



Leitfaden betriebliche Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung

Mario Schmidt
Christian Haubach
Marlene Preiß
Alexandra Vogt

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	5
Einführung	7
Entscheidungsbaum	8
Schritt 1: Hotspotanalyse (PLAN)	10
Zielsetzung	10
Umsetzung	10
Schritt 2: Potenzialanalyse (PLAN)	14
Zielsetzung	14
Umsetzung	14
Schritt 3: Maßnahmenableitung (DO)	21
Zielsetzung	21
Vorgehen	21
Ansatzpunkte und Strategien nach Unternehmensbereich	21
Logistik	24
Produktion	24
Produkt	28
Gebäudemanagement	30
Informationen und Beispiele zu Strategien	31
Maßnahmenfindung im Unternehmen	71
Bewertung der Machbarkeit	71
Schritt 4: Umsetzung der Maßnahme(n) (DO)	72
Zielsetzung	72
Vorgehen	72
Zeitplanung	72
Beteiligte/Betroffene Akteure informieren	72
Externe Unterstützung	72
Kommunikation der Ergebnisse	72
Verstetigung der Aktivitäten	73
Schritt 5: Erfolgskontrolle (CHECK, ACT)	74
Weitere Informationsquellen	75
Quellen	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Kurzbeschreibung ABC-Analyse	11
Tabelle 2	Kurzbeschreibung Input-Output-Bilanz	11
Tabelle 3	Kurzbeschreibung Materialflussanalyse	12
Tabelle 4	Kurzbeschreibung Energie- und Stoffstrommodelle	13
Tabelle 5	Kurzbeschreibung Sankeydiagramm	13
Tabelle 6	Kurzbeschreibung Ökobilanzierung	15
Tabelle 7	Kurzbeschreibung Carbon Footprint	16
Tabelle 8	Kurzbeschreibung Water Footprint	17
Tabelle 9	Kurzbeschreibung Materialflusskostenrechnung	18
Tabelle 10	Kurzbeschreibung Wertstromanalyse	19
Tabelle 11	Kurzbeschreibung Pinchanalyse	20
Tabelle 11	Leitfragen Werkstoffauswahl / Materialsubstitution	31
Tabelle 12	Leitfragen Leichtbauweise	32
Tabelle 13	Leitfragen Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit	33
Tabelle 14	Leitfragen Miniaturisierung	34
Tabelle 15	Leitfragen fertigungsgerechte Produktgestaltung	34
Tabelle 16	Leitfragen nutzungsgerechte Produktgestaltung	35
Tabelle 15	Leitfragen Verlängerung der technischen Produktlebensdauer	36
Tabelle 16	Leitfragen Verlängerung der Produktnutzungsdauer	37
Tabelle 17	Leitfragen Produkt-Service-Systeme (Dematerialisierung)	38
Tabelle 18	Leitfragen Kaskadennutzung von Produkten	38
Tabelle 19	Leitfragen Reparierbarkeit	39
Tabelle 20	Leitfragen recyclinggerechte Produktgestaltung	40
Tabelle 21	Leitfragen Remanufacturing	41
Tabelle 22	Leitfragen Bedienungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten	42
Tabelle 23	Leitfragen ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung	43
Tabelle 24	Leitfragen Fertigungsprozessauswahl und Fertigungsprozessoptimierung	44
Tabelle 25	Leitfragen Dimensionierung der Fertigungsmittel	47
Tabelle 26	Leitfragen Minimierung des Bearbeitungsvolumens	48
Tabelle 27	Leitfragen Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen	49
Tabelle 28	Leitfragen Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung	50
Tabelle 29	Leitfragen Vermindern von geplantem Verlust	51
Tabelle 30	Leitfragen Vermindern von geplantem Ausschuss	52
Tabelle 31	Leitfragen Vermeiden von Verlust durch Nacharbeit	53
Tabelle 32	Leitfragen Vermeiden von Verlust durch die Entsorgung von fertigen Produkten	54
Tabelle 33	Leitfragen Vermeiden von Verlust durch die Entsorgung eingekaufter Materialien	55

Tabelle 34	Leitfragen Vermeiden von Verlusten durch unsachgemäße Lagerung/ Überlagerung	56
Tabelle 35	Leitfragen Vermindern des Energieverbrauchs	57
Tabelle 36	Leitfragen effiziente Energiebereitstellung	59
Tabelle 37	Leitfragen Nutzung von Prozess- und Abwärme	60
Tabelle 38	Leitfragen effiziente Gebäudeinfrastruktur	61
Tabelle 39	Leitfragen effiziente Gebäudehülle	62
Tabelle 40	Leitfragen effiziente Reinigung	63
Tabelle 41	Leitfragen fertigungsbezogene Kreislaufführung	64
Tabelle 42	Leitfragen Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen	65
Tabelle 43	Leitfragen effizienter Transport	66
Tabelle 44	Leitfragen Optimierung Produktionsplanung	67
Tabelle 45	Leitfragen eindeutige und vollständige Produktdokumentation	68
Tabelle 46	Leitfragen detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe	69
Tabelle 47	Leitfragen Mitarbeiterqualifikation/Mitarbeiterpotenzial	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entscheidungsbaum	8
Abbildung 2	Übersicht der Unternehmensbereiche	22
Abbildung 3	Strategien für den Unternehmensbereich Logistik	25
Abbildung 4	Organisatorische Strategien für den Unternehmensbereich Produktion	26
Abbildung 5	Technische Strategien für den Unternehmensbereich Produktion	27
Abbildung 6	Strategien für den Unternehmensbereich Produkt	29
Abbildung 7	Strategien für den Unternehmensbereich Gebäudemanagement	30

Abkürzungsverzeichnis

BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle	KEA	Kumulierter Energieaufwand
bspw.	beispielsweise	kg	Kilogramm
bzw.	beziehungsweise	kWh	Kilowattstunde
CCF	Corporate Carbon Footprint	MFCA	Material Flow Cost Accounting
CO₂	Kohlenstoffdioxid	MJ	Megajoule
CO₂e	CO ₂ -Äquivalent	PCF	Product Carbon Footprint
d. h.	das heißt	t	Tonnen
ERP	Enterprise Resource Planning	u. U.	unter Umständen
i. d. R.	in der Regel	VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ISO	Internationale Organisation für Normung	z. B.	zum Beispiel

Einführung

In produzierenden Unternehmen werden Rohstoffe unter Zuhilfenahme von Energie sowie Hilfs- und Betriebsstoffen zu Produkten verarbeitet. In diesem Zusammenhang wird oft davon gesprochen, die Energieeffizienz zu erhöhen und mit der ISO 50001 zum Energiemanagement liegt ein Standard zur Einführung eines entsprechenden Managementsystems vor. Für Materialien existiert bisher jedoch kein Pendant. Um das Wirtschaftswachstum vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln, ist es aber ebenfalls notwendig, sich mit dem Verbrauch von Materialien und anderen Ressourcen (z. B. Flächen) zu befassen. Die VDI 4800 Blatt 1 (2016) bietet eine Einführung in methodische Grundlagen und Prinzipien von Ressourceneffizienz sowie eine Übersicht möglicher Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz.

In der Kostenstruktur des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland haben Materialkosten einen Anteil von mehr als 40 % und liegen damit deutlich über dem von Energie, der gerade mal 2 % beträgt (Statistisches Bundesamt (Destatis), 2019). Materialeinsparungen stellen daher für Unternehmen einen großen finanziellen Hebel dar. Darüber hinaus ist die Herstellung von Materialien mit Treibhausgasemissionen und anderen Umweltwirkungen verbunden, sodass durch eine Reduktion des Materialverbrauchs auch in diesem Bereich Einsparungen erzielt werden können. In der Folge können produzierende Unternehmen durch eine Steigerung der Materialeffizienz ökonomische, aber auch ökologische Vorteile realisieren. Zudem kann ein verringerter Materialverbrauch insbesondere bei kritischen Rohstoffen zu einer Verringerung der Importabhängigkeit beitragen.

Ziel des vorliegenden Leitfadens ist es, Verantwortliche in produzierenden Unternehmen mit unterschiedlichem Kenntnisstand an die Themen Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung heranzuführen. Der Leitfaden soll ihnen helfen, Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu identifizieren, diese zu bewerten und konkrete Maßnahmen zur Realisierung der Einsparpo-

tenziale abzuleiten. Eine Steigerung der Materialeffizienz führt oftmals auch zu einem verringerten Energieverbrauch, weshalb beides nicht strikt voneinander getrennt werden kann und sich auch das Thema Energieeffizienz im Leitfaden wiederfindet.

Der Leitfaden umfasst fünf Schritte, die nacheinander beschrieben und durchlaufen werden können. Die fünf Schritte orientieren sich am Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA-Zyklus), der Grundlage vieler Managementsysteme ist und einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess ermöglicht. Schritt 1, die Hotspotanalyse, hat das Ziel, Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz bzw. vorhandene Ineffizienzen zu identifizieren. In Schritt 2, der Potenzialanalyse, werden Methoden zur Bewertung der Ansatzpunkte in physischen Mengen, monetären Einheiten oder umweltseitigem Nutzen dargestellt. Im darauffolgenden Schritt 3 steht die Ableitung von Maßnahmen zur Reduktion der Ineffizienzen im Fokus. Dabei werden für die unterschiedlichen Unternehmensbereiche Strategien vorgestellt und mit Praxisbeispielen illustriert. Darüber hinaus werden Möglichkeiten aufgezeigt, innerhalb des Unternehmens selbst Ideen für Maßnahmen zu generieren. Schritt 4 befasst sich mit der Machbarkeit und Umsetzung einer identifizierten Maßnahme. Im fünften und letzten Schritt wird die Erfolgskontrolle der Maßnahme adressiert. Abgesehen vom Durchlaufen der Schritte nacheinander kann je nach Kenntnisstand und Zielsetzung auch ein Schritt übersprungen werden. Der in Kapitel 2 dargestellte Entscheidungsbaum hilft dabei, den passenden Einstiegspunkt zu finden.

Entscheidungsbaum

Je nach Interesse und Informationsstand können Sie an unterschiedlichen Stellen des Leitfadens einsteigen. Der nachfolgend dargestellte Entscheidungsbaum unterstützt Sie dabei den passenden Einstiegspunkt zu finden.

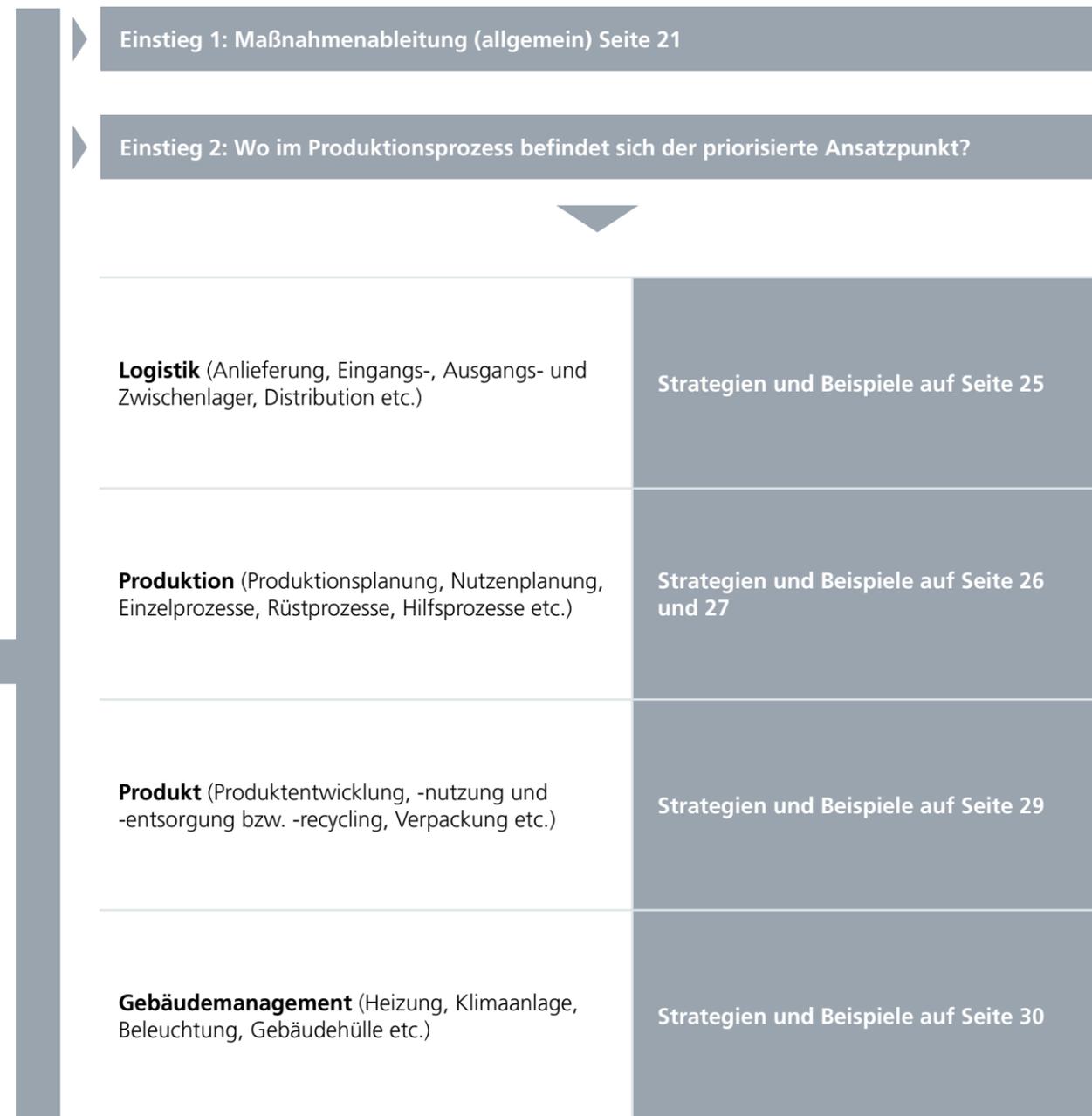


Abbildung 1 Entscheidungsbaum

Schritt 1: Hotspotanalyse (PLAN)

Um die Ressourceneffizienz im Unternehmen zu steigern, müssen geeignete Ansatzpunkte identifiziert werden. Hierfür ist es notwendig, sich zunächst einen Überblick über den bisherigen und aktuellen Materialverbrauch zu verschaffen. Ohne Kenntnis der eigenen Material- und Energieverbräuche ist es nicht möglich, Verbesserungspotenziale zu identifizieren, Ziele zu definieren und den Erfolg von Maßnahmen zu überprüfen.

Zielsetzung

Ziel des ersten Schritts ist eine Standortbestimmung hinsichtlich der eingesetzten Materialien und Energieträger. Dabei sollen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Welche Materialien und Energieträger werden in großen Mengen verbraucht?
- Welche Prozessschritte sind besonders materialintensiv?
- Gibt es Prozessschritte, in denen große Mengen an Verschnitt oder anderen Verlusten anfallen?
- Gibt es Prozessschritte, in denen großen Mengen an Ausschuss (Schlechtteile) anfallen?
- Welche Wege nehmen die Materialien im Unternehmen?
- Sind die Materialbilanzen geschlossen?

Basierend auf den Ergebnissen kann im zweiten Schritt, der Potenzialanalyse, eine Bewertung der damit verbundenen Potenziale in Mengen, Kosten oder auch CO₂-Emissionen erfolgen.

Umsetzung

Die Erfassung der Ist-Situation der Ressourcenverbräuche kann mit unterschiedlichen Methoden erfolgen. Die Methoden unterscheiden sich hinsichtlich Tiefe und Genauigkeit, aber auch dem damit verbundenen Aufwand.

Eine einfache Methode, die eingesetzten Materialien zu analysieren und die Wesentlichen zu identifizieren, ist die **ABC-Analyse**. Sie basiert auf dem Pareto-Prinzip,

das auch als 20/80-Regel bekannt ist. Ziel ist es, die Elemente (im vorliegenden Fall Materialien) zu identifizieren, die den größten Effekt auf das Gesamtsystem haben. Die erhobenen Daten werden mittels vorgegebener Kriterien wie beispielsweise Menge/Verbrauch, Kosten, Umsatz, CO₂-Emissionen, Kritikalität usw. klassifiziert werden. Das Ergebnis der Analyse sind drei Klassen: A-Elemente, B-Elemente und C-Elemente. Bei den A-Elementen handelt es sich um die wenigen Materialien, die sich durch einen hohen Verbrauch, hohe Kosten oder einen hohen CO₂-Fußabdruck auszeichnen. Diese Materialien bieten den größten Hebel, um Einsparungen zu realisieren. Materialien der B-Kategorie bilden das Mittelfeld, eine nähere Betrachtung kann je nach Situation sinnvoll sein. Materialien der C-Kategorie zeichnen sich durch einen nur geringen Hebel zur Realisierung von Einsparpotenzialen aus und können in der Regel vernachlässigt werden.

Möchte man einen Schritt weiter gehen und erfassen, in welche Prozesse welche Materialien und Energieträger eingehen bzw. diese auch wieder verlassen, eignet sich eine **Input-Output-Bilanz**. Hierfür wird ein Untersuchungssystem definiert (dies kann ein Prozessschritt, eine Produktionslinie, ein Produkt oder auch ein ganzer Betrieb sein). Für das Untersuchungssystem werden für einen definierten Zeitraum oder eine Menge die eingehenden und ausgehenden Stoffmengen erfasst und gegenübergestellt. Eingehende Stoffmengen umfassen Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe, aber auch Wasser und Energie. Ausgehende Stoffmengen umfassen Produkte, Emissionen, Abfall, Abwärme und Abwasser. Die Erfassung der Stoffmengen erfolgt in kg bzw. kWh. Anhand der Gegenüberstellung können Lücken in der Bilanz oder ungewöhnlich große Verbräuche identifiziert werden. Auf Grundlage dessen können nähere Untersuchungen zur Ursache angestoßen werden. Die benötigten Daten zu eingehenden und ausgehenden Stoffmengen sind der Regel im Unternehmen verfügbar und können oftmals aus ERP-Systemen entnommen werden.

Tabelle 1 Kurzbeschreibung ABC-Analyse

ABC-Analyse	
Ergänzende Methoden	Materialflussanalyse
Werkzeuge	Die Analyse kann z. B. in Excel durchgeführt werden.
Ziel	Materialien identifizieren, die einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben und somit einen großen Hebel für Einsparungen darstellen.
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Eingesetzte Materialien auflisten 2. Kriterien festlegen 3. Bewertung der Materialien (gemäß den festgelegten Kriterien) 4. In drei Klassen einteilen (Grenzlinien definieren) 5. Handlungen für A-Elemente ableiten
Weiterführende Informationen	

Tabelle 2 Kurzbeschreibung Input-Output-Bilanz

Input-Output-Bilanz	
Ergänzende Methoden	Materialflussanalyse, Sankeydiagramm
Werkzeuge	Die Analyse kann z. B. in Excel durchgeführt werden, aber auch einfach auf einem Blatt Papier.
Ziel	Gegenüberstellung der eingehenden und ausgehenden Stoffmengen für ein definiertes Untersuchungssystem. Identifikation von Bilanzlücken und großen Verbräuchen.
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungssystem definieren 2. Bilanzzeitraum bzw. Bezugsmenge definieren 3. Eingehende und ausgehende Stoffmengen für das System und die Bezugsgröße erfassen 4. Eingehende und ausgehende Stoffmengen gegenüberstellen 5. Input-Output-Bilanz auf Lücken und große Verbräuche prüfen 6. Ursachen für Bilanzlücken oder große Verbräuche untersuchen
Weiterführende Informationen	

Eine reine Gegenüberstellung der eingehenden und ausgehenden Stoffmengen bietet noch keine Informationen zu den internen Zusammenhängen, wodurch wichtige Informationen zum betrachteten System ungenutzt bleiben. Mit einer **Materialflussanalyse** können die Wege der Materialien im Rahmen der Be- und Verarbeitung innerhalb eines definierten Produktionsbereichs erfasst werden. Im Zuge dessen werden alle Transport- und Lagervorgänge innerhalb des defi-

nierten Bereichs erfasst und visualisiert. Mithilfe einer Materialflussanalyse können Mängel im Materialfluss identifiziert und Verbesserungen abgeleitet werden. Als Folge können beispielsweise unnötige Transportkosten vermieden, Produktionszeiten verkürzt und das Fabriklayout optimiert werden. Die Daten für die Analyse können aus dem ERP-System, Arbeitsplänen oder vorhandenen Trackingsystemen entnommen werden. Zusätzlich können auch Mitarbeiter befragt werden.

Tabelle 3 Kurzbeschreibung Materialflussanalyse

Materialflussanalyse	
Ergänzende Methoden	Energie- und Stoffstrommodell, Material- und Informationsflussanalyse, Sankeydiagramm
Werkzeuge	z. B. Visio, bw!sankey
Ziel	Erfassung der Transport- und Lagervorgänge von Materialien innerhalb eines definierten Bereichs. Identifikation von Mängeln und Verlusten im Materialfluss.
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Betrachtungsbereich definieren 2. Benötigte Daten (Material, Menge und Weg) erheben 3. Materialflüsse visualisieren und mit den Daten versehen 4. Verbesserungspotenziale identifizieren 5. Maßnahmen zur Verbesserung des Materialflusses ableiten
Weiterführende Informationen	www.ifu.com/de/bw-sankey

Ausgehend von der Input-Output-Bilanz und der Materialflussanalyse kann zur tiefergehenden Analyse ein **Energie- und Stoffstrommodell** aufgebaut werden. Hierfür müssen Input-Output-Bilanzen auf Prozessschritzebene aufgestellt werden. Eine Visualisierung der Energie- und Stoffströme kann beispielsweise mittels Sankeydiagrammen erfolgen. Dadurch entsteht zunächst eine deskriptive Abbildung der zu den Energie- und Stoffströmen erhobenen Zahlen.

Neben einer reinen Visualisierung von erhobenen Zahlen können Energie- und Stoffstrommodelle auch so aufgebaut werden, dass sie Berechnungen ermöglichen. So können beispielsweise Inputs und Outputs an veränderte Produktionsmengen und -bedingungen angepasst werden oder auf ein Produkt skaliert werden. Anhand eines Energie- und Stoffstrommodells können große Verbräuche und Verluste identifiziert werden sowie die Auswirkung von veränderten Produktionsbedingungen auf den Material- und Energieverbrauch untersucht werden. Energie- und Stoffstrommodelle bilden den Ausgangspunkt für weitere Analysen zur

Bewertung von Potenzialen. Diese Analysen werden in Kapitel 4 genauer erläutert.

In Input-Output-Bilanzen, Materialflussanalysen und Energie- und Stoffstrommodellen können **Sankeydiagramme** zur Visualisierung verwendet werden. Sankeydiagramme sind grafische Darstellungen von Mengenflüssen, wobei diese in Form von Pfeilen unterschiedlicher Breite dargestellt werden. Durch die unterschiedliche Breite werden die Proportionen der Flüsse untereinander verdeutlicht. Die Pfeile können Materialeinheiten (kg, t), Energieeinheiten (kWh, MJ) oder auch Prozentsätze und Werteeinheiten (€, \$) repräsentieren. Mit dieser Darstellung ist es möglich, komplexe Zusammenhänge anschaulich darzustellen und z. B. aufzuzeigen, wo wie viel Energie oder Material verbraucht wird. Dadurch können Ineffizienzen und mögliche Ansatzpunkte zur Verbesserung identifiziert werden, die dann weiteren technischen Analysen bedürfen. Es sind verschiedene Softwarelösungen zur Erstellung von Sankeydiagrammen verfügbar.

