
ENERGIEEFFIZIENZ PRODUKTIONSEFFIZIENZ MATERIALEFFIZIENZ

Das Thema «Produktionseffizienz» ist für die Praxis interessant, falls bessere und zugleich günstigere Lösungen entwickelt und realisiert werden können. Jeder weiss: Verschwendung stört, Verschwendung kostet, und Verschwendung belastet unnötig die Umwelt. Der Zusammenhang zwischen einer effizienten Produktion und einer optimierten Nutzung der Ressourcen ist offensichtlich. Es stellt sich deshalb die Frage, wie bessere Lösungen entwickelt und realisiert werden können.

Eine kürzlich vom Fraunhofer Institut durchgeführte Studie im produzierenden Gewerbe zeigt die zunehmende Bedeutung der Ressourceneffizienz: Firmen sehen Potenzial für Kostensenkungen, zusätzliche Wettbewerbsvorteile, Werbemöglichkeiten und Öko-Innovationen. Um diese Chancen zu nutzen müssen Produkte und Prozesse kontinuierlich optimiert werden. Innerhalb von zehn Jahren wird eine Verbesserung der Ressourceneffizienz der industriellen Produkte und Prozesse im Ausmass von 25 bis 35% erwartet. Ein wesentlicher Teil dieser «Gewinne» betrifft eine umfassende Systemoptimierung. In rund 50% der Fälle sind dazu bereits Lösungen und Konzepte bekannt; notwendig wäre hier eine Aufarbeitung erfolgreicher Bei-

spiele aus Forschung und Praxis für eine breite Multiplikation. In den anderen 50% der Fälle braucht es radikale Verbesserungen. Unternehmen haben häufig aber keine klare Vorstellung, wie sie das Thema «Ressourceneffizienz» im Rahmen neuer Produkte und Prozesse systematisch angehen sollen. Es fehlt offensichtlich an Wissen und Erfahrungen.

Firmen sind in erster Linie an einfachen und schnell umsetzbaren Lösungen interessiert. Lösungen, die eine relevante ökonomische und ökologische Rendite haben und einfach anwendbar und multiplizierbar sind. In zweiter Linie suchen die Unternehmen Antworten im Bereich Re-Engineering (tiefgreifende Änderungen) sowie umfassendere Systemlösungen. Für beide Bereiche liegt der Fokus nicht nur auf der Ressourceneffizienz, sondern auf einer umfassenden Produktionseffizienz.

Was hindert Unternehmen daran, das Konzept einer umfassenderen Produktionseffizienz umzusetzen? Sie befürchten mangelnde Wirtschaftlichkeit, zu grossen zeitlichen Aufwand und Informationsdefizite. Die Lösung könnten thematische Netzwerke zwischen interessierten Firmen und kompetenten Partnern von Hochschulen sein, welche den Kom-

petenzaufbau und den Erfahrungsaustausch gemeinsam initiieren und fördern.

Diese Broschüre zeigt unterschiedliche Anwendungen von gesteigerter Produktionseffizienz in der Praxis auf und soll zur Nachahmung anregen.

Maurice Jutz

Präsident des Fördervereins «Sustainable Engineering Network Switzerland»

Rainer Züst

Geschäftsführer «Sustainable Engineering Network Switzerland»

EINE INITIATIVE VON

**sustainable
engineering
network switzerland**



Schlüsseltechnologien für den industriellen Bereich

ENERGIEEFFIZIENZ DURCH INNOVATIVE MOTOREN- UND ANTRIEBSTECHNIK

Motoren und Antriebe in Industriebetrieben bieten ein hohes Potenzial zur energetischen Optimierung. ABB konnte durch den Einsatz neuer hocheffizienter Motoren in Kombination mit drehzahlregelnden Antriebssystemen bereits Energieeinsparungen von bis zu 30 Prozent realisieren. Das verdeutlichen Referenzprojekte in Grossbritannien und der Schweiz.

Von Thomas Friedli, Fabian Liebetau, Maria Fischl, Andreas Suranyi, Dominik Lang, Andreas Kreienbühl

Was würden Sie davon halten, wenn lediglich 20 Prozent Ihres Gehalts auf dem Konto landen? Oder wenn 80 Prozent der Lebensmittel, die Sie pro Woche einkaufen, einfach verderben würden? Eine ähnlich schlechte Bilanz findet man oftmals bei der Erzeugung und Nutzung von elektrischer Energie. Der Prozess der Suche, Gewinnung und Verarbeitung von natürlichen Ressourcen, deren Umwandlung in Elektrizität sowie deren Anwendung beim Verbraucher weist einen Wirkungsgrad von insgesamt nur rund 20 Prozent auf (siehe Abb. 1).

Doppelte Produktivität

Viele der Energieverluste sind unvermeidlich. Dank geeigneter Massnahmen und innovativer Technologien kann die Effizienz jedoch beträchtlich gesteigert werden. Durch die Senkung von Stromverbrauch und Energieverlusten, die Steigerung der Produktivität und durch ein effektiveres Management der elektrotechnischen Ausrüstung können die Energieverschwendung eingedämmt und die gegenwärtige Produktivität der Energiekette mehr als verdoppelt werden.

Energieeffizienzhebel Industrie

Gemäss der Internationalen Energieagentur (IEA) gehen 42 Prozent des gesamten Energieverbrauchs auf das Konto der Industrie. Besonders energieintensiv sind dabei die Zementindustrie, die Chemische Industrie sowie die Eisen- und Stahlindustrie. Mittels hochmoderner Steuersysteme, Automationsproduk-

ten und elektrotechnischer Ausrüstung kann die Energieproduktivität der Fabriken bereits heute wesentlich gesteigert werden. Beträchtliche Energieeinsparungen sind auf diese Weise möglich.

Neben Energieleitsystemen zählen insbesondere Antriebe und Motoren zu den Schlüsseltechnologien, um die Energieeffizienz im industriellen Bereich zu optimieren. Sie bieten ein besonders hohes Potenzial für Energieeinsparungen, da Elektromotoren rund zwei Drittel des gesamten industriellen Stromverbrauchs ausmachen. Hunderte Millionen von Elektromotoren, Kompressoren, Lüftern, Pumpen oder Förderanlagen sind in Betrieben aller Industriezweige installiert. Die überwältigende Mehrzahl dieser Geräte und Anlagen ist auf einem

veralteten technischen Stand. Zudem sind die eingesetzten Motoren häufig überdimensioniert. Das liegt daran, dass Unternehmen oft leistungsstärkere Motoren kaufen als nötig, um einen «Puffer» zu haben und vor Leistungsspitzen und Überlast geschützt zu sein.

Austausch sowie Nachrüstung

Ein möglicher Weg zur Energieeffizienzsteigerung sind der Austausch sowie die Nachrüstung dieser veralteten Elektromotoren. Bei der Auswahl helfen die Standards der International Electrotechnical Commission (IEC). Diese sehen Vorschriften für Testverfahren und vier Effizienzklassen vor (IE1 bis IE4). Das kommt sowohl Herstellern als auch Konsumenten zugute: Während die Hersteller nun auf der Basis einheitlicher Standards untereinander konkurrieren und dazu angeregt sind, die Motoreffizienz zu steigern, können die Konsumenten die Motoren leichter vergleichen.

Richtig dimensioniert und intelligent verwaltet

Intelligente oder softwaregestützte Motorsteuerungssysteme erlauben bereits heute, die Betriebsbedingungen und den Energiever-

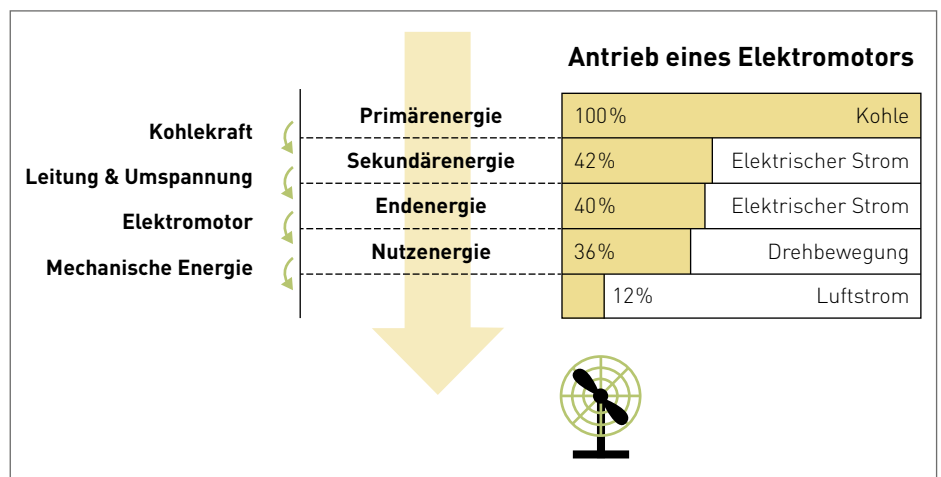


Abb. 1: Verdeutlichung des Wirkungsgrades der Energiekette am Beispiel eines Ventilators.



Abb. 2: Beispiel eines drehzahlregelnden Antriebssystems.

brauch aller Motoren eines Werks zu verwalten. Auf diese Weise können kleinere Motoren installiert und der Energieverbrauch beträchtlich gesenkt werden – und das ohne technisches Risiko. Wer beispielsweise einen überdimensionierten 37-Kilowatt-Motor durch einen 30-kW-Motor ersetzt, spart in einem typischen Werk mittlerer Grösse mit 200 Motoren rund 180 000 Kilowattstunden Strom im Jahr und 90 Tonnen CO₂. Bei einer Papierfabrik, die mit 1500 Motoren ausgestattet sein kann, liegen die Einsparungen markant höher.

Bedarfsgerecht betrieben

Eine weitere Möglichkeit zur Energieeinsparung stellen leistungsoptimierende Antriebssysteme dar. Mit einem innovativen Antrieb kann die Motordrehzahl und damit die dem Prozess zugeführte Leistung optimal an die zu verrichtende Aufgabe angepasst werden. So wird nicht mehr Energie verbraucht als unbedingt nötig. Auf diese Weise können in einer typischen Anwendung rund 30 Prozent Energie gespart werden. Die Investition in einen solchen Antrieb amortisiert sich oft in weniger als einem Jahr. Der Einsatz hocheffizienter Motoren in Kombination mit innovativen Antrieben führt bei drehzahlabhängigen Applikationen zu den besten Ergebnissen. Die Energieeinsparungen summieren sich schnell. Schliesslich kostet die Energie, die für den Betrieb eines Motors über dessen Nutzungsdauer gebraucht wird, das Hundertfache des ursprünglichen Anschaffungspreises.

Auch Motoren der Klasse IE4

ABB ist weltweit der grösste Hersteller von Antrieben und Elektromotoren. Zum Angebot gehören Motoren der Energieeffizienzklasse IE2, IE3 sowie solche der zukünftigen Klasse IE4 und hocheffiziente Synchronreluktanzmotoren. Letzterer wurde speziell für den

Einsatz mit drehzahlregelnden Antrieben entwickelt. Konventionelle Asynchronmotoren wurden hauptsächlich für Festdrehzahlen entwickelt und machen etwa 90 Prozent des Marktes aus. Erstmals steht damit eine Antriebstechnik zur Verfügung, die speziell den Anforderungen drehzahl geregelter Anwendungen (z. B. Pumpen und Lüftern) entspricht. Die nachfolgenden Referenzbeispiele verdeutlichen, welche Energieeinspareffekte mit innovativen Antrieben und Motoren erzielt werden können.

Neuste Generation: 6 Prozent weniger Energie

South Staffordshire Water PLC (South Staffs Water) versorgt weite Teile des sogenannten Black Country, eines Ballungsgebiets nördlich und westlich von Birmingham (Grossbritannien), mit Wasser. Täglich liefert das Unternehmen 330 Millionen Liter Wasser an etwa 500 000 Haushalte und 36 000 Geschäftskunden. Der Wasserversorger wollte in seiner Pumpstation Somerford einen 20 Jahre alten 115-Kilowatt-Asynchronmotor ersetzen, mit dem eine Bohrlochpumpe betrieben wird, die pro Tag 2,5 Millionen Liter Wasser fördert. Der Motor war bereits mit einem ABB-Frequenzumrichter ausgestattet. Das durch den Antrieb ermöglichte Energieeinsparpotenzial war also bereits ausgeschöpft. Das Wasserwerk war an einem Testbetrieb des neuen Synchronreluktanzmotors interessiert, um von seinen Vorteilen, wie höherem Wirkungsgrad, grösserer Zuverlässigkeit, geringerer Verlustleistung, geräuschärmerem Betrieb und reduzierten Wartungskosten, zu profitieren. Der vorhandene Antrieb wurde deshalb gegen einen Frequenzumrichter mit einem leistungsstärkeren Kernprozessor und Synchronreluktanzmotor-Software ausgetauscht. Das Energieeffizienzprojekt, das durch ABB

ausgeführt wurde, übertraf die Erwartungen von South Staffs Water. «Der grösste Vorteil ist die Reduzierung des Energieverbrauchs um 6 Prozent», erklärt Supply Director Keith Marshall. «Obwohl wir eines der effizientesten Unternehmen der Branche sind, haben wir trotzdem jährliche Stromkosten von mehr als 9 Millionen Pfund (etwa 13 Millionen Franken), die sich durch den Anstieg der Grosshandelspreise für Energie noch weiter erhöhen. Auf die Wasserpumpen entfallen davon etwa 90 Prozent.» Laut Einschätzung eines weiteren Projektmitarbeiters des Wasserversorgers wären beim Austausch einer älteren Motor-Antriebs-Kombination an anderer Stelle der Anlage leicht 10 bis 15 Prozent Einsparung realisierbar. Alles in allem war das Projekt schlichtweg ein durchschlagender finanzieller und energetischer Erfolg für das Unternehmen.

Drehzahlregulierender Antrieb: 20 Prozent Energieeinsparung

Jura Cement ist mit einer jährlichen Produktionskapazität von über einer Million Tonnen Zement der zweitgrösste Zementhersteller der Schweiz. Kernprodukt der beiden Zementwerke in Wildegg AG und Cornaux NE bilden leistungsfähige Zemente für verschiedenste Anwendungsgebiete. Am Standort

ITEM-HSG Das Institut für Technologiemanagement (ITEM-HSG) der Universität St.Gallen wurde 1989 mit Unterstützung der «Stiftung zur Förderung von Technologiemanagement, Technologiepolitik und Technologietransfer» gegründet. Unter der Leitung von Prof. Dr. Thomas Friedli entsteht derzeit die Innovationszelle «Effizienz 2.0». Ziel dieser Initiative ist es, den Bedarf der Industrie nach effizienteren Produktionsansätzen mit dem Know-how der (Ost-)Schweizer Forschungseinrichtungen zu verbinden.

ABB ist ein weltweit führender Konzern in der Energie- und Automationstechnik mit etwa 145 000 Mitarbeitenden in rund 100 Ländern. Das Unternehmen liefert Systeme und Gesamtlösungen für Versorgungs- und Industrieunternehmen. Durch innovative Energieeffizienzlösungen wird den Kunden ermöglicht, ihre Leistung zu verbessern und gleichzeitig die Umweltbelastung zu reduzieren.

