

# Intelligente Kreislaufwirtschaft: Wie Künstliche Intelligenz nachhal- tige Prozesse unterstützen kann

## Faktenblatt



Foto: freestock\_1463410514

### Nachhaltiger Konsum und Produktion – auch für KMU

Seit der Einführung der Agenda 2030 durch die Generalversammlung der UN bilden die darin beschriebenen [17 Sustainable Development Goals](#) (Ziele für nachhaltige Entwicklung, kurz SDGs) die Grundlage für die Transformation zu einer gerechteren, gesünderen und diverseren Welt. Auch die Staaten der EU und insbesondere Deutschland haben die Einhaltung der SDGs beschlossen und sich zu einer nachhaltigeren Entwicklung verpflichtet, was insbesondere in den

Bereichen Wirtschaft und Industrie Auswirkungen haben wird.

Im Hinblick auf die Industrie ist dabei vor allem SDG 12 wichtig: Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen sicherstellen. Auf diesem Ziel fußt die zunehmende Entwicklung von nachhaltigen Lieferketten und Kreislaufwirtschaft in Deutschland und der EU. Insbesondere durch die Vereinbarungen im [Circular Economy Action Plan](#) der EU nimmt die Kreislaufwirtschaft europaweit Fahrt auf.

Die Pläne der EU und der Bundesregierung beinhalten dabei

auch viele Gesetze und Vorgaben, deren Umsetzung vor allem für Sie als Geschäftsführer:in oder Mitarbeitender eines mittelständischen Unternehmens zur Herausforderung werden kann. Das vor kurzem beschlossene [Sorgfaltspflichtengesetz](#), das in den nächsten Jahren in Kraft treten wird, nimmt deutsche Firmen für Emissionen und Menschenrechtsverletzung in der eigenen Lieferkette in die Verantwortung und fordert regelmäßige Analysen. Zwar sind davon zunächst nur Großunternehmen betroffen, dennoch sollten Sie sich bereits jetzt über eine moderne

und digitale Emissionsstrategie informieren und diese ggf. implementieren.

### Datenbasierte Anwendungen im Bereich der Kreislaufwirtschaft

Die Wertschöpfungsketten vieler KMU sind global ausgerichtet, was es erschwert, die eigenen Emissionen und sozialen Auswirkungen außerhalb Deutschlands zu identifizieren und zu berechnen. Aus diesem Grund spielt neben modernen Recycling-Technologien und der sinnvollen Nutzung endlicher Ressourcen auch die Digitalisierung eine große Rolle bei der Verfolgung des Ziels einer nachhaltigeren Produktion.

Mit einem ERP (Enterprise Resource Planning)-System haben viele KMU bereits einen wichtigen Schritt in Richtung der Digitalisierung ihrer Ressourcen getan. Um Lieferwege und Kooperationen digital abzubilden, kann Ihr ERP-System um Supply-Chain-Management-Module (SCM) ergänzt werden. Sie bieten die Grundlagen zur nachhaltigen Optimierung Ihrer Lieferkette, weshalb entsprechende Lösungen in Bezug auf Nachhaltigkeit zunehmend wichtiger im ERP-Markt werden.

Dennoch bietet Ihnen ERP-Software häufig nur eingeschränkte Optimierungsmöglichkeiten im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft. Zwar ist die Reduktion des Ressourcenverbrauchs ein erster wichtiger Schritt, doch weitergehende Analysen, wie z. B. die Erfassung der eigenen Emissionen, sind bisher nur wenig implementiert und folgen dabei häufig keinem vergleichbaren Standard.

Hier ist also ein ganzheitlicher Ansatz zur Analyse der Emissionen, verwendeten Materialien und Recyclingstrategien gefragt. Eine Möglichkeit bietet dabei die Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis,

LCA). Dabei handelt es sich um die Modellierung Ihrer Produktions- und Lieferkette. Die Basis dafür bilden Forschungsergebnisse zu Emissionen einzelner Produktionsschritte oder Materialien, die in speziellen LCA-Datenbanken gesammelt werden. So können Sie für jeden einzelnen Schritt Ihrer Produktionskette anhand der verwendeten Materialien und erzeugten Produkte berechnen, welche Emissionen und Abfälle entstehen. Letztendlich können Sie so zusammenrechnen, welche Abfälle und Emissionen Ihre komplette Produktionskette verursacht.

