



Leitfaden
Nachhaltige Produktion

Gefördert durch:



Mittelstand-Digital

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



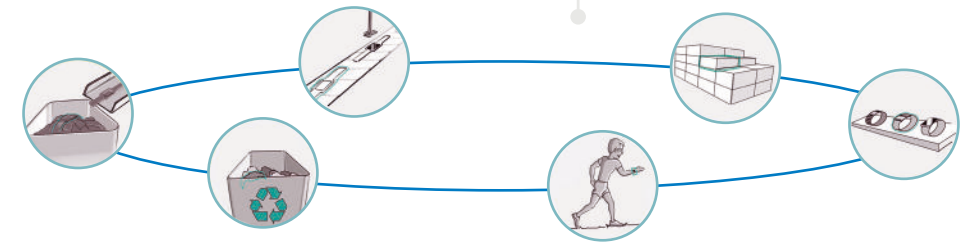
Einführung in die nachhaltige Produktion

So vielfältig wie die Anzahl der verschiedenen Produkte über alle Branchen ist, so viele Prozesse gibt es für deren Herstellung. Durch die gesetzlichen Vorgaben werden Unternehmen dazu verpflichtet, sich mit Themen wie Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit, CO₂-Fußabdruck und Recycling auseinanderzusetzen. Möchte man die Nachhaltigkeit der einzelnen Produkte betrachten, so sollte man dies über den gesamten Produktlebenszyklus tun, so wie es auch das Konzept der Kreislaufwirtschaft vorsieht. Ein wichtiger Punkt dabei ist der Herstellungsprozess, der einen großen Einfluss auf den späteren Wert des Produktes hat. Mit der Wahl von Fertigungstechnologien werden auch Entscheidungen bezüglich einzusetzender Materialien und auch späterer Rezyklierbarkeit

getroffen. Nachhaltige Produkte sind nicht nur verantwortungsbewusst, sondern ermöglichen Unternehmen auch bares Geld zu sparen und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln.

LEITFRAGEN

- **Unterliegt Ihr Unternehmen der CSRD Berichtspflicht (Link S. 13)?**
- **Sind bei Ihren Produkten Änderungen hinsichtlich nachhaltiger Materialien und Prozesse möglich?**