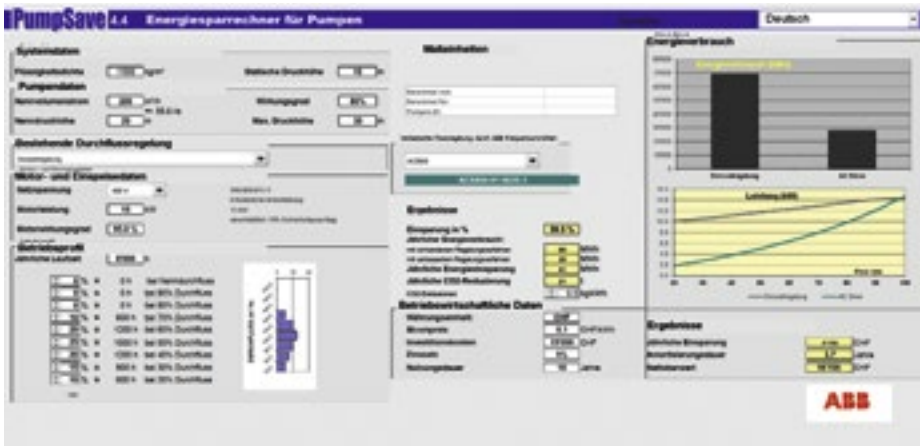


Abb. 3: Beispiel eines Energiesparrechners für Pumpen.

Wildegge werden davon jährlich bis zu 750 000 Tonnen produziert.

Zur Zementherstellung werden die benötigten Rohstoffe (Kalkstein, Ton, Sand und Eisenerz) in Steinbrüchen abgebaut, in Brechern vorzerkleinert und in das Zementwerk befördert. In einer Rohmühle werden alle Rohmaterialien zusammen vermahlen und gleichzeitig getrocknet. Das dabei entstehende Rohmehl wird dann in einem Drehrohrofen bei Temperaturen von rund 1400 bis 1450 Grad Celsius zu sogenanntem Klinker gebrannt, welcher dann in einem Kühler auf eine Temperatur von unter 200 Grad Celsius heruntergekühlt wird. Die entstehenden graubraunen Granalien werden anschliessend in einer Kugelmühle zusammen mit Gips oder Anhydrit zum fertigen Produkt, dem Zement, vermahlen.

Der Fokus des Energieeinsparungsprojektes lag auf dem Kühlprozess. Dieser wurde bis anhin mit einem 25 Jahre alten Kaskadenantrieb betrieben. Ein Kaskadenantrieb mit einer Leistung von 630 Kilowatt (kW) regelte die Drehzahl eines Asynchronmotors des Abluftgebläses am Klinkerkühler. Dieser Kaskadenantrieb musste mit mindestens 300 Umdrehungen pro Minute betrieben werden, da der Gesamtwirkungsgrad bei geringerer Drehzahl erheblich abfallen würde. Allerdings hatte dieser eingeschränkte Drehzahlbereich weitreichende Auswirkungen auf weitere Produktionsphasen, sodass dort ebenfalls ein erhöhter Energieverbrauch zu verzeichnen war.

Durch einen modernen Antrieb gelang es ABB, den Energieverbrauch im Kühlprozess zu reduzieren. Der bestehende Kaskadenantrieb wurde durch einen neuen Antrieb (Frequenzumrichter ACS 2000) mit einer Nennleistung von 550 kW ersetzt, der einen Drehzahlbereich von 0 bis 1000 Umdrehungen pro Mi-

nute erlaubt. Dieser drehzahlregulierende Antrieb ermöglichte es, durch den bedarfsgerechten Betrieb eine Energieersparnis von 20 Prozent im Abluftgebläse des Kühlprozesses zu erreichen.

Weitere Referenzprojekte

Nachfolgend ein paar weitere Referenzprojekte:

- Antriebe für die Drehzahlregelung von Küchenabzugsanlagen haben den Energieverbrauch in 50 McDonald's-Restaurants in Grossbritannien halbiert. Zusätzlich wurden die von den Abzugsanlagen ausgehende Lärmbelästigung reduziert und die Geräteeffizienz in den Küchen verbessert.
- In Peña Colorada, Mexikos grösster Eisenerzmine, wurde ein Kühlgebläse mit einem Antrieb ausgestattet. Dadurch konnten der Energieverbrauch der Installation um 23 Prozent gesenkt und die Produktivität aufgrund der verbesserten Verfügbarkeit erhöht werden.
- Der Motor eines Mischers in einer Kunststofffabrik von Daqing Petrochemical in China erhielt einen drehzahlregelnden Antrieb. Auf diese Weise wurden die Produktionsqualität verbessert und der Energieverbrauch um 30 Prozent reduziert.
- Mit einer Komplettlösung für Energie- und Automationstechnik konnte das grösste Aluminiumwerk in Europa die Energieeffizienz um 25 Prozent erhöhen und gleichzeitig die Produktivität steigern.

Intelligenter Antriebssysteme schonen den Geldbeutel

Drehzahlregulierende Antriebssysteme regulieren den Betrieb von Elektromotoren und sparen Energie, indem sie die Leistung von motori-

sierten Pumpen, Lüftern, Transportbändern und ähnlichen Geräten dem tatsächlichen Leistungsbedarf des Systems anpassen. Nach Schätzung von ABB sparen die drehzahlregulierenden Antriebssysteme, die weltweit eingesetzt werden, bereits jetzt den Energieverbrauch von etwa 14 Atomreaktoren ein. Dadurch wird die Treibhausgasemission jährlich um mehr als 97 Millionen Tonnen gesenkt. Energieeffizienz lohnt sich aber nicht nur für die Umwelt. Sie kann, wie in den vorhergehenden Referenzprojekten gezeigt, auch nachhaltig die Kosten in Industriebetrieben senken und damit einen positiven Wertbeitrag zur wirtschaftlichen Entwicklung leisten. Bereits in der Planungsphase einer Energieeffizienzmassnahme lassen sich die Energie- und Kosteneinsparungen mittels spezieller Software-Tools berechnen und damit die Basis für wirtschaftliche Energieeffizienzinvestitionen schaffen.

Energiesparrechner schaffen Planungssicherheit

Mit den Tools «PumpSave» und «FanSave» kann der Energieverbrauch bei Einsatz von Frequenzumrichtern in der Pumpen- und Lüfterregelung mit herkömmlichen Verfahren der Durchflussregelung verglichen werden (siehe Abb. 3). Neben den technischen Daten liefern die Berechnungstools auch betriebswirtschaftliche Zahlen (z.B. jährliche Einsparung in Franken, Amortisationsdauer, Nettobarwert) zur Beurteilung der Rentabilität einer Energieeffizienzinvestition.

Weiterführende Links rund um das Thema Motoren, Antriebe und Energieeffizienz:

www.abb.ch/industriautomation

www.bfe.admin.ch/forschungelektrizitaet

www.topmotors.ch

THOMAS FRIEDLI
FABIAN LIEBETRAU
MARIA FISCHL

Institut für Technologiemanagement der
Universität St. Gallen.

ANDREAS SURANYI
DOMINIK LANG
ANDREAS KREIENBÜHL

ABB Schweiz AG.

Optimierte Kühlschmiermittelsysteme für Werkzeugmaschinen

WENIGER IST MEHR

Was zeichnen gute Werkzeugmaschinen aus? Es ist die hohe Produktivität bei gleichbleibender hoher Prozessqualität. Dazu benötigen Werkzeugmaschinen viel Energie für den Prozess wie auch für diverse Hilfsfunktionen. Dabei entsteht Wärme, und diese Wärme stört in der Präzisionsfertigung. Die Prozesswärme muss deshalb gezielt abgeführt werden. Vielfach geschieht dies mit Kühlschmiermittel unter hohem Druck. Diese Kühlsysteme sind wiederum Energiefresser – damit erhöht sich der Kühlbedarf zusätzlich. Gefragt sind deshalb intelligentere und vor allem auf den wirklichen Bedarf ausgelegte Kühlschmiermittelsysteme.

Von Simon Züst, Lukas Weiss, Rainer Züst

Das Kühlschmiermittelsystem versorgt die Prozesszone mit Kühlschmiermittel – kurz KSM. Die Eigenschaften eines KSM werden vom gewählten und somit spezifischen Bearbeitungsprozess bestimmt. Dies sind einerseits Dichte, Wärmekapazität oder Viskosität, andererseits physikalische Eigenschaften wie Durchflussmenge und Geschwindigkeit im Kühlschmiermittelstrahl. Letzteres wird nach dem spezifischen Bedarf festgelegt.

Durchfluss und Strahlgeschwindigkeit sind zentral

Das KSM erfüllt auf einer Werkzeugmaschine die drei Funktionen «Kühlen», «Schmieren» und «Späne schwemmen». Das KSM führt einen Grossteil der Wärme auf der Prozesszone ab. Die Kühlleistung ist direkt vom Durchfluss abhängig. Mit der Schmierwirkung wird die Prozessreibung reduziert. Dadurch können die Schnittleistung erhöht, der Verschleiss reduziert und die Qualität verbessert werden. Eine Schmierung erreicht man bereits mit kleinen Durchflussmengen. Das KSM muss jedoch exakt an die Schneide gelangen, was beispielsweise bei dünnen Bohrungen schwierig zu erreichen ist. Im Weiteren müssen die Späne von der Prozesszone wegtransportiert werden. Ideal sind dazu hohe Strahlgeschwindigkeiten; das braucht sowohl hohe Drücke als auch hohe Durchflüsse.

Zentrale Anforderungen an das KSM sind Durchflussmenge und Strahlgeschwindigkeit. Beide Grössen bestimmen die kinetische

Energie im KSM-Strahl, welche mindestens notwendig ist, um die gewünschten Funktionen zu erfüllen.

Für die Optimierung eines KSM-Systems sind deshalb zwei Schritte zentral:

- Wahl der Betriebspunkte: Wie viel ist wirklich notwendig? Mit wie wenig kann der Prozess sicher betrieben werden?
- Umsetzung: Wie können die Anforderungen mit minimalem Aufwand an Energie gewährleistet werden?

Die Leistungsaufnahme der KSM-Versorgung ist bedeutend. Für viele Anwendungen ist sie höher als die Leistungsaufnahme des Hauptantriebs, also die Spindel, welche das Werkzeug bewegt. Mit anderen Worten: Das Abführen der Abwärme braucht mehr Leistung als die abzuführende Wärme. Und diese Leistung für das Wärmeabführen wird ebenfalls vollständig in Wärme umgewandelt.

Verluste in Kühlschmiermittelsystemen

Ein Kühlschmiermittelsystem besteht zumindest aus einer Pumpe, aus Leitungen und einer Düse. Jede dieser Komponenten ist verlustbehaftet und reduziert somit die Effizienz des Systems. Um die physikalischen Anforderungen, also Durchflussmenge und Strahlgeschwindigkeit, möglichst effizient zu erfüllen, muss die ganze Kühlschmiermittelversorgungskette (siehe Abb. 1) betrachtet und optimiert werden.

Die dargestellten Komponenten des Kühlschmiermittelsystems haben dabei folgende Funktionen: Durch den Prozess ist die Menge und Form (Runddüse, Flachdüse, Werkzeuginnendurchlass etc.) des benötigten Kühlschmiermittels festgelegt. Dieses wird von einer Pumpe aus einem Reservoir durch eine Leitung zur Düse gefördert. Die geforderte Durchflussmenge und Geschwindigkeit des KSM-Strahls bestimmen den notwendigen Druck in der Düse. Dieser Druck ist in erster Näherung proportional zum Quadrat der Strahlgeschwindigkeit. Für die doppelte Strahlgeschwindigkeit ist der vierfache Druck notwendig. Dieser Druck muss von der Pumpe erzeugt werden. Die Düse ist mit der Pumpe durch eine Leitung verbunden. In dieser Leitung findet Rohreibung statt, welche zu einem Druckverlust führt. In erster Näherung ist dieser proportional zum Quadrat der Fließgeschwindigkeit und umgekehrt proportional zum Rohrdurchmesser hoch vier!

Einbauten wie Übergänge, Ventile oder Verzweigungen können ebenfalls zu einem Druckverlust führen. Der verursachte Druckverlust muss von der Pumpe kompensiert werden, damit an der Düse die geforderten Eigenschaften erfüllt sind. Die korrekte Dimensionierung der Leitung trägt somit ebenfalls zur Effizienzsteigerung des Systems bei.

Die Pumpe erzeugt den notwendigen Druck. Der Zusammenhang zwischen Druck und Durchflussmenge wird durch die Pumpen-

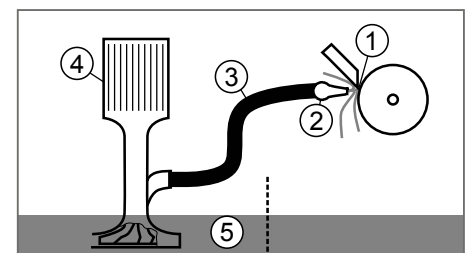


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung eines Kühlschmiermittelsystems mit Prozess (1), Düse (2), Leitung (3), Pumpe (4) und Reservoir (5).

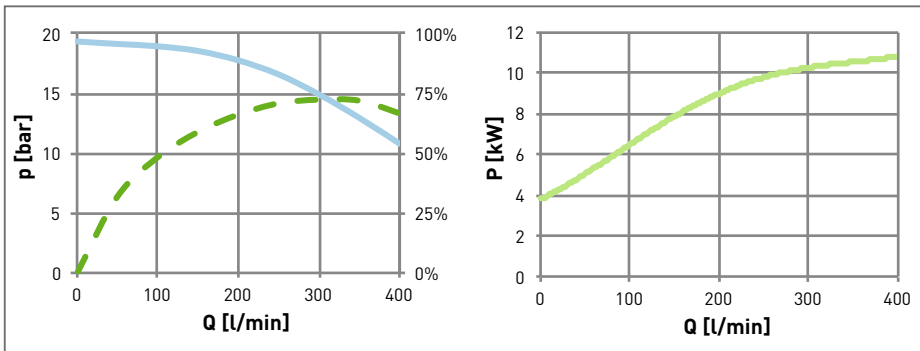


Abb 2: Beispiel einer Pumpenkennlinie:
 Links: Zusammenhang Fördervolumen Q und Druck p , sowie Effizienz (gestrichelte Linie).
 Rechts: Zusammenhang Fördervolumen Q und Leistungsaufnahme P der Pumpe.

charakteristik bestimmt. Mit steigendem Durchfluss nehmen der erzeugte Druck ab und die benötigte Leistung zu (siehe Abb. 2, links).

