



Leitfaden für eine ressourcenschonende smarte Produktentstehung

Projekt FeMecEs4.0

Andreas Werner | Adrian Barwasser | Nikolas Zimmermann | Matthias Werner

In Zusammenarbeit mit

HALLER-JAUCH
seit 1919

Gefördert vom



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

Vorwort

Dieser Leitfaden entstand im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts »FeMecES4.0 – Ansatz zur ressourcenschonenden smarten Produktentstehung eines federbasierten mechanischen Energiespeichers«, welches ein Teil des vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus Baden-Württemberg 2022 veröffentlichten 1. Innovationswettbewerbs »Klimaneutrale Produktion mittels Industrie 4.0-Lösungen« war.¹ Ziel der Initiative war es unter anderem, kleinen und mittelständischen Unternehmen das Wissen und die nötigen Werkzeuge an die Hand zu geben, um ihre Treibhausgas-Emissionen drastisch zu senken und in einer ganzheitlichen Betrachtung ihre Umweltauswirkungen so gering wie möglich zu halten. Dieses Ziel folgt der selbst gewählten Auflage des Lands Baden-Württemberg, bis 2040 – also 5 Jahre früher als der Bund und 10 Jahre früher als die EU – eine klimaneutrale Wirtschaft zu erreichen.²

Der vorliegende Leitfaden soll dem Leser in kompakter und verständlicher Weise einen Überblick darüber verschaffen, welche Handlungsfelder es für die Erreichung der Klimaneutralität sowie zur Schonung natürlicher Ressourcen insbesondere während der Produktentstehung in produzierenden Unternehmen gibt und welche Gestaltungsmöglichkeiten sich in diesen Handlungsfeldern bieten. Es wird ein Vorschlag präsentiert, wie sich diese Menge an Optionen auf einen handhabbaren Katalog vielversprechender Maßnahmen reduzieren lässt. Die individuelle Analyse, Planung und Umsetzung dieser Gestaltungsmöglichkeiten erfordert einen wesentlich höheren Detailgrad, welcher im Rahmen dieses Leitfadens nicht angestrebt wird. Vielmehr soll ein Bewusstsein für existierende Ansatzpunkte und Lösungskonzepte als Grundlage für zielgerichtete Zukunftsinitiativen geschaffen werden.

Anforderungen

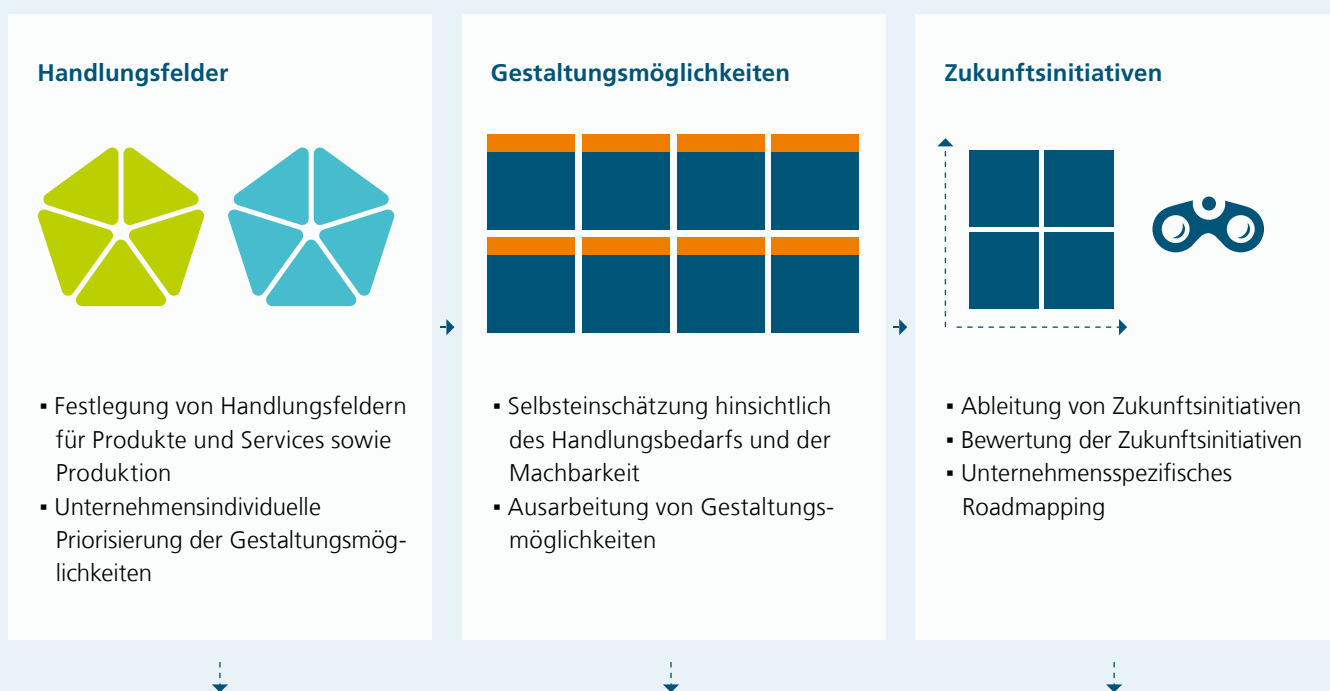


- Klärung von Anforderungen hinsichtlich Kundenwert, Leistungsziele, Fördernisse und Hemmnisse, betroffene Bereiche und Prozesse, notwendiger Support
- Darstellung in Form eines Anforderungs-Canvas



¹ <https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/innovationswettbewerb-klimaneutrale-produktion-mittels-industrie-40-loesungen-startet/> aufgerufen am 31.10.2023

² <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/bw-gestalten/nachhaltiges-baden-wuerttemberg/klimaschutz> aufgerufen am 31.10.2023



Gemeinsames Commitment und ein Plan im Unternehmen, wie ressourcenschonende Produktentstehung erreicht werden kann

Abbildung 1: Übersicht über das im Leitfaden beschriebene Vorgehen.

Inhalt

Vorwort	2
1. Was ist eine ressourcenschonende smarte Produktentstehung?	6
2. Wie designe ich als produzierendes Unternehmen ressourcenschonende Produkte?	8
2.1 Digitalisierung	8
2.2 Konsistenz und Kreislauffähigkeit	9
2.3 Ressourceneffizienz	10
2.4 Langlebig- und Reparierbarkeit	10
2.5 Sicherheit und Soziales	11
3. Wie stelle ich als produzierendes Unternehmen ressourcenschonende Produkte her?	12
3.1 Digitalisierung	12
3.2 Dezentrale Erzeugung nicht-fossiler Energie	13
3.3 Ressourceneffizienz	13
3.4 Kreislauffähigkeit	14
3.5 Emissionsabscheidung und -kompensation	15
4. Welche Schritte sollte ich als produzierendes Unternehmen einleiten?	16
4.1 Unternehmensindividuelle Priorisierung der Gestaltungsmöglichkeiten	16
4.2 Selbsteinschätzung hinsichtlich des Handlungsbedarfs und der Machbarkeit	17
4.3 Ableitung und Bewertung von Zukunftsinitiativen	17
5. Den Weg aktiv gestalten	18
6. Autoren	19

1. Was ist eine ressourcenschonende smarte Produktentstehung?

Bevor in den nachfolgenden Kapiteln der Weg hin zu einer ressourcenschonenden smarten Produktentstehung aufgezeigt wird, lohnt es sich, kurz die dahinterstehenden Begrifflichkeiten zu definieren. Der Prozess der **Produktentstehung** umfasst die drei Teilprozesse Produktentwicklung, Produktionsplanung und Produktion.³ Das bedeutet, dieser Leitfaden umfasst alle unternehmensinternen Prozesse von der Idee für ein neues Produkt, bis zu dem Zeitpunkt, zu welchem das gefertigte Produkt die Firma verlässt. Prozesse, welche sich außerhalb dieser Grenzen befinden, wie zum Beispiel die umweltgerechte Entsorgung oder Wiederverwendung des Produktes, werden somit nur insofern betrachtet, inwieweit diese Aspekte bereits in dem Produktentstehungsprozess festgelegt werden.⁴ Es wird geschätzt, dass 80 Prozent der mit einem Produkt verbundenen Umweltauswirkungen bereits in der Entwicklungs- und Gestaltungsphase festgelegt werden. Obgleich ein Unternehmen im Normalfall also keinen Einfluss darauf hat, was mit dem Produkt passiert, nachdem es die Firma verlassen hat, so bietet dieser Leitfaden dennoch Ansätze dafür, was noch im Unternehmen getan werden kann, um Umweltauswirkungen außerhalb ihres direkten Einflussbereichs zu senken.