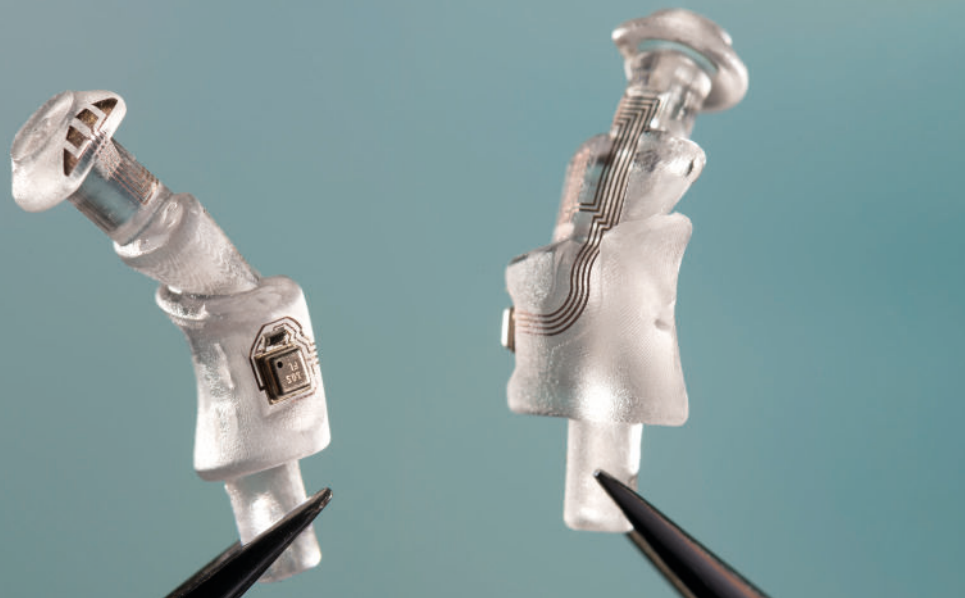
Transformation zur Kreislaufwirtschaft

Unsere Gesellschaft befindet sich in der Transformation von der Linear- oder Wegwerfwirtschaft hin zur Kreislaufwirtschaft. Diese hat das Ziel Ressourcen zu schonen, schädliche Emissionen und Energieverschwendung zu reduzieren und Abfälle zu vermeiden. Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft sind alle Faktoren vom Produktdesign, über die Herstellung und Nutzung bis zum Nutzungsende des Produktes miteinander verbunden. Nur eine Kreislaufwirtschaft kann dazu führen, dass die begrenzten Ressourcen der Erde auch in Zukunft ausreichen, um den Markt zu bedienen. Dabei werden die Prinzipien Reduzieren, Wiederverwenden und Rezyklieren betrachtet. Im Idealfall werden neue Produkte durch den Einsatz rezyklierter Ma-

terialien und aufbereiteten Komponenten anderer Produkte hergestellt. Diese neuen Produkte werden so gestaltet, dass ihre Reparierbarkeit zu einer längeren Lebensdauer führt und eine spätere Recyclingfähigkeit gewährleistet werden kann. Dadurch kann Abfall reduziert werden.

LEITFRAGEN

- **Was wissen Sie über Kreislaufwirtschaft (Link S. 13)?**
- **Sind Ihre Produkte fit für die Kreislaufwirtschaft?**
- **Wie könnten die einzelnen Stationen der Kreislaufwirtschaft für Ihr Produkt aussehen?**



Auswahl nachhaltiger Produktionsprozesse

Bei der Herstellung von Produkten werden in erheblichem Maße Ressourcen (Energie und Material) verbraucht. Dabei ist die Wahl des geeigneten Produktionsverfahrens von entscheidender Bedeutung. Die wichtigsten Aspekte sind:

Material

Die Produkteigenschaften werden durch den Produktionsprozess beeinflusst. Dazu zählen mechanische Eigenschaften, Strukturgrößen oder Oberflächeneigenschaften.

Performance

Die Produkteigenschaften werden durch den Produktionsprozess beeinflusst. Dazu zählen mechanische Eigenschaften, Strukturgrößen oder Oberflächeneigenschaften.

Hilfsmittel für die Produktion

Viele klassische Herstellungsverfahren sind werkzeuggebunden, d.h. zur Herstellung des Produktes werden spezifische und nur für dieses Produkt verwendbare Werkzeuge / Hilfsmittel / Schablonen benötigt.



Im Gegensatz dazu bieten digitale Produktionsprozesse die Möglichkeit, direkt aus einer digitalen Repräsentation des Produktes (CAD-Modell) die Produktion zu initiieren. Beispiele für digitale Produktionsprozesse sind alle Variationen des 3D-Druckens, der Digitaldruck, Laserbearbeitung (Ablation, Oberflächenveränderung) und Verfahren der Direktbelichtung.

Variantenreichtum des Produkts

Digitale Produktionsprozesse bieten gegenüber klassischen Produktionsprozessen den Vorteil, dass die Kosten für Werkzeuge eingespart werden können. Damit werden sie besonders für die Herstellung von kleinen Stückzahlen oder für Produkte mit individualisierter Geometrie interessant.