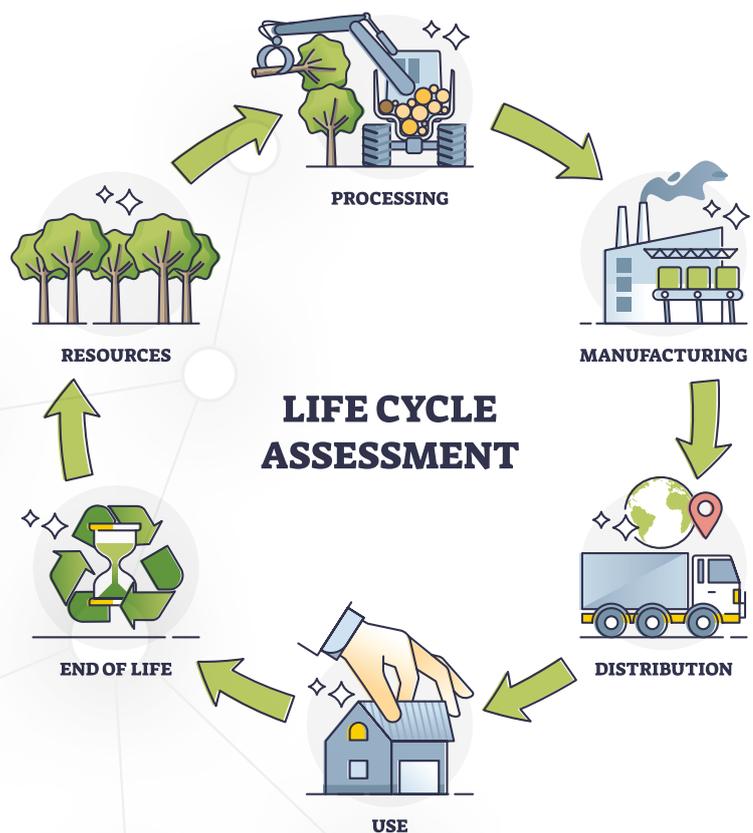
LCA sind jedoch häufig mit einem ausführlichen und iterativen Prozess verbunden, in dem Grenzen und Ziele sowie Datengrundlagen und Berechnungsmethoden genau aufeinander abgestimmt werden müssen. Vor allem in Hinblick auf die Datenquellen gibt es zwei zentrale Probleme:

- Primärdaten aus Ihrer eigenen Produktion fehlen teilweise und müssen daher selbst erhoben und in das richtige Format übertragen werden

- Vollständige Sekundärdaten über Energieversorgung oder andere Teile der Lieferkette sind teilweise nur durch eine sorgfältige Auswahl und Verbindung mehrerer Datensätze erreichbar

Um eine aussagekräftige Datengrundlage aufzubauen, ist häufig ein hohes Maß an Expert:innenwissen notwendig, und die Analyse muss oftmals in speziellen Software-Lösungen wie SimaPro, GaBi oder dem kostenlosen openLCA des deutschen Unternehmens GreenDelta GmbH stattfinden. GreenDelta bietet auch eine Plattform für den Erwerb von LCA-Datenbanken, optimiert für die Verwendung in openLCA, an.

Die Verbindung von LCA und ERP-ähnlicher Software könnte eine Grundlage für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz für erfolgreiche Kreislaufwirtschaft und nachhaltigere Lieferketten bilden. Im Folgenden wollen wir die wichtigsten Aspekte näher beleuchten und Ihnen einen Ausblick auf mögliche Einsatzgebiete geben,



in denen sich die Einführung von entsprechenden Software- und KI-Lösungen für Sie rentieren könnte.

## Standards im Kontext Lieferkette und Nachhaltigkeit

### LCA

Die LCA-Methode ist durch ISO 14040 sowie 14044 aus 2006 standardisiert. Eine Ökobilanzierung nach diesen Standards erfolgt in mehreren iterativen Prozessen, wobei Rahmen und Ziele, Daten und Berechnungsmethoden aufeinander abgestimmt werden sowie die Auswahl entsprechender Datenbanken für sekundäre Daten getroffen wird.