Die **Ressourcenschonung** beschreibt den Anspruch, natürliche Ressourcen wie Primärrohstoffe, Energieressourcen, Wasser, Luft, Boden und Ökosystemleistung⁵ in verantwortungsvoller Weise einzusetzen sowie in biologischen und technischen Kreisläufen sinnvoll rückzuführen. Ein schonender Umgang mit natürlichen Ressourcen führt in den meisten Fällen zum Schutz des Klimas und ist somit ein Grundpfeiler

auf dem Weg hin zu einer klimaneutralen Wirtschaft. Erreicht wird dies insbesondere über die drei Paradigmen der ökologischen Nachhaltigkeit:

- **Ökoeffizienz:** Ökoeffizienz hat das Ziel, den Ressourcenverbrauch zur Erreichung eines bestimmten Ergebnisses zu reduzieren.⁶ Dies kann durch eine Verbesserung des Designs oder eine Optimierung des Herstellungsprozesses erreicht werden, wodurch die technische Effizienz gesteigert wird. Alternativ kann die Nutzeneffizienz gesteigert werden, indem statt des traditionellen Produkt- oder Maschinenverkaufs eine Dienstleistung oder ein hybrides Dienstleistungsbündel, wie ein Produkt-Service-System, angeboten wird.⁷
- **Ökoeffektivität:** Ökoeffektivität zielt darauf ab, wirtschaftliche Prozesse als geschlossene Systeme von Stoff- und Energieflüssen zu organisieren.⁸ Dies erfordert die Entwicklung und den Einsatz von Stoffen, Produkten und Technologien, die mit den natürlichen Kreisläufen kompatibel sind. Es wird grundsätzlich zwischen dem biologischen und dem technischen Kreislauf unterschieden.⁹
- **Suffizienz:** Suffizienz beschreibt den ersatzlosen Verzicht und hat daher eine absolute Reduktion des Ressourceneinsatzes zum Ziel. Dieses Paradigma erfordert weniger einen technologischen Fortschritt als einen kulturellen Wandel, insbesondere auf der Seite der Verbraucher.¹⁰

6 Schmidt, Mario. 2008. »Die Bedeutung der Effizienz für Nachhaltigkeit – Chancen und Grenzen.« In Ressourceneffizienz im Kontext der Nachhaltigkeitsdebatte.

7 Schmidt-Bleek, Friedrich. 2000. Das MIPS-Konzept: Weniger Naturverbrauch - mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Vollst. Taschenbuchausgabe, Vol. 77475 of Knauer. München: Droemer Knauer.

8 Huber, Joseph. 1995. »Nachhaltige Entwicklung durch Suffizienz, Effizienz und Konsistenz.« Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive : eine Publikation der Karl-Heinz-Beckurts-Stiftung.

9 Braungart, Michael, and William McDonough, eds. 2008. Die nächste industrielle Revolution: Die Cradle-to-cradle-Community. 2nd ed. Hamburg: Europ. Verl.-Anst.

10 Sommer, Bernd and Harald Welzer. 2014. Transformationsdesign - Wege in eine zukunftsfähige Moderne. M: Oekom-Verlag.

3 Albers, A., Gausemeier, J. (2012). Von der fachdisziplinentorientierten Produktentwicklung zur Vorausschauenden und Systemorientierten Produktentstehung. In: Anderl, R., Eigner, M., Sandler, U., Stark, R. (eds) Smart Engineering. acatech DISKUSSION. Springer, Berlin, Heidelberg. S.19f. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29372-6_3

4 https://www.technologieland-hessen.de/mm/htai_ecodesign_broschuere.pdf S.10; aufgerufen am 30.10.2023

5 VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien

Im Kontext der Produktentstehung bezieht sich »Smartness« auf die Fähigkeit der drei Teilprozesse (Produktentwicklung, Produktionsplanung, Produktion) und der hierfür notwendigen Betriebs- und Hilfsmittel, effektiv, effizient, flexibel und reaktionsfähig zu sein. Dies ist in einem sich ständig wandelnden Markt eine grundsätzliche Voraussetzung, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Befähigt wird dies mittels (digitaler) Technologien zur Erfassung, Verarbeitung und Analyse von Daten, bestenfalls über die gesamte Wertschöpfungskette, um Objekte wie Güter, Maschinen, Menschen miteinander zu vernetzen.

Im weiteren Verlauf des Leitfadens werden Handlungsfelder und dazugehörige Gestaltungsmöglichkeiten beschrieben, welche von produzierenden Unternehmen auf dem Weg hin zu einer ressourcenschonenden smarten Produktentstehung adressiert werden können. Zur besseren Übersicht werden dabei Handlungsfelder, welche sich auf die Produktentwicklung beziehen, grün markiert und Handlungsfelder mit Bezug zu Produktionsplanung und Produktion, blau.