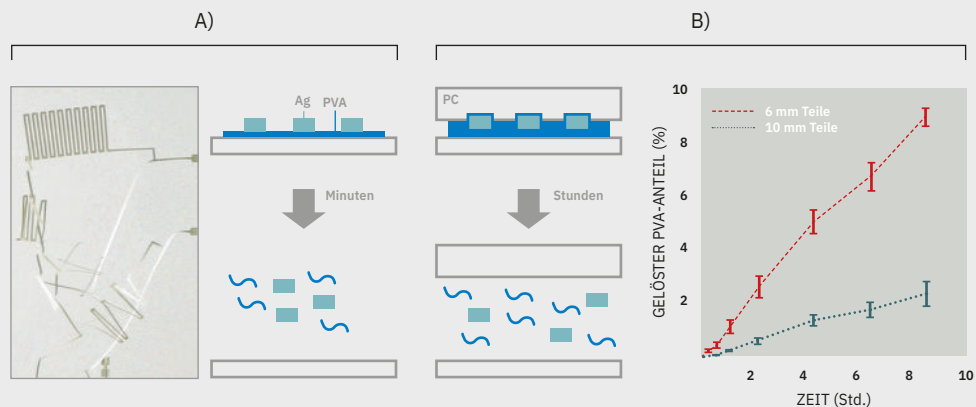
Stückzahl

Das Portfolio an verfügbaren digitalen Produktionsprozessen für

unterschiedlichste Materialien wird permanent ausgeweitet und die Materialvielfalt nimmt beständig zu. Durch die steigende Produktivität der Anlagen steigen auch die Stückzahlen, die mit digitalen Produktionsverfahren wirtschaftlich hergestellt werden können.

LEITFRAGEN

- Gibt es für ihr Produkt mehr als nur einen Produktionsprozess?
- Können nachhaltige Produktionsverfahren, wie digitale Prozesse eingesetzt werden?



Produktgestaltung für die Kreislaufwirtschaft

Am Beginn der Produktentstehung steht das Design. Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft wird dieses als Ecodesign bezeichnet, da es bereits die Umweltaspekte über den gesamten Produktlebenszyklus berücksichtigt, um Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren. Die Auswahl von Materialien und Herstellungsverfahren, sind eng miteinander verknüpft und haben einen großen Einfluss auf das Produktdesign. Additive Prozesse, wie der 3D-Druck bieten hier neue Möglichkeiten, die mit Materialeinsparungen einhergehen können. Durch Topologieopti-

mierungen können diese Materialeinsparungen optimiert werden. Darüber hinaus sollte das Ecodesign auch die Nutzungsdauer des Produktes durch Reparierbarkeit verlängern, was beispielsweise durch einen modularen Aufbau oder die Verwendung von Standardkomponenten gewährleistet werden kann. Die Rezyklierbarkeit von Komponenten, die nicht aufbereitet werden können, müssen bereits beim Produktdesign mitgedacht werden. Das Ecodesign stellt hierfür Prinzipien und Methodiken bereit, die zur Orientierung genutzt werden können.

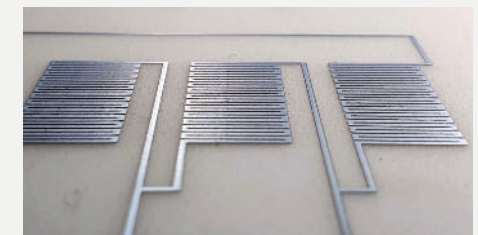
LEITFRAGEN

- Werden nachhaltige Materialien verwendet?
- Können Topologieoptimierungen, also Materialeinsparungen, durchgeführt werden?
- Können ihre Produkte modular aufgebaut werden?
- Können ihre Produkte teilweise repariert werden?

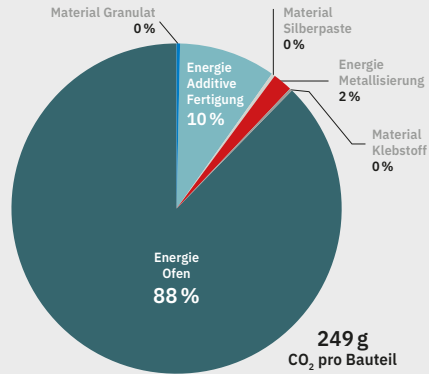


BLICK IN DIE PRAXIS:

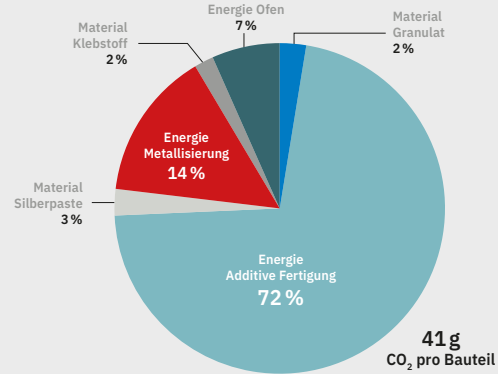
Trennbarkeit von Materialien kann durch eine zusätzliche Trennschicht gewährleistet werden. Beispiel Recycling von gedruckter Elektronik (Cornet ReIn-E)
<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2024/su/d4su00092g>



