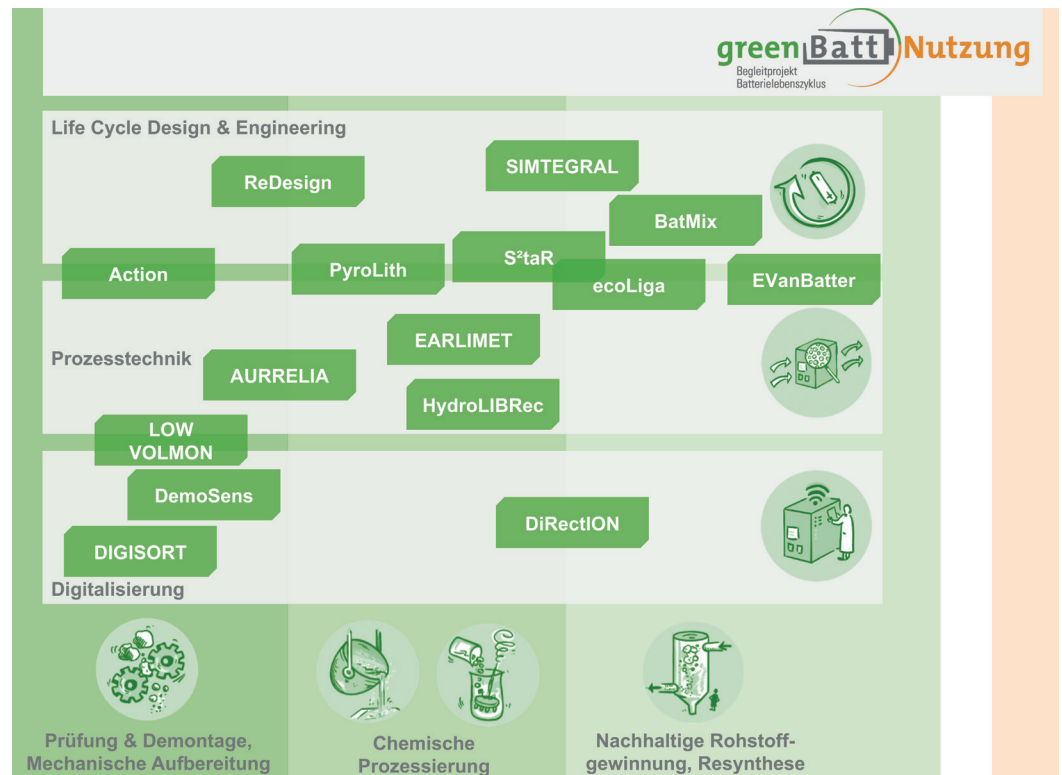
Recyclingprozessketten für Traktionsbatterien kombinieren verschiedene Prozessschritte. Diese umfassen Entlade- und Demontageprozesse, Prozesse für die Zerkleinerung, die mechanische Aufbereitung, die thermische Vorbehandlung sowie pyro- und hydrometallurgische Verfahren [4, 5]. Resyntheseprozesse ermöglichen zudem den Wiedereinsatz von Rezyklaten in der Batterieproduktion. Für das Recycling und die Resynthese können die zuvor genannten Prozessschritte in verschiedener Weise kombiniert werden [4, 5]. Hieraus resultieren verschiedene Prozessketten, welche in Konkurrenz hinsichtlich der Effizienz der Rückgewinnung einzelner Materialien sowie Wirtschaftlichkeit, sozialer Kriterien und resultierenden Umweltwirkungen stehen [4, 5]. Neben der Betrachtung von Batterien am Lebensende ist die Rückführung von Produktionsabfällen ein zentrales Thema, da durch den schnell-

len Markthochlauf von einer großen Verfügbarkeit dieser Materialien zu rechnen ist. Es wurden bereits vielschichtige Erkenntnisse für die industrielle Umsetzung nachhaltiger Batterien und ihres Recyclings hervorgebracht und teilweise in industrielle Anlagen umgesetzt. Jedoch bestehen weitere Forschungsbedarfe:

- Material- und variantenflexible, automatisierte Demontageverfahren
- Evaluierung der sicheren mechanischen Aufbereitung
- Optimierung der Materialausbeute und Reinheit der Produkte, sowie der Vermeidung von Abfällen und Abwässern in naschemischen und thermischen Prozessrouten
- Weiterentwicklung von Verfahren für die Aufnahme von Ausschüssen aus der primären Elektrodenfertigung
- Innovative Raffinationstechniken zur Rückführung der im Recycling generierten Produkte in die Fertigung neuer Batterien (Resynthese)
- Gestaltung nachhaltiger Wertschöpfungsketten basierend auf Detailmodellen der Energie- und Stoffströme für eine techno-ökonomische, soziale sowie ökologische Bewertung

Kompetenzcluster Recycling & Grüne Batterie (greenBatt)

Das im Jahr 2020 gestartete und langfristig angelegte Kompetenzcluster „Recycling & Grüne Batterie“ ist Teil des Dachkonzepts „Forschungsfabrik Batterie“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Es bündelt die Erfahrungen, Kompetenzen und anlagentechnischen Infrastrukturen von 34 Forschungsinstituten in Deutschland, welche in 16 Forschungsprojekten zusammenarbeiten. Die aktuelle Projektphase bis Februar 2024 wird mit 30 Millionen Euro gefördert. Diese wird begleitet von einem Managementkreis, welcher sich aus Expertinnen und Experten aus der Industrie zusammensetzt. Bild 1 zeigt horizontal die Strukturierung des Clusters entlang der Prozesskette des Recyclings und der Resynthese zum Schließen von Stoffkreisläufen sowie vertikal die Verortung zu drei zentralen Forschungsfeldern:



- Life Cycle Design & Engineering (Koordination Prof. Christoph Herrmann, TU Braunschweig)
- Prozesstechnik (Koordination Prof. Bernd Friedrich, RWTH Aachen University)
- Digitalisierung (Koordination Prof. Alexander Michaelis, Fraunhofer IKTS)

Die Projekte sind interdisziplinär an den Schnittstellen zwischen mehreren Prozessen und Forschungsfeldern angesiedelt. Das Begleitprojekt greenBattNutzung führt Teilergebnisse aller Projekte zu einer Gesamtsystemanalyse technologischer, ökologischer und ökonomischer Aspekte des End-of-Life von Batterien zusammen. Zusätzlich besteht eine enge Schnittstelle zum Kompetenzcluster Batterienutzungskonzepte (BattNutzung). Dort werden zusätzlich Strategien der Zweitnutzung von Batterien betrachtet.

Im Folgenden werden die drei Forschungsfelder des Clusters greenBatt sowie ausgewählte Projekte vorgestellt.

Forschungsfeld Prozesstechnik

Ziel ist es, für ausgewählte Prozessabschnitte der Recyclingkette innovative Lösungen zu entwickeln, die dem folgenden Anforderungsprofil gerecht werden:

- Anpassungsfähigkeit an verschiedene Batteriesysteme,
- Best State of the Art hinsichtlich Prozess-

Bild 1: Forschungsfelder (vertikal) und Hauptprozesse (horizontal) im Kompetenzcluster greenBatt.

- Qualität und Rückgewinnungsquoten,
- Ökonomische und ökologische Effizienz.

Die Komplexität der damit verbundenen Problematik verdeutlicht das in dem folgenden Bild gezeigte „battery wheel“: Aus der Vielzahl an Multi-Metall-Systemen innerhalb der beiden Prozessstufen des Batterierecyclings (innere Ringe in Bild 2) gilt es, die hierzu geeigneten mechanischen-, thermischen- und chemischen Einzelprozessmodule so anzupassen bzw. zu kombinieren, dass eine Integration in die bestehende Infrastruktur der Grundstoffproduktion (Ausgangsmaterialien, äußerer Ring in Bild 2) bestmöglich gelingt.

Das Ziel des hier exemplarisch vorgestellten Clusterprojekts EarLiMet (Early-Stage-Metallrückgewinnung für das energie- und ressourceneffiziente Recycling von Li-Ionen-Batterien) ist die Prozessentwicklung bis zum Demomaßstab (TRL 5/6) für eine frühzeitige nasschemische Lithiumentfernung inklusive eines hocheffizienten stofflichen Recyclings für Kobalt, Kupfer, Nickel sowie anfallende Prozesschemikalien und -wässer. Hierdurch sollen Schwächen bestehender Recyclingprozesse beseitigt werden, wie

- kaum kostendeckendes Recycling zur Sicherstellung der zukünftigen Versorgung mit wichtigen Batterie-Rohstoffen (Rohstoffpreise, -verfügbarkeit von Co, Ni, Li, P, Cu, ...) [6,7],
- suboptimale Recyclingquoten insbesondere für Lithium (Verzettelung/Verlust innerhalb mehrstufiger Prozessabfolgen) [8,9],
- Prozesschemikalien und -wässer werden kaum rezykliert [10].

Die Motivation für das Clusterprojekt ecoLiga (Recycling und Resynthese von Kohlenstoffmaterialien aus Lithium-Batterien: Rückgewinnung, Aufbereitung, Wiedereinsatz und angepasstes Zelldesign) fokussiert sich dagegen auf Graphit, der z. B. für die Elektrodenherstellung von zukunftssträchtigen Lithium-Schwefel-Batteriesystemen essenziell ist. Obwohl dieser Batterierohstoff wegen der Abhängigkeit von China (mit 69 % Top 1 Förderer; mit 71 % Top 1 Reservenhalter [11]) von der EU als versorgungskritisch eingestuft ist, wird er derzeit nicht recycelt. Dies liegt insbesondere daran, dass ein Graphitrecycling in der neuen EU-Batteriedirektive nicht berücksichtigt wird und somit ein echter politischer Anreiz fehlt. Das Gesamtziel der entsprechenden Forschungsarbeiten ist:

- Optimierung/Erweiterung des Lithiumbatterie-Recyclings durch die Prozessmodule Thermische Behandlung und Nasschemische Aufreinigung,
- Erzeugung eines High-Grade-RE-Graphits und dessen Wiedereinsatz in Lithium-Ionen-Batterien oder erneut in Lithium-Schwefel-Batterien (Recycling/Resynthese),
- Ganzheitliche Prozessbewertung (Life Cycle Assessment).

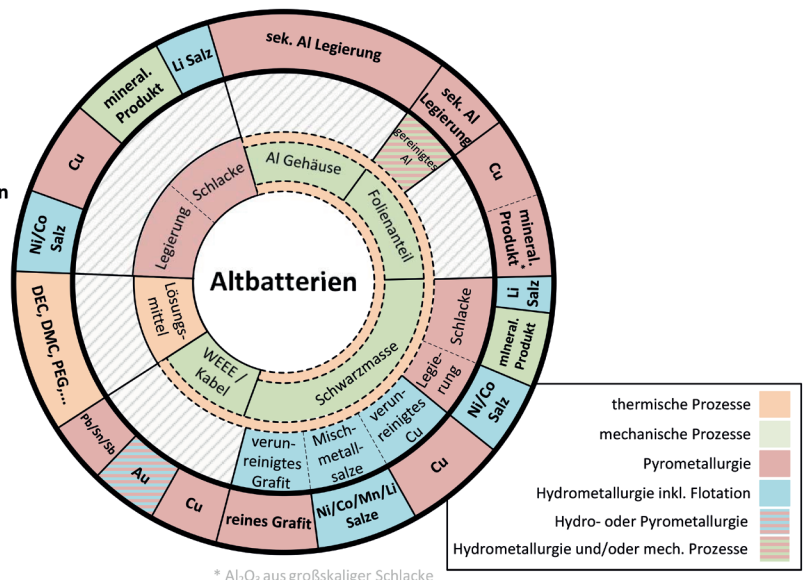
Diese zusätzlichen Anstrengungen zur Verbesserung der Recyclingeffizienz könnten durch eine angepasste Gesetzgebung manifestiert werden, z. B. durch eine Erweiterung der EU-Direktive mit einer Element Recovery Rate (ERR). Insofern besitzt dieses Projekt auch auf politischer Ebene richtungsweisendes Zukunftspotenzial.

Bild 2: Integrationsmöglichkeiten für Batterie-Recyclingprodukte in industrielle Wertschöpfungsketten der Metallherzeugung nach derzeitigem Stand der Technik [3].

innerer Ring:
1. Phase Batterierecycling

mittlerer Ring:
2. Phase Batterierecycling

äußerer Ring:
Ausgangsmaterial für Produktion



* Al₂O₃ aus großskaliger Schlacke

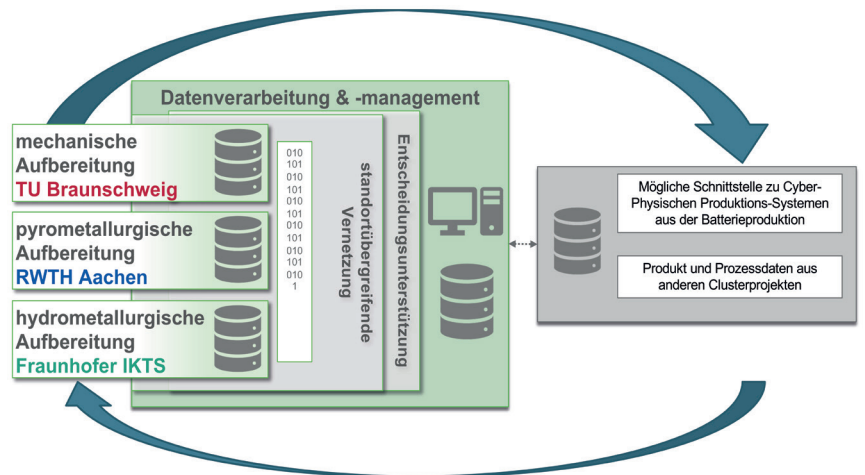
Forschungsfeld Digitalisierung

Ziel des Forschungsfelds ist es, Prozessschritte etablierter Recyclingrouten basierend auf Prozessdaten zu analysieren, um diese hinsichtlich technologischer, ökologischer und ökonomischer Zielgrößen weiterzuentwickeln. Eine enge Zusammenarbeit mit dem Forschungsfeld Prozesstechnik bildet die Grundlage zum Sammeln von Daten, um rekursiv Synergien mit der Prozesstechnik und dem Life Cycle Design & Engineering zu bilden. Kernfragen des Forschungsfelds sind:

- Konzeptionierung von Sensor- und Digitalisierungslösungen im industriellen Maßstab,
- Entwicklung von Auswertungsalgorithmen mithilfe des Data-Minings zum automatisierten Durchsuchen und Bewerten von Datensätzen,
- Aufbauen einer prozessübergreifenden Datenbasis des Batterierecyclings,
- Erstellung digitaler Zwillinge der Prozessmodule.

Beispielhaft für dieses Vorhaben ist das Projekt DiRectION (Data-Mining im Recycling von Lithium-Ionen-Batteriezellen). Wie in Bild 3 dargestellt, werden parallel an verschiedenen Teilen der Prozessroute des Clusters Elemente der Datenerfassung installiert und Methoden der Datenverarbeitung etabliert, um folgende Fragen zu beantworten:

- Durch welche Strategien der Datenerfassung und -verarbeitung können Zielgrößen

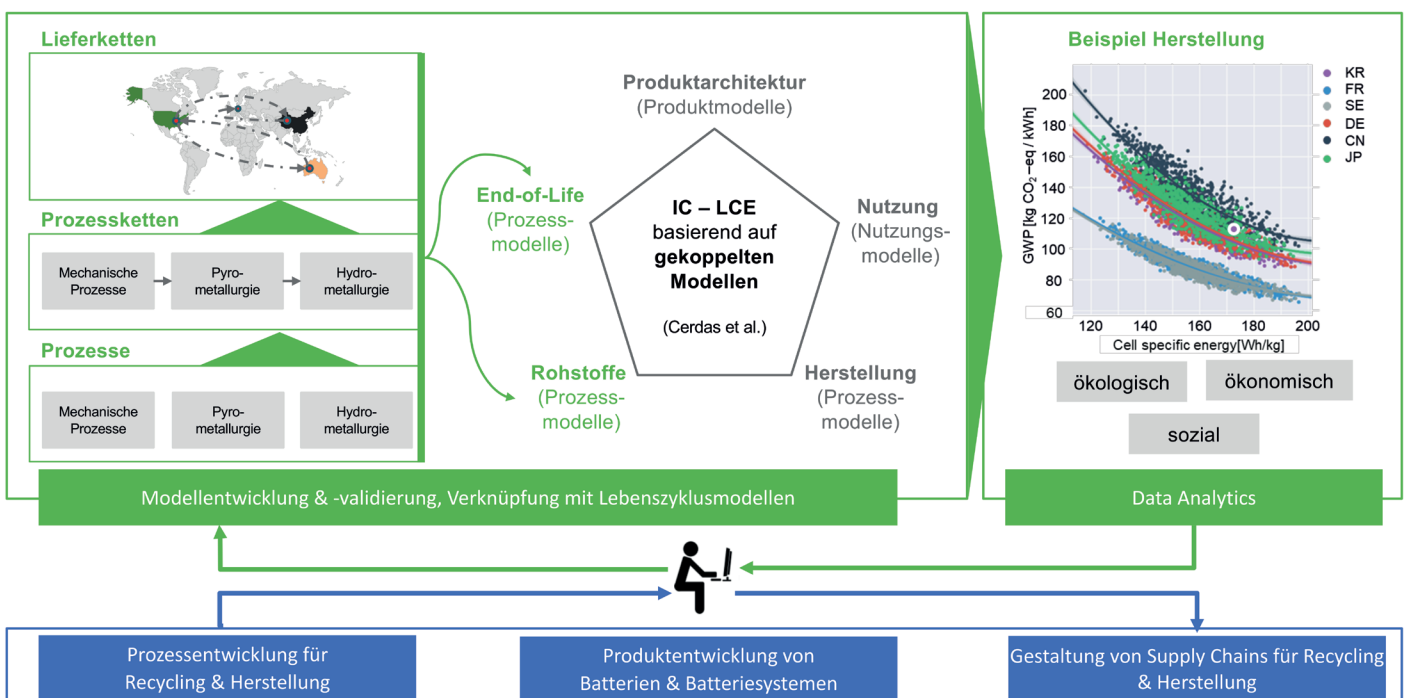


- der Effizienz und Qualität mess- und bewertbar gemacht werden?
- Welche Prozesse haben den größten Einfluss auf Material- und Energieeffizienz?
 - Welche Potenziale bieten Cyber-Physische Recycling-Systeme?

Dieser Informationsfluss führt zu einem permanenten Austausch entlang der gesamten Wertschöpfungskette und ist ein zentraler Faktor für die wirtschaftliche und sichere Aufbereitung von Lithium-Ionen-Batterien. So kann eine optimale Lösung die Zusammenarbeit von Logistik, Abfallentsorgung, Sortierung und Metallurgie erfordern. Eine wesentliche Herausforderung liegt in der digitalen Erkennung unterschiedlicher Zellchemien und -formate mit dem Ziel einer sauberen Stoffstromtrennung für ein energie- und rohstoffeffizientes Recycling in Primärrohstoffqualität. Solche Techniken können bspw. durch KI-basierte Regelsysteme flankiert

Bild 3: Anwendung von Digitalisierungsmöglichkeiten entlang der Prozessroute des Batterierecyclings im Projekt DiRectION.

Bild 4: SIMTEGRAL-Ansatz zur Multi-Skalen-Systemsimulation und Nachhaltigkeitsbewertung von primären und zirkulären Rohstoff-Supply-Chains für Lithium-Ionen-Batterien, basierend auf [12].



Literatur

- [1] Tsiropoulos, I.; Tarvydas, D.; Lebedeva, N.: Lithium-ion batteries for mobility and stationary storage applications Scenarios for costs and market growth for costs and market growth. European Commission 2018.
- [2] acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ (Hrsg.): Ressourcenschonende Batteriekreisläufe - Mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben. 2020.
- [3] Buchert, M.; Dolega, P.; Degreif, S.: Gigafactories für Lithium-Ionen-Zellen – Rohstoffbedarfe für die globale Elektromobilität bis 2050, Darmstadt 2019.
- [4] VDMA e.V.: Recycling von Lithium-Ionen-Batterien. URL: www.vdma.org/viewer/-/v2article/render/31877343, Abrufdatum 21.09.2021.
- [5] Friedrich, B.; Schwich, L.: New Science Based Concepts for Increased Efficiency in Battery Recycling. In: Editorial: Metals 11 (2021) 4, S. 533. <https://doi.org/10.3390/met11040533>.
- [6] Kushnir, D.: Lithium Ion Battery Recycling Technology 2015: Current State and Future Prospects. Environmental Systems Analysis. Chalmers University, Göteborg, Sweden. ESA REPORT # 2015:18, (2015).
- [7] Serna-Guerrero, R. et al.: A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective. Batteries 5 (4), S.68. DOI: 10.3390/batteries5040068, 2019.
- [8] Elwert, T.; Frank, J.: Auf dem Weg zu einem geschlossenen Stoffkreislauf für Lithium-Ionen-Batterien. Recycling und Sekundärrohstoffe (13), S. 524-530, Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH, ISBN 978-3-944310-51-0.
- [9] Schwich, L. et al.: Early-Stage Recovery of Lithium from Tailored Thermal Conditioned Black Mass Part I: Mobilizing Lithium via Supercritical CO₂-Carbonation. Metals 11 (2) S.177. DOI: 10.3390/met11020177, 2021.
- [10] Slabon, A. et al.: Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling. Adv. Energy Mater. 11 (43), S. 2003456. DOI: 10.1002/aenm.202003456, 2021.
- [11] Deutsche Rohstoffagentur: Batterierohstoffe für die Elektromobilität. DERA Themenheft: 26 S. - ISSN: 2193-5319. Berlin 2021.
- [12] Cerdas, F.; Thiede, S.; Herrmann, C.: Integrated Computational Life Cycle Engineering - Application to the case of electric vehicles, In: CIRP Annals - Manufacturing Technology, Elsevier B.V. Amsterdam 2018.

werden, die auf geometrische oder spektrale Informationen trainiert werden.

Forschungsfeld Life Cycle Design & Engineering

Ziel des Forschungsfelds ist es, Methoden und Werkzeuge zu einer lebenszyklusorientierten Gestaltung von Batteriezellen und deren Recyclingprozessen zu entwickeln. Für eine ganzheitliche Optimierung des Batterie-Lebenszyklus bedarf es der Bewertung von Performance-relevanten Parametern, wodurch ein auf quantitativen Nachhaltigkeitskriterien basierendes systematisches Life Cycle Engineering ermöglicht wird. Grundlage bilden quantitative Methoden des Life Cycle Assessments, Social Life Cycle Assessments sowie des Life Cycle Costings. Der Forschungsfokus liegt auf der Weiterentwicklung computerunterstützter Methoden und Werkzeuge, die es ermöglichen, die inhärente Komplexität in der Nachhaltigkeitsbewertung modellbasiert handhabbar zu machen. Dazu gehören der Umgang mit Daten- und Modellunsicherheiten (z. B. aufgrund unterschiedlicher Technologiereifegrade) sowie die Variabilität der Ergebnisse in Abhängigkeit von externen Einflussgrößen (z. B. aufgrund unterschiedlicher Alterungsprozesse) [12].

Das Projekt SIMTEGRAL (Integrierte Multi-Skalen-Systemsimulation und Nachhaltigkeitsbewertung von primären und zirkulären Rohstoff-Supply-Chains für Lithium-Ionen-Batterien) setzt an der Weiterentwicklung computergestützter Methoden des Life Cycle Engineerings an. Wie in Bild 4 dargestellt, soll ein Multi-Skalen-Modell entwickelt werden, welches Prozess-, Prozessketten- und Lieferkettenmodelle kombiniert um eine integrierte Bewertung aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen (ökologisch, ökonomisch, sozial) zu ermöglichen. Auf dieser Basis sollen Handlungsempfehlungen auf Gestaltungsparameter der Ingenieurdisziplinen, z. B. dem Design von Lieferketten, abgeleitet werden. Wissenschaftliche Herausforderungen und Alleinstellungsmerkmale umfassen:

- Entwicklung validierter thermodynamischer, chemischer und physikalischer Prozessmodelle basierend auf Flow-Sheet-Simulationen und sowie neuartiger Model-

lierungsansätze für zirkuläre Batterierohstofflieferketten

- Kopplung dieser in einem Multi-Skalen-Modell und Verknüpfung mit computergestützten lebenszyklusorientierten Nachhaltigkeitsbewertung (IC-LCE) unter Berücksichtigung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen
- Generierung von Daten für Recyclingprozesse in bisher nicht vorhandenem Ausmaß und Qualität

Das hier exemplarisch vorgestellte Clusterprojekt ReDesign (Gestaltungsrichtlinien für die recyclinggerechte Konstruktion von Batteriesystemen) stellt einen weiteren Aspekt im Forschungsfeld dar. Hier werden Richtlinien zur demontage- und recyclinggerechten Gestaltung von Batteriezellen, -modulen und -systemen entwickelt. Folgende Teilziele werden verfolgt:

- Analyse aktueller Li-Ionen-Batteriesysteme und Kreislaufführungsoptionen
- Entwicklung einer spezifischen Tool-Box zur Unterstützung der Systemgestaltung
- Identifikation, Analyse und Bewertung von Geschäftsmodellen zur Stützung der Kreislaufführung von Batteriesystemen

Weitere Informationen

Über die dargestellten Projekte hinausgehend adressieren die Forschungsprojekte im Kompetenzcluster greenBatt weitere Herausforderungen des Batterierecyclings. Eine Übersicht über diese Inhalte bietet der Online-Auftritt unter greenbatt-cluster.de. Im Zuge der Clusterlaufzeit bietet das Cluster regelmäßig Möglichkeiten zum Austausch mit der Industrie in Form von Workshops, Schulungen und Industrietagen.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Kompetenzclusters Recycling & Grüne Batterie (greenBatt). Das zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 03XP0302 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Schlüsselwörter:

Traktionsbatterien, Recycling, Prozesstechnik, Digitalisierung, Life Cycle Engineering

Anforderungen an den Einsatz von Digitalisierung und KI

Anwendungen zur Steigerung der Energieeffizienz

Dennis Bode, Henry Ekwaro-Osire, BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH und Klaus-Dieter Thoben, Universität Bremen/BIBA

Energieeffizienz gewinnt eine immer stärkere Bedeutung in allen Branchen des produzierenden Gewerbes. Mit Technologien aus den Bereichen Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz (KI) können innovative Lösungen für eine energieeffizientere Herstellung beispielsweise durch eine KI-gestützte Prozessführung einen entscheidenden Beitrag zur Nachhaltigkeit und zur Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens leisten. Die Anforderungen an den Einsatz und die reibungslose Integration von KI in Unternehmensprozesse sind komplex und vielfältig. Verschiedene Beteiligte müssen bei der Erfassung der Anforderungen integriert und unterschiedliche Technologieaspekte und Geschäftsfelder beachtet werden. Gegenstand dieses Beitrags ist ein Vorgehen zur Erfassung dieser Anforderungen bei der Durchführung innovativer Digitalisierungs- und KI-Projekte zur Steigerung der Energieeffizienz im produzierenden Gewerbe.

Anwendungen von KI zur Steigerung der Energieeffizienz

Der Einsatz innovativer KI-Lösungen kann einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz produzierender Unternehmen leisten. Vor allem bei wechselnden Produktionsbedingungen bedingt durch schwankende Rohwarenqualität oder Umweltflüsse ist die kontinuierliche und dynamische Einstellung energieeffizienter Prozessparameter eine komplexe Aufgabe. Im Fokus der Unternehmen steht häufig vor allem die Sicherung der Produktqualität. Die datengetriebene Modellierung von Produktionsprozessen mit KI-unterstützten Modellen und anschließender Optimierung bezüglich der Produktqualität und des Energieverbrauchs kann unterstützen, die Energieeffizienz der Produktion zu verbessern.

Auch weitere Einsatzgebiete wie die KI-gestützte Identifizierung von Energieverbrauchs-optimalen Wartungsvorgängen für Produktionsanlagen, die

Erzeugung einer Energiedatentransparenz oder die modellbasierte Vorhersage von Energieverbräuchen erfordern den Einsatz komplexer Ansätze der künstlichen Intelligenz und Digitalisierung.

Motivation für eine gründliche Anforderungsanalyse

Die erfolgreiche Anwendung von KI zur Steigerung der Energieeffizienz wird zu Beginn eines Projekts durch eine zielgerichtete Anforderungsanalyse ermöglicht. Insbesondere bei Lösungsansätzen in den Bereichen Digitalisierung und KI ist dies wichtig, denn die Schnittstellen zu Mitarbeitenden und bestehender Infrastruktur sind hier besonders groß. Werden Bedürfnisse und technische Randbedingungen zu Beginn nicht beachtet und bei der Entwicklung nicht berücksichtigt, verringert dies den Nutzen und die Akzeptanz der entwickelten Lösung. Im schlechtesten Fall ist sogar der sinnvolle Einsatz im späteren Produktivbetrieb gefährdet. Vorhandene Energiesparpotenziale

Requirements for the Use of Digitization and AI

Innovative digital and AI solutions for more energy-efficient production can decisively contribute to the environmental impact and competitiveness of companies, especially in the manufacturing industry. Requirements for the functionality and implementation of these solutions are complex and diverse; multiple stakeholders need to be addressed when eliciting requirements and various technology and business aspects have to be considered. This article presents a procedure for requirements elicitation for energy efficiency digitalization and AI projects.

Keywords:

artificial intelligence, machine learning, energy efficiency, digitalization, sustainable production, requirement engineering



Dennis Bode, M. Sc. arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsbereich Informations- und kommunikationstechnische Anwendungen in der Produktion am BIBA.



Henry Ekwaro-Osire, M. Eng. arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsbereich Informations- und kommunikationstechnische Anwendungen in der Produktion am BIBA.



Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Thoben ist Professor für Integrierte Produktentwicklung an der Universität Bremen und Mitglied der Geschäftsführung des BIBA.

bod@biba.uni-bremen.de
www.biba.uni-bremen.de



können dann nicht wie geplant vollumfänglich ausgeschöpft werden.

Die Herausforderung bei der Anforderungsanalyse ist, dass die Mehrheit der Mitarbeitenden wenig oder keine Erfahrungen und Berührungspunkte mit KI vorweisen können. Das betrifft zum einen die Gruppe der Produktionsmitarbeitenden, die später mit der KI als Assistenz arbeiten sollen. Zum anderen haben dieses Defizit auch Führungskräfte, die auf Grundlage der angestrebten Lösung strategische Unternehmensentscheidungen treffen müssen. Im Gegensatz zu großen Unternehmen sind bei klein- und mittelständischen Unternehmen erschwerend häufig auch keine IT-Fachleute vorhanden, die spezialisiert auf den Einsatz von Digitalisierung und KI sind [1].

Dies führt zu der Herausforderung, dass die Mehrheit der eigenen Mitarbeitenden sehr starke Unterstützung bei der Definition von Anforderungen an Lösungen basierend auf KI und Digitalisierung benötigt. Denn durch das fehlende Verständnis der Funktionsweise ist auch die Vorstellungskraft bezüglich der Potenziale, Einschränkungen und Voraussetzungen beim Einsatz von KI gehemmt. Gerade diese Vorstellungskraft ist jedoch bei der Identifizierung von relevanten Anforderungen zwingend erforderlich. Die Anforderungen der Endnutzenden sind entscheidend für den Erfolg der Lösung und müssen daher gründlich aufgenommen werden.

Um dies zu unterstützen, wird in diesem Beitrag ein Vorgehen vorgestellt, das trotz der genannten Herausforderungen die Erstellung einer umfangreichen und detaillierten Anforderungssammlung ermöglicht.

Bestehende Methoden zur Anforderungserfassung

Requirements Engineering (RE) ist das Fachgebiet, das sich ausschließlich mit Anforderungen befasst. Der RE-Prozess besteht aus Erfassung, Analyse, Spezifikation, Validierung und Verifikation, und Verwaltung [2-4]. Dieser Beitrag behandelt die Erfassung insbesondere im Kontext von KI-Projekten. In der Literatur und Praxis sind bereits viele Erfassungsmethoden etabliert. Um das entwickelte Vorgehen der Autoren besser zu differenzieren, sind ausgewählte Vor- und Nachteile der gängigsten Methoden in Abbildung 1 gelistet und kategorisiert wie in [5].

Es sollte beachtet werden, dass jede Methode gewisse Vorteile in bestimmten Situationen bringt, und oft mehrere in Kombination verwendet wer-

den, da jede Methode auch gewisse Nachteile hat [5]. Nach Evaluierung der Methoden, haben die Autoren festgestellt, dass keine im Einzelnen optimal für diesen Kontext geeignet ist. Somit haben die Autoren ein neues Vorgehen aus einer Kombination und Anpassung der obigen Methoden entwickelt, das auf die beschriebene Problemstellung angepasst wurde. Dieses Vorgehen ist im folgenden Kapitel erläutert.

Vorstellung des entwickelten Vorgehens

Das entwickelte Vorgehen wird im Folgenden Schritt für Schritt vorgestellt und ist in Abbildung 2 dargestellt.

1. Identifizierung von Sichtweisen und Rollen

Wie bereits erwähnt ist die Gruppe der Beteiligten bei der Umsetzung von KI- und Digitalisierungsprojekten sehr vielfältig. Nach Analyse der Autoren müssen zumindest Entwickler*innen, Implementierer*innen und Nutzer*innen der zu entwickelnden Lösung einbezogen werden. Häufig können zudem innerhalb dieser übergeordneten Gruppierungen weitere unterschiedliche Rollen identifiziert werden. Alle diese Rollen haben eigene Aufgaben in Verbindung mit dem geplanten KI-Vorhaben und müssen in die Anforderungsanalyse einbezogen werden.

2. Definition von Kategorien

Nach dem Vorbild eines strukturierten Interviews werden im zweiten Schritt Kategorien definiert, für die Anforderungen gesammelt werden sollen. Auf die strikte Vorgabe von Fragen wird verzichtet, um den Anforderungsgeber*innen Flexibilität und Interpretationsspielraum der Kategorie für die eigenen Aufgaben einräumen zu können. Neben technischen Kategorien können hier auch betriebswirtschaftliche Aspekte oder Fragen der Nutzerfreundlichkeit betrachtet werden. Die Vorgabe von Kategorien ist aufgrund der häufig fehlenden Erfahrungen der Mitarbeitenden mit KI-Lösungen notwendig. Sie soll die Diskussion breit öffnen und den Anforderungsgeber*innen eine Hilfestellung geben, welche Themenfelder bei der Nutzung der KI betrachtet werden.

3. Durchführung eines Workshops

Nach der Definition der Rollen und der Aufstellung der Themenfelder werden die Anforderungen im Rahmen eines Workshops aufgenommen. An diesem Workshop müssen alle definierten Rollen mindestens durch eine Person vertreten sein.

Da den Personen die direkte Formulierung von Anforderungen an die KI-Lösung aufgrund der

Bild 1: Überblick über Techniken zur Ermittlung von Anforderungen einschließlich ausgewählter Beispiele für Vor- und Nachteile.