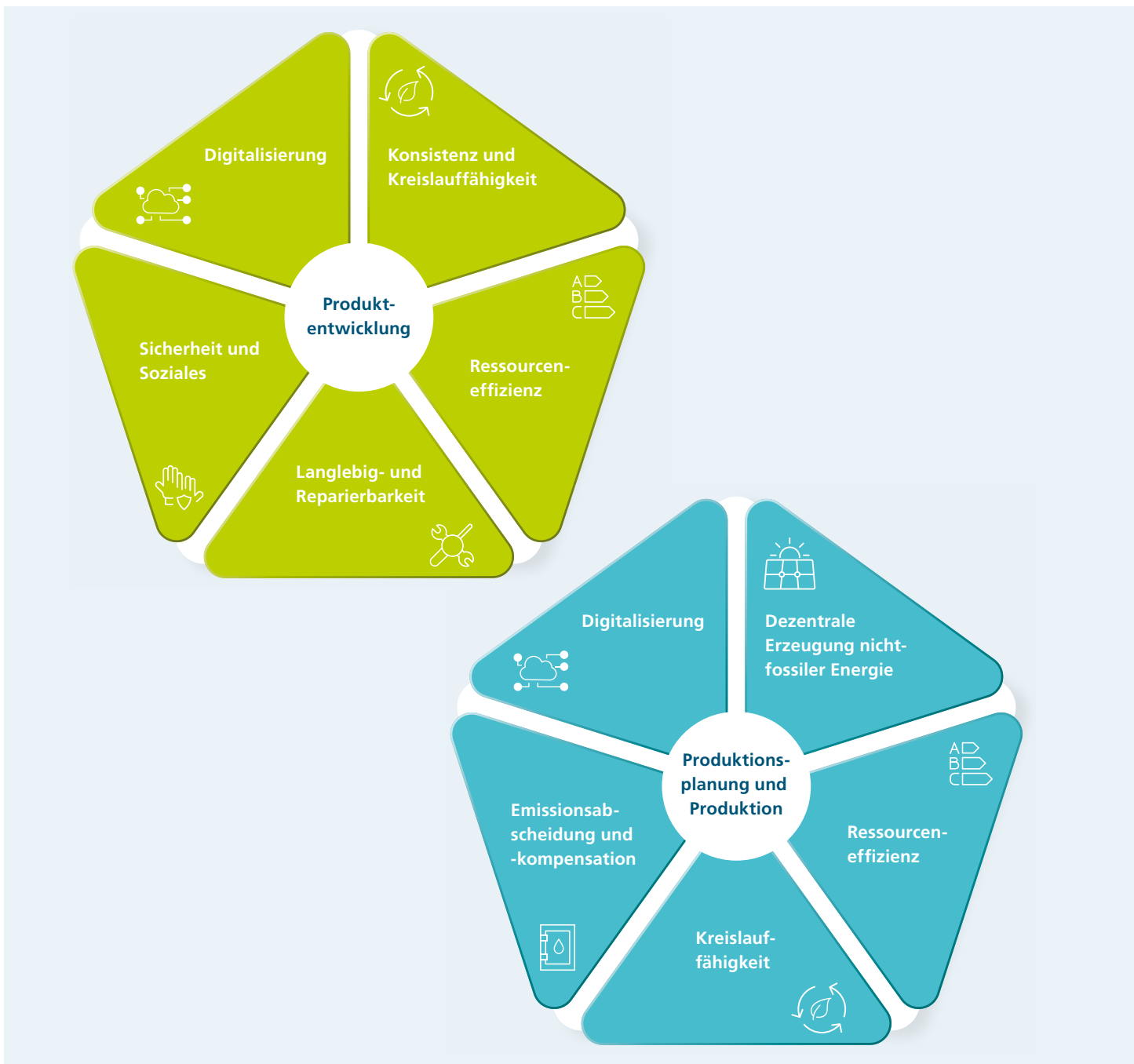


Abbildung 2: Handlungsfelder für eine ressourcenschonende smarte Produktentstehung. Oben (grün) bezogen auf Produktentwicklung, unten (blau) bezogen auf Produktionsplanung und Produktion.

2. Wie designe ich als produzierendes Unternehmen ressourcenschonende Produkte?

2.1 Digitalisierung



Digitalisierung im Kontext nachhaltiger Produkte und Services zielt auf die Schaffung von Transparenz und Erlangung von Kontrolle über den gesamten Produktlebenszyklus ab. Eingesetzt werden dazu Hard- bzw. Softwarelösungen sowie auf Vernetzung basierende Technologien.

Gestaltungsmöglichkeiten

Die Digitalisierung eröffnet mehrere Möglichkeiten, die ökologische Nachhaltigkeit eines Produktes zu verbessern. Ein besonders wichtiges Element besteht dabei in der erhöhten Transparenz, welche dem Unternehmen digital abgespeicherte Informationen liefern. Ein Beispiel dafür ist der Digitale Produktzwilling. Ein **Digitaler Produktzwilling** ist die digitale Repräsentation eines realen Produktes inklusive aller für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten vernetzten Daten und Partialmodelle über den gesamten Lebenszyklus. Dieser kann dafür genutzt werden, um frühzeitig Simulationen am digitalen Modell durchzuführen, welche Rückschlüsse auf das nachhaltigkeitsbezogene Verhalten des realen Produktes zulassen und somit zu Verbesserungen im Design führen können. Ein vollständiger digitaler Produktzwilling ist jedoch nicht immer notwendig. Für die Umsetzung kleinerer Gestaltungsmöglichkeiten reichen bereits Teilaspekte oder Partialmodelle des vollumfänglichen Zwillings aus. Eine abgeschwächte Version dieses Ansatzes findet sich zum Beispiel in der **Virtuellen Absicherung und Freigabe**. Gemeint ist damit eine möglichst frühe Absicherung und Freigabe von Produkten oder Komponenten

mithilfe von Simulationen an einem virtuellen Prototyp in frühen Entwicklungsphasen anstatt an physischen Produkten (Prototypen). Ein weiteres Beispiel einer hilfreichen Simulationstechnik ist die **Virtuelle Energieverbrauchsrechnung**. Energieverbräuche können, wie der Name bereits suggeriert, automatisiert berechnet werden, um Energiesparpotenziale simulativ zu bestimmen und somit eine direkte Senkung des Energiebedarfs während der späteren Produktnutzung zu ermöglichen. Ein weiteres Partialmodell eines Digitalen Produktzwillings kann für eine **Virtuelle Demontagesimulation** genutzt werden. Durch die virtuelle Demontagesimulation lassen sich in den frühen Phasen des Produktlebenszyklus bereits Demontagemöglichkeiten simulieren und somit konkrete Demontagepläne ableiten. Von diesen Informationen können dann Akteure am End-of-Life profitieren.

Der **Digitale Produktpass** ist ein von der EU vorgeschlagenes Konzept, bei dem nachhaltigkeitsbezogene Produktinformationen über den gesamten Lebenszyklus bereitgestellt werden sollen. So können Schwachstellen identifiziert und speziell adressiert werden. Dieses Konzept ist eng verbunden mit dem Ansatz der **Rückverfolgbarkeit**. Rückverfolgbarkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, die Herkunft, den Verlauf und weitere relevante Informationen über Produkte, Rohstoffe und Komponenten digital zu verfolgen. Es ermöglicht, den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über die Lieferkette bis hin zur Nutzung bzw. End-of-Life nachzuvollziehen.

Die **Modellbasierte Berechnung des Product Carbon Footprint (PCF)** ist eine spezifische produktbezogene Anwendung der Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment, kurz LCA). In der Praxis wird die PCF-Berechnung unter Verwendung von Normen wie ISO 14067 und mit Hilfe digitaler LCA-Modelle durchgeführt. Es empfiehlt sich der Einsatz von Softwareprodukten. Eine **LCA-Software** ermöglicht die Berechnung und Analyse der Umweltauswirkungen von Produkten und Unternehmen über den gesamten Lebenszyklus.

In **Cyber-physischen Produktsystemen** sind mechanische Komponenten über Netzwerke und moderne Informationstechnik miteinander verbunden. Sie ermöglichen die Steuerung und die Kontrolle komplexer Produktsysteme und Infrastrukturen. Insbesondere in der Nutzungsphase eines Produktes können so negative Umweltauswirkungen vermieden werden.

2.2 Konsistenz und Kreislauffähigkeit



Generell wird unter Kreislauffähigkeit die Organisation ökonomischer Prozesse als System geschlossener Kreisläufe verstanden. Die Konsistenz fokussiert dabei auf Stoffe, Produkte und Technologie, die verträglich, bzw. konsistent mit natürlichen Kreisläufen sind. Dabei wird auf eine Veränderung der Qualität von Stoff- und Energieströmen abgezielt.

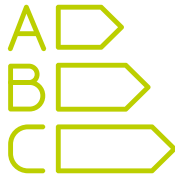
Gestaltungsmöglichkeiten

Die **Substitution energieintensiver Produktkomponenten** zielt auf den Austausch von Komponenten, die bei Gewinnung, Transport oder Nutzung eine hohe Energieintensität aufweisen. Bei der **Substitution umweltschädlicher Materialien** handelt es sich um den Ersatz umweltschädlicher Rohstoffe und Materialien durch bestenfalls nachwachsende Rohstoffe wie Holz, Flachs, Hanf, Wolle, Schilf, Stroh oder biobasierte und bioabbaubare Kunststoffe. **Nachhaltige Verpackungen** sind aus recycelbaren oder nachwachsenden Rohstoffen. Verpackungen sind so herzustellen und zu vertreiben, dass ihre Wiederverwendung oder Verwertung möglich ist, sowie schädliche Umweltauswirkungen aus ihrer Entsorgung beschränkt werden.