VERTEILUNG CO₂ FUSSABDRUCK BEI EINEM BAUTEIL



VERTEILUNG CO₂ FUSSABDRUCK BEI 100 BAUTEILEN



Materialflussanalysen in der Produktionsplanung

Die nachhaltige Produktionsplanung ist ein komplexes Themenfeld, das darauf abzielt, Ressourceneffizienz und Umweltverträglichkeit in den Produktionsprozess zu integrieren. Eine Schlüsselkomponente ist die Materialflussanalyse (MFCA), die den Weg von Ressourcen durch den Produktionsprozess bis zum Endprodukt und darüber hinaus verfolgt. Dies beinhaltet beispielsweise das eingesetzte Material, die eingesetzten Energieträger oder auch Transportprozesse. Für jeden einzelnen Prozessschritt werden beispielsweise der CO₂-Fußabdruck und die Kosten

identifiziert. Anschließend werden diese Informationen über die gesamte Prozesskette analysiert. Dabei werden Fragen geklärt, wie:

- Welche Prozesse sind besonders energie- und rohstoffintensiv?
- An welchen Stellen macht eine Effizienzsteigerung (Material / Energie) Sinn?

Die Materialflussanalyse hilft somit dabei, Einsparpotentiale zu identifizieren, sowohl bei den Kosten als auch beim ökologischen Fußabdruck in der Produktion.

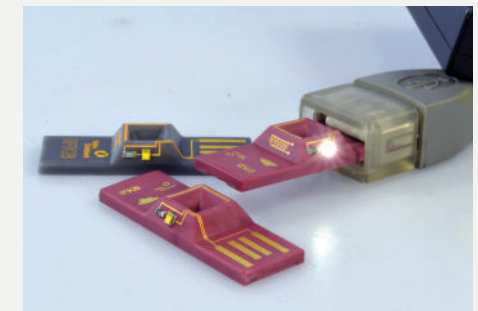
Konkrete Umsetzungen könnten z.B. sein, energie- oder materialintensive Prozesse durch sparsamere Prozesse zu ersetzen, auf Materialien mit geringerem CO₂-Fußabdruck zu wechseln, energieintensive Prozesse in größeren Chargen zu fahren, Qualitätskontrollen vor Material- und energieintensiven Prozessen einzuführen um keine B-Ware durch diese Prozesse zu schleusen.



BLICK IN DIE PRAXIS:

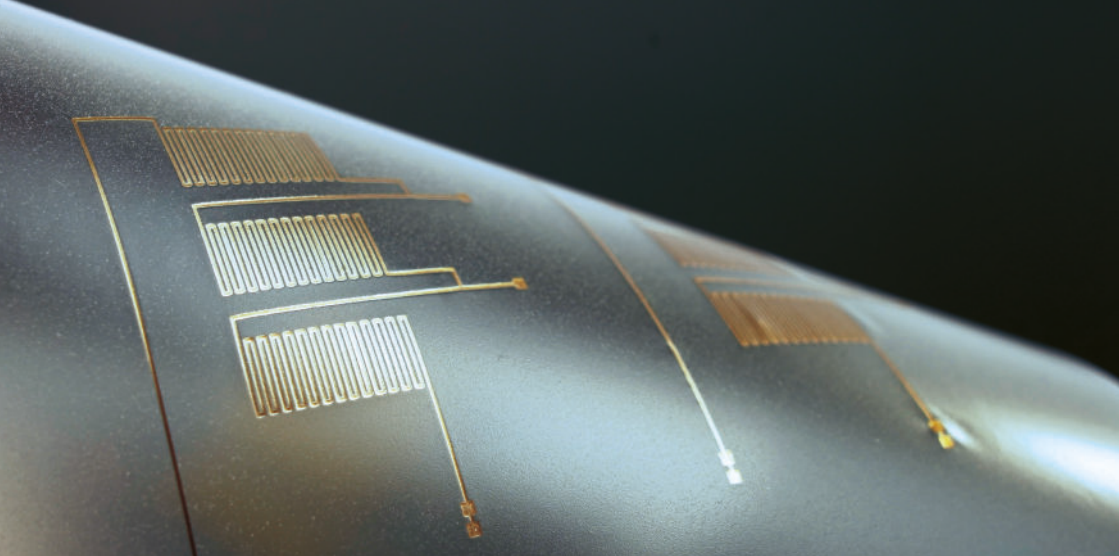
Im Praxisbeispiel wird eine Materialflussanalyse für die additive Fertigung eines Mikrosystems präsentiert. (siehe Grafik auf Seite 8).