Tabelle 4 Kurzbeschreibung Energie- und Stoffstrommodelle

Energie- und Stoffstrommodell	
Ergänzende Methoden	Ökobilanzierung, Carbon Footprint, Materialflusskostenrechnung, Sankeydiagramm
Werkzeuge	z. B. bw!sankey, Umberto
Ziel	Detaillierte Darstellung der Energie- und Stoffströme auf Prozessebene für einen definierten Bereich. Identifikation von großen Verbräuchen und Verlusten. Untersuchung der Auswirkung veränderter Produktionsbedingungen auf das Untersuchungssystem.
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungssystem definieren 2. Bilanzzeitraum definieren 3. Flussbild für das Untersuchungssystem mit allen relevanten Prozessschritten erstellen 4. Input-Output-Bilanzen (eingehende und ausgehende Stoffmengen in kg bzw. kWh erheben) für die einzelnen Prozessschritte erstellen 5. Energie- und Stoffstrommodell auf Bilanzlücken, große Verbräuche und Verluste untersuchen 6. Maßnahmen zur Reduktion von Material- und Energieverbräuchen ableiten
Weiterführende Informationen	www.ifu.com/de/bw-sankey www.umberto.de

Tabelle 5 Kurzbeschreibung Sankeydiagramm

Sankeydiagramm	
Ergänzende Methoden	Input-Output-Bilanz, Materialflussanalyse, Energie- und Stoffstrommodell
Werkzeuge	z. B. bw!sankey, e!sankey
Ziel	Visualisierung von Energie- und Materialflüssen, Identifikation von Ineffizienzen und Ansatzpunkten
Durchführung/Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungssystem definieren 2. Betrachtungszeitraum bzw. Bezugsgröße definieren 3. Daten erheben 4. Sankeydiagramm erstellen 5. Analyse auf Ineffizienzen und Verbesserungspotenziale <p>Die Punkte 1-3 können z. B. schon im Rahmen einer Input-Output-Bilanz, Materialflussanalyse oder einem Energie- und Stoffstrommodell erfolgt sein.</p>
Weiterführende Informationen	www.ifu.com/de/bw-sankey www.ifu.com/de/e-sankey

Schritt 2: Potenzialanalyse (PLAN)

Nachdem im ersten Schritt eine Standortbestimmung bezüglich der eingesetzten Ressourcen erfolgte und erste Ansatzpunkte sowie material- und energieintensive Prozesse identifiziert werden konnten, geht es im zweiten Schritt darum, die damit verbundenen Potenziale zu bewerten. Als Basis dienen die in Schritt 1 gesammelten Daten und Informationen.

Zielsetzung

Im zweiten Schritt sollen die mit den identifizierten Ansatzpunkten verbundenen Potenziale bewertet werden. Die Bewertung kann in physischen Mengen, monetären Einheiten oder auch CO₂-Emissionen erfolgen.

Dies ermöglicht Aussagen darüber, welche Auswirkungen beispielsweise die Reduktion des Material- und Energieverbrauchs auf die Herstellkosten oder die Umweltwirkungen eines Produkts oder Prozesses hat. So kann abhängig von der Zielsetzung der Ansatzpunkt identifiziert werden, der den größten Hebel für die Einsparung von Kosten oder die Reduktion von Umweltwirkungen darstellt.

Umsetzung

Wird ein Energie- und Stoffstrommodell für ein definiertes Produkt oder Dienstleistung erstellt und die mit den Energieträgern und Materialien verbundenen Umweltwirkungen quantifiziert, so befindet man sich in der Welt der **Ökobilanzierung**. Die Grundsätze und Regeln hierfür sind durch die ISO-Normen 14040 und 14044 international standardisiert. Prozessschritte, Verfahren oder Unternehmen sind in der Regel nicht Gegenstand von Ökobilanzen.

Je nach gewählter Systemgrenze werden unterschiedliche Lebenszyklusphasen berücksichtigt. In den meisten Fällen wird von der Wiege bis zur Bahre bilanziert, d. h. von der Gewinnung der Rohstoffe über die Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung werden alle mit dem Produkt verbundenen Umweltwirkungen erfasst.

Die Ökobilanz kann mit professioneller Software (z. B. GaBi, SimaPro, OpenLCA oder Umberto) erfolgen. Neben Daten aus dem eigenen Unternehmen werden für Ökobilanzen auch Daten über Prozesse außerhalb des Unternehmens benötigt (z. B. für die Bereitstellung von Vorprodukten, Energie oder die Entsorgung). Eine Schwierigkeit bei der Erstellung von Ökobilanzen ist die oftmals eingeschränkte Verfügbarkeit geeigneter umweltbezogener Daten zu Produkten und Prozessen. Es stehen öffentlich zugängliche Datenbanken (z. B. ProBas) oder Dokumente (z. B. BAFA Informationsblatt CO₂-Faktoren) zur Verfügung, die Daten zu einer Auswahl an Materialien und Energieträgern enthalten. Professionelle Datenbanken (z. B. ecoinvent) sind in der Regel kostenpflichtig und Teil der genannten Softwarelösungen.

Basierend auf den Ergebnissen von Ökobilanzen können Prozessoptimierungen für eine umweltfreundlichere Produktion abgeleitet werden. Abgesehen davon dienen sie der Produktbewertung und ermöglichen Vergleiche, sofern die gewählten Systemgrenzen und gemachten Annahmen gleich sind.

Tabelle 6 Kurzbeschreibung Ökobilanzierung

Ökobilanzierung	
Vorgeschaltete Methoden	Input-Output-Bilanz, Materialflussanalyse, Energie- und Stoffstrommodell
Ergänzende Methoden	
Werkzeuge	Stoffstrommodellierungssoftware inkl. Ökobilanzdatenbank Kostenpflichtige Softwarelösungen: z. B. GaBi, SimaPro, Umberto Kostenfreie Softwarelösungen: z. B. OpenLCA Kostenpflichtige Ökobilanzdatenbanken: z. B. ecoinvent Öffentlich zugängliche Ökobilanzdatenbanken: z. B. ProBas, Ökobaudat
Ziel	Erfassung und Bewertung aller umweltrelevanten Vorgänge für ein definiertes Produkt oder eine Dienstleistung
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungsgegenstand (Produkt, Dienstleistung, Nutzen) definieren 2. Bilanzzeitraum definieren 3. Input- und Outputdaten für den definierten Untersuchungsgegenstand und Bilanzzeitraum erfassen (Sachbilanz) 4. Input- und Outputdaten mit Umweltwirkungen bewerten (Wirkungsabschätzung) 5. Ergebnisse auswerten und interpretieren 6. Maßnahmen zur Reduktion der Umweltwirkungen ableiten
Weiterführende Informationen	ISO 14040, ISO 14044

Im Unterschied zur Ökobilanz, die sämtliche Umweltwirkungen betrachtet, wird beim **Carbon Footprint** (CO₂-Fußabdruck) mit dem Treibhausgaspotenzial nur eine Umweltwirkung betrachtet. Die Berechnungsmethode ist an die Ökobilanzierung angelehnt. Der Carbon Footprint wird in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) angegeben. Ein CO₂-Äquivalent entspricht einer emittierten Tonne CO₂.

Als Bezugsobjekt für einen Carbon Footprint sind Länder, Regionen, Unternehmen, Produkte, Dienstleistungen oder auch private Haushalte möglich. Für Unternehmen existieren hinsichtlich Carbon Footprint zwei gängige Betrachtungsweisen. Zum einen der Corporate Carbon Footprint (CCF), der sich auf ein Unternehmen bezieht, und zum anderen der Product Carbon Footprint (PCF), der sich auf ein Produkt bezieht.

Beim Corporate Carbon Footprint werden die unternehmenseigenen sowie alle relevanten Treibhausgasemissionen entlang der Wertschöpfungskette, in der sich das betrachtete Unternehmen befindet, erfasst.

Beim Product Carbon Footprint hingegen werden bezogen auf einen definierten Nutzen oder Produkt alle Treibhausgasemissionen, die über seinen Lebenszyklus hinweg entstehen, erfasst. Abhängig von den gewählten Systemgrenzen können Lebenszyklusphasen von der Bilanzierung ausgenommen werden, z. B. im Falle einer Bilanzierung von der Wiege bis zum Werktor.

In beiden Fällen kann die Treibhausgasbilanz anschließend detailliert analysiert werden, das ermöglicht die Identifikation von Emissionstreibern und die Definition von Reduktionsmaßnahmen.

Für den Carbon Footprint sind ebenfalls umweltbezogene Daten zu Materialien und Prozessen notwendig.

Tabelle 7 Kurzbeschreibung Carbon Footprint

Carbon Footprint	
Vorgeschaltete Methoden	Input-Output-Bilanz, Materialflussanalyse, Energie- und Stoffstrommodell
Ergänzende Methoden	
Werkzeuge	Stoffstrommodellierungssoftware inkl. Ökobilanzdatenbank Kostenpflichtige Softwarelösungen: z. B. GaBi, SimaPro, Umberto Kostenfreie Softwarelösungen: z. B. OpenLCA Kostenpflichtige Ökobilanzdatenbanken: z. B. ecoinvent Öffentlich zugängliche Ökobilanzdatenbanken: z. B. ProBas, Ökobaudat
Ziel	Erfassung der Emissionen klimarelevanter Treibhausgase bezogen auf ein definiertes System (oftmals Unternehmen oder Produkt/ Nutzen)
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungsgegenstand (Unternehmen oder Produkt/ Dienstleistung/Nutzen) definieren 2. Bilanzzeitraum definieren 3. Input- und Outputdaten für den definierten Untersuchungsgegenstand und Bilanzzeitraum erfassen (Sachbilanz) 4. Input- und Outputdaten mit Treibhausgaspotenzial bewerten (Wirkungsabschätzung) 5. Ergebnisse auswerten und interpretieren (Emissionstreiber identifizieren) 6. Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen ableiten
Weiterführende Informationen	ISO 14067 (PCF), ISO 14064 1-3 (CCF, Projektebene, Erklärungen zu THG), Greenhouse Gas Protocol (CCF), scope ³ analyzer https://scope3analyzer.pulse.cloud

Ähnlich zum Carbon Footprint wird auch beim **Water Footprint** nur eine Umweltwirkung berücksichtigt, nämlich der Frischwasserverbrauch, der mit der Produktion eines bestimmten Produkts oder einer Dienstleistung verbunden ist. Insbesondere vor dem Hintergrund steigender Wasserknappheit in einigen Regionen weltweit gewinnt der Water Footprint zunehmend an Bedeutung.

Der Water Footprint berücksichtigt nicht nur den direkten Wasserverbrauch, sondern auch das indirekt

genutzte Wasser, das in Produkten enthalten ist oder für deren Herstellung eingesetzt wurde. Diese versteckte Wassermenge wird häufig als virtuelles Wasser bezeichnet. Für die Bewertung des direkten und des indirekten Wasserverbrauchs ist die lokale Verfügbarkeit von Wasser entscheidend.

Im Falle des Water Footprints werden Informationen zum Wasserverbrauch von Materialien und Prozessen benötigt.

Tabelle 8 Kurzbeschreibung Water Footprint

Water Footprint	
Vorgeschaltete Methoden	Input-Output-Bilanz, Materialflussanalyse, Energie- und Stoffstrommodell
Ergänzende Methoden	
Werkzeuge	Stoffstrommodellierungssoftware inkl. Ökobilanzdatenbank, öffentlich zugängliche Ökobilanzdatenbanken
Ziel	Erfassung des direkten und indirekten Wasserverbrauchs bezogen auf ein definiertes System (Unternehmen, Produkt, Dienstleistung)
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungsgegenstand (Unternehmen oder Produkt/ Dienstleistung/Nutzen) definieren 2. Bilanzzeitraum definieren 3. Input- und Outputdaten für den definierten Untersuchungsgegenstand und Bilanzzeitraum erfassen (Sachbilanz) 4. Input- und Outputdaten mit Wasserverbrauch bewerten (Wirkungsabschätzung) 5. Ergebnisse auswerten und interpretieren (Verbrauchstreiber identifizieren) 6. Maßnahmen zur Reduktion des Wasserverbrauchs ableiten
Weiterführende Informationen	ISO 14046

Die bisher vorgestellten Methoden zur Bestimmung von Potenzialen beziehen sich auf verschiedene Umweltwirkungen, die durch eine Steigerung der Materialeffizienz reduziert werden können. Neben Umweltwirkungen sind Materialien und folglich auch Ineffizienzen und Verluste, mit Kosten verbunden. Hier setzt die **Materialflusskostenrechnung** (englisch: Material Flow Cost Accounting (MFCA)) an. Die Methode ist in der ISO 14051 normiert und hat das Ziel, die tatsächlichen Kosten von Materialverlusten sichtbar zu machen. Dies geschieht dadurch, dass den Materialverlusten neben den reinen Entsorgungskosten anteilig auch Material-, Energie- und Systemkosten zugerechnet werden. Darin unterscheidet sie sich von der klassischen Kostenrechnung, in der abgesehen von den Entsorgungskosten alle anfallenden Kosten dem Produkt zugerechnet werden. Im Ergebnis führt die Analyse dazu, dass aufgezeigt wird, welche Wertschöpfung in den Materialverlusten „steckt“ und durch ihr Anfallen verloren geht.

Die tatsächlichen Kosten der Materialverluste zeigen auf, welche Kosteneinsparung durch die Vermeidung der Materialverluste realisiert werden können.

Abgesehen von der monetären Bewertung der Materialverluste können diese in gleicher Weise mit CO₂-Emissionen bewertet werden. Durch eine solche Ergänzung werden nicht nur die Kosten, die durch eine Reduktion der Materialverluste vermieden werden können, deutlich, sondern auch die vermeidbaren CO₂-Emissionen. Dadurch können im Zuge einer Materialflusskostenrechnung monetäre und umweltseitige Potenziale kombiniert werden.

Tabelle 9 Kurzbeschreibung Materialflusskostenrechnung

Materialflusskostenrechnung (Material Flow Cost Accounting (MFCA))	
Vorgeschaltete Methoden	Input-Output-Bilanz, Materialflussanalyse, Energie- und Stoffstrommodell
Ergänzende Methoden	
Werkzeuge	z. B. bw!MFCA, Umberto
Ziel	Visualisierung und Bestimmung der Kosten, die mit im Prozess anfallenden Materialverlusten tatsächlich verbunden sind
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untersuchungsgegenstand (Produkt/Dienstleistung/Nutzen) definieren 2. Bilanzzeitraum definieren 3. Flussbild des Prozesses erstellen 4. Input- und Outputdaten für die einzelnen Prozessschritte innerhalb des definierten Bilanzzeitraums erfassen (Sachbilanz); auf der Outputseite müssen insbesondere anfallende Materialverluste und Abfälle (unerwünschte oder nicht wertschöpfende Produkte) erfasst werden 5. Ergänzung der aufgestellten Bilanzen um Kosteninformationen. Berücksichtigt werden: Material-, Energie-, System- und Abfallmanagementkosten 6. Allokation von Material-, Energie- und Systemkosten basierend auf dem Masseverhältnis von Produkt und Materialverlust des jeweiligen Prozessschritts. Abfallmanagementkosten werden in jedem Prozessschritt vollumfänglich dem Materialverlust zugerechnet 7. Für eine zusätzliche Berücksichtigung der CO₂-Emissionen müssen für die eingesetzten Materialien, Energieträger und Entsorgungswege CO₂-Fußabdrücke recherchiert werden. Die Zurechnung der CO₂-Emissionen erfolgt analog zur Allokation der unterschiedlichen Kostenarten. 8. Ergebnisse auswerten und interpretieren 9. Maßnahmen zur Reduktion oder Vermeidung der Materialverluste ableiten
Weiterführende Informationen	ISO 14051, ISO 14052, ISO 14053

Das Ziel von Lean-Ansätzen, die dem Toyota-Produktionssystem entspringen, ist es, Verschwendung zu eliminieren. Es soll nur noch getan werden, was wirklich notwendig ist, um ein Produkt herzustellen. Eine Methode zur Identifikation von nicht wertschöpfenden Prozessen ist die **Wertstromanalyse**, die auf einem Blatt Papier durchgeführt werden kann. Bei der Wertstromanalyse wird der Fertigungsfluss von der Rohstoffanlieferung, bis das fertige Produkt das Werk verlässt, erfasst. Neben den Materialflüssen werden bei der Wertstromanalyse Informationsflüsse, Bearbei-

tungs- und Rüstzeiten sowie Bestände ermittelt. Ziel ist es, den Fertigungsfluss am Kundentakt auszurichten und dadurch Durchlaufzeit und Bestände zu minimieren. Der Kundentakt beschreibt die Zeit, die zur Herstellung eines Produkts zur Verfügung steht. Ausgehend vom Ist-Wertstrom kann auf einen Soll-Wertstrom hingearbeitet werden. Auch wenn es bei der Wertstromanalyse im Kern nicht darum geht, Material einzusparen, sondern Zeit, bieten sie und andere Methoden aus dem Lean-Bereich Anknüpfungspunkte an das Thema Materialeffizienz.

Tabelle 10 Kurzbeschreibung Wertstromanalyse

Wertstromanalyse	
Vorgeschaltete Methoden	
Ergänzende Methoden	Energiewertstrom, Wertstromplanung, Wertstromdesign
Werkzeuge	Blatt Papier, Verwendung standardisierter Symbole zur Darstellung
Ziel	Erfassung der Material- und Informationsflüsse entlang des Fertigungsflusses und Harmonisierung des Fertigungsflusses mit dem Kundentakt
Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definition des zu untersuchenden Produkts 2. Erfassung der einzelnen Prozessschritte 3. Aufnahme der folgenden Daten für jeden einzelnen Prozessschritt: <ol style="list-style-type: none"> a. Bestandsart und -volumen b. Durchlaufzeit c. Umrüstzeit d. Betriebszeit e. Anzahl Arbeiter, verfügbare Arbeitsstunden f. Losgröße 4. Erfassung des Ablaufs der Produkt- und Informationsflüsse 5. Analyse des erfassten Ist-Zustands und Definition des Soll-Zustands 6. Maßnahmen zum Erreichen des Soll-Zustands ableiten
Weiterführende Informationen	

Es ist zudem möglich, die Wertstromanalyse zur **Energiewertstromanalyse** zu erweitern. Im Unterschied zur normalen Wertstromanalyse wird hierbei der Energieverbrauch jedes Prozessschrittes ergänzend mit aufgenommen. Im nachgeschalteten Energiewertstromdesign werden Energieeffizienzmaßnahmen abgeleitet.

Hinsichtlich Energie stellt die **Pinchanalyse** eine wichtige Methode zur Ermittlung von Einsparpotenzialen

dar. Die Bereitstellung von Prozesswärme und -kälte macht einen Großteil des betrieblichen Energieverbrauchs aus. Ziel der Analyse ist es, den theoretisch minimal möglichen Energiebedarf für die Wärme- und Kältebereitstellung aller Prozesse zu bestimmen. Hierfür müssen in einem oder mehreren Prozessen ein Wärme- und Kältebedarf vorhanden sein. Alternative Bezeichnungen für die Pinchanalyse sind Prozessintegration bzw. Wärmeintegration.

Tabelle 11 Kurzbeschreibung Pinchanalyse

Pinchanalyse	
Vorgeschaltete Methoden	
Ergänzende Methoden	
Werkzeuge	Excel
Ziel	Ermittlung des maximalen Energieeinsparpotenzials durch die energetische Verknüpfung von Prozessströmen
Durchführung/Vorgehen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Erfassung und Analyse aller Prozessströme (Temperatur, Massenstrom und spezifische Wärmekapazität) 2. Erstellung von Verbundkurven und Bestimmung des Pinch-Points in einem T-Q-Diagramm (Temperatur-Wärmestrom) 3. Prozessintegration mittels Wärmeübertrager, Speicher und Wärmepumpen 4. Überprüfung der technischen und wirtschaftlichen Umsetzbarkeit
Weiterführende Informationen	

Einen weiteren wichtigen Ausgangspunkt für die Identifikation von Ansatzpunkten für Effizienzmaßnahmen bilden **Umwelt- und Energiemanagementsysteme**. In beiden Fällen werden die Organisationsstruktur, Verantwortlichkeiten, Praktiken, Verfahren, Prozesse und Ressourcen im Betrieb festgelegt. Umweltmanagementsysteme regeln die Umsetzung, Kontrolle, Kommunikation und Dokumentation der betrieblichen Umweltpolitik. Das Umweltmanagementsystem ist in der ISO 14001 normiert und das Energiemanagementsystem in der ISO 50001. Ein Energiemanagementsystem macht Energieverteilung und -verschwendung in Unternehmen transparent und ermöglicht eine verursachungsgerechte Zuordnung der Energieverbräuche.

Mithilfe des **kumulierten Energieaufwands (KEA)** kann zudem der Energieaufwand eines Produktes bewertet werden. Beispiele und Berechnungsmethoden hierfür finden sich in der VDI 4600. Der **kumulierte Rohstoffaufwand (KRA)** umfasst hingegen alle Rohstoffe (inkl. Energierohstoffe), die zur Herstellung, Transport, Nutzung und Entsorgung eines Produkts aufgewendet werden. Seine Bewertung ist in der VDI 4800 Blatt 2 erläutert.

Allen bisher vorgestellten Methoden gemein ist, dass sie zwar Einsparpotenziale in Form von t, kWh, CO₂ oder Euro aufzeigen, aber keine konkreten technischen oder organisatorischen Maßnahmen zur Realisierung der Einsparpotenziale. Die Ableitung von entsprechenden Maßnahmen zur Hebung der aufgezeigten Einsparungen muss gesondert im Nachgang der Analyse erfolgen.

Schritt 3: Maßnahmenableitung (DO)

Da es nicht allein ausreicht, Einsparpotenziale zu identifizieren und zu bewerten, müssen im Anschluss an die unterschiedlichen Analysen konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, um tatsächlich Einsparungen zu realisieren. Daher geht es im dritten Schritt darum, Maßnahmen für einen Ansatzpunkt abzuleiten.

Zielsetzung

Ziel des dritten Schritts ist es, den in Schritt eins und zwei identifizierten Ansatzpunkten konkrete technische oder organisatorische Maßnahmen folgen zu lassen. Aus theoretisch berechneten Einsparungen sollen tatsächliche werden.

Vorgehen

Die Analysen in Schritt eins und zwei haben aufgezeigt, wo im Unternehmen oder im kleineren im Produktionsprozess Ansatzpunkte zur Einsparung von Material vorhanden sind. Im folgenden Unterpunkt 5.3.1 werden für verschiedene Unternehmensbereiche wie bspw. Anlieferung, Produktentwicklung usw. typische Ursachen für Materialverluste oder hohe Materialverbräuche aufgezeigt. Anhand von Entscheidungspfaden werden Sie in jedem Unternehmensbereich zu möglichen Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz geleitet sowie anhand von konkreten Praxisbeispielen Vorgehen und realisierte Einsparungen aufgezeigt.

Aufgrund der Tatsache, dass Unternehmen sowie ihre Prozesse und Abläufe individuell und sehr spezifisch sind, ist es nicht immer möglich, Maßnahmen anderer Unternehmen einfach zu übernehmen. Daher wird in Punkt 5.3.2 aufgezeigt, wie Sie im Unternehmen vorgehen können, um eigene Maßnahmen abzuleiten.

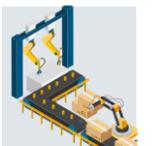
Vor der eigentlichen Umsetzung muss die Machbarkeit der Maßnahme bewertet und überprüft werden. Informationen hierzu finden sich unter Punkt 5.3.3.

Ansatzpunkte und Strategien nach Unternehmensbereich

Basierend auf den vorangegangenen Analysen können Sie direkt zum Unternehmensbereich gehen, in dem sich der Ansatzpunkt befindet. Alternativ können Sie die verschiedenen Bereiche nacheinander betrachten. Für jeden Unternehmensbereich können Sie mittels Leitfragen überprüfen, ob die Umsetzung möglicher Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz in diesem Bereich bereits geprüft wurde. Für den Fall, dass einzelne Strategien noch nicht überprüft wurden, erhalten Sie Hinweise, wo im Leitfaden Sie weitere Informationen sowie Praxisbeispiele dazu finden. Die Strategien stammen im Wesentlichen aus der VDI 4800 Blatt 1.