In Abbildung 2 ist auch die Effizienz der Pumpe dargestellt, d.h. das Verhältnis zwischen der Leistung des Kühlschmiermittelsystems und der Leistungsaufnahme des Pumpenantriebes. Die Effizienz ist am nominalen Betriebspunkt maximal. Abweichungen von diesem Betriebspunkt bedeuten eine Reduktion der Effizienz. Somit stellt sich die Frage, wie das System auszulegen und zu betreiben ist, um über den gesamten Betriebsbereich eine möglichst hohe Systemeffizienz zu erzielen. Analog zur Pumpenkennlinie kann auch für die Leitung und die Düse eine Anlagenkennlinie definiert werden. Diese beschreibt den Druck, welcher notwendig ist, um einen bestimmten Durchfluss realisieren zu können. Koppelt man die Pumpe mit der Leitung und der Düse, so befindet sich der Betriebspunkt des Systems im Schnittpunkt der Pumpenkennlinie und der Anlagenkennlinie. Der Betriebspunkt ist so festgelegt. Sollen nun ein bestimmter Durchfluss und ein bestimmter Druck realisiert werden, muss mit Drosseln und/oder Bypässen die Differenz zum – idealerweise – nächsten Punkt auf der Kennlinie der Pumpe in vertikaler respektive horizontaler Richtung erzeugt werden. Eine Drossel erzeugt einen Druckabfall, ein Bypass lenkt einen Teil des Fördervolumens zurück ins Reservoir, erzeugt also einen zusätzlichen Durchfluss. Aus energetischer Sicht ist diese Differenz zur Pumpenkennlinie ein Verlust. Zusätzlich sinkt die Effizienz der Pumpe bei niedrigen Durchflüssen (siehe Abb. 2). Hinzu kommt, dass bei geringen Durchflüssen meist weniger Druck benötigt wird und demnach mehr Leistung in einer Drossel vernichtet

werden muss. Eine bedarfsgerechte Regelung des Systems ist zwar möglich, da aber die nicht benötigte Leistung vernichtet wird, verbessert die Regelung die Systemeffizienz nicht.

Mit Drosseln und Bypässen zu regeln ist einfach, aber sehr ineffizient! Dies ist vergleichbar mit einem Auto, bei welchem der Motor auf Nennleistung dreht und das Tempo über die Bremse oder einen Fallschirm geregelt wird.

Bedarfsgerechte Regelung

Bei energieeffizient geregelten Systemen ist die Pumpe in der Lage, die Kennlinie dem geforderten Betriebspunkt in der Anlage anzupassen. Dazu gibt es verschiedene Ansätze, z.B. Drehzahlregelung des Pumpenantriebes oder der Einsatz von mehreren parallel betriebenen Pumpen, die je nach Bedarf zugeschaltet werden. Für beide sind zusätzliche Komponenten notwendig (Frequenzumrichter bzw. weitere Pumpen), welche in der Investition zu Mehrkosten führen.

In der Anwendung sind die Vorteile offensichtlich. Die Abbildung 3 zeigt den Vergleich zweier Kühlschmiermittelsysteme mit identischer Pumpe bei einer Förderung von 200 l/min durch eine Düse mit einem Querschnitt von 90 mm². Zur Regelung kommt im ungeregelten Fall eine Drossel zum Einsatz (= Anpassung der Anlagenkennlinie), im anderen Fall eine Drehzahlregelung der Pumpe (= Anpassung der Pumpenkennlinie). Vereinfacht gesagt entfällt bei der energieeffizienten Regelung der doppelte Drosselverlust, einmal in der Drossel und einmal bei der Pumpe, da sie die Drosselleistung nicht unnötigerweise bereitstellen muss. Im Detail ist die benötigte Leistung noch tiefer, da die Pumpe an einem Betriebspunkt mit höherem Wirkungsgrad betrieben werden kann.

Das Beispiel von Abbildung 3 zeigt deutlich, wie wichtig die richtige Wahl des Pumpentyps und die Art der Regelung sind. Die wesentlichen Verluste fallen in der Pumpe sowie in Elementen wie Drosseln an. Verluste in der Leitung und in der Düse sind in der Regel sekundär.

Hohe Leistungsaufnahme, wie dies bei ungeregelten Systemen der Fall ist, führt zu mehr Wärme in den Maschinen oder in der Umgebung und erhöht somit den Kühlbedarf. Diese Kühlung zieht weiteren Energiebedarf nach sich!

Um nun ein Kühlschmiermittelsystem effizient auslegen zu können, ist in erster Linie die Kenntnis über den intendierten Betrieb notwendig. Darauf aufbauend kann einfach und rasch eine geeignete Pumpenstrategie gewählt werden, welche die geforderten Betriebspunkte möglichst effizient erfüllt. Das

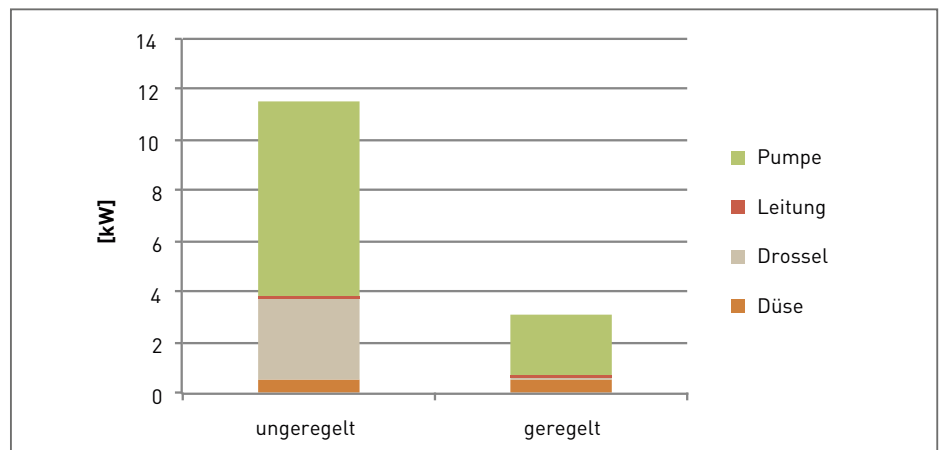


Abb. 3: Vergleich der Verluste einer ungeregelten Pumpe mit Drossel und einer geregelten Pumpe [Durchfluss: 200 l/min, Düsenquerschnitt: 90 mm²].

	Investition [CHF]	Mittlere Leistung [kW]	Stromkosten [CHF/1000 h]	Gewinnschwelle [h]
Ungeregelte Pumpe	13355	13,90	2085	-
Geregelte Pumpe	17325	7,33	1100	4030

Tabelle: Leistungs- und Kostenabschätzung für unregelmässige und geregelte Pumpe, unter denselben Einsatzbedingungen (Strompreis = CHF 0.15/kWh).

Ganze muss zudem in einem System integriert werden, welches Reibungsverluste im Rahmen der Anforderungen minimal hält.

Wo ist Optimierungspotenzial vorhanden?
Nachfolgend eine kleine Planungshilfe mit sechs Fragen:

1. *Betriebspunkte bekannt und hinterfragt?*
Was will der Kunde? Wie wenig ist für die intendierte Anwendung notwendig?

Die Vorgaben sind zunächst kritisch zu hinterfragen, denn vielfach reicht ein Teil der geforderten Pumpenleistungen.

2. *Variieren die Betriebszustände stark?*

Unterschiedlichste Betriebspunkte führen zwangsläufig bei demselben Kühlschmiermittelsystem zu unterschiedlicher Effizienz. In diesem Fall sollten folgende Optionen überprüft werden:

1. Drehzahlregelung der Pumpe sinnvoll?
2. Einsatz von mehreren Pumpen?
3. Kombinationen aus 1. und 2.?

Bei der Evaluation sind auch sekundäre Effekte zu berücksichtigen. So bedeutet eine Reduktion der Leistungsaufnahme (= Effizienzsteigerung) weniger Abwärme. Geringere Abwärme bedeutet weniger Kühlbedarf.

3. *Arbeitet die Pumpe am Nennbetriebspunkt?*
Eine Pumpe sollte nahe dem Nennbetriebspunkt arbeiten. Falls dies nicht möglich ist, sollten die Punkte 2, 4 und 5 überprüft werden. Falls diese nicht zur Lösung beitragen, muss eine Redimensionierung der Pumpe erwogen werden.

4. *Werden Drosseln eingesetzt?*

Drosseln sind wenn möglich zu vermeiden; geregelte Pumpen sind zu prüfen.

(Anmerkung: Als Drossel wirken auch verschieden dicke Zuleitungen, welche je nach Bedarf in Betrieb genommen werden.)

5. *Existiert ein Bypass?*

Auch ein Bypass ist zu vermeiden; geregelte Pumpen sind zu bevorzugen. Ist aus Prozessgründen ein permanenter Durchsatz notwendig, so ist dieser minimal zu halten.

6. *Arbeitet das Verteilsystem verlustarm?*

Im ganzen System sollten die Verluste minimal gehalten werden, dazu gehören:

- Reibungsverluste in der Düse
- Rohreibung: Kann durch geeignete Oberfläche, minimale Leitungslänge und niedrige Fließgeschwindigkeit optimiert werden
- Druckverluste an Übergängen, Knicken in der Leitung oder in Ventilen

Energieeffizienz zahlt sich aus – ein einfaches Rechenbeispiel

Ein Kühlschmiermittelsystem unterstützt einen Schleifprozess. Die KSM-Austrittsgeschwindigkeit soll aus Prozessgründen gleich gross sein wie die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe. Die Düse wird jeweils passend zur Schleifscheibe gewählt (Düsenbreite gleich Schleifscheibenbreite; Düsenhöhe 3 mm, sodass die Schleifscheibe benetzt wird und kein Kühlschmiermittel verloren geht). Prozessbedingt sind folgende Wertebereiche für die Schleifscheibe vorgesehen:

- Umfangsgeschwindigkeit: 12 bis 50 m/s
- Scheibenbreite: 15 bis 60 mm

Durch häufig wechselnde Aufträge werden im Betrieb alle Betriebspunkte gleich häufig angefahren. Die Anlage wird dabei von einer unregelmässigen Pumpe mit Kühlschmiermittel versorgt. Diese wurde so ausgelegt, dass der Betriebspunkt von 50 m/s Austrittsgeschwindigkeit bei 60 mm Scheibenbreite gerade noch realisiert werden kann. Für alle anderen Betriebspunkte kommt eine Drossel zum Einsatz. Die Frage ist nun, ob sich die Regelung der Pumpendrehzahl energetisch und finanziell lohnen könnte.

Durch ein einfaches Modell, welches die oben beschriebenen physikalischen Zusammenhänge innerhalb eines Kühlschmiermittelsystems abbildet, können erste Aussagen über das Einsparpotenzial gemacht werden (siehe Tabelle). Die Investition ergibt sich aus den Kosten für die Pumpe sowie für den Frequenzumrichter (Preisangaben von Grundfos AG)

im Fall der Drehzahlregelung. Die geregelte Pumpe verursacht Mehrinvestitionen von rund 4000 Franken, zeigt aber nach erster Abschätzung eine um 6,6 kW geringere mittlere Leistungsaufnahme. Bei einem Strompreis von CHF 0.15/kWh wird nach etwa 4000 Betriebsstunden bereits der Break-even erreicht.

Werkzeugmaschinen werden in industrieller Produktionsumgebung mindestens 40 000 Stunden und mehr betrieben, also rund zehnmal länger als der in der Tabelle ausgewiesene Break-even. Der Einsatz einer drehzahlgeregelten Pumpe ist deshalb sowohl aus energetischer wie auch aus finanzieller Sicht nicht nur sinnvoll, sondern auch finanziell sehr attraktiv. In dieser Modellrechnung wird noch nicht berücksichtigt, dass der Wärmeeintrag in der Maschine und damit die erforderliche Kühlleistung geringer werden.

Umsichtig investieren

Energieeffiziente Kühlschmiermittelsysteme sind in der Investition teurer. Die Mehrkosten werden aber nach kurzer Zeit bereits durch deutlich effizientere Nutzungen kompensiert. Im Bereich energie- und ressourceneffizienter Lösungen ist es deshalb wichtig, zusätzlich ein «Life-Cycle-Costing» durchzuführen. Hier müssten zudem weitere Effekte, welche zu einer weiteren Verbrauchsreduktion führen, erfasst und zweckmässig ausgewiesen werden.

Effizient geregelte Systeme helfen unsinnige Kaskaden zu durchbrechen: Geringerer Energieverbrauch durch geregelte Systeme bedeutet weniger Wärmeeintrag; weniger Wärmeeintrag führt zu stabileren Produktionsbedingungen und tendenziell zu höherer Qualität. Und: Weniger Wärmeeintrag heisst auch weniger Kühlen und somit geringere Investitionen in hallenseitige Kühlsysteme und in deren energiearmen Betrieb.

SIMON ZÜST

inspire AG, Zürich.

LUKAS WEISS

inspire AG, Zürich.

RAINER ZÜST

Züst Engineering AG, Seegraben.

Neue MAG-Prozesskette für die Kurbelwellenherstellung

SCHNELLER, GÜNSTIGER UND UMWELTGERECHTER

Wenn Maschinenhersteller mit dem Kunden über neue Maschinen sprechen, kommt das Thema «Ressourceneffizienz» schnell auf den Tisch: Kunden erwarten Maschinen mit einem geringeren Energie- und Materialverbrauch. Gefordert werden Gesamtlösungen, welche eine schnellere, qualitativ bessere, vor allem kostengünstigere und neu auch umweltgerechtere Produktion ermöglichen. Oder kurz gesagt: Der Kunde erwartet eine insgesamt bessere Maschine. Die Firma MAG hat sich deshalb intensiv mit der Frage beschäftigt, wie sie die Investitions- und Betriebskosten senken sowie auch die Ressourceneffizienz steigern und somit den Kundennutzen erhöhen kann.

Von Matthias Weber und Rainer Züst

Massnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind heute kein Luxus; die Kosten für den Material- und Energieeinsatz wie auch die Kosten für die Entsorgung von Abfällen steigen und belasten sukzessive die Kostenstruktur von produzierenden Betrieben. Interessant sind deshalb neue Fertigungstechnologien und Produktionskonzepte mit höherer Produktivität und geringerem Ressourcenver-

brauch. Denkbar sind Fertigungsverfahren, die einen rascheren Abtrag ermöglichen, oder Verfahren, welche die Prozesskette vereinfachen, beispielsweise durch Wegfall von Bearbeitungsschritten. Auch Verfahren, die ohne Kühlschmiermitteleinsatz auskommen, versprechen entscheidende Verbesserungen. In diesen Bereichen hat die Firma MAG, Anbieter individueller Produktions-, Technologie- und