### PEF/OEF

Neben den bestehenden Standards ISO 14040 und 14044 existieren auch EU-Forschungsprojekte zur Standardisierung von Ökobilanzierung, die teilweise stark an LCA angelehnt sind, teilweise aber auch andere Anforderungen stellen. Als [Product Environmental Footprint \(PEF\)](#) und [Organisation Environmental Footprint \(OEF\)](#) sollen Standards entstehen, die sowohl die Bilanzierung einzelner Produkte als auch von Organisationen ermöglichen. Sie werden mit hoher Wahrscheinlichkeit auch in zukünftigen Regelungen und Gesetzen auf EU-Ebene als Maßstab für Unternehmen und Produktionen eingesetzt.

### Digital Product Passport

Ein weiteres Projekt, das im Rahmen des European Green Deal erarbeitet wird, ist der Digital Product Passport (DPP), der es ermöglichen soll, für einzelne Produkte Informationen über Materialien, Emissionen und Lieferwege zu sammeln und zur Verfügung zu stellen. Dabei soll auch das Recycling von Produkten verbessert werden, indem Kund:innen direkt Informationen zu Ent-

sorgung und materialgerechter Wiederverwertung erhalten.

Zusätzlich stellt der DPP eine mögliche Lösung für das Problem der fehlenden Primärdaten bei der LCA dar, da für jeden Schritt in der Produktionskette die entsprechenden Informationen im DPP gespeichert werden und somit später für die Ökobilanzierung zur Verfügung stehen. Daraus könnte eine Fusion aus DPP und PEF entstehen, die es auch Ihnen ermöglicht, ohne großen Aufwand eine Bilanzierung Ihrer Produkte durchzuführen.

### Status quo beim Einsatz von KI bei Nachhaltigkeitsthemen

Künstliche Intelligenz dient häufig als Überbegriff für verschiedene datenbasierte Algorithmen, die es einer Maschine entweder

#### Aus der Praxis

Die ATN-Ceram GmbH aus konnte mit Hilfe des Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards im Rahmen eines Praxisprojekts einen KI-Algorithmus entwickeln, der den Verschleiß des eigenen Produkts vorher sagt und so einen zu frühen oder zu späten Austausch verhindert, was die Umweltauswirkung verringert.

ermöglichen, aus vorhandenen Daten zu lernen oder vorhandene Daten intelligent zu nutzen, um eigenständige Entscheidungen zu treffen.

KI kann in verschiedenen datengetriebenen Bereichen eingesetzt werden, z. B. in Fabriken und Produktionsstätten, um anhand von Daten, die durch Sensoren und Kameras gesammelt werden, Teilschritte zu automatisieren. KI-Algorithmen helfen dabei, Datensätze zu analysieren, Muster zu erkennen und so beispielsweise

unnötige Abfälle oder Verschleiß zu reduzieren.

Durch die zunehmende Sammlung der Daten über Lieferketten im Rahmen von DPPs oder in Supply-Chain-Management-Tools entwickelt sich auch die Lieferkette zu einem mehr und mehr datengetriebenen Feld. Aus diesem Grund wird der Einsatz von KI zur generellen ökonomischen Optimierung, aber auch zur Analyse und Optimierung der Nachhaltigkeit in der eigenen Lieferkette immer wichtiger. Durch die Analyse von Lieferketten können Sie z. B. Lieferwege optimieren, Lagerungen minimieren und Verbrauchsmengen vorhersagen. Aus diesem Grund setzen auch heute schon viele Anbieter von ERP-Software auf den Einsatz von KI in ihren Produkten.

Aber auch autonome Anwendungen auf Basis von Algorithmen der Künstlichen Intelligenz können beim Management Ihrer Lieferkette helfen. So setzen einige Systeme zur Risikoanalyse schon sogenannte Natural-Language-Processing-Modelle (NLP) ein, um in Nachrichten und Social Media mögliche negative Erwähnungen von Regionen oder sogar einzelnen Zulieferern in der eigenen Lieferkette zu identifizieren und dahingehend zu warnen. Auf diese Weise können Sie mögliche Menschenrechtsverletzungen in Ihrer Wertschöpfungskette identifizieren und minimieren.

Auch im Klimaschutz kommt NLP zum Einsatz und kann Sie bei der Auswertung von Nachhaltigkeitsberichten unterstützen und so eine Entscheidungshilfe bei der Auswahl neuer Partnerunternehmen bieten.

### Treiber, Potenziale und Hemmnisse beim Einsatz von KI

#### Treiber

Sowohl durch den European Green Deal als auch durch Ent-

wicklungen im Konsumverhalten der Bevölkerung wird die Verantwortung von Unternehmen für die Auswirkungen der eigenen Lieferketten in den nächsten Jahren stark zunehmen. Laut einer [Studie von Deloitte](#) aus dem Jahr 2021 haben 63 Prozent der Deutschen auf Grund der Klimaerwärmung ihr Konsumverhalten bereits angepasst.