Die folgenden Unternehmensbereiche stehen zur Verfügung:

- Logistik (Anlieferung, Eingangs-, Ausgangs- und Zwischenlager, Distribution etc.) finden Sie auf Seite 25
- Produktion (Produktionsplanung, Nutzenplanung, Einzelprozesse, Rüstprozesse, Hilfsprozesse etc.) finden Sie auf Seite 26 und 27
- Produkt (Produktentwicklung, -nutzung und -entsorgung bzw. -recycling, Verpackung etc.) finden Sie auf Seite 29
- Gebäudemanagement (Heizung, Klimaanlage, Beleuchtung, Gebäudehülle etc.) finden Sie auf Seite 30



Übersicht der Unternehmensbereiche

- 1 Anlieferung**
Transportschäden
Schwund
- 2 Eingangslager**
Fehldisposition
- 3 Produktentwicklung**
Funktionalität
Dimensionierung
Werkstoffauswahl
Recyclingfähigkeit
- 4 Produktionsplanung**
Produktionsoptimierung
Losgrößen
- 5 Nutzenplanung**
Verschnitt
- 6 Einzelprozess**
Energie- und Betriebsstoffverbrauch
Ausschuss
Reststoffe
Produktivität
alternative Technologie
- 7 Rüstprozesse**
Anlaufverluste
- 8 Nachbearbeitung**
Energie- und Betriebsstoffverbrauch
Ausschuss

- 9 Interne Kreislaufführung Produkt**
Energie- und Betriebsstoffverbrauch
- 10 Hilfsprozesse**
Effizienz
alternative Technologien
Betriebsstoffe
- 11 Interne Kreislaufführung Betriebsstoffe**
Abfälle
Emissionen
Abwärmenutzung
- 12 Verpackung**
Packstoffauswahl
Wiederverwendbarkeit
- 13 Ausgangs- oder Zwischenlager**
Überproduktion
Lagerschäden
Verderblichkeit
- 14 Distribution**
Bruch
Schwund
- 15 Gebäudemanagement**
Licht
Heizung/Klimaanlage
IT
Kantine und Sanitärbereich



Abbildung 2 Übersicht der Unternehmensbereiche

Logistik

Im Bereich der Logistikprozesse eines Unternehmens bieten sich an verschiedenen Stellen Ansätze zur Steigerung der Materialeffizienz. Diese erstrecken sich von der Anlieferung über das Eingangs-, Ausgangs- oder Zwischenlager, bis hin zur Distribution.

Im Bereich der Anlieferung können bspw. Transportschäden auftreten, aber auch eine Abweichung der geforderten Qualität von Rohmaterialien oder Vorprodukten kann zu Materialverlusten führen. Um noch größere materielle und ökologische Schäden zu vermeiden, sollten angelieferte Materialien hinsichtlich Beschädigungen, Mengen und Qualität überprüft werden.

Im Bereich des Eingangslagers bietet u. a. das Vorhandensein von hohen Materialbeständen oder überschüssigen Mengen Potenziale zur Steigerung der Materialeffizienz. Gründe für hohe Materialbestände oder überschüssige Mengen können z. B. aus Sicherheit großzügig eingekaufte Materialien sein, Vorräte für möglichst kurze Reaktionszeiten oder auch die Stornierung von Aufträgen. Es stellt sich natürlich auch immer die Frage, was mit eingekauften Materialien passiert, die nicht benötigt werden. Müssen diese entsorgt werden oder können sie u. U. verkauft werden?



Auch in Ausgangs- und Zwischenlagern sollten hohe Bestände kritisch überprüft werden, insbesondere, wenn Materialien verarbeitet werden, die verderblich sind. Hohe Bestände sind Anzeichen dafür, dass aufeinanderfolgende Prozessschritte nicht gut abgestimmt sind. Im Bereich der Lean-Production wird vom Push- oder Pull-Prinzip gesprochen.

Ähnlich wie im Bereich der Anlieferung kann es auch bei der Distribution der eigenen Produkte zu Transportschäden wie Bruch oder Schwund kommen. Die Ursachen können vielfältig sein und umfassen z. B. unzureichende Transportverpackung oder Ladungssicherung. Abgesehen davon können in der Distribution auch eine optimierte Routenplanung und die Vermeidung von Leerfahrten zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz beitragen. Eine Methode aus der Lean-Production ist in diesem Zusammenhang die Milkrun-Logistik.

Produktion

In der Produktion können viele unterschiedliche Strategien zur Steigerung der Ressourceneffizienz verfolgt werden. Die Strategien können sich dabei sowohl im organisatorischen als auch technischen Bereich befinden.

Im organisatorischen Bereich lohnt es sich, die Produktionsplanung und -steuerung näher zu betrachten. Durch eine geeignete Zusammenfassung von Fertigungsaufträgen können bspw. Rüstprozesse und damit auch Anfahrverluste reduziert werden. Darüber hinaus können organisatorische Maßnahmen wie die Standardisierung von Prozessen durch detaillierte Arbeitsanweisungen und geregelte Schichtübergaben dazu beitragen, Fehler in der Produktion zu vermeiden und Ressourcen einsparen. Es ist zudem wichtig, die Mitarbeiter regelmäßig weiterzubilden, damit sie in der Lage sind, Probleme zu erkennen und entsprechend zu reagieren.

Die Möglichkeiten zur technischen Optimierung von Produktionsprozessen sind vielseitig und abhängig vom Prozess. Im ersten Schritt kann hinsichtlich der Fertigungsprozessauswahl hinterfragt werden, ob es einen alternativen, ressourceneffizienteren Fertigungs-



prozess gibt. Ein solcher Technologiewechsel stellt eine tiefgreifende Veränderung dar, die oftmals auch mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Weniger tiefgreifend ist das Überprüfen und Hinterfragen von Prozessparametern im bestehenden Fertigungsprozess.

Sind im Unternehmen spanende Prozesse vorhanden, lohnt sich bei diesen zu prüfen, ob eine Minimierung des Bearbeitungsvolumens denkbar ist, sprich der Einsatz von endkonturnahen Rohlingen. In diesem Zusammenhang empfiehlt es sich Produktentwickler, aber auch den Lieferanten der Rohlinge hinzuzuziehen. Neben der Reduktion des Bearbeitungsvolumens bietet bei spanenden Prozessen Minimalmengenschmierung oder auch Trockenbearbeitung Potenziale zur Einsparung von Ressourcen.

In Produktionsprozessen fallen Verluste und Ausschuss an, die geplant oder ungeplant sein können. Geplante Verluste sind Verluste, die technisch bedingt anfallen

Logistik

Wurden die inner- und überbetrieblichen Logistikprozesse (Anlieferung, Eingangs-, Ausgangs- und Zwischenlager, Distribution etc.) bereits auf die folgenden Strategien zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz überprüft?

	Ja	Nein Informationen und Beispiele zur Strategie
Vermeiden von Verlust durch die Entsorgung von fertigen Produkten (z. B. Überproduktion, Nachfolgermodelle)		Seite 54
Vermeiden von Verlust durch Entsorgung eingekaufter Materialien (z. B. Transportschäden, Qualitätsmängel, große Materialbestände)		Seite 55
Vermeiden von Verlust durch unsachgemäße Lagerung/Überlagerung (z. B. Verderblichkeit, Witterungseinflüsse)		Seite 56
Effizienter Transport		Seite 66
Eindeutige und vollständige Produktdokumentation		Seite 68
Detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe		Seite 69
Mitarbeiterqualifikation/-Mitarbeiterpotenzial		Seite 70

Abbildung 3 Strategien für den Unternehmensbereich Logistik

wie z. B. Stanzgitter oder Stoffreste beim Legen und Zuschneiden von Schnittmustern. Inzwischen stehen mit sogenannter Nestingsoftware Programme zur Verfügung, die bei der optimalen Anordnung von Stanz- oder Schnittmustern unterstützen. Neben der Anordnung der Teile kann auch eine veränderte Abmessung des Ausgangsmaterials zur Reduktion von Verlusten beitragen. In diesem Fall empfiehlt sich ebenfalls die Kontaktaufnahme zum Rohmateriallieferanten. In manchen Fällen kann geplanter Verlust, z. B. Angüsse im Spritzguss, je nach Material wieder eingeschmolzen oder regranuliert und dem Prozess wiederum zuge-

führt werden. Diese Kreislaufführung ist gegenüber einer Entsorgung der Verluste zu bevorzugen, jedoch muss für die Verwendung der Verluste wiederum Energie eingesetzt werden. Geplanter Ausschuss hingegen entsteht beim Anfahren von Maschinen oder bei Rüstprozessen. Geeignete Maßnahmen sind hierbei die Optimierung der Losgrößen, Standardisierung von Rüstvorgängen, paralleles Rüsten und die Eliminierung von Justiervorgängen, was allerdings eine sehr gute Prozessbeherrschung voraussetzt. Darüber hinaus stellen Produkte oder Bauteile, die nachgearbeitet werden müssen, einen Ansatzpunkt für Einsparungen dar.

Im Hinblick auf Hilfs- und Betriebsstoffe sollte die Möglichkeit einer Substitution überprüft werden. Existieren bspw. alternative Stoffe, die länger genutzt werden können oder biobasierte Alternativen. Neben Alternativen kann auch die Kaskadennutzung der Hilfs- und Betriebsstoffe in Prozessen mit geringeren Qualitätsanforderungen überprüft werden. Abgesehen von den Kernprozessen können Ineffizienzen in der Produktion auch in Hilfsprozessen wie der Bereit-

stellung von Wärme, Kälte oder Druckluft vorliegen. Diese sollten neben den Kernprozessen ebenfalls betrachtet werden. Weiterhin sollten Möglichkeiten zur Verminderung des Energieverbrauchs z. B. durch Isolierungen von Maschinenteilen oder gezieltes Abschalten von Maschinen überprüft werden. Sofern in der Produktion Abwärme anfällt, sollten die Potenziale ihrer Nutzung untersucht werden.

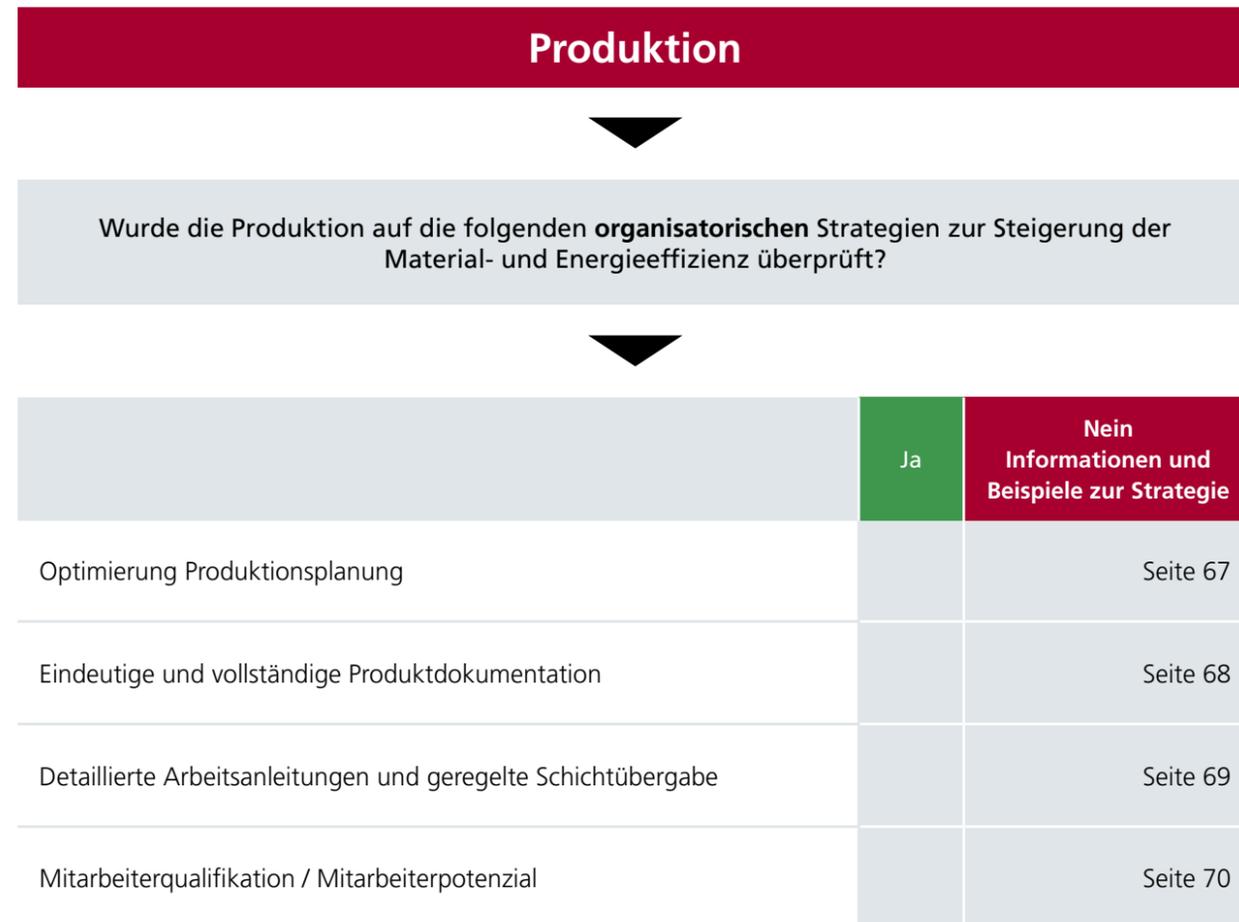


Abbildung 4 Organisatorische Strategien für den Unternehmensbereich Produktion



Abbildung 5 Technische Strategien für den Unternehmensbereich Produktion

Produkt

Die Ansatzpunkte zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Bereich der Produkte sind ebenfalls vielfältig und individuell. Neben den Materialeffizienzpotenzialen, die durch eine veränderte Konstruktion des Produkts realisiert werden können, hat die Konstruktion des Produkts auch Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch in der Produktion, z. B. Energieverbrauch aufgrund einer langen Bearbeitungszeit oder einer Wärmebehandlung.

Die Weichen für ein material- und energieeffizientes Produkt werden bereits bei seiner Entwicklung gestellt. Wichtige Punkte hierbei sind die Werkstoffauswahl, die Konstruktionsweise (z. B. Leichtbau) sowie die Überprüfung der Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit. Ebenso sollten Möglichkeiten zur Verlängerung der technischen Produktlebensdauer und der Produktnutzungsdauer wie etwa Reparierbarkeit, Remanufacturing oder Kaskadennutzung evaluiert werden.



Da auch die Nutzung von Produkten mit dem Verbrauch von Ressourcen i. d. R. Energie verbunden ist, sollte überlegt werden, inwiefern Verhaltenshinweisen für die Nutzer zu einem geringeren Ressourcenverbrauch in der Nutzungsphase und einer möglichst langen Lebensdauer beitragen können.

Abgesehen vom Produkt selbst, können durch Optimierung der Verpackung Materialien eingespart werden. Dabei sollten sowohl die innerbetrieblich genutzten Verpackungen als auch die Verpackung für den Transport zum Kunden betrachtet werden. Im Hinblick auf die Verpackung können z. B. die verwendeten Materialien, die Dimensionierung der Verpackung oder auch der Einsatz von Mehrwegverpackungen überprüft werden.

Produkt		
▼		
Wurde das Produkt auf die folgenden Strategien zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz überprüft?		
▼		
	Ja	Nein Informationen und Beispiele zur Strategie
Werkstoffauswahl / Materialsubstitution		Seite 31
Leichtbauweise		Seite 32
Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit		Seite 33
Miniaturisierung		Seite 34
Fertigungsgerechte Produktgestaltung		Seite 34
Nutzungsgerechte Produktgestaltung		Seite 35
Verlängerung der technischen Produktlebensdauer		Seite 36
Verlängerung der Produktnutzungsdauer		Seite 37
Produkt-Service-Systeme (Dematerialisierung)		Seite 38
Kaskadennutzung von Produkten		Seite 38
Reparierbarkeit		Seite 39
Recyclinggerechte Produktgestaltung		Seite 40
Remanufacturing		Seite 41
Bedienungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten		Seite 42
Ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung		Seite 43

Abbildung 6 Strategien für den Unternehmensbereich Produkt

Gebäudemanagement

Neben der Logistik, dem Produkt und den Produktionsprozessen finden sich auch im Bereich des Gebäudemanagements Möglichkeiten, die Material- und Energieeffizienz zu steigern. Hierbei stehen die Versorgung der Produktions- und Bürogebäude mit Strom, Wärme, Kälte und Wasser, aber auch die Bausubstanz der Gebäude im Mittelpunkt. Optionen für Verbesserungen sind u. a. das Vermindern des Energieverbrauchs durch bspw. den Einsatz energiesparender Leuchtmittel oder das bedarfsgerechte Abschalten von Maschinen und Anlagen. Weitere Einsparmöglichkeiten ergeben sich durch die Gestaltung der Gebäudehülle, z. B. das Anbringen einer Wärmedämmung oder durch die Nutzung von Prozess- und Abwärme. Umweltseitige Einsparungen lassen sich durch den Einsatz erneuerbarer Energiequellen wie etwa Photovoltaik realisieren. Insbesondere beim Neubau von Produktions- oder



Bürogebäuden können Maßnahmen für einen geringen Material- und Energieverbrauch des Gebäudes gut evaluiert, geplant und umgesetzt werden. Gebäude sollten ebenfalls über ihren ganzen Lebenszyklus von den eingesetzten Materialien über die Nutzung bis hin zum Rückbau und Rückführung der Materialien in den Wertstoffkreislauf betrachtet werden. Abgesehen von technischen Maßnahmen zur Reduktion der Verbräuche können die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter als Nutzer der Einrichtungen oder Bediener der Maschinen einen Beitrag leisten, weshalb sie geschult und aktiv eingebunden werden sollten.

Gebäudemanagement



Wurden das Gebäudemanagement bereits auf die folgenden Strategien zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz überprüft?



	Ja	Nein Informationen und Beispiele zur Strategie
Vermindern des Energieverbrauchs		Seite 57
Effiziente Energiebereitstellung		Seite 59
Nutzung von Prozess- und Abwärme		Seite 60
Effiziente Gebäudeinfrastruktur		Seite 61
Effiziente Gebäudehülle		Seite 62
Mitarbeiterqualifikation/-Mitarbeiterpotenzial		Seite 70

Abbildung 7 Strategien für den Unternehmensbereich Gebäudemanagement

Informationen und Beispiele zu Strategien

**STRATEGIE 1:
WERKSTOFFAUSWAHL / MATERIALSUBSTITUTION**

Die Werkstoffauswahl ist entscheidend für die Ressourcenanspruchnahme eines Produkts in allen Phasen des Lebenswegs. Effizienz durch Materialsubstitution umfasst den Einsatz von Sekundärrohstoffen, von Rohmaterial mit umweltverträglicheren und effizienteren Herstellungsprozessen oder aus nachwachsenden Roh-

stoffen. Bei nachwachsenden Rohstoffen muss jedoch sichergestellt sein, dass nicht mehr verbraucht wird, als im gleichen Zeitraum nachwachsen kann, der Anbau umweltverträglich erfolgt und keine Flächennutzungskonkurrenzen mit der Nahrungsmittelproduktion vorliegen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 40)

Tabelle 11 Leitfragen Werkstoffauswahl / Materialsubstitution

LEITFRAGEN WERKSTOFFAUSWAHL / MATERIALSUBSTITUTION

Welche Werkstoffe werden im Produkt eingesetzt?

Wurde bereits über einen anderen Werkstoff nachgedacht?	JA	NEIN
--	----	------

Falls ja, welcher Werkstoff könnte durch einen anderen ersetzt werden? was wäre der alternative Werkstoff? warum wurde die Materialsubstitution nicht realisiert?

Wurde der mögliche Einsatz von Sekundärrohstoffen bereits überprüft?	JA	NEIN
---	----	------

Praxisbeispiele

Die Herstellung von Magneten auf Basis von Neodym und anderen geeigneten Materialien ist ein ressourcenintensiver Prozess. Daher hatte man bei der **OBE GmbH & Co. KG** die Idee, Neodym-Eisen-Bor-Magnete (NdFeB-Magnete) aus ausgedienten Gebrauchsgütern wiederzuerwerten. Aus den gebrauchten Magneten sollte ein NdFeB-Pulver hergestellt und aufbereitet werden, das zu neuen magnetischen Komponenten verarbeitet werden kann. Die Formgebung erfolgt durch Spritzgießen oder 3D-Drucken einer mit dem Magnetpulver gefüllten Kunststoffmatrix, anschließend wird der Kunststoff dem Bauteil wieder entzogen (Entbindern und Sintern). Neben dem enormen Einsparpotenzial an Rohstoffen kann eine geschätzte Energieersparnis im Fertigungsprozess von rund 30 % erreicht werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 168-171)



Die **Springfix-Befestigungstechnik GmbH** produziert Toleranzausgleichselemente, die aus sieben Einzelteilen bestehen, welche alle bis auf eines aus Stahl gefertigt werden. Fünf der sechs Stahlteile werden vergütet und im Anschluss galvanisch veredelt. Ziel war es, das Vergüten und Galvanisieren zu reduzieren oder zu eliminieren sowie eine Rohstoffeinsparung durch Änderung des Produktdesigns. Als Ergebnis konnten vier Einzelteile in zwei Kunststoffbauteilen zusammengefasst werden. Durch weitere Optimierungen konnte je nach Einsatzgebiet entweder der Z-Clip samt Mutter ersetzt werden oder das Federelement entfallen. Durch die Materialsubstitution werden jährlich 740 t Eisenmetalle eingespart. Für 115 t Eisenmetalle entfällt die Vergütung und für weitere 335 t Eisenmetalle wird die Galvanisierung obsolet. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 160-163)



Die **GETA mbH** stellt Innenausbaulemente für Schienenfahrzeuge, Flugzeuge, Busse und Schiffe her. Für diese Elemente werden derzeit Vollholz, Sperrhölzer, Verbundmaterialien und Schaumkunststoffe eingesetzt. Gerade im Schienenfahrzeugbereich ist es von entscheidender Bedeutung, das Gewicht der einzelnen Elemente zu reduzieren. Die eingesetzten Vollholz- und Glasfaserverbundwerkstoffe wurden durch Naturfasern ersetzt.



Die Wahl fiel auf Flachfasern, die in einem neuen Formlegeprozess in eine stabile, wellenartige Form gebracht werden. Durch die Materialsubstitution konnten Gewichtseinsparungen von bis zu 50 % realisiert werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 242-245)

STRATEGIE 2: LEICHTBAUWEISE

Leichtbau betrifft die Verminderung des Werkstoffeinsatzes bei gleichbleibendem Werkstoff (z. B. Tailored Blanks), den Einsatz leichterer Werkstoffe (z. B. kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe) oder Veränderungen der Produktstruktur (z. B. Fachwerkstrukturen). Durch

Leichtbauweisen entstehen bei mobilen Produkten Effizienzsteigerungen in der Nutzungsphase. Werden zum Erreichen geforderter Festigkeitswerte Verbundwerkstoffe eingesetzt, können jedoch Ineffizienzen bei der Verwertung entstehen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 40)

Tabelle 12 Leitfragen Leichtbauweise

LEITFRAGEN LEICHTBAUWEISE		
Kann ein leichter Werkstoff für das Produkt verwendet werden?	JA	NEIN
Kann die Produktstruktur (z. B. Fachwerkstrukturen) verändert werden?	JA	NEIN
Falls ja, weshalb wurde die Leichtbaulösung bisher nicht realisiert?		