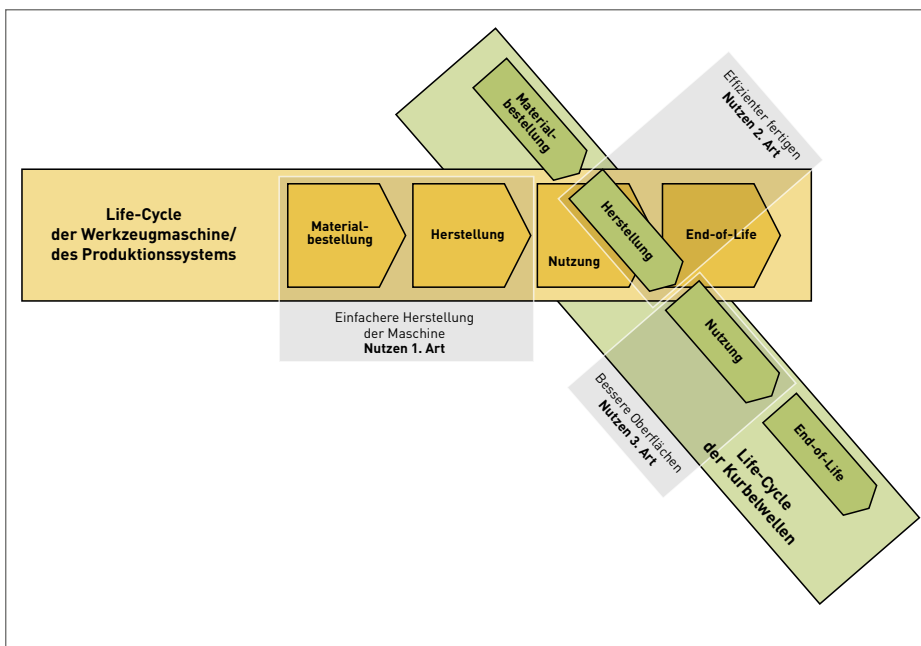


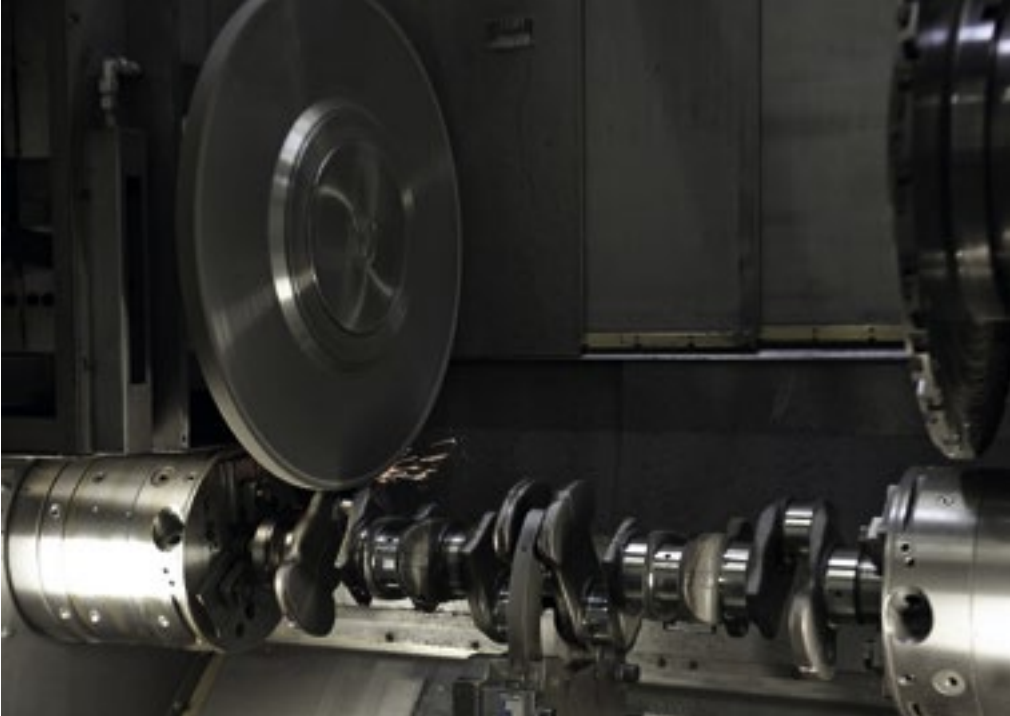
Abb. 1: Höherer Nutzen durch effizientes Fertigen beim Kunden (Maschinenanwender) und weniger Verluste dank besserer Oberflächen beim Endkunden (Fahrzeuggesteuerer).

«Umfassende Systembetrachtung»

Die Herausforderung bei Ecodesign besteht darin, neue Produkte (= Güter und Dienstleistungen) zu entwickeln und erfolgreich am Markt umzusetzen, die besonders schonend und effizient mit Energie und Rohstoffen umgehen. Dabei wird Ecodesign als integraler Bestandteil des bestehenden Entwicklungs- und Engineering-Prozesses von Firmen verstanden.

Modernes Ecodesign beinhaltet die Optimierung des ganzen Produktlebenszyklus, also von der Materialbereitstellung über Herstellung, Transport und Inbetriebnahme bis zur Nutzung und schliesslich Ausserdienststellung. Bei aktiven Produkten, wie beispielsweise energiebetriebenen Geräten und Maschinen, spielt vielfach die Nutzung eine dominante Rolle. Der Fokus müsste somit bei Maschinenherstellern auf neuen Prozessstrategien und Fertigungstechnologien liegen, welche pro produzierte Einheit weniger Energie und Rohstoffe verbrauchen.

Künftig müssten unter Ecodesign auch weiterführende Auswirkungen betrachtet werden. Es stellt sich dabei die Frage, inwiefern veränderte Prozesse/Herstelltechnologien eine Auswirkung auf das Endprodukt haben. Hilfreich ist hier das Bild von sich kreuzenden «Produktlebensphasen»: Das zu bearbeitende Produkt befindet sich beim Kunden in der Herstellphase; diese Teile und Komponenten werden in weiteren Produkten verbaut und durch den Endkunden genutzt. Diese erweiterte Systembetrachtung ist nicht trivial.



Die Kombination des Hartfein-FräSENS und Hartfein-Finishens in einer Aufspannung schont Ressourcen: Kühlschmiermittelbedarf entfällt, aber auch die Entsorgung von Sonderabfall (Schleifschlamm).

Servicelösungen für die zerspanende Fertigung und Composites-Verarbeitung, nach neuen Lösungsansätzen gesucht und auch gefunden.

Ein wesentlicher Geschäftsbereich von MAG betrifft die Entwicklung und Produktion von Maschinen und Anlagen zur Kurbelwellenherstellung. Die Kurbelwelle ist eines der zentralen Bauteile in einem Verbrennungsmotor. Vereinfacht gesagt wandelt sie die lineare Bewegung der Zylinderkolben in eine Drehbewegung um, welche an die Räder weitergeleitet wird. Wegen der hohen und schlagartigen Kräfte, die im Verbrennungsmotor entstehen, besitzt die Kurbelwelle Gleitlager. Kugellager

sind dafür nicht geeignet. Gleitlager besitzen aber höhere Reibverluste als Kugellager. Bei häufigem Anhalten des Motors macht sich diese Reibung besonders bemerkbar. Dies rückt im Hinblick auf die neuartigen Start-Stopp-Systeme in PWs verstärkt in den Fokus.

Neue Prozessstrategien

Am Zentralstandort Göppingen (D) werden Fräs- und Drehmaschinen für die Herstellung von Kurbelwellen gebaut. Bei der Kurbelwellenfertigung müssen insbesondere die Lager-sitze präzise und vor allem mit einer spezifischen Oberflächenstruktur hergestellt werden. Das erfolgt in zwei Schritten: zunächst Drehen und Fräsen ohne Kühlschmiermittel, also eine

sogenannte trockene Bearbeitung. Diese hat den Vorteil, dass kein zusätzliches Kühlschmiermittelhandling notwendig ist; damit reduzieren sich Investitions- und Betriebskosten. Danach wird gehärtet und geschliffen; bei diesem Finishing-Prozess handelt es sich um eine sogenannte Nassbearbeitung, es kommt Kühlschmiermittel zum Einsatz. Damit verbunden ist die Aufbereitung und Kühlung des Kühlschmiermittels. Zudem entsteht Schleifschlamm, welcher entsorgt werden muss. MAG hat in den vergangenen Jahren deshalb neue Prozessstrategien und Fertigungstechnologien entwickelt, um sowohl dem Nachteil der Nassbearbeitung für die Hersteller als auch dem Nachteil der erhöhten Reibung (beim Start-Stopp-Vorgang) für die Endverbraucher entgegenzuwirken.

Dreifachen Nutzen generieren

Interessant beim Vorgehen von MAG ist die Tatsache, dass neue Prozessstrategien und Fertigungstechnologien in dreierlei Hinsicht optimiert werden. Dies betrifft einfachere Herstellungsverfahren für die Produktion der Maschine (a), effizientere Prozesse beim Kunden (b) sowie ein gleichzeitig optimiertes Endprodukt (c). Die weiter gefasste Systemabgrenzung eröffnet neue Betrachtungsweisen und somit Möglichkeiten für weiterführende Lösungen:

- a) Der erste Bereich betrifft die Herstellung der neuen Maschinengeneration. Einfachere Struktur, modularer Aufbau (Baukastenprinzip), optimierte Beschaffung von Zulieferteilen und Komponenten sowie effiziente Montage und Inbetriebnahme sind mögliche Lösungsansätze. Die Folge davon können günstigere Verkaufspreise sowie flexiblere und kürzere Lieferzeiten sein. Der Nutzen wird primär beim Hersteller wirksam, da er damit ein attraktiver Geschäftspartner ist. Die Rede ist von einem Nutzen erster Art. Multiplikationseffekt möglicher Optimierungsmassnahmen: Anzahl verkaufter Maschinen.
- b) Der zweite Optimierungsbereich betrifft die Anwendung beim Kunden; höhere Produktivität bei gleichzeitig geringerem Ressourceneinsatz ist das Ziel. Dies kann beispielsweise durch Wegfall von Bearbeitungsschritten und Einsatz hochproduktiver Fertigungstechnologien erreicht werden. Davon profitiert primär der Hersteller von Kurbelwellen. Die Rede ist von einem Nutzen zweiter Art.

«Kleinvieh macht (viel) Mist»

Was passiert, wenn PWs neu – wegen optimierter Kurbelwellenherstellung – 1% weniger Treibstoff verbrauchen? Aus Sicht eines einzelnen Konsumenten ist das eine kaum wahrnehmbare Grösse. Doch hochgerechnet auf die Jahresproduktion ist das sehr viel, wie die folgende Abschätzung zeigt [1]:

- Ein neues Fahrzeug emittiert 170 g CO₂/km und verfehlt die spezifische Zielvorgabe von 138 g CO₂/km.
- Verbraucht das Fahrzeug neu 1% weniger Treibstoff, resultiert eine CO₂-Reduktion von 1,7 g CO₂/km; entsprechend reduziert sich die Sanktion: 1,7 * Fr. 142.50 * 0,75 [2] = Fr. 181.70
- Bei einer Jahresleistung von 13 000 km und einer Lebensdauer von acht Jahren resul-

tieren zusätzlich Treibstoffeinsparungen von knapp Fr. 135.– (respektive eine Reduktion von ca. 180 kg CO₂ über die ganze Nutzungsdauer des PWs) [3].

- Nimmt man nun als Beispiel ein neues Produktionssystem von MAG mit rund 125 000 Kurbelwellen pro Jahr, resultieren über die gesamte Nutzungsdauer der PWs Einsparungen von 8,4 Mio. Liter Treibstoff (ca. 17 Mio. Fr.) sowie weitere ca. 23 Mio. Fr. für geringere CO₂-Abgaben.

Bereits nach einer Jahresproduktion resultiert insgesamt ein Nutzen dritter Art von ca. 40 Mio. Fr. – dies ist weit mehr, als die Maschine kostet. Bei Anwendung herkömmlicher Wirtschaftlichkeitsrechnungen ergäbe dies ein Payback von 10 bis 20 Tagen (!).

Hinweise

- [1] Für detaillierte Berechnung siehe: www.bfe.admin.ch/themen/00507/05318/05600/index.html?lang=de, (Stand September 2013) und die Frage: Wie berechnet sich die Sanktion für einen einzelnen PW?
- [2] Multiplikator für Kleinimporteure
- [3] Annahme: durchschnittlicher Verbrauch von 6,44 Litern Diesel auf 100 km; 1 Liter Diesel kostet Fr. 2.-.
- [4] Ecodesign-Potenzialanalyse in der Schweizer MEM-Industrie – eine explorative Studie; finanziert durch UTF/BAFU & Swissmem; bearbeitet von R. Züst, S. Züst (Züst Engineering AG) und S. Studer (Swissmem), 2010

Multiplikationseffekt möglicher Optimierungsmassnahmen: Anzahl Betriebsstunden respektive Anzahl gefertigter Kurbelwellen, d.h. insgesamt mindestens 40 000 Betriebsstunden respektive 125 000 Kurbelwellen für PW pro Jahr in einer kleinen Kurbelwellenlinie.

- c) Können nun zudem Kurbelwellen hergestellt werden, die eine deutlich reduzierte Reibung im Motor bewirken, reduziert sich bei allen Fahrzeugen der Treibstoffver-

brauch. Die Rede ist von einem Nutzen dritter Art.

Multiplikationseffekt möglicher Optimierungsmassnahmen: reduzierter Treibstoffverbrauch multipliziert mit Anzahl Kurbelwellen und Fahrleistung sowie geringere CO₂-Abgaben je Fahrzeug, ebenfalls multipliziert mit Anzahl Kurbelwellen.

Neue Prozessstrategien und Fertigungstechnologien entwickeln

Offensichtlich besteht bei der Optimierung der bisherigen Kurbelwellenfertigung in zweierlei Hinsicht Verbesserungspotenzial: einerseits beim Finishing-Prozess, der bis jetzt eine mehrstufige Nassbearbeitung voraussetzte, andererseits die nach wie vor hohe Reibung in den Gleitlagern wegen nicht optimaler Oberflächen. Die Lösung von MAG löst diese Defizite:

- Effizienter fertigen (Nutzen zweiter Art): Durch den Kombinationsprozess des Hartfein-FräSENS und Hartfein-Finishens konnten die bestehenden drei Nassbearbeitungsmaschinen (Vorschleifen, Fertigschleifen und Superfinishen) durch eine trocken bearbeitende Maschine ersetzt werden. Dadurch fallen der Kühlschmiermittelbedarf und die Entsorgung von Sonderabfall (Schleifschlamm) weg bei gleichzeitig geringerem Energieverbrauch. Durch die effizientere Fertigung entstehen verschiedene Vorteile: Durch die Prozess-



Die neue Maschinenbaureihe VDF 221 zur Kurbelwellenfertigung.

kettenverkürzung (nur noch eine Maschine anstatt drei wie bisher) reduzieren sich die Investitionen. Zudem ist der neue Prozess sowohl ressourcen- als auch energieschonender als die substituierten Prozesse. Ferner entfallen dauerhaft die Kosten für Kühlschmiermedien und deren Entsorgung samt Schleifschlamm als Sonderabfall; dies senkt die Betriebskosten erheblich. Letztlich stellt die Verkürzung der Durchlaufzeit einen weiteren Nutzen dar (siehe Abb. 1).

- Bessere Oberflächen (Nutzen dritter Art): Das Unternehmen hat zudem einen weiteren Prozessschritt für das Finishing entwickelt – hier geht es um die gezielte Strukturierung der Gleitlageroberflächen. Mit dieser Massnahme können nachweislich die Reibverluste der Kurbelwellen wesentlich verringert werden. Damit reduziert sich künftig der Treibstoffverbrauch einer ganzen Fahrzeugflotte. Daraus resultieren geringere CO₂-Abgaben auf Fahrzeuge und geringerer Treibstoffverbrauch in der Nutzung (siehe Kasten «Kleinvieh macht (viel) Mist»).

Somit profitieren von der Strukturierung nicht nur die Endverbraucher, sondern auch die Hersteller. Neben der Schaffung eines signifikanten Mehrwertes erhalten sie auch ein Produkt, das in Leistung und Verbrauch deutlich vorteilhafter ist als das Konkurrenzprodukt.

MATTHIAS WEBER

MAG, Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme.

RAINER ZÜST

Züst Engineering AG, Seegräben.

Ökonomie und Ökologie – kein Widerspruch

Vielfach besteht das Vorurteil, dass ökologische Lösungen mehr kosten. Eine Erklärung dazu könnte der vielfach gewählte End-of-Pipe-Ansatz sein: Wenn Umweltprobleme vorliegen, werden zusätzliche kurative Massnahmen umgesetzt, anstatt über präventive Strategien nachzudenken. Dieser reaktive Ansatz führt in der Tat zu höheren Aufwendungen, weil nur der «schädliche Output» betrachtet wird. Die Rede ist dann auch von «Facelifting».