Kategorie	Methode	Vorteile	Nachteile
Traditionell	Interviews	<ul style="list-style-type: none"> • Erfassung detaillierter Informationen • Flexibler Ablauf • Offene Fragen 	<ul style="list-style-type: none"> • Antworten müssen interpretiert werden • Überwiegend qualitative Information
	Umfragen & Fragebögen	<ul style="list-style-type: none"> • Befragung vieler Personen in relativ kurzer Zeit • Spezifische Informationen können gezielt gesammelt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzung der Aussagen durch Vorgabe der Fragen • Teilnehmer*innen können Fragen anders interpretieren
Kollaborativ	Focus Groups	<ul style="list-style-type: none"> • Befragung mehrerer Stakeholder gleichzeitig • Erkenntnisse durch Interaktion zwischen Stakeholdern [6, 7] 	<ul style="list-style-type: none"> • Oft teuer oder nicht verfügbar • Gefahr von „Groupthink“
	Workshops	<ul style="list-style-type: none"> • Interaktiv • Erkenntnisse können gemeinsam mit NutzerInnen erarbeitet werden • Mehrere Nutzer*innen involviert 	<ul style="list-style-type: none"> • Benötigt weitere Methoden in Kombination um Anforderungen zu erheben
	Brain-storming	<ul style="list-style-type: none"> • Sammlung einer Vielfalt an Ideen • Alle TeilnehmerInnen tragen bei 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderation kann schwierig sein • Wenig Tiefe • Nachträgliche Aufbereitung notwendig
Prototypen	Prototypen	<ul style="list-style-type: none"> • Frühe Sammlung von Erfahrungen mit dem Produkt • NutzerIn kann Feedback geben 	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitintensiv/teuer • Oft nicht ausreichend realisierbar
Modellierung	Szenarien & Use Cases	<ul style="list-style-type: none"> • Weniger aufwendiger Ersatz für Prototyping • Abbildung vieler unterschiedlicher Situationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Oft schwierig, die richtigen Szenarien zu identifizieren
	Geschäftsprozesse	<ul style="list-style-type: none"> • Deutliche Spezifizierung von Geschäftszielen und -anforderungen. [8] • Anforderungen können gezielt auf Geschäftsprozesse zurückgeführt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Domänenwissen erforderlich • Detaillierte Modellerstellung ist zeitaufwendig
Kognitiv	Ontologien	<ul style="list-style-type: none"> • Gut nachverfolgbare Darstellung von Beziehungen zwischen den Anforderungen • Laufende Integration einer großen Menge unterschiedlicher Anforderungen [9] 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufwändige Erstellung, nicht besonders intuitiv zu lesen
Kontextuell	Ethnographie & Ethnomethodologie	<ul style="list-style-type: none"> • Besseres Verständnis der Beziehung zwischen den Nutzer*innen • Erfassung von Anforderungen die Nutzer*innen sonst nicht erwähnt hätten [10] 	<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugt eher Verständnis der Domäne als konkrete Anforderungen [11]
Agil	User Stories	<ul style="list-style-type: none"> • Ganzheitliches Verständnis der Anforderung, nicht nur technisches Verständnis 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse müssen in eine technische Anforderung übersetzt werden
	Mind Mapping	<ul style="list-style-type: none"> • Bringt Struktur wo viele Ideen durchmischt sind • Gut geeignet für Verarbeitung von bereits gesammelten Anforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beinhaltet meist nicht die Nutzer*innen • Benötigt weitere Methoden in Kombination um Anforderungen zu erheben
	Storytelling	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibler als User Stories • Nutzer*innen können aufeinander Wissen aufbauen 	<ul style="list-style-type: none"> • Benötigt gründliche Vorbereitung um nutzbare Ergebnisse zu garantieren

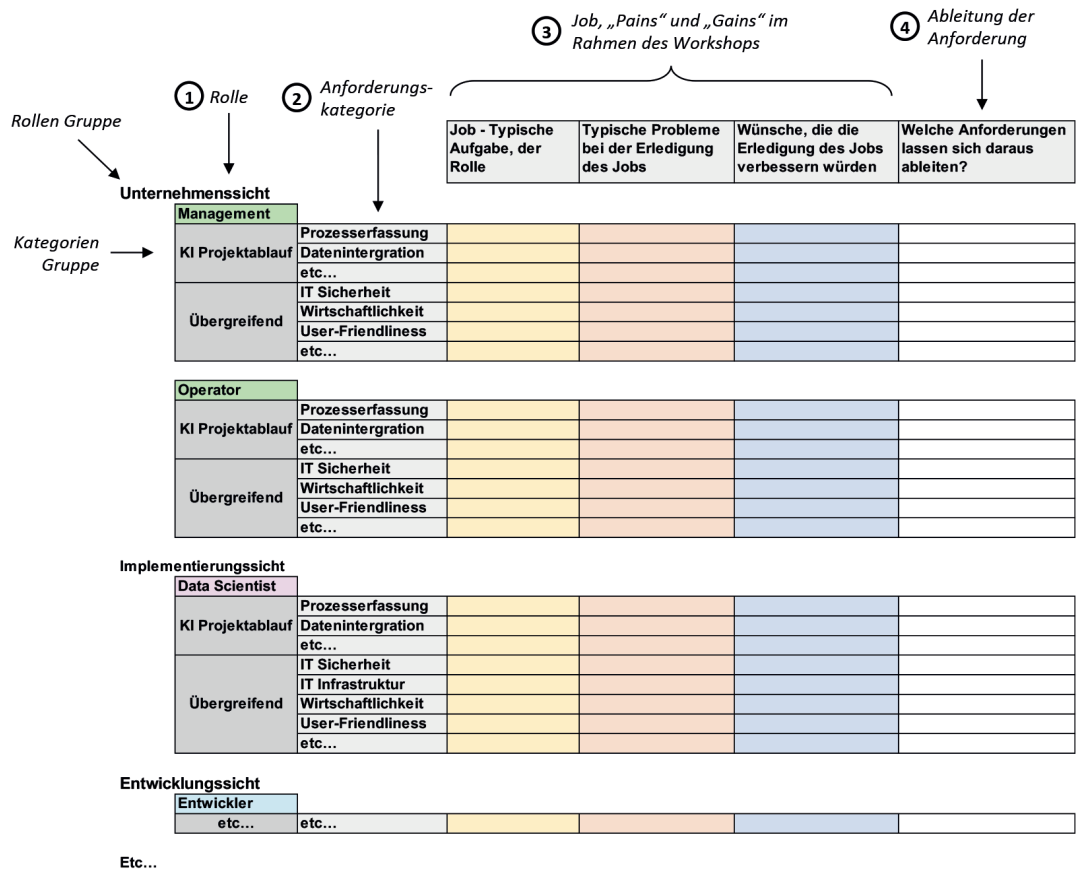


Bild 2: Grafische Darstellung der Schritte des Vorgehens anhand der Vorlage für die Anforderungs-Workshops.

mangelnden Erfahrung und des mangelnden Verständnisses der Funktionsweise häufig schwerfällt, werden die Anforderungen über eine Hilfestellung erhoben.

Vorbild sind Elemente der Methode des „Value Proposition Canvas“ [12], die in Kombination mit den Kategorien und Rollen angewandt werden. Dabei werden zunächst für jede Rolle „Jobs“ in den unterschiedlichen Kategorien definiert, die die Mitarbeiter*innen in Zusammenhang mit Digitalisierung und KI oder mit KI-Unterstützung erledigen müssen. Für jeden „Job“ überlegen die Mitarbeiter*innen, welche Schwierigkeiten („Pains“) sie bei Erledigung dieses Jobs haben. Als dritter Schritt wird angegeben, welche Maßnahmen und Ideen zur Erleichterung oder Beschleunigung dieses Jobs helfen würden („Gains“). Mit dieser stufenweisen Heranführung werden die Aspekte der eigentlichen Grundanforderungen schrittweise gemeinsam für die unterschiedlichen Rollen erhoben.

4. Ableitung der Anforderungen für die KI/ Digitalisierungs-Lösungen

Die resultierenden Anforderungen werden nach dem Workshop von KI-Expert*innen mit Kenntnissen aus dem RE auf Basis der „Jobs“, „Pains“ und „Gains“ abgeleitet und definiert. Idealerweise sind die KI-Expert*innen zugleich Moderator*innen des Workshops. Der Grund für die

Ableitung der Anforderung nach dem Workshop ist, dass die Nutzenden nicht selbst KI-Expert*innen sind. Sie können daher nicht einschätzen, was die beste Lösung wäre. Das bekannte Zitat (oft unbewiesen Henry Ford zugeschrieben) ist hier treffend. Dieser hatte behauptet, wenn er seine Kunden gefragt hätte, was sie wollen, hätten sie gesagt, schnellere Pferde. Deswegen ist es bei der Ableitung wichtig, das Kernbedürfnis innerhalb der „Pain“ und „Gain“ zu identifizieren. Die Anforderungen sollen nicht lösungsorientiert definiert sein, sondern bedürfnisorientiert. Somit wird vermieden, den Lösungsraum zu früh einzugrenzen.

5. Verwaltung der gesammelten Anforderungen

Die Anforderungen können über bestehende Systeme zum Anforderungsmanagement gespeichert werden. Sinnvoll ist eine Kennzeichnung der Kategorien und Sichtweisen, aus denen diese Anforderung entstanden ist.

Die für die Durchführung der Workshops verwendete Vorlage inklusive Kennzeichnung der einzelnen Schritte des Vorgehens ist in Bild 2 dargestellt.

In Abbildung 3 ist ein Beispiel der Rollen und Kategorien dargestellt. Darin wurden für die Beispielkategorien „Prozesssteuerung“ und „Optimierung“ aus Sicht der Beispiel-Rolle „Operator“ jeweils ein „Job“ (gelb) mit zugehö-

Job - Typische Aufgabe, der Rolle	Typische Probleme bei der Erledigung des Jobs	Wünsche, die die Erledigung des Jobs verbessern würden	Welche Anforderungen lassen sich daraus ableiten?
-----------------------------------	---	--	---

Unternehmenssicht

Management

KI Projektablauf	Optimierung	Optimierungsziele zur Energieeffizienzsteigerung gestalten.	Andere Aspekte wie Produktqualität müssen neben der Energieeffizienz ebenfalls geachtet werden. Oft fehlt eine Vergleichbarkeit.	Wahl zwischen den verschiedenen Optimierungszielen (z.B. Energieeffizienz, Produktqualität, Produktionsdauer).	Die Management braucht die Möglichkeit, zwischen Zielparametern von Energieeffizienz und Qualität auswählen zu können
------------------	-------------	---	--	--	---

Operator

KI Projektablauf	Prozesssteuerung	Qualitätsprüfung entlang des Produktionsprozesses	Parameter schwer zu vergleichen, manchmal sind Zusammenhänge nicht bekannt.	Ampelsystem, um Übersichtlich sehen zu können, welche Produktionsläufe ungewöhnlich waren.	Der Operator benötigt eine Funktionalität für die Identifikation der Ursachen von energie-ineffizienten Produktionsläufen.
------------------	------------------	---	---	--	--

rigem „Pain“ (rot) und „Gain“ (blau) aufgenommen. Die daraus entstehende Anforderung „weiß“ resultiert aus den Eintragungen der vorherigen Spalten.

Anwendung bei der Entwicklung einer Forschungs- und Technologieplattform

Entwickelt, angewandt und evaluiert wird das beschriebene Vorgehen im Rahmen der Entwicklung einer Forschungs- und Technologieplattform zur Steigerung der Energieeffizienz, genannt „ecoKI“. Diese Plattform wird von Forschungseinrichtungen entwickelt und soll im späteren Betrieb Unternehmen konfigurierbare KI- und Digitalisierungsbausteine zur Verfügung stellen. Im Fokus steht dabei die einfache und niedrighschwellige Anwendung dieser Technologien in der eigenen Produktion zur Steigerung der Energieeffizienz mit datengetriebenen Methoden. Auch die Wartbarkeit und einfache sowie schnelle Anpassung von bereitgestellten KI-Lösungen bei Veränderungen in der eigenen Produktion soll durch die Plattform unterstützt werden. Das Konzept sieht vor, dass die Menge an bereitgestellten Lösungen für generische Problemstellungen in Bezug auf das Thema Energie mit der Zahl der Anwendungen stetig weiter steigt. Eine Neuentwicklung, Weiterentwicklung und ein Feinschliff vorhandener Bausteine auf Basis der Anforderungen und Umsetzungen der nutzenenden Industrieunternehmen sind Teil des Konzepts. In Abbildung 4 ist dieses grafisch dargestellt.

Im Rahmen der Anforderungserfassung für den Aufbau dieser Plattform werden Industrieunternehmen nach dem vorgestellten Vorgehen eingebunden. Zusätzlich wurden für vergange-

ne Projekte in internen Workshops die Anforderungen dieser Projekte auf Basis der Erfahrungen und vorhandenen Dokumenten nachträglich abgebildet.

Die Details und Erfahrungen bei der Anwendung des Vorgehens werden im Folgenden für jeden Schritt dargelegt

1. Identifizierung von Sichtweisen und Rollen

Für die Anforderungserfassung der Plattform wurden alle Beteiligte einbezogen. Es wurden folgende Rollen identifiziert

- „Entwickler*in“ der generischen Bausteine und der Plattform
- „Anwendungsingenieur*in“ für die Implementierung der Bausteine auf konkrete Problemstellungen bei einem Unternehmen
- „Anwender*in“ eines Unternehmens für die KI-Lösungen zur Steigerung der Energieeffizienz. Hier wurden außerdem die Sub-Rollen „Operator“, „IT-Expert*in“ und „Manager“ identifiziert.

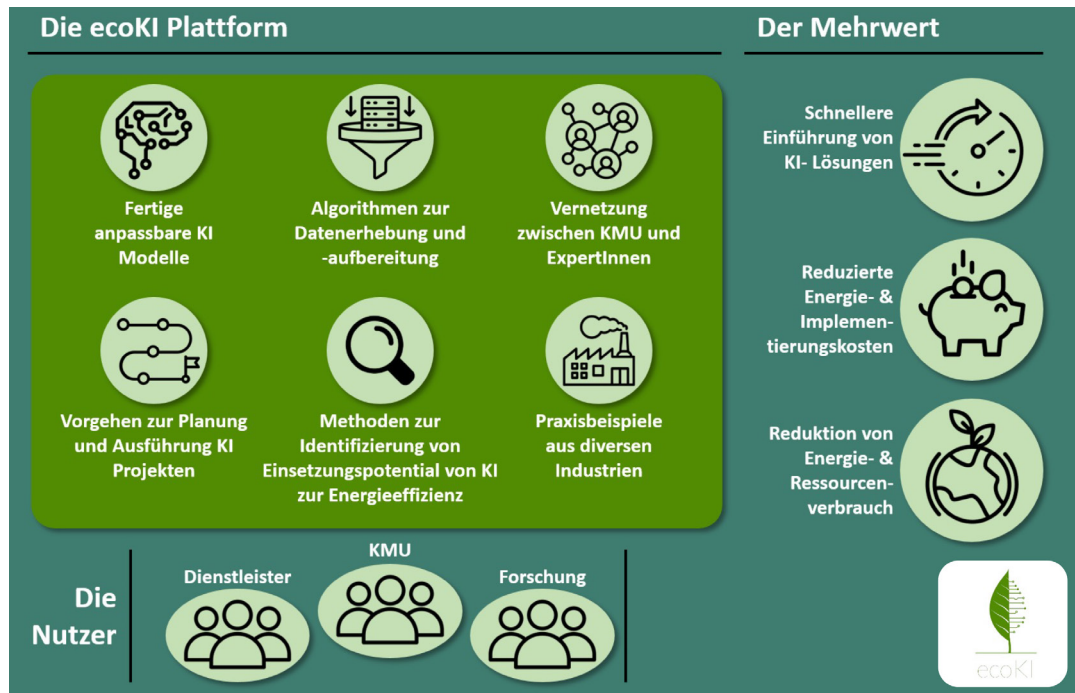
Für die Anforderungserfassung der Plattform bilden diese Gruppen die wesentlichen Akteure ab. Aus Sicht der Autoren ist diese Unterteilung auch für andere KI- und Digitalisierungsprojekte sinnvoll. Natürlich können weitere Gruppen hinzugefügt werden.

2. Definition der Kategorien

Für die Kategorien wurden zwei Gruppen betrachtet. Zum einen der generische technische KI-Projektablauf mit den Kategorien „Prozessfassung“, „Datenintegration“, „Modellierung“, „Optimierung“ und „Prozesssteuerung“. Außerdem wurden übergreifende Themen betrachtet. Dazu zählen „IT-Sicherheit“, „IT-Infrastruktur“, „Wirtschaftlichkeit“, „Unabhängige Nutzbarkeit“ und „Rechtliches“.

Bild 3: Beispielhafte Einträge und erhobene Anforderungen im Rahmen des Vorgehens.

Bild 4: Konzept der ecoKI-Plattform [13].



Literatur

- [1] Brockhaus, C. P.; Bischoff, T. S.; Haverkamp, K.; Proeger, T.; Thonipara, A.: Digitalisierung von kleinen und mittleren Unternehmen in Deutschland - ein Forschungsüberblick. 2020.
- [2] Christel, M. G.; Kang, K. C.: Issues in Requirements Elicitation. Fort Belvoir, Virginia, USA 1992.
- [3] Kotonya, G.; Sommerville, I.: Requirements engineering. Processes and techniques. In: Kotonya, G.; Sommerville, I.: Worldwide series in computer science. Chichester, UK 1998.
- [4] Berenbach, B.: Software & systems requirements engineering. In: Berenbach, B. u. a.: practice. New York, USA 2009.
- [5] Pacheco, C.; García, I.; Reyes, M.: Requirements elicitation techniques: a systematic literature review based on the maturity of the techniques. In: IET softw. 4 (2018), S. 365-378.
- [6] Farinha, C.; da Silva, M. M.: Requirements Elicitation with Web-Based Focus Groups. In: Pooley, J. (Hrsg): Information systems development. Reflections, challenges and new directions. New York, USA 2013.
- [7] Ribeiro, C.; Farinha, C.; Pereira, J.; Da Mira Silva, M.: Gamifying requirement elicitation: Practical implications and outcomes in improving stakeholders collaboration. In: Entertainment Computing 4 (2014), S. 335-345.
- [8] Ordóñez, H.; Villada, A. F. E.; Vanegas, D. L. V.; Cobos, C.; Ordóñez, A.; Segovia, R.: An Impact Study of Business Process Models for Requirements Elicitation in XP. In: Gervasi (Hrsg): Computational Science and Its Applications, vol. 9155 (2015), S. 298-312.
- [9] Castaneda, V.; Ballejos, L.C.; Calusco, M. L.; Galli, M.: The Use of Ontologies in Requirements Engineering. In: Global Journal of Research. In: Engineering vol. 10 (2010).
- [10] Blomberg, J.; Giacomi, J.; Mosher, A.; Swenton-Wall, P.: Ethnographic Field Methods and Their Relation to Design, S. 123-155.
- [11] Sommerville, I.; Rodden, T.; Sawyer, P.; Bentley, R.; Twidale, M.: Integrating ethnography into the requirements engineering process. In: Proceedings of the IEEE (1992), S. 165-173.
- [12] Clark, T.; Osterwalder, A.; Pigneur, Y.: Business Model You. A One-Page Method for Reinventing Your Career. Hoboken, New Jersey, USA 2012.
- [13] ecoKI. Forschungs- und Technologieplattform: Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion durch Digitalisierung und KI. URL: www.ecoki.de, Abrufdatum 28.09.2021.

Nach Erfahrung der Autoren sind diese Kategorien ein guter erweiterbarer Startpunkt für die Anforderungsanalyse in KI- und Digitalisierungsprojekten.

3. Durchführung der Workshops

Das Konzept hat bisher zur Anforderungserfassung bei dieser Anwendung sehr gute Ergebnisse geliefert. An den Workshops nahmen jeweils zwei Mitglieder der Forschungseinrichtungen teil, die Moderation und Dokumentation der Ergebnisse übernahmen. Aus den Unternehmen nahmen jeweils mindestens drei Personen teil, die die unterschiedlichen Rollen im Unternehmen repräsentieren. Aufgrund der Coronavirus-Pandemie fand ein Großteil der Workshops online statt. Die Workshops dauerten 90 Minuten. Von den Teilnehmenden wurde das Feedback erhalten, dass sowohl die Kategorien als auch die Untergliederung in „Jobs“, „Pains“ und „Gains“ die Produktivität bei der Anforderungserfassung stark unterstützt haben.

4. Ableitung der Anforderungen für die KI- und Digitalisierungs-Lösungen

Die Anforderungen wurden nach den Workshops vom Moderationsteam gemeinsam abgeleitet. Auf Basis der Workshop-Dokumentation war dies für alle Anforderungen problemlos möglich.

5. Teilen und Speichern der Anforderungen

Die Anforderungen aus den Workshops wurden mithilfe des Ticketsystems „Redmine“ eingepflegt und auf diese Weise für die nachfolgenden Entwicklungsschritte zur Verfügung gestellt.

Insgesamt waren die Erfahrungen mit diesem Vorgehen zur Erfassung von Anforderungen für die Entwicklung einer Plattform zur Steigerung der Energieeffizienz mit Digitalisierung und KI sehr positiv. Bisher wurden neun Projekte bzw. Untersuchungen in die Analyse eingebunden, die in derzeit etwa 130 validen Anforderungen resultierten. Die Anforderungsanalyse ist derzeit noch in der Durchführung und vollständige Ergebnisse sind erst nach Abschluss verfügbar.

Ausblick

In der Anwendung hat sich das entwickelte Vorgehen als sehr geeignet für die Aufnahme von Anforderungen für Digitalisierungs- und KI-Projekte erwiesen. Als zukünftige weitere Verbesserung des Vorgehens werden derzeit zusätzliche Anforderungskategorien untersucht und evaluiert, die eine Relevanz für dieses Thema haben. Ein Beispiel dafür sind sozialwissenschaftliche Fragestellungen bezüglich der Akzeptanz von KI-Lösungen durch die Mitarbeitenden. Außerdem ist eine detaillierte Abstimmung des Moderationsvorgehens während des Workshops geplant.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts ecoKI „Entwicklung einer Forschungs- und Technologieplattform „Steigerung der Energieeffizienz mit Digitalisierung und KI“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unter dem Kennzeichen 03EN2047A gefördert wird.

Schlüsselwörter:

Künstliche Intelligenz, Machine Learning, Energieeffizienz, Digitalisierung, Nachhaltige Produktion, Requirements Engineering

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

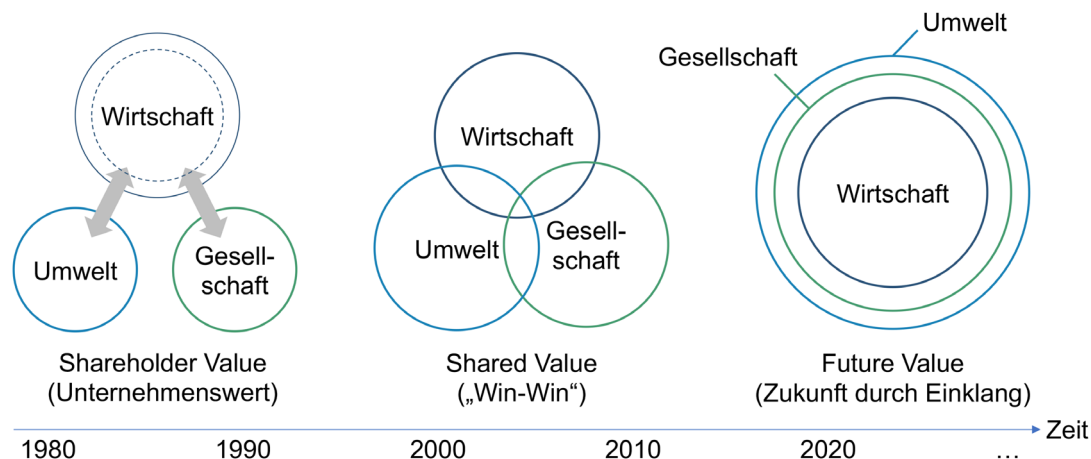


Bild 1: Sichtweisen von Strategie und Nachhaltigkeit im Wandel (in Anlehnung an [18]).

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

IoT-Anwendungen in der I.4.0, welche in der Literatur mit positiven Wirkungsmechanismen auf ökologische Nachhaltigkeitsindikatoren dargestellt sind.

Durch das IoT in der I.4.0 kann die Ressourceneffizienz von Produktionsunternehmen erhöht werden [2, 3, 5]. Harley-Davidson konnte beispielsweise durch die digitale Vernetzung von CPS produktionsrelevante Daten auswerten, um Produktionsprozesse zu verbessern und somit die Produktionszeit eines Motorrads von 21 Tagen auf 6 Stunden reduzieren [24]. Damit wird auch der Ressourcenverbrauch in der Produktion signifikant reduziert. Obwohl dies die Umweltleistung eines Unternehmens verbessern kann, könnten die NPs dennoch verletzt werden, falls die Beschaffenheit der für die Produktion benötigten Ressourcen (z.B. Schmiermittel oder Kraftstoffe) zu einer systematischen Zunahme der Konzentration von Stoffen aus der Erdkruste in der Natur (NP 1) oder zu einer Zerstörung der Natur durch physikalische Einwirkung (NP 3) führen würden. Auch kann die reduzierte Durchlaufzeit bei einer entsprechenden Nachfrage zu erhöhten Produktionsraten mit Umwelteinflüssen in der Nutzungs- und Entsorgungsphase führen (NP 2), was später noch genauer erläutert wird.

Zudem kann durch das IoT in der I.4.0 die Energieeffizienz in der Produktion erhöht und somit der Energieverbrauch gesenkt werden [6, 7]. Eine exemplarische Laserschweißmaschine in der Automobilmontage verbraucht ungefähr 12 Prozent ihres Energiebedarfs in den Montagepausen. Durch Anwendungsmöglichkeiten des IoT, wie zum Beispiel das durch CPS automatisierte Herunterfahren der Maschinen in Pausen oder die Anwendung von einer bauteilabhängigen Geschwindigkeitskontrollierung von Motoren, kann der Energieverbrauch gesenkt werden [2]. Dies würde sich tendenziell positiv auf die Umweltdimension der Nachhaltigkeit auswirken, wenn die Energie aus fossilen Brennstoffen gewonnen wird, da die Treibhausgasemissionen (THG) aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe verringert werden können. Doch auch wenn dies einen positiven Einfluss auf die Umweltbilanz des Unternehmens vermuten lässt, würde die Praxis immer noch gegen die Anforderung des ersten und zweiten NPs verstoßen, die THG von fossilen Energieträgern nicht systematisch in der Biosphäre zu erhöhen. Selbst wenn der relative Energieverbrauch gesenkt wird, erhöht der verbleibende Gesamtenergieverbrauch immer noch systematisch die Zunahme von THG von fossilen Energieträgern. Die Einhaltung des ersten und zweiten NPs könnte nur durch eine zusätzliche Erhöhung

des Anteils erneuerbarer Energiequellen gewährleistet werden.

Im Transport und der Distribution von Produkten zu Kunden kann das IoT in der I.4.0 dazu genutzt werden, die Tour- und Routenplanung effizienter zu gestalten [25]. Das Unternehmen Spire nutzt zum Beispiel Nanosatelliten, um durch das IoT miteinander vernetzte Transportmittel zu lokalisieren. Dies wird in der Schifffahrt dazu genutzt, um den Kraftstoffverbrauch durch eine effizientere Routenplanung zu reduzieren [8]. Diese Anwendungsmöglichkeit offenbart die gleiche Problematik bezüglich der systematischen Zunahme von THG wie das vorige Beispiel, sollte der Treibstoff für Transportmittel aus fossilen Energiequellen stammen. Die Einhaltung des ersten und zweiten NPs könnte somit nur durch den verstärkten Einsatz nachhaltiger Antriebstechnologien erreicht werden, die nicht auf fossilen Brennstoffen basieren.

Die Anwendungen von I.4.0 ermöglichen zudem eine Personalisierung von Produkten bis kurz vor Start der Produktion, indem Kundenwünsche kurzfristig an Smarte Produkte weitergeleitet werden, welche die produktionsrelevanten Daten speichern und an Produktionsmaschinen übermitteln. Smarte Produkte können somit semi-autonom ihre eigene kundenspezifische Produktion kontrollieren und damit die Gefahr einer Über- oder Fehlproduktion sowie den damit verbundenen Ressourcenverbrauch reduzieren [2, 3]. Außerdem können die Kosten der Produktion durch die gesteigerte Ressourcen- und Energieeffizienz von Wertschöpfungsprozessen gesenkt werden. Aus unternehmerischer Sicht ist dies wünschenswert, da damit der Absatz durch individualisierte und preiswerte Produkte gesteigert werden kann. Aus systemischer Nachhaltigkeitssicht kann dies jedoch zu sogenannten Rebound-Effekten führen, da der gesteigerte Konsum den Ressourcenverbrauch erhöhen kann [5], was auch als Jevons Paradox [26] bekannt ist. Je nachdem, um welche Produkte bzw. Dienstleistungen es sich handelt und wie diese genutzt werden, kann dies zu einem Verstoß von dem zweiten NP führen, da mehr Produkte erzeugt und konsumiert bzw. genutzt werden, die ggf. nicht oder nur schwer zu recyceln sind (z.B. bei Verwendung von Carbon-Werkstoffen).

In der letzten Lebenszyklusphase, der Entsorgung oder der Wiederverwertung von Produkten, können durch die Durchgängigkeit des Engineerings entlang der Wertschöpfungskette die Wiederverwendung, Wiederaufarbeitung und das Recycling von Produkten gefördert werden,

- [17] Wunder, T.: Mindsets for Linking Strategy and Sustainability: Planetary Boundaries, Social Foundations, and Sustainable Strategizing. In: Wunder, T. (Hrsg.): Rethinking Strategic Management. Sustainable Strategizing for Positive Impact. Cham 2019.
- [18] Wunder, T.: Der Sprung auf die nächste Stufe unternehmerischer Nachhaltigkeit. Wie sich mit Purpose die strategische Nachhaltigkeitstransformation wirksam unterstützen lässt. In: Controlling 33, Spezialausgabe Frühjahr 2021 (Mai 2021), S. 68.
- [19] Broman, G. I.; Robért, K.-H.: A framework for strategic sustainable development. In: Journal of Cleaner Production 140 (2017) 1, S. 17-31.
- [20] Upham, P.: An assessment of The Natural Step theory of sustainability. Journal of Cleaner Production 8 (2000) 6, S. 445-454.
- [21] Ny, H.; MacDonald, J.; Broman, G.; Yamamoto, R.; Robért, K.-H.: Sustainability Constraints as System Boundaries: An Approach to Making Life-Cycle Management Strategic. In: Journal of Industrial Ecology (2006) 10, S. 61-77.
- [22] World Business Council for Sustainable Development: Collaboration, innovation, transformation. Ideas and inspiration to accelerate sustainable growth - A value chain approach. URL: <https://docs.wbcsd.org/2011/12/CollaborationInnovationTransformation.pdf>, Abrufdatum 20.09.2021.
- [23] World Business Council for Sustainable Development: World Resources Institute: The Greenhouse Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. URL: <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>, Abrufdatum 28.09.2021.
- [24] Rückert, T. (2018): The IoT Paves the Way for a Networked Economy. In: Sandler, U. (Hrsg.): The Internet of Things. Berlin, Heidelberg, Springer Vieweg, S. 221-232.
- [25] Kagermann, H.: Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Wiesbaden 2014. S.603-614.
- [26] Owen, D.: The Conundrum. How Scientific Innovation, Increased Efficiency, and Good Intentions Can Make Our Energy and Climate Problems Worse. New York, USA 2011.
- [27] Wunder, T.: Datenbasierte Business-Ökosysteme und Nachhaltigkeit. Ansatzpunkte für eine integrierte Gestaltung und Steuerung. In: Zeitschrift Controlling 32, Spezialausgabe (2020), S. 92-97.

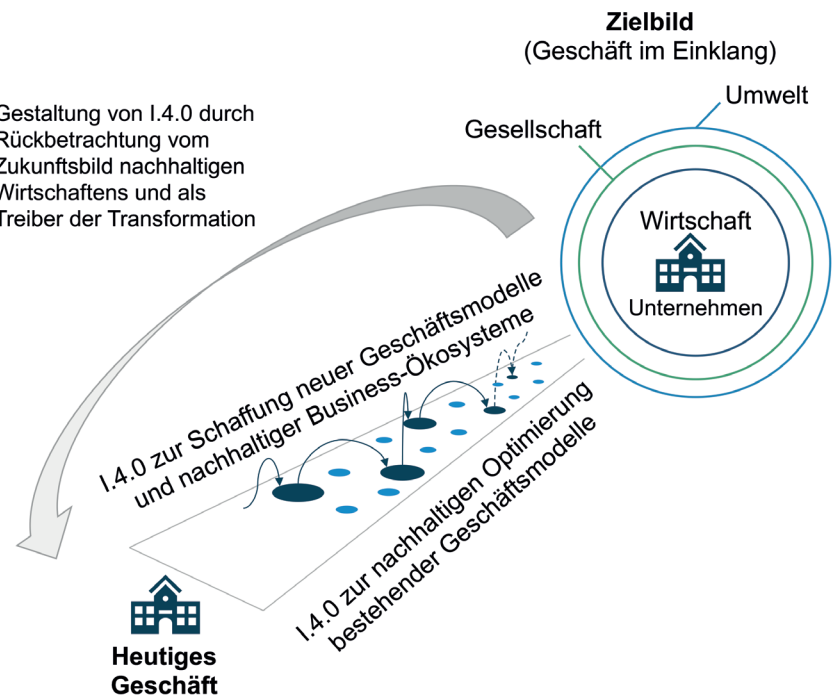
indem dies bei der Entwicklung entsprechend berücksichtigt wird [3, 8, 9]. Dies würde die Einhaltung des ersten und zweiten NPs gewährleisten, indem dadurch nicht die systematische Zunahme von fossilen Stoffen und die systematische Produktion von künstlichen Stoffen gefördert werden [21].

Implikationen für Unternehmen

Die dargestellten Überlegungen und Analysen haben gezeigt, dass selbst gut gemeinte Nachhaltigkeitsbeiträge von I.4.0 bei einer umfassenderen Betrachtung der Entwicklung zu einem nachhaltigen Unternehmen zu kurz greifen oder gar kontraproduktiv sein können. Neben positiven Einflüssen auf ökologische Nachhaltigkeitsindikatoren von I.4.0 muss dabei immer auch beachtet werden, dass die Entwicklung und der Einsatz von I.4.0 einen erhöhten Primärenergie- und Ressourcenverbrauch auf den Beschaffungs- und Absatzmärkten verursachen können [2, 3, 5], welcher die ökologische Nachhaltigkeit eines Unternehmens bei einer Scope 1-3 Betrachtung negativ beeinflusst. Unternehmen sollten sich der Risiken bewusst sein, die sich aus einem Einsatz von I.4.0 im Kontext eines reduktionistischen Nachhaltigkeitsverständnisses der Schadensreduktion für die eigene Zukunftsfähigkeit ergeben können. Denn vor dem Hintergrund der aktuellen regulatorischen, politischen und gesellschaftlichen Entwicklungen wird nicht-nachhaltiges Verhalten für Unternehmen in Zukunft entweder teuer oder existenzbedrohend. Zudem bieten die Möglichkeiten von I.4.0 eine große unternehmerische Chance, mit wirksamen Beiträgen für die großen und dringenden Probleme unserer Zeit an einem milliardenschweren Markt zu partizipieren.

In diesem Sinne erweitert I.4.0 im Kontext eines systemischen Nachhaltigkeitsverständnisses den strategischen Handlungsspielraum. Es schafft einen Denkraum zur Anwendung von I.4.0, indem bei der Optimierung der Ressourcen- und Energieeffizienz aktueller Geschäftsmodelle auch die Auswirkung auf die gesamte Wertschöpfungskette und alle daran beteiligten Wertschöpfungspartner berücksichtigt werden. Zusätzlich wird pro-aktiv nach Möglichkeiten von I.4.0 zur Schaffung neuer, nachhaltiger und im besten

Gestaltung von I.4.0 durch Rückbetrachtung vom Zukunftsbild nachhaltigen Wirtschaftens und als Treiber der Transformation



Fall regenerativer Geschäftsmodelle und Business-Ökosysteme (z. B. Mobility-as-a-Service Plattformen) gesucht [27]. Die I.4.0 kann beispielsweise eine Kreislaufwirtschaft von Produkten und Ressourcen ermöglichen [3, 28]. Das Konzept einer Kreislaufwirtschaft konzentriert sich auf die Maximierung der Kreislauffähigkeit und auf die Wiederherstellung des Werts gebrauchter Ressourcen, indem geschlossene Kreisläufe für die Wiederverwendung, die Wiederaufbereitung oder das Recycling von Produkten ermöglicht werden [8, 9, 29].

Zur Orientierung für die nachhaltigkeitsorientierte Gestaltung von I.4.0 sind dabei ein klares Ziel- bzw. Zukunftsbild des Unternehmens sowie eine Klärung der Geschäfts- und Wertschöpfungslogik erforderlich, die im Einklang mit ökologischen (und sozialen) Systembedingungen steht. Zugehörige Strategien und Geschäftsmodelle werden dann konsequent aus dem definierten Zukunftsbild des Unternehmens abgeleitet und in einem schrittweisen Transformationsprozess geplant sowie aktualisiert (Bild 3).

Schlüsselwörter:

Industrie 4.0, Internet of Things, Nachhaltigkeit, Strategie, Transformation, systemisch

Bild 3: Strategiekontext für die nachhaltigkeitsorientierte Gestaltung von I.4.0 (in Anlehnung an [30]).

- [28] Rosa, P.; Sassanelli, C.; Urbinati, A.; Chiaroni, D.; Terzi, S.: Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. In: International Journal of Production Research 58 (2020) 6, S. 1662-1687.
- [29] De Sousa Jabbour, A. B. L.; Jabbour, C. J. C.; Foropon, C.; Godinho Filho, M.: Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. In: Ann Oper Res (2018) 270, S. 273-286.
- [30] Wunder, T.: Datenbasierte Business-Ökosysteme und Nachhaltigkeit. Ansatzpunkte für eine integrierte Gestaltung und Steuerung. In: Zeitschrift Controlling 32, Spezialausgabe (2020), S. 92-97.

Electrical and Hydrogen Microgrid

Energy Control of a Self-Sufficient Supply System Based on a Combined Electrical and Hydrogen Distribution Grid

David Salomon Stephan, Uwe Werner and Carsten Fichter, Hochschule Bremerhaven

Microgrid zur autarken Energieversorgung auf Basis eines kombinierten elektrischen Verteilernetzes und eines Wasserstoffnetzes

Das autarke Microgrid besteht aus der Einspeisung aus erneuerbaren Energiesystemen, dem Stromnetz und dem H₂-Gasnetz mit einem flüssigen oder gasförmigen Energieträger. Im Gegensatz zu einem Inselnetz kann das Microgrid parallel zum Netz betrieben werden. Die damit verbundenen Herausforderungen transienter Energieflüsse (u.a. Netzsystemdienstleistung) sowie die ganzheitliche Betrachtung eines regulierten Microgrids auf Basis eines Stromnetzes und eines H₂-Gasnetzes sind Teil dieses Beitrags.