Praxisbeispiele

Im Zuge der Ersatzbeschaffung eines Spritzgusswerkzeugs wurde bei **Interstuhl Büromöbel GmbH & Co. KG** das Design eines Fußkreuzes überarbeitet. Um den Anforderungen hinsichtlich Kippsicherheit gerecht zu werden, sollte der Durchmesser vergrößert werden und gleichzeitig der Materialeinsatz minimiert werden. In einem Design for Environment-Prozess wurde das Fußkreuz mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) neugestaltet. Das Gewicht des Fußkreuzes konnte von 1,85 kg auf 1,58 kg reduziert werden, was einer Einsparung von 0,27 kg entspricht. Bei 250.000 Einheiten pro Jahr entspricht das 67,5 t Polyamid im Wert von ca. 100.000 Euro. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 246-249)



STRATEGIE 3: BEANSPRUCHUNGSGERECHTHEIT UND SICHERHEIT

In der Konstruktionspraxis werden häufig hohe Sicherheitsreserven angesetzt. Beanspruchungsgerechtes Konstruieren erfolgt gemäß dem Leitsatz „So wenig wie möglich, so viel wie nötig“. Zu hohe Sicherheitsanforderungen wirken sich jedoch negativ auf die Materialeffizienz aus. (VDI 4800 Blatt 1, S. 40)

Tabelle 13 Leitfragen Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit

LEITFRAGEN BEANSPRUCHUNGSGERECHTHEIT UND SICHERHEIT		
Enthält das Produkt mehr „Sicherheit“ als notwendig/vorgeschrieben?	JA	NEIN
Falls ja, geht mit dieser Überdimensionierung ein erhöhter Materialverbrauch einher? was sind die Gründe für diese Überdimensionierung?		

Praxisbeispiele

Die **HEWI G. Winker GmbH & Co. KG** produziert Muttern, die hohes Potenzial für geometrischen und stofflichen Leichtbau besitzen. Die Hauptgründe dafür sind die Vielzahl an Verbindungselementen in allen technischen Anwendungen sowie normativ bedingte (Über-)Dimensionierung. Das Unternehmen verfolgte daher das Ziel, eine geometrisch und stofflich optimierte Leichtbaumutter zu realisieren. Im Zuge der Optimierung würden Teilvolumina reduziert, die nicht unmittelbar zur Tragfähigkeit beitragen. Zudem werden mikrolegierte, bainitische Stahlwerkstoffe verwendet, wodurch die Glühbehandlung entfallen kann. Bei einem Jahresbedarf von 20 Mio. Muttern können jährlich 260 t Stahl, 252 MWh Strom und 117.600 m³ Erdgas eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 138-141)



Die **Hirschmann Automation and Control GmbH** ist Spezialist für Automatisierungs- und Netzwerktechnologie. Im Rahmen einer Analyse wurde bei der in Sensoren verbauten Produktteilkomponente „Schleifring“ festgestellt, dass die Verarbeitung von Gold als Kontaktmaterial in den herkömmlichen Dimensionen heute nicht mehr zeitgemäß ist. Daher wurde nach Lösungen zur Minimierung von Gold als Kontaktmaterial oder Substitution gesucht. Durch eine Konstruktionsänderung konnte eine optimierte Teilbeschichtung des Schleifrings erreicht werden. Im gleichen Zug wurden die Galvanikprozesse verbessert. Durch die Teilgalvanisierung, bei der weniger Fläche beschichtet wird, konnten bei den Federkontakten 70 % und bei den Schleifringen 60 % weniger Gold verwendet werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 194-197)



**STRATEGIE 4:
MINIATURISIERUNG**

Unter Miniaturisierung versteht man die Entwicklung und Herstellung kleinerer, mechanischer, mechatronischer und elektronischer Bauelemente, Baugruppen und Geräte, die eine Vielzahl elektronischer Bauelemente oder Funktionselemente auf kleinstem Raum

enthalten können. Prinzipiell bestehen große Potenziale in Bezug auf den Werkstoffverbrauch. Fertigungsaufwand und Rebound-Effekte können dem entgegenwirken. (VDI 4800 Blatt 1, S. 40)

Tabelle 14 Leitfragen Miniaturisierung

LEITFRAGEN MINIATURISIERUNG		
Gibt es beim Produkt die Möglichkeit Komponenten zu verkleinern?	JA	NEIN
Gibt es beim Produkt die Möglichkeit Funktionen verschiedener Elemente in einem Element zusammenzufassen?	JA	NEIN
Falls ja, weshalb wurden die Möglichkeiten bisher nicht realisiert?		

Praxisbeispiele

In den Fahrzeugen der **Daimler AG** ist serienmäßig ein Start-Stopp-System integriert. Um den kurzzeitigen Spannungsabfall im Bordnetz beim Motorstart zu vermeiden, kommen eine zweite Batterie sowie zwei elektronische Schalter zum Einsatz. Diese Lösung ist mit einem hohen Ressourcenverbrauch, Kosten, Gewicht und Baumraumbedarf verbunden. Die bisher eingesetzten Komponenten wurden durch eine einzige deutlich kleinere Komponente, den Spannungseinbruchsbegrenzer, ersetzt. Durch den Verzicht auf die Stützbatterie werden Materialien wie Blei, Schwefelsäure, Kupfer und Gold eingespart. Weitere Vorteile ergeben sich durch Zeitersparnis beim Fahrzeugbau, einem geringeren Wartungsaufwand und einem reduzierten Kraftstoffverbrauch in der Nutzungsphase. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 224-227)



**STRATEGIE 5:
FERTIGUNGSGERECHTE PRODUKTGESTALTUNG**

Neben Effizienzpotenzialen im Fertigungsprozess selbst können durch Design for Manufacturing Ausschuss und Nacharbeit vermindert werden. Beispiele: Kleben anstelle von Schrauben oder Nieten, gleiche Verbindungselemente und damit Werkzeuge bei der Mon-

tage, Nutzung von Produktbestandteilen als Aufnahme oder Anschlag, verdrehsichere Produktkonturen. Zielkonflikte im Recycling und beim Materialverbrauch können dabei auftreten. (VDI 4800 Blatt 1, S. 42)

Tabelle 15 Leitfragen fertigungsgerechte Produktgestaltung

LEITFRAGEN FERTIGUNGSGERECHTE PRODUKTGESTALTUNG		
Kommen unterschiedliche Verbindungselemente beim Produkt zum Einsatz?	JA	NEIN
Könnten die unterschiedlichen Verbindungselemente vereinheitlicht werden?	JA	NEIN
Könnten die Anzahl der Teile, aus denen das Produkt besteht, reduziert werden?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **Keller Lufttechnik GmbH + Co. KG** entwickelt und produziert Filteranlagen für nahezu alle Industriebereiche. Aufgrund der Neuzertifizierung einer Rückschlagklappe, die in Entstaubungsanlagen zum Einsatz kommt, wurde deren Design überarbeitet. Bei der überarbeiteten Rückschlagklappe kann der Bearbeitungsschritt Runden aufgrund eines vermehrten Abkantens entfallen, wodurch der Ausschuss von 4 % auf 1 % reduziert werden konnte. Darüber hinaus besteht die Rückschlagklappe nun aus weniger Einzelteilen, was zu einer Minimierung des Verschnitts führt. Zapfenverbindungen in der Schweißbaugruppe führen zudem zu einem vereinfachten Schweißen und minimieren den Ausschuss weiter. Das vermehrte Abkanten reduziert die Anzahl an Schweißnähten und die konstruktiven Optimierungen führen zu einer Verringerung des Overspray beim Lackieren. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 192-195)



**STRATEGIE 6:
NUTZUNGSGERECHTE PRODUKTGESTALTUNG**

Die Nutzungsphase stellt bei aktiven (energieverbrauchenden) Produkten in der Regel die ressourcenintensivste Lebensphase dar. Das Produktkonzept und die konstruktive Umsetzung haben einen großen Einfluss auf die nutzungsbedingten Ressourceninanspruchnahmen. Darüber hinaus kann das Nutzerverhalten durch konstruktive Maßnahmen positiv beeinflusst

werden. Wesentliche Maßnahmen zur nutzungsgerichteten Produktgestaltung umfassen die Ermöglichung eines umweltgerechten Betriebes, ein zeitloses Design, einen modularen Aufbau sowie das Optimieren des Nutzerverhaltens z.B. durch Verhinderung von Fehlnutzung und Entfall unnötiger Funktionen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 42)

Tabelle 16 Leitfragen nutzungsgerechte Produktgestaltung

LEITFRAGEN NUTZUNGSGERECHTE PRODUKTGESTALTUNG		
Verbraucht das Produkt Energie?	JA	NEIN
Kann das Produkt konstruktiv verändert werden, um den Energieverbrauch in der Nutzungsphase zu reduzieren?	JA	NEIN
Falls ja, wie könnte eine Veränderung aussehen?		
Sind Produktfunktionen möglich, die den Nutzer dabei unterstützen, den Energieverbrauch in der Nutzungsphase zu reduzieren?	JA	NEIN
Falls ja, welche Produktfunktionen wären denkbar?		

Praxisbeispiele

Die **Groz-Beckert KG** ist Anbieter von industriellen Maschinennadeln, Präzisionsteilen und Feinwerkzeugen für die Herstellung und Fügung von textilen Flächen. Das Unternehmen hat bei einer seiner Nadeln für Rundstrickmaschinen die Schaftdicke partiell reduziert. In der Folge führt das zu einer Reduktion des Stromverbrauchs der Maschine um bis zu 20 % und einer Senkung der Maschinentemperatur um etwa 17 %. Zusätzlich kann der Ölverbrauch reduziert werden und die maximal mögliche Maschinendrehzahl genutzt werden. (Groz-Beckert, 2022)



**STRATEGIE 7:
VERLÄNGERUNG DER TECHNISCHEN
PRODUKTLEBENSDAUER**

Die technische Produktlebensdauer ist die Zeitspanne bis zum Ausfall eines Produkts. Führt schneller technologischer Wandel bei Nachfolgeprodukten zu steigender Effizienz in der Nutzungsphase, kann eine vorzeitige Außerbetriebnahme insgesamt günstiger sein.

Maßnahmen, um die Lebensdauer eines Produktes zu maximieren: Vorsehen eines hohen Abnutzungsvorrats, Ermöglichen von Wartung und Reparatur usw. (VDI 4800 Blatt 1, S. 42)

Tabelle 15 Leitfragen Verlängerung der technischen Produktlebensdauer

LEITFRAGEN VERLÄNGERUNG DER TECHNISCHEN PRODUKTLEBENSDAUER			
Wie lang ist die technische Lebensdauer des Produkts?			
Könnte die Lebensdauer verlängert werden?	<table border="1"> <tr> <td>JA</td> <td>NEIN</td> </tr> </table>	JA	NEIN
JA	NEIN		
Falls ja, gibt es bereits Ideen wie eine Verlängerung der Produktlebensdauer erreicht werden könnte und wie sehen diese aus?			

Praxisbeispiele

Die **Aqseptence Group GmbH** stellt Ausrüstungen zur mechanischen Wasseraufbereitung her. Ein Teil dieser Anlagen ist die Antriebsgruppe des Schalengreiferrechens. Die Antriebswelle und die Seiltrommel wurden bisher in einem Stück aus einem Stahlrohr gefertigt. Beim Ausgangsmaterial handelt es sich in Durchmesser und Wandstärke um eine Sonderanfertigung. Zum Antrieb gehören Seile, die ebenfalls aus Edelstahl bestehen und Kontakt zum Wasser haben. Durch die Reibungskräfte an den drei Seilrillungen und Umwelteinflüsse kommt es zu Verschleiß und Korrosion. Die einteilige Bauform ist wenig montagefreundlich, da bei der Wartung der Antriebswelle ein kompletter Austausch notwendig ist, auch wenn nur eine der Seilrillungen beschädigt ist. Die überarbeitete Antriebsgruppe umfasst eine Basiswelle in einer genormten Dimension mit wesentlich reduziertem Durchmesser. Die Seiltrommeln werden als horizontal geteilte Halbschalen aus einem Polyamid-Gusswerkstoff hergestellt. Die Seiltrommeln können einzeln ausgetauscht werden. Die Verminderung der Reibung zwischen Seil und Rillung verhindert Verschleiß und Korrosion und verlängert die Wartungsintervalle. Die Übernahme der Anschlussgeometrie von bestehenden Anlagen gewährleistet die Austauschbarkeit des Seilantriebs bei Altanlagen im Anlagenbestand, wodurch die Nutzungsdauer der Anlagen verlängert wird. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 188-191)



**STRATEGIE 8:
VERLÄNGERUNG DER PRODUKTNUTZUNGSDAUER**

Die Produktnutzungsdauer ist die Zeitspanne bis zur Außerbetriebnahme eines (zumeist funktionsfähigen) Produkts. Führt schneller technologischer Wandel zu steigender Effizienz in der Nutzungsphase, kann eine vorzeitige Außerbetriebnahme insgesamt günstiger

sein. Maßnahmen um die Nutzungsdauer eines Produktes oder von Teilen eines Produktes zu maximieren: zeitloses Design, modularer Aufbau, Erweiterbarkeit, Aufrüstbarkeit, Funktionsupdates/-upgrades, Kaskadennutzung usw. (VDI 4800 Blatt 1, S. 42)

Tabelle 16 Leitfragen Verlängerung der Produktnutzungsdauer

LEITFRAGEN VERLÄNGERUNG DER PRODUKTNUTZUNGSDAUER			
Wie lange ist die Nutzungsdauer des Produkts üblicherweise?			
Aus welchen Gründen wird das Produkt durch ein neues ersetzt?			
Könnte die Nutzungsdauer des Produkts verlängert werden?	<table border="1"> <tr> <td>JA</td> <td>NEIN</td> </tr> </table>	JA	NEIN
JA	NEIN		
Falls ja, gibt es bereits Ideen wie eine Verlängerung der Nutzungsdauer erreicht werden kann und wie könnte diese aussehen?			

Praxisbeispiele

Bei der **Robert Bosch GmbH** wurde 2008 das Maschinen-Re-Use-Team gegründet. Das Team hat die Aufgabe, alle frei werdenden Maschinen aus dem Geschäftsbereich Diesel Systems an verschiedenen Fertigungsstandorten einer wirtschaftlichen Weiterverwendung zuzuordnen, diese weltweit zu koordinieren und somit Neuinvestitionen zu reduzieren. Jede Maschine, die in die interne Vermarktung geht, wird durch Nachrüstungen auf den aktuell höchsten Standard gebracht, der beim jeweiligen Maschinentyp möglich und ökonomisch sinnvoll ist. Seit Beginn konnten etwa 1.600 Maschinen einer Weiterverwendung zugeführt werden. Dadurch wurden etwa 6.000 t Stahl, 500 t Aluminium, 141 t Kupfer und 282 t Kunststoff eingespart. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 150-153)



**STRATEGIE 9:
PRODUKT-SERVICE-SYSTEME
(DEMATERIALIZIERUNG)**

Produkt-Service-Systeme bedeuten den Verkauf von Nutzen anstelle von Produkten. Sie unterstützen damit eine Entkopplung des Ressourceneinsatzes vom Nutzen (Dematerialisierung). Das Produkt verbleibt im Besitz des Herstellers, woraus Anreize zur nutzungs- und re-

yclinggerechten Produktgestaltung oder zu einer Verlängerung der Produktlebensdauer bestehen. Produkt-Service-Systeme sind bei geringer Nutzungsintensität dem Besitz von Gütern vorzuziehen. Beispiele: Leasing, Mieten und Teilen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 42)

Tabelle 17 Leitfragen Produkt-Service-Systeme (Dematerialisierung)

LEITFRAGEN PRODUKT-SERVICE-SYSTEME (DEMATERIALIZIERUNG)		
Sind Produkt-Service-Systeme eine Option für das Produkt (z. B. Leasing, Mieten etc.)?	JA	NEIN
Falls ja, aus welchen Gründen wurde diese Option bisher nicht umgesetzt?		

Praxisbeispiele

Die **Tiefenbacher GmbH** bieten ihren Kunden ein Chemikalienleasing, in ihrem Fall Entlackungsmittel. Dabei bleibt das Entlackungsmittel Eigentum des Unternehmens. Die erschöpften Bäder bzw. der abgelöste Lack durchlaufen im Unternehmen einen Recyclingprozess. Die daraus gewonnen Lösungsmittel gehen in Form von frischem Entlackungsmittel wieder zurück in den Kreislauf. Der Kunde nutzt die Leistung des Entlackungsmittels, während das Unternehmen Eigentümer des Lösungsmittels bleibt. Das Leasing trägt dazu bei pro Jahr etwa 43 t an gefährlichen Abfällen zu vermeiden. (Tiefenbacher GmbH, 2022)



**STRATEGIE 10:
KASKADENNUTZUNG VON PRODUKTEN**

Kaskadennutzung bedeutet die Weiternutzung eines Produkts in einem Anwendungsbereich mit geringeren technischen Anforderungen im Vergleich zur Erstinutzung des Produkts. Beispiele: Weiternutzung eines

Bürocomputers in einem privaten Haushalt, Weiternutzung einer Fahrbatterie in einem stationären Batteriespeicher. (VDI 4800 Blatt 1, S.44)

Tabelle 18 Leitfragen Kaskadennutzung von Produkten

LEITFRAGEN KASKADENNUTZUNG VON PRODUKTEN		
Besteht die Möglichkeit das Produkt intern oder extern in einem Anwendungsbereich mit geringeren technischen Anforderungen weiter zu nutzen?	JA	NEIN
Falls ja, aus welchen Gründen wurde die Option bisher nicht umgesetzt?		

Praxisbeispiele

Die **Bäckerei Beckmann GmbH & Co. KG** hat die Trennung ihrer nicht verkauften Backwaren optimiert, dadurch kann das nicht verkaufte Roggenmischbrot (etwa 200 kg/Tag) zu Futter-Snacks für Pferde verarbeitet werden. Das bringt gleich zwei Vorteile für das Unternehmen: zusätzliche Einnahmen durch das neue Produkt und Reduktion des Abfallaufkommens um 60 t pro Jahr. (Effizienz-Agentur NRW, 2013)



**STRATEGIE 11:
REPARIERBARKEIT**

Reparierbarkeit ist eine Qualitätseigenschaft, deren Ausprägung den Aufwand für Fehlerlokalisierung und -behebung beeinflusst. Reparierbarkeit ermöglicht Nutzungsdauerverlängerung und unterstützt die gleichmäßige Ausnutzung des Abnutzungsvorrats aller

Komponenten eines Produkts. Reparierbarkeit bei deutlich höherem Aufwand ist nicht uneingeschränkt sinnvoll, beispielsweise bei Produktgruppen, die schnellem technologischen Wandel unterliegen. (VDI 4800 Blatt1, S. 44)

Tabelle 19 Leitfragen Reparierbarkeit

LEITFRAGEN REPARIERBARKEIT		
Kann das Produkt gut repariert werden?	JA	NEIN
Falls nein, weshalb lässt sich das Produkt nicht gut reparieren? gibt es Möglichkeiten die Reparierbarkeit des Produkts zu verbessern?		

Praxisbeispiele

Die **VISSMANN Group GmbH & Co. KG** entwickelt und produziert Heiztechnikprodukte für alle Energieträger und Anwendungsbereiche. Die Produkte des Unternehmens zeichnen sich durch ihre Langlebigkeit von bis zu 20 Jahren aus. Um die Reparierbarkeit der Produkte sicherzustellen, werden für diesen Zeitraum Ersatzteile vorgehalten und über Nacht geliefert. (Stiftung Deutscher Nachhaltigkeitspreis e.V., 2022)



**STRATEGIE 12:
RECYCLINGGERECHTE PRODUKTGESTALTUNG**

Bei der Produktgestaltung sollten bereits potenzielle Recyclingverfahren bedacht und Produkte dahingehend angepasst werden. Wiederverwendung (Kaskadennutzung) ist dem Materialrecycling in der Regel vorzuziehen. Beispiele: Vermeiden von Klebeverbindungen, Markieren von Kunststoffsorten, Reduzierung

der Materialvielfalt in einem Produkt, Komponentenbauweise für (teilweise) Wiederverwendung. Mehraufwendungen einer recyclinggerechten Produktgestaltung bringen bei mülltonnengängigen Produkten oftmals keinen Nutzen (siehe auch VDI 2243, VDI 2343). (VDI 4800 Blatt 1, S. 44.)

Tabelle 20 Leitfragen recyclinggerechte Produktgestaltung

LEITFRAGEN RECYCLINGGERECHTE PRODUKTGESTALTUNG		
Wie wird das Produkt üblicherweise entsorgt?		
Lassen sich das Produkt oder Teile davon recyceln?	JA	NEIN
Falls ja, lässt sich der Anteil noch steigern und wenn ja wie?		
Falls nein, aus welchen Gründen lassen sich das Produkt oder Teile davon nicht recyceln?		

Praxisbeispiele

Die **OPED GmbH** fertigt Vakuumschienen, die nach Verletzungen an Arm oder Bein den Gips ersetzen. Die Schienen sind so konstruiert, dass sich möglichst viele Bauteile wiederverwenden lassen. Eine Schiene bringt es so durchschnittlich auf vier Einsätze. Die Schienen werden nicht verkauft, sondern an den Patienten verliehen, nach dem Ende der Behandlung lässt der Kunde die Schiene kostenlos vom Paketdienst abholen. (OPED GmbH, 2022)



**STRATEGIE 13:
REMANUFACTURING**

Eine Möglichkeit zur Aufbereitung gebrauchter Produkte ist das Remanufacturing. Ziel ist es, ein gebrauchtes Produkt hinsichtlich Qualität und Funktion auf den Standard eines neuen Produkts zu bringen.

Hierfür wird das Produkt i. d. R. vollständig zerlegt und die Komponenten überprüft und gegebenenfalls ersetzt.

Tabelle 21 Leitfragen Remanufacturing

LEITFRAGEN REMANUFACTURING		
Gibt es die Möglichkeit die eigenen Produkte wiederaufzubereiten?	JA	NEIN
Gibt es die Möglichkeit Komponenten der Produkte wiederzuverwenden?	JA	NEIN
Falls ja, wurde bereits über ein Remanufacturing-Konzept nachgedacht?	JA	NEIN
Falls ja, aus welchen Gründen wurde es bisher nicht realisiert/kann es nicht umgesetzt werden?		
Wurde bereits mit den Kunden über ein Remanufacturing-Konzept gesprochen?	JA	NEIN
Falls ja, wie fiel die Resonanz der Kunden aus?		

