



STRATEGIEN UND MAßNAHMEN

Steigerung der Ressourceneffizienz im Unternehmen

Planung ressourceneffizienter Fertigungsprozesse

1 RESSOURCENEFFIZIENZ, ANWENDUNGSBEREICH, GRENZEN

Ziel und Funktion

Im Zuge der Planung von Produktionsprozessen wird definiert, welche Verfahren zur Herstellung eines Produktes infrage kommen. Insbesondere durch die Einrichtung und Gestaltung des Ablaufes neuer Produktionsprozesse bieten sich hier viele Potenziale, die Ressourceneffizienz positiv zu beeinflussen.

Bezug zur Ressourceneffizienz

Durch eine verbesserte Planung von Produktionsprozessen erfolgt eine Optimierung der Material- und Energieeffizienz des Produktionsvorganges. So werden entsprechende Ressourcenverbräuche durch die Anschaffung und Dimensionierung neuer Maschinen in den meisten Fällen über viele Jahre festgelegt. Durch die Verminderung von Rüstzeiten oder Anlagenstillständen ist darüber hinaus auch eine operative Beeinflussung des Ressourcenverbrauches mit planerischen Mitteln möglich.

Anwendungsbereiche und Akteure

Die Planung ressourceneffizienter Produktionsprozesse basiert auf dem Begriff der Arbeitsvorbereitung, welcher sich in die Arbeitsplanung und Arbeitssteuerung untergliedern lässt. In der Arbeitsplanung erfolgt eher die langfristige strategische Ausrichtung der Produktion im Rahmen der Arbeitssystemplanung (Auslegung von Fabriklayouts, Anpassung des bestehenden Maschinenparks an neue Produkte etc.) und Arbeitsablaufplanung (Festlegung der Prozessketten, Auswahl von Werkzeugen etc.). Auf Ebene der operativen Arbeitssteuerung erfolgt dann die Planung konkreter Fertigungsaufträge (hinsichtlich effizienter Auslastung, Materialbedarf etc.) [1, S. 1 ff.].

Da prinzipiell bei allen produzierenden Unternehmen eine Arbeitsvorbereitung erfolgt, sind etwaige hier erreichbare Verbesserungen von übergreifender Bedeutung. Wesentliche Akteure sind neben der Arbeitsvorbereitung die Fabrikplanung sowie die operative Produktion. Innerhalb der

Arbeitsvorbereitung erfolgt oftmals auch bereits eine enge Zusammenarbeit mit der Produktentwicklung.

Grenzen

Die Ressourceneffizienz stellt bei der Planung ressourceneffizienter Produktionsprozesse eines von vielen Kriterien dar, welche für eine Gestaltung des Fertigungsablaufes maßgeblich sein können. In einigen Fällen müssen daher Kompromisslösungen (z. B. hinsichtlich Auslastung, Kostenstruktur, Bestandskosten) gefunden werden. Es nützt beispielsweise nichts, wenn ein Produkt effizient hergestellt wird, aber qualitätsbedingt zu einem geringeren Kundennutzen führt. Umgekehrt sind durch Berücksichtigung von Ressourceneffizienzaspekten bei der Planung allerdings auch Kosteneinsparungen erzielbar, die eine flexiblere Preisgestaltung ggf. als entscheidenden Wettbewerbsvorteil möglich machen.

Einordnung der Strategie/Maßnahme

Bezug	Produktion
Einflussnehmender Akteur	Fabrikplanung, Arbeitsvorbereitung, Produktion, Produktentwicklung
Lebensphasen mit relevanten Auswirkungen	Produktherstellung
Lebensweganalyse	bedingt erforderlich

2 WEGE DER UMSETZUNG

2.1 Auswahl von Maschinen und Prozessketten

Zur Herstellung eines Produktes bestehen in vielen Fällen alternative Möglichkeiten mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen. Die Auswahl eines effizienten Verfahrens kann dabei zu erheblichen Ressourceneinsparungen führen.