Keywords:

grüne Energie, Wasserstoff, Microgrid, erneuerbare Energiequellen, rotierender Umrichter, DC, AC, Energiemanagementmanagement, platform, digitalization



David Stephan, M. Sc. works as a research associate in the EFRE funded research project „Hydrogen – green gas for Bremerhaven“ in the sub-project Microgrid at the Bremerhaven University of Applied Sciences.



Prof. Dr.-Ing. Uwe Werner is a professor at the Institute for Automation and Electrical Technology (IAE) at the Bremerhaven University of Applied Sciences.



Prof. Dr.-Ing. Carsten Fichter is a professor at the Institute for Wind Energy Technology (fk-wind) at the Bremerhaven University of Applied Sciences.

dstephan@hs-bremerhaven.de
www.hs-bremerhaven.de

The main goal of assembling a self-sufficient microgrid is to integrate all technical equipment into an autonomous energy supply system as a virtual power plant (VPP). The system integration focuses on the power electronic devices and the combination of gas and electrical supply chains. The developed microgrid structure is fed from renewable energy systems (green hydrogen), the electrical grid and the H₂ gas grid with a liquid or gaseous energy source. In comparison to an island grid, the microgrid can be operated in parallel mode with the common public grid. The associated challenges of transient energy flows and the holistic view of a regulated microgrid based on an electrical grid and an H₂ gas network are part of this article.

For the success of energy transition and the reduction of CO₂-greenhouse gas emissions, the distribution and storage of electrical energy within the framework of a microgrid will play a key role in the future energy supply. A purely capacitive network expansion in Germany is only one element of the energy transition and must be expanded to include the conversion of the current central network, with a central control system, to a decentralized network with intelligent control units. With an increasing share of renewable, decentralized units for power generation, such as photovoltaic or wind power plants in the energy mix, location-based island grids that function as microgrids can make an important contribution to the supply security. Excess electricity is more variable and better regulated even at the smallest site-specific level. The remaining fluctuations from the microgrid steadily decrease via the distribution grid to the transmission grid. Wherever possible, the microgrid can also be used as an autonomous and self-sufficient system for regional district supply. Microgrids are independent supply areas that have special operational management requirements and can be connected to the public grid. In the context of this article, the microgrid is the interface between the electrical grid and the grid with a liquid or gaseous energy source (Figure 1). At present, it can be assumed

for the near future that energy generation from renewable energy sources cannot be fully stored as electrical energy, so that a transportable additional medium, like hydrogen, is needed that can be easily stored and further converted as needed. The associated problems, such as the holistic view of a microgrid based on an electrical part and a hydrogen network, are part of this article. This is based on the EFRE project “Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“, in which a microgrid is being set up in order to be able to supply the Lune Delta area in Bremerhaven with self-sufficient energy in the future.

System structure of the microgrid

The microgrid is fed exclusively from renewable energy sources such as photovoltaics and wind turbines and, as a “topological power plant” (VPP), can also provide the higher-level electricity grid for system stability (Figure 2). Active and reactive power control is also mapped. Such system services help to partially replace conventional power plants. In addition, the performance of the renewable energy producers can be reliably forecast, intelligently planned and controlled via the control technology. Central points of the system are the production and storage of hydrogen as

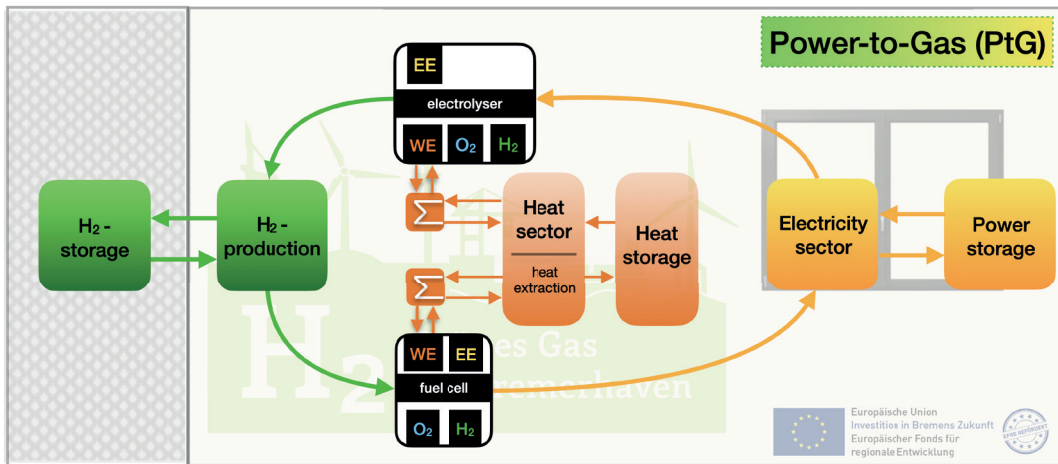


Figure 1: Sector coupling of the microgrid container at the Bremerhaven University of Applied Sciences.

a chemical energy carrier with the help of renewable energy sources and the reconversion of hydrogen into electrical energy with the help of a fuel cell. This is initially done on a small scale and is later scaled up to the energy requirements of the green industrial park "Lüne Delta". The power grid of the microgrid consists of two main voltage levels: the 48 V DC level at the output of the fuel cell for the battery storage and the 400 V AC (three-phase level) for the feed-in of renewable energies. The grid connection point is a switchable connection between the microgrid and the higher-level power grid. The 48 V DC is converted using a DC-AC inverter and a rotating converter. The hydrogen is generated with a PEM electrolyser which can be fed via a 400 V or 48 V busbar. The hydrogen produced exits the electrolyser at 16 bar and is temporarily stored in a low-pressure storage device. The hydrogen from the low-pressure tank is compressed to 200 bar using a hydrogen compressor and is then stored in the high pressure storage tank. Intermediate storage of the hydrogen is necessary because with the same electrical power data of the electrolyser and the fuel cell, the hydrogen generated is not sufficient to achieve the same performance through reconversion at the fuel cell output. At this point, the effects of the feed-in of fluctuating renewable energies on the electrolyser and the associated pressure fluctuations in hydrogen production are examined. The extent to which a decoupling from the feeding energy sources is possible is being researched. The microgrid was examined in advance with a simulation program as a basis for system development.

Hydrogen distribution grid

The hydrogen distribution grid consists of three pressure levels (Figure 2 – top left). The hydrogen leaves the electrolyser at a pressure of 16 bar and is fed directly into the central pressure piping system H₂-LP (16 bar). Here the hydrogen can be stored in a low-pressure system and, if necessary,

brought to a higher-pressure level H₂-HP (200 bar) with the help of a pneumatically driven hydrogen compressor. The hydrogen is stored in a bundle of 6 gas cylinders at 200 bars and, if required, can be expanded again to 16 bar via the HP reducing valve and fed into the central pressure piping system H₂-LP (16 bar). The inlet pressure of the fuel cell determines the third pressure range of the hydrogen network of the microgrid H₂-LP (4.5 bar). Since the fuel cell does not have a fixed inlet pressure, but describes a pressure range from 1.5 bar to 7 bar, an average inlet pressure of 4.5 bar was determined. On the one hand, falling below 1.5 bar would result in the fuel cell being switched off; on the other hand, exceeding 7 bar would damage the fuel cell. Pressure relief valves were installed within the 20 bar and 200 bar pressure piping systems to protect the pipes and components. In the lowest pressure level H₂-LP (4.5 bar), no pressure relief valve is provided due to the low pressure and the regulated pressure reducing valve. Temperature, pressure and flow measurements are integrated in all three pressure levels so that the measured values obtained can be used to control the microgrid. In addition to sensors, solenoid valves are also used to control the flow of hydrogen.

Power distribution grid

The power grid of the microgrid consists of several voltage levels and offers two options for converting the 48 DCV at the output of the DC-DC converter into 400 V AC (Figure 2 – right-hand side). Since a voltage drop on the part of the fuel cell is to be expected, an output voltage range was specified. When idling, the fuel cell has a DC voltage of 110 V, which drops to 56 V at full load. The DC-DC converter connected to the fuel cell ensures that the fuel cell feeds the 48 V busbar with constant voltage. The 48 V busbar forms one of two main busbars and offers the option of integrating a battery, a supercapacitor (UltraCap) and a bidirectional inverter. With the help of the

Energy management

The microgrid is fed from renewable energy sources, which are the prerequisite for the production of green hydrogen. The renewable energy sources are fed into the 400 V busbar of the microgrid. There, the electrical energy obtained from wind and sun is combined and fed to the electrolyser. Depending on the available electrical energy, hydrogen is produced. The hydrogen can then be stored in a low-pressure or high-pressure storage tank. In the gas sector, the two hydrogen storage systems represent a variant of energy storage. In the electricity sector, battery storage systems are used for long-term storage and supercapacitors for short-term storage of electrical energy (Figure 2).

The electrolyser is the link between the electricity and gas sectors. The fuel cell converts the energy contained in the gas back into electricity. This leads to a coupling of energy sectors in energy management with its advantages and disadvantages. The supercapacitor is to compensate for the high starting currents of the rotating converter and thus keep the voltage stable. The battery storage is used to buffer electrical energy in the event of fluctuating hydrogen production or to bridge empty hydrogen storage tanks.

Reactive power control

The microgrid at Bremerhaven University of Applied Sciences supplies reactive power to support the grid voltage in island mode. It has the option of performing a black start in island mode. The microgrid has two different types of reactive power control and compensation (Figure 1). The harmonic type of reactive power control is carried out via the rotating converter. The clocked type of reactive power control is carried out via the power electronics on the 400 V busbar. The primary control (also called secondary reserve) is used to control the frequency and the active power. Secondary

regulation is used for voltage regulation and also for reactive power compensation.

A positive effect of the rotating converter is the possibility of power factor correction in phase-shift operation of the synchronous machine. As mentioned before, the microgrid has two options for feeding the electricity from the fuel cell to the 400 V AC busbar. This can either be done via the 3-phase inverter or via the rotating converter. If the feed is via the first option, the contactor to the DC machine can be opened. This means that the DC motor is no longer supplied with voltage. The connection to the 400 V AC busbar remains on the other side of the rotating converter. In this case, the generator is operated as a phase shifter and rotates with the 400 V busbar at the mains frequency of 50 Hz. The reactive power can be regulated via the excitation of the synchronous generator. However, it must be considered that the DC motor is also driven and the synchronous generator in phase-shifting operation cannot deliver or absorb pure reactive power, but must also generate active power. This leads to a reduction in the energy obtained from the reconversion of the fuel cell. The advantage, however, is that no additional components for reactive power compensation have to be inserted into the microgrid. With the second option of feeding the 400 V AC busbar via the rotating inverter (contactor left path open, right path now closed), there is the option of reactive power compensation via excitation of the synchronous generator.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Teilvorhabens „Microgrid“ der Hochschule Bremerhaven, das im Gesamtvorhaben „Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven“ aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert wird.

Keywords:
green energy, hydrogen, microgrid, renewable energy sources, rotating converter, DC, AC, energy management

References

- [1] Werner, U.; Fichter, C.: A Comparison of Future Alternative Fuels (LNG, Hydrogen) Utilizing in Maritime Passenger Ships for Heating, Electric Power Supply and Ship Propulsion. 6th International Cruise Conference ICC. Bremerhaven 2019.
- [2] Salomon, S. D.; Werner, U.; Fichter, C.: Projektierung und Modellierung eines Microgrids zur autarken Energieversorgung auf Basis eines kombinierten elektrischen Verteilernetzes und einem Wasserstoffnetz. VDE-ETG-Kongressbeitrag 2021.

Circular Economy – Chance für Innovation

Eine Methode zur kreativen Entwicklung von
Circular-Economy-Geschäftsmodellen

Tobias Berndt, Claus Lang-Koetz, Institute for Industrial Ecology (INEC) an der Hochschule Pforzheim
und Silvia Rummel, Festo SE & Co. KG, Esslingen a. N.

Die Circular Economy gilt als eines der vielversprechendsten Konzepte auf dem Weg hin zu einer nachhaltigeren Wirtschaftsweise – welche die Gesellschaft zunehmend von Unternehmen einfordert. Die Erwartungshaltungen an eine verantwortungsvolle Unternehmensausrichtung steigen: Dies zeigt ein aktuelles Urteil des Bundesverfassungsgerichts, das verlangt, dass Deutschland die Klimaschutzziele ambitionierter gestalten muss [1]. Der European Green Deal sieht Klimaneutralität für die EU bis 2050 vor und der „Aktionsplan Kreislaufwirtschaft“ fordert einen effektiveren Umgang mit Ressourcen und Reserven [2]. In diesem Beitrag wird eine Methode beschrieben, mithilfe derer Unternehmen Ideen für zirkuläre und damit nachhaltigere und ressourcenschonendere Geschäftsmodelle entwickeln können.

Die Circular Economy (CE) ist als ein System zu verstehen, welches das End-of-Life-Konzept, das klassische Cradle-to-Grave-Prinzip der momentan vorherrschenden linearen Wirtschaft durch Reduzierung, Wiederverwertung, Recycling und Rückgewinnung von Materialien in Produktions-, Vertriebs- und Verbrauchsprozessen ersetzt [3]. In den einzelnen Phasen des ökologischen Produktlebenszyklus gilt es die verwendeten Ressourcen und die damit verbundenen Emissionen soweit wie möglich zu reduzieren. Dabei steht die Schaffung von wirtschaftlichem und ökologischem Wert stets im Mittelpunkt [4]. Bild 1 veranschaulicht die Phasen des Circular-Economy-Prozesses.

Studien zeigen, besonders auf die Faktoren Wirtschaft und Umwelt bezogen, großes Potenzial, welches durch den Wandel von der aktuellen linearen Wirtschaftsweise hin zur Circular Economy entstehen kann [5]. Demnach können Unternehmen ihre Ressourceneffizienz steigern und dabei gleichzeitig finanzielle Gewinne erhöhen. Jedoch wird davon ausgegangen, dass zu deren Realisierung ein grundsätzliches Umdenken und ein Systemwech-

sel in Politik, Wissenschaft und Gesellschaft nötig sind [6].

Circular Economy in der Praxis

Die Umsetzung eines Circular Economy Business Models (CEBMs) kann ein wichtiger Erfolgsfaktor sein, um einen „Business Case for Circularity“ zu entwickeln [7]. Ein solcher Business Case stellt einen der vielversprechendsten Bausteine zur Umsetzung der CE in der Praxis dar [7, 8]. Dies ist jedoch oft mit erheblichem Aufwand verbunden, um schlussendlich eine Wertschöpfungsarchitektur zu ermöglichen, die auch positive Aspekte für Umwelt und Gesellschaft mit sich bringt [9].

Dennoch haben bereits einige Unternehmen CEBMs installiert: So nimmt der Baumaschinenhersteller Caterpillar über seine Tochterfirma CatReman gebrauchte Maschinenteile zurück und bezahlt dafür eine Vergütung. Das Unternehmen bereitet die Rückläufer für den Wiedereinsatz auf und verlängert so den Lebenszyklus des Produkts. Es entstehen finanzielle Vorteile für Kunden und Unternehmen [10]. Weitere Ansatz-

Circular Economy – Chance for Innovation

Circular Economy is considered one of the most promising concepts on the way to a more sustainable economy. Expectations of a responsible corporate orientation are rising: This is shown by a recent ruling of the Federal Constitutional Court, which demands that Germany must be more ambitious in its climate goals [1]. The EU Green Deal envisages climate neutrality by 2050 and the “Circular Economy Action Plan” calls for more effective use of resources and reserves [2]. This article describes a method that companies can use to develop ideas for circular business models.

Keywords:

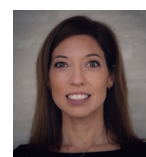
business model, circular economy, sustainability, corporate sustainability, innovation



Tobias Berndt, M.Sc. hat seine Masterarbeit im Studiengang Life Cycle and Sustainability an der Hochschule Pforzheim geschrieben und ist mittlerweile als Projektleiter Sustainability in einem Industrieunternehmen in Baden-Württemberg tätig.



Dr.-Ing. Claus Lang-Koetz ist Professor für Nachhaltiges Technologie- und Innovationsmanagement an der Hochschule Pforzheim (Institut für Industrial Ecology). In Forschungsprojekten mit Industrieunternehmen beschäftigt er sich damit, wie technisch basierte Innovationen erfolgreich umgesetzt und dabei Umwelt- und Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt werden können.



Dr.-Ing. Silvia Rummel arbeitet als Gesamtprojektverantwortliche bei der Festo SE & Co. KG im Themenfeld „Energieeffizienz & CO₂-Footprint“. Sie ist seit elf Jahren im Unternehmen, in leitender oder koordinativer Funktion des F&E, als auch des Produktionsumfelds tätig. Zudem lehrt sie als Dozentin an der FOM Hochschule für Ökonomie und Management.

claus.lang-koetz@hs-pforzheim.de
www.hs-pforzheim.de/inec



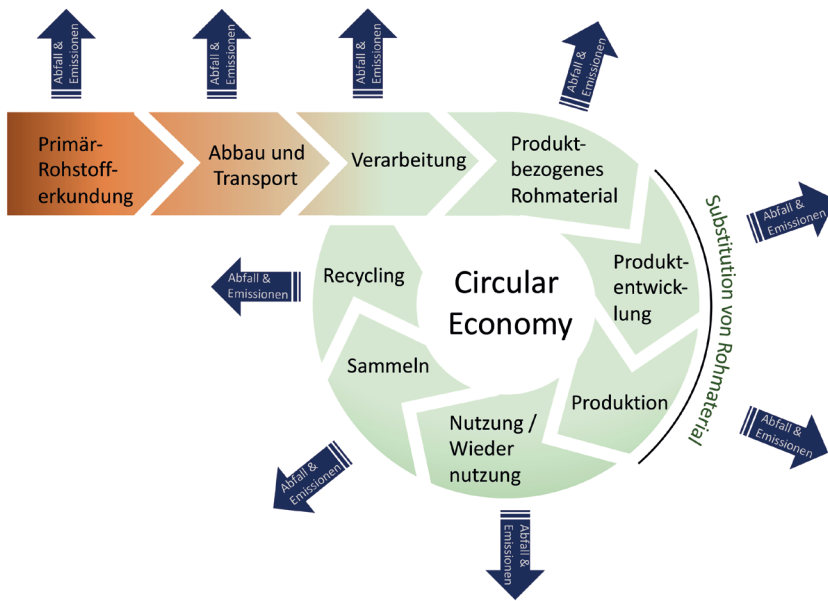


Bild 1: Der Circular-Economy-Prozess, in Anlehnung an [6].

punkte für die Umsetzung von CEBMs sind beispielsweise:

- Verwendung von Sekundärrohstoffen (Ressourcenbeschaffung)
- Betrachtung einer guten Reparaturfähigkeit des Produkts (Design)
- Energiebereitstellung für die Produktion durch erneuerbare Energien (Produktion)
- Auswahl effektiver Transportoptionen (Distribution)
- ausgedehntes Serviceangebot zur Verlängerung der Nutzungsphase (Nutzen)
- Rücknahme von Produkten für Reparatur oder Ersatzteilgewinnung,
- Aufbereitung von Sekundärmaterial aus nicht mehr genutzten Produkten (End-of-Life/Recycling)

Für die Umsetzung dieser Ansätze bieten CEBMs den entsprechenden Rahmen.

Geschäftsmodelle für Circular Economy kreativ entwickeln

Wie können nun aber Unternehmen, die sich bislang nicht mit dem Thema beschäftigt haben, ein Circular Economy Business Model entwickeln? Dazu wurde am Institut für Industrial Ecology (INEC) an der Hochschule Pforzheim die im Folgenden vorgestellte Methode entwickelt.

Als Grundlage zur Methodenentwicklung wurde zunächst der Stand des Wissens erfasst und Experten aus Industrieunternehmen und Unternehmensberatungen in drei Interviewrunden befragt. Probleme und Wünsche sowie bestehende Kenntnisse in Bezug auf Geschäftsmodellinnovationen und Circular Economy abgefragt wurden. Daraus konnten sieben Themenfelder identifiziert werden, welche als besonders relevant für die Durchführung einer Methode zur Generierung von innovativen Ideen für Geschäftsmodelle der Circular Economy einzustufen sind (Bild 2).

Schließlich wurde eine Methode entwickelt, die sich am Design-Thinking-Prozess (DTP) als gängige Methode zur Lösung komplexer Aufgaben orientiert. Design Thinking basiert auf Kreativitätsansätzen und setzt diese in betriebswirtschaftlich nutzbare Lösungen um [12]. Dabei werden die sechs Phasen Verstehen, Beobachten, Definieren, Ideen finden, Prototyping und Testen (nach Bedarf iterativ) durchlaufen.

Themenfeld	Inhalt
Definition	Was ist Circular Economy (CE)? Was ist der Unterschied zur Kreislaufwirtschaft? Was sind Sustainable Business Models (SBM) und Circular Economy Business Models (CEBM)?
Business Model	Wie kann ein Business Model nachhaltig gestaltet werden bzw. die CE voranbringen?
Life Cycle	Welchen Weg geht mein Produkt? Wo liegen Hot Spots bzgl. Emissionen und Verluste?
Revenue and Benefits	Wie kann mein Unternehmen von der CE profitieren? Wie generieren wir Gewinne?
Economy and Politics	Welche politischen & wirtschaftlichen Veränderungen kommen auf uns zu?
Network (Reverse Logistic)	Welche Partner brauche ich? Wie können wir voneinander profitieren?
Value and Impact	Was bewegt mein Business Model? Welche Probleme löse ich damit?

Bild 2: Die identifizierten sieben Themenfelder für CEBMs mit charakterisierenden Leitfragen (Quelle: [11]).

Die entwickelte Methode wurde im Unternehmen Festo, einem Lieferanten für Komponenten der Automatisierungstechnik, getestet und validiert.

Eine strukturierte Methode zur Ideengenerierung

Die Methode zur Entwicklung von Ideen für zirkuläre Geschäftsmodelle besteht aus vier Modulen (Bild 3). Diese geben einen Rahmen und durchzuführende methodische Elemente vor, können aber einfach für den individuellen Anwendungsfall angepasst werden. So können Praktiker aktiv im Innovationsprozess mitarbeiten, jedoch Ablauf und Inhalte auch selbst mitgestalten [13].

Modul 1 dient im Verlauf der Methode als Kick-Off und Einstiegsmodul. Ziele und Erwartungen der Anwender sowie technische Voraussetzungen und Rahmenbedingungen werden hier besprochen. Als Ergebnis steht eine Zielvorgabe für die Umsetzung sowie ein offizielles Mandat des Unternehmens, welches zur Realisierung der Maßnahmen befähigt. Die inhaltliche Arbeit findet in den Modulen 2 bis 4 statt.

Modul 2 befasst sich dann mit der Vorbereitung der Teilnehmenden auf den eigentlichen Ideenprozess. Dabei werden die ersten drei Phasen des DTP durchlaufen und Grundlagen zu Geschäftsmodellen, Circular Economy, Praxisanwendungen und Umsetzungsstrategien vermittelt. Die Inhalte von Modul 2 ergeben sich aus den sieben relevanten Themenfeldern für CEBMs (Bild 2). Die Teilnehmenden erhalten die Aufgabe, die Leitfragen zu adressieren und wenn möglich zu beantworten. Modul 2 schließt mit einem Readiness-Check ab.

Es folgt **Modul 3**, in welchem der interaktive Austausch aller Teilnehmenden stattfindet. Zu Beginn werden dazu die Erkenntnisse aus Modul 2 festgehalten und wiederholt, bevor dann beginnend mit einer Gap-Analyse der interaktive Ideenprozess startet. Für dieses Modul wurden verschiedene Templates für unterschiedliche Brainstorming-Methoden und CANVAS-Tools vorbereitet wie z. B. Circular Economy Business Model Canvas, reverse Brainstorming oder Sail-Boat-Gap-Analyse. Die Templates dienen als inhaltliche Diskussionsgrundlage und als Unterstützung für die Ideenfindung. Die Ausgestaltung des 3. Moduls kann dabei individuell auf die Anwender ausgerichtet werden. Somit können spezielle Wünsche oder Produkte in den Fokus des Ideenprozesses gerückt werden. Die CEBM-Ideen werden zum Ende des 3. Moduls in den Circular Economy Business Model Canvas

Templates festgehalten. Sie dienen als Ausgangspunkt für den im Anschluss an diese Methode folgenden Prozess einer Circular-Economy-Business-Model-Innovation. Die in den Templates aufgeführten Ideen werden in der letzten Phase des 3. Moduls, gegenüber Entscheidern in Ideepitches mit anschließenden Diskussionsrunden präsentiert. Durch die Pitches und Diskussionsrunden werden die Ideen bereits ersten Prototyping- und Testphasen unterzogen. Damit abschließend sind alle Phasen des DTP durchlaufen. Am Ende des Moduls stehen somit eine oder mehrere fundierte Ideen für Geschäftsmodelle der Circular Economy.

Modul 4 dient anschließend der Nachbetreuung der Ideen und der damit verbundenen Maßnahmen. Zu festen Terminen werden die erreichten Ziele besprochen. Es kann hier auch Sinn machen, Hilfestellung durch Experten von außerhalb des Unternehmens hinzuzuziehen. Bild 3 veranschaulicht den Aufbau der Methode.

Durchführung der Methode bei einem Industrieunternehmen

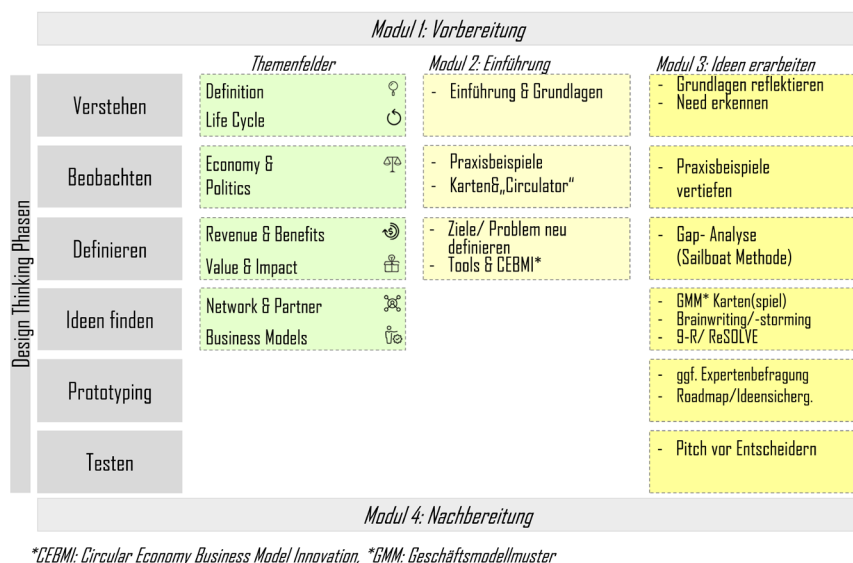
Die Festo SE & Co. KG (Festo) ist ein weltweiter Technologie- und Innovationsführer im Bereich der Industrie- und Prozessautomation mit elektrischen und pneumatischen Komponenten sowie Systemen mit ca. 20.000 Mitarbeitenden weltweit und einen Umsatz von 2,84 Milliarden Euro (2020). Jährlich fließen acht Prozent des Umsatzes in Forschung und Entwicklung

Das Thema Nachhaltigkeit nimmt einen besonderen Stellenwert im Unternehmen ein und folgt dabei dem Leitbild der Vereinten Nationen [14]. Wichtige Handlungsfelder für Festo sind in diesem Kontext: Energie- und ressourceneffiziente Lösungen für Kunden, technische Bildung, Gesundheit, Sicherheit, Qualifikation und Vielseitigkeit der Menschen bei Festo, Umweltschutz, Ressourcenschonung im Unternehmen und der Lieferkette sowie eine verantwortungsbewusste Unternehmensführung [15]. Die Circular Economy bietet hinsichtlich der Erfüllung dieser Ziele einige Ansatzpunkte, die es genauer zu beleuchten gilt.

Basierend auf den positiven Erfahrungen der vergangenen Jahre, welche mittels Innovations- und Technologiemanagement-Instrumenten im Unternehmen gemacht wurden, wird dieser Weg weiterverfolgt. Anhand „neuer Methoden“ soll das Themenspektrum der Kreislaufwirtschaft (engl. Circular Economy) in Unternehmensprozesse eingebracht werden. In einem ersten Schritt analysiert Festo mögliche Geschäftsmodelle sowie Aktivitäten und leitet daraus Maßnahmen

Literatur

- [1] Bundesverfassungsgericht: URL: www.bundesverfassungsgericht.de/SharedDocs/Entscheidungen/DE/2021/03/rs20210324_1bvr265618.html, Abrufdatum 15.05.2021.
- [2] Europäische Kommission: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Brüssel 2020.
Europäische Kommission: Der europäische Grüne Deal. Brüssel 2019.
- [3] Kirchherr, J.; Reike, D.; Hekkert, M.: Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: *Resources, Conservation & Recycling* (2017), Ausgabe Nr. 127, S. 221-232. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- [4] van Buren, N.; Demmers, M.; van der Heijden, R.; Witlox, F.: Towards a Circular Economy: The Role of Dutch Logistics Industries and Governments. In: *Sustainability* 2016, 8, 647, S. 1-17, DOI: [10.3390/su8070647](https://doi.org/10.3390/su8070647)
- [5] Planing, P.: Business Model Innovation in a Circular Economy. In: *Open journal of business model innovation* 2015, DOI: <https://www.researchgate.net/publication/273630392>
- [6] Eit Raw Materials: URL: https://eitrawmaterials.eu/?attachment_id=7360, Abrufdatum 30.06.2021.
- [7] Acatech; Circular Economy Initiative Germany; SYSTEMIQ Ltd.: *Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potential. Executive Summary and Recommendations.* München London 2020.
- [8] Zucchella, A.; Urban, S.: Value Propositions and Business Models for Circular Entrepreneurship. In: *Circular Entrepreneurship Creating Responsible Enterprise.* Cham 2019, S.61-88, Springer Nature Switzerland AG, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-18999-0>



*CEBMI: Circular Economy Business Model Innovation, *GMM: Geschäftsmodellmuster

Bild 3: Vorgehensweise der Methode anhand der vier Module und der Phasen des Design-Thinking-Prozesses. *CEBMI: Circular Economy Business Model Innovation, *GMM: Geschäftsmodellmuster. (Quelle: [11]).

ab, welche anschließend im Unternehmensalltag realisiert werden können.

Festo führte zu diesem Zweck in einem Zeitraum von 14 Tagen eine Workshopserie durch, um passende Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft von Automatisierungskomponenten zu identifizieren. Hierfür wurde ein kleines interdisziplinäres Team aus den Unternehmensbereichen Corporate Responsibility, Corporate Portfoliomanagement sowie Technologie- und Innovationsmanagement eingebunden. Der Vorbereitungsaufwand seitens der Teilnehmenden im Vorfeld zur Workshopserie betrug pro Person einen halben Tag, um entsprechende Daten bereitzustellen und grundsätzliche Fragen zu beantworten.

Im Rahmen der durchgeführten Workshopserie wurde zunächst seitens der Moderatoren eine Hinführung zur Thematik vorgenommen. Unter anderem erfolgten eine Abfrage von Begrifflichkeiten sowie eine Einführung notwendiger Definitionen. Darauf aufbauend wurde neben der Analyse des bestehenden Geschäftsmodells von Festo, eine Untersuchung der gegenwärtigen Wertschöpfungsprozesse durchgeführt. Der Ist-Zustand bereits bestehender zirkulärer Prozesse im Unternehmen wurde ermittelt und für jede Phase des Circular-Economy-Prozesses festgehalten. Mit Blick auf einen möglichen Soll-Zustand haben die Teilnehmenden analysiert, wo für Festo die Reise hingehen soll und welche Stellhebel dafür zur Verfügung stehen. Ergänzend hierzu ist mithilfe eines Perspektivenwechsels anschließend ein „Verhindern“ und „Ermöglichen“ der Circular Economy im Unternehmen durch die Teilnehmenden beschrieben worden. Schließlich haben die Teilnehmenden entlang der einzelnen Circular-Economy-Phasen mit dem Fokus auf Rohstoffbeschaffung, Distribution und End-of-Life erste Lösungsansätze beschrieben. Anhand eines „Circular Economy

Business Model Canvas“ sind die wesentlichen Kernelemente für einen konkreten Anwendungsfall von Festo festgehalten und skizziert worden. Hier standen unterschiedliche Geschäftsmodellmuster zur Auswahl, wovon drei in die engere Auswahl einbezogen und auf Endkunden für eine dedizierte Produktauswahl angewendet werden.

Durch die Validierung der Methode konnte das theoretische Konzept einer praktischen Prüfung unterzogen werden. Die Validierung der Methode ergab, dass das Methodenkonzept als stimmig und zielgerichtet zu beschreiben ist. Von der Teilnehmerrunde wurde besonders die systematische Vorgehensweise als gewinnbringend empfunden. Zudem wurde durch die Vorgehensweise aufgezeigt, dass für eine erfolgreiche Realisierung die Einbindung unterschiedlicher Organisationbereiche ein kritischer Erfolgsfaktor sein wird. Im Rahmen der Validierung konnten Ideen für Geschäftsmodelle der Circular Economy generiert und festgehalten werden. Der Wissenszuwachs (Grundlagenwissen) aus Modul 2 wurde ebenfalls als positiv bewertet. Generell waren die Teilnehmenden positiv überrascht, welche Vielzahl an Möglichkeiten durch die Veränderung des Geschäftsmodells im Bereich der Circular Economy entstehen können und welche Einsparpotenziale in ökologischer wie auch ökonomischer Sicht bestehen.

Grundlagen und Kreativität als Schlüssel zum Erfolg

Die erarbeitete Methode zur Entwicklung von Ideen für zirkuläre Geschäftsmodelle bietet Unternehmen somit eine praxisorientierte Möglichkeit, innerhalb weniger Tage, Inhalte der Circular Economy zu vermitteln und innovative Ideen zu generieren. Anschließend kann auf dieser Grundlage ein umfassender Transformationsprozess innerhalb des Unternehmens angestoßen werden. Die Methode kann dabei einzeln oder in der Gruppe als auch online oder in Präsenz durchlaufen werden, wodurch eine individuelle Anpassung an die Voraussetzungen und Bedürfnisse der Praktiker ermöglicht wird.

Die Methode wurde von Tobias Berndt im Rahmen der Masterthesis im Studiengang Life Cycle & Sustainability an der Hochschule Pforzheim und dem Institute for Industrial Ecology (INEC) in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Claus Lang-Koetz entwickelt und mit Unterstützung von Dr. Silvia Rummel validiert.

Schlüsselwörter:

Circular Economy, Kreislaufwirtschaft, Geschäftsmodelle, zirkuläre Geschäftsmodelle, Innovation, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz

[9] Bungard, P.: CSR und Geschäftsmodelle: Auf dem Weg zum zeitgemäßen Wirtschaften. 1. Auflage. Berlin 2018, S. V-VI, Springer-Verlag Deutschland GmbH, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-52882-2>

[10] CatReman: URL: www.caterpillar.com/en/brands/cat-reman.html, Abrufdatum 15.08.2021.

[11] Tobias Berndt: Entwicklung einer Methode zur Generierung von Innovationsideen zu Geschäftsmodellen für die Circular Economy, Pforzheim 2021

[12] Vetterli, C.; Brenner, W.; Übernickel, F.; Berger, K.: Die Innovationsmethode Design Thinking. Düsseldorf 2012, Symposion Publishing

[13] Grots, A.; Pratschke, M.: Design Thinking- Kreativität als Methode. In: Marketing Review St. Gallen 2, 2009.

[14] United Nations: Report of the World Commission on Environment and Development-Our Common Future UN Documents, Abs. 27, 1987.

[15] Festo SE & Co. KG: Nachhaltigkeitsbericht Festo (2017-2019), S. 12-13.



Grüner Wasserstoff und seine Derivate

Bremerhaven auf dem Weg zur Klimaneutralität

Sara Hritz-Hagenah, Gerhard Schories, ttz Bremerhaven, Michael Murck und Saskia Greiner, BIS Bremerhaven

Die Verringerung der CO₂-Freisetzung zur Begrenzung der globalen Erderwärmung und zum Schutz der Umwelt ist ein zentrales Anliegen der aktuellen Umweltpolitik. Dem Klimawandel muss entschlossen entgegengetreten werden, um zukünftiges Handeln nachhaltig und zukunftsorientiert zu gestalten. Verankert wurde dieses nationale Ziel mit dem Klimaschutzgesetz, über welches eine Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden soll. Diese Absicht und eine damit verbundene sektorenübergreifende Reduktion von Treibhausgasen ist jedoch nur möglich, wenn die fossilen Energieträger durch eine nachhaltige Alternative ersetzt werden können. In diesem Zusammenhang gelten grüner Wasserstoff und seine Derivate durch ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten als Hoffnungsträger der Zukunft.