Praxisbeispiele

Die **Lorenz GmbH & Co. KG** ist auf Wasser- und Funkwasserzähler spezialisiert. Diese bestehen im Wesentlichen aus einem Kunststoffzählwerk und einer Hydraulik aus Messing. Nachdem konstruktiv bereits ein Höchstmaß an Materialeffizienz erzielt worden war, macht sich Lorenz nun die Wiederverwertbarkeit von Messing systematisch zunutze. Aufgrund des Eichgesetzes und der Messgenauigkeit müssen Wasserzähler in regelmäßigen Intervallen ausgetauscht werden, auch wenn viele Bestandteile noch einwandfrei funktionieren. Bei Lorenz werden die Wasserzähler daher zur Zerlegung und Wiederaufbereitung zurückgenommen und die Bestandteile so in größtmöglichem Umfang dem Produktionskreislauf wieder zugeführt. Etwa 75 % des zurückgelieferten Materials können wiederverwendet werden und in 25 % der produzierten Wasserzähler kommt wiederverwendetes Material zum Einsatz. Das führt zu einer Reduktion des Neumaterialbedarfs um 30 % und einer jährlichen Energieeinsparung von 150 MWh. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 182-185)



Die **d&b audiotechnik GmbH & Co. KG** ist auf die Produktion von Lautsprechern und die dazugehörige Elektronik spezialisiert. Große Beschallungssysteme, die aus mehreren Lautsprechern bestehen, haben nicht selten ein Gewicht von 10 t. Die Produkte des Unternehmens bestehen aus robusten Hybridbauteilen aus Holz und Polyurethan-Spritzelastomer. Die Produkte sind auch nach vielen Jahren der Nutzung noch funktionsfähig und gut erhalten. Daher hat man sich für den Aufbau eines Remanufacturingprozesses entschieden. Durch die Aufbereitung von derzeit etwa 250 Lautsprechern pro Jahr können rund 85 t CO₂e vermieden werden. (vgl. Schmidt et al. 2023, S. 86-89)



**STRATEGIE 14:
BEDIENUNGSANLEITUNG MIT HINWEISEN ZUM
NUTZERVERHALTEN**

Das Nutzerverhalten hat bei vielen Produkten einen wesentlichen Einfluss auf die Ressourceninanspruchnahme in der Nutzungsphase, aber auch auf die Produktlebensdauer und folglich die Ressourceninanspruchnahmen im gesamten Lebensweg. Ressourceneffizienzpotenziale in der Nutzungsphase liegen im Vermeiden von Fehlbedienung oder Fehlnutzung, wel-

che zu erhöhten Ressourceninanspruchnahmen in der Nutzung oder durch Schäden am Produkt führen können. Beispiele: Hinweise zum Laden für Akkus, zum Energiebedarf im Betrieb und Standby, zum Einfluss der Nutzungsart auf die Abnutzung der Produktkomponenten, zur Wartung, zu Reparaturmöglichkeiten und zur Entsorgung. (VDI 4800 Blatt 1, S. 44)

Tabelle 22 Leitfragen Bedienungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten

LEITFRAGEN BEDIENUNGSANLEITUNG MIT HINWEISEN ZUM NUTZERVERHALTEN		
Kann der Nutzer durch sein Verhalten die Lebensdauer des Produkts positiv beeinflussen?	JA	NEIN
Kann der Nutzer durch sein Verhalten den Ressourcenverbrauch des Produkts in der Nutzungsphase positiv beeinflussen?	JA	NEIN
Falls ja, werden bereits entsprechende Anleitungen mit Hinweisen zum Nutzerverhalten bereitgestellt?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Das Pharmaunternehmen **Boehringer Ingelheim GmbH & Co. KG** setzte bereits eine Vielzahl an technischen Maßnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs um. Der Energieverbrauch lässt sich jedoch nicht nur durch technische Maßnahmen reduzieren, sondern auch durch das Nutzerverhalten. Zur Erschließung dieser bisher unberührten Nutzerpotenziale wurden mehrere Maßnahmen umgesetzt. Eine davon ist eine Nutzersoftware zur Steuerung der Beleuchtung und Jalousien. In eine bestehende Software zur Steuerung der Lampen und Jalousien wurde eine Energieanzeige implementiert. So erhalten die Nutzer stetig Feedback zu ihrem aktuellen Energieverbrauch. Im Ergebnis konnte der Bedarf an elektrischer Energie um 50 % reduziert werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 100-103)



**STRATEGIE 15:
RESSOURCENEFFIZIENTE GESTALTUNG DER
VERPACKUNG**

Der optimale und zugleich ressourcenschonende Produktschutz impliziert minimales Verpackungsvolumen bzw. eine minimale Verpackungsmasse, auch zur Reduktion von Transportaufwendungen. Beispiele:

Mehrwegsysteme für Produkt- und Umverpackung, Anlieferung in Großbehältern zum verpackungsfreien Endverkauf von Kleinmengen, geeignete Verpackungsmaterialien und -struktur. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 44)

Tabelle 23 Leitfragen ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung

LEITFRAGEN RESSOURCENEFFIZIENTE GESTALTUNG DER VERPACKUNG		
Welche Materialien werden für der Verpackung der Produkte eingesetzt?		
Wurde bereits über ein anderes Verpackungsmaterial nachgedacht?	JA	NEIN
Falls ja, weshalb wurde über ein anderes Verpackungsmaterial nachgedacht? welches Verpackungsmaterial könnte durch ein anderes ersetzt werden und durch welches? aus welchen Gründen wurde die Materialsubstitution bisher nicht realisiert?		
Wurde bereits über ein anderes Verpackungsdesign nachgedacht?	JA	NEIN
Falls ja, was wären die Vorteile eines veränderten Verpackungsdesigns? aus welchen Gründen wurde die Veränderung des Verpackungsdesigns bisher nicht realisiert?		
Kommen bei internen Logistikprozessen Einwegverpackungen zum Einsatz?	JA	NEIN
Falls ja, gibt es die Möglichkeit auf Mehrweglösungen umzusteigen?	JA	NEIN
Falls nein, welche Gründe sprechen gegen einen Wechsel von Einweg- zu Mehrwegverpackungen?		

Praxisbeispiele

Die **Uzin Utz AG** produziert bauchemische Produkte für die Verlegung von Bodenbelägen. Grundierungen und Vorstriche werden üblicherweise in Kunststoffkanistern abgefüllt. Die Kunststoffkanister wurden durch eine alternative Verpackung mit geringeren Umweltwirkungen ersetzt. Die Wahl fiel auf ein Bag-in-Box-System, das aus einem wiederverschließbaren Kunststoffbeutel und einer Umverpackung aus Karton besteht. Im Vergleich zum Kanister können pro 5 kg-Gebinde etwa 75 % und pro 10 kg-Gebinde sogar knapp 85 % an Kunststoff eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 96-99)



Die **SaluVet GmbH** produziert Ergänzungsfuttermittel in Form von Pulvern. Das Pulver wurde bisher in Kombidosen, die aus Papier, Aluminium, Kunststoff und Weißblech bestehen, abgefüllt. Die Dosen wurden dabei leer vom Hersteller angeliefert. Um den Rohstoffverbrauch sowie das Abfallaufkommen beim Kunden zu reduzieren, wurde die Dose durch einen Kunststoffbeutel ersetzt. Dieser Beutel wiegt im Gegensatz zur Dose (ca. 76 g) nur noch 9 g. So können pro Jahr 3 t Papier, 0,2 t Aluminium, 0,5 t Kunststoff und 1,7 t eingespart werden. Neben den Materialeinsparungen ergeben sich weitere Einsparungen in der Logistik, so steht dem Unternehmen deutlich mehr Palettenstellfläche zur Verfügung (vgl. Schmidt et al. 2023, S. 46-49).



**STRATEGIE 16:
FERTIGUNGSPROZESSAUSWAHL UND
FERTIGUNGSPROZESSOPTIMIERUNG**

Fertigungsprozessoptimierung (Prozessentwicklung) umfasst das Entwickeln neuer Prozesse und die Parameteroptimierung an bestehenden Anlagen. Neue Fertigungsprozesse sind häufig Ergebnis intensiver Forschung. Die Fertigungsprozessauswahl erschließt sich aus dem Vorhandensein alternativer Betriebsmittel und Fertigungsverfahren. Beispiel: aufbauende/additive

statt herauslösende/herausarbeitende/subtraktive Herstellung von Produktstrukturen. Für einen Effizienzvergleich alternativer Fertigungsverfahren kann auch die Berücksichtigung der Aufwände für die Herstellung der Rohmaterialien notwendig sein. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 44)

Tabelle 24 Leitfragen Fertigungsprozessauswahl und Fertigungsprozessoptimierung

LEITFRAGEN FERTIGUNGSPROZESSAUSWAHL UND FERTIGUNGSPROZESSOPTIMIERUNG

Welches Fertigungsverfahren kommt bei der Herstellung des Produkts zum Einsatz?

Existiert ein alternatives, ressourceneffizienteres Fertigungsverfahren?	JA	NEIN
--	----	------

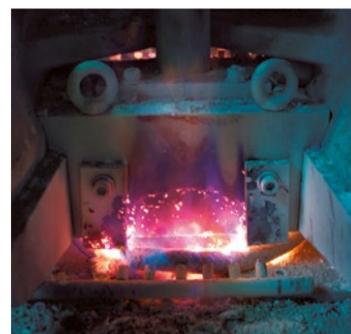
Falls ja, welches Fertigungsverfahren ist das? aus welchen Gründen wurde das Fertigungsverfahren bisher nicht gewechselt?

Kann der bestehende Fertigungsprozess weiter optimiert werden?	JA	NEIN
--	----	------

Falls ja, welche Optimierungspotenziale bestehen? aus welchen Gründen wurden die Optimierungspotenziale bisher nicht realisiert?

Praxisbeispiele

Die **C&C Bark Metalldruckguss und Formenbau GmbH** fertigt Druckgussteile aus Magnesium im Warmkammerverfahren. Prozessbedingt werden die Teile mit einem Angusszapfen gegossen, der abgetrennt und recycelt wird, wodurch eine große Menge an Kreislaufmaterial anfällt. Die **Oskar Frech GmbH & Co. KG** hat mit dem Frech-Gating-System ein Verfahren entwickelt, das zur Reduktion des Angusszapfens führt. Das Verfahren kommt bisher nur beim Zinkdruckguss zum Einsatz und sollte gemeinsam auf den Magnesiumdruckguss angepasst werden. Das Kreislaufmaterial konnte in der Folge um 60 % reduziert werden. Folglich muss weniger Material recycelt werden und es ist weniger Energie zum Aufschmelzen des Rohmaterials notwendig. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 126-129)



Mit nahezu 50 % ist die Bewegung der Kolben in den Zylindern für den größten Verlustanteil im Motor verantwortlich. Die **Daimler AG** bringt daher in ihren Aluminium-Kurbelgehäuse eine verschleißbeständige, ultrafeine bis nanokristalline Zylinderlaufbahnbeschichtung auf Eisen-Kohlenstoffbasis auf. Um eine Schichthaftung sicherzustellen, wird die Oberfläche mittels Hochdruckwasserstrahlen aufgeraut, was einen hohen Energie- und Wasserbedarf zur Folge hat. Daher sollte eine mechanische Aufrauung zur Erzeugung von Mikro- und Makrostrukturen zur Schichthaftung entwickelt werden. Gemeinsam mit der **Gebr. Heller Maschinenfabrik GmbH** wurde ein neues Verfahren zur mechanischen Aufrauung entwickelt, wodurch der Energieverbrauch gegenüber dem Hochdruckwasserstrahlen um 96 % gesenkt werden konnte. Auf Wasser inklusive der komplizierten Wasseraufbereitung kann beim neuen Verfahren komplett verzichtet werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 234-237)



Die **ErlingKlinger AG** stellt Formdichtringe in einem Stanz-/Biegeprozess her. Aufgrund der Geometrie von Formdichtringen (geringer Rand und großer Gaskanal in der Mitte) kommt es bei einem konventionellen Stanzprozess zu bis zu 90 % Stanzabfall. Im neuen Fertigungsverfahren wird einer Anlage ein schmaler Endlosstreifen zugeführt und auf das gewünschte Maß gekürzt. Der Zuschnitt wird zu einem Ringband geformt und in der Anlage verschweißt. Über spezielle Rollierwerkzeuge erhält das Ringband seine charakteristische Form. Gegenüber dem konventionellen Stanz-/Biegeprozess können pro Jahr 21 t Nickelbasislegierung eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 130-133)



Lackierprozesse in der Automobilindustrie haben einen hohen Energieverbrauch. Zudem ist das Beschichten von Fahrzeugkomponenten mit hohen Materialverlusten verbunden. Durch Fehlbeschichtungen erhöht sich der Materialaufwand zusätzlich. Daher kam die **Karl Wörwag Lack- und Farbenfabrik GmbH & Co. KG** auf die Idee, anstelle von flüssigem Lack Lackfolien zu verwenden, die während der Bauteileproduktion auf das Bauteil kaschiert wird. Durch das neue Verfahren wird der Energieaufwand für die Beschichtung von 6,5 kWh/m² auf 0,95 kWh/m² gesenkt. Aktuell werden in der Automobilproduktion jährlich rund 280.000 m² mit dem innovativen Verfahren beschichtet, was einer Einsparung von 1.554 MWh entspricht. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 98-101)



Die **Protektor Florenz Maisch GmbH & Co. KG** produziert Bauprofile, die beim Verputzen von Wänden eingesetzt werden. Zur Herstellung der Bauprofile wurden bisher Löcher in ein Metallband gestanzt, folglich fielen Stanzabfälle an. Es sollte ein alternatives Herstellverfahren gefunden werden, bei dem geringere Materialverluste anfallen. Das eigens entwickelte und patentierte Herstellverfahren ähnelt der japanischen Origami-Technik, dabei werden die Löcher im Profil nicht mehr gestanzt, sondern durch geschicktes Einschneiden, Strecken und Umformen erzeugt. Ohne Verlust der Leistungsfähigkeit und der Qualität des Produkts können bis zu 20 % an hochwertigem Primärmaterial eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 142-145)



Bei **Rhein Chemie Additives** wird Phenol als Reaktant in großem Überschuss eingesetzt, um eine chemische Reaktion zu vollziehen. Dabei fallen flüssige Rückstände an, die neben Phenol auch Alkohole und weitere Stoffe enthalten. Die Entsorgung der Rückstände erfolgt über die Sondermüllverbrennung. Da an der chemischen Synthese keine Optimierung vorgenommen werden kann, sollte ein Verfahren zur Rückgewinnung des Phenols entwickelt werden. Jährlich werden nun 150 t Phenol mit einem monetären Wert von 100.000 bis 200.000 Euro eingespart. Zusätzlich entfallen Entsorgungskosten in Höhe von 30.000 Euro. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 102-105)



Bei der Herstellung von Entkoppellementen wird ein Wickelschlauch an seinen Enden mit den Endhülsen eines Metallbalgs radial umgeformt. Bisher konnten nur Wickelschläuche mit Agraff-Profil verwendet werden, da hierbei ein Aushaken während der Umformung unmöglich ist. Der Einsatz von Wickelschläuchen mit gehacktem Profil würde zu einem um 30 % geringeren Materialeinsatz und einem spürbaren Gewichtsvorteil führen. Daher setzte sich die **Witzenmann GmbH** das Ziel, ein Verfahren zu entwickeln, das den Einsatz von Wickelschläuchen mit gehacktem Profil ermöglicht. Durch den neu entwickelten Helix-Schweiß-Prozess konnte das Produktgewicht von 179 g auf 127 g reduziert werden. Bezogen auf 800.000 Teile pro Jahr entspricht das einer Einsparung von 41,6 t Stahl. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 174-177)



Die pharmazeutische Industrie zeichnet sich durch chargenbezogene Herstellungsprozesse aus. Bei der **Pfizer Manufacturing Deutschland GmbH** entwickelte man daher einen kontinuierlichen, voll automatisierten Prozess, der die kontinuierliche Förderung von Wirk- und Hilfsstoffen mit In-line-Mischung und vollautomatischem Transport zur Tablettierung und Verkapselung ermöglicht. Die erforderliche Dosiergenauigkeit wird dabei mittels In-line-Mischung, Echtzeitanalytik und Rückkopplung zur Fördertechnik erreicht. Das neue Herstellungsverfahren führt zu verkürzten Durchlaufzeiten, dem Entfall der Kontrollanalytik, einer flexiblen Anpassung der Chargengröße an den Kundenbedarf, einer Verringerung von An- und Abfahrverlusten sowie optimierten Reinigungsprozessen. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 104-107)



Der **Friedrich Feldmann GmbH & Co. KG** war bekannt, dass ein Teil des in der Essigherstellung eingesetzten Apfelweins während des Prozesses verloren geht. Ursprung und Höhe des Materialverlusts waren allerdings unbekannt. Im Zuge einer Materialflusskostenrechnung (MFCA) wurden alle Material- und Energieströme sowie Kosten der Essigherstellung erfasst. Dabei zeigte sich, dass der Alkohol während des Gärprozesses im Gärtank über die Abluft verloren geht. Als Maßnahme wurde ein Kondensator auf dem Dach des Gärtanks installiert. Dadurch werden pro Jahr 11.000 Euro und 3 t Ethanol-Emissionen eingespart. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 56-59)



Die **Würth Elektronik GmbH & Co. KG** produziert Leiterplatten, die bei der Herstellung eine Ätzlinie durchlaufen. Die bestehende alkalische Ätzlinie erfüllte die technischen Anforderungen des Markts hinsichtlich Ätzgenauigkeit nicht mehr und musste ersetzt werden. In der neuen Ätzlinie sollte sowohl eine Kupferrückgewinnung als auch ein Ätzmittelrecycling realisiert werden. Für die Kupferrückgewinnung entschied sich das Unternehmen für das Recyclingverfahren einer schwedischen Firma, das Elektrolytkupfer erzeugt, welches zu einem hohen Preis verkauft werden kann. Jährlich werden nun 60 t Kupfer recycelt und der Stromverbrauch konnte um 250 MWh pro Jahr reduziert werden. Die Gesamtkosten der Ätzprozesse pro Quadratmeter konnten um 54 % gesenkt werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 184-187)



STRATEGIE 17: DIMENSIONIERUNG DER FERTIGUNGSMITTEL

Die Strategien Leichtbauweise und Beanspruchungsgerechtigkeit und Sicherheit können auch auf Fertigungsmittel angewendet werden: Beispiel: Gestaltung von Wagenträgern beim Galvanisieren in Bezug auf

Transportgewicht, spezifische Wärmekapazität, Abtropfverhalten und Reinigung. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 46)

Tabelle 25 Leitfragen Dimensionierung der Fertigungsmittel

LEITFRAGEN DIMENSIONIERUNG DER FERTIGUNGSMITTEL		
Wurden die eingesetzten Fertigungsmittel bereits auf eine Überdimensionierung überprüft?	JA	NEIN
Falls ja, konnten dabei Reduktionspotenziale identifiziert werden?	JA	NEIN
Falls ja, wurden die identifizierten Reduktionspotenziale bereits realisiert?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen wurden die identifizierten Reduktionspotenziale bisher nicht realisiert?		

Praxisbeispiele

Bei der **AUDI AG** in Neckarsulm wird Widerstandspunktschweißen als Fügeverfahren im Karosseriebau eingesetzt. Aufgrund der gegebenen Fahrzeuggeometrie sind teilweise sehr große und infolgedessen schwere Schweißzangen im Einsatz. Das hat einen erhöhten Einsatz von Robotern mit hoher Traglast zur Folge, die über einen erhöhten Energiebedarf verfügen. Durch die Verringerung der Masse am Roboterhandflansch kann eine Steigerung der Leistung erzielt werden, deshalb sollte eine neue leichtere Zange entwickelt werden. Im Zuge der Neukonstruktion wurde die Zangensteuerung in die Schweißsteuerung integriert. Das Gewicht der Zange sank um 35 kg, was einer Reduktion um 30 % entspricht. Das niedrigere Zangengewicht führte zudem zu einer Steigerung der Roboterleistung. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 230-233)



**STRATEGIE 18:
MINIMIERUNG DES BEARBEITUNGSVOLUMENS**

Die Minimierung des Bearbeitungsvolumens geschieht durch Herstellen von Rohlingen, bei denen die spätere Form bereits vorgegeben ist; Effizienzsteigerungen entstehen durch Vermindern von Bearbeitungsvolumen,

Werkzeugverschleiß und Belegungszeiten von Betriebsmitteln. Beispiel: endabmessungsnahes Urformen/ Umformen anstelle von Spanen aus dem Vollen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 46)

Tabelle 26 Leitfragen Minimierung des Bearbeitungsvolumens

LEITFRAGEN MINIMIERUNG DES BEARBEITUNGSVOLUMENS		
Kommen bei der Herstellung der Produkte spanende Verfahren zum Einsatz?	JA	NEIN
Falls ja, werden endkonturnahe Rohlinge eingesetzt?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen werden keine endkonturnahen Rohlinge eingesetzt?		
Kann ein anderes Verfahren eingesetzt werden?	JA	NEIN
Falls ja, um welches Verfahren handelt es sich? aus welchen Gründen fand bisher kein Wechsel des Verfahrens statt?		

Praxisbeispiele

Die **Felss Group GmbH** ist Spezialist für Kaltumformverfahren, damit können gegenüber einer spanenden Fertigung große Materialeinsparungen erzielt und Leichtbauprinzipien realisiert werden. Für eine bisher spanend gefertigte Lenkspindel sollte ein neues Fertigungsverfahren gefunden werden. Das Unternehmen optimierte das Bauteil und konzipierte eine Rundknetanlage. Das resultierende fertige Bauteil ist um fast 200 g leichter als das Bauteil aus der spanenden Fertigung. Durch den Einsatz eines kleineren Rohlings zur Herstellung der Lenkspindel können basierend auf dem jährlichen Produktionsvolumen von 160.000 Stück etwa 136 t Stahl eingespart, das entspricht einer Senkung des Materialverbrauchs um 59 %. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 206-209)



**STRATEGIE 19:
MATERIALSUBSTITUTION VON HILFS- UND BETRIEBSSTOFFEN**

Unter Materialsubstitution versteht man das Ersetzen eines gegebenen Materials durch ein anderes. Hilfs- und Betriebsstoffe tragen zum Teil erheblich zu den Materialkosten bei. Diese Stoffe sind kein Produktbestandteil und werden nach Gebrauch zu Abfall, der

häufig zu hohen Entsorgungskosten führt. Beispiel: Kühlschmiermittel auf Mineralölbasis können durch Produkte aus der Altfettaufbereitung mit vergleichbaren Leistungsparametern ersetzt werden. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 46)

Tabelle 27 Leitfragen Materialsubstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen

LEITFRAGEN MATERIALSUBSTITUTION VON HILFS- UND BETRIEBSSTOFFEN		
Werden im Prozess Hilfs- und Betriebsstoffe eingesetzt?	JA	NEIN
Falls ja, um welche Hilfs- und Betriebsstoffe handelt es sich?		
kann der Einsatz der Hilfs- und Betriebsstoffe verringert werden?	JA	NEIN
können die eingesetzten Hilfs- und Betriebsstoffe durch andere substituiert werden?	JA	NEIN
können die eingesetzten Hilfs- und Betriebsstoffe recycelt werden?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **ELM Recycling GmbH & Co. KG** stellt Ersatzbrennstoffe aus gewerblichen und industriellen Abfällen her. In Zusammenarbeit mit einem Zementwerk wird auf dem Gelände des Zementwerks ein Brennstoff hergestellt, der den bisher am Brenner eingesetzten Kohlestaub ersetzt. Im Zementwerk werden jährlich etwa 90.000 t Ersatzbrennstoff eingesetzt, wodurch 80.000 t Steinkohlestaub eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 248-252)



**STRATEGIE 20:
TROCKENBEARBEITUNG UND
MINIMALMENGENSCHMIERUNG**

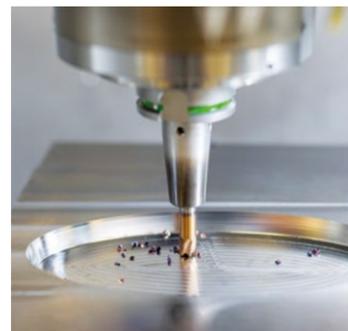
Die Trockenbearbeitung arbeitet ohne Kühlschmiermittel und die Minimalmengenschmierung (MMS) führt das Schmiermittel in der exakt benötigten Menge und Eigenschaft der Bearbeitungsposition zu. Beide Verfahren führen zum Einsparen von Kühlschmierstoffen und Reinigungsmitteln, können höhere Bearbeitungsgeschwindigkeiten und folglich kürzere Belegungszeiten von Betriebsmitteln erreichen und ermöglichen ein besseres Recycling durch trockene Späne. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 46)

