

Lernfabrik für Energieproduktivität

Ein fortschrittliches Bildungsinstrument
der Produktionstechnik

► **Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung, ihren Energiebedarf nachhaltig zu senken. Zur Vermittlung des erforderlichen Know-how wurde am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der Technischen Universität München die Lernfabrik für Energieproduktivität (LEP) aufgebaut. Der Beitrag stellt die LEP mit dem zugrunde liegenden didaktischen Konzept vor. Dabei wird auf die verschiedenen Lernmedien sowie die teilnehmenden Gruppen eingegangen. Ferner wird die LEP als Lernplattform für Energieeffizienz bewertet und der Handlungsbedarf zum zukünftigen Aufbau einer Demonstrations-, Lern- und Forschungsplattform für Ressourceneffizienz aufgezeigt.**

Energieverbrauch optimieren

Produzierende Unternehmen haben einen Anteil von 26 Prozent am Bruttoinlandsprodukt Deutschlands (vgl. Statistisches Bundesamt 2013) und leisten somit einen maßgeblichen Beitrag zur deutschen Wirtschaftsleistung. Aktuell stehen sie vor der großen Herausforderung, ihren Energieverbrauch in der Produktion dauerhaft zu senken. Steigende Energiepreise sowie -bedarfe erhöhen den Kostendruck (vgl. International Energy Agency 2007 sowie die Angaben unter destatis¹), der durch die Aufwendungen für CO₂-Zertifikate noch verstärkt wird.² Darüber hinaus trägt das zunehmende Umweltbewusstsein der Kundinnen und Kunden dazu bei, dass sich eine energieeffiziente Produktion als Wettbewerbsvorteil nutzen lässt. Unterschiedlichen Studien zufolge lassen sich Energieeinsparpotenziale in Unternehmen auf bis zu 35 Prozent beziffern (vgl. MCKINSEY & COMPANY 2009; NEUGEBAUER 2008; PREM 2010). Somit existiert in vielen Unternehmen der Wunsch, Energieeinsparpotenziale zu identifizieren und umzusetzen. Dazu ist Wissen in Unternehmen zu transferieren und den Beschäftigten aufzuzeigen, wie der Energieverbrauch konkret reduziert werden kann. Darüber hinaus sind sie allgemein für die Notwendigkeit zur Reduktion des Energieverbrauchs zu sensibilisieren.

Die Methode des Energiewertstroms (EWS; vgl. Abb. 1) dient der Reduktion des Energieverbrauchs in produzierenden Unternehmen. Zur Identifikation von Verschwendungen wird im ersten Schritt eine Analyse durchgeführt. Dafür sind zunächst die zu optimierenden Systemelemente sowie die Arten der Energieverschwendung zu betrachten und Messdaten zu visualisieren, um Transparenz zu schaffen. Hierbei wird ein Energiewertstrom gezeichnet, der die einzelnen Prozessschritte mit deren Energieverbrauch darstellt. Die Ermittlung von Verschwendungen erfolgt im



FLORIAN KARL

Dipl.-Ing., AL bei der Projektgruppe Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) Augsburg, Mitglied der Institutsleitung des iwb



VANESSA SCHMIDT

Dipl.-Kffr., Mitarbeiterin bei der Projektgruppe RMV



GUNTHER REINHART*

Prof. Dr.-Ing., Hauptabteilungsleiter der Projektgruppe RMV, Institutsleiter des iwb

* Die Autoren danken Herrn Dipl.-Ing. E. Unterberger für die inhaltlichen Anregungen zum vorliegenden Artikel.

1 Vgl. www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Energie.html (Stand: 08.10.2013).

2 Vgl. European Energy Exchange AG unter www.eex.com (Stand: 08.10.2013).

letzten Schritt durch Anwendung von Analysemethoden. Energieproduktivität drückt dabei aus, dass der Energieverbrauch auf eine Bezugsgröße festgelegt werden muss. Im Fall des Energiewertstroms erfolgt die Erfassung des Energieverbrauchs pro Takt bzw. produziertem Produkt.