Mit Wasserstoff kann Energie gespeichert werden und damit bietet das leichteste aller Elemente die Möglichkeit, gewonnene Sonnen- und Windenergie zu konservieren. Wasserstoff kann aber auch als alternativer Antrieb im Mobilitätssektor verwendet werden, fossile Energieträger in der Industrie ersetzen oder in synthetisches Erdgas umgewandelt werden sowie die Energie durch das bestehende Gasnetz direkt zu den Verbrauchern transportieren.

Die Seestadt Bremerhaven hat das Potenzial des Wasserstoffs erkannt und etabliert sich derzeit als Testregion für Wasserstoffproduktion und mobile Anwendungen. Bremerhaven ist mit 116.000 Einwohnern die größte Stadt an der deutschen Nordseeküste und ein Teil des Bundeslands Bremen. Die Geschichte und Gegenwart des Wirtschaftsstandorts Bremerhaven sind geprägt durch seine Häfen, die Meeresforschung, die maritime Wirtschaft und die Offshore-Windenergie. Zudem besitzt die Stadt eine lange Tradition in der Fisch- und Lebensmittelverarbeitung. Parallel zur Wirtschaft hat sich eine Forschungslandschaft internationalen Renommées entwickelt, die den anstehenden Entwicklungsprozess begleiten und entscheidend vorantreiben wird.

Das Projekt „Wasserstoff – Grünes Gas für Bremerhaven“, welches mit rund

20 Mio. Euro vom Land Bremen und der Europäischen Union gefördert wird, ist ein erster Grundpfeiler einer Wasserstoffwirtschaft und verfolgt den Aufbau einer Wertschöpfungskette von der Produktion über die Speicherung bis zur praktischen Erprobung. Die Projektpartner Hochschule Bremerhaven, Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme (IWES) und Technologie-Transfer-Zentrum (ttz) Bremerhaven untersuchen in sechs ausgewählten Anwendungen das Potenzial von grünem Wasserstoff. Zentrale Anwendung ist das Hydrogen Lab Bremerhaven mit einer 2 MW-Elektrolyseureinheit in der ersten Ausbaustufe, die über eine 8 MW-Windenergie-turbine versorgt wird.

Eine weitere Säule bildet ein Vorhaben, welches mit 5 Mio. Euro des Bremen Fonds finanziert wird. Ziel des Projekts ist die Etablierung einer „Testregion für mobile Wasserstoffanwendungen“ in Bremerhaven sowie die Erprobung der Wasserstoffproduktion durch Plasmalyse aus dem Abwasser des Müllheizkraftwerks. Zu der geplanten Infrastruktur gehören neben einem Technikum geeignet für Wasserstoffanwendungen und Demonstrationsanlagen, eine mobile Wasserstofftankstelle zur Versorgung nicht-straßenzugelassener Fahrzeuge direkt auf dem Gelände der Unternehmen bei denen beispielsweise Wasserstoff-betriebene

Green Hydrogen and its Derivatives – Bremerhaven on the Way to Climate Neutrality

Reducing CO₂ emissions to lower the global warming impact and protect the environment is a central objective of environmental policy. Climate neutrality shall be achieved by 2045 and a cross-sectoral reduction of greenhouse gases is only possible if fossil energy can be replaced by a sustainable alternative. In this context, green hydrogen and its derivatives have a high potential and could contribute to a more sustainable future. The city of Bremerhaven has recognized the potential of hydrogen and is currently establishing itself as a test region for hydrogen production and mobile applications.

Keywords:

green hydrogen, derivatives, synthetic methane, synthetic methanol, power to liquid (PtL), maritime economy, Bremerhaven, alternative fuels, climate neutrality

Sara Hritz-Hagenah, M. Sc. arbeitet als Projektleiterin im ttz Bremerhaven in dem Bereich Ressourceneffizienz mit den Schwerpunkten Wasserstoff und Ökobilanzierung.

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schories ist Institutsleiter des ttz Bremerhaven und leitet den Bereich Ressourceneffizienz.

Dr. Michael Murck ist Innovationsmanager bei der BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH und koordiniert über den Bremen-Fonds geförderte Projekte zur Bewältigung der Folgen aus der Corona-Pandemie.

Dr. Saskia Greiner ist Innovationsmanagerin zum Thema Wasserstoff bei der BIS Bremerhavener Gesellschaft für Investitionsförderung und Stadtentwicklung mbH und zuständig für das Regionalmanagement Wasserstoff zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Bremerhaven.

shritz@ttz-bremerhaven.de
www.ttz-bremerhaven.de

Gabelstapler getestet werden. Des Weiteren werden Konzeptstudien zur Umrüstung eines multifunktionalen Nutzfahrzeugs und eines Polizei-Kleingruppenwagens durchgeführt.

Koordiniert werden die Entwicklungen durch die Wirtschaftsförderung BIS Bremerhaven, die gezielt ein Regionalmanagement zur Etablierung der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie betreibt. Langfristig wird der Fokus auf den maritimen Bereich/Schifffahrt gelegt, um die Hafenlogistik und die dazugehörigen Unternehmen zu stärken. Unterstützung erfährt dieses Bestreben letztendlich auch durch die Entscheidung des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), in Deutschland ein auf die Wasserstofftechnologie ausgerichtetes Innovations- und Technologiezentrum (ITZ) einzurichten, das sich aus vier Standorten zusammensetzt. Bremerhaven und Bremen beteiligen sich gemeinsam mit Hamburg und Stade am norddeutschen ITZ, das für die Luftfahrt und für die Schifffahrt konzipiert wird.

Das ttz Bremerhaven unterstützt mit seinen Studien das Regionalmanagement Wasserstoff der BIS Bremerhaven bei der Entscheidungsfindung für zukünftige Technologien. Das ttz ist ein unabhängiger Forschungsdienstleister und betreibt anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung. Es arbeitet ein internationales Experten-Team in den Bereichen Lebensmittel und Ressourceneffizienz. Seit mehr als 20 Jahren befasst sich das ttz mit der energetischen Nutzung von Wasserstoff, sei es in stationären oder mobilen Anwendungen (insbesondere im Umfeld einer Hafenwirtschaft) oder aber in Bezug auf die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe in Verbindung mit der Nutzung von aus industriellen Abgasen separiertem CO₂ und nutzt dazu ein eigens entwickeltes Verfahren.

Bisher wurden durch das ttz Bremerhaven vier Studien im Auftrag der BIS Bremerhaven im Themenfeld Wasserstoff erstellt:

1. „Aufbau eines CO₂-Emissionskatasters für die Stadt Bremerhaven“ [1]
2. „Voraussetzungen für eine CO₂-neutrale Wirtschaft mit Wasserstoff, Methan und Methanol“ [2]
3. „Machbarkeitsstudie zur Implementierung eines Teststands zur Erprobung von Wasserstoffkomponenten und Komplettsysteme im dreidimensionalen Raum“ [3]
4. „Untersuchung der Realisierbarkeit eines Testzentrums für Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, Flurförderzeuge und Arbeitsgeräte in Bremerhaven“ [4]

Die aktuelle Machbarkeitsstudie verfolgt das Ziel, flüssige, synthetische Kraftstoffe im Schiffssektor zu etablieren, um die CO₂-Emissionen zu reduzieren. Dabei wird die Bereitstellung von grünem Wasserstoff und recyceltem CO₂ in ausreichenden Mengen vorausgesetzt und der Aufbau einer Infrastruktur als essentiell betrachtet. Die Aufgabe der Studie besteht darin, zu prüfen, inwieweit PtL-Kraftstoffe am Standort Bremerhaven etabliert werden können und wie es konkret möglich ist, diese Etablierung durch Projektziele zu erreichen.

Bei der PtL-Produktion kann in zwei unterschiedlichen Verfahren ein flüssiger, synthetischer Kraftstoff (z. B. Methanol) hergestellt werden. Auf der einen Seite werden Strom, grüner Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid verwendet. Im Idealfall wird der Strom aus erneuerbaren Energien hergestellt und das CO₂ aus Energieträgern wie Biogas gewonnen, aus den Abgasen der Nutzung fossiler Energieträger oder der Luft separiert. Andererseits kann Biogas in Bio-Methan aufgewertet und anschließend unter Druck verflüssigt oder, wenn die Zusammensetzung den Anforderungen entspricht, in das Erdgasnetz eingespeist werden. Bei der Nutzung setzt ein solcher Kraftstoff zwar ähnliche Emissionen frei wie herkömmliche, spart bei seiner Produktion jedoch deutlich ein und es gelingt ein Schritt Richtung Klimaneutralität. Bei dem dabei freigesetzten CO₂ handelt es sich um rezykliertes CO₂, eine Freisetzung von zusätzlichem fossilen CO₂ findet nicht statt. Voraussetzung für die PtL-Produktion sind demnach ausreichende Mengen an grünem Wasserstoff, CO₂ und Biogas. Entscheidend für die erfolgreiche Implementierung einer PtL-Herstellung und Nutzung sind die Produktionsinfrastrukturen, um synthetisches Methanol in den notwendigen Mengen zu produzieren und diese in Hafennähe bereitstellen zu können. Auf der anderen Seite werden auch Infrastrukturen benötigt, welche die Bereitstellung der „Rohstoffe“ und den Vertrieb der Produkte gewährleisten können.

In der Studie zum „Aufbau eines CO₂-Emissionskatasters für die Stadt Bremerhaven“ [1] wurden die CO₂-Emissionen und ihre Erfassbarkeit sowie die aktuell eingesetzten Energieträger und die Möglichkeit auf synthetische Kraftstoffe umzustellen einiger in Bremerhaven ansässigen Firmen ermittelt. Die emittierte Menge an CO₂ bei den untersuchten Unternehmen beträgt ca. 540 Kilotonnen pro Jahr, mit einer möglichen Erfassbarkeit von ca. 50 %. Rund 80 % der aktuell eingesetzten Energieträger liegen Erdgas zugrunde. Da Erdgas relativ aufwandsarm ersetzt werden könnte, besteht die Möglichkeit, dass eine Vielzahl der befragten Unternehmen auf

einen synthetischen Kraftstoff zurückgreifen könnten.

Die Energiebedarfe in den befragten Unternehmen wurden in der Studie „Voraussetzungen für eine CO₂-neutrale Wirtschaft mit Wasserstoff, Methan und Methanol“ [2] ermittelt und liegen insgesamt bei ca. 1.250 GWh pro Jahr. Auch hier ist der primäre Energieträger der untersuchten Unternehmen Erdgas, mit ca. 83 % des Gesamtenergieverbrauchs. Die Kraftstoffe Diesel und Benzin zur Betankung von Fahrzeugen und Biomasse nehmen mit insgesamt rund 16 % eine untergeordnete Rolle ein. Heizöl und elektrischer Strom tragen lediglich knapp 1 % der Gewichtung bei. In derselben Studie zur CO₂-neutralen Wirtschaft wurden auch die Kraftstoffverbräuche bzw. Mengen an eingesetzten Energieträgern in der hafenbasierten Schifffahrt in Bremerhaven beleuchtet. Der gesamte Kraftstoffverbrauch bei den untersuchten Schiffen in Bremerhaven liegt bei ca. 30.000 MWh pro Jahr. Marines Gasöl (MGO) macht mit 47 % den größten Anteil an eingesetztem Kraftstoff auf Schiffen aus, gefolgt von Gas to Liquid (GtL), hergestellt aus fossilem Erdgas, und liegt bei rund 28 %. Marine Diesel Oil (MDO) wird aktuell in 21 % der betrachteten Schiffe in Bremerhaven verwendet. Synthetisches Methanol stellt bereits heute einen alternativen Kraftstoff dar und soll zukünftig für das neue Forschungsschiff des Alfred-Wegener-Instituts (Uthörn II) zum Einsatz kommen.

Nach ersten Berechnungen müssen bei vollständiger Substitution der fossilen Energieträger rund 75 kt synthetisches Erdgas (Hu 13,9 kWh/kg [L-Gas]) für die Industrie, 6 kt Methanol für die hafenbasierte Schifffahrt sowie 5 kt Wasserstoff (Hu 33,3 kWh/kg) für brennstoffzellenbetriebene Van-Carrier jährlich zum Einsatz kommen. Die erforderliche Menge an Wasserstoff für die Herstellung von synthetischem Methan bzw. Methanol in Bremerhaven sowie für den Betrieb der Van-Carrier im Containerhafen liegt bei ca. 44 kt pro Jahr. Die benötigte Menge an CO₂ für die PtL-Produktion liegt bei rund 215 kt pro Jahr. Wenn der Wasserstoffbedarf über die klassische Elektrolyse gedeckt werden soll, ist dafür eine Elektrolyseurkapazität von ca. 300-350 MW notwendig. Zum Betrieb der Elektrolyseure werden somit bis zu 2.800 GWh grüner Strom pro Jahr gebraucht.

Die Gesamtmenge des LNG-Bedarfs für die Seeschifffahrt (Kreuzfahrtschiffe, Autotransporter Containerschiffe, Stück- und Schüttgutfrachtschiffe) wurde auf ca. 51.000 kt pro Jahr geschätzt. Die benötigte Menge an Wasserstoff und CO₂ für diese LNG-Herstellung wurde bisher nicht betrachtet. In Bild 1 werden die berechneten Mengen der notwendigen Alternativen, bei

vollständiger Substitution der fossilen Energieträger zusammengefasst.

Um zu ermitteln, inwieweit die vorgenannten Bedarfe mit lokalen oder regionalen Ressourcen bedient werden könnten, müssen die folgenden Fragestellungen betrachtet werden:

1. Gibt es regional die Möglichkeit, grünen Wasserstoff in ausreichender Menge selbst zu erzeugen oder zumindest bereit zu stellen?
2. Gibt es regional die Möglichkeit, CO₂ in ausreichender Menge bereitzustellen und welche Technologie kann eingesetzt werden, um dieses aus Rauchgasen und/oder Biogas oder aber der Umgebungsluft zu gewinnen?

Die verfügbaren Kapazitäten für die Gewinnung von CO₂ und H₂ aus lokalen Emissionsquellen in Bremerhaven wurden bereits identifiziert und die Potenziale sowie die benötigten Mengen für alternative Kraftstoffe ermittelt. Es wurde deutlich, dass insbesondere der Überseehafen und der Neue-Hafen vielversprechende Standorte für den Einsatz von PtL-Kraftstoffen in Bremerhaven sind. Ebenso wurde die Elektrolysekapazität zur Abdeckung der Kraftstoffherstellung abgeschätzt.

Die benötigte Menge an CO₂ aus den Abgasen und aus der Biomethan-Herstellung könnte mit einem vom ttz entwickelten Verfahren, je nach Entfernung direkt als CO₂ oder aber als MgCO₃ zu der PtL-Anlage transportiert werden. Dort müsste das gebundene CO₂ dann durch ein Desorptionsverfahren freigesetzt und anschließend für die Kraftstoffherstellung verwendet werden. Dabei wird das Sorbens (MgO) regeneriert und kann erneut zur Bindung von CO₂ eingesetzt werden. Dieses Verfahren wird in dem Projekt „Stoffliche Nutzung CO₂“ (FKZ 49MF190001), gefördert durch das Förderprogramm des BMWis „FuE-Förderung gemeinnütziger externer Industrieforschungseinrichtungen

Bild 1: Bedarfe bei vollständiger Substitution der fossilen Energieträger.

Beschreibung	Menge
Bedarf syn. Erdgas	75 kt _{Methan} / a
Bedarf syn. Methanol	6 kt _{Methanol} / a
Bedarf Wasserstoff	44 kt _{H₂} / a
Bedarf CO₂ für PtL Produktion	215 kt _{CO₂} / a
Elektrolyseurkapazität	300 350 MW / a
Bedarf grüner Strom	2 800 GWh / a
Bedarf LNG	51 000 kt / a



Bild 2: Luftaufnahme Bremerhaven – Innenstadtbereich und angrenzendes nördliches Hafengebiet. © BIS mbH/Scheer.

– Innovationskompetenz“ INNO-KOM Modul „Marktorientierte Forschung und Entwicklung“ erarbeitet [5]. Die Adsorptionsanlage sollte idealerweise so konstruiert sein, dass „Kartuschen“ bzw. Container mit dem Sorbens per LKW zu den Biogasanlagen bzw. zu den Unternehmen transportiert werden können, dort beladen und dann zur PtL-Anlage zurückgebracht werden.

Einen weiteren Faktor stellt die Größe des Adsorbers dar, der von der Menge und Geschwindigkeit des Rauchgases abhängig ist. Hier ist geplant, die Anlage so zu konzipieren, dass sie bei Bedarf durch Hinzufügen weiterer Einheiten in Parallelform angepasst werden könnte. Die Adsorber könnten zudem auch in Reihe geschaltet werden, um einen möglichst hohen Abscheidegrad des CO₂ aus dem Abgas zu erreichen. Die genaue Größe und die Anzahl der Adsorber, die für das Scale-up erforderlich sind, werden derzeit ermittelt. Des Weiteren wird auch noch untersucht, ob die standardisierten Adsorber-Kartuschen/-Container parallel und in Reihe geschaltet werden können, um gleichzeitig die Kapazität und Effizienz der Anlage zu erhöhen. Auch die benötigte Menge des Sorbens für den Adsorber bzw. für die zu erfassende Menge an CO₂ muss noch ermittelt werden, richtet sich aber nach den experimentell ermittelten Adsorptionsraten.

Die bisher erhobenen Daten aus der Studie sind erste Abschätzungen und Berechnungen, die noch weiter konkretisiert werden müssen. Zudem ist eine Infrastruktur für die PtL-Produktion noch nicht ausgereift und letztendlich von sehr vielen Unbekannten abhängig. Weiterhin ist zu beachten, dass die Technologien noch nicht im großen Maßstab erprobt sind und die Anlage- und Produktionskosten bisher nur auf Abschätzungen beruhen können. Gleichzeitig müssen Betreiberunternehmen zur Herstellung, Lagerung, Einspeisung und/oder Betankung von

synthetischen Kraftstoffen sowie von grünem Wasserstoff gewonnen werden.

Zusammenfassend wird deutlich, dass es keine triviale Aufgabe ist, mit grünem Wasserstoff und seinen Derivaten eine nachhaltige Alternative zu fossilen Energieträgern zu schaffen und somit sektorenübergreifend die Reduktion von Treibhausgasen zu unterstützen. In Bremerhaven haben sich Unternehmen und Forschungseinrichtungen zusammengeschlossen, um diese Schritte gemeinsam zu gehen. Eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen bekommen durch die Substitution von Wasserstoff und seinen Derivaten die Chance, klimaneutral betrieben werden zu können. Für eine Zielerreichung müssen jedoch noch viele Fragestellungen im Detail geklärt werden.

- Auswahl von geeigneten Standorten für die Erzeugung von Wasserstoff, Erfassung des CO₂ und Anlagen für die Herstellung von PtL Kraftstoffen, in Bezug auf die Nähe zu späteren Verbrauchern und unter Berücksichtigung der geltenden Regelwerke.
- Betrachtung der benötigten Infrastruktur und Technologie für die Herstellung und Verteilung, Lagerung und Vertankung der Kraftstoffe, insbesondere auch der Anlagen zum Betanken der Schiffe und Fahrzeuge.
- Ausreichende Verfügbarkeit der Ressourcen (Wasser, grüner Strom, CO₂ etc.), welche auch genügend Potenzial für zukünftige Entwicklungen bietet.
- Politische Entscheidungen, die langfristige Planungssicherheit für alle Beteiligten beinhalten.

Aufgrund der existierenden maritimen Wirtschaft in Bremerhaven kommt dem Aufbau einer PtL-Infrastruktur und Produktion eine besondere Bedeutung zu. Die Ausgangslage verspricht der Seestadt ein hohes Potenzial zur Abnahme von grünem Wasserstoff und seinen Derivaten. Andererseits kann Bremerhaven sich zum Im- und Exportstandort für PtL sowie Bunkerstandort für Schiffe weiterentwickeln und damit einen wesentlichen Beitrag auf dem Weg zur Klimaneutralität leisten.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen der „Machbarkeitsstudie zur PtL-Produktion und Infrastruktur am Standort Bremerhaven“, das von der BIS Bremerhaven unter der Vergabenummer V2021_008_BIS_WiFö in Auftrag an das ttz Bremerhaven gegeben wurde.

Schlüsselwörter:

Grüner Wasserstoff, Derivate, synthetisches Methan, synthetisches Methanol, PtL, Maritime Wirtschaft, Bremerhaven, alternative Kraftstoffe, Klimaneutralität

Literatur

- [1] ttz Bremerhaven: Aufbau eines CO₂-Emissionskatalogs für die Stadt Bremerhaven. Bremerhaven 2020.
- [2] ttz Bremerhaven: Voraussetzungen für eine CO₂-neutrale Wirtschaft mit Wasserstoff, Methan und Methanol. Bremerhaven 2021.
- [3] ttz Bremerhaven: Machbarkeitsstudie zur Implementierung eines Teststandes zur Erprobung von Wasserstoffkomponenten und Komplettsysteme im 3-dimensionalen Raum. Bremerhaven 2020.
- [4] ttz Bremerhaven: Untersuchung der Realisierbarkeit eines Testzentrums für Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge, Flurförderzeuge und Arbeitsgeräte in Bremerhaven. Bremerhaven 2021.
- [5] ttz Bremerhaven: Stoffliche Nutzung CO₂. Bremerhaven 2021.
- [6] ttz Bremerhaven: Wasserstoff - Grünes Gas für Bremerhaven. Bremerhaven 2020-2022.

Maßnahmen und Anreize zur Senkung von CO₂-Emissionen

Wie kleine Transportdienstleister und ihre Auftraggeber einem klimafreundlichen Straßengüterverkehr näherkommen können

Moritz Petersen und Ramón van Almsick, Kühne Logistics University

Der IPCC-Report aus dem August 2021 ist die jüngste einer Reihe von deutlichen Warnungen vor den Folgen des voranschreitenden Klimawandels. Alle Wirtschaftsbereiche stehen mehr denn je in der Verantwortung, ihre Treibhausgasemissionen schnell und umfassend zu senken. Die Logistik macht etwa 10 % des globalen CO₂-Ausstoßes aus [1]. Der größte Anteil entfällt auf den Straßengüterverkehr. Aufgrund hoher Wachstumsraten, der anhaltenden Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen und der hohen Fragmentierung des Markts ist die Senkung der CO₂-Emissionen bzw. die sogenannte Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs besonders herausfordernd [2]. Auf Basis der Ergebnisse einer großen Umfrage wird in diesem Beitrag herausgearbeitet, wie kleine Transportdienstleister und ihre Auftraggeber einen Beitrag zur Erreichung globaler Klimaziele leisten können. Im ersten Schritt kann eine genauere Messung der CO₂-Emissionen dabei helfen, die Vorteilhaftigkeit lange bekannter aber nicht immer genutzter Dekarbonisierungsmaßnahmen klar herauszustellen. Auftraggeber können ihre Transportdienstleister dann zusätzlich mit passenden Anreizsystemen motivieren und unterstützen.

Der europäische Markt für Straßengüterverkehr ist mit mehr als 500.000 Akteuren stark fragmentiert und von einem intensiven Preiskampf geprägt. 99 % der Transportdienstleister sind als kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) mit weniger als 50 Beschäftigten zu klassifizieren [2]. Entsprechend liegt die Verantwortung der transportbedingten CO₂-Emissionen zum größten Teil in den Händen vieler kleiner Unternehmen. Der gesamte Straßengüterverkehr macht ca. 6 % der europäischen CO₂-Emissionen aus [1]. Als Ergebnis technischer Innovationen sind z. B. schwere LKW in den vergangenen 25 Jahren deutlich effizienter geworden und verursachen rund ein Drittel niedrigere spezifische CO₂-Emissionen. Da im gleichen Zeitraum die Transportleistung aber um fast 80 % stieg, ist der CO₂-Ausstoß des Straßengüterverkehrs im Ergebnis um mehr als 20 % gewachsen [3]. Diese Zahlen verdeutlichen exemplarisch, wie groß die Herausforderung ist, die mit dem europäischen Green Deal angestrebte Klimaneutralität bis 2050 und

das Zwischenziel einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 55 % bis 2030 zu erreichen [4]. Erschwerend kommt hinzu, dass die Transportleistung weiter wächst: bis 2050 prognostiziert das International Transport Forum der OECD auf globaler Ebene eine Verdreifachung [5].

Vor diesem Hintergrund untersucht dieser Beitrag, welche Dekarbonisierungsmaßnahmen und Anreize im Straßengüterverkehr durch Transportdienstleister und die beauftragenden Verlagerer derzeit erwogen und eingeführt werden. Der Beitrag basiert auf den Daten einer Kundenumfrage des auf die Logistik spezialisierten Softwareunternehmens Transporeon. Die Umfrage wurde im April 2021 durchgeführt und thematisierte neben Fragen der Nachhaltigkeit z. B. auch die Auswirkung des Brexits auf das Geschäft der rund 120.000 angeschlossenen Transportdienstleister und 1.300 Verlagerer. Führungskräfte beider Kundengruppen (z. B. Geschäftsführung der Transportdienstleister und

Measures and Incentives to Reduce CO₂-Emissions – How Small Carriers and Their Shippers Can Work Towards More Climate-Friendly Road Freight Transport

Accelerating climate change drives companies to reduce their greenhouse gas emissions. Road freight transport accounts for around 6 % of global CO₂ emissions. However, high growth rates, the dependence on fossil fuels, and the high fragmentation of the market make the decarbonization of road freight transport challenging. Based on survey results, this paper elaborates how small road carriers, together with their clients, can contribute to achieving global climate targets by implementing appropriate measures and incentives.

Keywords:

carbon emissions, logistics, transport, decarbonization



Prof. Dr. Moritz Petersen leitet das Center for Sustainable Logistics and Supply Chains und ist Assistant Professor of Sustainable Supply Chain Practice an der Kühne Logistics University (KLU) in Hamburg.



Ramón van Almsick studiert im Masterstudiengang „Global Logistics and Supply Chain Management“ an der KLU und arbeitet als Werkstudent am Center for Sustainable Logistics and Supply Chains.

moritz.petersen@the-klu.org
www.the-klu.org



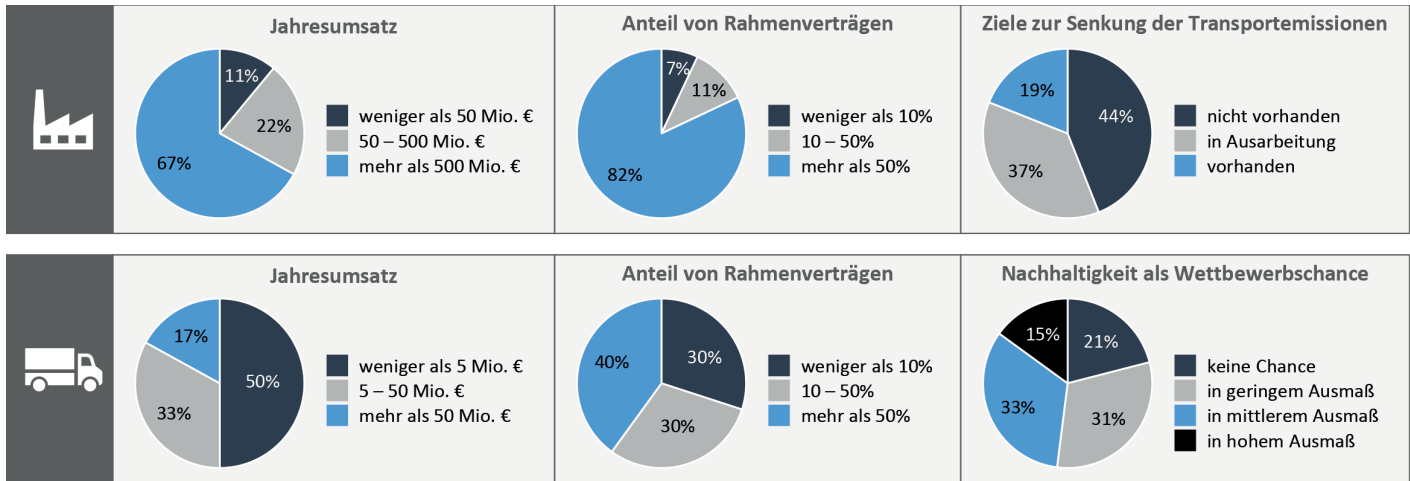


Bild 1: Übersicht der Teil-Samples.

Logistikverantwortliche der Verlager) erhielten eine separate Umfrage mit ähnlichen Fragen. Neben einer deskriptiven Analyse der Ergebnisse zum Thema CO₂-Emissionen wird im Folgenden auch auf korrelative Zusammenhänge eingegangen, wenn sich diese als statistisch signifikant erwiesen haben (p<0.05).

Datengrundlage

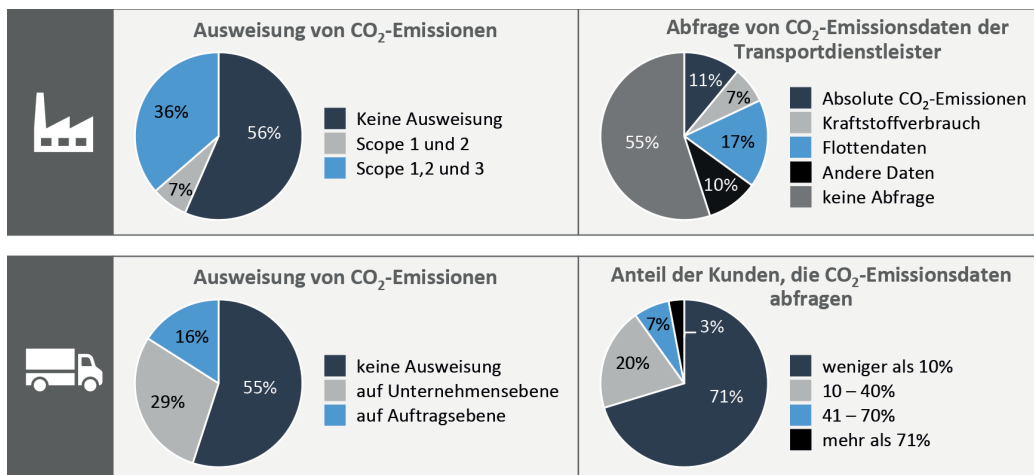
Vertreter von 110 Verladern und 251 Transportdienstleistern beantworteten ihren jeweiligen Fragebogen vollständig und wurden für die Auswertung berücksichtigt. Die Rücklaufquote liegt bei knapp 9 % für die Verlager und unter 1 % für die Transportdienstleister. Bild 1 gibt einen ersten Überblick beider Teil-Samples. Die Verlager erzielen mehrheitlich einen Jahresumsatz von mehr als 500 Millionen Euro und sind vorrangig in den Branchen Konsumgüter (22 %), Chemie (15 %), Baumaterialien (11 %) und Papier/Verpackungen (11 %) tätig. Mehr als vier Fünftel von ihnen vergeben ihre Transportaufträge primär durch Rahmenverträge statt auf dem Spotmarkt. Fast die Hälfte der Verlager hat kein definiertes Ziel oder gar eine Strategie zur Senkung ihrer transportbedingten CO₂-Emissionen. Bei den Transportdienstleistern sind mehr als 80 % der

Unternehmen als KMU zu klassifizieren. Weniger als die Hälfte von ihnen wird hauptsächlich durch Rahmenverträge beauftragt, knapp ein Drittel agiert fast ausschließlich auf dem Spotmarkt. Etwa zwei Drittel der Transportdienstleister fahren vorrangig für Verlager, während weniger als 10 % primär für andere Logistikdienstleister tätig sind. Mehr als 50 % der Transportdienstleister geben an, dass Nachhaltigkeit keine oder nur in geringem Ausmaß eine Differenzierungsmöglichkeit im Wettbewerb für sie darstellt. 15 % der Transportdienstleister sehen Nachhaltigkeit als wichtigen Wettbewerbsfaktor an.

Messen und Ausweisen der CO₂-Emissionen

Um CO₂-Emissionen effektiv reduzieren zu können, ist ihre korrekte Erfassung und Zuweisung von entscheidender Wichtigkeit [1]. Zu unterscheiden sind auf höchster Ebene die CO₂-Emissionen des eigenen Unternehmens als Scope 1 und 2 (zum Beispiel verursacht durch Produktionsanlagen, eigene Transportmittel oder eingekaufte Energie) und CO₂-Emissionen der vor- und nachgelagerten Lieferkette als Scope 3 [6]. Letzteren kommt in einer stark vernetzten Industrie wie der Logistik mit ihrem hohen Outsourcinggrad besondere Bedeutung zu. Bild 2 zeigt für Verlager und Transportdienstleister, auf welcher Aggregationsebene CO₂-Emissionen aktuell berechnet und ausgewiesen werden können. Außerdem ist dargestellt, zu welchem Grad und in welcher Form CO₂-Emissionsdaten ausgetauscht werden.

Bild 2: Ausweisung und Austausch von CO₂-Emissionsdaten.



Sowohl bei Verladern als auch bei Transportdienstleistern sind mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen heute nicht

in der Lage, CO₂-Emissionen auszuweisen. Gruppieren man die Verlager nach dem Reifegrad ihrer Dekarbonisierungsaktivitäten, ändert sich das Bild. So sind 82 % der Unternehmen ohne Reduktionsziele und Dekarbonisierungsstrategie nicht in der Lage, ihre CO₂-Emissionen zu bestimmen. Am anderen Ende des Spektrums beziehen 85 % der Verlager mit definierten Reduktionszielen und einer entsprechenden Strategie auch den Scope 3 in ihre Berechnung ein. Von den Transportdienstleistern berechnen rund 16 % die CO₂-Emissionen auf Ebene eines Kundenauftrags, knapp 30 % zumindest auf Ebene des Gesamtunternehmens. Hier macht vor allem die Unternehmensgröße einen Unterschied. Mit wachsender Größe des Unternehmens nehmen auch die Berechnungskompetenzen zu. So weisen 9 % der Transportdienstleister mit weniger als 5 Mio. € Jahresumsatz die CO₂-Emissionen auftragsbezogen aus, während der Anteil bei den Unternehmen mit mehr als 50 Mio. € Umsatz bei 26 % liegt.

Mehr als die Hälfte der Verlager fragt bei ihren Transportdienstleistern keinerlei Daten ab. Tun sie dies doch, so handelt es sich in 60 % der Fälle um Sekundärdaten zur Modellierung von Werten anstatt Primärdaten wie Kraftstoffverbräuche oder gar die Berechnungen durch die Transportdienstleister selbst. Wird mit Standardfaktoren modelliert, so hat dies zur Folge, dass spezifische Bemühungen der Transportdienstleister (z. B. durch eine höhere Auslastung oder kraftstoffsparende Fahrweise) nicht sichtbar werden. Dies schadet letztlich beiden Parteien. Auch aus Perspektive der Transportdienstleister bestätigt sich das geringe Interesse am Datenaustausch. Drei Viertel der Unternehmen geben an, dass weniger als 10 % ihrer Kunden an solchen Daten interessiert sind. Je höher das Interesse jedoch ist, desto eher sind die Transportdienstleister in der Lage ihre CO₂-Emissionen auch auftragsbezogen auszuweisen und desto eher schätzen Transportdienstleister Nachhaltigkeit als wichtige Wettbewerbschance ein.

Maßnahmen zur Dekarbonisierung

Neben der Berechnung untersucht die Umfrage auch, welche Dekarbonisierungsmaßnahmen den Transportdienstleistern bekannt sind bzw. welche auch genutzt werden (Bild 3). Auffällig ist zunächst, dass die vier am häufigsten implementierten Maßnahmen operativer Natur sind (z. B. Routenoptimierung oder Fahrverhaltensüberwachung), während technische Maßnahmen wie z. B. Gewichtsreduktion oder Geräte zur Leerlaufvermeidung nur etwa halb so häufig genutzt werden. Bei zahlreichen Maßnahmen zeigt sich eine Lücke zwischen Bekanntheit und Verbreitung. Besonders deutlich ist diese Lücke für die Durch-

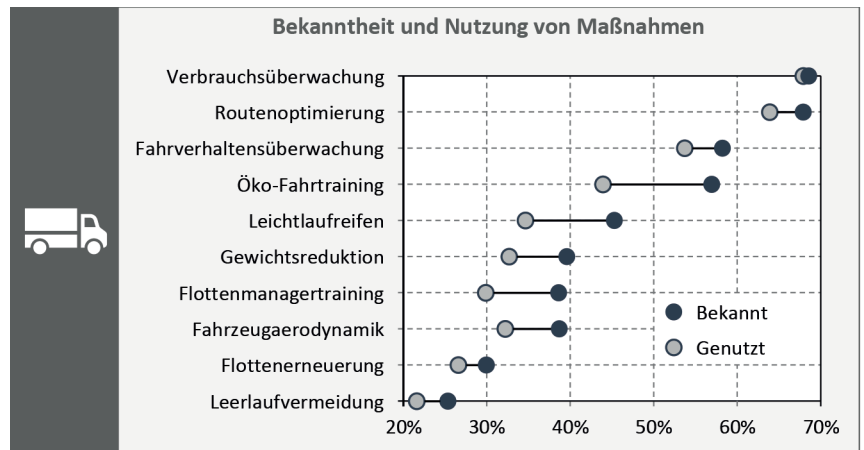


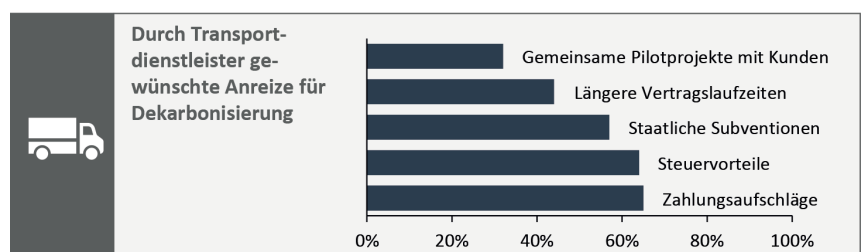
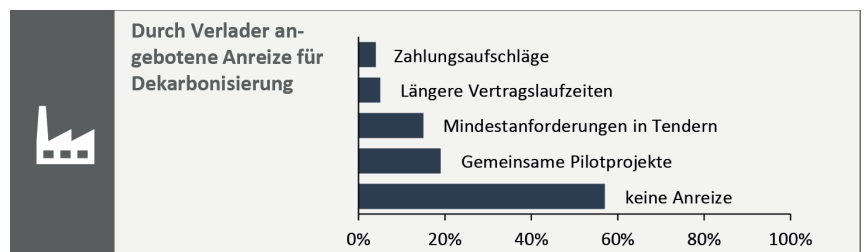
Bild 3: Umsetzung von Maßnahmen zur Dekarbonisierung.

führung von Öko-Fahrertrainings. Dies überrascht, da ein entsprechendes Training sich in zahlreichen Studien als effektive Möglichkeit zur Verbrauchsreduktion bewiesen hat, die sich noch dazu in kurzer Zeit amortisiert. Insgesamt ist die Verbreitung vieler Maßnahmen vergleichsweise niedrig. Transportdienstleister, die Nachhaltigkeit in hohem Ausmaß als Geschäftschance verstehen, implementieren etwa doppelt so viele Dekarbonisierungsmaßnahmen wie der Rest des Samples.