Tabelle 28 Leitfragen Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung

LEITFRAGEN TROCKENBEARBEITUNG UND MINIMALMENGENSCHMIERUNG		
Kommen im Prozess Kühlschmierstoffe zum Einsatz?	JA	NEIN
Falls ja, wurde der Einsatz von Trockenbearbeitung oder Minimalmengenschmierung bereits überprüft?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **MAPAL Dr. Kress KG** bietet nahezu alle ihre Werkzeuge auch in Varianten für Minimalmengenschmierung an. In Großserienfertigungen kann der Verbrauch ölhaltiger Fluide durch den konsequenten Einsatz von Minimalmengenschmierung um bis zu 98 % gesenkt werden. In einem Bearbeitungszentrum entfallen rund 50 % des Energieverbrauch auf die Komponenten Hochdruck, Niederdruck, Rückpumpe und Hochdruckfilter. Auch wenn mit der Minimalmengenschmierung ein erhöhter Druckluftverbrauch verbunden ist, kann dennoch eine Energieeinsparung von bis zu 40 % realisiert werden. Weitere Vorteile ergeben sich durch nachweislich längere Standzeiten der Werkzeuge vor allem bei der Bearbeitung von Aluminium. (MAPAL Dr. Kress KG, 2022)



**STRATEGIE 21:
VERMINDERN VON GEPLANTEM VERLUST**

Geplanter Verlust ist Material, das technisch bedingt durch Formänderung anfällt (z. B. Späne oder Stanzreste). Maßnahmenbeispiele gegen Verlust: Reduzieren von Stanzgittern oder Spannflächen, Verschnittreduzierung per Software für dynamisches Schachteln (Nesting). (VDI 4800 Blatt 1, S. 46)

Tabelle 29 Leitfragen Vermindern von geplantem Verlust

LEITFRAGEN VERMINDERN VON GEPLANTEM VERLUST		
Gibt es im Unternehmen Prozesse in denen prozessbedingt Verschnitt oder anderer Verlust anfällt? Z.B. Zuschneiden, Stanzen, Zerspanen...	JA	NEIN
Falls ja, wie hoch sind die Verluste?		
könnte ein verändertes Produktdesign dazu beitragen die anfallenden Verluste zu reduzieren?	JA	NEIN
könnte eine veränderte Abmessung der eingesetzten Materialien (z. B. Bleche) dazu beitragen die anfallenden Verluste zu reduzieren?	JA	NEIN
wäre es denkbar einen anderen Fertigungsprozess einzusetzen?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **Eurotramp-Trampoline Kurt Hack GmbH** fertigt hochwertige Trampoline für verschiedene Anwendungsbereiche. Eine Analyse ergab, dass es bei Schaumstoff, Planenstoff und Sprungtuchmaterial zu einem hohen Verschnitt kam, der erhebliche Kosten für die innerbetriebliche Abfallsammlung und -lagerung sowie die Abfallentsorgung zur Folge hatte. Für die bisher manuell durchgeführten Produktionsvorgänge wurde ein Cuttingsystem mit einem computergesteuerten Nesting eingeführt werden, das auch bei hoher Produktvielfalt und Einzelteilerfertigung eine hohe Materialeffektivität ermöglicht und Abfallmengen reduziert. Mit dem Cuttingsystem konnten im ersten Jahr 2,6 t PVC-Planenstoff im Wert von etwa 19.000 Euro eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 240-243)



Die **Grieshaber GmbH & Co. KG** ist auf die Fertigung von spanend hergestellten Präzisionsteilen aus Nichteisenmetallen und rostfreien Stählen spezialisiert. Im Zuge einer Analyse der anfallenden Materialverluste wurde die Ausnutzung des Stangenmaterials im Rohwarenbereich weiter optimiert, um die bisher als technisch gesehenen Materialverluste zu vermeiden. Hierfür wurden die Stückzahl pro Stange bzw. pro Stangenladung sowie eindeutige Vorgaben der Abstich- und Ablängewerte als Grundlage für das Einrichten und Betreiben der Maschine definiert. Außerdem wurde das Ladesystem bzw. der Werkstoffanschlag optimiert. Durch die Optimierung der Stangennutzung konnte der jährliche Anteil des ungenutzten Stangenmaterials um 0,5 % reduziert werden und pro Jahr 62.000 Euro eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 148-151)



**STRATEGIE 22:
VERMINDERN VON GEPLANTEM AUSSCHUSS**

Geplanter Ausschuss ist Material, das fertigungsbedingt zur Einstellung des Prozesses (z. B. Rüstverluste, Anfahr-ausschuss) anfällt. Weiterhin sind dies Materialien oder Komponenten, die erfahrungsgemäß als prozentualer Verlust bei einzelnen Arbeitsgängen anfallen. Einflussfaktoren auf Rüstverluste sind z. B. Losgrößen, Auf-

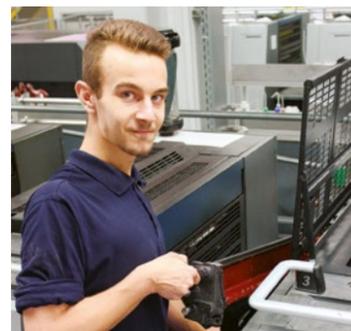
tragsplanung, Umterminierung von Fertigungsaufträgen oder Mitarbeiterqualifikation. Six Sigma Methoden helfen Prozessschwankungen zu reduzieren und somit weniger Produkte außerhalb der Spezifikation zu erzeugen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 46)

Tabelle 30 Leitfragen Vermindern von geplantem Ausschuss

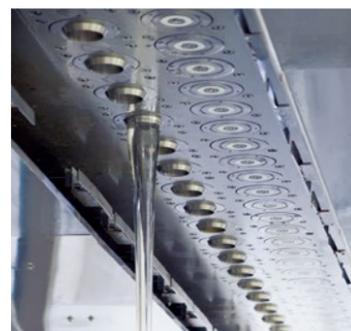
LEITFRAGEN VERMINDERN VON GEPLANTEM AUSSCHUSS		
Gibt es Produktionsprozesse in denen Rüstprozesse notwendig sind?	JA	NEIN
Falls ja, wie hoch sind die Anfahrverluste? welche Reststoffe fallen als Anfahrverluste, also geplanter Ausschuss an? wie häufig wird neu angefahren/das Produkt gewechselt?		
Wurden Möglichkeiten zur Reduktion der Rüstverluste bereits überprüft (z. B. Optimierung von Losgrößen, Qualifikation der Mitarbeiter)?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **August Faller GmbH & Co. KG** fertigt Faltschachteln für die Pharma- und Gesundheitsindustrie. Bei den herkömmlichen Druckmaschinen fällt beim Rüsten eine große Menge Makulatur, Druckbögen, die zum Einfahren der Maschine benötigt werden an. Insbesondere bei kleinen Auflagen fallen diese ins Gewicht. Zusammen mit der **Heidelberger Druckmaschinen AG** wurde die bisher für Papier eingesetzte Anicolor-Technologie auf Karton übertragen. Dadurch konnten bei Faller hinsichtlich der Makulatur gegenüber der konventionellen Offset-Technik Einsparungen von 71,5 % erreicht werden. Das entspricht etwa 165 t Karton bzw. 1,55 Millionen Bogen pro Jahr. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 90-93)



Der Unternehmensbereich Druckfarben der **Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG** ist auf die Herstellung von UV-härtenden Farben und Lacken für Verpackungs- und Etikettendruck spezialisiert. Speziell bei der Einwaage von Rohstoffen besteht das Risiko von Rohstoffverwechslungen und Kontaminationen, die möglicherweise weitreichende Auswirkungen haben. Zeller+Gmelin stellte daher alle Dosierungen von Flüssigrohstoffen von der manuellen Verwiegung auf ein computergestütztes, vollautomatisches Dosiersystem, welches an das hausinterne ERP-System angebunden ist, um. Durch das neue System wurde der Rohstoffschwund um ca. 8 bis 10 t pro Jahr reduziert, was Rohstoffeinsparungen von ca. 40.000 – 60.000 Euro entspricht. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 106-109)



Die **ANSMANN AG** entwickelt und fertigt individuelle und mobile Stromversorgungen. Beim zum Verschweißen von Akkupacks eingesetzten manuellen Punktschweißverfahren ist ein hoher Ausschuss oftmals unvermeidbar. Im Bereich der Lithiumzellen ist das besonders kritisch, da defekte Lithiumzellen Sondermüll sind. Durch den Einsatz einer automatischen Widerstandspunktschweißanlage sollte ein stabiler und reproduzierbarer Schweißprozess erreicht werden. Bezogen auf den bisherigen Ausschuss wurde der interne Ausschuss von Lithiumzellen und Nickel-Verbindern durch die eingesetzte Automatisierung um mehr als 90 % verringert. Das entspricht einer jährlichen Einsparung von über 50.000 Euro. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 176-179)



**STRATEGIE 23:
VERMEIDEN VON VERLUST DURCH NACHARBEIT**

Die Ursachen für Nacharbeit sind z. B. unzureichende Fertigungsunterlagen, unsichere Fertigungsprozesse sowie unsachgemäße Handhabung der Materialien, Komponenten und Produkte bei Fertigung oder Transport oder in unzureichender Verpackung. Maßnahmenbeispiele: Rückkopplung von Ergebnissen der Qualitäts-

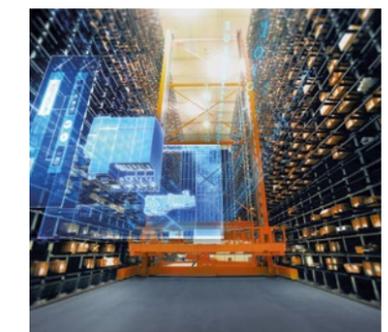
kontrolle und Nacharbeit zu Bearbeitungs- und Transportprozessen, Optimieren der Fertigungsunterlagen und Werkerkenntnisse, Werker selbstkontrolle, Standzeitenmanagement von Werkzeugen, Optimierung von Wartungsintervallen, Reduzierung der Prozessschwankungen. (VDI 4800 Blatt1, S. 48)

Tabelle 31 Leitfragen Vermeiden von Verlust durch Nacharbeit

LEITFRAGEN VERMEIDEN VON VERLUST DURCH NACHARBEIT		
Kommt es vor, dass Produkte oder Zwischenprodukte nachgearbeitet werden müssen?	JA	NEIN
Falls ja, um welche Produkte bzw. Zwischenprodukte handelt es sich? in welchen Prozessen fallen sie an? aus welchen Gründen müssen sie nachgearbeitet werden? welche Ideen oder Möglichkeiten gibt es, um die notwendige Nacharbeit zu reduzieren?		

Praxisbeispiele

Die **KASTO Maschinenbau GmbH & Co. KG** bietet u. a. halbautomatische und automatische Lagersysteme für Metallstäbe, Bleche und Zuschnitte an. Die Inbetriebnahme von vollautomatischen Lagersystemen ist sehr zeit- und energieintensiv. Die einzelnen Anlagenkomponenten müssen beim Kunden vor Ort verbunden und Schnittstellen gekoppelt werden. Zusätzlich entstehen Umweltbelastungen aufgrund von Energieverbrauch. Hinzu kommen nachträgliche Anpassungen und Nacharbeiten, die wiederum beim Kunden vor Ort durchgeführt werden müssen. Um die notwendigen Nacharbeiten zu reduzieren, sollte eine Software zur virtuellen Inbetriebnahme von Lagern entwickelt werden. Die neue Software digitalisiert alle Prozesse und der entstandene digitale Zwilling ermöglicht es, Probleme, die bislang erst vor Ort aufgefallen sind, frühzeitig zu erkennen, zu beheben, wodurch sich Nacharbeiten reduzieren oder ganz entfallen. Durch die virtuelle Inbetriebnahme können pro Jahr rund 340 MWh Strom und 4.100 l Diesel eingespart werden. Darüber hinaus profitieren die Mitarbeitenden von geringeren und kürzeren Außeneinsätzen. (vgl. Schmidt et al. 2023, S. 90-93)



**STRATEGIE 24:
VERMEIDEN VON VERLUST DURCH DIE
ENTSORGUNG VON FERTIGEN PRODUKTEN**

Das Entsorgen von Material oder fertigen Produkten aus dem Lager beispielsweise aufgrund von Überalterung der Materialien (z. B. durch unzureichende Umwälzung), mangelhaftem Lager-, Änderungs- oder Auslaufmanagement, zu hohem Sicherheitsbestand,

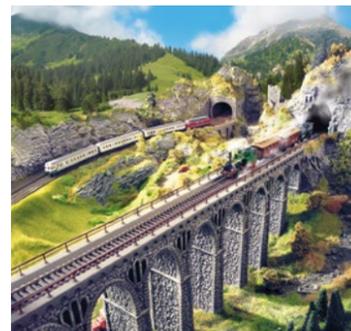
fehlender Rückkopplung zum Auftragseingang, Überproduktion (z. B. durch nicht aktuelle Ausbeuteraten oder Verarbeitung von Restmaterialien im Fertigungsprozess ohne Kundenbedarf). (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 48)

Tabelle 32 Leitfragen Vermeiden von Verlust durch die Entsorgung von fertigen Produkten

LEITFRAGEN VERMEIDEN VON VERLUST DURCH DIE ENTSORGUNG VON FERTIGEN PRODUKTEN		
Kommt es vor das fertige Produkte entsorgt werden müssen?	JA	NEIN
Falls ja, um welche Produkte handelt es sich? aus welchen Gründen müssen sie entsorgt werden? welche Ideen oder Möglichkeiten gibt es, um die Entsorgung zu vermeiden?		

Praxisbeispiele

Die **NOCH GmbH & Co. KG** ist im Bereich Modelleisenbahnen Spezialist für Modell- und Landschaftsbau. Die bisherige Vorratsproduktion für Fertigware führte im Falle von Fehlprognosen des Jahresproduktionsplans immer wieder zu Ladenhütern und zu unerwünschter Lagervernichtung bei Überproduktion. Daher wurde auf eine Kanban-Steuerung der Produktion entsprechend den Abgängen aus dem Fertigwarenbestand umgestellt. In der Folge werden jährlich 12.000 Euro an Materialverlusten bei den Fertigwaren eingespart. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 244-247)



Die **Wiedenmann GmbH** fertigt Maschinen zur Rasenpflege, Schmutzbeseitigung und Winterdienst. Aufgrund eines fehlenden Auslaufmanagements kam es zur Lagervernichtung aufgrund von Überalterung. Daher wurde ein Auslauf- und Änderungsmanagement etabliert, dessen zentraler Bestandteil ein Änderungsschein ist, der über das Intranet alle beteiligten Abteilungen durchläuft und so stets alle über den Stand von Änderungen informiert. Durch die Einführung des konsequenten und transparenten Auslauf- und Änderungsmanagements werden jährliche Verschrottungen von veraltetem Lagerbestand in Höhe von 36.000 Euro vermieden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 212-215)



**STRATEGIE 25:
VERMEIDEN VON VERLUST DURCH DIE
ENTSORGUNG EINGEKAUFTER MATERIALIEN**

Verluste durch die Entsorgung von eingekauften Materialien sind insbesondere relevant bei Materialien mit kurzfristigen Haltbarkeitsdaten, bei der Umstellung

von Fertigungstechnologien oder bei Nachfolgeprodukten. (VDI 4800 Blatt 1, S. 48)

Tabelle 33 Leitfragen Vermeiden von Verlust durch die Entsorgung eingekaufter Materialien

LEITFRAGEN VERMEIDEN VON VERLUST DURCH DIE ENTSORGUNG EINGEKAUFTER MATERIALIEN		
Kommt es bei Lieferungen häufig zu Transportschäden?	JA	NEIN
Falls ja, was sind die Gründe für die Transportschäden?		
Werden die korrekten Mengen angeliefert?	JA	NEIN
Falls nein, bei welchen Materialien sind die Mengen nicht korrekt? was sind die Gründe für die Lieferung von nicht korrekten Mengen? (Mengenangaben in Bestellungen überprüfen, ggf. Kontaktaufnahme zu Lieferanten)		
Haben die bestellten Materialien die gewünschte/geforderte Qualität?	JA	NEIN
Falls nein, bei welchen Materialien wird nicht die gewünschte Qualität geliefert? was sind die Gründe für die Qualitätsabweichungen? (ggf. Kontaktaufnahme zu Lieferanten)		
Wie hoch sind die Bestände in den Lagern bzw. für welchen Zeitraum werden Materialien vorgehalten?		
Wird für Notfälle Lagerhaltung betrieben?	JA	NEIN
Ergeben sich hohe Lagerbestände aufgrund von Bestellvorgaben/Abnahmemengen des Lieferanten?	JA	NEIN
Stimmen die physischen Bestände mit den Angaben im ERP-System überein?	JA	NEIN
Kommt es bei Transport-, Lade- und Umschlagvorgängen zu Bruch oder Schwund?	JA	NEIN
Falls ja, was sind die Gründe für Bruch oder Schwund?		

Praxisbeispiele

Die **KRÄMER GmbH** fertigt Holz-Sprossenstehleitern für professionelle Handwerker. Die Ausschussmenge im Bereich des Holzzuschnitts belief sich auf ca. 30 % des eingekauften Holzes. Die wesentliche Ursache war der weitgehend fehlende Einfluss von KRÄMER auf die Qualität des eingekauften Holzes. Als Folge wurde die Beschaffung umstrukturiert und der komplette Zuschnitt sowie das Auskappen von Fehlstellen im Holz nun vom Lieferanten ausgeführt. Hierfür wurde ein Prüfkatalog mit Vergleichsbildern erstellt. Durch diese Veränderung müssen pro Jahr etwa 37.000 m Holme weniger aussortiert werden, das sind je nach Holzfeuchte etwa 32 bis 35 t. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 86-89)



**STRATEGIE 26:
VERMEIDEN VON VERLUST DURCH
UNSACHGEMÄSSE LAGERUNG/ÜBERLAGERUNG**

Verluste durch Überlagerung oder unsachgemäße Lagerung entstehen z. B. durch Witterungseinflüsse, unzureichenden Material- oder Produktschutz, fehlerhafte Steuerung der Lagerumgebung oder -technik und Haltbarkeitsüberschreitungen. Als Gegenmaß-

nahme kann ein datenbankgestütztes Stoffstrommanagement helfen. Außerdem sollten übermäßige Vorräte und Überproduktion vermieden werden. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 48)

Tabelle 34 Leitfragen Vermeiden von Verlusten durch unsachgemäße Lagerung/ Überlagerung

LEITFRAGEN VERMEIDEN VON VERLUSTEN DURCH UNSACHGEMÄSSE LAGERUNG/ÜBERLAGERUNG		
Kommt es vor, dass Materialien oder Produkte aufgrund von unsachgemäßer Lagerung entsorgt werden müssen?	JA	NEIN
<p>Falls ja, um welche Materialien oder Produkte handelt es sich? aus welchen Gründen müssen sie entsorgt werden (sind sie verderblich oder witterungsempfindlich) welche Ideen oder Möglichkeiten gibt es, um die Verluste durch unsachgemäße Lagerung/Überlagerung zu reduzieren?</p>		

Praxisbeispiele

Die **Wiedenmann GmbH** ist Spezialist für Maschinen für Rasen-, Sportplatz- und Golfplatzpflege. Im Zuge einer Material- und Informationsflussanalyse wurde ein aktives Auslaufmanagement von Fertigprodukten und Bauteilen etabliert sowie das First-In-First-Out-Prinzip für die Lagerung von Teilen mit begrenzter Lagerfähigkeit wie Keilriemen oder Hydraulikschläuchen. (LUBW, 2006) (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 212-215)



**STRATEGIE 27:
VERMINDERN DES ENERGIEVERBRAUCHS**

Eine Reduktion des Energieverbrauchs kann im Betrieb durch eine Vielzahl an unterschiedlichen Maßnahmen erreicht werden: prozessabhängige Drehzahlregelung, Abschalten bei Leerlauf, Einsatz frequenzumrichter-gesteuerter Antriebsmotoren, Einsatz von Hocheffizienzmotoren bei Antrieben mit langer Laufzeit, verlustarme Druckluftbereitstellung (Vermeiden von Querschnittsverengungen durch Kupplungen, Ventile usw.),

lastabhängige Druckluftbereitstellung, effiziente Pumpen, prozessabhängig geregelte Pumpen, Isolation temperaturrelevanter Anlagen, Losgrößenplanung unter Energieeffizienz Gesichtspunkten, Lastmanagement zur Vermeidung von Stromspitzen; siehe auch Nutzung von Prozess- und Abwärme. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 48)

Tabelle 35 Leitfragen Vermindern des Energieverbrauchs

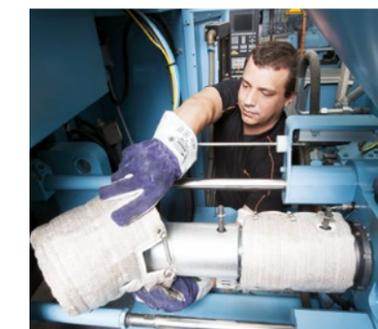
LEITFRAGEN VERMINDERN DES ENERGIEVERBRAUCHS		
Welche Energieträger kommen im Prozess zum Einsatz?		
Sind Informationen zu den Energieverbräuchen der Maschinen vorhanden?	JA	NEIN
Gibt es Vorgaben wann Maschinen in Standby versetzt werden?	JA	NEIN
Gibt es Maschinen an denen Abwärme entsteht?	JA	NEIN
Falls ja, wurde bereits über Möglichkeiten nachgedacht, die Abwärme an einer anderen Stelle im Betrieb zu nutzen?	JA	NEIN
Falls ja, wurde bereits über eine zusätzliche Isolierung der Maschinen nachgedacht?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **EvoBus GmbH** produziert am Standort Mannheim Stadt- und Reisebusse. Ein Großteil der benötigten Energie wird für den Gebäudebetrieb, insbesondere die Lüftungstechnik, aufgewendet. Alle heute bekannten wirtschaftlich umsetzbaren Möglichkeiten zur energetischen Optimierung von Lüftungsanlagen wurden systematisch analysiert und einem Best-Practice-Leitfaden zusammengefasst. Durch die systematische Anwendung des Best-Practice-Leitfadens konnte eine Energiebedarfsreduzierung um etwa 28 % erreicht werden, das entspricht 25 GWh. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 238-241)



Bei der **Andreas Stihl AG & Co. KG** kamen beim Kunststoffspritzguss Spritzaggregate zum Einsatz, deren Heizbänder nicht thermisch isoliert waren. Dies führte zu hohen Hallentemperaturen und einem hohen Energieverbrauch, da viel ungenutzte Energie und Wärme verloren ging. Da am Markt keine passenden Lösungen verfügbar waren, wurde zusammen mit einem Lieferanten eine segmentierte Isolation einzelner Heizbänder mit einem montagefreundlichen Verschlussystem entwickelt. Jährlich werden dadurch 215 MWh Energie mit einem monetären Wert von rund 30.000 Euro eingespart. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 202-205)



Die **Scheuermann + Heilig GmbH** ist auf Produkte und Dienstleistungen der Umform- und Montagetechnologie spezialisiert. Nachdem festgestellt wurde, dass ungenutzte Stromverbraucher (z. B. Maschinen, Maschinenbeleuchtung, Förderbänder) trotz einer Unterweisung nicht abgeschaltet wurden, wurde eine technische Maßnahme umgesetzt, die eine Abschaltung von Stromverbrauchern außerhalb des Produktionsbetriebs zuverlässig gewährleistet. Insgesamt wurden 45 Pressen mit Zeit- bzw. Logikrelais nachgerüstet. Durch die Installation der zeitgesteuerten Relais und die damit möglich gewordene automatische Abschaltung können jährlich über 300 MWh elektrischer Strom eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 158-161)



Der Maschinen- und Anlagenbauer **Voith GmbH & Co. KGaA** konnte seinen Energieverbrauch durch verschiedene Infrastrukturprojekte bereits deutlich senken. Daher wurden die Bemühungen auch auf die Produktionsprozesse ausgedehnt, in denen der Energieverbrauch maßgeblich durch Werkzeugmaschinen bestimmt ist. Mittels einer Energiewertstromanalyse wurde der Produktionsbereich auf Potenziale zur Energieeinsparung untersucht. Die Ergebnisse zeigten u. a. dass rund ein Drittel des Gesamtenergieverbrauchs der untersuchten Maschinen außerhalb des Produktivbetriebs anfiel. Basierend auf den Ergebnissen wurden für die Werkzeugmaschinen Sofortmaßnahmen definiert wie z. B. die Komplettabschaltung im Nichtbetriebsfall für die Anlage mit dem höchsten Energieverbrauch. Durch die Sofortmaßnahmen konnte der Stromverbrauch um 136 MWh pro Jahr reduziert werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 208-211)



Im Zuge eines Wechsels des Produktionsstandorts wurde die **ALMiG Kompressoren GmbH** von der **Kurt Kauffmann Technische Federn GmbH** um Unterstützung bei der Umsetzung der bestehenden Druckluftanlage gebeten. Es wurde ein neues Druckluftsystem ausgearbeitet, das einen drehzahlgeregelten Kompressor und zwei Kompressoren mit fester Drehzahl beinhaltet, sowie eine Lösung zur Abwärmenutzung und Wärmerückgewinnung. Durch die Wärmerückgewinnung für Heiz- und Sanitärwasser können pro Jahr 85.300 l Heizöl eingespart werden, was 51.000 Euro entspricht. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 196-199)



STRATEGIE 28: EFFIZIENTE ENERGIEBEREITSTELLUNG

Nutzen geeigneter Primärenergieträger, Vermeiden unnötiger Energiewandlung und Energiespeicherung; Lastmanagement und Blindstromkompensation helfen

Energiekosten zu vermeiden. Beispielsweise durch Erzeugen von Prozesswärme aus Gas anstelle von elektrischer Energie. (VDI 4800 Blatt 1, S. 48)

Tabelle 36 Leitfragen effiziente Energiebereitstellung

LEITFRAGEN EFFIZIENTE ENERGIEBEREITSTELLUNG

Welche Energieträger werden für den Gebäudebetrieb eingesetzt?