Während des Energiewertstromdesigns im zweiten Schritt werden Optimierungsmaßnahmen zur Reduktion dieser Verschwendungen erarbeitet. Dazu ist zunächst der Handlungsspielraum zu beachten. Zu Beginn des Designs werden für jede identifizierte Verschwendung Verbesserungsmaßnahmen ermittelt, wobei ein Designbaukasten, bestehend aus Designkatalog sowie Schlüsselfragen, unterstützt. Der Designkatalog besteht aus abstrakten Anhaltspunkten, wie z. B. die „Substitution“ eines energieintensiven Prozesses oder die „Skalierung“ der Prozessparameter, die zu einer Verringerung der benötigten Energie führen können. Um die daraus abgeleiteten Maßnahmen zu priorisieren, werden sie hinsichtlich der Amortisationszeit sowie Umsetzungscomplexität bewertet. Abschließend sind Wechselwirkungen zwischen Optimierungsmaßnahmen zu untersuchen.

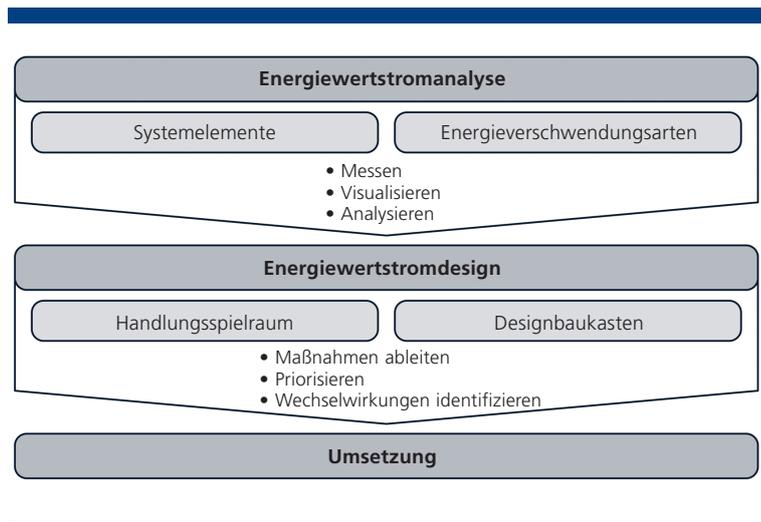
Der dritte Schritt stellt die physische Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen dar (ausführlich zum EWS vgl. REINHART u. a. 2010 u. 2011; REINHARDT/MAIER/NIEHUES 2011).

Die Lernfabrik zum Wissenstransfer in der Energieproduktivität

Bei der Erschließung komplexer Zusammenhänge sind neue Lernformen erforderlich, um Know-how zielgerichtet über unterschiedliche Sinneskanäle anschaulich und praxisnah zu vermitteln.