Als maßgebliche Entscheidungskriterien für eine systematische Auswahl zwischen verschiedenen Fertigungsoptionen können Basis- und Perfor-

manceanforderungen unterschieden werden. Basisanforderungen kennzeichnen insbesondere den technischen Anwendungsfall, wie z. B. die Eignung eines trennenden Verfahrens zur Bearbeitung eines Werkstoffs. Daher stellen diese Randbedingungen in der Regel K.O.-Kriterien zur Vorauswahl infrage kommender Verfahren dar. Performance-Kriterien hingegen erlauben einen größeren Spielraum bei der Entscheidungsfindung, z. B. um Trade-offs im Fall von Zielkonflikten zu ermöglichen [2]. Klassische Performance-Kriterien der Arbeitsplanung sind unter anderem die Qualität der Verarbeitung, die Durchlaufzeit, Investitionsvolumen und Betriebskosten sowie die Flexibilität des Verfahrens. An dieser Stelle muss auch die prozessbedingte Ressourceneffizienz in Form der Materialausnutzung und des Energiebedarfs mit berücksichtigt werden [2].

Im Fall einer strategischen Investition in Maschinen sind zur Minimierung des Ressourcenaufwandes zusätzlich weitere Faktoren zu berücksichtigen. Hierbei ist insbesondere die Langlebigkeit der Anlage wichtig. Diese wird maßgeblich durch den Aufwand für Wartung und Reparatur sowie durch den Preis bzw. die zukünftige Verfügbarkeit von Ersatzteilen bedingt. Bestenfalls steht hier ein Condition Monitoring zur Verfügung, welches die Möglichkeit bietet, alle Informationen zum aktuellen Maschinen- und Werkzeugzustand automatisch an Leitstände zu übermitteln und so im Notfall eingreifen zu können. Außerdem wäre hier die Etablierung einer prädiktiven Instandhaltung sinnvoll, die bereits vor einem Fehler der Maschine entsprechende Warnsignale liefert und so teure Ausfallzeiten vermeidet [3, S. 7]. Die hierfür notwendigen Möglichkeiten, Daten zu sammeln und diese auch über standardisierte Protokolle, wie z. B. Open Platform Communications (OPC), weiterzuleiten, bieten gleichfalls eine Grundlage für andere Anwendungen im Kontext von 4.0 (z. B. Selbststeuerung) und für übergreifende Energiemanagementsysteme (siehe auch Integration mit Manufacturing Execution Systems (MES) [4]). Aus energetischer Sicht ist hier auch die selbstständige Optimierung des Energieverbrauchs wichtig, indem Maschinen bei Leerläufen automatisiert in Stand-by-Modi wechseln und die abgerufene Leistung bedarfsgerecht bereitstellen (z. B. durch drehzahlgeregelte Motoren).

Um das zukünftige Zielbild einer digital integrierten Produktion umzusetzen, stellt die "Intelligenz" der Maschinen aus den genannten Gründen

eine wesentliche Voraussetzung dar. Damit einhergehen müssen allerdings auch eine einfache Bedienung und eine Minimierung des Schulungsbedarfes der Mitarbeiter. Die Integration mit virtuellen Prozessketten zur prospektiven Absicherung der Fertigung ist hier ein eminentester Bestandteil. Hierbei sollte insbesondere eine Fehlbenutzung der Anlagen ausgeschlossen werden, um die Sicherheit der Mitarbeiter zu garantieren und Verlust bzw. Ausschüsse zu vermeiden (z. B. Simulation zur Vermeidung von Kollisionen bei der CNC-Bearbeitung).

Planung einer ressourceneffizienten Technologiefabrik

Wenn Veränderungen an der Produktion vorgenommen werden, erfolgt dies in den meisten Fällen auf dem Brownfield. Hierdurch ergeben sich oftmals viele Einschränkungen, z. B. aufgrund bestehender Infrastrukturen oder Limitationen des Platzbedarfes. Nur in den wenigsten Fällen besteht die Möglichkeit, eine Anlage komplett neu zu planen und die hier anfallenden Stoff- und Energieströme direkt unter Gesichtspunkten der Ressourceneffizienz zu optimieren.

Eines der Beispiele, in denen diese Vorgehensweise umgesetzt wurde, ist die Technologiefabrik Scharnhausen der Firma Festo. In der neu konzipierten Fabrik wurden von Beginn an zahlreiche Innovationen im Hinblick auf die Ressourceneffizienz mitgedacht. So erfolgte die Planung in diesem Fall mittels eines Sankey-Diagrammes in Verbindung mit einer umfassenden Lebenszykluskostenbetrachtung. Auf diese Weise wurden z. B. Maschinen ausgewählt, die Betriebsmittel anhand einer Minimalmengenschmierung und entsprechender Möglichkeiten der Dosierung sparen. Darüber hinaus fand die Einführung eines effizienten zentralen Druckluftsystems statt. Der Luftdruck sowie der aktuelle Energieverbrauch aller Anlagen können hier in Echtzeit nachverfolgt werden. An Lernständen werden Mitarbeiter außerdem dafür sensibilisiert, wie diese aktiv dazu beitragen können, Ressourcen in der Produktion einzusparen (z. B. durch den richtigen Umgang mit Druckluft). Letztlich wurde bei der Fabrikplanung darauf geachtet, das Gebäude der Fabrik im Einklang mit den hier ablaufenden Prozessen zu betrachten. Hierdurch wird z. B. Prozessabwärme zur Heizung des Produktionsgebäudes genutzt [5].