Präventives Handeln bedeutet hingegen, die Ursachen an der eigentlichen Quelle zu bekämpfen – im vorliegenden Beispiel von MAG durch neue Prozessstrategien und Fertigungstechnologien, anstatt beispielsweise nach «effizienteren Kühlschmiermittelaufarbeitungen» zu suchen. In der Regel sind diese Massnahmen sowohl für den Hersteller der

Maschinen attraktiv als auch für den Kunden. Dazu sind eine konsequente Ursachen-Wirkung-Betrachtung wie auch der Wille notwendig, Bestehendes infrage zu stellen, die Kernursachen zu suchen sowie neue und neuartige Lösungen umzusetzen. Bei MAG wurde deshalb nach trocken arbeitenden Maschinen gesucht und nach einer deutlich effizienteren Strukturierung der Lageroberflächen.

Untersuchungen [4] in der MEM-Industrie zeigen, dass durch «radikales Verändern» – sprich «Re-Think» der Maschinen und Geräte – der Energieverbrauch um 10 bis 70 % reduziert werden kann. Ein Re-Design, also die reine Weiterverbesserung der bisherigen Lösung, bewirkt 5 bis 20 %, und ein Facelifting 0 bis 10 %. Letzteres sind vielfach Massnahmen, die kosten und unter dem Strich nichts bringen.

Pinch-Methode in der Lebensmittelindustrie

WENIGER CO₂, MEHR GEWINN

Energieeffizienz gewinnt an Bedeutung. Je nach Branche können bereits wenige Prozente an Energieeinsparungen grosse Auswirkungen auf die Gewinnsituation der jeweiligen Unternehmen haben. Notwendig ist die kluge Verknüpfung von Energieströmen im Gesamtprozess und weniger die kostspielige Verbesserung der Wirkungsgrade einzelner Anlagenkomponenten. Ein zentraler Aspekt für mehr Energieeffizienz ist die Prozessintegration mit ihrem ganzheitlichen Ansatz. Die Pinch-Methode liefert hier die dazu notwendige Transparenz. Ein Fallbeispiel.

Von Beat Wellig und Raymond Morand

Die Hochdorf-Gruppe mit Hauptsitz in Hochdorf LU unterhält zwei Produktionsstandorte in der Schweiz und einen in Litauen mit insgesamt 370 Mitarbeitenden. Als eines der führenden Nahrungsmittel-Produktionsunternehmen der Schweiz verarbeitet und veredelt die Hochdorf-Gruppe natürliche Rohstoffe wie Milch, Molke und Getreide zu hochwertigen Lebensmitteln.

Die Produktionsprozesse, insbesondere das Konzentrieren und Trocknen von Milch und Molke, benötigen viel Energie. Als Mitglied der Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) hat sich die Gruppe im Jahr 2001 durch eine Zielvereinbarung verpflichtet, den CO₂-Ausstoss des Unternehmens bis zum Jahr 2010 um gesamthaft 20% zu reduzieren. Um dem eige-

nen Anspruch des sparsamen Einsatzes von Energie gerecht zu werden, waren innerhalb der Produktionsprozesse beträchtliche Investitionen notwendig. Die Resultate können sich sehen lassen: Allein die Umsetzung der Massnahmen aus der nachfolgend beschriebenen Pinch-Analyse im Werk Sulgen TG vermeidet einen CO₂-Ausstoss von jährlich rund 3500 Tonnen.

In einer neuen Zielvereinbarung hat sich die Hochdorf-Gruppe inzwischen verpflichtet, ihren CO₂-Ausstoss bis ins Jahr 2020 um weitere 15% zu senken – basierend auf dem durchschnittlichen Ausstoss der Jahre 2010 und 2011.

Optimale Verknüpfung von Energieströmen im Gesamtprozess

Die Hochdorf Nutritec AG plante umfassende Sanierungen und die Erweiterungen ihrer Produktionsanlagen in Sulgen in einem Umfang von rund 50 Millionen Franken (siehe Abb. 1). Das Ziel bestand darin, die Produktionskapazität um 20 000 Tonnen Trockenprodukte zu steigern. Vor der Produktionserweiterung machte Erdgas mit einem Verbrauch von 58 Gigawattstunden (GWh) pro Jahr rund 88% des gesamten Energiebedarfs aus. Für die Verantwortlichen des Unternehmens stellte sich die Frage, wie im Rahmen dieser Erweiterung die Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit der Produktionsanlagen gleichermaßen erhöht werden kann.

Die Erfahrung zeigt, dass durch die optimale Verknüpfung von Energieströmen im Gesamt-

PinCH – ein Werkzeug für die Industrie

Die Hochschule Luzern hat mit der Unterstützung des Bundesamtes für Energie und der Energie-Agentur der Wirtschaft die anwenderfreundliche Software «PinCH» für die praktische Durchführung von Pinch-Analysen entwickelt. Die Software ermöglicht eine rasche Einarbeitung in die Methode sowie eine kostengünstige Durchführung von Pinch-Analysen in der Industrie.

Der BFE-Stützpunkt an der Hochschule Luzern unterstützt Ingenieurbüros und Industriebetriebe bei der Durchführung von Pinch-Analysen. Zudem werden praxisorientierte Weiterbildungen, massgeschneiderte Firmenkurse und Beratungen angeboten.

www.pinch-analyse.ch

Die Software «PinCH» ist ein wichtiges Element der «Pinch-Offensive» des Bundesamts für Energie (BFE) und wird deshalb entsprechend finanziell unterstützt. Die Offensive ist eine flankierende Massnahme zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Senkung der CO₂-Emissionen in der Schweizer Industrie. Die Hochschule Luzern und die Helbling Beratung + Bauplanung AG sind dabei als Schlüsselpartner dieses Bundesprogramms involviert. Das Ziel der Offensive ist, unentdecktes Energieeinsparpotenzial in Produktionsbetrieben systematisch zu identifizieren und in konkrete Massnahmen überzuführen. Deshalb fördert das BFE im Rahmen von EnergieSchweiz gezielt verschiedene Aktivitäten im Bereich Pinch-Analysen.

www.energieschweiz.ch → Unternehmen
→ Energieoptimierung Industrie



Abb. 1: Das neue Werk Sulgen TG der Firma Hochdorf Nutritec.

system grosse Effizienzsteigerungen erreicht werden können. An diesem Punkt setzt die energetische Prozessintegration an: Sie hat die Gesamtoptimierung von Prozessen zum Ziel und zeichnet sich dadurch aus, das beste Anlagendesign mit dem wirtschaftlich optimalen Energieeinsatz bestimmen zu können. Für die Steigerung der Energieeffizienz ist die Wärmerückgewinnung zentral: Prozessabwärme wird zu Nutzwärme, der Primärenergieeinsatz wird herabgesetzt und die Energiekosten reduzieren sich. Mithilfe der Pinch-Analyse findet man unter der Zielsetzung eines minimalen Gesamtbetrags von Investitions- und Energiekosten die optimale Verknüpfung der verschiedenen Stoff- und Energieströme. Aus den Ergebnissen der Pinch-Analyse können in einer strategischen Planung Massnahmen zur Wärmerückgewinnung und zur verbesserten Energieversorgung abgeleitet werden.

Pinch-Analyse als wichtige Planungsgrundlage

Im Rahmen der Sanierungen und Erweiterungen von Hochdorf Nutritec hat die Helbling Beratung + Bauplanung AG eine umfassende Pinch-Analyse der aus zwei Produktionslinien bestehenden Milchpulveranlage durchgeführt. Diese Analyse wurde durch das Bundesamt für Energie (BFE) finanziell unterstützt.

Die erste Produktionslinie besitzt eine Verarbeitungskapazität von 40 000 Liter Molke respektive 20 000 Liter Milch pro Stunde. Der Rohstoff wird in einem Eindampfer aufkonzentriert. Bei der Verarbeitung von Molke wird in einem sogenannten Kristallisator zusätzlich Laktose hergestellt. Aus dem Milchkonzentrat werden in einem Sprühturm rund 1800 Kilogramm Milchpulver pro Stunde gewonnen. Die zweite Produktionslinie ermöglicht die Herstellung von Milchpulver für Babynahrung, wahlweise aus Magermilchkonzentrat oder aus Magermilch/Vollmilch. Die Kapazität dieser Linie beträgt im Vollbetrieb 3500 Kilogramm Milchpulver pro Stunde. Die energetisch relevanten Produktionsschritte sind dabei die Nassmischung, Eindampfung, UHT-Behandlung, Hochkonzentrierung und Sprühtrocknung sowie die Cleaning-in-Place-Reinigung (CIP).

Die mit der Pinch-Analyse und dem zugehörigen Wärmeübertrager-Netzwerk (siehe Abb. 2) erarbeitete Lösung repräsentiert eine Kombination aus effizientester Wärmerückgewinnung und maximaler Wirtschaftlichkeit

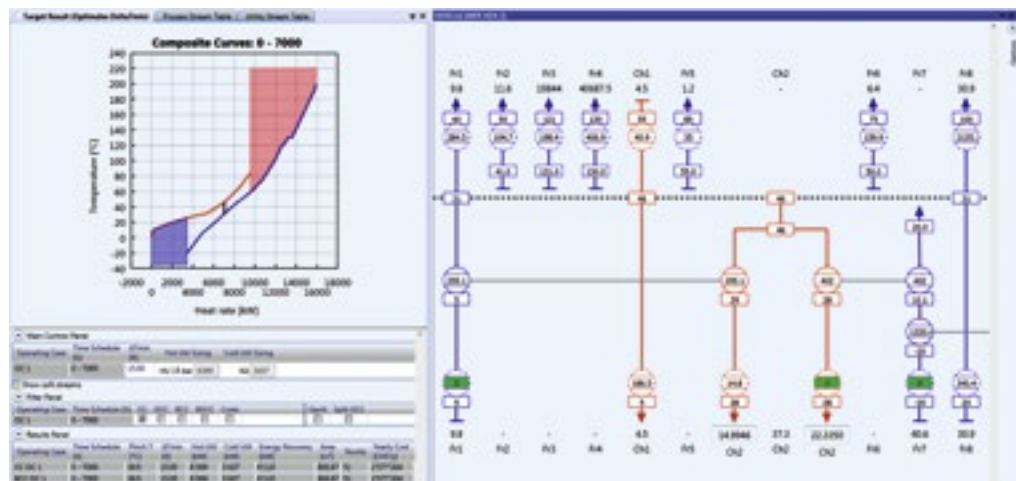


Abb. 2, Software PinCH: Composite Curves und Ausschnitt aus Wärmeübertrager-Netzwerk.

in der Produktion. Wichtig ist, dass Massnahmen jeweils spezifisch auf das Unternehmen abgestimmt werden, denn nicht alle Lösungen sind in jedem Betrieb gleichermassen realisierbar.

Grosser Nutzen dank integraler Betrachtungen

Die Planer konnten mithilfe der Pinch-Analyse einige der bereits geplanten Massnahmen von Hochdorf Nutritec als energetisch optimal bestätigen und darüber hinaus zusätzliche Energieeinsparpotenziale aufzeigen. Bei den Massnahmen handelt es sich um klassische prozessinterne Wärmerückgewinnungen. Bei einem Payback von maximal vier Jahren pro Massnahme konnten gegenüber den bereits geplanten Massnahmen zusätzliche Einsparungen von rund 3,6 GWh thermische Energie mit einem Gegenwert von rund 210 000 Franken pro Jahr realisiert werden. Die Wärmerückgewinnung steigt damit von den ursprünglich geplanten 14,2 auf 17,8 GWh pro Jahr. Die Einsparungen wirken sich eins zu eins auf den Erdgasverbrauch aus, der um etwa 1,77 Mio. Kubikmeter pro Jahr verringert wird. Unter Berücksichtigung aller realisierten Energieoptimierungsmassnahmen wurden durch Investitionen im Umfang von rund 2,4 Mio. Franken über 1 Mio. Franken direkte Energiekosten pro Jahr eingespart. Dies entspricht einem Gesamtpayback von unter 2,5 Jahren.

Die Pinch-Analyse erfolgte während des Pre-Engineerings. Dies hatte den Vorteil, dass einerseits bereits viele Prozessdaten bekannt waren, andererseits für Hochdorf Nutritec zudem noch die Möglichkeit bestand, auf den fortlaufenden Planungsprozess Einfluss zu nehmen.

Energetische Prozessintegration

zahlt sich aus

Dieses Praxisbeispiel zeigt: Der Schlüssel zu höherer Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit ist die energetische Prozessintegration mithilfe der Pinch-Analyse. Besonders sinnvoll sind solche Analysen für Branchen mit energieintensiven Prozessen respektive vielen Prozessströmen. Das Potenzial zur Senkung des thermischen Energiebedarfs beträgt bis zu 40%. Die Amortisationszeiten für die Umsetzung der Massnahmen betragen typischerweise zwei bis drei Jahre. In der Schweizer Industrie wurden bis heute über 100 Pinch-Analysen erfolgreich durchgeführt. Bei der Analyse bestehender Anlagen, aber insbesondere auch bei Neubauprojekten zeigt die Pinch-Analyse, wie weit der Prozess vom Optimalzustand entfernt und wie dieser zu erreichen ist. Dank der absoluten Bewertungsmöglichkeit kann die Analyse als eines von verschiedenen Werkzeugen von Umwelt- und Energiemanagementsystemen dienen. Findet die Pinch-Analyse zu einem frühen Zeitpunkt in der Planung statt, sind eventuelle Verbesserungen mit oft nur geringen Mehrkosten umzusetzen. Und noch wichtiger: Die Anlagen sind von Beginn weg energetisch optimal ausgelegt («first time right»).

BEAT WELLIG

Prof. Dr. Dipl. Ing. ETH/HTL
Hochschule Luzern.

RAYMOND MORAND

Dipl. Ing. ETH/SIA Verfahrenstechnik,
Helbling Beratung + Bauplanung AG.

Der Ressourcenaufwand für Information und Kommunikation

WIEVIEL WIEGT «SMARTNESS»?

«smartness» wird im Zusammenhang mit einer «Dematerialisierung» der gesellschaftlichen Aktivitäten beziehungsweise mit einer Erhöhung der Ressourceneffizienz eine wichtige Rolle zugeschrieben. Sei es in der Energieversorgung, wo «smartness» helfen soll, das dezentrale Angebot an erneuerbaren Ressourcen optimal zu nutzen, sei es bei der Mobilität, wo sie dazu beitragen kann, trotz material- und energieeffizienter Leichtbauweise eine ausreichende Fahrsicherheit zu gewährleisten, sei es im Wohnbereich, wo sie über adaptive Systeme ressourceneffizientere Wohnformen ermöglicht. Dass jedoch «smartness» selbst mit beträchtlichen Materialaufwänden und Umweltauswirkungen verbunden ist, wird häufig vergessen.

Von Patrick Wäger und Rolf Widmer

Nachfolgend werden zwei Beispiele vorgestellt, die dies exemplarisch beleuchten: Zum einen der Einsatz von «smarter» Technologie im Individualverkehr, zum anderen die materielle Basis des Internets.

Beispiel 1: Die Dienstleistung «Internet Schweiz»

Obwohl es sich beim Internet um «virtuelle» Dienstleistungen handelt, ist dafür eine umfassende Infrastruktur sowohl bei den Internet Providern (z.B. Kabel für den Datentransfer, Antennen für das mobile Internet oder Router für die Lenkung des Datenverkehrs) als auch den Internetnutzern (z.B. Computer, Server, Router und Switches sowie die für diese Geräte nötigen Kühlsysteme in Unternehmen oder Computer in Haushalten) notwendig.