Anreize zum Umsetzen der Maßnahmen

Bild 4 stellt gegenüber, welche Anreize Verlager derzeit setzen, um ihre unter Vertrag stehenden Transportdienstleister zur Dekarbonisierung zu bewegen, und welche Anreize aus Perspektive der Transportdienstleister darauf einen Einfluss hätten. Fast 60 % der Verlager bieten keinerlei Anreize. Etwa ein Fünftel setzt gemeinsam mit den Transportdienstleistern Pilotprojekte im Kontext der Dekarbonisierung um. Jeweils weniger als 5 % der Verlager bieten Zahlungsaufschläge oder längere Vertragslaufzeiten an, um CO₂-Emissionsminderungen durch ihre Transport-

Bild 4: Anreizsetzung zur Dekarbonisierung.



dienstleister zu honorieren. Es lässt sich feststellen, dass Verlader mit einem hohen Reifegrad der Dekarbonisierungsaktivitäten signifikant mehr Anreize setzen als die übrigen Verlader. So setzt nur knapp ein Drittel der Verlader mit eigenen CO₂-Reduktionszielen keinerlei Anreize. Die Transportdienstleister hingegen zeigen sich empfänglich für alle Arten von Anreizen durch Verlader oder politische Rahmensetzung. Zwei Drittel von ihnen wünscht sich Zahlungsaufschläge für klimafreundlichere Transporte, 44 % wünscht sich längere Vertragslaufzeiten. Auch wenn die Transportdienstleister hier lediglich Absichtserklärungen abgeben, wird offenkundig, dass an dieser Stelle eine große Diskrepanz zu den tatsächlich durch Verlader gesetzten Anreizen besteht.

Handlungsempfehlungen für Verlager und Transportdienstleister

Trotz der eingangs beschriebenen Herausforderungen bei der Dekarbonisierung der Logistik, existieren schon heute vor dem großflächigen Einsatz alternativer Antriebe und Treibstoffe zahlreiche Hebel für Transportdienstleister und Verlager gleichermaßen.

Zunächst lässt sich das Zusammenspiel beider Parteien mit dem viel zitierten Ausspruch von Peter Drucker auf den Punkt bringen: Was nicht gemessen wird, kann nicht gesteuert werden. Heute wird der Großteil der CO₂-Transportemissionen mit Standardfaktoren modelliert statt fallspezifisch berechnet. Dies schlägt sich darin nieder, dass Transportdienstleister trotz des vorhandenen Zugangs zu Primärdaten wie Treibstoffverbrauch oder Flottenspezifika kaum eigene Berechnungen anstellen. Zudem fragen Verlager selten Daten ab. Wenn CO₂-Berechnungen für einzelne Dienstleister also mit großen Unschärfen verbunden sind, da Standardemissionsfaktoren nur einen Durchschnitt abbilden, dann werden besondere Bemühungen einzelner Marktteilnehmer nicht sichtbar und können nicht honoriert werden. Es ist darum erforderlich, dass CO₂-Berechnungen verstärkt auf Basis von Primärdaten durchgeführt werden, um eine höhere Transparenz über die tatsächlichen CO₂-Emissionen herzustellen. Nur mit Primärdaten können sie so genau bestimmt werden, dass Reduktionsziele eine Steuerungswirkung haben können.

Darüber hinaus sollten die Verlager erkennen, dass selbst einigen größeren Transportdienstleistern die nötigen Anreize und Fähigkeiten

fehlen, CO₂-Emissionen zu senken. Daher sollten die Auftraggeber von Transporten mehr tun, um die Dekarbonisierung in ihre Beschaffungspraktiken zu integrieren. Sie können den Druck auf ihre Transportdienstleister erhöhen, die CO₂-Emissionen zu senken, und gleichzeitig die Risiken von Investitionen in Technologien und Maßnahmen zur Dekarbonisierung verringern. So können beispielsweise Vertragslaufzeiten verlängert und an die Umsetzung von Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung gekoppelt werden. Auch können sie Mindestanforderungen an die CO₂-Emissionsreduzierung und -berichterstattung in ihre Ausschreibungen aufnehmen und z. B. Zahlungsaufschläge anbieten, um Bemühungen der Transportdienstleister zu belohnen. Wie bereits ausgeführt, setzt all dies voraus, dass mehr Transparenz über die tatsächlichen CO₂-Emissionen erzeugt wird, als dies heute die Regel ist.

Was die Transportdienstleister und die zögerliche Umsetzung lange bekannter Dekarbonisierungsmaßnahmen angeht, so sind Bildungsinitiativen und Wissenstransfer Möglichkeiten, um Wissenslücken zu schließen und Überzeugungsarbeit zu leisten. Transportdienstleister benötigen verlässliche und robuste Bewertungen von Maßnahmen zur Kraftstoffeinsparung, die sich auf die potenziellen Kohlenstoffeinsparungen, den Umsetzungsaufwand und finanzielle Kennzahlen stützen.

Fazit

Die Zuspitzung des Klimawandels erhöht den Druck auf Logistikunternehmen, ihre CO₂-Emissionen zu senken. Zahlreiche kohlenstoffarme Kraftstoffe und alternative Antriebe stehen an der Schwelle zum großflächigen Markteintritt. Jedoch wird die dafür notwendige Erneuerung der Fuhrparks viel Geld kosten und Zeit in Anspruch nehmen. Viele kleinere operative und verhaltensbezogene Maßnahmen haben eine kurzfristige Wirkung und können insgesamt den Kraftstoffverbrauch schon heute erheblich senken. Die meisten dieser Maßnahmen sind nicht neu; viele werden schon seit Jahrzehnten diskutiert und angewendet. Vorhandene Wissenslücken sollten darum schnell geschlossen und die Akzeptanz dieser Maßnahmen bei den vielen kleinen Transportunternehmen deutlich erhöht werden. Die Verlager können diesen Prozess aktiv unterstützen und beschleunigen.

Schlüsselwörter:

CO₂-Emissionen, Logistik, Transport, Dekarbonisierung

Literatur

- [1] McKinnon, A. C.: Decarbonizing Logistics: Distributing goods in a low-carbon world. London 2018.
- [2] Toelke, M.; McKinnon, A. C.: Decarbonizing the operations of small and medium-sized road carriers in Europe. Hamburg 2021.
- [3] Umweltbundesamt: Emissionen des Verkehrs. URL: www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs, Abrufdatum 21.12.2021.
- [4] European Commission: Delivering the European Green Deal. URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en, Abrufdatum 21.12.2021.
- [5] International Transport Forum: Transport Outlook 2019. Paris 2019.
- [6] World Business Council for Sustainable Development: The Greenhouse Gas Protocol. Genua 2004.

Digitales Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen

Ein serviceorientierter Ansatz zur Entwicklung einer Plattform für datengestütztes Nachhaltigkeitsdatenmanagement

Justus von Geibler, Julia Brandt, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Lara Waltersmann, Robert Mieke, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und Ralf Tesch, ConAct GmbH

Die Stärkung der Digitalisierung im Nachhaltigkeitsmanagement und das Schaffen einer einheitlichen sowie konsistenten Datenbasis können Unternehmen maßgeblich unterstützen, steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen zu entsprechen und die Transparenz zur Nachhaltigkeit des Wirtschaftens zu gewährleisten. Dieser Beitrag stellt Anforderungen und einen serviceorientierten Ansatz zur Entwicklung einer Plattform für datengestütztes Nachhaltigkeitsmanagement in produzierenden Unternehmen vor.

Die Transparenz zur Nachhaltigkeitsleistung von Unternehmen anhand nachvollziehbarer Nachhaltigkeitsdaten gewinnt zunehmend an Bedeutung, unter anderem durch den Druck von Politik, Behörden, Investoren und Gesellschaft sowie in Unternehmen gesetzten Zielen. Allerdings besteht häufig, insbesondere wegen fehlender IT-Unterstützung, kein einheitliches Management von Nachhaltigkeitsdaten. In diesem Beitrag wird auf konzeptionelle Grundlagen für die Entwicklung einer digitalen Plattform zum datengestützten Nachhaltigkeitsmanagement eingegangen und dazu folgende Aspekte adressiert: Bedeutung von Transparenz im Nachhaltigkeitsmanagement für Unternehmen, Ansätze zur Digitalisierung von Nachhaltigkeitsinformationen in Unternehmen sowie das Living-Lab-Konzept, das ermöglicht, nutzer- und serviceorientiert eine digitale Plattform für das datengestützte Nachhaltigkeitsmanagement aufzubauen. Diese Ansätze sollen im Rahmen eines Forschungsprojekts, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird, aufgegriffen werden.

Warum Transparenz im Nachhaltigkeitsmanagement?

Nachhaltiges Wirtschaften eröffnet neue

Geschäftsmöglichkeiten für Unternehmen und wird zunehmend zu einem entscheidenden Wettbewerbsfaktor [1]. Neben Politik und Behörden fordern auch Kunden und Investoren zunehmend eine Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung von Unternehmen anhand nachvollziehbarer Nachhaltigkeitsdaten [2]. Nachhaltigkeitsleistungen sollten zudem transparent und glaubhaft nachverfolgt werden können. Hierfür stehen im Bereich der Erfassung von Umweltauswirkungen diverse Methoden zur Verfügung, z. B. Lebenszyklusanalysen (LCA) oder Material Flow Cycle Analysis (MFCA). Allerdings stellen die Erhebung und das Management von hierfür benötigten Daten in Unternehmen aufgrund der Komplexität und Vielfalt der Datenquellen noch immer ein Problem dar; ein einheitliches Datenmanagement existiert kaum [3, 4].

Die nachvollziehbare Erfassung der Energie- und Ressourcennutzung und anderer Nachhaltigkeitsdaten ist eine Voraussetzung für die Verbesserung der Nachhaltigkeit in Unternehmen. Hier eröffnet die Digitalisierung vielversprechende Möglichkeiten bei der Datenerfassung [5], um betriebliche Energie- und Ressourcenverbräuche zu quantifizieren und Verbesserungspotenziale zu identifizieren [4, 6].

Digital Sustainability Management in Companies – A Service-Oriented Approach to Develop a Platform for Data-Driven Sustainability Management

The digitalization in sustainability management and the creation of a consistent database for sustainability data can significantly support companies in meeting increasing sustainability requirements and transparency regarding the sustainability performance. This paper presents a service-oriented approach for the development of a platform for data-driven sustainability management in manufacturing companies.

Keywords:

sustainability, sustainability management, data management, platform, digitalization

Dr. Justus von Geibler ist Co-Leiter des Forschungsbereichs Innovationslabore in der Abteilung Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Julia Brandt ist Senior Researcher im Forschungsbereich Innovationslabore der Abteilung Nachhaltiges Produzieren und Konsumieren am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

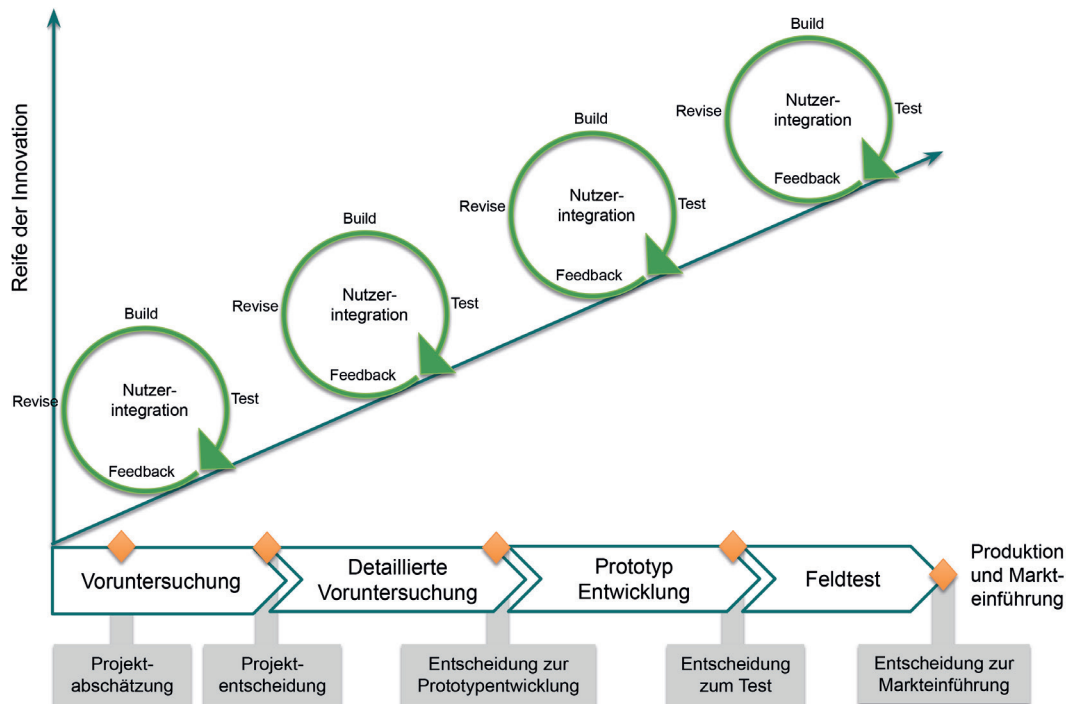
Lara Waltersmann ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Forschungsgruppe Nachhaltige Wertschöpfungssysteme am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Dr. Robert Mieke ist Forschungsgruppenleiter für Nachhaltige Wertschöpfungssysteme am Fraunhofer IPA.

Ralf Tesch ist Geschäftsführer der ConAct GmbH, Mainz. ConAct ist spezialisiert auf Lösungen für die Vernetzte Automatisierung in Industrieunternehmen.

justus.geibler@wupperinst.org
www.wupperinst.org

Bild 1: Modell des Innovationsprozesses im Living Lab. Quelle: [23] in Anlehnung an Cooper (2002).



Literatur

- [1] Löser, F.: Strategic Information Systems Management for Environmental Sustainability: Enhancing Firm Competitiveness with Green IS. Berlin 2015.
- [2] Seidel, S.; Recker, J.; Vom Brocke, J.: Sensemaking and Sustainable Practicing: Functional Affordances of Information Systems in Green Transformations. In: MIS Quarterly 37 (2013) 4, S. 1275-1299.
- [3] Schaltegger, S.; Burritt, R.: Contemporary environmental accounting. Issues, concepts and practice. Sheffield 2017.
- [4] Burritt, R.; Christ, K.: Industry 4.0 and environmental accounting: a new revolution? In: AJSSR 1 (2016) 1, S. 23-38. DOI: 10.1186/s41180-016-0007-y.
- [5] Geibler, J. v.; Wiesen, K.; Mostyn, R.; Werner, M.; Riera, N. u. a.: Forming the Nucleus of a Novel Ecological Accounting System. The myEcoCost Approach. In: Key Engineering Materials, Vol. 572 (2014), S. 78-83.
- [6] VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. VDI ZRE 2017. ULR: www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/studien/VDI-ZRE_Studie_KI-betriebliche-Ressourceneffizienz_Web_bf.pdf, Abrufdatum 15.09.2021.
- [7] Schaltegger, S.; Herzig, C.; Kleiber, O.; Klinke, T.; Müller, J.: Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen. Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability. Lüneburg 2007.
- [8] WBGU: Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Zusammenfassung. 1. Auflage. Berlin 2019.
- [9] Mieke, R.; Waltersmann, L.; Sauer, A.; Bauernhansl, T.: Sustainable production and the role of digital twins—Basic reflections and perspectives. J. Adv. Manuf. Process. 2021, 3.
- [10] Barni, A.; Fontana, A.; Menato, S.; Sorlini, M.; Canetta, L.: Exploiting the Digital Twin in the Assessment and Optimization of Sustainability Performances. In: International Conference on Intelligent Systems. 2018.
- [11] Waltersmann, L.; Kiemel, S.; Stuhlsatz, J.; Sauer, A.; Mieke, R.: Artificial Intelligence Applications for Increasing Resource Efficiency in Manufacturing Companies—A Comprehensive Review. Sustainability 2021, 13, 6689.
- [12] Conrad C.: ERP for ESG: Nachhaltigkeitsmanagement mit Software-Systemen. In: CSR und Finance 2014. DOI: 10.1007/978-3-642-54882-6_13.
- [13] Bischof, C.; Winkler, H.: Zeitgemäßes Umweltcontrolling mit SAP. In: Tschandl, M.; Posch, A. (eds): Integriertes Umweltcontrolling. Wiesbaden 2012.

Digitale Ansätze für das Nachhaltigkeitscontrolling

Das Nachhaltigkeitscontrolling mit seiner Informations-, Planungs-, Steuerungs- und Kontrollfunktion bildet die Grundlage für Transparenz und die Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung in Unternehmen. Die Informationserhebung und -verarbeitung von Nachhaltigkeitsdaten sind hierbei zwei der Kernaufgaben des Nachhaltigkeitscontrollings, das durch die steigenden Informationsbedarfe interner und externer Stakeholder zunehmend komplexer wird [7]. Digitale Ansätze können bei der Komplexitätsbeherrschung unterstützen. Die automatische Datenaufnahme und -verarbeitung über Sensoren und Algorithmen werden bereits von vielen Unternehmen umgesetzt. Nachhaltigkeit wird hierbei allerdings zumeist nicht berücksichtigt. Entsprechend betont der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), dass Digitalisierung kein Selbstzweck ist, sondern zur Förderung der Großen Transformation zur Nachhaltigkeit aktiv eingesetzt und entsprechend gestaltet werden muss [8].

Für Unternehmen spielen insbesondere Nachhaltigkeitssoftware und der digitale Zwilling eine bedeutende Rolle [9, 10]. In Zukunft kann der vermehrte Einsatz von KI-Anwendungen zu weiteren Nachhaltigkeitsverbesserungen führen [6, 11]. Diverse Nachhaltigkeitssoftware bzw. betriebliche Umweltinformationssysteme unterstützen Unternehmen darin, Nachhaltigkeitsdaten für eingegrenzte Anwendungen, wie

Nachrichtungsberichte oder Life Cycle Assessments, aufzunehmen und auszuwerten. Beispiele kommerzieller Software sind vielfältig [12]. Mit den weit verbreiteten Unternehmensdatenbanken, wie ERP-Systemen, ist zwar eine umfangreiche und strukturierte Datenbasis vorhanden, in der Teilaspekte der Nachhaltigkeit adressiert werden; dieses lässt jedoch keine Betrachtung aller relevanten Nachhaltigkeitsdaten zu und eine Anpassung der Datenstrukturen zur Aufnahme von weiteren Nachhaltigkeitsdaten ist mit einem hohen Aufwand verbunden [13].

Als Ausprägung eines digitalen Zwillings bietet die Verwaltungsschale eine gute Grundlage für die Datenerhebung und somit die Verwendung im Nachhaltigkeitscontrolling. Hier wurde in ersten Ansätzen gezeigt, dass diese zur Bewertung von Umweltauswirkungen herangezogen werden kann [14]. Die Lebenslaufakte nach DIN 77005 ist ebenfalls eine Ausprägung eines digitalen Zwillings und für eine bedarfsgerechte Informationsbereitstellung sowie Bewertung im Nachhaltigkeitsbereich generell geeignet [15]. Jedoch existieren weder für die Verwaltungsschale noch für die Lebenslaufakte Teilmodelle bzw. eine übergreifende Strukturierung der Nachhaltigkeitsdaten, sodass diese einheitlich für verschiedene Anwendungen im Kontext des Nachhaltigkeitscontrollings verwendet werden können.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt „Serviceorientierter Hub zur Verwertung von Nach-

haltigkeitsinformation für produzierende Unternehmen (EcoHub)“ schließt an diesen Forschungsbedarf im Bereich der Nachhaltigkeitssoftware als auch der Datenstrukturierung an. Es soll die Nachhaltigkeitsplattform „EcoHub“ für übergreifende Anwendungen entwickelt werden. Der Living-Lab-Ansatz bildet den zentralen Innovationsansatz bei der Entwicklung dieser Plattform.

Der Living-Lab-Ansatz für die Entwicklung der EcoHub Datenplattform

Im Kontext von Nachhaltigkeitsinnovationen und komplexen Entwicklungsumgebungen gewinnen nutzer- und anwendungsorientierte Innovationsprozesse, wie Ko-Kreation und Open-Innovation-Prozesse zunehmend an Bedeutung [16]. Die Öffnung von Innovationsprozessen sowie die gezielte Einbindung relevanter Anspruchsgruppen erhöhen die Chance, das Know-how einer breiteren Anzahl von Akteuren in Anspruch zu nehmen [17]. Gleichzeitig zeichnet sich ein Trend ab, bei dem sich Innovationsprozesse zunehmend an der Realwelt orientieren und praxisnahe Kontexte zur Entwicklung von Innovationen verwendet werden [18]. In diesem Zusammenhang gewinnt der Living-Lab-Ansatz in der Innovationspraxis und der Nachhaltigkeitsforschung zunehmend an Bedeutung [19, 20].

Ein Living Lab ist ein offener Forschungs- und Innovationsansatz, mit dem Produkte und Dienstleistungen gemeinsam mit Nutzern und Stakeholdern entwickelt (Co-Creation) und praxisnah getestet werden können [21]. Dieser Ansatz zielt auf eine konsequente Praxis- und Nutzerorientierung in den zentralen Phasen der Entwicklung und Erprobung von technisch-gestützten Systemen ab [22]. Bei der Erprobung steht das iterative Lernen in einem strukturierten Prozess und experimentellen, praxisnahen Umfeld im Vordergrund (Bild 1).

Der Begriff des Labors wird im Living Lab über seine klassische natur- und ingenieurwissenschaftliche Bedeutung hinaus auf einen sozialen und ökologischen Kontext erweitert. Dafür öffnet sich der Innovationsprozess an zentralen Stellen, sodass neben den Entwicklern auch Anwender und weitere relevante Akteure im Anwendungsfeld einbezogen werden können [24]. Frühe Experimente und Tests in einer praxisnahen Umgebung helfen, Entwick-

lungsfehler aufzudecken und wertvolle Feedbacks zu Akzeptanz und Nutzung zu erhalten [25, 26].

Der Entwicklungsansatz des Living Labs wird auch für die Entwicklung der EcoHub Datenplattform zum Nachhaltigkeitsmanagement genutzt. Dazu soll er iterativ und interaktiv gemeinsam mit Unternehmen und bezogen auf verschiedene Anwendungsfälle des Nachhaltigkeitsmanagements bezogen werden.

Fazit und Ausblick

Das digitale Management von Nachhaltigkeitsdaten bietet große Potenziale für das Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen und eine Vielzahl von Anwendungen. Das vom BMBF geförderte Projekt „EcoHub“ ist mit der Zielsetzung gestartet, ein ganzheitliches Management von Nachhaltigkeitsdaten auf Basis einer einheitlichen Datenplattform in Unternehmen zu ermöglichen und Funktionen für das Nachhaltigkeitsmanagement in Form von flexiblen Services einfach nutzbar zu machen. Unter der Leitung vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA wird mit zwei weiteren Forschungs- und Entwicklungspartnern, dem Wuppertal Institut und der ConAct GmbH, sowie 13 Praxispartnern aus der Wirtschaft hierzu eine prototypische, nutzerzentrierte Datenarchitektur entwickelt und am Beispiel einer Plattform umgesetzt, dem serviceorientierten Hub zur Verwertung von Nachhaltigkeitsinformation für produzierende Unternehmen (EcoHub). Die Entwicklung der Eco-Hub Plattform (insb. die Identifikation von Anforderungen, die prototypische Umsetzung und die Validierung) erfolgt auf Basis des nutzerintegrierenden Living-Lab-Ansatzes anhand von neun Use-Cases, in welchen in Kooperation mit produzierenden Unternehmen gleichzeitig konkrete Verbesserungen in Bezug auf Nachhaltigkeit umgesetzt und quantifiziert werden.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Serviceorientierter Hub zur Verwertung von Nachhaltigkeitsinformation für produzierende Unternehmen“, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Förderinitiative „Sozial-ökologische Forschung“ unter dem Kennzeichen 02J20E528 gefördert wird.

Schlüsselwörter:

Nachhaltigkeit, Nachhaltigkeitsmanagement, Datenmanagement, Plattform, Digitalisierung

- [14] Al Assadi, A.; Waltersmann, L.; Mieke, R.; Fechter, M.; Sauer, A.: Automated Environmental Impact Assessment (EIA) via Asset Administration Shell. In: Weißgraeber, P.; Heieck, F.; Ackermann, C. (eds): Advances in Automotive Production Technology – Theory and Application. ARE-NA2036. Berlin Heidelberg 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62962-8_6.
- [15] DIN und DKE: Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0 Version 3. 2018.
- [16] Warnke, P.; Koschatzky, K.; Dönitz, E.; Zenker, A. u. a.: Opening up the innovation system framework towards new actors and institutions. Discussion Papers Innovation Systems and Policy Analysis, No. 49. Karlsruhe 2016.
- [17] Bartle, M.: Open Innovation. Der offene Umgang mit Wissen verändert das Innovationsmanagement. In: pen Journal of Knowledge Management 1 (2010).
- [18] Schneidewind, U.; Singer-Brodowski, M.: Vom experimentellen Lernen zum transformativen Experimentieren. Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik, 16 (2015) 1, S. 10-23.
- [19] Schöpke, N.; Stelzer, F.; Caniglia, G.; Bergmann, M.; Wanner, M. u. a.: Jointly experimenting for transformation? Shaping real-world laboratories by comparing them. GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society 27 (2018) 1, S. 85-96.
- [20] Ley, B.; Ogonowski, C.; Mu, M.; Hess, J.; Race, N. u. a.: At home with users: a comparative view of Living Labs. Interacting with Computers, 27 (2015) 1, S. 21-35.
- [21] Geibler, J. v.; Erdmann, L.; Liedtke, C.; Rohn, H.; Stabe, M. u. a.: Living Labs für nachhaltige Entwicklung. Wuppertal Spezial Nr. 47. Wuppertal 2013.
- [22] Baedeker, C.; Piwowar, J.; Themann, P.; Grinewitschus, V.; Krisemend, B. u. a.: Interactive Design to Encourage Energy Efficiency in Offices: Developing and testing a User-Centred Building Management System based on a Living Lab Approach. In: Sustainability, Volume 12 (2020) 17, 6956.
- [23] Geibler, J. v.; Echternacht, L.; Stadler, K.; Liedtke, C.; Hasselkuß, M. u. a.: Nachhaltigkeitsanforderungen und -bewertung in Living Labs: Konzeption eines Bewertungsmodells. Wuppertal 2016.
- [24] Schuurman, D.; Herregodts, A.-L.; Georges, A.; Rits, O.: Innovation Management in Living Lab Projects: The Innovatrix Framework. Technology Innovation Management Review 9 (2019) 3, S. 63-73.
- [25] Liedtke, C.; Baedeker, C.; Hasselkuß, M.; Rohn, H.; Grinewitschus, V.: User-Integrated Innovation in Sustainable Living Labs: An Experimental Infrastructure for Researching and Developing Sustainable Product Service Systems. Journal of Cleaner Production, 97. (2015), 106-116.
- [26] Geibler, J. v.; Piwowar, J.; Greven, A.: The SDG-Check: Guiding Open Innovation towards Sustainable Development Goals. Technology Innovation Management Review, 9 (2019) 3, S. 20-37.

Off-Peak-Logistik

Ein Ansatz zur Emissionssenkung in der Urbanen Logistik

Sebastian Stütz, IU Internationale Hochschule Erfurt und Daniela Kirsch, Fraunhofer IML Dortmund

Off-Peak Delivery: An Opportunity for Climate-Friendly Urban Logistics

Urban logistics has to change to become more silent and eco-friendlier. Off-peak delivery is regarded as an effective measure to cut carbon emissions. Implementing this concept will require the deployment of electric trucks to comply with noise regulations. This article provides an overview of current research themes in this field and uses McKinnon's "Analytical framework for green logistics" to illustrate off-peak delivery as a concept, its benefits and limitations as well as the key requirements to make this concept work.

Keywords:

urban logistics, night delivery, off-peak delivery, green logistics, electric trucks

Die Urbane Logistik berührt in mehreren Hinsichten verschiedene Trends der letzten Jahre: Zum einen verschärft die Urbanisierung Verkehrsprobleme, vom reinen Ärgernis zäher Verkehrsflüsse bis zur Lärm- und Schadstoffbelastung [1, 2]. Zum anderen erfordern gesellschaftliche und gesetzliche Anforderungen Veränderungen [3, 4]. Als Reaktion beginnen einige Städte die Zufahrt von Lkw zeitlich nach Gewicht, Fahrzeuggeometrie oder Emissionsklasse bis hin zu Null-Emissionszonen zu regulieren [5]. In jüngerer Zeit gewinnt das Konzept der Off-Peak-Logistik (engl.: Off-Peak Delivery) an Beachtung, welches Liefer- und Individualverkehre zeitlich entzerren und Schadstoffemissionen bei Einsatz konventioneller Diesel-Lkw um bis zu 67 % senken soll [6, 7].

Da das Konzept in verschiedenen Ländern lärmbedingt den Einsatz von batterieelektrischen Lkw (E-Lkw) erfordert, bietet es sich auch als Mittel zur Beschleunigung der Flottenelektrifizierung an. Dennoch wird Off-Peak-Logistik bislang kaum genutzt. Dieser Beitrag zielt darauf ab, notwendige organisatorische, technische und regulatorische Einsatzvoraussetzungen des Konzepts zu systematisieren. Es wird aufgezeigt, dass zentrale Einsatzhemmnisse im regulatorischen Umfeld liegen, und wie diese beseitigt werden können.



Prof. Dr. Sebastian Stütz lehrt Supply Chain Management an der IU Internationale Hochschule in Erfurt und erforscht seit rund zehn Jahren den Einsatz von batterieelektrischen Lkw in der Urbanen Logistik.



Dipl.-Logist. Daniela Kirsch arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund und leitet das Team „Urbane Logistik und Elektromobilität“ der Abteilung Verkehrslogistik.

Begriff der Off-Peak-Logistik

Off-Peak-Logistik ist durch die Praxis geprägt, sodass keine allgemein akzeptierte, an Tageszeiten orientierte Definition existiert. Dies überrascht, da schon Trimble (1956) Grundlagen der Off-Peak-Logistik in seiner Dissertation erforschte [8]. Im Kern geht es darum, Verkehre in Zeiten geringerer Verkehrsstärken zu verlagern und die Kapazitätsauslastung des Verkehrsnetzes auf diese Weise zu glätten bzw. Wartezeiten durch Umgehung geschäftlicher Stoßzeiten zu verkürzen. Nachtlogistik ist ein Spezialfall der Off-Peak-Logistik, bei dem Verkehre vom Tag in die Nacht verlagert werden [9-11].

Bild 1 zeigt, dass Off-Peak-Logistik gegenüber dem Status Quo einzelne Stopps zu anderen Zeiten bedient, sodass sich Zeitpunkt und Ort der Anlieferung (1) und damit eigene Beiträge zum Verkehrsaufkommen verändern. Ob Off-Peak-Logistik dabei die gesamte Transportleistung im urbanen Raum reduziert, kann hieraus nicht zwingend gefolgert werden.

Dafür ist wesentlich, ob Unternehmen Off-Peak-Logistik als Aufgabe betrachten, die das bestehende Geschäft ergänzt (bspw. Handelslogistik mit getrennter Off-Peak-Logistiklösung für einzelne Empfänger) oder ob Off-Peak-Logistik von Grund auf in alle taktisch-operativen Planungsabläufe wie Transportketten-, Gebietszuschnitts- oder Tourenplanung integriert wird. Im ersten Fall, der Off-Peak-Logistik im engeren Sinne (1), sind folglich weniger Entscheidungen zu treffen als im Falle der Off-Peak-Logistik im weiteren Sinne (2). Der Beitrag betrachtet die Off-Peak-Logistik im weiteren Sinne. Zudem wird angenommen, dass das Konzept, auf Freiwilligkeit und nicht auf regulatorischem Zwang beruht [12, 7]. Unternehmen entscheiden sich bewusst für oder gegen Off-Peak-Logistik und wägen dafür mögliche Vor- und Nachteile des Konzepts ab (Bild 2). Stathopoulos et al. (2012) analysieren die Bereitschaft zur Nutzung von Off-Peak-Logistiklösungen am Beispiel der italienischen Hauptstadt Rom und grenzen das Potenzial zwischen 15 und 30 % der befragten 195 Unternehmen

ein [13]. Holguín-Veras et al. (2018) taxieren das Potenzial anhand der Fahrleistung und gehen von mindestens 10 % der Gesamtfahrleistung der Urbanen Logistik aus [6].

Vor- und Nachteile der Off-Peak-Logistik

Holguín-Veras et al. (2014) sowie Slávik und Gnap (2019) betonen das Entfallen von Standzeiten im gebundenen Verkehr, woraus sie Effizienzsteigerungen und sinkende Transportstückkosten ableiten [14, 15]. Tatsächlich wiesen Feldtests des ZEUS-Projekts in Stockholm Zeitersparnisse von mind. 10 % gegenüber typischen Tagesfahrten nach [16]. Feldversuche der niederländischen Supermarktkette Albert Heijn reduzierten die Anfahrtszeit durch Nachtbelieferung von 90 auf 30 Minuten [17]. Autoren wie Ljubicic und Pavlovic (2015) unterstellen höhere Zustellqualität und Beladefaktoren aufgrund besserer Planbarkeit und höherer Durchschnittsgeschwindigkeiten [18]. Zunehmende Pünktlichkeit und Verlässlichkeit erleichtern es der Empfängerseite, lokale Logistikaufgaben (z. B. Verräumen oder Einlagern) und Kerngeschäft (z. B. Interaktion mit Kunden) zu trennen und Waren frühzeitig am Verwendung- oder Verkaufsort verfügbar zu haben [14]. Seltener im gebundenen Verkehr stoppen und anfahren zu müssen, reduziert Verschleiß speziell von Verbrennungsmotorfahrzeugen, Kraftstoffverbräuche und Kosten und somit auch Luftschadstoffemissionen [19, 20]. Zudem werden sinkende Stressbelastungen, vor allem der Fahrer, z. B. durch wegfallenden Suchverkehr, höhere Verkehrssicherheit und weniger Staus erwartet [18, 21].