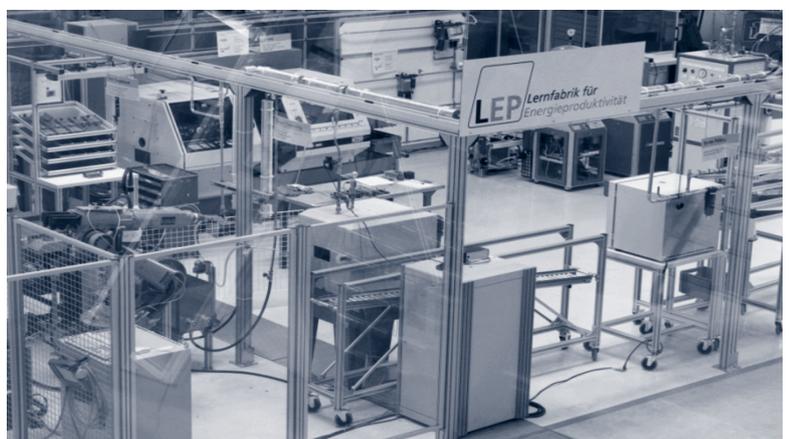
Lernfabriken stellen eine wertvolle Lernumgebung dar, um Wissen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen bzw. zwischen unterschiedlichen Beschäftigten zu transferieren sowie neu aufzubauen (vgl. CACHAY/ABELE 2012). Sie sind eine relativ junge Plattform, um Wissen zu vermitteln, wobei sie unterschiedliche Inhalte fokussieren (vgl. TISCH u. a. 2013). Die Wissensvermittlung und -aneignung erfolgt durch den kontinuierlichen Wechsel von theoretischen Einheiten und praktischen Übungen (vgl. REINHART/KARL 2012) in einem realitätsnahen Umfeld. Daher wurde am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der TU München die Lernfabrik für Energieproduktivität (www.energielernfabrik.de, vgl. Abb.2) errichtet. Hier ist ein realer Produktionsprozess abgebildet, in dem die Methode des Energiewertstroms praktisch angewandt wird. Mit dieser lässt sich der Energieverbrauch produktionstechnischer Systeme optimieren, wobei die Schulungsteilnehmenden für den Energieverbrauch sensibilisiert werden. Die LEP bildet ein reales Produktionsumfeld, in dem ein Stirnradgetriebe gefertigt wird, wozu Anlagen unterschiedlichen Alters herangezogen werden. Der Produktionsablauf setzt sich sowohl aus manuellen als auch aus automatisierten Fertigungsschritten zusammen und es wer-