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) finanzierten Projektes wurden die Materialflüsse und Umweltauswirkungen der Dienstleistung «Internet Schweiz» mithilfe einer Materialflussanalyse sowie einer Ökobilanz berechnet (Müller et al., 2012 und 2013). Weil viele internetfähige Geräte nur zum Teil für Internetaufgaben genutzt werden und sich die Infrastruktur für die Dienstleistung «Internet Schweiz» nicht auf das durch die schweizerische Staatsgrenze umschlossene Gebiet beschränkt, mussten dabei verschiedene Zuordnungen bzw. Allokationen vorgenommen werden. Die Allokationsfaktoren für Gerätemassen und Energiebedarf wurden aus Umfragen, Statistiken und technischen Spezifikationen ermittelt, die tatsächliche Ausdehnung des «Internet Schweiz» wurde über ef-

fektive Datenimport- und Exporterhebungen angepasst. Wichtige Datenquellen waren die Ökoinventardatenbank ecoinvent v2.2 (ecoinvent Centre, 2010) sowie eine frühere Studie zur Ermittlung der Materialflüsse elektrischer und elektronischer Geräte in der Schweiz (Müller und Widmer, 2009). Die Umweltbelastung wurde mit der Methode der ökologischen Knappheit berechnet und in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt.

Das Schweizer Internet wiegt rund 100 000 Tonnen

Gemäss den verfügbaren Daten aus dem Jahr 2009 beträgt die Gesamtmasse der Internet-Infrastruktur der Schweiz rund 100 000 Tonnen. Bei den Internetnutzern haben Haushalte und Grossunternehmen den grössten Anteil daran. Bei den Internetanbietern verfügen die DSL-Provider (z.B. Swisscom, Sunrise), welche über 70% des Schweizer Internetmarktes abdecken, über die grösste Infrastruktur. Die Infrastruktur der Internetnutzer besteht zum grössten Teil aus Desktop- und Laptop-Computern, diejenige der Internetprovider hauptsächlich aus Glasfaser- und Kupferkabeln.

Um diese Infrastruktur zu erhalten und zu erweitern, wurden in der Schweiz 2009 über 36 000 Tonnen Geräte, Kabel und Antennen importiert und installiert. Gleichzeitig werden rund 17 000 Tonnen ausgedientes Material entsorgt; die Internetinfrastruktur in der Schweiz nimmt also massenmässig stetig zu. Aufgrund der kurzen Lebensdauer der Geräte der Informations- und Kommunikationstechnologien (ICT) von nur zwei bis zehn Jahren und der langen Lebensdauer von Kabeln (rund 50 Jahre) und Antennen (rund 30 Jahre) sind in der Entsorgung fast nur ICT-Geräte vorzufinden (siehe Abb. 1).

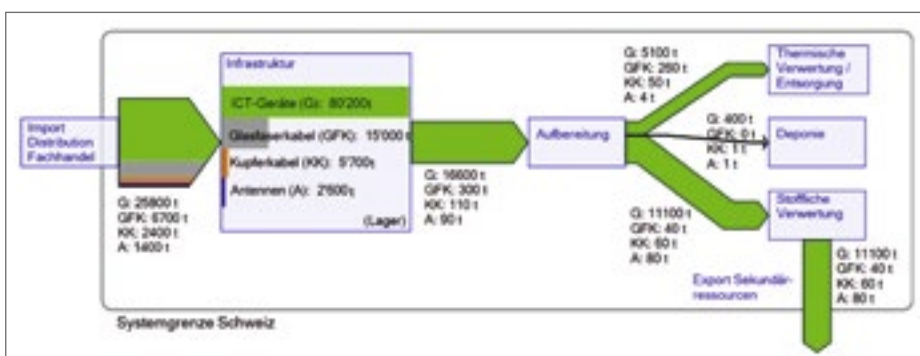


Abbildung 1: Aufteilung der Massenflüsse 2009 auf die vier Hauptkomponenten der Infrastruktur: ICT-Geräte (G), Glasfaserkabel (GFK), Kupferkabel (KK) und Antennen (A), in Tonnen.

Quelle: [Müller und Widmer, 2009].

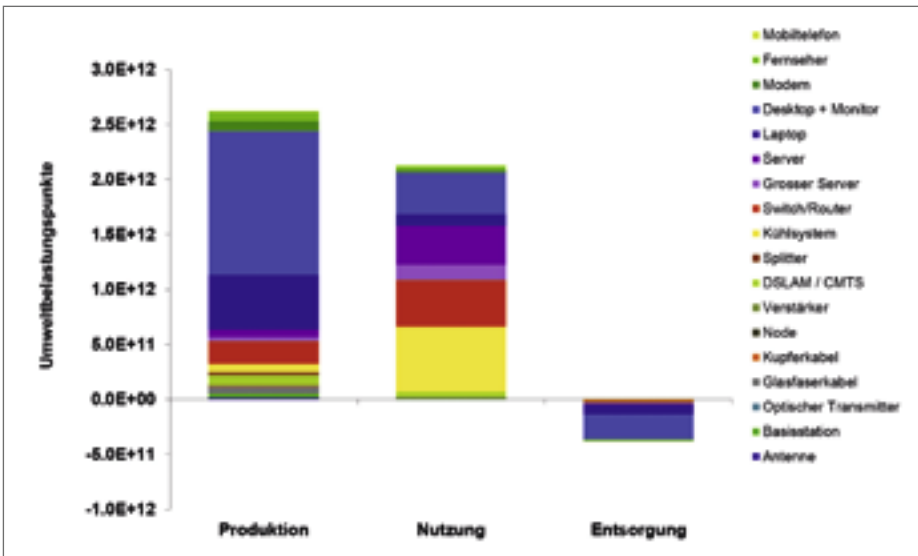


Abbildung 2: Umweltbelastung der drei Lebenszyklen «Produktion», «Nutzung» und «Entsorgung» der gesamten Dienstleistung «Internet Schweiz», aufgeteilt nach Geräten, gemessen in Umweltbelastungspunkten (UBP).
Quelle: (Müller et al., 2012)

somit wertvolle Ressourcen zurückgewonnen werden. Dazu gehören Eisen, Aluminium, Kupfer, Edelmetalle, Schwermetalle sowie Glas. Rund 32% der Materialien werden verbrannt. Dies betrifft vor allem diejenigen Kunststoffe, die wegen darin enthaltener halogenierter Flammenschutzmittel nicht mehr stofflich verwertet werden dürfen. Die anfallenden Verbrennungsrückstände, welche weniger als 2% des Ausgangsmaterials ausmachen, wurden deponiert.

Die Produktion belastet Umwelt mehr als die Nutzung

Beim Vergleich der in den Lebensabschnitten «Produktion», «Nutzung» und «Entsorgung» der Dienstleistung «Internet Schweiz» anfallenden, jährlichen Umweltbelastungen zeigt sich, dass die Umweltbelastung durch die Produktion (2,6 x 10¹² UB) um rund 20% höher ist als bei der Nutzung (2,1 x 10¹² UB) (siehe Abb. 2). Die grössten Belastungen der Umwelt in der Produktion sind auf Emissionen in die Luft und Oberflächengewässer zurückzuführen, die beim Abbau von Rohstoffen sowie bei der Produktion von Metallen, Kunststoffen sowie komplexeren Bauteilen wie Leiterplatten oder Flachbildschirmen entstehen. Im Jahr 2009 machte die Produktion der Desktop-Computer für die Infrastruktur den höchsten Anteil an der Umweltbelastung aus.

Die Umweltbelastung während der Nutzung hängt hauptsächlich vom Strombedarf eines

Gerätes ab. Neben den Desktop-Computern sind hier vor allem Server, Router und Switches und ihre Kühlsysteme von Bedeutung, welche das ganze Jahr während 24 Stunden in Betrieb sind. Neben dem Verbrauch spielt die Stromherkunft eine entscheidende Rolle. Gemessen in UB wird beispielsweise die Umwelt rund 100-mal stärker belastet, wenn der Strom aus einem Kohlekraftwerk stammt, als wenn er durch Wasserkraft erzeugt wird. Der Schweizer Strommix, welcher den vorliegenden Berechnungen zugrunde liegt, ergibt im Vergleich zum Europäischen Strommix eine rund ein Viertel geringere Umweltbelastung.

Bei einer fachgerechten Entsorgung werden die Geräte zerlegt, nach Materialien sortiert, Schadstoffe entfernt und schliesslich die einzelnen Materialien stofflich verwertet oder verbrannt. Die Umweltbelastungen der Entsorgung sind in Abbildung 2 negativ dargestellt, weil die in der stofflichen Verwertung gewonnenen Materialien die Produktion von neuen Materialien ersetzen und weil bei der Verbrennung der Kunststoffe Energie zurückgewonnen werden kann. Diese Gutschriften überwiegen die bei der Entsorgung entstehenden Umweltbelastungen.

Beispiel 2: Elektronik in Personewagen

Ein Musterbeispiel für die «Technologisierung» des Alltags ist der moderne Personewagen. Die gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Kommunikation, Sicherheit oder Energieversorgung haben zur Folge, dass in Personewagen die Elektronik stetig mehr Funktionen übernimmt. Dementsprechend nimmt auch die Anzahl elektronischer oder elektronisch gesteuerter Bauteile in einem Fahrzeug zu.

Automobilelektronik enthält neben klassischen Industriemetallen wie Aluminium, Eisen und Kupfer auch seltene Metalle [1] wie Gallium, Indium, die Platinmetalle (z.B. Platin oder Palladium), die Seltenerdmetalle (z.B. Dysprosium, Neodym oder Praseodym) oder Tantal. Auch wenn die Nachfrage nach klassischen Industriemetallen nach wie vor

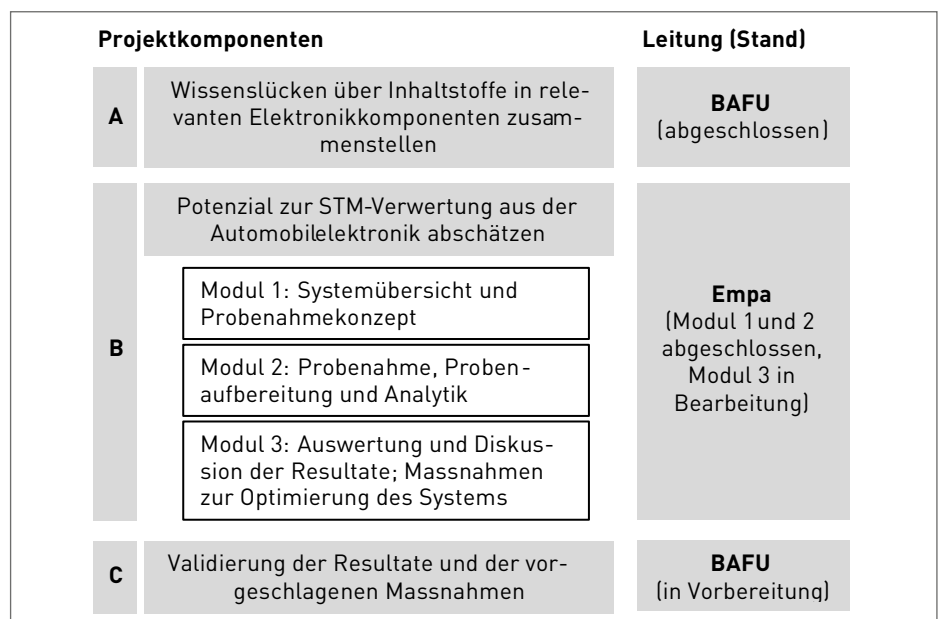


Abbildung 3: Projektaufbau.

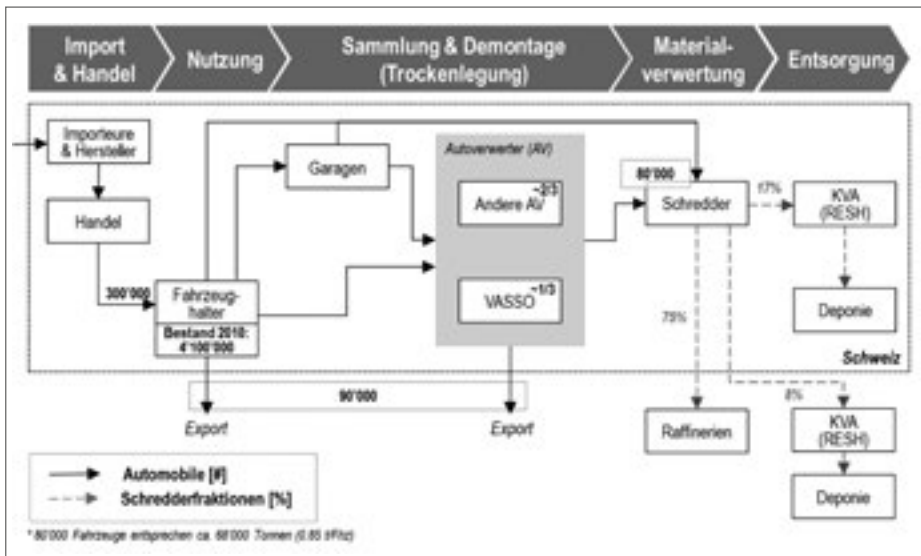


Abbildung 4: Mengenströme im Automobilmarkt Schweiz 2010 (Personenwagen).

Quelle: (Blaser et al., 2012)

dominiert (im Jahr 2012 wurden weltweit 1 100 000 000 t Roheisen, 263 000 000 t Aluminium und 17 000 000 t Kupfer hergestellt), so wurden 2012 doch auch beträchtliche Mengen seltener Metalle in Umlauf gesetzt (im Jahr 2012 beispielsweise 110 000 t Seltenerdmetalloxide) (USGS, 2013). Durch das Aufkommen neuer Technologien, nicht zuletzt auch im Bereich «Clean Energy» (Batterien, Leuchtmittel, Photovoltaikanlagen, Windkraftanlagen usw.) wird die Bedeutung von seltenen Metallen in Zukunft dabei eher noch zunehmen (Angerer et al., 2009; Bauer et al., 2011; Wäger et al., 2013).

Damit stellt sich unter anderem die Frage, inwieweit die Versorgung mit diesen Rohstoffen mittel- bis langfristig gesichert ist. Wie Untersuchungen gezeigt haben, sind seltene Metalle wie Indium, Niob, die Platinmetalle Platin, Rhodium und Ruthen, die Seltenerdmetalle oder Wolfram hinsichtlich den Versorgungsrisiken und Auswirkungen von Versorgungsunterbrüchen heute als besonders «kritisch» einzustufen (Erdmann und Graedel, 2011). Ein wichtiger Grund für diese Einstufung liegt darin, dass wir bezüglich Versorgung heute von wenigen Ländern, in denen diese Metalle überhaupt gewonnen werden, abhängig sind (z.B. stammen Seltenerdmetalle zu mehr als 85% aus China und Platin zu rund 70% aus Südafrika). Diese Abhängigkeit wird dadurch verschärft, dass die Möglichkeiten, kritische Metalle durch weniger kritische Rohstoffe zu ersetzen, häufig eingeschränkt sind und die Rückgewinnung dieser Metalle aus

ausgedienten Produkten heute für viele dieser Metalle noch nicht etabliert ist. So werden weniger als 1% der in Produkten eingesetzten

Mengen an Gallium, Germanium, Indium, Seltenerdmetalle oder Tantal wieder zurückgewonnen (UNEP, 2011).