Neben diesen recht spezifischen Gestaltungsmöglichkeiten, gibt es auch die grundsätzlichen Ansätze der zehn »R«:

- **Refuse:** Bei dieser Kreislaufführungsstrategie geht es darum, das Produkt überflüssig zu machen, indem seine Funktion aufgegeben wird oder die gleiche Funktion mit einem völlig anderen Produkt angeboten wird.
- **Rethink:** Diese Kreislaufführungsstrategie strebt eine Intensivierung der Produktnutzung (z. B. durch gemeinsame Nutzung von Produkten) an und trägt damit maßgeblich zur Produktnutzungsintensivierung bei.
- **Reduce:** Diese Kreislaufführungsstrategie steigert die Effizienz bei der Produktherstellung und/oder -verwendung durch einen geringeren Verbrauch natürlicher Ressourcen.
- **Reuse:** Diese Kreislaufführungsstrategie handelt von der Wiederverwendung eines ausrangierten Produkts, das noch in gutem Zustand ist und seine ursprüngliche Funktion erfüllt, durch einen anderen Verbraucher.
- **Repair:** Diese Kreislaufführungsstrategie beschreibt Maßnahmen zur Reparatur und Wartung defekter Produkte, damit sie mit ihrer ursprünglichen Funktion verwendet werden können.
- **Refurbish:** Bei dieser Kreislaufführungsstrategie wird ein altes Produkt restauriert und auf den neuesten Stand gebracht.
- **Remanufacture:** Diese Kreislaufführungsstrategie dient der Verwendung von Teilen eines ausrangierten Produkts in einem neuen Produkt mit der gleichen Funktion.
- **Repurpose:** Bei dieser Kreislaufführungsstrategie wird ein ausrangiertes Produkt oder seine Teile in einem neuen Produkt mit einer anderen Funktion verwendet.
- **Recycle:** Diese Kreislaufführungsstrategie meint die Verarbeitung von Materialien, um die gleiche (hochwertige) oder eine niedrigere (minderwertige) Qualität zu erhalten.
- **Recover:** Diese Kreislaufführungsstrategie sollte als letzte Möglichkeit angesehen werden, wenn keine andere Kreislaufführungsstrategie möglich ist und meint die Verbrennung von Materialien mit wenigstens Energierückgewinnung.

2.3 Ressourceneffizienz



Ressourceneffizienz wird als das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Einsatz natürlicher Ressourcen (Primärrohstoffe, Energie, Luft, Wasser, Fläche, Boden, Ökosystemleistung) definiert. Sie zielt auf eine mengenmäßige Verringerung des Ressourceneinsatzes, welcher zur Generierung eines bestimmten Resultats erforderlich ist, ab.

Gestaltungsmöglichkeiten

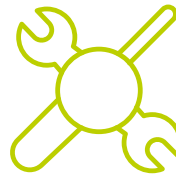
Produkt-Service-Systeme (PSS) streben den Verkauf von Nutzen, Ergebnissen bzw. Lösungen anstelle von rein materiellen Produkten an, um den Ressourceneinsatz vom Nutzen zu entkoppeln (Dematerialisierung). Dadurch entstehen enorme Anreize auf Seiten des Anbieters für eine umweltgerechtere Produktgestaltung. Diese kann auf verschiedene Weise technisch angegangen werden:

Miniaturisierung meint den konstruktiven bzw. gestalterischen Prozess zur Verkleinerung von Strukturen bzw. Bauteilen innerhalb eines Produkts unter Beibehaltung der Funktionen sowie ggf. der Form. Eng damit verwandt ist der Ansatz der **Leichtbauweise**. Diese stellt eine Konstruktionsmethode zur Verminderung des Werkstoffeinsatzes bei gleichbleibendem Werkstoff, den Einsatz leichterer Werkstoffe oder Veränderungen der Produktstruktur dar, ohne dabei Stabilität, Festigkeit oder Funktionalität einzubüßen. Ein numerisches, computerbasiertes Verfahren, durch welches eine Grundgestalt (Topologie) mit minimalem Materialeinsatz für Bauteile unter mechanischer Belastung berechnet werden kann, ist die **Topologieoptimierung**. Das innovative an diesem Ansatz besteht in der gleichmäßigen Ausnutzung der Struktur, was einer **beanspruchungsgerechten Konstruktion** von Produkten entspricht. Dadurch werden eindeutige Schwachstellen vermieden, welche zu einem vorzeitigen Versagen des Produktes führen würden. **Nutzungsdauerverlängerung** bezieht sich auf Bemühungen und Strategien, mit dem Ziel, die Zeitspanne zu erhöhen, während der ein Produkt funktionsfähig, nützlich und relevant bleibt. Dies wird neben den zuvor genannten konstruktiven Ansätzen auch durch Wartung, Reparaturen sowie Upgrades

erreicht. Es gibt somit in diesem Gestaltungsfeld auch Überschneidungen mit den in 2.4 erwähnten Ansätzen zur Gestaltung reparierbarer Produkte.

Produktnutzungsintensivierung beschreibt den Ansatz, ein Produkt häufiger, umfassender oder auf vielfältigere Weise zu verwenden. Dies kann durch Optimierung der Nutzungsmöglichkeiten, Erweiterung der Anwendungsbereiche oder Erhöhung der Auslastung erfolgen.

2.4 Langlebig- und Reparierbarkeit



Langlebig- und Reparierbarkeit von Produkten beziehen sich auf deren Fähigkeit, über einen langen Zeitraum hinweg zu funktionieren und im Bedarfsfall leicht repariert werden zu können. Dies fördert Nachhaltigkeit, reduziert Abfall und verlängert die technische Lebensdauer von Produkten.

Gestaltungsmöglichkeiten

Das Konstruktionsprinzip **Dauerhaftigkeitskonstruktion** strebt eine Vermeidung sowie Reduktion von Verschleiß und Korrosion an und dient der Erhöhung der Funktionszuverlässigkeit durch funktionelle und strukturelle Maßnahmen. Dieses Prinzip kann ggf. den Zielen einer Leichtbauweise (Kap. 2.3) entgegenwirken.

Das Gestaltungsprinzip **Modulares Produktdesign** bezieht sich auf die Entwicklung von Produkten in modularen Komponenten, welche unabhängig voneinander ausgetauscht oder repariert werden können, ohne dabei das gesamte System ersetzen zu müssen. Die **Funktionserweiterung** meint das Hinzufügen neuer Funktionen zu bestehenden Produktsystemen. Es sollten Möglichkeiten existieren, bestimmte Komponenten zu aktualisieren, um die Leistungsfähigkeit zu steigern, ohne das gesamte Produkt ersetzen zu müssen.

Optimierte Bauteilzugänglichkeit meint die Gestaltung von Produkten in der Art, dass Bauteile leicht zugänglich sind, ohne dass spezielle Werkzeuge oder komplizierte Demontageverfahren erforderlich sind. Die mit diesem Prinzip eng verwandte **reparaturfreundliche Verbindungstechnik** meint eine Vermeidung von Verbindungstechnologien wie Klebstoffe, welche die Demontage erschweren können. Stattdessen sollten verschraubte oder gesteckte Verbindungen zum Einsatz kommen.

Das **Ersatzteilmanagement** bezieht sich auf die Planung, Organisation und Steuerung von Ersatzteilen oder Komponenten, die benötigt werden, um Produkte zu reparieren oder instand zu halten.

Unter **Anpassungskonstruktion** wird die Änderung bereits bestehender Konstruktionen zur Beseitigung von Mängeln, zur Berücksichtigung neuer Sicherheits- und Umweltbestimmungen oder zur Anpassung an andere Randbedingungen verstanden.

Bei der **Kennzeichnung und Dokumentation** im Kontext der Langlebig- und Reparierbarkeit geht es um klare Kennzeichnungen, Anleitungen mittels teils digitaler Lösungen, um BenutzerInnen und Reparaturdiensten bei der Identifizierung von Komponenten sowie der Reparaturdurchführung zu helfen.

Maßnahmen zum Tracking und mittel- bis langfristigem Ersatz kritischer Rohstoffe, welche mit einem hohen Versorgungsrisiko einhergehen, durch bestenfalls lokale Alternativen.