Daraus folgt, dass Unternehmen, die Konsumgüter produzieren, zunehmend die Nachhaltigkeit der eigenen Produktion beleuchten und sich aktiv für nachhaltigere Produktionsweisen einsetzen müssen.

### Potenziale

Selbstverständlich ist KI nicht der direkte Schlüssel zu einer nachhaltigeren Lieferkette. Wichtig ist zunächst die Digitalisierung Ihrer Unternehmensprozesse. Das kann entweder in der bereits vorhandenen ERP-Software oder durch spezielle Plug-ins bzw. zusätzliche Software mit Fokus auf Nachhaltigkeits-Aspekten, sogenannte [Supplier Sustainability Applications](#), erfolgen. In Kombination damit kann eine digitale Abbildung Ihrer Produktion in einer LCA-Software nützlich sein, um exakte Daten über Ihre Emissionen und Umweltwirkungen zu erhalten.

KI kann sowohl bei der Digitalisierung selbst als auch bei der Optimierung einer bereits digitalisierten Lieferkette nützliche Werkzeuge bieten. So übernimmt sie repetitive Aufgaben, wie z. B. die Auswertung von Fragebögen oder die Transformation von Daten. Darüber hinaus kann sie Abläufe analysieren und lernen und so dabei helfen, Optimierungsmöglichkeiten zu identifizieren oder sogar optimierte Planungen selbstständig durchführen.

### Hemmnisse

Trotz der genannten Potentiale gibt es vor allem für KMU noch

einige Hemmnisse, die den Einsatz von KI in der eigenen Lieferkette verhindern. Laut einer Studie des EHI spielen dabei vor allem die hohen Investitionskosten, Vertrauensprobleme in die neuen Technologien, aber auch die Sorgen der Mitarbeiter:innen eine Rolle, z. B. vor dem Verlust des eigenen Arbeitsplatzes. Für Sie gilt also: Identifizieren und minimieren Sie diese Sorgen und Vertrauensprobleme so früh wie möglich, und leisten Sie Aufklärungsarbeit.

Wie bereits beschrieben, ist die vorhandene Datenlage ein wichtiger Aspekt für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz. Hier können Ihnen sowohl ERP-Systeme als auch andere Digitalisierungslösungen helfen, schnell die nötige Datenlage zu schaffen. Viele Supplier von Sustainability Applications bieten Ihnen zudem die Möglichkeit, über vorgefertigte Fragebögen die Daten direkt von den Zulieferern digitalisiert zu sammeln und in Ihr System zu [integrieren](#).

Zuletzt stellt die Transparenz in der Lieferkette ein weiteres

großes Hemmnis dar. Daten über den eigenen Energieverbrauch oder eventuelle Risiken für Biodiversität durch die eigene Produktion werden nur ungern von Unternehmen geteilt. Dafür ist es wichtig, dass auf EU-Ebene die Transparenz gesetzlich zunehmend gefordert wird und zusätzlich Standards zum datenschutzkonformen Austausch dieser Daten entwickelt und etabliert werden, so genannte Datenräume wie [GAIA-X](#) oder [Industrial Data Space](#) (IDS).

### Beispiele für Einsatzszenarien

Im Folgenden wollen wir anhand der einzelnen Teilschritte in einer erfolgreichen Kreislaufwirtschaft mögliche Einsatzszenarien von KI aufzeigen und mit Beispielen erklären. Dabei orientieren wir uns am [Kreislaufwirtschafts-Guide des Kompetenzzentrums eStandards](#).

### Ressourcen

Schon die Auswahl der Rohstoffe und Materialien für die Produktion



Wichtige Schritte in einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft

kann ein ausuferndes Abwägen von Eigenschaften, Vor- und Nachteilen sein. Hier hilft Künstliche Intelligenz: Das EU-geförderte Accelerated-Metallogy-Projekt untersucht beispielsweise den Einsatz von neuronalen Netzen zur Vorhersage von Eigenschaften unerforschter Legierungen. Ähnliche Ansätze könnten auch bei der Auswahl von nachhaltigeren Materialien und Rohstoffen denkbar sein.