Umso erstaunlicher ist es, dass es im Gegensatz zu Elektro- und Elektronikaltgeräten wie Staubsauger oder Computer (Swico SENS SLRS, 2013) bei der Verarbeitung von Altfahrzeugen darauf kaum Rücksicht genommen wird. Die Empa geht deshalb im Auftrag des BAFU der Frage nach, unter welchen Bedingungen es Sinn machen würde, vermehrt seltene Metalle aus Automobilelektronik zurückzugewinnen. Projektpartner sind das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, die Stiftung Auto-Recycling Schweiz (SARS), die Vereinigung der offiziellen Autosammelstellen-Halter der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein (VASSO), die Vereinigung Schweizer Automobil-Importeure, die Automobil- und Motoren AG sowie das Sustainable Engineering Network Switzerland. Abbildung 3 gibt eine Übersicht über Projektaufbau und -verlauf.

Referenzen

- Angerer, G., Erdmann, L., Marscheider-Weidemann, F., Scharp, M., Lullmann, A., Handke, V. und Marwede, M. (2009). Rohstoffe für Zukunftstechnologien, Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe.
- Bauer, D., Diamond, D., Li, J., McKittrick, M., Sandalow, D. und Telleen, P. (2011). Critical materials strategy. Washington, D. C.: United States Department of Energy.
- Blaser F., Widmer, R. und Wäger, P. (2012). Verwertung seltener Metalle aus der Automobilelektronik in der Schweiz: Systemübersicht und Probenahmekonzept. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- ecoinvent Centre (2010) ecoinvent data v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Erdmann, L., Graedel, T. E. 2011. The criticality of non-fuel minerals: A review of major approaches and analyses. *Environmental Science and Technology* 45 (18), 7620–7630.
- Müller, E. und Widmer, R. (2009). Materialflüsse der elektrischen und elektronischen Geräte in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.

- Müller, E., Widmer, R., Coroama, V. und Orthlieb, P. (2013). Material and energy flows and environmental impacts of the Internet in Switzerland. *Journal of Industrial Ecology*. DOI: 10.1111/jiec.12056.

- Müller, E., Widmer, R., Orthlieb, P. und Girardin, B. (2012). Materialflüsse und Umweltauswirkungen der Dienstleistung Internet Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern.

- Swico SENS SLRS (2013) Fachbericht 2013. Zürich:

- UNEP (2011) Recycling rates of metals: A status report. United Nations Environment Programme, Paris.

- UNEP (2013) Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Paris.

- USGS (2013) Mineral Commodity Summaries 2013. United States Geological Survey.

- Wäger, P. A., Lang, D. J., Wittmer, D., Bleischwitz R. und C. Hagelüken (2012). «Towards a more sustainable use of scarce metals. A review of intervention options along the metals life cycle.» *GAIA* 21 (4): 300–309.



Abbildung 5: Mittelkonsole, unzerteilt (links) und zerlegt (rechts).

Rund 100 000 t Altfahrzeuge entsorgt

In Abbildung 4 sind die Mengenströme im Automobilmarkt Schweiz für das Jahr 2010 zusammengefasst. Danach wurden fast 300 000 Neuwagen verkauft, der gesamte Bestand an Personenwagen belief sich auf 4,1 Millionen Personenwagen. Im selben Jahr wurden gemäss der Eidgenössischen Zollverwaltung 90 000 Fahrzeuge als exportiert gemeldet und in den Schweizer Schredderwerken knapp 80 000 Altfahrzeuge geschreddert [2]. Die resultierende Schredderleichtfraktion, in der ein Grossteil der seltenen Metalle aus der Automobilelektronik vermutet wird, gelangt heute zur Entsorgung in Kehrlichtverbrennungsanlagen; eine Rückgewinnung der seltenen Metalle findet dabei noch nicht statt.

Automobilelektronik ist Hauptquelle für seltene Metalle

Zur Abschätzung des Verwertungspotenzials von seltenen Metallen in der Automobilelektronik mussten die Konzentrationen ausgewählter seltener Metalle sowohl in manuell ausgebauten Automobilelektronik-Bauteilen als auch in Fraktionen aus der mechanischen Aufbereitung von Altfahrzeugen in einer typischen schweizerischen Schredderanlage bestimmt werden. Dazu wurden einerseits rund 100 kg Automobilelektronik-Bauteile, welche von der VASSO gemäss Vorgaben der Empa (Blaser et al., 2012) zur Verfügung gestellt worden waren, in einem Zerlegebetrieb für Elektro- und Elektronikaltgeräte sowie an der Empa selbst zerlegt (siehe Abb. 5); andererseits wurde ein Schredderversuch mit insgesamt 100 Fahrzeugen auf einer schweizerischen Anlage zur Verarbeitung von Altautos gefahren. Die resultierenden Fraktionen wurden zwecks Probenaufbereitung und chemischer

Analyse an zwei chemische Laboratorien weitergeleitet. Bei einem Teil der Fraktionen aus dem Schredder wurden zusätzlich Abwaschversuche durchgeführt, um zu ermitteln, inwieweit seltene Metalle das Schredderwerk als Oberflächenanhaftungen verlassen.

Da Modul 2 gerade erst abgeschlossen worden ist (siehe Abb. 3), liegen bisher lediglich wenige, vorläufige Resultate vor. Diese deuten darauf hin, dass Automobilelektronik-Bauteile tatsächlich die Hauptquelle für viele seltene

«Es gilt, den ökologischen Rucksack zu reduzieren.»

Metalle im Ausgang einer typischen Schredderanlage sind. Ausnahmen sind seltene Metalle wie Niob, welche hauptsächlich als Legierungsbestandteile von Stahl vorkommen. Im Ausgang der Schredderanlage finden sich die seltenen Metalle wie erwartet vor allem in der Schredderleichtfraktion sowie in den Eisen- und Aluminiumfraktionen wieder.

Folgerungen

Wie am Beispiel der Dienstleistung «Internet Schweiz» dargelegt wurde, setzt «smartness» eine umfassende Infrastruktur voraus, welche wiederum mit einem beträchtlichen ökologischen Rucksack verbunden ist. Ferner hat das Beispiel Automobilelektronik gezeigt, dass der Einzug von «smartness» zur Dematerialisierung damit erkaufte wird, dass seltene Metalle verloren gehen. Um diesen unerwünschten Effekten der «smartness» zu begegnen, ist ein

mehrstufiges Vorgehen nötig, das unter anderem folgende Schritte beinhaltet:

- Kurzfristig: Bessere Nutzung der Potenziale für material- und energieeffiziente Produkte (z.B. durch Erhöhung der Lebensdauer) sowie der bestehenden Recyclinginfrastruktur
- Mittelfristig: Deutliche Reduktion des ökologischen Rucksacks der Infrastruktur für «smartness» (beispielsweise durch Aufbau einer Recyclinginfrastruktur für seltene Metalle)
- Langfristig: Überdenken der Materialgrundlage für «smartness» in Richtung Biokompatibilität, u.a. indem auf knappe, toxische Elemente verzichtet wird.

[1] Als «selten» werden Metalle bezeichnet, wenn ihre durchschnittliche Konzentration in der Erdkruste weniger als 0,01 Gew-% beträgt.

[2] Von 2005 bis 2009 hat sich die Anzahl der geschredderten Fahrzeuge gemäss SARS (2011) kontinuierlich von ca. 130 000 auf 60 000 verringert und ist im Jahr 2010 wieder auf 80 000 Fahrzeuge angestiegen. Die Anzahl der geschredderten Fahrzeuge hängt von der jeweiligen Marktsituation ab (allgemeine wirtschaftliche Lage, Metallpreise, Exportbeschränkungen, etc.).

PATRICK WÄGER

Empa, Abteilung Technologie & Gesellschaft, St.Gallen.

ROLF WIDMER

Empa, Abteilung Technologie & Gesellschaft, St.Gallen.

Eco-effiziente Produktionsmaschinen in moderner Haustechnik

OPTIMIERUNG DES GESAMTSYSTEMS

Die Hebelwirkung von energiesparenden Massnahmen im Bereich Produktionsmaschinen ist unbestritten gross. Diverse Studien [1] in Europa zeigen ein grosses Optimierungspotenzial – konkret ist die Rede von einer Energieverbrauchsreduktion von 25% und mehr in den nächsten zehn Jahren.

Von Rainer Züst, Lukas Weiss, Adam Gontarz, Jürg Hauenstein

Eine repräsentative Produktionsmaschine wird im Schnitt rund 35 000 h betrieben (2-Schicht über 10 Jahre oder 1-Schicht über 20 Jahre). Der Energieverbrauch inklusive peripherer Versorgungssysteme wird mit durchschnittlich 12 Kilowatt (kW) angenommen. Eine Reduktion um 25% entspricht somit 3 kW. Über die Lebensdauer der Maschine ist dies eine Einsparung von rund 100 000 kWh. Absolut betrachtet ist dies nicht sehr viel, multipliziert mit allen eingesetzten Maschinen hingegen bedeutend.

Abwärme stört in der Produktion

Häufig besteht die Meinung, dass industrielle Abwärme genutzt werden kann. Dies ist für Produktionsmaschinen nur bedingt der Fall, wie in der «Planungshilfe Abwärmenutzung

bei Produktionsmaschinen» [2] aufgezeigt wird. Die Nutzung ist problematisch, wenn der Produktionsprozess nur Wärmequellen (d.h. Abwärme) und keine Wärmesenken (d.h. Wärmebedarf) aufweist, was in der mechanischen Fertigung immer der Fall ist. Hier kann die Abwärme nur an externe Wärmesenken abgegeben werden, die kaum im entsprechenden Ausmass vorhanden sind.

Die rund 200 000 installierten metallverarbeitenden Werkzeugmaschinen in der Schweiz sind «Heizkörper». Diese Abwärme stört und muss gezielt abgeführt werden; die Kühlung geschieht primär aus Qualitätsgründen aber auch, um Überhitzungen von Lagern und Antrieben zu vermeiden. Gekühlt wird vielfach mit Luft – und meistens über Kaskaden, also über mehrere Stufen und deshalb mit einem

geringen Coefficient of Performance, kurz COP [3] von unter 2; die Abwärme kann in den meisten Fällen nicht weiter genutzt werden. Im Gegenteil verursacht das Abführen der Wärme einen zusätzlichen Energieverbrauch.

Moderne Kühlsysteme in der Produktion sind als Rückkühlsysteme konzipiert. Mittels Wärmepumpe(n) wird das Kühlmedium – in der Regel Wasser – gekühlt bei gleichzeitiger Produktion von Warmwasser, das unter anderem zum Heizen und Erwärmen von Brauchwarmwasser oder für weitere Spezialanwendungen genutzt werden kann. Der COP ist bei diesen Lösungen sehr hoch. Solche kombinierte «Heiz- und Kühlsysteme» sind in der Praxis heute eher der Ausnahmefall: einerseits weil die bisherigen Maschinen die Abwärme primär an die Umgebungsluft abgeben und nicht direkt wassergekühlt sind und andererseits eine zweckmässige «Weiternutzung» der Abwärme fehlt.

Moderne Haustechnik dank Weitblick

Mettler-Toledo AG ist der führende Anbieter von Waagen weltweit – zum Wägen von Men-



Abb. 1: Wärmepumpe zur Nutzung der Abwärme. Im Sommer wird die überschüssige Wärme hauptsächlich über Kühltürme an die Aussenluft abgegeben.



Abb. 2: Bestehende Werkzeugmaschine.

gen von 0,000 0001 g bis hin zu mehreren Hundert Tonnen. Diese Waagen kommen im Labor, in der Industrie und im Einzelhandel zum Einsatz. Das Spektrum reicht von Geräten in Labors für Forschung, Wissenschaft und Qualitätskontrolle, Lösungen für die Industrie zur Unterstützung von Rohmaterialhandling über Prozesskontrolle und Verpackungskontrolle bis hin zur Logistik und dem Versand sowie Geräte im Selbstbedienungsbereich, Frischetheken und Self-Checkout-Terminals.

Mettler-Toledo AG betrachtet Umweltschutz als unverzichtbaren Bestandteil des Unternehmens. Deshalb verpflichtet sich die Firma, kontinuierlich die eigenen Produkte und Prozesse zu verbessern, Ressourcen zu schonen, Recycling zu betreiben und die eigene Umweltschutzleistung zu überwachen. Obwohl die von ihr verursachte Umweltbelastung relativ gering ist, ist die Firma überzeugt, dass ein sorgfältiges Umweltmanagement der richtige Weg ist.

Vor einigen Jahren musste die Kältemaschine ersetzt werden. Auslöser war die Beschaffung neuer Funkenerodiermaschinen im Bereich der Wägezellenfertigung. Prozessbedingt waren hier höhere Kühlleistungen erforderlich, welche entweder ineffizient dezentral oder dann effizient zentral erzeugt werden konnten. Das Unternehmen hat sich für Letzteres entschieden.

Ein wichtiges Ziel der neuen Anlage war einerseits ein hoher Wirkungsgrad, d.h. ein deutlich höherer COP bei gleichzeitiger Nutzung der Abwärme. Realisiert wurde ein zentrales Wärmerückkopplungssystem (siehe Abb. 1).

Die Anlage wurde für den Sommerbetrieb optimiert, denn im Winterhalbjahr sind deutlich geringere Kühlleistungen erforderlich. In der Zwischenzeit ist eine grössere Abwärmeverwertung im Winter möglich; weitere Wärmequellen können einfach ans bestehende Kühlsystem angeschlossen werden.

Neue Produktionsmaschine – neues Optimierungspotenzial?

Im Rahmen von Ersatzbeschaffungen und Kapazitätserweiterungen am Standort Nänikon müssen immer wieder neue Produktionsmaschinen beschafft werden. Für das Jahr 2013 stand für die Produktion der Wägezellen ein weiteres Fräszentrum auf der Agenda. Für weiterführende Optimierungsüberlegungen war dies eine ideale Ausgangslage, weil bereits eine baugleiche Maschine in Betrieb stand und ein ähnlicher Produktionsprozess sowie Maschinennutzung zu erwarten sind. An dieser konnten Energieverbrauchsmessungen in realer Produktionsumgebung vorgenommen werden – als Grundlagen für eine firmenspezifische Optimierung und Anpassung der zu beschaffenden Werkzeugmaschine.

Wie müsste die neue Werkzeugmaschine ausgelegt sein, damit sie aus energetischer Sicht optimal in die bestehende Hallenumgebung bei Mettler-Toledo AG integriert werden kann? Eine detaillierte Messung soll hier Transparenz schaffen. Die Firma Inspire AG/IWF der ETH Zürich wurde mit der umfassenden Ausmessung der Maschine und der Haustechnikanschlüsse beauftragt; die Kosten teilten sich der Anwender und der Maschinenhersteller hälftig auf. Dies zeigt, dass auf beiden Seiten ein grosses Interesse bestand, eine optimale Lösung im Sinne von «best practices» umzusetzen. Für den Maschinenhersteller bedeutete dies einen zusätzlichen Kompetenzgewinn und für Mettler-Toledo AG eine Pilotanwendung, welche sich bei weiteren Ersatz- und Neubeschaffungen einfach multiplizieren lässt.

