

# Eco-effiziente Produktionsmaschinen in moderner Haustechnik bei METTLER TOLEDO - Hohe Energieeffizienz durch Optimierung des Gesamtsystems

## Autoren:

Rainer Züst



Lukas Weiss

Adam Gontarz



Jürg Hauenstein



## Ausarbeitung des Fallbeispiels wurde unterstützt durch:



## Zusammenfassung

---

Die rund 200'000 installierten metallverarbeitenden Werkzeugmaschinen in der Schweiz sind „Heizkörper“, welche im Schnitt 2'000 – 3'500 h/Jahr in Betrieb sind. Nur ein Bruchteil der insgesamt benötigten Energie wird für den eigentlichen Hauptzweck – die Bearbeitung des Werkstücks – verwendet. Ein Mehrfaches wird für die Kühlung aufgewendet. Diese Abwärme muss primär aus Qualitätsgründen gezielt abgeführt werden. Gekühlt wird vielfach mit Luft – und hier auch meistens über Kaskaden mit einem sehr geringen Wirkungsgrad; die Abwärme kann kaum genutzt werden.

Moderne Kühlsysteme in der Produktion wie bei METTLER TOLEDO in Nänikon sind als Kaltwassersysteme konzipiert. Mittels Wärmepumpe wird das Kühlmedium gekühlt bei gleichzeitiger Produktion von Warmwasser, welches zumindest in den Übergangszeiten zum Heizen und ganzjährig zum Nachwärmen von Entfeuchtungsprozessen genutzt werden kann.

Die Herausforderung für METTLER TOLEDO bestand darin, eine neue Werkzeugmaschine optimal in die bestehende Halleninfrastruktur zu integrieren, um insgesamt eine möglichst hohe Energieeffizienz zu erreichen. Zu diesem Zweck wurde durch die ETH Zürich eine baugleiche Maschine vor Ort detailliert in realer Produktionsumgebung ausgemessen. Dank dieser Transparenz konnten anschliessend gemeinsam mit dem Maschinenhersteller einzelne Verbesserungen im Sinne von Ecodesign festgelegt werden. Diese betreffen die Regelung von Kühlung und Kühlschmiermittelpumpe sowie die Wahl der Druckluftkomponenten. Insgesamt resultiert so eine Einsparung von ca. 37 MWh (entspricht ca. 4.0 t/tCO<sub>2</sub> gemäss Lieferantenstrommix in der Schweiz) über die gesamte Einsatzdauer der neuen Maschine ohne zusätzliche Investitionen oder Mehrkosten für METTLER TOLEDO.

Die Hochrechnung auf die ganze Schweiz zeigt, dass analoge Verbesserungen bei einer ganzen Jahresflotte von neuen Werkzeugmaschinen eine totale Einsparung über die jeweilige Einsatzdauer von 500'000 MWh bewirken. Werden alle Produktionsmaschinen berücksichtigt, erhöht sich das Potential um den Faktor 2.

Im vorliegenden Praxisbeispiel wird aufgezeigt, wie durch eine integrierte Planung von Haustechnik einerseits und die Beschaffung von kundenspezifisch-optimierten Produktionsmaschinen andererseits gezielt Geld und Energie eingespart werden können.

## Inhaltsverzeichnis

1.	Grosses Energieeinsparpotential beim Produktionsmaschinen	3
1.1	Hohe Anzahl an Produktionsmaschinen in der CH-Industrie	3
1.2	Einsparpotential von 25% in 10 Jahren	3
1.3	Herausforderung: Optimierte Maschinen in optimierter Halleninfrastruktur	4
2.	METTLER TOLEDO – kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung	5
2.1	Weltweit führend in Präzisionsinstrumenten	5
2.2	Umweltmanagement und „GreenMT Initiative“	5
2.3	Moderne Haustechnik dank Weitblick	6
3.	Neue Produktionsmaschine – neues Optimierungspotential?	8
3.1	Gelebter KVP	8
3.2	Ohne Messung keine Verbesserung	8
3.3	Messkampagne bringt Transparenz	9
4.	Energiesparen mit System: Gemeinsame Auswertung und Festlegen der Optimierungsmassnahmen	12
4.1	Ecodesign-Massnahmen zum richtigen Zeitpunkt	12
4.2	Erreichte Verbesserung	13
4.2	„Best Practice“ für Multiplikation im eigenen Betrieb	14
5.	Ausblick	15

## 1. Grosses Energieeinsparpotential beim Produktionsmaschinen

### 1.1 Hohe Anzahl an Produktionsmaschinen in der CH-Industrie

---

Maschinenbau, Elektro- und Elektronikindustrie sowie Metallindustrie in der Schweiz, die so genannte MEM-Industrien, beschäftigten 2008 vor der Finanzkrise rund 350'000 Mitarbeitende und erwirtschafteten einen Umsatz von über 100 Mrd. CHF bei rund 80 % Exportanteil. Davon entfallen rund 20 Mrd. CHF Umsatz jährlich auf die Herstellung von Produktionsmaschinen sowie ca. 7 Mrd. auf Komponenten, welche im Umfeld von Produktionsanlagen eingesetzt werden (z.B. Pumpen, Kompressoren sowie Apparate der Wärme- und Kältetechnik).