Werden erneuerbare Energieträger eingesetzt?

JA NEIN

Falls nein, aus welchen Gründen werden keine eingesetzt?

Wird Prozess- oder Abwärme für den Gebäudebetrieb genutzt?

JA NEIN

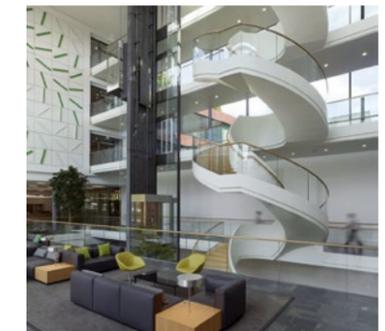
Falls nein, aus welchen Gründen findet keine Nutzung von Prozess- oder Abwärme für den Gebäudebetrieb statt?

Praxisbeispiele

Die **Mayer & Cie. GmbH & Co. KG** stellt Rundstrickmaschinen her. Im Zuge einer energetischen Sanierung der technischen Gebäudeausrüstung wurden alle Verbraucher vernetzt und ein Lastgangmanagement installiert, das ein kontrolliertes Abschalten der Verbraucher der technischen Gebäudeausrüstung ermöglicht. Durch das Lastgangmanagement konnte im Sommerbetrieb eine Spitzenreduzierung um 0,14 MW erreicht werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 200-204)



Die **Vector Informatik GmbH** ist auf Werkzeuge, Softwarekomponenten und Dienstleistungen zur Entwicklung von Automobilelektronik spezialisiert. Zentraler Bestandteil des Heiz- und Kühlsystems des neugebauten Bürogebäudes ist Geothermie. Zur Heizung und Kühlung des Gebäudes und der Serverräume wird Erdwärme in Verbindung mit einer Wärmepumpe genutzt. Das Unternehmen betreibt mit mehr als 68 Erdwärmesonden eines der größten Geothermiefelder Deutschlands. Durch die Nutzung von Geo- und Solarthermie konnte der jährliche Erdgasverbrauch um etwa 70 % reduziert werden. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 172-175)



**STRATEGIE 29:
NUTZUNG VON PROZESS- UND ABWÄRME**

Prozess- und Abwärmenutzung kann inner- und überbetrieblich erfolgen. Beispielsweise durch Abwärmenutzung des Auskühlens zur Vorwärmung von Bauteilen, Unterstützen der Gebäudeklimatisierung. (VDI 4800 Blatt1, S. 48)

Tabelle 37 Leitfragen Nutzung von Prozess- und Abwärme

LEITFRAGEN NUTZUNG VON PROZESS- UND ABWÄRME		
Gibt es interne Prozesse in denen Abwärme entsteht?	JA	NEIN
Wird diese Abwärme an einer anderen Stelle/in einem anderen Prozess genutzt?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen wird sie nicht genutzt?		
Gibt es benachbarte Betriebe oder Einrichtungen, die die Abwärme nutzen könnten?	JA	NEIN
Falls ja, wurden die Möglichkeiten einer externen Nutzung der Abwärme bereits überprüft?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **WERMA Signaltechnik GmbH + Co. KG** stellt optische und akustische Signalgeräte her. Beim Bau einer neuen Fabrik verfolgte das Unternehmen das Ziel, diese ohne Heizungsanlagen mit fossilen Brennstoffen zu betreiben. In den bestehenden Räumlichkeiten war es aufgrund der bereits installierten Gebäudetechnik bislang nicht möglich, die Abwärme zu speichern und zu nutzen, welche primär durch die Kunststoffspritzgießmaschinen entsteht. Durch das aufgebaute Abwärmenutzungsnetz kann der gesamte Neubau mit einer Fläche von 4.100 m² fast ganzjährig nur durch die Abwärme beheizt werden, das vermeidet jährlich den Verbrauch von etwa 30.000 l Heizöl. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 198-201)



Bei der **Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG** fällt Abwärme mit Temperaturen bis zu 130 °C an, die bisher nicht wirtschaftlich genutzt werden konnte und an die Umgebung abgegeben wurde. Die **Stadtwerke Karlsruhe GmbH** betreibt ein rund 190 km langes Fernwärmenetz und versorgt damit über 32.000 Wohnungen sowie zahlreiche Großkunden. Durch den Aufbau eines Wärmeverbunds zwischen Fernwärmesystem und Raffinerie sollte der Bedarf auf der einen Seite mit dem Überschuss auf der anderen Seite gedeckt werden. Den Stadtwerken steht nun Fernwärme mit einer Leistung von bis zu 90 MW aus der Raffinerie zur Verfügung (50 % der Karlsruher Fernwärme). Unter der Annahme, die verdrängte Wärme würde mit neuester Erdgas-Brennwerttechnik erzeugt, werden jährlich über 100.000 t CO₂ vermieden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 254-257)



**STRATEGIE 30:
EFFIZIENTE GEBÄUDEINFRASTRUKTUR**

Der Neubau oder die Renovierung von Gebäuden bieten die Möglichkeit auf eine effiziente Gebäudeinfrastruktur hinzuwirken, die die Energie möglichst effizient nutzt. Maßnahmen sind beispielsweise bedarfsgerechte Bereitstellung von Licht oder Wärme,

Green IT, bedarfsgerechte Klimatisierung usw. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 50) Für ein effizientes Gebäude wird die effiziente Gebäudeinfrastruktur idealerweise um eine effiziente Gebäudehülle (s. Strategie 31) ergänzt.

Tabelle 38 Leitfragen effiziente Gebäudeinfrastruktur

LEITFRAGEN EFFIZIENTE GEBÄUDEINFRASTRUKTUR		
Wurden die folgenden Bereiche der technischen Gebäudeausrüstung bereits auf ihre Energie- und Materialeffizienz hin überprüft?	JA	NEIN
Aufzugstechnik	JA	NEIN
Beleuchtungssysteme	JA	NEIN
IT	JA	NEIN
Gebäudeautomation	JA	NEIN
Raumluftechnik	JA	NEIN
Reinraumtechnik	JA	NEIN
Sanitärtechnik	JA	NEIN
Kälte- und Kühltechnik	JA	NEIN
Wärme- und Heiztechnik	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG** stellt Elektromotoren und Ventilatoren her. Da die Kapazitätsgrenze des Werks in Hollenbach erreicht war, sollte ein Plus-Energie-Neubau entstehen. Dabei kommen Photovoltaikanlagen, ein BHKW und eine Absorptionskältemaschine zum Einsatz. Zudem wird durchgehend auf LED-Beleuchtung gesetzt. Durch die Installation der LED-Leuchten werden jährlich etwa 877 MWh Strom eingespart, das BHKW mit Absorptionskältemaschine und freier Kühlung führt zu einer Einsparung von etwa 1.570 MWh pro Jahr. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 190-193)



**STRATEGIE 31:
EFFIZIENTE GEBÄUDEHÜLLE**

Die Hülle eines Gebäudes hat maßgeblichen Einfluss auf dessen Energieverbrauch, aber auch die eingesetzten Materialien bieten Ansatzpunkte zur Reduktion von Umweltwirkungen. Überlegungen zur Gestaltung der Gebäudehüllen können bei der Planung von Neubauten einfließen, aber auch bei bestehenden Gebäu-

den ergeben sich Potenziale zur Verbesserung der Gebäudehülle. (VDI 4800 Blatt 1, S. 50) Konkrete Maßnahmen sind bspw. Spezialverglasung, Fassadendämmung, Dachdämmung, reflektierende Anstriche und Beschichtungen oder Fassadenbegrünung.

Tabelle 39 Leitfragen effiziente Gebäudehülle

LEITFRAGEN EFFIZIENTE GEBÄUDEHÜLLE		
Verfügen die Fenster des Gebäudes über eine Spezialverglasung?	JA	NEIN
Verfügt das Gebäude über eine Fassadendämmung?	JA	NEIN
Verfügt das Gebäude über eine Dachdämmung?	JA	NEIN
Verfügt das Gebäude über reflektierende Anstriche oder Beschichtungen?	JA	NEIN
Verfügt das Gebäude über innen- oder außenliegende Verschattungselemente?	JA	NEIN
Verfügt das Gebäude über eine Fassadenbegrünung?	JA	NEIN
Verfügt das Gebäude über eine Dachbegrünung?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Ein aus den 1950er Jahren stammender Getreidespeicher im Mannheimer Hafengebiet wurde nach den Plänen des Architekturbüros **Schmucker und Partner** in ein Gebäude mit Gastronomieeinheiten, Büros und einem Hotel umgebaut. Als Material für die Gebäudehülle wurde dabei Cor-Ten-Stahl gewählt. Die mit 18 cm Wärmedämmung versehene hinterlüftete Fassade erfüllt sowohl die Erfordernisse an den Klimaschutz als auch den Wunsch, den Speicher weiterhin in seine Hafenumgebung einzufügen. Es wurden dreifach isolierverglaste Fenster eingebaut, die über einen außenliegenden Sonnenschutz verfügen. (LUBW, 2022)



**STRATEGIE 32:
EFFIZIENTE REINIGUNG**

Produktgestaltung, Fertigungs- und Reinigungsprozesse haben wesentliche Einflüsse auf Art und Menge von Reinigungsmitteln. Mögliche Maßnahmen sind die Berücksichtigung von Reinigung in Produktherstellung und Nutzung bei der Produktgestaltung (leicht zu reinigende Oberflächen, schmutzabweisende Beschichtungen), Kaskadennutzung von Reinigungsmitteln sowie

die Auswahl von Reinigungsmittel unter Berücksichtigung von Ressourceneffizienzaspekten. Ferner müssen Anforderungen aus dem Folgeprozess berücksichtigt werden, wie etwa Reinigung nach Bearbeitung zu vermeiden, wenn vor Folgebearbeitung ohnehin eine Reinigung erforderlich ist. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 50)

Tabelle 40 Leitfragen effiziente Reinigung

LEITFRAGEN EFFIZIENTE REINIGUNG		
Gibt es in der Produktion Reinigungsprozesse?	JA	NEIN
Werden Reinigungsmittel eingesetzt, die hohe Anforderungen an Belüftung und Handling stellen?	JA	NEIN
Falls ja, wurde der mögliche Einsatz anderer Reinigungsmittel bereits untersucht?	JA	NEIN
Wurde bereits untersucht, ob das Reinigungsmittel zurückgewonnen und wiederverwendet werden kann?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Bei der **Emil Frei GmbH & Co. KG** werden Bindemittel, Pigmente und Lösemittel bei der Lackherstellung in großen Edelstahlbehältern, sogenannten Ansatzbehältern, homogen gemischt. Nachdem Ende des Prozesses müssen die Behälter rückstandslos gereinigt werden. Hierfür wurde bisher das Standardlösemittel Ethylacetat eingesetzt. Dieses verursacht jedoch hohe VOC-Emissionen sowie einen hohen Energieverbrauch für die Zu- und Abluftanlage aufgrund des notwendigen Luftvolumenstroms. Nach der Testphase verschiedener Reinigungsmittel entschied sich das Unternehmen für das Lösemittel IMSOL R. Durch die Umstellung werden anstatt der bisher benötigten 86,5 t Ethylacetat lediglich 9,3 t IMSOL R benötigt. Die VOC-Emissionen konnten um knapp 98 % reduziert werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 94-97)



**STRATEGIE 33:
FERTIGUNGSPROZESSBEZOGENE
KREISLAUFFÜHRUNG**

Kreislaufführung von Materialien kann inner- und überbetrieblich erfolgen. Sie sollte erst nach der Vermeidung von Reststoffen Anwendung finden und auch die Menge des kreislaufgeführten Stoffstromes als stets verbesserungswürdig angesehen werden. Beispiele:

Aufbereitung und Rückführung von Hilfsstoffen (z. B. Gießereisand, Kühl- und Spülwasser) oder prozessbedingten Reststoffen (Verschnitt, Anguss, Kupfer in Atzlösung). (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 50)

Tabelle 41 Leitfragen fertigungsbezogene Kreislaufführung

LEITFRAGEN FERTIGUNGSPROZESSBEZOGENE KREISLAUFFÜHRUNG		
Gibt es eine interne Kreislaufführung von bspw. Reststoffen oder Produkten?	JA	NEIN
Falls ja, was wird im Kreis geführt? in welchen Prozessen fällt das Kreislaufmaterial an? aus welchen Gründen fällt das Kreislaufmaterial in diesem Prozess an?		
besteht die Möglichkeit das Anfallen von Kreislaufmaterial zu vermeiden?	JA	NEIN
Falls ja, aus welchen Gründen wird das nicht getan?		
Werden Betriebsstoffe in der Produktion im Kreislauf geführt?	JA	NEIN
Falls ja, welcher Betriebsstoff wird im Kreis geführt? in welchem Prozess fällt das Kreislaufmaterial an?		

Praxisbeispiele

Die **OBE GmbH & Co. KG** stellt präzise feinmechanische Metallteile in hohen Stückzahlen her. Ein Produkt sind Mikro-Sicherheitsschrauben, die als Sicherheitssystem unter dem Schraubenkopf mit temperaturbeständigem Polyamid umspritzt werden. Lediglich 2,6 % des eingesetzten Kunststoffgranulats verbleiben direkt am Produkt, während die restlichen 97,4 % in den Anguss gehen und als Abfall anfallen. Durch eine Regranulierung werden die Angüsse nun wiederverwendet und es können jährlich 1,5 t Kunststoffgranulat eingespart werden. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 178-181)



Bei der **Joma-Polytec GmbH** werden technische Kunststoffteile gefertigt. In der Produktion fallen verschiedene Kunststofftypen als Ausschuss an, die leider häufig vermischt wurden und daher nur thermisch verwertet werden. Die Kunststoffreste werden anstatt in Gitterboxen nun in beschrifteten Kleinladungsträgern gesammelt. Die ABS-Leisten und ihre Zusatzkomponenten (Schaumstoff und Draht) werden bei einem externen Dienstleister getrennt und zu ABS-Granulat verarbeitet, das wiederum in der Produktion zum Einsatz kommt. Pro Jahr werden jetzt 30 t ABS-Leisten mit Zusatzkomponenten und 70 t ABS-Leisten ohne Zusatzkomponenten nicht mehr entsorgt, sondern dem Produktionskreislauf wieder zugeführt. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 112-115)



**STRATEGIE 34:
KASKADENNUTZUNG VON HILFS- UND
BETRIEBSSTOFFEN**

Kaskadennutzung bedeutet die Weiternutzung im Vergleich zur Erstnutzungsphase des Produkts. Beispiele: innerbetriebliche Wiederverwendung von Verpackungsmaterial, Kühl- und Spülwasserkaskade im

Gegenlauf zur Richtung des Produktflusses. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 50)

Tabelle 42 Leitfragen Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen

LEITFRAGEN KASKADENNUTZUNG VON HILFS- UND BETRIEBSSTOFFEN		
Werden Hilfs- und Betriebsstoffe eingesetzt?	JA	NEIN
Falls ja, welche Hilfs- und Betriebsstoffe werden eingesetzt? was passiert mit genutzten Hilfs- und Betriebsstoffen (Reinigungsmittel, KSS,...)?		
Werden genutzte Hilfs- und Betriebsstoffe an einer anderen Stelle mit geringeren Qualitätsanforderungen genutzt (Kaskade)?	JA	NEIN
Falls nein, wurde die Möglichkeit einer Kaskadennutzung bereits überprüft?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **ZENTIS GmbH & Co. KG** produziert Konfitüren, Gelees und Fruchtzubereitungen. Die Produktionsanlagen und Transportbehälter müssen regelmäßig gereinigt werden. Die Wiederaufbereitung des Wassers war mit bestehenden Verfahren nicht möglich, da es allergene Rückstände wie z. B. Nüsse enthielt. Zusammen mit einem Partner entwickelte das Unternehmen ein Membranverfahren. Das durch das Verfahren gewonnene Wasser kann zur Vorreinigung eingesetzt werden. Das Unternehmen erreicht dadurch eine Frisch- und Abwasserreduktion von 52.000 m³ pro Jahr. (Effizienz-Agentur NRW, 2014)



**STRATEGIE 35:
EFFIZIENTER TRANSPORT**

Transporteffizienz ist eine Kenngröße in der Logistik, mit der ein möglichst schneller und kapazitätsreicher Gütertransport oder Personenverkehr bei möglichst geringem Energieverbrauch bezeichnet ist. Einflüsse: Transportmittelart, Transportentfernung (Anordnung

der Fertigungsprozesse), Leerfahrten, Stapelbarkeit des Transportguts, benötigtes Verpackungsvolumen, Optimierung der Bestell- und Liefermengen. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 50)

Tabelle 43 Leitfragen effizienter Transport

LLEITFRAGEN EFFIZIENTER TRANSPORT

**Wie häufig werden Materialien geliefert?
Lässt sich die Anzahl der Lieferungen reduzieren?**

**Mit welchen Transportmitteln erfolgt die interne Logistik?
Wie lange sind die Transportentfernungen zwischen Fertigungsprozessen?
Lässt sich die Anordnung der Fertigungsprozesse für den Transport optimieren?**

Praxisbeispiele

Die **fischerwerke GmbH & Co. KG** betreibt in Waldachtal das Global Distribution Center (GDC), welches als Nachschublager für alle fischer Landesgesellschaften und Importeure dient. Bisher folgte die Kommissionierung der Strategie „Person-zur-Ware“, was sich bei einem wachsenden Sortiment zunehmend als limitierend erwies. Daher sollte die Strategie durch ein leistungsfähiges Shuttle-Lager umgedreht werden. Die Optimierung der Verfahwege der einzelnen Shuttles erfolgt durch die Anordnung der Artikel gemäß der ABC- bzw. XYZ-Analyse. Darüber hinaus werden Fehler durch Gewichtskontrollen minimiert und die Setzmuster in den Paketen optimiert. Die Setzmusteroptimierung führt in der meistverwendeten Paketgröße zu einer Steigerung des Gewichts pro Volumen um rund 50 %. Die externe Reklamationsquote konnte um 71 % reduziert werden. Der Output des GDC wurde bei gesunkenem Gesamtenergiebedarf um 20 % erhöht. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 140-143)



**STRATEGIE 36:
OPTIMIERUNG PRODUKTIONSPLANUNG**

Abgesehen von technischen Maßnahmen kann sich auch die Produktionsplanung positiv auf die Ressourceneffizienz auswirken. Durch eine optimierte Planung

von Fertigungsaufträgen können Rüstprozesse und damit Anfahrverluste reduziert werden sowie die Durchlaufzeit verkürzt werden.

Tabelle 44 Leitfragen Optimierung Produktionsplanung

LEITFRAGEN OPTIMIERUNG PRODUKTIONSPLANUNG

Wie werden Fertigungsaufträge üblicherweise zusammengefasst/geplant?

Kann der Kundenbedarf sicher prognostiziert werden?

JA

NEIN

Falls ja, wurde bereits darüber nachgedacht größere Losgrößen (auf Lager) zu produzieren, um Rüstzeiten zu reduzieren und einen stabilen Prozess zu erreichen (z. B. beim Kunststoffspritzen)?

Praxisbeispiele

Bei der **Wezel GmbH** zeigte eine Analyse der Stoffströme, dass die Systematik der Fertigungssteuerung, die gewählten Losgrößen sowie auch die systematische Planung von Werkzeugen, Spannmitteln und Vorrichtungen die Materialverlustquote deutlich reduzieren können. Dies bot weiterhin die Möglichkeit, die Rüstvorgänge zu reduzieren, Durchlaufzeiten der Aufträge zu optimieren und Materialverluste in Form des Anfhrausschusses zu vermeiden. In Folge der ergriffenen Maßnahmen konnte der Hartschrott um 18 % und der Bedarf an Stahlstangen um 10 % reduziert werden. Die monetären Einsparungen belaufen sich auf knapp 40.000 Euro pro Jahr. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 170-173)



**STRATEGIE 37:
EINDEUTIGE UND VOLLSTÄNDIGE
PRODUKTDOKUMENTATION**

Eine eindeutige und vollständige Dokumentation der Produkt- und Fertigungsunterlagen vermindert Ausschuss und Nacharbeit. Sie bildet die Basis für Analysen und Verbesserungsmaßnahmen sowie die Eingrenzung

der fehlerhaften Produktmenge bei einer Fertigungsstörung oder einem Fertigungsfehler. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 50)

Tabelle 45 Leitfragen eindeutige und vollständige Produktdokumentation

LEITFRAGEN EINDEUTIGE UND VOLLSTÄNDIGE PRODUKTDOKUMENTATION		
Sind eindeutige und vollständige Produktdokumentationen vorhanden?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen sind sie nicht vorhanden?		
Haben alle Verantwortlichen Zugang zu den Produktdokumentationen?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen haben nicht alle Verantwortlichen Zugang? wie kann der Zugang für alle Verantwortlichen sichergestellt werden?		

Praxisbeispiele

Die **DRACHOLIN GmbH** stellt Putze und Farben her. Insbesondere bei dunklen Farben wurden die Farbtöne bis dato mit großem Aufwand manuell eingefärbt, da die maschinelle Herstellung aufgrund der verwendeten Basisfarben nicht möglich war. Die Qualität der Farben, vor allem bei Nachbestellungen oder großen Mengen, hing maßgeblich vom Farbgefühl der Mitarbeiter ab. Als Folge wurde oftmals mehr Farbe hergestellt als benötigt wurde. Bei gleichbleibender Qualität sollte die Herstellung eines reproduzierbaren Farbtons ohne Überproduktion erreicht werden. Es wurden standardisierte Rezepturen für die Farben erarbeitet, dadurch müssen anstelle der jährlich entsorgten 22 t Farbe nur 1,2 t entsorgt werden. Zudem ergibt sich für die Kunden bei Nachbestellungen eine deutliche Verbesserung der Qualität und Farbtreue. (vgl. Schmidt et al. 2018, S. 84-87)



**STRATEGIE 38:
DETAILLIERTE ARBEITSANLEITUNGEN UND
GEREGELTE SCHICHTÜBERGABE**

Detaillierte schriftliche Arbeitsanleitungen helfen bei der Vermeidung von Fehlern aufgrund unzureichender Informationen. Beispiel: Dosieranleitung in klaren Maßeinheiten wie Kilogramm oder Liter und nicht in Anzahl Schaufeln oder Anzahl Eimer. Die Schichtübergabe ist

ein wichtiger Ansatzpunkt zur Vermeidung von Fehl- und Doppelbearbeitung, für stabile Prozesse, für Aufdeckung von Potenzial zur Prozessoptimierung und für eine lernende Organisation. (vgl. VDI 4800 Blatt 1, S. 52)

Tabelle 46 Leitfragen detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe

LEITFRAGEN DETAILLIERTE ARBEITSANLEITUNGEN UND GEREGELTE SCHICHTÜBERGABE		
Sind detaillierte schriftliche Arbeitsanleitungen vorhanden?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen sind sie nicht vorhanden?		
Haben alle Verantwortlichen Zugang zu den Arbeitsanleitungen?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen haben nicht alle Verantwortlichen Zugang? wie kann der Zugang für alle Verantwortlichen sichergestellt werden?		
Gibt es ein geregeltes Vorgehen für die Schichtübergabe?	JA	NEIN
Falls nein, aus welchen Gründen gib es kein geregeltes Vorgehen?		