2.2 Dimensionierung

Eines der wesentlichen Ziele bei der Auslegung von Produktionsmitteln ist die Vermeidung einer Über- oder Unterdimensionierung, da hiermit in den meisten Fällen unnötige Ressourcenverbräuche einhergehen. Der Grad der Einflussmöglichkeit auf die Dimensionierung einer Maschine unterscheidet sich dabei erheblich.

Wird die Maschine über einen Hersteller bzw. über den Sekundärmarkt (off-the-shelf) bezogen, ist der Grad der Einflussnahme auf die Dimensionierung zumeist gering und bezieht sich vor allem auf die Wahl zwischen diskreten Produktvarianten mit vordefinierten Geometrien und Leistungsklassen. Aus Sicht der Ressourceneffizienz ist hier vor allem die Auswahl der Maschinenleistung in Abhängigkeit der tatsächlichen Last wichtig, da die Maschine nur so auf einem effizienten Betriebspunkt arbeiten kann. Generell sollten die Maschinen auch so ausgewählt werden, dass die Nennleistung im Betrieb tatsächlich ausgeschöpft wird. Ist die Anlage überdimensioniert, fällt der Energieverbrauch sowohl in der Nutzung als auch im Stand-by-Betrieb höher aus [6, S. 594]. Hier ist jedoch eine Betrachtung des Gesamtsystems notwendig, da unter gewissen Voraussetzungen auch eine Überdimensionierung vorteilhaft sein kann (z. B. bei der Auslegung von Frequenzumrichtern [7, S. 439]). Eine Unterdimensionierung sollte ebenfalls vermieden werden, da hierdurch Qualitätsprobleme auftreten können (z. B. mangelnde Oberflächenqualität durch zu geringe Zerspanungsleistung).

Einige Hersteller bieten zusätzlich die Möglichkeit, individuelle Anlagenkonfigurationen mit Konfiguratoren zu ermitteln. Hierdurch können die Spezifika der jeweiligen Lastprofile besser ausgewertet werden. So ist es z. B. im Fall von Elektromotoren sinnvoll, eine Drehzahlregelung bei stark variierenden Lasten vorzusehen. Hier kann im Gegensatz zur konstanten Drehzahl eine signifikante Energieersparnis erreicht werden. Umgekehrt ist bei Anwendungen mit konstanten Lasten die Nutzung drehzahl geregelter Motoren als nachteilig zu betrachten [7, S. 188 ff.].

Im Falle einer Eigenentwicklung bzw. in einer Auftragsentwicklung im Bereich Sondermaschinenbau sind erweiterte Potenziale der Dimensionierung hinsichtlich der Ressourceneffizienz nutzbar. Hierbei stehen grund-

sätzlich alle konstruktiven Maßnahmen offen, wie z. B. die Berücksichtigung von Leichtbauprinzipien zur Materialeinsparung (siehe Strategie Leichtbau) oder eine funktionale Optimierung zur Einsparung von Betriebsmitteln (z. B. optimiertes Abtropfverhalten des Warenträgers bei Galvanisierungsvorgängen).

Ein weiterer wichtiger Aspekt im Kontext der Dimensionierung ist die Auslegung der Prozesskette im Sinne eines durchgängigen Materialflusses nach dem Fließprinzip [8, 26 ff.]. Hierbei sollten die Dimensionen der Maschinen in einer Prozesskette so aufeinander abgestimmt werden, dass keine Bestände an den einzelnen Stationen entstehen.