Diese Vorzüge werden primär durch Mehraufwände für Planung, Anschaffung spezieller, geräuscharmer Betriebsmittel, Sicherungsmaßnahmen und höhere Arbeitskosten (bspw. durch

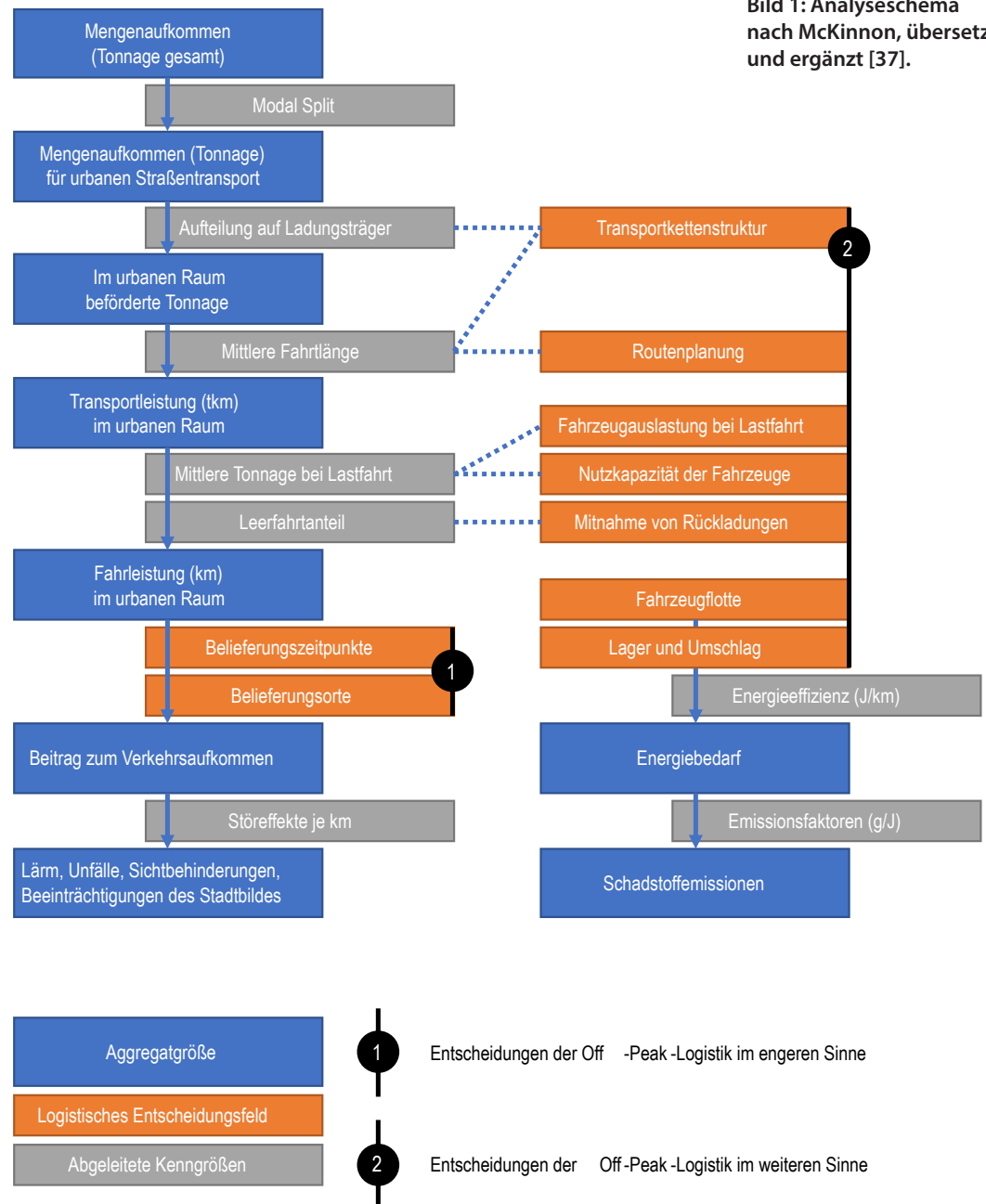
Schichtzulagen) erkauf [20, 21]. Lokale Lärmbelastung und Luftverschmutzung können beim Einsatz von Diesel-Lkw allenfalls räumlich wie zeitlich verschoben und nur mittels E-Lkw maximal reduziert werden [22]. Als Nachtlogistik erfordert Off-Peak-Logistik in Deutschland und anderen Ländern den Einsatz von E-Lkw, was weitere Investitionen in Ladeinfrastruktur sowie organisatorische Umstellungen und Personalbildungen nach sich zieht.

Praxisbeispiele für Off-Peak-Logistik

Für Off-Peak-Logistik finden sich verschiedene Praxisbeispiele:

- Zur Verkehrsverflüssigung und Emissionssenkung führte die Stadt New York

Bild 1: Analyseschema nach McKinnon, übersetzt und ergänzt [37].



Literatur

- [1] Rai, H. B.; Van Lier, T.; Meers, D.; Macharis, C. Improving urban freight transport sustainability: Policy assessment framework and case study. In: Research in Transportation Economics 64 (2017), S. 26-35.
- [2] Browne, M.; Allen, J.; Nemoto, T.; Patier, D.; Visser, J. Reducing social and environmental impacts of urban freight transport: A review of some major cities. In: Procedia-Social and Behavioral Sciences 39 (2012), S. 19-33.
- [3] Europäische Kommission: Mitteilung der Kommission: Der europäische Grüne Deal. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0640>, Abrufdatum 11.09.2021.
- [4] Gonzalez-Feliu, J.: Sustainable Urban Logistics: Planning and Evaluation. Hoboken 2018.
- [5] Wittlöw, A.: Urban freight transport: Challenges and opportunities. Urban Freight for Livable Cities: How to Deal with Collaboration and Trade-Offs, S. 12-23, 2012.
- [6] Holguín-Veras, J.; Encarnación, T.; González-Calderón, C.A.; Winebrake, J.; Wang, C.; Kyle, S.; Yoshizaki, H.: Direct impacts of off-hour deliveries on ur-

Säule der Nachhaltigkeit	Vorteile der Nebenzeitlogistik	Nachteile der Nebenzeitlogistik
Ökonomische Auswirkungen Logistikdienstleister	Reduzierung von Standzeiten	Mögliche Arbeitskostenzuschläge
	Höhere Fahrzeugproduktivität	Erhöhter Planungsaufwand
	Verbesserte Termineinhaltung	Ggf. spezielle Betriebsmittel nötig
	Geringerer Fahrzeugverschleiß	Zusätzliche Absicherungen der Transportkette nötig
	Geringerer Kraftstoffverbrauch	
Ökonomische Auswirkungen Empfänger	Keine Bindung des Personals durch Belieferung parallel zum Tagesgeschäft	Mögliche Arbeitskostenzuschläge
	Höhere zeitliche Verlässlichkeit der Anlieferung	Erhöhter Planungsaufwand für den Wareneingang
		Sicherheitsvorkehrungen nötig
Soziale Auswirkungen	Beitrag zur Verkehrssicherheit	Mehr Verkehr in Nebenzeiten
	Beitrag zur Verkehrsverflüssigung	
	Mehr Freiraum für Individualverkehr	Lärm-, Licht- und Schadstoffemissionen um den Empfangspunkt
	Höhere Warenverfügbarkeit	
Umwelt- und Klimawirkung	Emissionssenkung	Punktuelle Schadstoffkonzentration

kofinanzierte Projekt „GeNaLog“. Es demonstrierte erfolgreich, wie in Deutschland Nachtbelieferungen im Einklang mit den Lärmgrenzwerten der TA-Lärm durchführbar sind [27, 28].

Organisatorische, technische und regulatorische Einsatzvoraussetzungen der Off-Peak-Logistik

Mithilfe von McKinnons Systematik werden im Folgenden organisatorische, technische und regulatorische Einsatzvoraussetzungen der Off-Peak-Logistik-systematisiert (Bild 3) und in den Tabellen (Bildern 4-6) zusammengefasst. Ein zentrales Hemmnis stellt die Ungleichverteilung von

Bild 2: Vor- und Nachteile von Off-Peak-Logistik [22].

ban freight emissions. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment 61 (2018), S. 84-103.

[7] Fu, J.; Jenelius, E.: Transport efficiency of off-peak urban goods deliveries: A Stockholm pilot study, Case Studies on Transport Policy, 6(1) (2018), S. 156-166.

[8] Trimble, O. M.: Trucks and urban congestion. Zugl. Dissertation Georgia Institute of Technology (1956). Atlanta 1956.

[9] Sánchez-Díaz I.; Georén P.; Brolinson, M.: Shifting urban freight deliveries to the off-peak hours: a review of theory and practice. In: Transport reviews 37 (2017), S. 521-543.

[10] Verlinde, S.: Promising but challenging urban freight transport solutions: freight flow consolidation and off-hour deliveries. Zugl. Dissertation Universität Ghent. Ghent 2015.

[11] Douglas, C.: Quiet Deliveries Demonstration Scheme – Final Project Report. London: Department for Transport. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/4007/quiet-deliveries-demo-scheme-final-project-report.pdf, Abrufdatum 11.09.2021.

[12] Domínguez, A.; Holguín-Veras, J.; Ibeas, Á.; dell’Olio, L.: Receivers’ response to new urban freight policies. In: Procedia-Social and Behavioral Sciences 54 (2012), S. 886-896.

[13] Stathopoulos, A.; Valeri, E.; Marcucci, E.: Stakeholder reactions to urban freight policy innovation. Journal of Transport Geography, 22 (2012), S. 34-45.

[14] OPD-Potenzial 15-30% Holguín-Veras J.; Wang, C.; Browne, M.; Hodge, S.D.; Wojtowicz, J.: The New York city off-hour delivery project: lessons for city logistics. Procedia-Social and Behavioral Sciences 125 (2014), S. 36-48.

zwischen 2009 und 2010 ein Pilotprojekt zur Off-Peak-Logistik durch, das als „Off-Hour Deliveries Program“ verstetigt wurde [2, 23].

- Zur Steuerung des Verkehrsaufkommens hat die Stadt London mit fünf Handelsunternehmen ein Pilotprojekt zur Off-Peak-Logistik durchgeführt, das Kraftstoffeinsparungen bestätigte [11]. Erkenntnisse des Projekts flossen in die Gestaltung des Innenstadtmautsystems ein [24].
- Um zur Fußballweltmeisterschaft 2014 in Brasilien die Beschickung von Handelsfilialen trotz überdurchschnittlicher Verkehrsstärken sicherzustellen, entwickelten eine von Versorgungsproblemen betroffene Handelskette und ein Logistikdienstleister ein Nachtbelieferungskonzept, das sich für beide Parteien als kostengünstiger gegenüber einer Tagbelieferung herausstellte und beibehalten wurde [20].
- Seit Mitte der 2010er Jahre erprobt die Stadt Stockholm Nachtlogistikkonzepte zur Emissionsreduktion [25]. Der Fokus besteht eher in der Förderung schwerer E-Lkw als in einer Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotorfahrzeugen mittels Verkehrsverflüssigung [26].
- Von 2013 bis 2017 leiteten die Fraunhofer-Institute IML und ISI das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung

Aufwand und Nutzen dar, da der Empfängerseite mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Planungsmehraufwand, aber nur mit geringer Wahrscheinlichkeit größere Vorteile entstehen. Transportdienstleistern erwächst zwar ebenfalls ein höherer Planungsaufwand, jedoch erzielen sie mit hoher Wahrscheinlichkeit, dank Verkehr in Nebenzeiten, operative Vorteile. Außerhalb des Werkverkehrs sind also Rahmenbedingungen nötig, damit alle Beteiligten wirtschaftliche Vorteile aus der Off-Peak-Logistik ziehen können (Bild 3; 1). Langfristige und vertrauensgeprägte Geschäftsbeziehungen wie in der Kontraktlogistik bieten sich an, da bereits Erfahrungen bei der Aufteilung der Effizienzgewinne einer Kooperation bestehen (Bild 3; 2). Sollte das der Off-Peak-Logistik vor-/nachgelagerte Transportnetzwerk nicht mittels Lagerbeständen Verkehre zeitlich entkoppeln, erzwingt die Umsetzung der Off-Peak-Logistik eine umfassende Veränderung von Fahr- und Arbeitsplänen (z. B. im Fall von Cross-Docking) [29, 30].

Stadtnahe Umschlags-/Lagerzentren als Startpunkt der Off-Peak-Logistik gestatten, die knappe Ressource Arbeitszeit des Fahrpersonals im Rahmen der Off-Peak-Logistik produktiver zu nutzen (Bild 3; 4). Räumliche Nähe begünstigt zudem den Einsatz von E-Lkw (Bild 3; 7), deren Einsatzreichweite auch im urbanen Raum an Grenzen stoßen kann [31].

Da am Markt keine explizit geräuscharmen Fahrzeugaufbauten angeboten werden, müssen zur Schalldämmung von Kofferaufbau und Ladebordwand können handelsübliche Mittel wie Beschichtungen oder Polster aus Hartschaum (Bild 3; 7) eingesetzt werden. Für Umschlagsprozesse existieren geräuscharme Umschlagmittel und Ladungsträger (z. B. Rollwagen mit Weichgummirollen, Bild 3; 8, 9). Rein technische Mittel zur Verhinderung eines übermäßig kraftvollen Schließens der Kabinentür bietet bislang kein Lkw-Hersteller (Bild 3; 7). Operative Planungen müssen Besonderheiten der (geräuscharmen) Off-Peak-Logistik integrieren, bspw. unter Einhaltung von Reichweitenbegrenzungen von E-Lkw oder gesetzlicher Lärmgrenzwerte („Silent Routing“, Bild 3; 6).

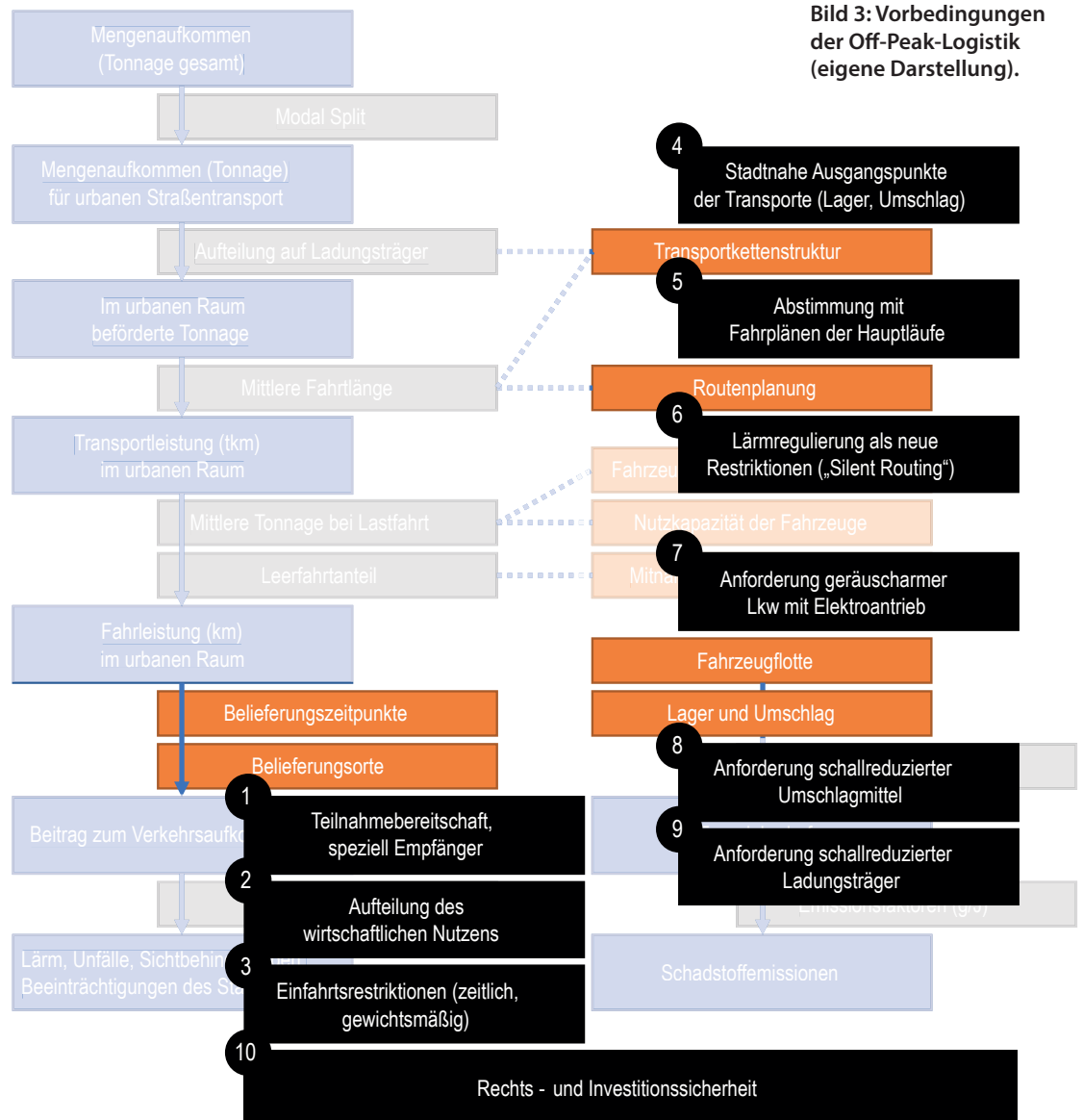


Bild 3: Vorbedingungen der Off-Peak-Logistik (eigene Darstellung).

Staat und Kommunen schaffen regulatorische Grundlagen für Unternehmen, die Logistikketten organisieren, und können etwa mittels Privilegierung Anreize für erwünschtes Verhalten setzen. Verkaufs- oder Vergabekriterien für attraktive Logistikflächen könnten bspw. an die Zusicherung geknüpft werden, urbane Standorte in der Nebenzeit ver- und entsorgen zu lassen. Die italienischen Kommunen Brescia [32] und Como [33] privilegieren emissionsfreie Lkw mit breiteren Einfahrtszeitfenstern für ihre Innenstädte und belohnen Investitionen in Emissionsvermeidung mit höherer Planungsflexibilität (Bild 3; 3). Zur Umsetzung der Off-Peak-Logistik sind Anreize allein nicht ausreichend, da Fahrten in Tagesrandzeiten besonderer Erlaub-

nisse bedürfen. Pilotversuche wie in Deutschland nutzen Ausnahmegenehmigungen, deren Einholung aufwändig und deren Gültigkeit befristet ist. Die für einen Dauerbetrieb einer Off-Peak-Logistik erforderliche Rechtssicherheit stellt eine notwendige Voraussetzung dar, die über McKinnons Schema hinausgeht (Bild 3; 10), da langfristige Planungs- und Investitionssicherheit benötigt wird. Gegenwärtig existiert in Deutschland kein standardisiertes Verfahren zur behördlichen Genehmigung von Off-Peak-Logistik (inkl. der Nachtlogistik). Zudem erfordert der Nachweis der Einhaltung von Lärmgrenzwerten individuelle Lärmgutachten je Standort, deren Erstellung aufwändig und Ergebnisse offen sind. Eine

[15] Slávik, R.; Gnap, J.: Selected Problems of Night-Time Distribution of Goods within City Logistics. Transportation Research Procedia 40 (2019), S. 497-504.

[16] Haustraete, J.; Roelens, D.; Dermul, V.; Leonard, P.; Jessberger, C.; Blinge, M.; Ceder, U.; Kirsch, D.; Kraft, V.; Gidofalvi, G.; Tong, X.; Yang, C.; Darwish, R.; Provoost, J.; Rumpel, R.; Venkataraman, S.; Baclet, S.; Hadachi, A.; Pourmoradnasser, M.; Khoshkhal, K.; Heuninckx, S.; Horvath, J.; Billsjö, R.; Conill de Azpiazu, M.: Zero Emission Off-Peak Urban Deliveries: Guide to Experiences and Results of the ZEUS Project.

[17] Bestufs: Albert Heijn & PIEK. URL: www.bestufs.net/download/conferences/Athens_June08/Presentation_AH_Athene.pdf, Abrufdatum 11.09.2021.

[18] Ljubcic, H.; Pavlovic, J.: Urban logistics systems and night goods delivery. In 2nd Logistics International Conference (2015), S. 321-326.

[19] Whitehead, J.; Whitehead, J.; Kane, M.; Zheng, Z.: Exploring public charging infrastructure requirements for short-haul electric trucks. In: International Journal of Sustainable Transportation (2021), S. 1-17.

Bild 4: Organisatorische Einsatzvoraussetzungen Off-Peak-Logistik.

Organisatorische Einsatzvoraussetzungen	
Allgemeine Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> • Verknüpfung mit vor-/nachgelagertem Transportnetzwerk durch Pufferlagerung oder Reorganisation von Arbeits- und Transportzeiten
Spezielle Voraussetzungen, falls Off-Peak-Logistik nicht als Werkverkehr umgesetzt	<ul style="list-style-type: none"> • Rahmenvereinbarung zwischen Nutznießer (Versender/Transportdienstleister) und Empfänger zwecks fairer Aufteilung der Effizienzgewinne aus der Off-Peak-Logistik

Technische Einsatzvoraussetzungen	
Allgemeine Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> Touren- und Belieferungsplanung, die tageszeitabhängige Fahrt- und Wartezeiten erfasst sowie mehrere tägliche Belieferungswellen berücksichtigt (marktverfügbar)
Spezielle Voraussetzungen Nachtlogistik	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung E-Lkw (marktverfügbar) Fahrstrom- und lärmorientierte Tourenplanung (nicht marktverfügbar) Geräuscharme Umschlagmittel (marktverfügbar) Schalldämmung Tür Führerhaus (nicht marktverfügbar)

Bild 5: Technische Einsatzvoraussetzungen Off-Peak-Logistik.

Regulatorische Einsatzvoraussetzungen	
Allgemeine Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> Standardisierte Verfahren zur Beantragung von Off-Peak-Logistik (nicht vorhanden)
Spezielle Voraussetzungen Nachtlogistik	<ul style="list-style-type: none"> Normwerte für Lärmbelastung durch logistische Standardvorgänge (nicht vorhanden) Musterverfahren zur Einschätzung der Lärmbelastung (nicht marktverfügbar)

Bild 6: Regulatorische Einsatzvoraussetzungen Off-Peak-Logistik.

Orientierung der Regulierung an offiziellen Richtwerten für Belieferungsvorgänge verknüpft mit einheitlichem Genehmigungsverfahren und klaren Anforderungen für Personalqualifikation, Prozess- und Betriebsmittelstandards ist anzustreben [16]. Bei aller Vereinheitlichung von Verfahren für Prüfung und Zulassung von Off-Peak-Logistik ist sicherzustellen, dass die Handlungsspielräume der Kommunen zur Anreizsetzung in der Urbanen Logistik erhalten bleiben [34].

Fazit

Urbane Logistik ist ein notwendiger Bestandteil des Stadtlebens, deren unerwünschte Nebeneffekte Städte mit zahlreichen Instrumenten minimieren möchten [30, 35]. Off-Peak-Logistik ist damit zwar nur ein Baustein kommunaler Verkehrspolitik [2, 36], aber in mehreren Hinsichten besonders:

- Sie setzt nicht auf direkte finanzielle Zuwendungen zu Lasten des Stadtbudgets und kann damit breit angewendet werden.
- Sie kann Nachtfahrten umfassen, braucht daher besonders hohe Akzeptanz in der Bevölkerung [1, 4, 27].
- Sie kann emissions- und lärmintensive Verkehre zeitlich verlagern und damit selbst bei Nutzung konventioneller Fahrzeuge für eine (begrenzte) Emissionssenkung sorgen [6].
- Sie erfordert aufgrund strenger Lärmregulierungen in einigen Ländern Europas den Einsatz von E-Lkw [27, 6].

Damit Off-Peak-Logistik im Urbanen Raum von Unternehmen freiwillig und auf Dauer genutzt wird, sind verschiedene Voraussetzungen

zu erfüllen. Organisatorische und technische Voraussetzungen für Off-Peak-Logistik können im Wesentlichen durch rein privatwirtschaftliches Agieren geschaffen werden. Der rechtliche Ausnahmecharakter der Off-Peak-Logistik erfordert Anpassungen im regulatorischen Rahmen. Ein nach dem Vorbild des niederländischen „PIEK-certificaat“ gestalteter Standard, der zugleich für Betriebsmittel (Fahrzeuge, Umschlagmittel o. ä.), Prozesse, Schulungen und Betriebsstätten den Nachweis erlaubt, dass Voraussetzungen für Off-Peak- und Nachtlogistik erfüllt sind, wäre aus Sicht der Logistik ein Meilenstein. Er könnte dem Qualitätswettbewerb unter Logistikunternehmen ebenso dienen wie Differenzierungsbemühungen des Konsumgüterhandels im Sinne der Corporate Citizenship [22].

Ausblick

Die Wahlmöglichkeit zwischen konventioneller und Off-Peak-Logistik wirft unweigerlich die Frage auf, ob Änderungen an vorgelagerten Transportketten vorgenommen werden sollten. Angesichts angespannter Arbeitsmärkte für Fahrpersonal und Klimaschutzbestrebungen im Langstreckengüterverkehr erscheint es naheliegend zu bewerten, ob es lohnt, verstärkt Bestände aufzubauen, um Langstreckenverkehre stärker zu konsolidieren oder gleich auf emissionsärmere Modi zu verlagern. Diese Idee der „freight transport deceleration“ [37] wird im Licht der klimaschutzgetriebenen Off-Peak-Logistik mit E-Lkw voraussichtlich an Bedeutung gewinnen.

Schlüsselwörter: Urbane Logistik, Nachtlogistik, Off-Peak-Logistik, Grüne Logistik, E-Lkw

[20] Bertazzo, T.; Hino, C.; Lobão, T.; Tacla, D.; Yoshizaki, H.: Business case for night deliveries in the city of São Paulo during the 2014 World Cup. In: Transportation Research Procedia 12 (2016), S. 533-543.

[21] Taefi, T.T.: Viability of electric vehicles in combined day and night delivery: a total cost of ownership example in Germany. In: European Journal of Transport and Infrastructure Research 16 (2016), S. 600-618.

[22] Stütz, S.; Kirsch, D.: Off-Peak Delivery as a Cornerstone for Sustainable Urban Logistics. Insights from Germany. In: Planing, P.; Müller, P.; Dehdari, P.; Bäumer, Th. (Hrsg): Innovations for Metropolitan Areas. Berlin 2020.

[23] Off-Hour Deliveries (OHD) Program. URL: <https://portal.311.nyc.gov/article?kanumber=KA-03180>, Abrufdatum 11.09.2019.

[24] Transport for London: Retiming deliveries. URL: <https://tfl.gov.uk/info-for/deliveries-in-london/delivering-efficiently/retiming-deliveries>, Abrufdatum 11.09.2021.

[25] Frevue: Stockholm Freight Plan 2014-2017. URL: <https://frevue.eu/wp-content/uploads/2016/02/The-Stockholm-Freight-Plan-2014-2017.pdf>, Abrufdatum 11.09.2021.

[26] Citivas: Night-time deliveries using clean and silent vehicles. URL: https://citivas.eu/sites/default/files/sto_7_4_night-time_deliveries_using_clean_and_silent_vehicles.pdf, Abrufdatum 11.09.2021.

[27] Vastag, A. (Hrsg); Kirsch, D.; Bernsmann, A.; Moll, C.; Stockmann, M.: Potenziale einer geräuscharmen Nachtlogistik. Stuttgart 2017.

[28] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503), geändert durch Verwaltungsvorschrift vom 01.06.2017 (BAnz AT 08.06.2017 B5).

[29] Abbasi, M.; Nilsson, F.: Developing environmentally sustainable logistics: Exploring themes and challenges from a logistics service providers' perspective. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment 46 (2016), S. 273-283.

[30] Papoutsis, K.; Nathanail, E.: Facilitating the selection of city logistics measures through a concrete measures package: A generic approach. In: Transportation Research Procedia 12 (2016), S. 679-691.

[31] Nitsche, B.; Figiel, A.: Zukunftstrends in der Lebensmittellistik – Herausforderungen und Lösungsimpulse. Berlin 2016.

[32] Urban Access Regulations: Brescia AR. URL: <https://urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147/italy-mainmenu-81/lombardia/brescia-ar>, Abrufdatum 11.09.2021.

[33] Como AR: <https://urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147/italy-mainmenu-81/lombardia/como-ar>, Abrufdatum 11.09.2021.

[34] Cui, J.; Dodson, J.; Hall, P.V.: Planning for Urban Freight Transport: An Overview. Transport Reviews, 35(5), S. 583-598.

[35] Filippi F.; Nuzzolo, A.; Comi, A.; Delle Site, P.: Ex-ante assessment of urban freight transport policies. Procedia-Social and Behavioral Sciences 2 (2010), S. 6332-6342.

[36] Ogdan, KW.: Urban Goods Movement: A guide to Policy and Planning. New York 2017.

[37] McKinnon, A. C.: Freight transport deceleration: Its possible contribution to the decarbonisation of logistics. In: Transport Reviews, 36 (2016), S. 418-436.

Digitale Transformation in internationalen Konzernen

Identifizierung von Best-Practice-Maßnahmen am Beispiel der MANN+HUMMEL Gruppe

Elena Haberstock, MANN+HUMMEL GmbH und Peter Preuss, FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Mit dem Einsatz von Smart Factories möchten Unternehmen eine Produktionsumgebung schaffen, in der Fertigungsmaschinen und Logistiksysteme selbständig miteinander kommunizieren und kundenindividuelle Produkte herstellen. Das soll insbesondere erreicht werden, indem die Produktionsanlagen und die Produkte mit moderner Informations- und Kommunikationstechnologie ausgestattet werden. Durch diese Vernetzung möchte man aber nicht nur den Produktionsprozess, sondern auch den gesamten Produktlebenszyklus optimieren [1]. Die bei dem Produktionsprozess generierten Daten sollen auch dazu dienen, in Echtzeit bessere Entscheidungen zu treffen und den selbstgesteuerten Produktionsprozess zu optimieren. In diesem Beitrag wird skizziert, warum die hierfür notwendige Digitale Transformation insbesondere für internationale Industriekonzerne eine große Herausforderung darstellt. Anschließend wird am Beispiel der MANN+HUMMEL Gruppe gezeigt, wie der digitale Reifegrad in einem Konzern mit mehreren Produktionsstandorten gemessen werden kann und wie der Transformationsprozess durch die Identifikation und Verwendung konzernweiter Best-Practice-Maßnahmen vereinfacht sowie beschleunigt werden kann.

Eine Studie zum Digitalisierungsstand in internationalen Großkonzernen kommt zu dem Ergebnis, dass von 302 befragten Industriekonzerne nur 16 % eine digitale Transformation durchlaufen haben, 29 % befinden sich aktuell in einem Pilotstadium. Die Studie zeigt auch, dass es sich bei den untersuchten digitalen Transformationsprogrammen in den meisten Fällen um isolierte Vorhaben auf Konzernebene oder um Leuchtturmprojekte an ausgewählten Produktionsstandorten handelt. Lediglich 7 % der abgeschlossenen Implementierungen wurden auf alle Werke ausgerollt, bei den laufenden Programmen sind es 16 % [2].

Herausforderungen in internationalen Großkonzernen

Ein Grund dafür, dass internationale Konzerne eine flächendeckende Digitale Transformation nur bedingt umsetzen, besteht sicherlich darin, dass sie kom-

plexe IT-Landschaften haben und in den Werken Individuallösungen mit unterschiedlichem digitalem Reifegrad vorzufinden sind. Bei der Umsetzung der Digitalisierungsmaßnahmen müssen diese individuellen Gegebenheiten in den Werken berücksichtigt und bereits existierende Lösungen behutsam an die Konzernvorgaben angepasst werden. Die Konzernleitung muss demnach einen Weg finden, der eine Etablierung großflächiger Standards ermöglicht, aber die operative Arbeit in den Werken nicht zu sehr behindert. Erschwerend kommt hinzu, dass ein ganzheitliches Vorgehen in großen Konzernen nicht selten an fehlenden Ressourcen und falscher Priorisierung scheitert.

acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Grundlegender Aufbau

Der digitale Reifegrad beschreibt, in welchem Digitalisierungsstadium sich

Digital Transformation in International Conglomerates: Identification of Best Practice Solutions Using the Example of MANN+HUMMEL

The article addresses the digital transformation in international corporations. Using the example of the MANN+HUMMEL group, it will be shown how the digital maturity level can be measured in a group with several production locations and how the transformation process can be simplified and accelerated by identifying and using group-wide best practice solutions.

Keywords:

digital transformation, best practice, industry 4.0, international conglomerates, MANN+HUMMEL



Elena Haberstock ist Projektmanagerin für das Performance Office bei der MANN+HUMMEL GmbH



Prof. Dr. Peter Preuss lehrt Wirtschaftsinformatik an der FOM Hochschule für Oekonomie & Management in Stuttgart.

peter.preuss@fom.de
www.fom.de

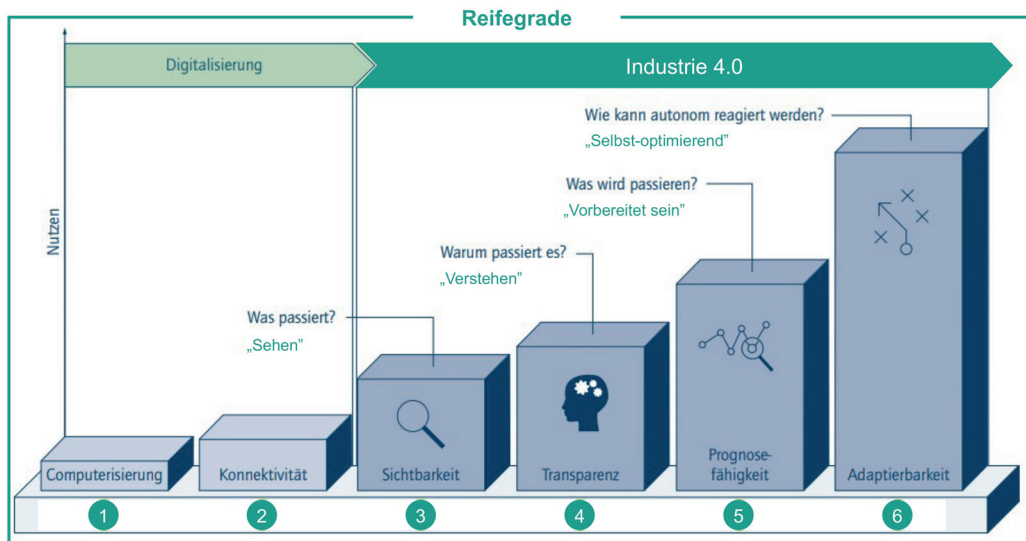


Bild 1: Reifegrade des acatech Industrie 4.0 Maturity Index.

ein Unternehmen befindet [3]. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen bietet eine gute Hilfestellung, wenn es darum geht, diesen digitalen Reifegrad eines Industrieunternehmens zu messen und den digitalen Transformationsprozess zu begleiten. Dieser Index wurde 2017 entwickelt und 2020 erneut redaktionell überarbeitet [4].

Laut diesem Index gibt es sechs unterschiedliche Stadien der digitalen Reife (Bild 1). Bei der Ermittlung des Reifegrads werden die vier Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur betrachtet und jedes der vier Gestaltungsfelder hat entsprechende Kriterien, anhand derer der Reifegrad bewertet wird. Angewendet werden diese Kriterien auf die Funktionsbereiche Entwicklung, Produktion, Logistik, Service und Marketing & Vertrieb. Das wünschenswerte Zielstadium hängt dabei sehr stark von der Unternehmensstrategie und der Marktsituation ab. Es kann daher sein, dass Ist- und Zielreifegrad je nach Funktionsbereich unterschiedlich hoch sind. Da in der vorliegenden Arbeit die Digitalisierungsmaßnahmen im Produktionsumfeld behandelt werden, beziehen sich die nachfolgenden Ausführungen primär auf das Gestaltungsfeld Informationssysteme in Kombination mit den Funktionsbereichen Produktion und Logistik.