Praxisbeispiele

Das Chemieunternehmen **DSM** hat sein handschriftliches Schichtbuch durch ein elektronisches Schichtbuch ersetzt. Die Vorteile des neuen Schichtbuchs sind das Erkennen von Abhängigkeiten (z. B. Fehlerursachen) sowie die übersichtliche Darstellung der Informationen. So können Statistiken einfach erstellt werden, Informationen schneller gefunden werden und gleiche Fehler vermieden werden. (Fleckenstein, 2009)



STRATEGIE 39: MITARBEITERQUALIFIKATION/ MITARBEITERPOTENZIAL

Mitarbeiter können vielfältige Ideen für die Verbesserung von Arbeitsplätzen, Prozessen, Komponenten und Organisationsabläufen einbringen. Voraussetzungen sind Eigenverantwortlichkeit und Entscheidungsspiel-

räume, das Einbeziehen in Entscheidungsprozesse, eine aufgeschlossene Unternehmenskultur oder positive Rückmeldung zur Umsetzung von Mitarbeiterideen. (VDI 4800 Blatt 1, S. 52)

Tabelle 47 Leitfragen Mitarbeiterqualifikation/Mitarbeiterpotenzial

LEITFRAGEN MITARBEITERQUALIFIKATION/MITARBEITERPOTENZIAL		
Haben die Mitarbeiter die Möglichkeit regelmäßig an Weiterbildungen teilzunehmen?	JA	NEIN
Falls ja,		
gibt es Weiterbildungen mit Schwerpunkt auf Material- und Energieeffizienz?	JA	NEIN
sind alle Mitarbeiter über das Weiterbildungsangebot informiert?	JA	NEIN
Haben die Mitarbeiter die Möglichkeit Verbesserungsvorschläge einzureichen?	JA	NEIN
Falls ja,		
werden Mitarbeiter für besonders gute Vorschläge belohnt?	JA	NEIN
wird ein Schwerpunkt auf Vorschläge zur Einsparung von Material und Energie gelegt?	JA	NEIN
sind alle Mitarbeiter über das Vorschlagswesen informiert?	JA	NEIN

Praxisbeispiele

Die **Festo AG & Co. KG**, Anbieter von Automatisierungstechnik, hat im Zuge eines Fabrikneubaus eine werkseigene Lernfabrik aufgebaut. Dort lernen die Mitarbeiter z. B. Einsparmöglichkeiten bei der täglichen Verwendung von Druckluft kennen. Ihnen wird dadurch bewusst, wie viel Druckluft bei der Entlüftung von Schläuchen verloren geht und dass bei der Teilereinigung ein höherer Druck nicht immer zu einem besseren Reinigungsergebnis führt. (vgl. Schmidt et al. 2017, S. 210-213)



Maßnahmenfindung im Unternehmen

Neben Inspiration von außen in Form der aufgezeigten VDI-Strategien und Maßnahmen anderer Unternehmen können Ideen für Maßnahmen auch innerhalb des Unternehmens generiert werden. Ziel ist es, das im Unternehmen vorhandene Wissen über Prozesse und Abläufe zu nutzen, um mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz abzuleiten.

Eine mögliche Art, Verbesserungsideen zu sammeln ist das **betriebliche Vorschlagswesen**. Die eingereichten Ideen können dahingehend geprüft werden, ob sie sich auf den identifizierten Ansatzpunkt beziehen.

Neben der Sichtung bereits vorhandener Ideen kann in unterschiedlicher Art und Weise auf eine aktive Generierung von Ideen hingewirkt werden. Hierzu bietet es sich an, Vertreter unterschiedlicher Abteilungen sowie Personen, die direkt am betroffenen Prozess tätig sind, zusammen zu bringen. In einem solchen **interdisziplinären Team** können unterschiedliche Blickwinkel auf den Prozess zusammengebracht und Ideen diskutiert werden. Die folgenden Abteilungen sollten in einem solchen Team vertreten sein:

- Produktion
- Entwicklung
- Umweltmanagement/HSE
- Einkauf
- Controlling
- Logistik
- Produktion

Zunächst sollten alle möglichen Ideen des Teams in einem Brainstorming gesammelt und anschließend bewertet und priorisiert werden.

Falls notwendig, kann die Zusammenarbeit zur Generierung von möglichen Maßnahmen über das Unternehmen hinaus auf Lieferanten oder auch Kunden ausgedehnt werden.

Bewertung der Machbarkeit

Wurde eine mögliche Maßnahme zur Reduktion der festgestellten Ineffizienzen identifiziert, muss diese vor der Umsetzung hinsichtlich ihrer Machbarkeit überprüft werden. Bezogen auf die Machbarkeit sind vier verschiedene Dimensionen zu berücksichtigen.

So muss die Maßnahme zum einem **wirtschaftlich machbar** sein und das Unternehmen über ausreichende finanzielle Mittel verfügen, um etwaige Investitionskosten zu decken. Eng damit verbunden ist die Frage, welche monetären Einsparungen durch die Maßnahme zu erwarten sind und was für eine Amortisationszeit aus beiden Informationen folgt. In Unternehmen existieren oft interne Vorgaben zu Amortisationszeiten von Investitionen. Im Bereich der wirtschaftlichen Machbarkeit einer Maßnahme kann u. U. auch Gebrauch von unterschiedlichen Fördermöglichkeiten gemacht werden, eine Übersicht findet sich im Anhang.

Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass die Maßnahme **technisch machbar** ist. In diesem Zusammenhang muss geklärt werden, ob sich die Maßnahme in die bestehende Produktionsumgebung integrieren lässt und ob damit auch Veränderungen in angrenzenden Prozessen verbunden sind. Für die Überprüfung der technischen Machbarkeit kann es sinnvoll sein, ein interdisziplinäres Team wie unter 5.3.2 beschrieben zusammenzubringen und ggf. sogar mit Maschinen- und Anlagenherstellern zu sprechen.

Ebenso muss gewährleistet sein, dass die Maßnahme **rechtlich machbar** ist und nicht zu Konflikten mit Richtlinien oder Vorgaben führt.

Außerdem muss überprüft werden, ob die Maßnahme **organisatorisch machbar** ist, d. h. unternehmensintern ausreichend personelle Kapazitäten mit den notwendigen Fähigkeiten und Kenntnissen vorhanden sind.

Ergeben sich durch die Maßnahme Änderungen am Produkt, sollte deren Akzeptanz durch die Kunden vor der Umsetzung überprüft werden. Wurden Prozessen zur Produktion von Teilen von einem Kunden abgenommen, müssen etwaige Änderungen am Prozess u. U. ebenfalls vom Kunden freigegeben werden.

Schritt 4: Umsetzung der Maßnahme(n) (DO)

Wurde die Machbarkeit einer Maßnahme überprüft und bestätigt, kann mit der Planung ihrer Umsetzung begonnen werden. Auch hier gibt es einige Punkte, die im Vorfeld bedacht werden sollten.

Zielsetzung

Ziel dieses Schrittes ist es, gute Rahmenbedingungen für die erfolgreiche Umsetzung der Maßnahme zu schaffen. Die Betrachtung von erfolgreich umgesetzten Ressourceneffizienzmaßnahmen, wie sie auf Seite 31 bis 70 dargestellt werden, zeigt, dass dabei verschiedene Aspekte berücksichtigt werden sollten.

Vorgehen

Zeitplanung

Für die Umsetzung der Maßnahme sollte der Zeitpunkt gut gewählt werden. Je nach Umfang der Maßnahme kann es bspw. notwendig sein, die Produktion zu unterbrechen. Für einen solchen Fall müssen Produkte vorproduziert werden, um den Bedarf auch während der Unterbrechung zu decken. Möglicherweise kann die Maßnahmenumsetzung auch im Zuge von Betriebsferien oder geplanten Wartungsarbeiten erfolgen.

Beteiligte/Betroffene Akteure informieren

Im Vorfeld der Maßnahmenumsetzung sollten alle Mitarbeitenden, für die die Maßnahme zu Veränderungen führt, umfassend informiert werden. Durch eine frühzeitige Einbindung und Information der Mitarbeitenden kann eine hohe Akzeptanz der Maßnahme sichergestellt werden. Denn oft steht und fällt der Erfolg einer Maßnahme mit den Mitarbeitenden, die von ihr betroffen sind. Neben der Akzeptanz der Maßnahme durch die Mitarbeitenden ist es wichtig die Unterstützung des Topmanagements zu haben, was den Stellenwert der Maßnahmen unterstreicht.

Externe Unterstützung

Gerade bei umfangreichen Maßnahmen oder Maßnahmen, die mit neuen Maschinen und Anlagen einhergehen, empfiehlt es sich, eng mit dem Maschinen- und Anlagenbauer zusammenzuarbeiten, um eine reibungslose und termingerechte Umsetzung der Maßnahme zu erreichen. Eine solche Zusammenarbeit kann auch technischen Schwierigkeiten oder Produktionsunterbrechungen im Nachgang zur Maßnahme und damit zusätzlichen Kosten entgegenwirken.

Kommunikation der Ergebnisse

Die Einsparungen, die durch eine Maßnahme erzielt wurden, sollten kommuniziert werden. Zum einen intern an die Mitarbeiter, zum anderen können sie auch nach außen hin kommuniziert werden z. B. in Newslettern an Kunden oder in Nachhaltigkeitsberichten.

Sollten im Unternehmen Kennzahlen vorhanden sein, die regelmäßig erhoben und berichtet werden, kann darüber nachgedacht werden, inwiefern Material- und Energieverbräuche in diese einfließen können, also bspw. Material-/Energieverbrauch pro Stück. Darüber hinaus können diese Verbräuche auch in CO₂-Emissionen übersetzt werden. Eine solche Erweiterung der Kennzahlen kann dazu beitragen, Bemühungen um Energie- und Materialeinsparungen im Unternehmen fortzuschreiben und zu verstetigen, was im nächsten Abschnitt thematisiert wird.

Verstetigung der Aktivitäten

Ziel des Unternehmens sollte es nicht sein, nur eine einzelne Maßnahme umzusetzen, sondern Aktivitäten zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz zu verstetigen. Folglich bedeutet das, den beschriebenen Prozess von Hotspot- und Potenzialanalyse sowie Maßnahmenableitung und -umsetzung immer wieder zu durchlaufen und auf alle Unternehmensbereiche auszudehnen. Darüber hinaus kann es hilfreich sein, konkrete Reduktionsziele für Materialverbräuche zu definieren und auf deren Erreichung hinzuarbeiten. Hierfür eignet sich bspw. der Aufbau eines festen interdisziplinären Teams, das sich dieser Aufgaben annimmt.

Zusätzlich können Anreize für Mitarbeiter geschaffen werden, Ideen, die zur Reduktion des Energie- und Materialverbrauchs beitragen, einzureichen. Für Ideengeber, deren Idee umgesetzt wird und dadurch Einsparungen realisiert werden, könnte ein gesonderter Resource Efficiency Awareness Award vergeben werden. Sollte im Unternehmen bereits ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) etabliert sein, kann bei erreichten Verbesserungen neben der erzielten Reduktion von z. B. Schlechtteilen auch die damit verbundene Einsparung von Material und Energie kommuniziert werden. Zusätzlich kann auch hier der Übertrag in vermiedene CO₂-Emissionen erfolgen. Idealerweise stehen diese Informationen direkt/in Echtzeit zur Produktion zur Verfügung.

Schritt 5: Erfolgskontrolle (CHECK, ACT)

Wurde eine Maßnahme umgesetzt, muss sie im Anschluss auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden. Nur durch eine Überprüfung kann festgestellt werden, ob die prognostizierten Effekte (z. B. ein reduzierter Materialverbrauch) eintreten oder gegebenenfalls Anpassungen notwendig sind.

Wurde zu Beginn eine der unter Schritt 1 und 2 beschriebenen Analysen durchgeführt, kann diese im Nachgang zur Umsetzung erneut durchgeführt werden und die Ergebnisse verglichen werden. Es ist empfehlenswert, kontinuierlich Werte für eine Analyse zu erfassen, um Schwankungen zu erkennen.

Die physischen, monetären oder umweltseitigen Einsparungen, die im Zuge der Erfolgskontrolle festgestellt werden, können wie unter 6.3.4 beschrieben an Kunden, in Nachhaltigkeitsberichten oder auf andere Weise kommuniziert werden.

Weitere Informationsquellen

Übersicht Fördermöglichkeiten Baden-Württemberg
<https://keff-bw.de/de/foerderprogramme-keff>

Übersicht Beratungs- und Schulungsangebote Baden-Württemberg

- Umwelttechnik BW GmbH, Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Baden-Württemberg: www.umwelttechnik-bw.de
- Veranstaltungen: www.pure-bw.de/de/inhalte/events?field_result=1
- Expertenatlas: www.consultare-bw.de
- bw!MFCA: www.ifu.com/de/umberto/bwmfca; www.pure-bw.de/de/mfca-schulung
- bw!sankey: www.ifu.com/de/bw-sankey/; www.pure-bw.de/de/sankey-schulung
- scope³analyzer: www.systain.com/project/der-scope3analyzer-ein-kostenfreies-tool-zur-ermittlung-von-co2-emissionen-in-der-lieferkette/

Netzwerk Ressourceneffizienz: www.nerness.de

Stoffstrom-Software Umberto@: www.umberto.de

Verweis zu Datenbanken: ProBas, ecoinvent, BAFA-liste

Ökobilanzsoftware GaBi: <https://sphaera.com/product-sustainability-software>

Ökobilanzsoftware SimaPro: <https://simapro.com>

Ökobilanzsoftware OpenLCA: <https://www.openlca.org>

Ökobilanzdatenbank ecoinvent: <https://ecoinvent.org>

Ökobilanzdatenbank ProBas: <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

Informationsblatt CO₂-Faktoren: https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/eew_infoblatt_co2_faktoren_2021.pdf?__blob=publicationFile&v=5

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH: www.ressource-deutschland.de

Effizienz-Agentur NRW (EFA): <https://www.ressourceneffizienz.de>

Quellen

Effizienz-Agentur NRW (2005): Integrierter Umweltschutz in der Wertschöpfungskette. So stimmt die Chemie. Maßnahmen beim Kleben. Potenziale beim Be- und Entfetten.

Effizienz-Agentur NRW (2013): „Tierische“ Snack-Idee und effizientere Prozess sparen Rohstoffe und Energie. Verfügbar unter: www.ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_upload/unternehmen/pdf/EFA_Beckmann_Loseblatt.pdf, Zugriff: 19.12.2022

Effizienz-Agentur NRW (2014): Innovative Membrantechnik senkt Frischwasserbedarf und Abwasseraufkommen. Verfügbar unter: www.ressourceneffizienz.de/fileadmin/user_upload/Loseblatt/EFA_Loseblatt_Zentis_RZ_Web.pdf, Zugriff: 19.12.2022

Fleckenstein, Ingo (2009): Reibungsloser Schichtwechsel. In: CHEMIE TECHNIK, S. 64-65, Verfügbar unter: www.eschbach.com/wAssets/docs/referenzen/chemiproduktion/DSM/CHEMIE-TECHNIK.pdf, Zugriff: 19.12.2022

Greenhouse Gas Protocol (2022): The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition). Verfügbar unter: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>, Zugriff: 20.12.2022

Groz-Beckert (2022): Energieeinsparung mit litespeed @plus. Verfügbar unter: www.groz-beckert.com/mm/media/de/web/pdf/Energy_saving_with_litespeed_plus.pdf, Zugriff: 19.12.2022

ISO 14001 (2015): Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Beuth-Verlag, Berlin.

ISO 14040 (2021): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth-Verlag, Berlin.

ISO 14044 (2021): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14046 (2016): Umweltmanagement – Wasser-Fußabdruck – Grundsätze, Anforderungen und Leitlinien, Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14051 (2011): Umweltmanagement – Materialflusskostenrechnung – Allgemeine Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14052 (2018): Umweltmanagement – Materialflusskostenrechnung – Leitfaden zur praktischen Anwendung innerhalb der Lieferkette. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14053 (2021): Environmental management – Material flow cost accounting – Guidance for phased implementation in organizations.

ISO 14064-1 (2019): Treibhausgase -Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14064-2 (2020): Treibhausgase - Teil 2: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung, Überwachung und Berichterstattung von Reduktionen der Treibhausgasemissionen oder Steigerungen des Entzugs von Treibhausgasen auf Projektebene. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14064-3 (2020): Treibhausgase - Teil 3: Spezifikation mit Anleitung zur Validierung und Verifizierung von Erklärungen über Treibhausgase. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 14067 (2019): Treibhausgase – Carbon Footprint von Produkten – Anforderungen und Leitlinien für Quantifizierung. Beuth Verlag, Berlin.

ISO 50001 (2011): Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Beuth Verlag, Berlin.

LUBW (2006): BEST-Projekt Wiedenmann GmbH – Ergebnisbericht Maschinenbau. Verfügbar unter: https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/26513-Anlagenbau%3B_Maschinenbau.pdf. Zugriff: 19.12.2022

LUBW (2022): Projektbeschreibungen – Speicher7 in Mannheim.

Verfügbar unter: www.energieatlas-bw.de/en/-/speicher7-mannheim. Zugriff: 20.12.2022

MAPAL Dr. Kress KG (2022): Grüne Werkzeuge schonen Ressourcen – Minimalmengenschmierung mit MAPAL. Verfügbar unter: <https://mapal.com/de-de/a/minimalmengenschmierung>, Zugriff: 20.12.2022

OPED GmbH (2022): Warum OPED. Verfügbar unter: (<https://oped.de/warum-oped>, Zugriff: 19.12.2022

Schmidt, Mario; Spieth, Hannes; Bauer, Joa; Haubach, Christian (2017): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 1 – Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft. Verlag Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53367-3>

Schmidt, Mario; Spieth, Hannes; Haubach, Christian; Preiß, Marlene; Bauer, Joa (2018): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 2 – Praxisbeispiele und Erfahrungen. Verlag Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56712-8>

Schmidt, Mario; Haubach, Christian; Preiß, Marlene; Vogt, Alexandra (2023): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 3 – Praxisbeispiele und Klimabilanz. Pforzheim.

Statistisches Bundesamt (Destatis) (2019): Produzierendes Gewerbe – Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Verfügbar unter: www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/kostenstruktur-2040430177004.pdf?__blob=publicationFile, Zugriff: 20.12.2022

Stiftung Deutscher Nachhaltigkeitspreis e.V. (2022): VIESSMANN Werke GmbH & Co. KG – Die VIESSMANN Werke GmbH & Co. KG ist Sieger in der Kategorie „Sonderpreis „Ressourceneffizienz“ 2013“. Verfügbar unter: www.nachhaltigkeitspreis.de/unternehmen/preistraeger-unternehmen/2013/viessmann-werke-gmbh-co-kg/. Zugriff: 19.12.2022

Tiefenbacher GmbH (2022): Chemikalienleasing. Verfügbar unter: www.tibagmbh.at/download/best-practice-ressourceneffizienz.pdf; www.tibagmbh.at/de/leistungen/chemikalienleasing.html, Zugriff: 19.12.2022

VDI (2012): VDI 4600 Kumulierter Energieaufwand – Begriffe und Berechnungsmethoden. Beuth Verlag, Berlin.

VDI (2016): VDI 4800 Blatt 1 – Ressourceneffizienz: Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. Beuth Verlag, Berlin.

VDI (2018): VDI 4800 Blatt 2 – Ressourceneffizienz: Bewertung des Rohstoffaufwands. Beuth Verlag, Berlin.

Die im Leitfaden genannten Fallbeispiele wurden zum größten Teil in folgenden Büchern veröffentlicht:

Mario Schmidt, Hannes Spieth, Joa Bauer, Christian Haubach:
100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 1
Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft.
Verlag Springer Spektrum 2017.
www.springer.com/de/book/9783662533666

Mario Schmidt, Hannes Spieth, Christian Haubach, Marlene Preiß, Joa Bauer:
100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 2
Praxisbeispiele und Erfahrungen.
Verlag Springer Spektrum 2018.
www.springer.com/de/book/9783662567111

Die Beispiele der dritten Projektphase wurden in Form einer Broschüre veröffentlicht: Mario Schmidt, Christian Haubach, Marlene Preiß, Alexandra Vogt:
100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 3
Praxisbeispiele und Klimabilanz. Pforzheim 2023

Zudem sind alle Beispiele über den Exzellenzatlant der Umwelttechnik BW GmbH zugänglich: <https://www.exzellente-bw.de>

Inhaltliche Bearbeitung des Projektes:

Institut für Industrial Ecology (INEC)
 Hochschule Pforzheim
 c/o Prof. Dr. Mario Schmidt
 Tiefenbronner Straße 65
 75175 Pforzheim
www.umwelt.hs-pforzheim.de

Umwelttechnik BW GmbH
 Landesagentur für Umwelttechnik und
 Ressourceneffizienz Baden-Württemberg
 c/o Dr.-Ing. Hannes Spieth
 Friedrichstraße 45
 70174 Stuttgart
www.umwelttechnik-bw.de

Autorinnen und Autoren dieses**Leitfadens:**

Mario Schmidt
 Christian Haubach
 Marlene Preiß
 Alexandra Vogt

Die Arbeiten zu diesem Leitfaden wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „100 Betriebe und mehr für Ressourceneffizienz“ (FZK L75 20116) mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gefördert. Für den Inhalt sind ausschließlich die Autorinnen und Autoren verantwortlich.

Zitierempfehlung: Schmidt, M. et al. (2023): Leitfaden betriebliche Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung, Pforzheim

© Hochschule Pforzheim, 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Hochschule. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Hochschule und die Autorinnen und Autoren gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder die Hochschule, noch die Autorinnen oder Autoren übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Satz: ID Kommunikation Heidelberg
 Titelbild: unger+ kreative strategien GmbH Stuttgart
 Grafik und Layout: ID Kommunikation Heidelberg, Michael Kleinböhl

Bildnachweise (Praxisbeispiele)

Alle Bildrechte liegen bei den Unternehmen

Ausnahmen:

Seite 31 (Springfix-Befestigungstechnik GmbH): Fotograf: Christian Burger
 Seite 46 (Rhein Chemie Additives): Rhein Chemie Additives, Mannheim, VCI - Verband der Chemischen Industrie e.V.
 Seite 46 (Friedrich Feldmann GmbH & Co. KG, Karlsruhe): Fotograf: Markus Richter
 Seite 53 (ANSMANN AG, Assamstadt): Fotoatelier Bernhard e.K., Hardheim
 Seite 60 (Mineralölraffinerie Oberrhein): Fotografen: Andrea Fabry/ Heinz Heiss/ Christian Fernandez Gamio/ Julia Seldmaier, MiRO
 Seite 62 (Schmucker & Partner): Fotograf: Klaus Hackl