Vermeidung der Überdimensionierung von Pumpen

Die LEONI Kabel GmbH fertigt am Standort Roth Kabel und Bordnetzsysteme. Seit 2011 wurden hier bereits mehrere Initiativen zur Verringerung des Energieverbrauchs in der Produktion angestoßen. Neben Projekten zur Optimierung des Gebäudes und der Gebäudeausrüstung sowie der Verringerung des Roh- und Betriebsstoffverbrauchs erfolgten auch Fertigungs- und Produktoptimierungen. In diesem Rahmen wurde bemerkt, dass zwei Pumpen unnötigerweise kontinuierlich unter Volllast betrieben wurden. Durch eine Nachrüstung ergab sich dann die Möglichkeit, beide Pumpen in einem "Eco-Modus" zu betreiben, wodurch eine jährliche Stromersparnis von bis zu 18 MWh Strom erzielbar ist [9, S. 65].

2.3 Effiziente Arbeitssteuerung

Auch in der operativen Arbeitssteuerung ergeben sich Potenziale für die Ressourceneffizienz. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist hier die Taktzeit. Je schneller die Produktion läuft, desto höher ist in vielen Fällen auch die Energieeffizienz. So erfordern beispielsweise die Öfen bei Umformvorgängen einen kontinuierlichen Energiebedarf, unabhängig davon, ob zwei Teile pro Stunde oder zwanzig Teile pro Minute hergestellt werden [10]. In diesem Zusammenhang spielen ebenfalls Stillstände der Produktion eine Rolle. Jeder Stillstand wirkt sich negativ auf die Durchlaufzeit und damit auf den Energieverbrauch aus. Der Einsatz von Manufacturing Execution Systems (MES) kann hier lohnenswert sein, um die Gründe für Stillstände und

nicht ausgelastete Maschinen zu analysieren und diese anschließend zu beheben. Eine Nutzung von MES kann außerdem zur Materialeffizienz beitragen, indem die Transparenz zur Erkennung von Häufungen des Ausschusses steigt [11].

Wird der Energieverbrauch einer Anlage bezogen auf ein Produkt ermittelt, lässt sich dadurch feststellen, ob das Produkt ggf. effizienter mit einer anderen Maschine herstellbar ist. Diese Abhängigkeiten bieten die Basis für eine automatische Berechnung optimaler Produktionssequenzen [4]. Hierbei kann auch eine Planung von Fertigungsaufträgen in Abhängigkeit der Energieversorgung sinnvoll sein. So ergeben sich z. B. Anreize, die Produktion nach der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien auszurichten [12].

Auch die Planung der Losgrößen und die damit verbundene Anzahl von Rüstvorgängen beeinflussen den Ressourcenverbrauch. Die Berechnung optimaler Losgrößen und Planung entsprechender Rüstvorgänge stellen Kernaufgaben in der traditionellen Arbeitssteuerung dar. Ziel war es dabei immer, Rüstzeiten nach Möglichkeit zu vermeiden bzw. zu verringern, da diese den Produktionsablauf verzögern. Auch aus Sicht der Materialeffizienz sind Rüstvorgänge als negativ zu bewerten, da hiermit in vielen Fällen Materialverluste einhergehen (z. B. Anfahrverluste bei Spritzgussmaschinen). Besondere Relevanz erlebt das Thema Rüstverluste im Kontext von Industrie 4.0 mit der Vision Losgröße 1, da hiermit eine exzessive Erhöhung des Rüstaufwandes einhergeht. Eine optimale Berechnung von Losgrößen stellt daher trotz der neuen technologischen Möglichkeiten noch immer eine wichtige Aufgabe dar. Zusätzlich kann die virtuelle Absicherung von Produktionsprozessen während eines Rüstvorganges dabei helfen, Ausschuss zu vermeiden (siehe Beispiel). Zukünftig kann es hier zu weiteren Effizienzgewinnen kommen, wenn Maschinen in der Lage sind, Umrüstungen automatisch vorzunehmen [13].

Energieeffizienzcontrolling in der Arbeitsvorbereitung für die Fahrzeugherstellung

Im Verbundprojekt EnEffCo erfolgte eine detaillierte Analyse des Energieverbrauchs eines Punktschweißroboters. Die erhobene Energieverbrauchskurve wurde anhand charakteristischer Muster ausgewertet und einzelnen Produktionsvorgängen zugeordnet. Auf dieser Basis konnte ein Simulationsmodell entwickelt werden, welches Prognosen des Energiebedarfs der Schweißanlage für verschiedene Arbeitsschichten im Werk erlaubt. Auf dieser Basis ist es prinzipiell möglich, Soll-Vorgaben für den Energieverbrauch einer Schicht zu definieren. Darüber hinaus erfolgte der Nachweis detaillierter Prozessverbesserungen. So wurde anhand der erhöhten Informationstransparenz das Bewegungsprofil eines Roboters optimiert. Da die Bewegungen des Roboters deutlich unter der Taktzeit lagen, konnten diese verlangsamt werden, ohne den Produktionsablauf zu stören. Hierdurch ist eine Verringerung des Energieverbrauchs für den Roboter von bis zu 10 % erzielbar [14, S. 52 ff.].