### Eco Design

In einem [Forschungsprojekt](#) aus dem Jahr 2020 haben Wissenschaftler:innen untersucht, inwiefern Machine Learning eingesetzt werden kann, um die Simulationen während der Design-Phase von Gebäuden zu beschleunigen. So sollten anhand von verschiedenen Parametern wie Lage, Umgebung, Mindest- und Maximalhöhe sowie benötigter Nutzfläche mehrere Vorschläge für die Form und den Aufbau des Gebäudes angeboten werden, die jeweils die Emissionen des Gebäudes minimieren.

Entsprechende KI-Unterstützung eines Designs, das mittels Simulationen analysiert werden kann, wäre auch in anderen Bereichen der Industrie implementierbar.

### Produktion

Auch während des Produktionsprozesses können KI-Algorithmen zu einem nachhaltigeren Produkt beitragen. Ein Beispiel dafür ist ein Forschungsprojekt, das sich mit so genanntem [LCA-aware scheduling](#) beschäftigte. Dabei wurden Daten über den Tagesverlauf des Energiemixes mit Wetterdaten verknüpft, um so im Echtzeit-Betrieb die Emissionen des eigenen Energie-Verbrauchs in den nächsten Stunden vorherzusagen. Auf Basis dieser Vorhersage kann die Produktion so umgeplant werden, dass die Treibhausgas-Emissionen durch den Stromverbrauch minimiert werden.

### Vertrieb

Schon heute verwenden Unternehmen wie Kaufland oder DM die KI-Software des deutschen Unternehmens [Blue Yonder](#), das eine KI-gestützte intelligente Verteilung von Produkten auf Filialen bietet. Dadurch werden Lagerzeiten und Abfälle minimiert, indem die Nachfrage der Kund:innen auf Basis bisheriger Verkaufsdaten vorhergesagt wird.

### Nutzung

Die Nutzung ist ohne Frage für viele Produkte der am schwersten analysierbare Teil des Lebenszyklus. Daten über diesen Teil können häufig nur durch Umfragen erhoben werden und sind dann nur schwer zu verallgemeinern. Dennoch sollten Sie versuchen, diese Lücke in der Datenerfassung zu schließen, um eventuelle Fehlerquellen zu identifizieren und so die Nutzungsdauer Ihrer Produkte zu verlängern. Klassische Machine-Learning-Algorithmen zur Mustererkennung können Ihnen dabei helfen, aus erfassten Daten wichtige Zusammenhänge zu erkennen.

### Nutzungsende

Auch das Nutzungsende und die Entsorgung des Produkts spielen eine große Rolle für die Umweltauswirkungen Ihrer Produkte. Daher ist es wichtig, Ihren Kund:innen möglichst genaue Informationen über die richtige Entsorgung zu liefern. Hier kann der Digital Product Passport unterstützen, da Ihren Kund:innen auf diese Weise eine Plattform geboten wird, auf der sie sich sowohl über mögliche Reparaturen als auch über die korrekte Entsorgung informieren können.

### Recycling

Recycling ist der letzte und schwierigste Schritt, um die Abfallmenge in einer Kreislaufwirtschaft so gering wie möglich zu halten. Hierzu werden möglichst

große Teile des Abfalls genutzt, um Sekundärrohstoffe zu produzieren, die als Ersatz für Primärrohstoffe am Beginn der Kreislaufwirtschaft eingesetzt werden können. Eine große Hürde bei der Erzeugung und Verwendung von Sekundärrohstoffen ist, dass Materialeigenschaften und Recycling-Methoden noch zu ungenau dokumentiert sind und daher die nachhaltigste Möglichkeit des Recyclings schwer zu identifizieren ist.

Im Forschungsprojekt [Circularity Options for Plastics](#) (CYCLOPS) wird daher an Wegen geforscht, die nötigen Informationen in Form eines digitalen Zwillings zu sammeln und zur Verfügung zu stellen, um es so jedem Unternehmen zu ermöglichen, schnell zu entscheiden, welcher Recyclingweg der nachhaltigste ist. Dabei kommt KI zum Einsatz, um Recycling-Methoden und Materialien hinsichtlich dieser Eigenschaften einzuschätzen.