Produktsicherheit bezieht sich auf Maßnahmen und Standards, die in der Entwicklung, Herstellung und Vermarktung von Produkten angewendet werden, um sicherzustellen, dass sie für Verbraucher keine unmittelbaren Gesundheits- oder Sicherheitsrisiken darstellen. Eine besondere Form davon besteht in der **Problem- und Schadstoffarmut**. Bei Produkten sollten keine Stoffe eingesetzt werden, die die menschliche Gesundheit oder die Umwelt schädigen können. Sofern sich dies nicht vermeiden lässt, sind diese so zu handhaben und im Produkt zu integrieren, dass Mensch und Umwelt mit ihnen nicht in Kontakt kommen (keine Freisetzung/Exposition).

Barrierefreiheit bezieht sich auf die Gestaltung von Produkten und Services in einer Weise, die Menschen mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Bedürfnissen die gleiche Nutzung ermöglicht, ohne auf Barrieren zu stoßen. Dazu zählen v.a. Prinzipien für Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit. Die Barrierefreiheit ist besonders wichtig, um Inklusion und Chancengleichheit zu fördern.

Transparenz und Kommunikation über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts sind wesentliche Prinzipien in der Produktentwicklung und -vermarktung. Dies bedeutet, dass Unternehmen offen und ehrlich Informationen über verschiedene Phasen des Produktlebenszyklus bereitstellen, um Bewusstsein und Vertrauen zu stärken. Produkte sollten auf **fairen Arbeitsbedingungen** über die gesamte Lieferkette hinweg, was beinhaltet, dass Menschen, die an der Rohstoffgewinnung über die Herstellung bis hin zur Entsorgung beteiligt sind, angemessen entlohnt und geschützt werden. Dies beinhaltet ebenso die Einhaltung von Menschenrechten sowie die Förderung von Gleichberechtigung.

2.5 Sicherheit und Soziales



Sicherheit und Soziales in Bezug auf nachhaltige Produkte und Services adressiert die Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten und sozialer Verantwortung des Unternehmens während des gesamten Produktlebenszyklus.

Gestaltungsmöglichkeiten

Bei **Frugalen Innovationen** handelt es sich um Produkte oder Services, die maßgeschneidert für eine spezifische, preissensitive Kundengruppe und damit suffizient entwickelt werden können. **Substitution kritischer Rohstoffe** beschreibt

3. Wie stelle ich als produzierendes Unternehmen ressourcenschonende Produkte her?

3.1 Digitalisierung



Digitalisierung im Kontext nachhaltiger Produktion zielt auf die Schaffung von Transparenz und Erlangung von Kontrolle über die Wertschöpfungskette durch auf Hard- bzw. Software- sowie auf Vernetzung basierende Technologien ab.

Gestaltungsmöglichkeiten

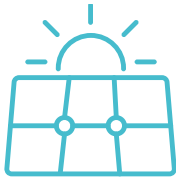
Messgeräte und Sensorik an Maschinen und Anlagen sind entscheidend für eine nachhaltige Produktion, da sie präzise Daten erfassen und ggf. verarbeiten können, um Ressourceneffizienz zu erhöhen, Emissionen zu reduzieren und die Qualität in Produktionsprozessen sicherzustellen. Eine **IIoT-Architektur und -Infrastruktur** ist ein Rahmenwerk von miteinander verbundenen Sensoren, Instrumenten und anderen Geräten, die mit Computern für industrielle Anwendungen, einschließlich Fertigung, vernetzt sind. Funktionalitäten können z. B. in »Edge devices«, in klassischen IT-Systemen oder in der Cloud ausgeführt werden und damit nachhaltigkeitsbezogene Daten erfassen, verarbeiten und analysieren. **Künstliche Intelligenz** kann eine entscheidende Rolle bei der Implementierung nachhaltiger Produktionsverfahren spielen. Sie nutzt fortschrittliche Algorithmen und Datenanalyse, um Prozesse zu optimieren (z. B. Überwachung von Anlagen in Echtzeit für effizientere Betriebsabläufe, Vorhersage von Wartungsbedarf, Feinabstimmung von Energieverbrauch und Ressourcennutzung). Ein **Digitaler Produktionszwilling** ist die digitale Repräsentation einer realen Produktion inklusive aller für den jeweiligen Anwendungsfall relevanten vernetzten Daten und Partialmodellen. Ähnlich wie der Digitale Produktzwilling können mit

dem Digitalen Zwilling einer Produktionsumgebung verschiedene Anwendungsszenarien abgebildet werden, wie die zuvor erwähnten Fälle der **Virtuellen Absicherung und Freigabe**, **Virtuellen Energieverbrauchsberechnung**, oder **Virtuellen Demontagesimulation**. Dieses Mal mit einem Fokus auf der Verbesserung der Fertigungsprozesse anstelle des Produktes selbst. In der Praxis geschehen Produkt- und Produktionsoptimierung für gewöhnlich parallel, da der Aufbau und die iterative Verbesserung der digitalen Modelle von Produkt und Produktionsumgebung intrinsisch miteinander verknüpft sind.

Der **Digitale Produktpass** ist ein von der EU vorgeschlagenes Konzept, bei dem nachhaltigkeitsbezogene Produktinformationen über den gesamten Lebenszyklus bereitgestellt werden sollen. Für die Produktion gilt es daher produktionsbezogene Daten zu aggregieren und digital bereitzustellen. Das Sammeln und digitale Bereitstellen dieser Informationen kann auch für verschiedene andere Ansätze zur Schaffung von Transparenz genutzt werden: Die Berechnung des **Corporate Carbon Footprint** (CCF) dient der Bilanzierung von Emissionen aus Scope 1 (direkte Emissionen im Betrieb) und 2 (indirekte Emissionen durch Bezug) sowie ggf. Scope 3 für eine vollumfängliche Bilanzierung. In der Praxis wird die CCF-Berechnung unter Verwendung von Normen wie ISO 14064 durchgeführt. Eine **LCA-Software** (engl. Life Cycle Assessment, dt. Lebenszyklusanalyse) ermöglicht die Berechnung und Analyse der Umweltauswirkungen von Produkten und Unternehmen über den gesamten Lebenszyklus. Energieverbräuche können automatisiert berechnet werden, um Energiesparpotenziale simulativ zu bestimmen und somit eine direkte Senkung des Energiebedarfs während des späteren Maschinenbetriebs zu ermöglichen.

Die Schaffung von Transparenz muss jedoch stets mit dem Bedürfnis nach **Cybersicherheit** in Einklang gebracht werden. Dabei handelt es sich um den Schutz von Geräten, Daten, Systemen, Netzwerken und Programmen vor digitalen Angriffen. Cyberangriffe sind i. d. R. auf den Zugriff, die Änderung oder die Zerstörung vertraulicher Informationen oder das Stören der normalen Geschäftsabläufe ausgerichtet.

3.2 Dezentrale Erzeugung nicht-fossiler Energie



Die dezentrale Energieerzeugung meint eine verbrauchernahe Erzeugung elektrischer und thermischer Energie, wobei die Energieerzeugungsanlagen nur auf Deckung des Energiebedarfs der naheliegenden Verbraucher ausgelegt sind. Zur Erreichung von Klimaneutralität müssen dabei nicht-fossile Energieträger eingesetzt werden.

Gestaltungsmöglichkeiten

Photovoltaik (PV)-Anlagen bestehen aus ein oder mehreren Modulen, die wiederum aus mehreren PV-Zellen aufgebaut sind, um Licht in elektrische Energie zu wandeln. Silizium-Solarzellen sind die gängigsten Vertreter auf Dächern. Alternativ zu klassischen PV-Modulen werden immer häufiger glasfreie, rahmenlose, flexible und zu klebende Module genutzt.