Unter Produktionsmaschinen werden hier zusammengefasst:

- Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung (ca. 6 Mrd. CHF jährlich),
- Werkzeugmaschinen für Bearbeitung anderer Stoffe (ca. 3.5 Mrd. CHF jährlich),
- Maschinen für graphische Prozesse und Papierindustrie (ca. 3 Mrd. CHF jährlich),
- Textilmaschinen inkl. Konfektionsmaschinen (ca. 2 Mrd. CHF jährlich),
- Maschinen für die Bearbeitung mineralischer Baustoffe (ca. 1.5 Mrd. CHF jährlich)
- Verpackungs- und Abfüllmaschinen (ca. 1.5 Mrd. CHF jährlich)
- Maschinen für Bearbeitung von Kautschuk und Kunststoff (ca. 1 Mrd. CHF jährlich)
- Weitere (ca. 1.5 Mrd. CHF jährlich)

Die Umsatzzahlen beziehen sich auf die Statistik der Oberzolldirektion 2008, d.h. auf Umsatzzahlen vor der Finanzkrise.

Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung, z.B. Fräs-, Dreh- und Schleifmaschinen stellen in Stückzahlen den grössten Anteil an Produktionsmaschinen dar. Hergestellt in der Schweiz werden jährlich rund 30'000 Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung – ca. 24'000 davon gehen in den Export. Zusätzlich werden jährlich rund 9'000 weitere Werkzeugmaschinen importiert. Somit kommen pro Jahr ca. 15'000 neue Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung in CH-Firmen neu zum Einsatz. Schätzungen gehen davon aus, dass insgesamt rund 200'000 Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung produktiv in Schweizer Betrieben stehen und je nach Auftragssituation über das Jahr zwischen 2'000 h bis 5'000 h in Betrieb sind. Einzelne Maschine werden sogar noch intensiver genutzt, und zeigen jährliche Betriebszeiten grösser als 5000 h.

### 1.2 Einsparpotential von 25 % in 10 Jahren

---

Die Hebelwirkung von energiesparenden Massnahmen im Bereich Produktionsmaschinen ist unbestritten gross. Diverse Studien<sup>1</sup> in Europa zeigen für das produzierende Gewerbe (insbesondere KMU) ein grosses Optimierungspotential – konkret ist die Rede von einer Energieverbrauchsreduktion von 25 % und mehr in den nächsten 10 Jahren.

Eine repräsentative Produktionsmaschine wird im Schnitt rund 35'000h betrieben (2-Schicht über 10 Jahre, oder 1-Schicht über 20 Jahre). Der Energieverbrauch inkl. peripherer Versorgungssysteme wird mit durchschnittlich 12 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.

---

<sup>1</sup> *Ecodesign-Potenzialanalyse in der Schweizer MEM-Industrie - eine explorative Studie; finanziert durch UTF/BAFU & Swissemem; bearbeitet von R. Züst, S. Züst (Züst Engineering AG) und S. Studer (Swissemem), 2010*

Werden alle neuen 15'000 metall-verarbeitende Werkzeugmaschinen, welche jährlich in der Schweiz neu in Betrieb genommen werden, um 25 % verbessert, resultiert – über die ganze Betriebszeit – eine Energieeinsparung von insgesamt 15'000'000'000 kWh, respektive eine Kosteneinsparung von 1.5 Mrd. CHF (bei 0.10 CHF/kWh), oder eine Reduktion von 1.6 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> (bei CH-Lieferanten-Strom-Mix: 111 g CO<sub>2</sub>/kWh). Berücksichtigt man alle Produktionsmaschinen, ist die Einsparung etwa doppelt so gross.

Durch die relativ hohe Anzahl von metallverarbeitenden Maschinen in der Schweiz und die jeweils lange Betriebsdauer an produktiven Stunden von durchschnittlich 35'000 h und mehr resultiert in der Summe ein grosses Einsparpotential. Diese Einsparungen können nur bedingt durch den Einsatz effizienter Komponenten erreicht werden; ein Grossteil bedingt eine Anpassung des Benutzerverhaltens des Anwenders, Regelverhaltens des Systems oder die Optimierung des Gesamtsystems. Notwendig ist deshalb ein konsequentes Ecodesign der einzelnen Maschinen unter Berücksichtigung der künftigen Anwendung und der Integration in die bestehende Halleninfrastruktur.