Die Auswertung der Messungen zeigt, dass die Spindelleistung, also der Hauptantrieb, in allen Betriebszuständen einen Leistungsanteil von nur 15% der Nennleistung hatte (siehe Abb. 3, roter Bereich). Der Einbau einer Spin-

del dieser Nennleistungsklasse resultiert in einer erhöhten Leistungsaufnahme aller Komponenten, die dazu da sind, die Abwärme des Hauptantriebs abzuführen. Diese war im Durchschnitt etwa dreimal so hoch (Leistungsanteil 45%) gegenüber der an der Spindel benötigten Leistung. Die Energie zur Bereitstellung der hallenseitigen Rückkühlung ist darin noch nicht berücksichtigt. Unter den restlichen Verbrauchern fiel vor allem die Druckluft mit einem Anteil von ca. 20% an der Gesamtleistungsaufnahme auf.

Der geringe Leistungsanteil des Hauptantriebs in der Fallstudie ist besonders ausgeprägt, doch nicht überraschend, da im Bereich der Universalmaschinen unterschiedliche Anforderungen an eine Spindel, z.B. Drehmo-

«Übliche Verdächtige» bei Werkzeugmaschinen

Rund 25 detaillierte Verbrauchsmessungen in realer Produktionsumgebung von Produktionsmaschinen zeigen immer wieder «üblich Verdächtige»:

- «Betrieb ohne Nutzen»: So laufen beispielsweise Pumpen- und Kühlaggregate ausserhalb des eigentlichen Bearbeitungsprozesses weiter, ohne dass deren Leistung wirklich benötigt wird; hier fehlt es an einer anwesenheitsgerechten Regelung, d.h. abschalten, wenn nicht benötigt!
- Bedarfsgerechte Kühlung: Die Prozessleistung liegt meist weit unter der Nennleistung einer Produktionsmaschine, während Pumpen und Ventilatoren mit Nennlast betrieben werden. Sie müssen bedarfsgerecht geregelt werden – «nur so viel als nötig».
- Die Kühlung führt die zugeführte Energie in Form von Wärme ab. Sie muss korrekt dimensioniert und ebenfalls bedarfsgerecht geregelt werden.
- Sorgloser Umgang mit Druckluft, welche hallenseitig zur Verfügung gestellt wird, insbesondere die Auslegung und Einstellung der Sperrluft zum Schutz von Motoren und Sensoren.

Zwischenzeitlich sind wesentliche Erfahrungen aus diesen Messreihen aufgearbeitet und stehen als Planungshilfen [4] allen Interessierten zur Verfügung.

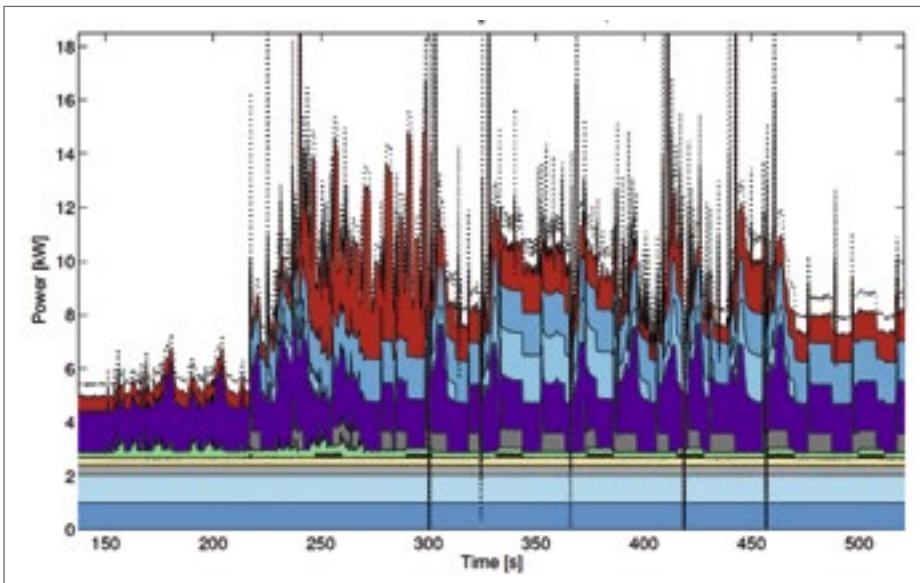


Abb. 3: Leistungsverlauf einer Werkzeugmaschine während des Fertigungsprozesses (Ausschnitt).

ment oder Drehzahl, gestellt werden. Diese Fülle an Anforderungen wird allerdings nur selten genutzt. Im Allgemeinen entfällt bei der zerspannenden Fertigung die Mehrheit der Leistungsaufnahme nicht auf die eigentliche Bearbeitung, sondern auf alle anderen prozessunterstützenden Funktionen.

Ecodesign-Massnahmen zum richtigen Zeitpunkt

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Messungen schlug der Werkzeugmaschinenhersteller drei Anpassungen für die neue Maschine vor. Es waren dies:

- eine bedarfsgerechte Abschaltung der Kühlung des Hauptantriebs bei geringer Last,
- ein Frequenzumformer für eine der Kühlschmiermittelpumpen, und
- sparsamere Druckluftkomponenten für Sperrluft und Auflagekontrolle.

Während dies für die Neubeschaffung keine wesentlichen Kostenfolgen hatte, wurde die Nachrüstung der bestehenden Maschine separat offeriert und erfordert ohne einen Retrofitgeschäftsprozess teure Sonderlösungen. Bei der wirtschaftlichen Abwägung zeigte sich, dass nur eine der drei Nachrüstungsmaßnahmen einen Payback innerhalb der Restlaufzeit von acht Jahren erzielte, was als oberste Grenze noch akzeptabel erschien.

Energieeffizienzmaßnahmen lohnen sich demnach nicht in jedem Fall und sind stark von externen Faktoren abhängig. Begünstigt werden sie jedoch, wenn ohnehin Investitionen anfallen oder technische Änderungen

notwendig werden. Deshalb sind eine langfristige Strategie und ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess vorteilhaft.

Verbesserungen ohne Zusatzinvestitionen

Das Ziel bestand darin, eine noch bessere Maschine zum selben Preis zu erhalten. Durch drei Anpassungen ohne Zusatzinvestitionen

kann folgende Energieeinsparung realisiert werden:

- bedarfsgerechte Abschaltung der Kühlung des Hauptantriebs bei geringer Last (im Stand-by): Mit dieser Massnahme kann die Leistung um rund 1 kW während ca. 20 % der Einsatzzeit reduziert werden. Bei budgetierten 35 000 h Einsatzzeit [5] resultiert eine Einsparung von 7000 kWh.
- Frequenzumformer für eine der Kühlschmiermittelpumpen: Innerhalb der produktiven Einsatzzeit von angenommenen 25 000 h kann die Pumpenleistung um 0,5 kW gesenkt werden. Es resultiert eine weitere Einsparung von 12 500 kWh über die Einsatzdauer der neuen Maschine.
- sparsamere Druckluftkomponenten: Hier kann eine Reduktion von 25 % erwartet werden respektive eine Leistungsreduktion von ca. 0,5 kW. Während der Einsatzzeit von 35 000 h ergeben sich zusätzliche Einsparungen von 17 500 kWh.

Ohne Zusatzkosten resultiert durch die erwähnten Ecodesign-Massnahmen eine Verbrauchsreduktion während der Einsatzzeit der Maschine von ca. 37 000 kWh. Bei durchschnittlich 10 kW Leistung entspricht dies einer Reduktion von über 10 % [6]. Bei Energie-

Quellen

- [1] Ecodesign-Potenzialanalyse in der Schweizer MEM-Industrie – eine explorative Studie; finanziert durch UTF/Bafu und Swissmem; bearbeitet von R. Züst, S. Züst (Züst Engineering AG) und S. Studer (Swissmem), 2010
- [2] Swissmem: www.swissmem.ch/de/industrie-und-politik/energie-und-umwelt/energie.html, Züst Engineering AG: www.zuestengineering.ch
- [3] Coefficient of performance; Verhältniszahl zwischen der übertragenen Wärmemenge und dem eingesetzten Strom; je grösser die Zahl, desto effizienter wird die Wärme übertragen.
- [4] Im Rahmen eines BFE-geförderten Projekts wurde 2011/2012 unter Federführung von Swissmem gemeinsam mit verschiedenen MEM-Firmen und mit Unterstützung von inspire AG/ETH Zürich, HSLU und der Züst Engineering AG verschiedene Planungshilfen für die Gestaltung

energieeffizienter Werkzeugmaschinen ausgearbeitet. Themen sind: Abwärmenutzung bei Produktionsmaschinen, Vermeiden von «Betrieb ohne Nutzen» (anwesenheits- und bedarfsgerechte Regelung) sowie Monitoring. Eine weitere Planungshilfe betrifft die Auslegung von Pumpen- respektive Kühlschmiermittelpumpensystemen. Diese sind online verfügbar unter: Swissmem (www.swissmem.ch/de/industrie-und-politik/energie-und-umwelt/energie.html) und Züst Engineering AG (www.zuestengineering.ch).

- [5] 35 000 h Einsatzzeit ergeben sich aus einem 2-Schicht-Betrieb (3500 h pro Jahr) in 10 Jahren.
- [6] In der Studie unter Punkt 1 wird das Ecodesign-Potenzial bis 2020 mit 25 % angegeben. Im vorliegenden Beispiel konnte somit rund die Hälfte davon durch Massnahmen realisiert werden, welche keine Mehrkosten verursacht haben.

kosten von 0,125 Fr./kWh sind das immerhin 4625 Franken direkte Einsparung über die Nutzungsdauer von einer einzelnen Maschine, und dies ohne Zusatzkosten für das Unternehmen. Die bisherige und baugleiche Maschine wurde bereits bei der damaligen Inbetriebnahme nachgerüstet; dies war insbesondere eine «Power-Safe»-Schaltung, welche einen automatischen Ruhezustand nach Schichtende sicherstellte; mit einmaligen Kosten von ca. 1900 Euro können so rund 40 MWh respektive rund 5000 Franken jährlich eingespart werden.

Gute multiplizierbare Lösungen

Mettler-Toledo AG hat nun weiterführendes Know-how, um bei weiteren Maschinenbeschaffungen zielgerichtet energieeffizientere Lösungen zu finden. Diese Erfahrungen werden deshalb künftig berücksichtigt. Dank die-

ser Multiplikation resultiert insgesamt ein ökonomisch gutes Resultat.

In der Schweizer Industrie werden 100 000 bis 200 000 Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung produktiv eingesetzt. Jährlich werden bis 15 000 Metallbearbeitungsmaschinen neu in Betrieb genommen, alte Maschinen werden laufend stillgelegt. Gelingt es nun, relativ einfach umsetzbare Massnahmen, wie aufgezeigt, sofort umzusetzen, resultiert bei der nächsten «Jahresflotte» von 15 000 neuen Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung über deren Einsatzdauer ein grosses Einsparpotenzial von geschätzten 500 000 MWh oder rund 50 Mio. Franken, und das ohne Zusatzinvestitionen und Mehrkosten bei den Maschinen selbst. In dieser Abschätzung sind Einsparungen auf Seite Hallenkühlung und Druckluftbereitstellung nicht berücksichtigt.

Für eine einzelne Neubeschaffung sind die aufgezeigten Einsparungen gering, in der Summe hingegen beachtlich. Deshalb stellt sich die Frage, wie man einzelne Maschinenhersteller in der Schweiz – hier sind es weniger als 100 Anbieter – wie auch die Kunden aus unterschiedlichen Produktionsbetrieben überzeugen kann, diese Effizienzmassnahmen umzusetzen. Die Diskussion nur über Energiekosten führt in diesem Zusammenhang vielfach ins Leere. Interessanter ist hingegen die Frage nach einer «kalten Fabrik» mit grösserer thermischer Stabilität und somit höherem Qualitätsniveau.

Der vorliegende Beitrag ist eine Kurzfassung von einem «Show-Case», dessen Ausarbeitung der ETH-Bereich Novatlantis im Sommer 2013 finanziell unterstützt hat. Industriepartner war Mettler-Toledo AG in Nänikon.

Autoren & Impressum

Fischl Maria

Dipl.-Ing. M.Sc.(TUM), Institut für Technologiemanagement der Universität St.Gallen.
maria.fischl@unisg.ch, www.item.unisg.ch

Friedli Thomas

Prof. Dr. oec. HSG, Institut für Technologie-management der Universität St.Gallen.
Thomas.Friedli@unisg.ch, www.item.unisg.ch

Gontarz Adam

Dipl.-Ing., inspire AG, ETH Zürich.
gontarz@iwf.mavt.ethz.ch
www.inspire.ethz.ch

Hauenstein Jürg

Dr. phil. Nat., Leiter Sicherheit- & Umweltmanagementsystem, Mettler-Toledo AG, Nänikon.
Juerg.Hauenstein@mt.com

Kreienbühl Andreas

Verkaufsingenieur, Industrie- und Gebäudeautomation, ABB Schweiz AG, Baden.
andreas.kreienbuehl@ch.abb.com
www.abb.ch

Lang Dominik

Marketing und Kommunikation, ABB Schweiz AG, Industrie- und Gebäudeautomation, Baden.
dominik.lang@ch.abb.com, www.abb.ch

Liebetrau Fabian

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut für Technologiemanagement der Universität St.Gallen.
fabian.liebetrau@unisg.ch
www.item.unisg.ch

Morand Raymond

Dipl. Ing. ETH/SIA, Verfahrenstechnik, Leiter Bereich Energie/Nachhaltigkeit, Helbling Beratung + Bauplanung AG.
Raymond.Morand@helbling.ch
www.helbling.ch/hbp/helbling-beratung-bauplanung-ag

Suranyi Andreas

Business Development, Energy Efficiency Solutions, ABB Switzerland Ltd., Baden.
andreas.suranyi@ch.abb.com
http://new.abb.com/energy-efficiency

Wäger Patrick

Dr. sc. nat. ETH, Empa, Abteilung Technologie & Gesellschaft, St.Gallen.
patrick.waeger@empa.ch, www.empa.ch

Weber Matthias

Versuchingenieur, MAG, Werkzeugmaschinen und Fertigungssysteme.
matthias.weber@mag-ias.com
www.mag-ias.com

Weiss Lukas

Dipl. Ing. ETH, inspire AG, Zürich.
weiss@inspire.ethz.ch
www.inspire.ethz.ch

Wellig Beat

Prof. Dr., Dipl. Ing. ETH/HTL
Leiter Kompetenzzentrum Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik (CC TEVT), Hochschule Luzern.
beat.wellig@hslu.ch
www.hslu.ch/technik-architektur

Widmer Rolf

Dipl. Ing. ETH, Empa
Abteilung Technologie und Gesellschaft, St.Gallen.
rolf.widmer@empa.ch, www.empa.ch

Züst Rainer

Dr. sc. techn., Dipl. Ing. ETH / SIA, ehem. Professor der ETH Zürich, Züst Engineering AG, Seegräben.
rainer.zuest@zuestengineering.ch
www.zuestengineering.ch

Züst Simon

MSc ETH ME, inspire AG, ETH Zürich.
sizuest@inspire.ethz.ch
www.inspire.ethz.ch

IMPRESSUM

Sonderausgabe

Umwelt PERSPEKTIVEN

Verlag

galledia verlag ag,
ein Unternehmen der galledia ag
Burgauerstrasse 50
9230 Flawil
T 058 344 96 96, www.galledia.ch

Redaktion

Roger Strässle
T 043 333 39 54
roger.straessle@galledia.ch