Als **kleine Windkraftanlage** (WKA) werden Anlagen mit einer Höhe bis 50 Meter definiert. Bis 10 Meter ist der Bau von WKA in BaWü genehmigungsfrei. Generell sind Windkraftanlagen nur an sehr windigen Standorten wirtschaftlich. WKA liefern erst ab etwa 15 Meter Höhe substantielle Stromerträge, darunter ist ein wirtschaftlicher Betrieb eher die Ausnahme.

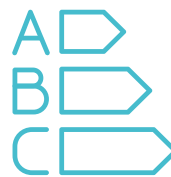
In einem **Blockheizkraftwerk** (BHKW) wird durch die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt und so der Gesamtwirkungsgrad erhöht. BHKW werden aktuell v.a. mit Erdgas, Biogas oder Diesel betrieben. Um Klimaneutralität zu erreichen ist der Betrieb mit synthetischen Kraftstoffen (z. B. grüner Wasserstoff) bzw. Biogas sinnvoll.

Eine **Brennstoffzelle** erzeugt als galvanische Zelle elektrische Energie direkt aus chemischer Energie – ähnlich wie Batterien. Brennstoffzellen finden Anwendungen über einen weiten Leistungsbereich von 1 Watt (Camping, Drohnen, Spielzeug) bis mehrere Megawatt (z. B. stationäre Kraft-Wärme-Kopplung für Stromversorgung der Produktion).

Wasserstoff als Brennstoff in der Industrie ermöglicht eine saubere Energieversorgung und reduziert Emissionen. Grüner Wasserstoff wird mithilfe erneuerbarer Energiequellen hergestellt. Grauer Wasserstoff wird aus Erdgas durch Dampfreformierung gewonnen und erzeugt dabei CO₂-Emissionen, was seine Umweltauswirkungen erhöht. Typische Anwendungen sind Wasserstoff-Heizkessel oder -Brenner.

Der **Elektrolyseur** nutzt das elektrolytische Verfahren zur Wasserstofferzeugung, indem in der Elektrolysezelle durch Anlegen einer elektr. Spannung – bestenfalls mit eigenem Überstrom – Wasser in seine Bestandteile zerlegt wird. Der produzierte Wasserstoff bietet vielfältige Möglichkeiten der Substitution fossiler Energieträger, wie z. B. Erdgas für Prozesswärme, weist jedoch noch sehr hohe Investitions- und Betriebskosten auf.

3.3 Ressourceneffizienz



Ressourceneffizienz wird als das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Einsatz natürlicher Ressourcen (Primärrohstoffe, Energie, Luft, Wasser, Fläche, Boden, Ökosystemleistung) definiert. Sie zielt auf eine mengenmäßige Verringerung des Ressourceneinsatzes, welcher zur Generierung eines bestimmten Resultats erforderlich ist, ab.

Gestaltungsmöglichkeiten

Intelligente Energiespeichersysteme sind Systeme zur Erfassung und Speicherung von Energie in verschiedenen Formen zur späteren Verwendung. Dies führt zu einer Entkopplung zwischen Energieerzeugung und -verbrauch, wodurch neben Effizienzsteigerung auch Angebot und Nachfrage ausgeglichen, sowie erneuerbare Energiequellen integriert werden können.

Bei einer »wetterorientierten« **Fertigungssteuerung** orientiert sich die Fertigungssteuerung für das herzustellende Produkt an der Verfügbarkeit dezentral erzeugter (elektrischer) Energien am Produktionsstandort. So können beispielsweise bei Spitzenlast (z. B. einem windigen Tag bei Stromerzeugung aus Windkraft, oder zur Mittagszeit an einem sonnigen Tag bei Stromerzeugung aus Solarenergie) energieintensive Prozessschritte durchgeführt werden – natürlich immer mit der Auftragslage als Hauptkriterium.

Unter **additiver Fertigung** werden alle Fertigungsverfahren zusammengefasst, bei denen das Material Schicht für Schicht aufgetragen wird. Dabei geht es darum, dreidimensionale Prototypen, Werkzeuge, Endprodukte oder Ersatzteile mit möglichst wenig Material bei gleichzeitiger Erfüllung aller Anforderungen herzustellen.

Die **vorausschauende Instandhaltung** ist eine proaktive Instandhaltungsstrategie mit dem Ziel, die Restnutzungsdauer von Maschinen und Anlagen zu berechnen, um den exakten Instandhaltungszeitpunkt zu bestimmen und entsprechende Instandhaltungsmaßnahmen zu planen. Durch die Reduzierung von Verschwendung sowie Vermeidung plötzlicher Ausfälle können enorme Materialeinsparungspotenziale erzielt werden.

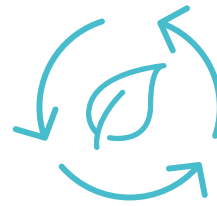
Die **Leckageerkennung** wird zum Auffinden verdeckter Leckstellen, etwa an Rohrnetzinstallationen wie z. B. für Druckluft, durchgeführt. Verschiedene Mess- und Ortungstechniken mit innovativen Lösungen dienen der Erfassung der Leckstellenposition.

Maschinen- und Anlagenmodernisierung: Ältere und technisch veraltete Maschinen werden in diesem Sinne nicht entsorgt und ersetzt, sondern auf den neusten Stand gebracht, sodass sie weiter und insbesondere ressourceneffizienter arbeiten können.

Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung in der Industrie sind Prozesse, bei denen die bei industriellen Prozessen erzeugte Wärmeenergie, die normalerweise als Abwärme verschwendet wird, erfasst und wiederverwendet wird. Unterschiedliche Technologien wie z. B. Wärmetauscher, Dampferzeuger, thermische Speichersysteme kommen zum Einsatz.

Hochtemperaturwärmepumpen nutzen das Prinzip der Wärmepumpe, um Wärme von einer niedrigeren Temperaturquelle auf eine höhere Temperatur zu übertragen.

3.4 Kreislauffähigkeit



Die kreislauffähige Produktion ist ein Produktionsansatz, der darauf abzielt, Produktionsprozesse nach den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft zu gestalten. Es geht darum, zirkuläres Denken auf die Produktion zu adaptieren, um Ressourcen effektiver zu nutzen und Materialien in geschlossenen Kreisläufen zu halten. Dieser Ansatz steht im Gegensatz zur linearen Produktionsweise.

Gestaltungsmöglichkeiten

Das **Remanufacturing** (dt. Wiederaufbereitung) ist ein nach DIN SPEC91472:2023-06 standardisierter Prozess bei dem aus aufgearbeiteten Bestandteilen eines oder mehrerer gebrauchter Produkte sowie teilweise Neukomponenten ein wiederaufgearbeitetes Produkt mit mindestens der Funktionalität und Leistungsfähigkeit des ursprünglichen Produktes erzeugt wird.

Internes Abfallmanagement meint die Implementierung von Abfallrecyclingstrategien in der Produktion, um Abfallströme zu minimieren und wertvolle Ressourcen zurückzugewinnen. Dabei können recycelte Materialien unterschiedlicher Qualität (Monofractionen, gemischte Abfälle, »Gelber Sack«) wiederverwertet werden.

Kreislauffähige Produktionsanlagen und -ausrüstung beziehen sich auf Maschinen und Anlagen, die in der Lage sind, recycelbare Produkte herzustellen. Sie sind darauf ausgelegt, Rohstoffe aus wiederverwertbaren Materialien zu verarbeiten und hochwertige Produkte zu erzeugen, die später leicht dem Recycling zugeführt werden können.

Qualitätskontrolle und -sicherung in der Produktion beziehen sich auf Prozesse und Maßnahmen, die sicherstellen, dass hergestellte Produkte höchsten Qualitätsstandards entsprechen und dabei Ressourcen effektiv und effizient nutzen. Durch die Minimierung von Ausschuss und Rückrufen tragen sie zur Verringerung von Verschwendung bei und fördern Langlebigkeit sowie Reparierbarkeit.