Eine weitere Hürde beim Recycling stellt die Verteilung der Sekundärrohstoffe dar, da die Menge an recycelten Rohstoffen ebenso variieren kann wie die Nachfrage. Aktuelle Forschung im Bereich der Kreislaufwirtschaft befasst sich daher auch mit so genanntem Matchmaking. Dabei geht es um die Identifikation von möglichen Kooperationen zwischen Unternehmen. Auf Basis einer Plattform mit Informationen über die benötigten Rohstoffe und die End- und Nebenprodukte eines Unternehmens können potenzielle Lücken eines Kreislaufes geschlossen werden. Sie können KI-gestütztes Matchmaking in Ihrer gesamten Wertschöpfungskette verwenden, um diese flexibler zu gestalten und Kooperationen schneller anpassen zu können. So entwickeln Sie sich von einer statischen Wertschöpfungskette hin zu einem flexiblen **Wertschöpfungsnetzwerk**.

Ob eine so gefundene neue Kooperation tatsächlich nach-

haltig ist, hängt dabei jedoch von vielen Faktoren ab, wie z. B. der Entfernung der beteiligten Unternehmen und der Möglichkeit der effizienten Lieferung. Dabei kann KI helfen, die Nachhaltigkeit der Kooperation anhand aller Faktoren einzuschätzen, ohne dass eine genaue Simulation nötig ist. Zudem kann Sprach-KI (NLP) verwendet werden, um auch mögliche Kooperationen unabhängig von speziellen Plattformen nur über frei zugängliche Informationen aus dem Internet zu identifizieren.

### Abfall

Die Entsorgung von Abfällen, die nicht wieder in den Kreislauf integriert werden können, darf bei der Gestaltung einer erfolgreichen Kreislaufwirtschaft vernachlässigt werden. Für verschiedene Abfälle gibt es verschiedene Wege der

Entsorgung, die ihrerseits wiederum verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt haben. Auch dafür bietet es sich an, KI-Modelle zu nutzen, die für einzelne Abfälle schnell die nachhaltigste Möglichkeit der Entsorgung finden oder zumindest bei der Entscheidung unterstützen. Da LCA typischerweise einen cradle-to-grave („von der Wiege bis zur Bahre“) Ansatz verfolgt, können entsprechende LCA-Datenbanken auch genutzt werden, um verschiedene Abfallarten zu vergleichen.

### Erste Schritte hin zu Ihrer KI-gestützten Kreislaufwirtschaft

In diesem Faktenblatt haben Sie einen ersten Einblick in die Einsatzmöglichkeiten von KI-Technologien für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft erhalten. Bei der Umsetzung kommt es nun auf die

enge Zusammenarbeit zwischen KMU und KI-Expert:innen an, um die Umsetzbarkeit der Möglichkeiten auszuloten und damit Kreislaufwirtschaft in Europa und weltweit weiterzuentwickeln.

Falls Sie sich weitergehend über das Thema informieren wollen oder Projektideen für den Einsatz von KI in Ihrem Unternehmen haben, Ihnen aber das nötige Know-how fehlt, kontaktieren Sie gerne Alexander Schneider, Ihren Ansprechpartner für KI und Nachhaltigkeit im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards!

Kontakt:  
Alexander Schneider  
[schneider@kompetenzzentrum-estandards.digital](mailto:schneider@kompetenzzentrum-estandards.digital)  
02241 14-3789

### Impressum:

Autoren: Lukas Rilling, Alexander Schneider  
Redaktion: Ulrich Hardt  
Abbildungen: Jaqueline Ullmann für Fraunhofer FIT, Shutterstock  
Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards  
Offene Werkstatt Hagen  
c/o HAGEN.WIRTSCHAFTSENTWICKLUNG GmbH

### Kontakt:

Tel: +49 2331 80 999 60  
[hagen@kompetenzzentrum-estandards.digital](mailto:hagen@kompetenzzentrum-estandards.digital)  
[www.kompetenzzentrum-estandards.digital](http://www.kompetenzzentrum-estandards.digital)

Das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards gehört zu Mittelstand-Digital. Mit Mittelstand-Digital unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz die

Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen und dem Handwerk.

### Was ist Mittelstand-Digital?

Mittelstand-Digital informiert kleine und mittlere Unternehmen über die Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung. Die geförderten Kompetenzzentren helfen mit Expertenwissen, Demonstrationszentren, Best-Practice-Beispielen sowie Netzwerken, die dem Erfahrungsaustausch dienen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz ermöglicht die kostenfreie Nutzung aller Angebote von Mittelstand-Digital.

Weitere Informationen finden Sie unter [www.mittelstand-digital.de](http://www.mittelstand-digital.de)