Abbildung 1 Methode des Energiewertstroms

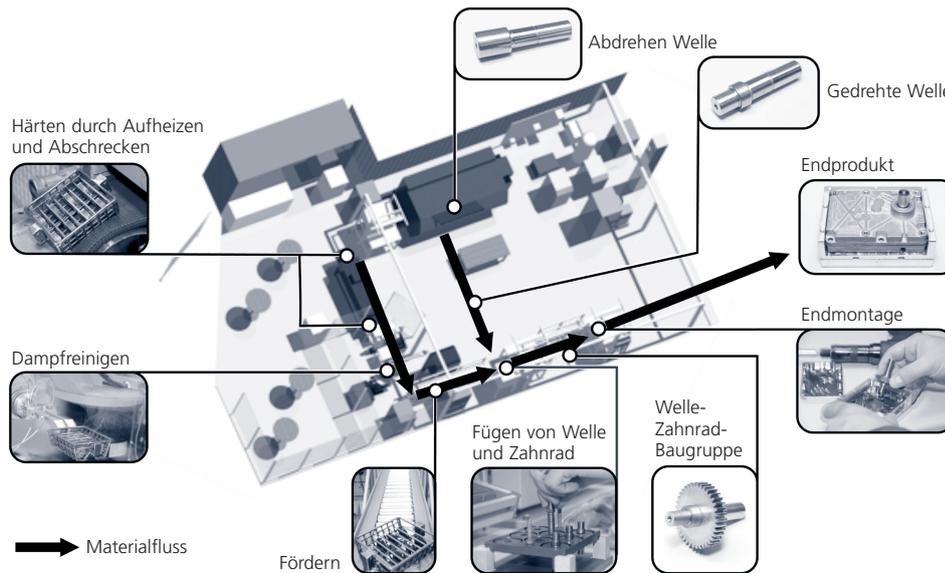


den unterschiedliche Energieformen wie Druckluft, elektrische Energie, Dampf und thermische Energie eingesetzt. Bei der Getriebeproduktion in der LEP liegt der Fokus auf der Fertigung der Welle-Zahnrad-Verbindung der Abtriebswelle. Materialfluss und Produktionsablauf sind in Abbildung 3 dargestellt. Die LEP verfügt über ein mehrstufiges Messsystem zur Quantifizierung von Energieeinsparungen. Sie stellt eine wandlungsfähige Produktionsstruktur dar, sodass Optimierungsmaßnahmen aufwandsarm implementiert werden können. Somit repräsentiert die LEP eine moderne Schulungsumgebung. Der Aufbau der LEP erfolgte am iwB in Kooperation mit der Unternehmensberatung McKinsey & Company, wobei die LEP zu Schulungszwecken von beiden Partnern separat genutzt wird. Der Betrieb am iwB erfolgt durch wissenschaftliche Mitarbeiter/-innen als Schulungsleiter/-innen, das Werkstattpersonal und studentische Hilfskräfte als Produktionsmitarbeiter/-innen.

Abbildung 2 Lernfabrik für Energieproduktivität am iwB



Quelle: REINHART u. a. 2010, Foto: Kubinska & Hofmann

Abbildung 3
Materialfluss und Produktions-
prozesse der LEP

Quelle: in Anlehnung an REINHART/KARL 2011

Didaktisches Konzept der Lernfabrik für Energieproduktivität

Das didaktische Konzept der LEP zur Vermittlung des EWS basiert auf drei Stufen des Lernens. Die Lernstufen gliedern sich in die erste intuitive, nicht angeleitete Phase, die zweite Phase (Anleitung durch Schulungsleitende) und die dritte Phase (Transfer), die die Anwendung und Übertragung des Gelernten auf das eigene Unternehmen ermöglichen soll. In der ersten Lernphase werden die Schulungsteilnehmenden in einem Seminarraum in das Thema Energie in der Produktion eingeführt. Im zugehörigen praktischen Teil erhalten sie zunächst die Aufgabenstellung, basierend auf ihren eigenen Erfahrungen Energieverschwendungen in der LEP zu identifizieren. Die gefundenen Verschwendungen werden durch die Teilnehmenden auf Moderationskarten gesammelt. Im Seminarraum erfolgt daraufhin die Präsentation und Diskussion der identifizierten Energieverschwendungen durch die Teilnehmenden. In diesem Rahmen findet ebenfalls eine Reflexion des angewendeten Analysevorgehens jedes Einzelnen statt, wobei zwei Effekte zu erkennen sind. Erstens wird bei der Analyse nicht methodisch vorgegangen. Zweitens werden nicht alle zu betrachtenden Systemelemente untersucht (Technik, Organisation und menschliches Verhalten). Üblicherweise wird lediglich die Technik betrachtet.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wird den Schulungsteilnehmenden in der zweiten Lernstufe mit dem Analyseteil des EWS das methodische Optimierungsvorgehen vermittelt. Das Vorgehen wird dabei sukzessiv im Seminarraum präsentiert und im Anschluss daran in der LEP durchgeführt. Dazu werden in zwei bis drei Gruppen

Messungen von Druckluft, Dampf sowie elektrischem und thermischem Energieverbrauch durchgeführt und auf Datenaufnahmeblättern festgehalten. Die zweite Lernstufe ist ein wesentlicher Pfeiler für die praktische Anwendung des Gelernten. Durch den Einsatz verschiedener Messgeräte werden unterschiedliche Sinneskanäle angesprochen (hören, tasten, sehen). Das zuvor in der Theorie Gehörte wird mittels Messgeräten und Notizen sichtbar gemacht. Daraufhin tragen alle Teilnehmenden ihre Messwerte zusammen und erstellen damit den Energiewertstrom.