Im Mittelpunkt der **EnCAM** (Enzyme assisted Circular additive manufacturing) und **MyCAM** (Mycelium based Circular additive manufacturing) **Prozesse** steht die Nutzung biologischer

Rest- und Abfallstoffe, die für die additive Fertigung aufbereitet und genutzt werden. MyCAM Prozess nutzt Pilzmyzel, beim EnCAM Prozess handelt es sich um eine Technologie, die auf der Verknüpfung biogener Rest- und Abfallstoffe basiert.

3.5 Emissionsabscheidung und -kompensation



Die Emissionsabscheidung zielt darauf ab, CO₂-Emissionen bereits am Entstehungsort aufzufangen sowie anschließend unterirdisch zu speichern, anderweitig zu nutzen oder umzuwandeln. Die Kompensation im eigentlichen Sinne meint sowohl die Einleitung eigeninitiiertener Aktionen wie Baumpflanzung als auch die Bezahlung externer Organisationen (z. B. Zertifikate).

Gestaltungsmöglichkeiten

Membranverfahren und Gaswäsche sind beides Technologien zur Trennung bzw. Entfernung von CO₂ aus Gasgemischen. Beim Membranverfahren kommen selektive Membrane zum Einsatz, während bei der Gaswäsche das CO₂ durch Kontakt mit Flüssigkeiten entfernt wird. Sie sind nicht für die Erfassung von Gasen aus der Umgebungsluft oder für die CO₂-Abscheidung aus der Atmosphäre geeignet.

Carbon Capture and Storage (CCS) bezeichnet die Abscheidung, den Transport zu Lagerstätten sowie unterirdische Speicherung. CCS kann zur weitgehenden Vermeidung industrieller Prozessemissionen oder zur CO₂-Entnahme durch Speicherung von CO₂ aus biogenen Quellen (z. B. Bioenergie plus CCS, BECCS) eingesetzt werden. CCS-Methoden sind bisher nicht in die deutsche oder europäische Klimapolitik integriert. Als **Carbon Capture and Utilization (CCU)** werden die Abscheidung, der Transport sowie anschließende Nutzung von CO₂ bezeichnet. Im Gegensatz zu CCS wird CO₂ hier nicht in geologischen Formationen gespeichert, sondern in Produkten verwertet. **BECCS (Bioenergy with Carbon Capture and Storage/ Utilization)** ist eine Technologiekombination,

die Biomasse zur Energieerzeugung nutzt und CO₂ aus der Atmosphäre abscheidet und speichert/nutzt. Bei HyBECCS wird mit diesem Verfahren Wasserstoff erzeugt. Allgemein können die Technologien in thermochemische und biologische Verfahren aufgeteilt werden. Global betrachtet sind Verfahren der Carbon Capture aus thermodynamischer Sicht weniger sinnvoll, solange noch fossile Rohstoffe gefördert und zur Energieerzeugung verwendet werden, da deutlich mehr Energie verwendet wird, um CO₂ aus der Atmosphäre zu entfernen, als durch das Verbrennen des fossilen Brennstoffs gewonnen wurde.

Eigene Kompensationsmaßnahmen sind von Unternehmen initiierte Projekte zur Ausgleicheung ihres CO₂-Ausstoßes und anderer Umweltauswirkungen. Dies kann beispielsweise durch unternehmenseigene Baumpflanzaktionen erfolgen.

Die Kompensation durch **Bezahlung Externer** bezieht sich auf die Praxis, bei der Unternehmen ihre CO₂-Emissionen ausgleichen, indem sie finanzielle Mittel an externe Organisationen oder Projekte zahlen, die sich für den Klimaschutz einsetzen. Dies kann z. B. durch den Kauf von Emissionsgutschriften, Zertifikaten oder die Unterstützung von erneuerbaren Energieprojekten erfolgen.

4. Welche Schritte sollte ich als produzierendes Unternehmen einleiten?

In den vorangegangenen Kapiteln wurde definiert, was eine ressourcenschonende smarte Produktentstehung auszeichnet. Es wurde ein Überblick aufgezeigt, welche Handlungsfelder zum Erreichen einer solchen Produktentstehung bestehen; zunächst mit Fokus auf das Produkt und anschließend mit Fokus auf Produktion.

Dies sollte es einem Unternehmensvertreter erlauben eine Übersicht darüber zu gewinnen, welche Gestaltungsmöglichkeiten bestehen, um dieses Ziel zu erreichen.

In diesem Kapitel wird ein generisches Vorgehen beschrieben, wie man von dieser universellen Übersicht auf eine individuell angepasste Lösung kommen kann. Dies beinhaltet vor allem die Priorisierung relevanter Handlungsfelder und darin enthaltene Gestaltungsmöglichkeiten und die darauffolgende Vertiefung priorisierter Handlungsfelder.

4.1 Unternehmensindividuelle Priorisierung der Gestaltungsmöglichkeiten

Nicht jedes der genannten Handlungsfelder und jede der darin enthaltenen Maßnahmen sind gleich wichtig. Einige der Gestaltungsmöglichkeiten bieten intrinsisch höhere Auswirkungen als andere. Manche lassen sich auf den vorliegenden Fall gar nicht anwenden. Viel hängt auch von der individuellen Situation des jeweiligen Unternehmens ab: Wie weit die beschriebenen Gestaltungsmöglichkeiten oder die dafür notwendigen Voraussetzungen bereits umgesetzt wurden, welche Ressourcen für die Planung, Durchführung und Aufrechterhaltung weiterer Maßnahmen zur Verfügung stehen und wie diese Maßnahmen in die weitere Unternehmensstrategie einzahlen. Für jede potenzielle Maßnahme gilt es daher, Aufwand und Nutzen abzuschätzen und die zur Verfügung stehenden Ressourcen auf die vielversprechendsten Ansätze zu fokussieren.

Um dies möglichst effizient zu bewerkstelligen, lohnt es sich, zunächst eine Vorauswahl in Frage kommender Maßnahmen zu treffen. Dies kann auf unbürokratische Weise in einem relativ kleinen Kreis, bestehend aus Geschäftsleitung und ggf. Zuständigen für Nachhaltigkeit stattfinden. Hierbei geht es zunächst nur darum, die Handlungsfelder grob zu priorisieren und eine Reihe der 70 zuvor genannten Maßnahmen, welche für das Unternehmen überhaupt nicht in Frage kommen, zu streichen. Dadurch werden die darauffolgenden Schritte gestrafft und unnötige Diskussionen vermieden.

4.2 Selbsteinschätzung hinsichtlich des Handlungsbedarfs und der Machbarkeit

Der nächste Schritt kann beispielsweise in Form eines Workshops abgehalten werden, im Verlaufe dessen die Perspektiven verschiedener Stakeholder eingeholt werden können. Dieser sollte auf einer möglichst breiten Basis abgehalten werden. Für die gesamtbetriebliche Strategie ist die Perspektive der Geschäftsleitung unverzichtbar. Diese kann durch Verantwortliche für Nachhaltigkeit unterstützt werden, falls eine solche Stelle existiert. Sofern vorhanden, ist die Teilnahme eines Verantwortlichen für Digitalisierung von großer Hilfe, da viele der in Frage kommenden Maßnahmen ineinandergreifen und eine übergeordnete Digitalisierungsstrategie erfordern. Vertreter aus Produktentwicklung, Produktionsplanung, Produktion und IT können am besten den Status Quo, sowie die Umsetzbarkeit potenzieller Maßnahmen in ihren jeweiligen Bereichen einschätzen. Durch Vertreter aus Marketing und Vertrieb kann die Perspektive des Kunden eingebracht werden, was eine Erforschung zusätzlichen Nutzens ermöglicht, welcher über die reine Erfüllung ökologischer Ziele hinausgeht.