3 LITERATUR

- [1] **Eversheim, W. (2002):** Organisation in der Produktionstechnik 3 - Arbeitsvorbereitung. 4., bearbeitete und korrigierte Auflage, Springer, Berlin. VDI-Buch, ISBN 978-3-642-56336-2.
- [2] **Lukic, D.; Milosevic, M.; Antic, A.; Borojevic, S. und Ficko, M. (2017):** Multi-criteria selection of manufacturing processes in the conceptual process planning. In: Advances in Production Engineering & Management, 12(2), 151.
- [3] **Feldmann, S.; Lässig, R.; Herweg, O.; Rauen, H.; Synek und P.-M. (2017):** Predictive Maintenance - Service der Zukunft - und wo er wirklich steht [abgerufen am: 11.12.2018], verfügbar unter: <https://industrie40.vdma.org/viewer/-/v2article/render/17409980>
- [4] **IT & Production Online (2018):** Energiedaten im MES verknüpft [online]. TeDo Verlag GmbH, 18. Januar 2018 [abgerufen am: 10.12.2018], verfügbar unter: <https://www.it-production.com/manufacturing-it/energiedaten-im-mes-verknuepft/>
- [5] **Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017):** Ganzheitliche Ressourceneffizienz in Fabrikplanung und-betrieb. In: Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C., Hg. 100 Betriebe für Ressourceneffizienz - Band 1. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, S. 210-213, ISBN 978-3-662-53366-6.
- [6] **Dufloy, J. R.; Sutherland, J. W.; Dornfeld, D.; Herrmann, C.; Jeswiet, J.; Kara, S.; Hauschild, M. und Kellens, K. (2012):** Towards energy and resource efficient manufacturing: A processes and systems approach. In: CIRP Annals-Manufacturing Technology, 61(2), 587-609.
- [7] **Auer, J. (2017):** EcoDesign 2.0-Quantitative EcoDesign within Drives and Automation Technologies, DTU Management.

-
- [8] **Bertagnolli, F. (2018):** Lean Management - Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie, Springer Gabler, Wiesbaden, ISBN 978-3-658-13123-4.
- [9] **Reinhart, G. und Steinhilper, R., Hg. (2016):** Ressourceneffiziente Fabriken - Innovative Praxisbeispiele und zukünftige Handlungsfelder [online], Fraunhofer Verlag, Stuttgart, verfügbar unter: <http://www.bookshop.fraunhofer.de/buch/ressourceneffiziente-fabriken/246961>, ISBN 978-3-8396-1120-3.
- [10] **Itasse, S. (2015):** Presshärten erlaubt Leichtbau in der Großserie [online]. Vogel Communications Group, 31. August 2015 [abgerufen am: 10.12.2018], verfügbar unter: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/presshaerten-erlaubt-leichtbau-in-der-grossserie-a-502128/index2.html>
- [11] **Schäfer, R. (2017):** MES spart Ressourcen und Energie [online]. Vogel Communications Group, 9. August 2017 [abgerufen am: 10.12.2018], verfügbar unter: <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/mes-spart-ressourcen-und-energie-a-632679/>
- [12] **IT & Production Online (2012):** Energiebewusste Produktionsplanung [online]. TeDo Verlag GmbH, 19. September 2012 [abgerufen am: 10.12.2018], verfügbar unter: <https://www.it-production.com/allgemein/regenerative-energiequellen-im-fokusenergiebewusste-produktionsplanung/>
- [13] **Spelsberg, G. (2016):** Die Maschinen rüsten sich selbst [online]. TeDo Verlag GmbH, 21. Dezember 2016 [abgerufen am: 22.11.2018], verfügbar unter: <https://www.i40-magazin.de/allgemein/die-maschinen-ruesten-sich-selbst/>
- [14] **EnEffCo Konsortium (2013):** Schlussbericht für das Verbundprojekt EnEffCo - Energieeffizienz-Controlling am Beispiel der Automobilindustrie. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie [abgerufen am: 10.12.2018], verfügbar unter: <https://www.tib.eu/de/suchen/download/?>

tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A771646801&
cHash=6978b2bb8ffa3841767d1262ee7947de