Die dritte Lernstufe umfasst den Optimierungsteil des EWS. In erneuter Gruppenarbeit werden im Schulungsraum praktische Maßnahmen gegen die Verschwendungen abgeleitet und bewertet. Dazu finden sich die Gruppen zusammen und erhalten Vordrucke, auf denen sie ihre Auswertungen dokumentieren können. Insbesondere die Diskussion mit den anderen Schulungsteilnehmenden trägt zur Reflexion der Lerninhalte bei. Ein erneuter Besuch der LEP zeigt ihnen auf, welche Einsparungen durch Umsetzung ihrer ausgewählten Maßnahmen realisiert wurden und welche weiteren Potenziale existieren. Zum einen kann die LEP dazu physisch umgestaltet werden, da große Teile der Anlagen, der Verkettungselemente und die Medienversorgung mobil sind und verbrauchsarme Komponenten hinzugefügt werden können. Zum anderen gibt es ein Kennzahlensystem zur zeitaktuellen Darstellung des Energieverbrauchs in der LEP, womit die erzielten Einsparungen unmittelbar aufgezeigt werden können. Dieses wird durch die Produktionsmitarbeiter/-innen der LEP dargestellt, womit sie für den Energieverbrauch sensibilisiert werden und ihr Verhalten gezielt steuern können. In der abschließenden Diskussion zwischen Schulungsleitung und den Teilnehmenden liegt

die Übertragbarkeit auf das eigene Unternehmen im Fokus, wobei eruiert wird, wie das Erlernete unmittelbar angewendet werden kann.

Im Vergleich zur reinen Präsentation und Simulation, hat das handlungsorientierte Konzept der LEP einen positiven Einfluss auf die Erinnerungsquote (vgl. KAYSER 2010), wozu deren Realitätsnähe wesentlich beiträgt. Der Wechsel von theoretischen und praktischen Einheiten sowie der Einsatz von unterschiedlichen Dokumentationsbögen, Gruppen- und Einzelarbeit und eine ausreichende Anzahl an Pausen erhöht zudem die Motivation der Gruppe.

Die Schulungen in der LEP werden für Industrievertreter/-innen zumeist im Rahmen eintägiger Grundlagenschulungen durchgeführt, wobei firmenindividuelle Schulungen und offene Schulungstermine für Beschäftigte unterschiedlicher Firmen angeboten werden. Ergänzend können auch vertiefende Module zu speziellen Themen wie z. B. „Messen“ oder „Druckluft“ besucht werden. Der Kreis der Teilnehmenden erstreckt sich dabei von Meisterinnen und Meistern der Schichtleitung über Energieexperten bis hin zur Unternehmensführung. Studierende erlernen in einem zweiwöchigen Praktikum alle Aspekte des EWS mit allen Vertiefungsmodulen.

Weiterentwicklung der Lernfabrik für Energieproduktivität

Am Ende einer jeden Schulung wird in offener Diskussion sowie anonymisiert mithilfe von Fragebögen ein Feedback der Teilnehmenden eingeholt (z. B. Reflexion über die Relevanz der Schulungsinhalte für die Zielgruppe und deren didaktischen Vermittlung). Hierbei fällt auf inhaltlicher Ebene auf, dass nicht nur Energie ein entscheidendes Einsparpotenzial im industriellen Umfeld bietet, sondern auch weitere Ressourcen zunehmend in das Unternehmensbewusstsein rücken. Auf didaktischer Ebene zeigt sich insbesondere, dass unterschiedliche Zielgruppen in der LEP auch unterschiedlich angesprochen werden müssen. Ihr jeweiliger Bedarf unterscheidet sich wesentlich z. B. hinsichtlich des Lerntempos oder des gewünschten zu vertiefenden Wissens. Zudem sind bisher kleine und mittelständische Unternehmen in den Schulungen noch unterrepräsentiert, sodass bei dieser Zielgruppe noch weitere Potenziale bestehen. Dem Bedarf nach einer tiefergehenden Behandlung der Ressourceneffizienz, auch über die reine Abbildung der Produktion hinaus und der besseren Trennung der Lerninhalte nach Zielgruppen, kann in der bestehenden LEP nur bis zu einem bestimmten Punkt Rechnung getragen werden. Um größere inhaltliche Vielfalt zu bieten, z. B. Schulungen zur Verbesserung einzelner Anlagenelemente sowie das Zusammenspiel der Medienversorgung und der bewussten Gestaltung des Fabrikgebäudes abbilden zu können, bedarf es nicht nur einer Lern-, sondern auch einer Forschungsplattform. Durch die Forschung kann sichergestellt werden,