Die Perspektiven der verschiedenen Workshopteilnehmer werden für die ausgewählten Gestaltungsmöglichkeiten konkretisiert. Dies beinhaltet zum einen eine Dokumentation der Ausgangslage und laufender Initiativen, auf welchen aufgebaut werden können. Zum anderen beinhaltet dies eine Festlegung der Veränderungsziele, Potenziale und eine erste Abschätzung der zur Zielerreichung nötigen Projekte. Je nach Anzahl der ausgewählten Gestaltungsmöglichkeiten kann dieser Abschnitt nach ganzen Handlungsfeldern (Clustern von Gestaltungsmöglichkeiten, welche miteinander zusammenhängen) untergliedert werden. Eine gründliche Dokumentation des IST-Zustandes und relevanter Initiativen ist wichtig, um eine solide Basis für die weitere Entwicklung zu schaffen, aber auch, um Konflikte und Doppelarbeit im weiteren Verlauf zu vermeiden. Zudem können spezifische Mitarbeiter identifiziert werden, welche sich bereits mit den entsprechenden Themen beschäftigt haben und für die Umsetzung weiterführender Maßnahmen geeignet sind. Ergebnisse aus kürzlich abgeschlossenen oder laufenden Initiativen sollten wenn möglich nahtlos in die Planung und Durchführung neuer Initiativen einfließen, um den Mitarbeitern ein Gefühl der Kontinuität zu vermitteln.

4.3 Ableitung und Bewertung von Zukunftsinitiativen

Basierend auf einem gemeinsamen Verständnis der potenziellen Maßnahmen, sowie den Vorgaben der Geschäftsleitung bezüglich unternehmensweiter Nachhaltigkeitsziele, können im nächsten Schritt allgemeine abteilungsübergreifendes Veränderungsziele für jedes priorisierte Handlungsfeld festgelegt werden. Die betroffenen Abteilungen können dabei die vorhandenen Potenziale, sowie den Umfang und die Tragweite der notwendigen Veränderungen am besten einschätzen. Auf dieser Grundlage können erste Projektskizzen definiert werden, welche für die Zielerreichung notwendig sind. Diese sollten zu diesem Zeitpunkt noch auf einem groben Detailgrad befinden. Dennoch ist es hilfreich, bereits in diesem Stadium zeitliche und inhaltliche Abhängigkeiten dieser Initiativen zu beachten – zum Beispiel, wenn die Umsetzung einer Maßnahme die Voraussetzung für den Start einer anderen ist. In jedem Fall ist es auch zielführend, eine Einordnung der Zukunftsprojekte nach Risiko, Nutzen und relativem Aufwand durchzuführen – zum Beispiel in Form einer Portfolio-Analyse. Hier kann eine grobe Einschätzung (niedrig, mittel, hoch) von Nutzen bei Umsetzung der Maßnahme, Risiko bei Nicht-Umsetzung, sowie der vermutete Aufwand gegenübergestellt werden.

Ergebnis des/der Workshops sollte ein **einheitliches, abteilungsübergreifendes Verständnis** über den **derzeitigen Zustand** des Unternehmens, die **angestrebten Ziele** und der dafür **in Frage kommenden Maßnahmen** sein. Zudem sollten die Vertreter der einzelnen Abteilungen über die Definition der Projektskizzen einen groben Überblick über die **kommenden Herausforderungen** erhalten, welche sie speziell betreffen. Die weitere Ausarbeitung der Projektskizzen sowie die detaillierte Einschätzung der notwendigen Ressourcen erfordert eine tiefere Auseinandersetzung mit der jeweiligen Materie und gegebenenfalls die Expertise externer Parteien.

5. Den Weg aktiv gestalten

Der Weg hin zu einer ressourcenschonenderen Produktentstehung kann aufgrund der Komplexität und Vielzahl involvierter Disziplinen sehr überwältigend sein. Dennoch ist sie zur Bewerkstelligung unserer gesellschaftlichen Herausforderungen unerlässlich. Selbst kleine und mittelständische Unternehmen, welchen neben der Bewältigung des Tagesgeschäfts die Ressourcen für eine eingehendere Betrachtung dieses Themenfelds fehlen, werden in absehbarer Zukunft aufgrund staatlicher Vorgaben gezwungen sein, ihre Umweltauswirkungen drastisch zu senken.

Dieser Leitfaden erleichtert den Einstieg ungemein. Mit Hilfe der vorgestellten Handlungsfelder können Sie sich einen Überblick schaffen, welche Optionen Ihnen für eine ressourcenschonendere Produktentstehung offenstehen. Sowohl für die Produkte Ihres Unternehmens als auch für Aspekte der

Produktion werden Gestaltungsmöglichkeiten zum Erreichen Ihrer selbst definierten Ziele vorgestellt. Das pragmatische Vorgehensmodell für die Priorisierung, Auswahl und Vertiefung dieser Gestaltungsmaßnahmen zielt darauf ab die wichtigen Akteure in Ihrem Unternehmen von Beginn an einzubinden. Es empfiehlt sich, im Rahmen von Arbeitstreffen die zur Zielerreichung notwendigen Aktivitäten zu bündeln und die richtigen Beteiligten im Unternehmen zu mobilisieren. So kann ein unternehmensspezifischer Plan abgeleitet und ein Commitment hergestellt werden, um die Strategie effektiv und effizient zu erreichen. Hierbei unterstützen wir Sie sehr gerne mit unserer Expertise und unseren Erfahrungen aus einer Vielzahl an Projekten rund um die Themengebiete Nachhaltigkeit und Digitalisierung.



6. Autoren

Andreas Werner, M.Sc., geboren 1994, studierte Technologiemanagement und Maschinenbau an der Universität Stuttgart. Er war von 2019 bis 2022 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement IAT der Universität Stuttgart. Danach wechselte er an das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. Schwerpunkt seiner aktuellen Forschungsarbeit ist die Vernetzung von Entwicklung und Produktion mit dem Ziel, Produkte und Unternehmensprozesse nachhaltiger zu gestalten.



Adrian Barwasser, M.Sc., geboren 1991, hat an der Universität Darmstadt Maschinenbau studiert. Seit Januar 2018 arbeitet er im Team für Digital Engineering Fraunhofer IAO, wo er sowohl an öffentlich geförderten als auch an industriellen Projekten beteiligt ist. Sein Schwerpunkt liegt auf der Optimierung von Engineering- und Produktionsprozessen mit digitalen Werkzeugen und innovativen Methoden.



Matthias Werner, Dipl.-Ing. (FH), geboren 1966, absolvierte zunächst eine Ausbildung zum Industriemechaniker, bevor er ein Studium der Feinwerktechnik an der Hochschule Furtwangen (HFU) absolvierte. Seine berufliche Laufbahn führte ihn durch verschiedene Positionen im Projektmanagement und in der Unternehmensleitung, hauptsächlich in Maschinenbauunternehmen. Seit 2010 ist er stolzer Eigentümer und Geschäftsführer der Haller-Jauch GmbH.



Dipl.-Ing. **Nikolas Zimmermann**, geboren 1983, studierte Maschinenbau am KIT und ist seit 2011 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IAO, er leitet das Team Digital Engineering. Seine Forschung befasst sich hauptsächlich mit Prozessoptimierung, Produktionsplanung, Additive Manufacturing und IT-basierter Engineering-Unterstützung. Außerdem verantwortet er das Digital Engineering Lab, ein Demonstrationszentrum für Forschungsaktivitäten in Stuttgart. Er ist zudem als Reviewer mehrerer internationaler Konferenzen aktiv.



Impressum

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Kontakt

Andreas Werner
Tel. +49 711 970-2289
andreas.werner@iao.fraunhofer.de

Satz und Layout

Franz Schneider, Fraunhofer IAO

Fraunhofer-Publica

<http://dx.doi.org/10.24406/publica-2537>

Alle Rechte vorbehalten

© Fraunhofer IAO, Februar 2024

Kontakt

Andreas Werner
Tel. +49 711 970-2289
andreas.werner@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

www.iao.fraunhofer.de