Anwendung in Großkonzernen

Für die Feststellung des digitalen Reifegrads von Einzelunternehmen ist der diskutierte acatech Industrie 4.0 Maturity Index sehr hilfreich. Es ist aber empfehlenswert, den Index für internationale Großkonzerne geringfügig anzupassen. Die Definition eines übergeordneten Zielstadiums wird auch bei Konzernen benötigt, da hiervon die Digitalisierungsmaßnahmen für die unterschied-

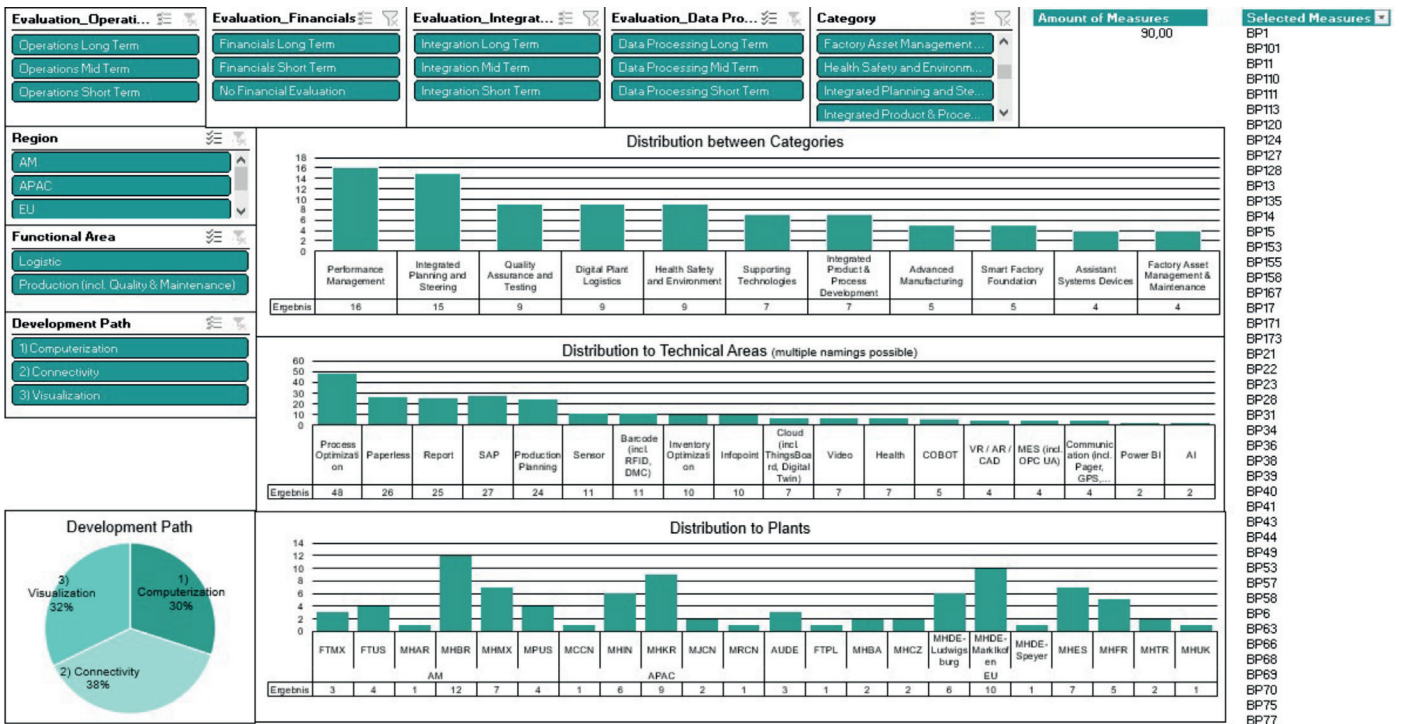
lichen Werke und Funktionsbereiche abgeleitet werden können. Bei der eingangs diskutierten Studie geben tatsächlich 53 % der befragten Industriekonzerne an, dass ihr Zentralbereich die Ziele der digitalen Transformation vorgibt. Die Messung des derzeitigen Reifegrads und die Festlegung des neuen Zielreifegrads sollte allerdings nicht auf Gesamkonzernebene gemacht werden. Das liegt insbesondere daran, dass es die bei dem Index betrachteten

Funktionsbereiche mehrfach in einem Konzern gibt und deren Digitalisierungsniveaus häufig stark voneinander abweichen. Der Produktionsbereich ist beispielsweise an vielen Standorten vorhanden und es ist durchaus denkbar, dass Werke existieren, bei denen es aufgrund eines standortspezifischen Produktionsprozesses oder wegen niedriger Lohnkosten keinen hohen Digitalisierungsgrad gibt und dieser auch nicht gewollt ist. Solche (gewünschten) Ausreißer würden aber bei der Ermittlung eines durchschnittlichen konzernweiten Reifegrads zu einem verzerrten Bild führen.

Die Funktionsbereiche der einzelnen Werke sollten daher individuell betrachtet werden. Empfehlenswert ist eine matrixartige Darstellungsweise, bei der man den Konzern in seine einzelnen Bestandteile zerlegt und für jeden Funktionsbereich in den unterschiedlichen Werken einen individuellen Reifegrad ermittelt. Optional können dann noch Durchschnittswerte je Werk oder je Funktionsbereich berechnet werden. Diese übergeordneten Kennzahlen zeigen allerdings nur ein allgemeines Stimmungsbild und sollten nicht als Steuerungsgrößen oder für die Identifikation potenzieller Verbesserungsmaßnahmen verwendet werden (Bild 3).

Konzernweite Analyse der Digitalisierungsmaßnahmen bei MANN+HUMMEL

Die MANN+HUMMEL Gruppe hat sich zum Ziel gesetzt, alle größeren Digitalisierungsmaßnahmen, die in der jüngeren Vergangenheit an den unterschiedlichen Produktionsstandorten umgesetzt wurden oder sich momentan noch in einer Implementierungsphase befinden, zu dokumentieren und zu klassifizieren. In einem ersten Schritt geht es dabei erst einmal darum, sowohl für die Konzernzentrale in Ludwigsburg als auch für die weltweit verteilten Produktionseinheiten Trans-



parenz zu schaffen. Anschließend sollen mit den erhobenen Daten potenzielle Best-Practice-Maßnahmen identifiziert werden. In vielen Fällen ist es völlig ausreichend, wenn nur ausgewählte Werke in die Entwicklung und in die Verbesserung von Digitalisierungsmaßnahmen investieren. Andere Produktionsstandorte können danach die erprobten Best-Practice-Maßnahmen übernehmen oder sich aufgrund der gewonnenen Erfahrungen bewusst für einen anderen Ansatz entscheiden. Das gilt insbesondere für kleine, weniger digitalisierte Werke. Auf diese Weise kann eine flächendeckende Digitale Transformation schneller und kostengünstiger vorangetrieben werden. Zusätzlich möchte man unerwünschte Digitalisierungsmaßnahmen, die von den Konzernstandards abweichen, identifizieren und abstellen.

men werden. Für jede erfasste Digitalisierungsmaßnahme und für jeden Standort wird mithilfe des acatech Industrie 4.0 Maturity Index der digitale Reifegrad ermittelt. Um Best-Practice-Maßnahmen identifizieren zu können, wird jede Maßnahme einer der folgenden vier Kategorien zugeordnet:

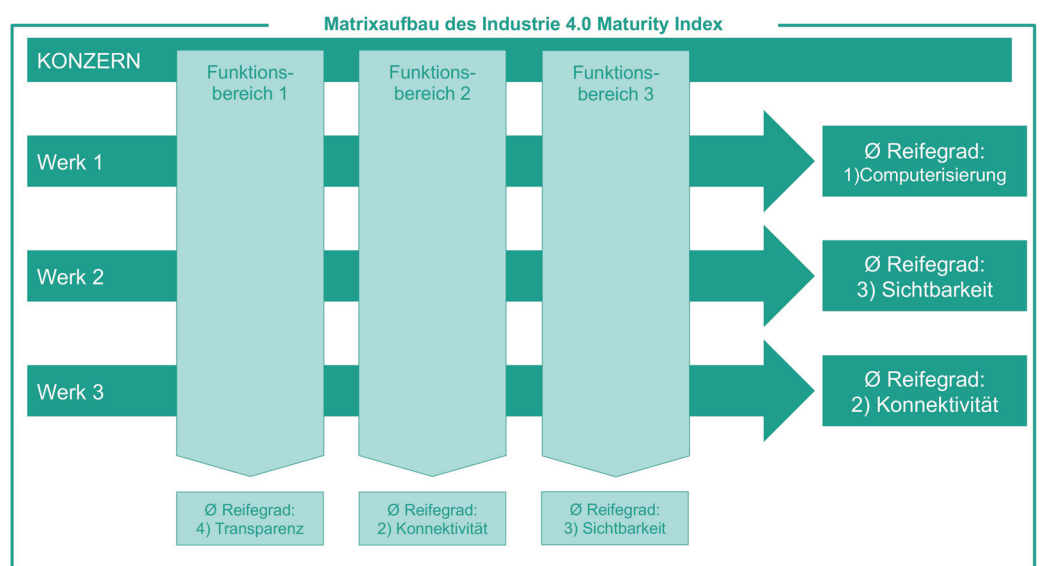
1. Best-Practice-Maßnahme für Wertschöpfungsprozesse
2. Best-Practice-Maßnahme für Unterstützungsprozesse
3. Single Best-Practice-Maßnahme
4. Obsolete lokale Maßnahme

Nachfolgend werden diese vier Kategorien genauer beschrieben.

Bild 2: Dashboard zur Analyse konzernweiter Digitalisierungsmaßnahmen.

Bild 3: Adaption des acatech Industrie 4.0 Maturity Indexes für Großkonzerne.

Für die Dokumentation und die Kategorisierung der konzernweiten Digitalisierungsmaßnahmen hat MANN+HUMMEL eine Datenbanklösung entwickelt, in der alle relevanten Maßnahmen erfasst werden können. Als Endanwenderschnittstelle steht ein zweistufiges Dashboard zur Verfügung. Die erste Stufe ermöglicht eine konzernweite Analyse aller geplanten und bereits umgesetzten Digitalisierungsmaßnahmen, die in der Datenbank vorhanden sind (Bild 2). Detailanalysen zu den einzelnen Maßnahmen können auf der zweiten Stufe vorgenom-



Maßnahmenkategorie 1: Best Practices für Wertschöpfungsprozesse

Die Produktionsstandorte haben häufig vergleichbare Wertschöpfungsprozesse, die aber mit unterschiedlichen Maßnahmen digitalisiert werden. In diesen Fällen ist es sinnvoll, Best-Practice-Maßnahmen zu identifizieren und diese in möglichst vielen Werken zu verwenden. Dadurch erreicht man zum einen eine gute Vergleichbarkeit zwischen den Werken. Zum anderen können bei einer Vereinheitlichung der Prozesse diese ggf. auch außerhalb der Werke, beispielsweise in einem Service Center, implementiert werden. Die Werke wären in diesem Fall Empfänger der Ergebnisse und würden operativ entlastet.

Beispiel: Die meisten Werke führen täglich eine Produktivitätsmessung und -planung durch und bedienen sich dabei gleicher Berichtsdaten aus dem ERP-System. Obwohl die Daten identisch sind, werden die extrahierten Daten mit unterschiedlichen Werkzeugen aufbereitet. Für diesen Prozess sollte eine Best-Practice-Vorgehensweise festgelegt werden.

Maßnahmenkategorie 2: Best Practices für Unterstützungsprozesse

Bei der Analyse der Maßnahmen hat sich auch gezeigt, dass es eine Reihe von Digitalisierungsvorhaben gibt, die nicht die eigentlichen Wertschöpfungs- sondern Unterstützungsprozesse betreffen. Die Werke haben hierfür oft individuelle Lösungen erarbeitet, obwohl andere Standorte mit gleichen oder vergleichbaren Herausforderungen konfrontiert sind. In diesen Fällen bietet es sich daher ebenfalls an, zentrale Standards in Form von Best Practices zu etablieren.

Beispiel: Viele Werke wollten mehr Transparenz beim Thema Energieverbrauch und haben mit externen Partnern standortspezifische Lösungen erarbeitet.

Maßnahmenkategorie 3: Single Best Practices

Viele lokale Digitalisierungsmaßnahmen liefern zwar aus Konzernsicht keinen signifikanten Beitrag zu einer flächendeckenden Digitalen Transformation. Sie können aber dennoch von Bedeutung sein, weil sie die operativen Prozesse in den Produktionswerken vereinfachen und die Werksemitarbeiter in ihrem Arbeitsalltag entlasten. Das schafft freie Kapazitäten, die anderweitig sinnvoll genutzt werden können. Diese sogenannten Single Best-Practice-Maßnahmen können daher auch für andere Werke, die vergleichbare Prozesse haben, relevant sein.

Beispiel: Ein Werk in England hat zur Prozessverbesserung seiner Instandhaltung kleine Kameras

in Maschinen eingebaut, um bei Ausfällen Fehler schneller erkennen und beheben zu können.

Maßnahmenkategorie 4: Obsoletere lokale Maßnahmen

Schließlich gibt es Digitalisierungsmaßnahmen, die aus Konzernsicht keinen Sinn machen. Hierfür kann es unterschiedliche Gründe geben. Die Verbesserungsvorhaben sind beispielsweise nicht notwendig, weil es für die Anforderungen bereits gute Best-Practice-Lösungen gibt. Es kann auch sein, dass die Anforderungen durch ein zentrales Projekt, von dem die Werke noch nichts wissen, abdeckt werden oder die Maßnahmen nicht im Einklang mit zukünftigen Konzernvorgaben sind. Digitalisierungsmaßnahmen, die in diese Kategorie fallen, müssen daher gestoppt oder ggf. sogar rückgängig gemacht und stattdessen durch Best-Practice-Maßnahmen ersetzt werden.

Beispiel: In Brasilien wurden manuelle Audit-Formulare mit Google Forms digitalisiert, obwohl der Konzern Microsoft Anwendungen als Standard definiert hat und diese daher zu bevorzugen sind.

Resümee

Die in diesem Beitrag vorgestellte Datenbank zur Identifikation von Best-Practice-Digitalisierungsmaßnahmen entbindet die MANN+HUMMEL Gruppe nicht von der Notwendigkeit, eine konzernweit abgestimmte Vorgehensweise für die Digitale Transformation der Produktionswerke zu entwickeln. Sie gibt aber einen guten Überblick zum aktuellen Stand der derzeitigen Digitalisierungsvorhaben an den unterschiedlichen Standorten. Die Konzernzentrale kann diese kategorisieren und anschließend ausgewählte Maßnahmen gewinnbringend in Best Practices ummünzen und anderen Werken zur Verfügung stellen. Damit die Datenbank einen nachhaltigen Mehrwert liefert, muss ihr Datenbestand immer aktuell gehalten werden. Es empfiehlt sich daher, regelmäßig konzernweite Erhebungen durchzuführen, damit neue Digitalisierungsinitiativen frühzeitig identifiziert und in der Datenbasis ergänzt werden können. Die Datenbank ist dann nicht nur ein wichtiges Werkzeug für die Konzernzentrale bei der Etablierung von Digitalisierungsstandards, sie kann auch von den Werken als Informationsquelle genutzt werden und verhindert, dass die Werke unnötig Zeit und Aufwand in lokale Digitalisierungsvorhaben investieren, wenn es für deren Probleme bereits einen Best-Practice-Ansatz an einem anderen Konzernstandort gibt.

Schlüsselwörter:

Digital Transformation, Best Practice, Industrie 4.0, internationaler Großkonzern, MANN+HUMMEL

Literatur

- [1] Okeme, Peter A.: Transforming of Factory to Smart Factory, 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers, S. 1499-1503. 2021.
- [2] Comstock, T.: Understanding Industrial Transformation Today: Digital Readiness is the Foundation for Success, LNS Research. 2019.
- [3] Wolf, T.; Strohschen, J.: Digitalisierung: Definition und Reife, URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00287-017-1084-8.pdf>, Abrufdatum 02.07.2021.
- [4] Schuh, G. u. a.: Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten – UP-DATE 2020 – (acatech STUDIE). München 2020.

Bionik in Ganzheitlichen Produktionssystemen

Bionische Verfahren zur Unterstützung von Prozessstandardisierung in KMUs

Annika Lange, Patrick Gering, Nicole Oertwig und Thomas Knothe, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, Berlin

Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) rufen nicht nur in Großunternehmen positive Effekte hervor – auch in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) schlagen sich diese wie beispielsweise verbesserte Liefertermintreue nieder. Jedoch können GPS von Großunternehmen aufgrund verschiedener Ausgangssituationen und Gegebenheiten nicht auf KMUs kopiert werden. Die Einführung von GPS bedeutet für KMUs einen hohen Aufwand. In diesem Beitrag wird ein Ansatz vorgestellt, wie ein bionisches Prinzip GPS für KMUs aufwandsärmer und gleichzeitig effektiver gestaltet.

Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) entstehen mit der Zielstellung durch einen wirtschaftlichen Einsatz von verfügbaren Ressourcen einen möglichst hohen Output zu erzeugen und so die Wettbewerbsfähigkeit zu steigern und auf neue Herausforderungen reagieren zu können [1, 2]. Hierfür werden die Standardisierung und kontinuierliche Verbesserung bekannter Prinzipien und Methoden in eine systemische Grundordnung überführt und so zu einem GPS zusammengeführt. Ziel ist es dabei stets eine optimale Gestaltung für einen nachhaltigen Unternehmenserfolg zu erreichen [1, 3].

Durch immer wettbewerbsintensivere und dynamische Marktumfelder sehen sich auch Unternehmen, die bisher nicht auf ein GPS angewiesen waren oder den Aufwand der Implementierung scheuten, der Anforderung gegenüber, ihre Produktion effizienter zu gestalten. So mussten sich Produktionssysteme bereits in Vergangenheit an die sich ändernden Rahmenbedingungen anpassen. Aus diesem Grund werden in GPS verschiedene Strömungen der Produktionsorganisation, wie zum Beispiel der Taylorismus, Fordismus oder des Lean-Managements sowohl in der Fertigung als auch in den Führungs- und Unterstützungsprozessen angewendet [3]. Die Auslösung des Zielkon-

flikts zwischen Effizienz und Flexibilität ist jedoch bis heute nicht vollständig gelöst und damit ist eine Weiterentwicklung von GPS unabdingbar, um eine zukunftsfähige Fertigung entsprechend der individuellen Anforderungen an globalen Märkten ressourcenschonend umsetzen zu können [1]. Ein vielversprechender Ansatz für die Gestaltung künftiger Produktionswelten liegt in der Bionik. Hierbei inspirieren Vorbilder aus der Natur die Entwicklung neuer Methoden, Prinzipien und Technologien, um eine hohe Wandlungsfähigkeit in einer mehr und mehr vernetzten Produktionsumgebung zu realisieren [4]. Ziel des Beitrags ist es, ausgehend von den klassischen Ebenen von GPS (Ziele, Prozesse, Prinzipien, Werkzeuge) das Prinzip der Selbstheilung in seiner Umsetzung mit KMU-geeigneten Lösungen darzustellen und somit einen Beitrag zur Aufwandsreduktion und Effizienz bei der Einführung von GPS zu leisten.

Ganzheitliche Produktionssysteme in KMUs

Gründe für die Einführung von GPS in KMU sind vielseitig und lassen sich in interne, also selbst initiierte, sowie externe, von außen veranlasste unterscheiden.

Biomimetics in Holistic Production Systems – Biomimetic Methods to Support Process Standardization in SMEs

Holistic production systems (HPS) do not only produce positive effects in large companies - they also have an impact on small and medium-sized enterprises (SMEs), such as improved adherence to delivery dates. However, HPS cannot be copied from large companies to SMEs due to different initial situations and circumstances. The introduction of HPS means a high effort for SMEs. In this paper, an approach is presented on how a bionic principle can make HPS less costly and at the same time more effective for SMEs.

Keywords:

biomimetics, holistic production systems, SME

Annika Lange, M. Sc. ist seit 2021 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK) Berlin tätig und beschäftigt sich mit der Planung von Fabriken und Produktionssystemen.

Dipl.-Ing. Patrick Gering ist seit 2014 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPK Berlin tätig. Er ist technisch für das Software-Tool Prozessassistent verantwortlich und beschäftigt sich derzeit in mehreren Forschungsprojekten mit der Verknüpfung von Methoden des Prozessmanagements und Ansätzen von Industrie 4.0.

Nicole Oertwig, M. Sc. ist stellvertretende Leiterin der Abteilung Geschäftsprozess- und Fabrikmanagement am Fraunhofer IPK Berlin und setzt sich derzeit insbesondere mit Visualisierungslösungen und dem Themenfeld Industrie 4.0 auseinander.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Knothe ist seit 2010 Leiter der Abteilung Geschäftsprozess- und Fabrikmanagement am Fraunhofer IPK in Berlin.

annika.lange@ipk.fraunhofer.de
www.ipk.fraunhofer.de

Innerhalb einer Studie von DOMBROWSKI ET AL. wurde gezeigt, dass eine unübersichtliche Produktion von 80 Prozent der befragten KMU als Hauptgrund für die selbst initiierte Einführung von GPS gesehen wird, dicht gefolgt von gestiegenem Kostendruck, Qualitätsproblemen, sowie unzureichender Termintreue. Als externe Gründe nennen die Befragten terminbezogene Forderungen der Kunden, gefolgt von Qualitätsanforderungen an Prozesse, die Verwendung neuester Technologien und Mitarbeiterorientierung. [2]

Zudem sehen sich KMU vermehrt dem Druck großer Unternehmen ausgesetzt GPS einzuführen, da nur über eine vertikale Ausbreitung entlang der gesamten Lieferkette die positiven Effekte von GPS ausgenutzt werden können [5].

Fehlende finanzielle und personelle Ressourcen, geringes Methodenwissen und ein nur bedingt strategisch ausgerichtetes Planungswesen stellen KMUs bei der Einführung jedoch vor Hindernisse [6, 7]. Zudem fehlt es an Referenzmodellen für die Einführung und etablierte Produktionssysteme von Großunternehmen lassen sich nicht übertragen, da sie den KMU-spezifischen Rahmenbedingungen nicht gerecht werden [8, 9].

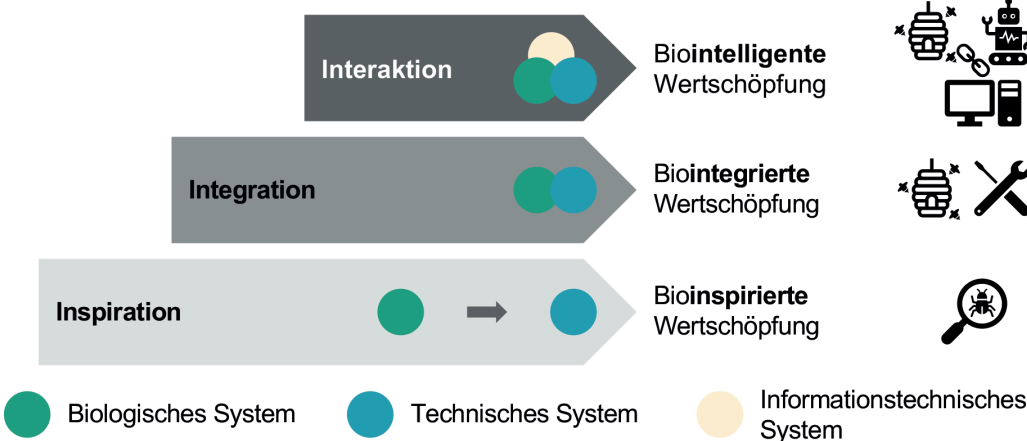
Gleichwohl führen GPS auch für KMU zu positiven Effekten. So geben 89 Prozent befragter KMUs an, dass sich Termintreue und Flexibilität nach der Einführung verbessert hätten. Eine gesteigerte Produktivität und verbesserte Prozessqualität wurden bei 78 Prozent beobachtet. Trotz deutlicher Verbesserungen, wurde das Nutzen-/Aufwandverhältnis der eingesetzten Methoden jedoch maximal mit befriedigend bewertet. Insbesondere Methoden wie „Poka Yoke“, „Standardisierung“, „Prozessstandardisierung“ und „KVP-Workshops“ bieten nur ein ausreichendes Nutzen-/Aufwandverhältnis. Es besteht also ein großes Potenzial für neuen Methoden, die den Aufwand für KMU minimieren. [2]

Nach der VDI 6220 [10] wird unter Bionik das Heranziehen von biologischen Systemen sowie dessen Transfer auf technische Systeme verstanden. Es gibt bereits zahlreiche technische Problemstellungen, bei denen die Bionik in der Entwicklung von Produkten und Materialien herangezogen wird. So beispielsweise bei Stahlbeton. Hierbei wurde sich an der Parenchymmasse in der Pflanzenwelt, die besonders druckfest ist, sowie dem Sklerenchymnetz, mit hoher Zugfestigkeit, orientiert. Durch diesen Effekt erhält Stahlbeton die Eigenschaft von Druck- und Zugfestigkeit [11]. Mittlerweile wird jedoch nicht nur die Entwicklung von Produkten betrachtet, vielmehr wird Bionik ebenfalls für die Gestaltung von Prozessen und Organisationen genutzt. NACHTIGALL [12] erweitert daher die Definition um „die wirtschaftlich-technische Anwendung biologischer Organisationskriterien“. Die Vorgehensweise in der Bionik ist in drei Schritte gegliedert. Zunächst werden Strukturen, Funktionen bzw. Verhaltensweisen in der Natur analysiert. Diese werden im nächsten Schritt abstrahiert und schlussendlich in die Technik übertragen [13]. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass Abläufe und Logiken aus der Natur in technische Algorithmen überführt werden, um ein Optimierungsproblem zu lösen [14]. In dem Kontext der biologischen Transformation werden drei verschiedene Stufen unterschieden (Bild 1):

- Die Inspiration transformiert biologische Prinzipien in die Produktion.
- Die Integration von Prozessen der Biologie und der Produktion.
- Die Interaktion von Natur und Produktion. [15]

Der Begriff System stammt aus dem Altgriechischen und bedeutet das Verbundene. Für diesen Begriff existiert keine einheitliche Definition, es lässt sich jedoch als Gemeinsamkeit der Definitionen erkennen, dass es sich dabei um Elemente, die miteinander verknüpft sind handelt, die somit als Ganzes identifiziert werden können [16, 17]. Bei Systemen wird zwischen offenen und geschlossenen Systemen unterschieden [18]. Bei Hernandez Morales [19] wird ersichtlich, dass es sich bei der Fabrik um ein offenes System handelt. Hierbei lässt sich bereits eine Parallele zur systemischen Bionik erkennen, zumal es sich bei lebenden Systemen ebenfalls um offene Systeme handelt

Bild 1: Biologische Transformationsstufen.



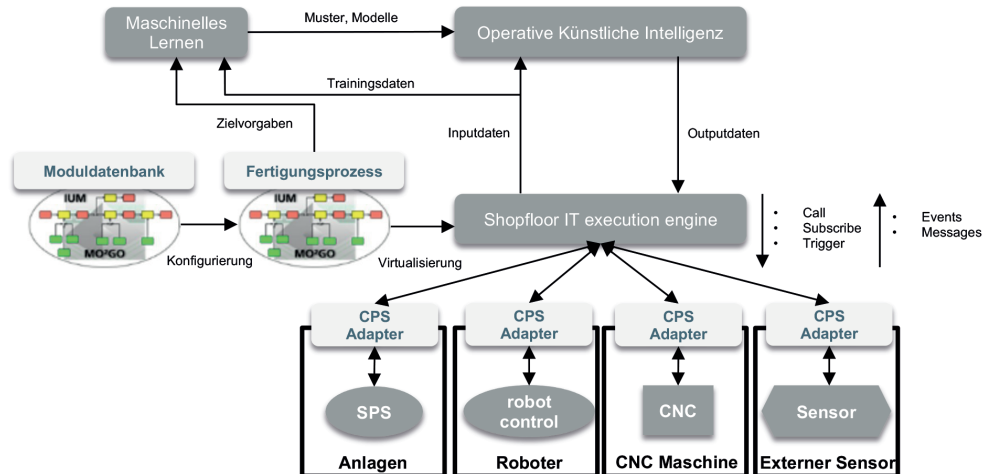
[20]. Nach Hellmich u. a. [21] werden bioinspirierte Methoden stärker in den Fokus von Fabriken rücken. Bisher findet die Bionik lediglich in einzelnen Bereichen erfolgreich Anwendung.

Als eine Ebene des Lernens von der Natur wird das „Lernen von den (Erfolgs-)Prinzipien der Evolution“ in der Literatur benannt. Dabei können die Erfolgsprinzipien sowohl als Argument die Geltung und Reichweite der ökologisch besser angepassten und risikoärmeren technischen Lösungen, als auch als Leitprinzipien für die Gestaltung ökologisch vorteilhafter, intelligenter, adaptiver, flexibler und robuster technischer Lösungen genutzt werden. Zu diesen Erfolgsprinzipien zählt unter anderem die Selbstheilung. Hierbei werden Mechanismen aus der Natur aufgegriffen, die es Systemen ermöglichen Störungen nicht nur abzuwehren oder sie zu vermeiden, sondern zu lernen diese zu verarbeiten und zum ursprünglichen Systemzustand zurückzukehren (z. B. durch die Stärkung des Immunsystems oder die Wundheilung). Um das biologische Prinzip der Selbstheilung in die Produktion transformieren zu können (Inspiration), muss zunächst das System selbst mit seinen Eigenschaften beschrieben sein (Integration), um Abweichungen vom Normalzustand identifizieren zu können. Werden Anomalien im System detektiert, greifen „heilende“ Mechanismen, die selbstständig konfigurierend in das System eingreifen und so zum Normalzustand zurückführen (Interaktion). Diese werden als „Self-X“-Eigenschaften bezeichnet [22, 23].

Der nachfolgende Abschnitt zeigt einen KMU-gerechten Implementierungsansatz für Self-X-Fähigkeiten in einem GPS auf.

Modellbasierte Informationsinfrastruktur zur Unterstützung von Self-X-Fähigkeiten

Wie aus den vorherigen Abschnitten ersichtlich wird, ist es insbesondere für KMUs mit einem hohen Aufwand verbunden GPS einzuführen und zu betreiben. Vor allem der Aspekt der Standardisierung von Prozessen und deren Überwachung und Aufrechterhaltung stellt die kleinen und mittelständischen Unternehmen vor technologische Herausforderungen und hohe Aufwände. Die in der Literatur propagierten Self-X-Fähigkeiten (Selbstheilung, Selbstkonfiguration, Anomaliedetektion und Virtualisierung) bieten hier einen vielversprechenden Ansatz aus



dem Bereich der Bionik, welcher bei einer KMU-gerechten Umsetzung insbesondere das Gestaltungsprinzip der Standardisierung, im Rahmen von GPS, unterstützen kann. Die Ziel-fähigkeit ist dabei die Selbstheilung. In der Technik findet dieses Prinzip bereits Anwendung im Bereich der nichtlebenden synthetischen Materialien [24]. Im Hinblick auf GPS ermöglicht es insbesondere Prozesse robuster zu gestalten sowie Abweichungen schnell zu identifizieren und abzustellen [2]. Hervorgerufen durch die hohe Vielfalt der technischen Objekte und den daraus resultierenden Anforderungen an deren Integration in ein GPS mit Self-X-Fähigkeiten, wird hier zunächst der Fokus auf die Durchführung der wertschöpfenden Leistungserstellungsprozesse gelegt. Wie bereits aufgezeigt, verfügt ein Großteil der KMUs nicht über ausreichende personelle Ressourcen oder Kompetenzen für eine durchgängige Datenintegration der technischen Objekte, innerhalb ihrer wertschöpfenden Prozesse, um Self-X-Fähigkeiten, zur Unterstützung der Prozessstandardisierung, umzusetzen. Gerade KMUs sind oft Prinzipalgetriebenen. Der Geschäftsführer ist in zahlreiche Aufgaben involviert und somit in vielen Fällen eine Engpassressource. Werden die Betriebsabläufe durch Prozessstandardisierung optimiert, ließe sich der Arbeitsaufwand seitens des Geschäftsführers, durch eine effiziente Prozesssteuerung, reduzieren.

Der aktuell in der Entwicklung befindliche Ansatz des Fraunhofer IPK integriert hierfür bereits bestehenden Lösungen, welche im Rahmen diverser Industrie 4.0-Projekte entwickelt sowie von KMU validiert wurden und erweitert diese hin zu einem zur Selbstheilung fähigen modellbasierten Gesamtsystem.

Zunächst ist es erforderlich die Fertigungsprozesse zu virtualisieren. Hierfür wird die modulare Shopfloor IT [24] eingesetzt. Diese IPK-Lösung

Bild 2: Modellbasierter Self-X-Ansatz.

Literatur

- [1] Okeme, Peter A.: Transforming [1] Waltl, H.; Wildemann, H.: Modularisierung der Produktion in der Automobilindustrie. München 2015.
- [2] Dombrowski, U.; Mielke, T.: Ganzheitliche Produktionssysteme. Berlin Heidelberg 2015.
- [3] Verein Deutscher Ingenieure e. V.: VDI 2870 Blatt 1. Ganzheitliche Produktionssysteme - Grundlagen, Einführung und Bewertung. Düsseldorf 2012.
- [4] Specht, D.: Weiterentwicklung der Produktion. Tagungsband der Herbsttagung 2008 der Wissenschaftlichen Kommission Produktionswirtschaft im VHB. Wiesbaden 2009.
- [5] Kinkel, S.; Wengel, J.: Neue Produktionskonzepte: Eine Diskussion macht noch keinen Sommer. Produktionsinnovationserhebung des ISI gibt umfassenden Überblick über den Stand der Verbreitung neuer Produktionskonzepte. In: Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung 4 (1997), S. 1-9.
- [6] Lay, G.; Neuhaus, R.: Ganzheitliche Produktionssysteme (GPS) - Fortführung von Lean Production. In: Angewandte Arbeitswissenschaft 185 (2005), S. 32-47.
- [7] Spath, D.; Korge, A.; Scholtz, O.: Ganzheitliche Produktionssysteme. Ratio. In: Neues vom RKW Baden-Württemberg 9 (2003) 3, S. 9-11.
- [8] Bullinger, H.-J.: Was kommt nach Lean Production? In: 2001, S. 27.

- erlaubt es auf der Grundlage von miteinander verknüpfbaren Prozessmodulen, welche als Referenzmodule basierend auf der Integrierten Unternehmensmodellierung (IUM) [25] entwickelt wurden, eine erste Virtualisierung des Prozessmodells zur Beschreibung und Integration von einzelnen Fertigungsschritten. Dabei unterstützt die IUM die Erfolgsfaktoren für ein erfolgreiches Prozessmanagement in KMUs. Die Anwendung der Methode ist niederschwellig gestaltet, da lediglich vier Grundelemente (Auftrag, Produkt, Ressource und Aktion) Verwendung finden, jedoch durchgängig in eine Methodik integriert sind und eine flexible und konsistente IT-Unterstützung zulassen. Der Prozessassistent ist sowohl für einfache als auch komplexe Modelle konfigurierbar und kann u.a. für die Einführung integrierter Managementsysteme als auch als Überwachungsinstrument gestaltet werden. Über standardisierte Interaktionsfunktionen können Ein- und Ausgabeparameter des Moduls adressiert werden. Mittels ebenfalls standardisierter Basisinformationsfunktionen können Mechanismen für die Anomaliedetektion (z. B. Datenabgleich, Process Mining) unterstützt werden. Dabei folgt die modulare Shopfloor IT dem Prinzip „Plug&Produce“ indem der proprietären Maschinensteuerung ein CPS-Adapter [26], der die Interoperabilität mit übergeordneten Systemen gewährleistet, vorgeschaltet wird. Um auch eine Datenerfassung unabhängig von Maschinensteuerungen zu ermöglichen, ist es ebenfalls möglich externe Sensoren als Ressourcen zur Datenerfassung in das Modell zu integrieren [27] und ohne gesonderte Hard- und Software für eine flexible Verfolgung von Fertigungs- und Prüfparametern zu nutzen. Die innerhalb der Anomaliedetektion gewonnenen Erkenntnisse werden in einem nächsten Schritt zur Ableitung von Selbstkonfigurationsmechanismen herangezogen. Erst wenn das auftretende Problem nicht mittels Selbstkonfiguration gelöst werden kann, wird der Geschäftsführer zur Aufgabe herangezogen. Selbstkonfigurationsmechanismen besitzen ein großes Potenzial sowohl hinsichtlich der fortwährenden Optimierung der Fertigungs- als auch der Anpassungsprozesse im GPS. Hierfür werden die in der Shopfloor IT bereits vorhandenen Funktionen für das Hinzufügen neuer Komponenten, der Änderung der Verknüpfung von Komponenten oder die Einstellung von Maschinen und Anlagen für einen spezifischen Fertigungsprozess schrittweise automatisiert. Damit können kritische Ereignisse z. B. die Verschlechterung von Fertigungsprozessqualitäten oder der Ausfall von Teilkomponenten frühzeitig nicht nur erkannt werden, sondern es kann sofort steuernd eingegriffen werden. Das System wird
- [9] Dombrowski, U.; Crespo, I.; Schmidt, S.: A Holistic Approach to Production Optimization as an Integral Part of Strategy Development and Implementation in Small and Medium-sized Enterprises. In: Proceedings of the 40th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Liverpool, England, 31.05.-01.06.2007.
- [10] VDI 6220: Bionik: Grundlagen, Konzeption und Strategie. 2019.
- [11] Nachtigall, W.; Wisser, A.: Bionik in Beispielen. Berlin Heidelberg 2013.
- [12] Nachtigall, W.: Bionik. Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Heidelberg 2002.
- [13] Nachtigall, W.: Bionik als Wissenschaft. Erkennen → Abstrahieren → Umsetzen. Berlin Heidelberg 2010.
- [14] Niehues, M.; Nissen, F.; Gunther, R.: Moderne Werkstattfertigung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 107 (2012) 12, S. 892-896.
- [15] Wolperding, M.; Bauernhansl, T.: Die Biologische Transformation der Produktion. Einführung einer biointelligenten Wertschöpfung. In: Marzi, T.; Ingensiep, H.W.; Baranzke, H. (Hrsg): Biologische Transformation – Interdisziplinäre Grundlagen für die angewandte Forschung. Oberhausen 2021.
- [16] Claussen, P.: Die Fabrik als soziales System. Wiesbaden 2012.
- [17] Aslaksen, E.W.: The System Concept and Its Application to Engineering. Berlin Heidelberg 2013.
- [18] Forrester, J. W.: Grundzüge einer Systemtheorie. Wiesbaden 1972.
- [19] Hernandez Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf 2002.
- [20] Küppers, E.W.U.: Systemische Bionik. Impulse für eine nachhaltige gesellschaftliche Weiterentwicklung. Wiesbaden 2015.
- [21] Nyhuis, P.; Herberger, D.; Hübner, M. (Hrsg): Proceedings of the 1st Conference on Production Systems and Logistics (CPSL 2020). publish-Ing.
- [22] Gleich, A. von; Pade, C.; Petschow, U. u. a.: Bionik: Aktuelle Trends und zukünftige Potenziale; 18 Tabellen. Bremen, Univ. Bremen Fachbereich 4 Produktionstechnik 2007.
- [23] Kephart, J.O.; Chess, D.M.: The vision of autonomic computing. In: Computer 36 (2003) 1, S. 41-50.
- [24] Riedel, O.; Margraf, T.; Stölzle, S. u. a.: Modellbasierte modulare Shopfloor IT - Integration in die Werkzeuge der Digitalen Fabrik. Fraunhofer IPK Berlin 2014.
- [25] Jäkel, F.-W.; Gering, P.; Goppold, J.-P.: Synchronisierte Fertigung, IT und Produktion. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (2020) 11, S. 797-799.
- [26] Jaekel, F.-W.; Torka, J.; Epplein, M.; Schliephack, W.; Knothe, T. Model based, modular configuration of cyber physical systems for the information management on shop-floor. International Workshop on Enterprise Integration, Interoperability and Networking (EI2N) 12, 2017, Rhodes. OTM Workshops 2017: 16-25
- [27] Gering, P.; Drange, P.: Industry 4.0 Out of the Box. Cham 2019.

damit mit kognitiven Fähigkeiten ausgestattet, mit denen Regelstrategien ad hoc angepasst werden können. Der modellbasierte Ansatz zur durchgängigen Digitalisierung der Prozessüberwachung und -steuerung bietet nicht nur den Vorteil der Transparenz des Ist-Zustands laufender Prozesse. Auch historische Daten werden so kontextualisiert erfasst und sind für zukünftige Analysen transparent sowie nachvollziehbar. Damit sind auch für KMUs die notwendigen Voraussetzungen geschaffen, um auf Basis vergangener Entscheidungen und zugehöriger Kontextinformationen mittels maschinellen Lernens eine Künstliche Intelligenz (KI) zu trainieren, selbstständig Entscheidungen zu treffen. Heute manuell umkonfigurierte Prozesse, ausgelöst durch Anomalien, können zukünftig automatisiert durch KI angepasst werden. Darüber hinaus entfallen, ebenfalls durch die KI, Routineentscheidungen. Anomalieerkennung und Selbstkonfiguration sind hierbei die notwendigen Bedingungen für eine KI-basierte Selbstheilung. Durch letzteres wird der Aufwand für den Geschäftsführer eines KMUs reduziert, speziell bei Routineaufgaben, da er dort lediglich herangezogen wird, sofern das Problem nicht mit der Selbstkonfiguration gelöst werden kann.