Für die Berechnung wird angenommen, dass der 3D-Körper zunächst additiv gefertigt wird. Anschließend werden die Metallisierung gedruckt, elektronische Bauteile platziert und ein Tempern in einem Ofen durchgeführt.



LEITFRAGEN

- Haben Sie eine Materialeinflussanalyse (MFCA) durchgeführt?
- Können Sie Prozessoptimierungen zum Einsparen von Ressourcen realisieren?
- Haben Sie die Qualitätskontrollen vor den entscheidenden Prozessschritten?



Reduce – Reuse – Recycle

Die Produktion ist wie kein anderes Feld abhängig von kontinuierlicher Verbesserung. Neben Kostenersparnissen und Effizienzsteigerungen kann das auch die Nachhaltigkeit betreffen. Dies betrifft auch Verbrauchsmaterial und Produktionsmittel, welche in den Prozessen eingesetzt werden. Hier kommen die 3 großen R „Reduce, Reuse, Recycle“ zum Tragen.

1. Reduce – Einsparen

Beim Reduzieren geht es zunächst darum die Prozesse zu identifizieren, die ein großes Potential bieten, Material und Energie einzusparen. Es können beispielsweise Arbeitsabläufe so optimiert werden, dass Einsparungen vorgenommen werden oder klima-

schädliche durch klimafreundliche Materialien ersetzt werden.

2. Reuse – Wiederverwenden

Im Produktionsprozess können viele Produktionsmittel wiederverwendet werden. Das kann vom Wiederverwenden von Werkzeugen bis hin zum Nutzen von Nebenerzeugnissen, wie Abwärme reichen.

3. Recycle – Wiederverwerten

Beim Recycling werden Produktionsprozesse dahingehend betrachtet, ob Verbrauchsmaterialien und Nebenprodukte nach einer Aufbereitung erneut eingesetzt werden können. Dazu zählen z.B. Angüsse beim Spritzguss oder Ausschussteile, Zum Anderen bietet

sich aber auch die Möglichkeit, Abfälle an Recyclingbörsen zu handeln.

Können recycelte Materialien in anderen Prozessen eingesetzt werden? Kann das Abfalltrennsystem effizienter gestaltet werden? Können Abfälle an Recyclingbörsen gehandelt werden?

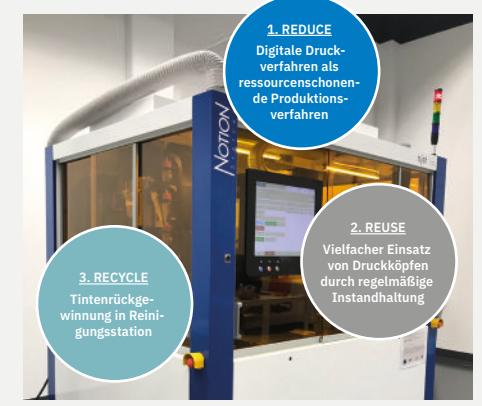
LEITFRAGEN

- Kann der Einsatz von Verbrauchsmaterialien reduziert werden?
- Gibt es Produktionsmittel die wiederverwendet werden können?
- Können sie Abfallprodukte aufbereiten und wiederverwenden?



BLICK IN DIE PRAXIS:

Das Praxisbeispiel zeigt eine Druckanlage für die Fertigung von gedruckter Elektronik. Am Beispiel dieser Anlage können die Konzepte von „Reduce, Reuse, Recycle“ verdeutlicht werden.