dass sich das transferierte Wissen kontinuierlich an den technischen Fortschritt anpasst. Eine solche Lern-, Demonstrations- und Forschungsplattform für Ressourceneffizienz entsteht aktuell im Rahmen des Verbunds Green Factory Bavaria am Standort Augsburg der Projektgruppe RMV des Fraunhofer IWU.³ Während der fünfjährigen Projektlaufzeit wird eine Produktionsprozesskette in einer angepassten Fabrikhalle abgebildet. Die Green Factory Augsburg setzt sich zum Ziel, die Minimierung, Wiederverwendung, Weiterverwendung, Aufbereitung und Flexibilisierung von Energie und Material sowie deren Umweltwirkungen abzubilden. Produktionsplaner/-innen eines Unternehmens lernen, den Ressourcenverbrauch von der einzelnen Komponente über den gesamten Produktionsprozess bis hin zum Fabrikgebäude zu erfassen und zu bewerten. Die Gestaltung und der Betrieb ressourceneffizienter Anlagen sowie der Medienversorgung sprechen insbesondere Meister/-innen, Instandhalter/-innen und Betriebsingenieurinnen und -ingenieure an. Aktuell werden die Forschungsinhalte erarbeitet und die Anforderungen der Zielgruppen (Studierende sowie Industrievertreter/-innen, KMU sowie Großunternehmen) erfasst. ■

Literatur

- CACHAY, J.; ABELE, E.: *Developing Competencies for Continuous Improvement Processes on the Shop Floor through Learning Factories – Conceptual Design and Empirical Validation*. In: *Procedia CIRP 5* (2012), S. 638–645
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (Hrsg.): *World Energy Outlook 2006*. Paris 2007
- KAYSER, D.: *Kostensenkungen durch Energieeffizienz in der Produktion*. In: *9. Deutscher Fachkongress Fabrikplanung*. Ludwigsburg 2010
- McKINSEY & COMPANY, INC. (Hrsg.): *Wettbewerbsfaktor Energie*. Frankfurt 2009
- NEUGEBAUER, R.: *Untersuchungen zur Energieeffizienz in der Produktion*. Chemnitz 2008
- PREM, M.: *Zukauf in den USA: Dienstleister sieht Versicherer auf die Finger*. In: *Münchener Merkur 107*, S. 7 vom 11.05.2010
- REINHART, G. u. a.: *Energiewertstrom*. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105* (2010) 10, S. 870–875
- REINHART, G. u. a.: *Energiewertstromdesign*. In: *wt Werkstattstechnik online 101* (2011) 4, S. 253–260
- REINHART, G.; MAIER, T.; NIEHUES, K.: *Kampf der Verschwendung*. In: *Fertigung* (2011) 3, S. 30–31
- REINHART, G.; KARL, F.: *Live experience of energy productivity – The Training Factory at Technische Universität München (TUM)*. In: *1st Conference on Learning Factories*. Darmstadt 2011, S. 118–127
- REINHART, G.; KARL, F.: *Methodik des Energiewertstroms – Ganzheitliche Erhöhung der Energieproduktivität in der Produktion*. In: *5. Fachtagung energieeffiziente Fabrik in der Automobil-Produktion*. München 2012
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): *Bruttoinlands-Produkt 2012 für Deutschland*. Wiesbaden 2013
- TISCH, M. u. a.: *A systematic approach on developing action-oriented, competency based Learning Factories*. In: *Procedia CIRP 7* (2013), S. 580–585

3 Das Projekt Green Factory Bavaria ist ein Vorhaben der Zukunftsinitiative „Aufbruch Bayern“. Ein besonderer Dank gilt dem Freistaat Bayern als Förderer dieses Projekts.