Zusammenfassung

Zu Beginn des Beitrags wurde die Relevanz von GPS insbesondere für KMUs aufgezeigt. Trotz der Relevanz, stehen KMUs häufig vor Herausforderungen bei der Einführung und dem Betrieb von GPS. Dies ist maßgeblich auf fehlende, notwendige Ressourcen zurückzuführen. Ebenfalls wurde dargestellt, dass standardisierte Prozesse insbesondere für KMUs eine hohe Bedeutung haben, derzeitige Methoden jedoch ein schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen. In diesem Beitrag wird ein modellbasierter Ansatz vorgestellt, der durch Self-X-Fähigkeiten (Selbstheilung, Selbstkonfiguration, Anomaliedetektion und Virtualisierung) KMU unterstützt, das Gestaltungsprinzip der Standardisierung im Rahmen von GPS anzuwenden.

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts „Biologische Transformation 4.0: Weiterentwicklung von Industrie 4.0 durch Integration biologischer Prinzipien (BioFusion 4.0)“; das durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut wird. Die Verantwortung der Inhalte dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Schlüsselwörter: biomimetics, holistic production systems, SME

Reif für Industrie 4.0?

Voraussetzungen für die erfolgreiche Digitalisierung in der Produktion

Günther Schuh, Andreas Gützlaff, Matthias Schmidhuber, Judith Fulterer, Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen, Max-Ferdinand Stroh und Jan Hicking, FIR an der RWTH Aachen

Industrie 4.0 ist heute trotz starker medialer Präsenz und nachgewiesenem Nutzenpotenzial, in vielen Unternehmen noch nicht etabliert. Industrie 4.0-Projekte bleiben häufig in einem Prototypenstatus und liefern keinen langfristigen Mehrwert. Die Lösung stellt eine durchgängige digitale Systemlandschaft bestehend aus einer vernetzten, digitalen Infrastruktur und einer an Industrie 4.0 ausgerichteten Unternehmensorganisation dar. Durch ein vierstufiges Vorgehen wird in diesem Beitrag vorgestellt, welche Grundlagen geschaffen werden müssen, um skalierbare Lösungen zu ermöglichen und einen langfristigen Nutzen zu realisieren.

Seit Einführung des Begriffs Industrie 4.0 im Rahmen der Hannover Messe 2011 [1] befassen sich Unternehmen zunehmend mit Industrie 4.0. Konkret wird unter dem Begriff die Vernetzung von Maschinen und Prozessen basierend auf Informations- und Kommunikationstechnologie verstanden [2].

Die hochkomplexen Einflüsse der Gegenwart wie flexible Kundenanforderungen, Losgröße 1 und Fachkräftemangel erzeugen Herausforderungen in der Produktion, die nur mit geeigneten Industrie 4.0-Technologien nachhaltig gelöst werden können. Viele Unternehmen verfolgen daher bereits eine Industrie 4.0-Strategie oder planen diese. Bei einigen bleiben bisher die Erfolge aus und es entsteht kein wahrnehmbarer Produktivitätsgewinn [3]. Nur 29% der Unternehmen schaffen es Ihre Industrie 4.0 Anwendungsfälle in einen werterschöpfenden Bereich zu überführen [3].

Warum spielt es eine Rolle, Industrie 4.0 zu beherrschen?

Im Rahmen dieses Beitrags wird beleuchtet, warum viele Unternehmen noch keinen langfristigen Mehrwert mit Industrie 4.0 erzielen konnten. Es wird motiviert, warum Industrie 4.0-Projekte ganzheitlich gedacht werden sollten und die Einführung der Technologien

Grundlagen erfordern, ohne die eine Skalierbarkeit von einzelnen Lösungen ausbleibt. Abschließend wird anhand eines Unternehmensbeispiels die Anwendung von Industrie 4.0 basierend auf der strukturierten Umsetzung aufgezeigt.

Warum bleiben die Erfolge oft aus?

Aktuell werden die hohen Erwartungen an Industrie 4.0 selten vollständig erfüllt. Das hinterlässt nicht nur in Steuerkreisen einen schlechten Eindruck, sondern führt auch bei Beschäftigten in Unternehmen zu Frustration. Bisweilen kann diese sogar zu einer vollständigen Abneigung gegenüber Industrie 4.0 führen.

Hauptgrund hierfür ist, dass Industrie 4.0-Projekte häufig in einer Pilotphase verbleiben und nicht systematisch im Produktionsnetzwerk ausgerollt werden können. Sie verschwinden im sogenannten „Prototypen-Fegefeuer“ [4]. Das bedeutet, dass Projekte den Prototypenstatus nicht verlassen und keine langfristige Anwendung im Unternehmen finden. Die Konsequenz sind hohe Investments mit geringen Erfolgen.

Oft scheitern Industrie 4.0-Initiativen an einer geringen Ganzheitlichkeit und schlechten Vereinbarkeit mit dem Auf-

Ready for Industrie 4.0? – Prerequisites for Successful Digitalization in Production

Despite a strong media presence and proven potential benefits, Industrie 4.0 is not yet established in many companies. Industry 4.0 projects often remain in a prototype status and do not deliver long-term added value. The solution is an integrated digital system landscape consisting of a connected, digital infrastructure and a business organization oriented towards Industrie 4.0. Through a four-step approach, this paper presents the foundations that need to be created to enable scalable solutions and realize long-term benefits.

Keywords:

industrie 4.0, digitalisation, IT-OT-integration, digital system landscape

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh, geb. 1958, ist Inhaber des Lehrstuhls für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) und ist Direktor des FIR e.V. an der RWTH Aachen. Er ist Gründer der e.GO Mobile AG mit Sitz in Aachen sowie der Schuh & Co. Firmengruppe mit Sitz in Aachen, St. Gallen und Atlanta. Prof. Schuh ist in mehreren Aufsichts- und Verwaltungsräten tätig.

Andreas Gützlaff, M. Sc. ist seit 2019 Oberingenieur der Abteilung Produktionsmanagement am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen.

Matthias Schmidhuber, M. Sc. leitet die Gruppe Produktionslogistik in der Abteilung Produktionsmanagement am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen.

Judith Fulterer, M. Sc. leitet die Gruppe Produktionslogistik in der Abteilung Produktionsmanagement am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen.

Dr.-Ing. Jan Hicking ist seit 2020 Leiter des Bereichs Informationsmanagement am FIR e.V. an der RWTH Aachen.

Max-Ferdinand Stroh, M. Sc. ist stellvertretender Bereichsleiter im Bereich Informationsmanagement am FIR an der RWTH.

g.schuh@wzl.rwth-aachen.de
www.wzl.rwth-aachen.de

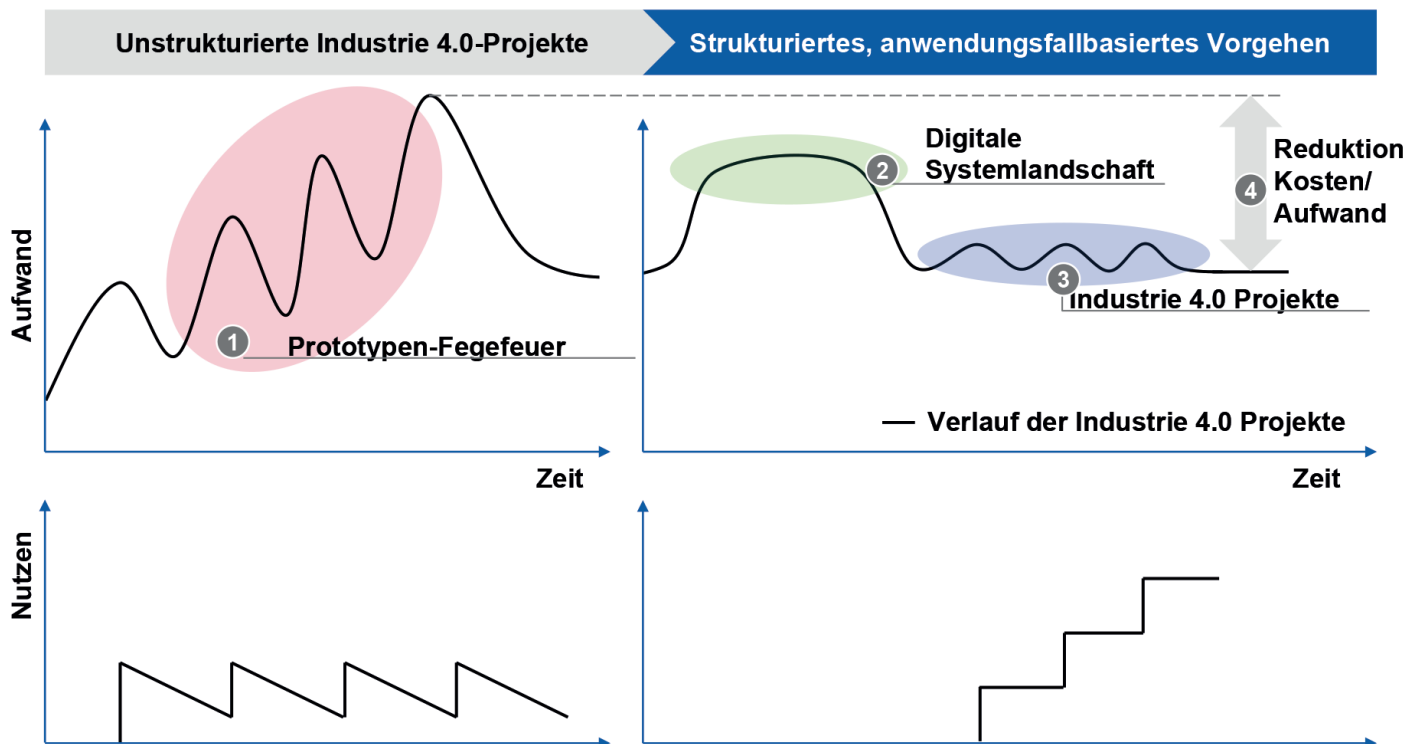


Bild 1: Aufwand und Nutzen von Industrie 4.0-Projekten.

tragsabwicklungsprozess sowie der digitalen Infrastruktur des Unternehmens. Dadurch entstehen Insellösungen, die partielle Probleme lösen, jedoch keinen nachhaltigen Mehrwert bringen und sich ggf. gegenseitig behindern [5]. Es mangelt neben einer technischen Lösung oft an organisatorischen Komponenten und einer ganzheitlichen Sicht auf die Herausforderungen der Produktion.

Typische partielle und symptomgetriebene Lösungen wie eine Augmented Reality (AR) Anwendung in der Montage, bei der die angezeigten Daten nicht aktuell sind, weil das zugrundeliegende Datenmodell nicht mit dem PLM-System verknüpft ist, haben nur einen geringen Nutzen. Auch fahrerlose Transportsysteme, die wegen fehlender Durchgängigkeit unvollständige Chargen transportieren, bringen kaum Mehrwert.

Wie kann Industrie 4.0 nachhaltig umgesetzt werden?

Erfolgsfaktoren zur Skalierung von einzelnen Anwendungen sind eine adaptierbare Information Technology (IT)- und Operation Technology (OT)-Infrastruktur sowie die Ausrichtung der Unternehmensorganisation und -prozesse an Industrie 4.0. Diese digitale Systemlandschaft wird im folgenden Abschnitt vorgestellt. Darauf aufbauend wird ein Vorgehen beschrieben, mit dem die Systemlandschaft aufgebaut werden kann.

Bild 1 stellt Aufwand und Nutzen von typischen, unstrukturierten Vernetzungsprojekten und von strukturierten Vorgehen gegenüber. Der linke Abschnitt von Bild 1 verdeutlicht die Herausforderungen von Industrie 4.0 Aktivitäten in vielen Unternehmen. Industrie 4.0 Projekte werden zur konkreten Lösung einzelner Herausforderungen umgesetzt. Synergieeffekte zwischen Projekten werden dabei meist nicht ausgenutzt – im Gegenteil: Die steigende Komplexität des Systems erhöht die anfallenden Aufwände. Zusätzlich steigern die für den Betrieb der Lösung anfallenden Fixkosten, z. B. Software-Lizenzen, den Aufwand. Gleichzeitig nimmt der Nutzen der Lösungen über die Zeit ab. Typische Ursachen hierfür sind fehlende Schnittstellen zwischen Systemen, geringe Durchgängigkeit und schwierige Adaption der Lösungen sowie unzureichende Mitarbeiterintegration. Im schlimmsten Fall bleibt das Leuchtturmprojekt ein Prototyp und der Nutzen geht vollständig verloren.

Die Erfahrung aus unterschiedlichen Projekten und Initiativen zeigt, dass ein langfristiger Industrie 4.0-Erfolg eine digitale Systemlandschaft als Basis zur Implementierung unterschiedlicher Industrie 4.0 Anwendungsfälle benötigt. Kernelemente der Systemlandschaft sind eine technische Infrastruktur sowie die an Industrie 4.0 ausgerichtete Unternehmensorganisation und -prozessen. Allerdings erfordert die Schaffung der digitalen Systemlandschaft initial einen gesteigerten Aufwand. Die technische Infrastruktur, bestehend aus IT- und OT-Systemen sowie Schnittstellen zwischen diesen, muss anforde-

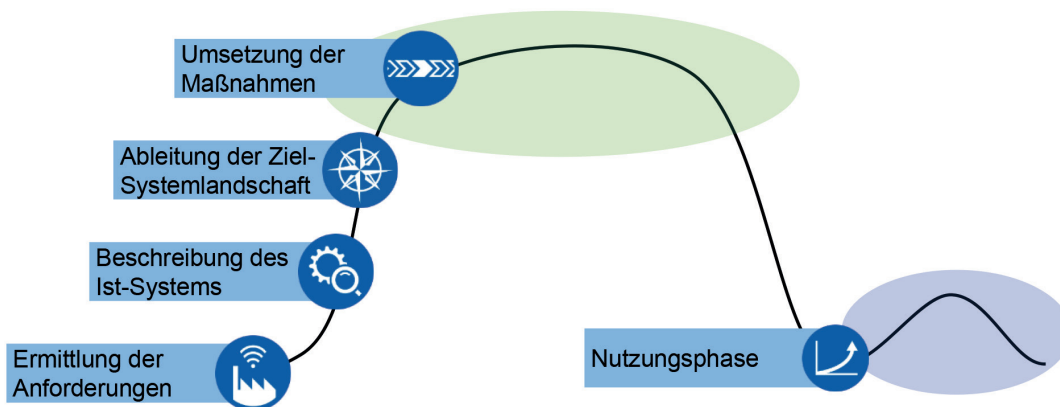


Bild 2: Vorgehen zur Umsetzung von Industrie 4.0.

rungsgerecht aufgebaut werden. Zusätzlich müssen Rollen und Prozesse im Unternehmen neu definiert werden.

Diese digitale Systemlandschaft ermöglicht dann, Industrie 4.0 Projekte aufwandsarm umzusetzen, da nötige Schnittstellen und IT-Systeme bereits bestehen und zusätzlich Synergien und Skaleneffekte zwischen den Industrie 4.0-Projekten ausgenutzt werden können. Langfristig werden so große Kostenfaktoren vermieden und die kontinuierliche Digitalisierung des Auftragsabwicklungsprozesses ermöglicht. Zusätzlich steigt der Nutzen mit jeder neu implementierten Lösung, da diese immer über die aktuellsten Daten verfügen, in das bestehende System eingebunden sind und so aktiv genutzt werden können. Im rechten Teil von Bild 1 sind die vorgestellten Effekte dargestellt. Um die Systemlandschaft möglichst aufwandsarm zu erreichen, sollte ein strukturiertes Vorgehen eingesetzt werden.

Bild 2 zeigt ein in zahlreichen Projekten entwickeltes, vierstufiges Vorgehen für die Schaffung der digitalen Systemlandschaft um die Planung und Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten zu erleichtern (Bild 2).

Der erste Schritt „Ermittlung der Anforderungen“ dient dazu, Top-Down die Anforderungen an Industrie 4.0 in der Produktion zu identifizieren. Dabei legen die Unternehmensstrategie sowie die Kundenbedürfnisse die Zielrichtung und Rahmenbedingungen der Digitalisierung fest. Darauf aufbauend können die relevanten Handlungsfelder des Unternehmens definiert werden. Diese sind typischerweise alle am Wertschöpfungsprozess des Unternehmens beteiligten Abteilungen, beginnend beim Vertrieb und endend beim Versand. Für jedes der Handlungsfelder werden von den Domänenexperten Anwendungsfälle für Industrie 4.0-Lösungen identifiziert. Die Beschreibung der Anwendungsfälle erfolgt in einem einheitlichen Schema, um später die Anwendungsfälle übergreifend zu vergleichen

und zu vernetzen. Der Fokus bei der Beschreibung der Anwendungsfälle liegt auf den Potenzialen sowie den Informationsbedarfen und technischen Anforderungen inklusive der involvierten Systeme. Das Ergebnis des ersten Schritts ist eine Übersicht über die Informations- und Systemanforderungen basierend auf den identifizierten Anwendungsfällen.

Im zweiten Schritt „Beschreibung des Ist-Systems“ erfolgt eine Bottom Up-Beschreibung des bestehenden Produktionssystems und dessen digitaler Systemlandschaft. Für die im ersten Schritt definierten Handlungsfelder werden dazu die involvierten Unternehmensprozesse sowie die aktuelle Aufbauorganisation aufgenommen. Durch die Prozessbeschreibung werden die Aufgaben sowie Abfolge und Schnittstellen zwischen den Prozessen im Unternehmen dokumentiert. Die Aufbauorganisation gibt eine Übersicht über die aktuellen Rollen im Unternehmen. Dabei sollten besonders die Tätigkeiten im Kontext von Industrie 4.0 in der Produktion beschrieben werden. Zusätzlich werden die bestehenden Systeme und Daten(modelle) analysiert. Die Systeme werden durch die darin gespeicherten Daten, mögliche und bestehende Schnittstellen zu anderen Systemen sowie die aktuelle Integration in die Prozesse charakterisiert. Die Erstellung einer Ist-Systemlandkarte dient der Abbildung aller Informationen zum Ist-Zustand des Systems und ist das Ergebnis des zweiten Schritts.

Im dritten Schritt „Ableitung der Ziel Systemlandschaft“ werden die Ergebnisse der ersten beiden Schritte zusammengeführt, um den Soll-Zustand des digitalen Systems zu konkretisieren. In einer Gap-Analyse werden dazu die Handlungsbedarfe aus dem Unterschied zwischen den benötigten Informationen sowie den Datenangeboten des bestehenden Systems ermittelt. Die Handlungsbedarfe beschreiben die benötigten Daten, Systeme oder Schnittstellen zur Bereitstellung der Informationen. Diese werden hinsichtlich des Umsetzungsaufwands sowie des erwarteten



Bild 3: Detailliertes Vorgehen zur Erreichung von Industrie 4.0.

Nutzens bewertet. Der Nutzen setzt sich aus direkt messbarem, monetärem und strategischem Nutzen zusammen und wird durch die Kundenbedürfnisse und Unternehmensstrategie bestimmt. Insgesamt kann so entschieden werden, welche konkreten Zielstellungen durch eine digitalisierte Infrastruktur erreicht werden sollen und wie die Systeme gestaltet sein müssen. Das Ergebnis des Schritts ist die Ziel-Systemlandschaft. Diese stellt eine Basiskonfiguration dar, auf deren Grundlage langfristig weitere Anwendungsfälle aufwandsarm umgesetzt werden können.

Im letzten Schritt erfolgen die Ermittlung und Umsetzung der notwendigen Maßnahmen zur Erreichung der zuvor definierten Systemlandschaft. Dazu werden zunächst die technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Überführung des bestehenden Systems in das Ziel-System identifiziert. Beispiele sind die Einführung eines zentralen Datenspeicherorts oder die Anpassung der Rollen im Unternehmen. Die identifizierten Maßnahmen werden priorisiert, um die entsprechende Reihenfolge der Umsetzung in einer Roadmap festzulegen. Dabei müssen Aufwand und Nutzen der alternativen Maßnahmen sowie Wechselwirkungen zwischen diesen bewertet werden. Die Roadmap legt Verantwortlichkeiten sowie Start- und Endzeitpunkte der Umsetzung fest. Basierend auf der Roadmap wird das bestehende System angepasst. Der Einsatz von Methoden des

Change-Managements stellt den Erfolg der Umsetzung sicher. Zudem muss der Umsetzungsstatus kontinuierlich überwacht werden, damit Abweichungen vom Plan erkannt und Änderungen der Roadmap vorgenommen werden können. Das Ergebnis der Umsetzung ist eine durchgängige Systemlandschaft, welche die Realisierung von Industrie 4.0-Projekten kostengünstig und schnell ermöglicht. Der Aufbau dieser einheitlichen Systemlandschaft steht einem agilen Vorgehen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 Anwendungsfällen nicht im Weg. Im Gegenteil, durch die klar definierten Systeme und Regeln, können agile Entwicklungsvorgehen ihr volles Potenzial ausschöpfen. So kann in der Entwicklung mehr Fokus auf die Erarbeitung der neuen Lösung als die Schaffung der geeigneten Rahmenbedingungen gelegt werden.

Insgesamt ermöglicht das, in Bild 3 zusammengefasste, strukturierte Vorgehen die Schaffung einer zukunftssicheren Systemlandschaft. Diese ist Grundlage für den erfolgreichen Einsatz von Industrie 4.0 in der Produktion.

Praxisbeispiel: Der Unterschied zwischen symptomatischem Handeln und nachhaltiger Umsetzung

Der Erfolg des vorgestellten Vorgehens zeigt sich auch in der Anwendung in der Praxis. Im

Beispielunternehmen hat sich historisch bedingt eine heterogene Systemlandschaft entlang der Auftragsabwicklung entwickelt. Das führte zu prozessabhängig unterschiedlichen IT Systemen. So verfügte das Unternehmen z. B. über zwei ME-Systeme für unterschiedliche Arbeitsschritte. Je nach Anwendungsfall wurde mit Excelexporten oder individuell aufgebauten Schnittstellen zwischen zwei Systemen gearbeitet. Diese erfüllten die Anforderungen der regulären Auftragsabwicklung, konnten jedoch den Anforderungen von Industrie 4.0 Anwendungsfällen nicht gerecht werden. Gleiches gilt für den Maschinenpark, der sowohl historisch gewachsen war als auch aus einer heterogenen Steuerungslandschaft bestand.

Um diese Herausforderungen zu beherrschen wurden in einem Projekt zunächst die relevanten Anwendungsfälle in den Bereichen Vertrieb, Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Produktion, PPS, Intralogistik und Versand für Industrie 4.0 identifiziert, gruppiert und priorisiert. Die identifizierten Anwendungsfälle reichten von digital unterstützten Shopfloor Meetings bis hin zur Überwachung von Energie- und Ressourcenbedarfen. Für jeden Anwendungsfall wurden technische, datenbasierte und organisatorische Bedarfe abgeleitet. Diese waren z. B. Energiesensoren, ein Energiebeauftragter und Daten zum Energiekonsum jeder Maschine sowie deren Produktivität. Anschließend wurden über alle Anwendungsfälle hinweg die Bedarfe zusammengefasst und als Anforderungen definiert. Ergänzend wurde eine Übersicht über alle bestehenden Prozesse und Systeme erarbeitet.

Aus dem Vergleich der aggregierten Anforderungen mit der Ist-Systemlandschaft wurde die benötigte Industrie 4.0-Systemlandschaft erarbeitet. Diese verbindet die Gemeinsamkeiten der Anwendungsfälle und berücksichtigt deren Unterschiede. Die Analyse ergab, dass ein Großteil der Anwendungsfälle eine Verknüpfung aller Systeme in der Auftragsabwicklung, sowie deren Speicherung und Analyse erforderte. Daher wurden in der Systemlandschaft ein

einheitliches Datenmodell, ein gezieltes Anforderungsmanagement und eine digitale Architektur, die es ermöglicht Daten aus unterschiedlichen Systemen zu verknüpfen und zu analysieren, integriert. Zusätzlich wurden Änderungen der Aufgaben bestehender Rollen durch Anpassungen in der Aufbaustruktur dokumentiert.

Diese Systemlandschaft wurde dann im Rahmen der Umsetzungsphase implementiert und ermöglicht nun die kontinuierliche, skalierbare Umsetzung der ausgewählten und neuer Industrie 4.0-Anwendungsfälle.

Eine erfolgreich implementierte Anwendung im Kontext des Unternehmensbeispiels in der Industrie 4.0-Systemlandschaft war die Vernetzung der PPS. Da in den bestehenden Systemen nicht alle nötigen Informationen zur Erfüllung der PPS-Aufgaben zur Verfügung standen, bedienten sich Nutzer*innen individuellen Auswertungen von Daten in Excel-Tabellen. Die Industrie 4.0-Systemlandschaft ermöglichte eine einfache Vernetzung von Daten verschiedener Systeme, um jederzeit die relevanten Informationen bereit zu stellen. Insgesamt konnten so die Aktualität der Daten sichergestellt, (Such-)Aufwände reduziert und Fehler verhindert werden.

Zusammenfassung

Industrie 4.0 ist nach wie vor ein elementares Thema für Unternehmen. Leider bleibt nach vielen Jahren der Erfolg häufig mal aus. Ursache ist, dass es Unternehmen an den Grundlagen fehlt, um ihre Industrie 4.0-Anwendungsfälle skalierbar und langfristig umsetzen zu können. Im Rahmen dieses Beitrags wurde ein vierstufiges Vorgehen vorgestellt, das es Unternehmen ermöglicht, eine digitale Systemlandschaft aufzubauen, die skalierbare Industrie 4.0-Lösungen ermöglicht.

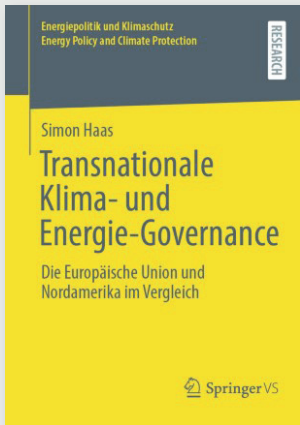
Schlüsselwörter:

Industrie 4.0, Digitalisierung, IT-OT-Integration, Digitale Systemlandschaft

Literatur

- [1] Kagermann, H.; Lukas, W.-D.; Wahsler, W.: Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. In: VDI Nachrichten 13 (2011) 1, S. 2.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Bundesministerium für Bildung und Forschung. Was ist Industrie 4.0: Menschen, Maschinen und Produkte sind direkt miteinander vernetzt: die vierte industrielle Revolution hat begonnen. URL: www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html, Abrufdatum 9.7.2021.
- [3] Schmitz, C.; Tschiesne, A.; Jansen, C.; Hallerstedde, S.; Garms, F.: Industry 4.0. Capturing value at scale in discrete manufacturing 2019. Betti, F.; Boer, E. de; Giraud, Y.: Industry's fast-mover-advantage. Enterprise value from digital factories 2020. <http://dl.n.jaipuria.ac.in:8080/jspui/bitstream/123456789/1331/1/Industry-4-0-Capturing-value-at-scale-in-discrete-manufacturing-vf.pdf>.
- [4] Goering, K.; Kelly, R.; Mellors, N.: The next horizon for industrial manufacturing: Adopting disruptive digital technologies in making and delivering. 2018. URL: www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/the-next-horizon-for-industrial-manufacturing, Abrufdatum 9.7.2021.
- [5] Schuh, G.; Gützlaff, A.; Sauermann, F.; Maibaum, J.: Digital Shadows as an Enabler for the Internet of Production. In: Lalic, B.; Majstorovic, V.; Marjanovic, U.; Cieminski, G. von; Romero, D. (Hrsg): Advances in Production Management Systems. The Path to Digital Transformation and Innovation of Production Management Systems // Advances in production management systems. IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2020, Novi Sad, Serbia, August 30-September 3, 2020: proceedings, vol. 591. Cham 2020.

REZENSIONEN



Transnationale Klima- und Energie-Governance

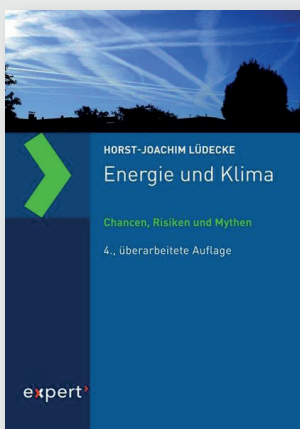
Die Europäische Union und Nordamerika im Vergleich

1. Auflage 2021
Simon Haas
Springer VS, 675 S.
EUR: 79,99
ISBN: 978-3-658-35569-2

Die Bekämpfung des Klimawandels und die gleichzeitige Sicherstellung einer nachhaltigen, zuverlässigen und wirtschaftlichen Energieversorgung werden zunehmend als zentrale Menschheitsaufgaben des 21. Jahr-

hunderts betrachtet. Die politische Problembearbeitung endet dabei nicht an nationalen Grenzen, sondern weist angesichts vielfältiger Interdependenzen immer auch eine transnationale Komponente auf. Die Funktionslogik und die Leistungsfähigkeit solcher transnationalen Governance-Prozesse unterscheiden sich wiederum von Region zu Region: Während die Staaten der Europäischen Union dafür die umfassende

und verrechtlichte Architektur des EU-Systems nutzen können, fehlt eine solche Institutionenstruktur in anderen Erdteilen. Das Buch analysiert die Politiken zu Klimaschutz und erneuerbaren Energien sowie die Marktregulierung im Elektrizitäts- und Erdgassektor in Europa und Nordamerika und geht der Frage nach, wie sich die Unterschiede zwischen den beiden Systemen auf die Performanz der Governance auswirken.



Energie und Klima

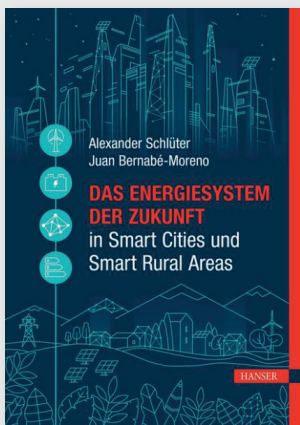
Chancen, Risiken und Mythen

4. Auflage 2020
Horst-Joachim Lüdecke
Expert Verlag, 222 S.
EUR: 24,80
ISBN: 978-3-8169-3485-1

Mit der Energiewende und im Klimaschutz erfindet sich Deutschland neu. Es nimmt dabei eine weltweite Sonderstellung ein. Die komplette Umgestaltung der elektrischen

Stromversorgung wurde auf den Weg gebracht. Was früher nur die zuständigen Ingenieure beschäftigte, interessiert heute vor dem Hintergrund aktueller politischer Entscheidungen die gesamte Gesellschaft. Die aktuelle Energiewende und die Klimaschutzmaßnahmen können nur dann sinnvoll sein, wenn sich hieraus Vorteile für den Naturschutz, die Versorgungssicherheit mit elektri-

chem Strom und die Kosten ergeben. Dieses Buch untersucht die Chancen, Risiken, Vor- und Nachteile des deutschen Weges. Die Konkurrenzfähigkeit unseres Landes, die Sicherheit gegen Stromausfälle, die Steuerlast, die Energiekosten jeden Bürgers und schließlich die Umwelt stehen auf dem Spiel.



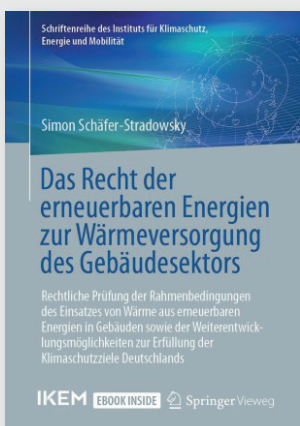
Das Energiesystem der Zukunft in Smart Cities und Smart Rural Areas

1. Auflage 2021
Alexander Schlüter, Juan Bernabé-Moreno (Hrsg.)
Carl Hanser Verlag, 400 S.
EUR: 39,99
ISBN: 978-3-4464-6822-1

Dieses Werk entstand im Rahmen des Verbundforschungsprojekts Meta-moFAB als gemeinsamer Ergebnisbericht des Projektkonsortiums. Neben methodischen Vorgehensweisen und Hilfsmitteln werden insbeson-

dere auch exemplarische Fallbeschreibungen aufgeführt. Auf methodischer Seite wird die beschriebene generelle Vorgehensweise zur Planung und Umsetzung der Transformation von Unternehmen in die Industrie 4.0 durch detaillierte methodische Hilfestellungen für die Entwicklung der Aspekte Mensch, Technik und Organisation in der Fabrik ergänzt. Die detaillierte Beschreibung erlaubt eine eigenständige praktische Umsetzung des Vorgehens. Die vorgestellten

Fallbeispiele stellen Erfahrungsberichte dar, die zwar keine direkte Übertragbarkeit, sehr wohl aber eine Orientierung bei der Entwicklung eigener Lösungsansätze und Transformationspfade bieten. Handlungsempfehlungen, die aus den Erfahrungen sowohl in der Methodenentwicklung als auch der exemplarischen Anwendung in den Fallbeispielen abgeleitet wurden, bieten kurze und prägnante Hinweise für die eigene Arbeit.



Das Recht der erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung des Gebäudesektors

Rechtliche Prüfung der Rahmenbedingungen des Einsatzes von Wärme aus erneuerbaren Energien in Gebäuden sowie der Weiterentwicklungsmöglichkeiten zur Erfüllung der Klimaschutzziele Deutschlands

1. Auflage 2021
Simon Schäfer-Stradowsky
Springer Vieweg, 213 S.
EUR: 74,99
ISBN: 978-3-658-35015-4

Der erste Band der IKEM-Schriftenreihe beleuchtet die rechtlichen Rahmenbedingungen der Wärmewende. Dabei handelt es sich um die politische Aufgabe, die Versorgung von Gebäuden mit Wärme klimaneutral zu gestalten. Angesichts hoher

Emissionen, geringer Sanierungs- und Modernisierungsquoten sowie nur geringfügiger Nutzung erneuerbarer Energien (EE) im Gebäudesektor besteht dringender Handlungsbedarf. Denn nur mit einer erfolgreichen Wärmewende kann Deutschland seine Klimaziele erreichen.

Der Band analysiert den Rechtsrahmen der Wärmewende, insbesondere im Hinblick auf das Gebäudeenergiegesetz, und zeigt Handlungs-

spielräume und Nachbesserungsmöglichkeiten für den Gesetzgeber auf, die sich aus den europäischen Vorgaben, dem Klimaschutzgesetz und den politischen Zielbestimmungen ergeben. Dabei wird deutlich, dass sich einige rechtliche Weiterentwicklungen – zum Beispiel eine Vereinheitlichung des EE-Begriffs im Energierecht oder die Ausweitung der EE-Wärme-Quoten – geradezu aufdrängen und zügig umgesetzt werden sollten.