Vom Produktlebenszyklus zum Geschäftsmodell

Möchte man noch einen Schritt weiter in Richtung Nachhaltigkeit gehen, so ist die Ökobilanz oder auch Life Cycle Assessment das Mittel der Wahl. Hierbei wird eine Analyse der Umweltwirkung über den gesamten Produktlebenszyklus durchgeführt. Im Gegensatz zur MFCA werden jedoch nur ökologische und keine ökonomischen Aspekte betrachtet. Dafür werden zunächst alle Stoff- und Energieströme entlang der Wertschöpfung erfasst und um Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie entnommene Ressourcen ergänzt. Anschließend folgt eine Wirkungsabschätzung

hinsichtlich Umwelteffekte wie Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial oder Humantoxizität. Eine entsprechende Rückkopplung auf das Produkt und den Herstellungsprozess wird nur durch Aspekte der Ökobilanz beeinflusst. Um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen, wurde das Vorgehen in der DIN EN ISO 14040/14044 standardisiert.

Darüber hinaus können Geschäftsmodelle etabliert werden, die Produkte während ihrer Nutzungsdauer begleiten, um Umweltauswirkungen zu minimieren.

Weiterführende Links:

Engagement Global gGmbH: Ziele für nachhaltige Entwicklung: <https://17ziele.de/>

Presse- und Informationsamt der Bundesregierung: Klimaschutzgesetz: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672>

Umwelttechnik BW GmbH, Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg: Roadmap klimaneutrale Produktion Baden-Württemberg: <https://www.umwelttechnik-bw.de/de/roadmap-klimaneutrale-produktion-baden-wuerttemberg>
Kompetenzstellen für Ressourceneffizienz (KEFF+): <https://www.keffplus-bw.de/de>

Europäisches Parlament, Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile: <https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile>

Industrie- und Handelskammer (IHK) Region Stuttgart, Nachhaltigkeit: CSR in

Konzern und Unternehmen: <https://www.ihk.de/stuttgart/fuer-unternehmen/international/aussenwirtschaft-aktuell/sorgfaltspflichten-5350810>

Umweltbundesamt, CSR-Richtlinie: <https://www.umweltbundesamt.de/umweltberichterstattung-csr-richtlinie>

Effizienz-Agentur NRW, Ermittlung des CO₂-Fußabdruckes: <https://ecocockpit.de>

LEITFRAGEN

- Welche Emissionen entstehen über den Produktlebenszyklus?
- Wie ist der Transport von Materialien und Produkten geregelt?
- Welche Wirkungen hat das Produkt auf die Umwelt?

Impressum

Herausgeber: Mittelstand-Digital Zentrum Klima.Neutral.Digital, c/o Hahn-Schickard Gesellschaft für angewandte Forschung e. V.

Text: Dr. Karl-Peter Fritz, Dr. Kerstin Gläser, Jonas Jäger *Redaktion:* Claudia Feith

Konzeption & Gestaltung: Andrea D'Aloia, fi-design.de *Stand:* Februar 2025

Bildnachweis:

Titel: iStock, Seite 2: Wolfgang Sperl/Hahn-Schickard, Seite 3: Albert Ebenbichler, Seite 4: Bernd Müller/Hahn-Schickard, Seite 7: Claudia Feith/Hahn-Schickard, Seite 9: Alexander Schilling/IFM, Universität Stuttgart, Seite 10 + 11: Claudia Feith/Hahn-Schickard, Seite 12: KI generiert, Marta Krausz/Hahn-Schickard

Das Mittelstand-Digital Zentrum Klima.Neutral.Digital gehört zu Mittelstand-Digital. Mit dem Mittelstand-Digital Netzwerk unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz die Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen und dem Handwerk.

Das Mittelstand-Digital Netzwerk bietet mit den Mittelstand-Digital Zentren und der Initiative IT-Sicherheit in der Wirtschaft umfassende Unterstützung bei der Digitalisierung. Kleine und mittlere Unternehmen profitieren von konkreten Praxisbeispielen und passgenauen, anbieterneutralen Angeboten zur Qualifikation und IT-Sicherheit. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz ermöglicht die kostenfreie Nutzung. Weitere Informationen finden Sie unter www.mittelstand-digital.de.