### **Umsetzung von Ecodesign ist anspruchsvoll**

*Eine aktuelle Studie des Fraunhofer Gesellschaft<sup>2</sup> für den Maschinenbau zeigt, dass bei der Umsetzung in der Produktentwicklung grosse Defizite bestehen; die befragten Firmen können vielfach keine Angaben machen, wie das Thema Energieeffizienz respektive Ecodesign systematisch im Rahmen neuer Produkte angegangen wird. Zum Teil ist dies durch den Umstand bedingt, dass keine Komplettlösungen geliefert werden, sondern dass das Produktionssystem erst durch die Integration der Maschine in die Stoff- und Energieflüsse beim Anwender entsteht. Und dieses Vordenken ist schwierig im Produktentwicklungsprozess umzusetzen.*

### **1.3 Herausforderung: Optimierte Maschinen in optimierter Halleninfrastruktur**

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, d.h. über mehrere Stufen und deshalb mit einem geringen COP<sup>3</sup> von unter 2; die Abwärme kann in den meisten Fällen nicht weiter genutzt werden. Im Gegenteil verursacht das Abführen der Wärme einen zusätzlichen Energieverbrauch. Dazu ein konkretes Beispiel aus einem aktuellen Projekt: Eine moderne hochproduktive Werkzeugmaschine hat eine durchschnittliche elektrische Leistungsaufnahme von ca. 23 kW; weitere 13 kW werden benötigt, um die Abwärme abzuführen (!).

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, welches unter anderem zum Heizen und zum Erwärmen von Brauchwarmwasser oder für weitere Spezialanwendungen genutzt werden kann. Der COP ist bei diesen Lösungen sehr hoch. Solche kombinierten „Heiz- und Kühlsysteme“ sind in der Praxis heute eher der Ausnahmefall, zum einen, weil die bisherigen Maschinen die Abwärme primär an die Umgebungsluft abgeben und nicht direkt wassergekühlt sind und zum anderen eine zweckmässige „Weiternutzung“ der Abwärme fehlt.

<sup>2</sup> Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes; Reiner Erhardt, Nico Pastewski; Fraunhofer IAO; ISBN: 978-3-8396-0177-8)

<sup>3</sup> Coefficient of performance; Verhältniszahl zwischen der übertragenen Wärmemenge und dem eingesetzten Strom; je grösser die Zahl, umso effizienter wird die Wärme übertragen.

### **Abwärme stört und kann nur bedingt genutzt werden**

*Häufig besteht die Meinung, dass industrielle Abwärme genutzt werden kann. Dies ist für Produktionsmaschinen nur sehr bedingt der Fall, wie in der „Planungshilfe Abwärmenutzung bei Produktionsmaschinen“ (Swissmem/BFE, 2012) 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. Weiter ist die Abwärme auf einem sehr tiefen Temperaturniveau von vielfach unter 40 °C. Und schliesslich fällt sie nur an, wenn produziert wird.*

*Die Produktionsbetriebe haben in den letzten Jahrzehnten grosse Anstrengungen unternommen, um flexibel und bedarfsgerecht produzieren zu können. Dadurch schwanken Leistungsaufnahme und entsprechende Wärmeabgabe der Produktionsmaschinen stark. Die Abwärme muss für einen korrekten Betrieb in jedem Fall abgeführt werden. Deshalb ist die Kühlleistung auf den ungünstigsten Fall einer Produktion mit maximaler Kapazität im Hochsommer auszulegen, wenn kaum externer Wärmebedarf besteht. Kostenseitig bedeutet dies, dass ohnehin eine vollständige Kühlanlage finanziert werden muss. Die Abwärmenutzung ist demzufolge eine Zusatzinvestition, welche in den meisten Fällen nur in den Übergangszeiten und während den Wintermonaten ihre Wirkung entfalten kann.*

## **2. METTLER TOLEDO – kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung**

### **2.1 Weltweit führend in Präzisionsinstrumenten**

METTLER TOLEDO ist der führende Anbieter von Waagen weltweit – zum Wägen von Mengen von 0,0000001 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 Versand, sowie Geräte im Selbstbedienungsbereich bis hin zu Frischetheken und Self-Checkout-Terminals.

Produkte und Dienstleistungen von METTLER TOLEDO sind in über 100 Ländern erhältlich. Über das größte Vertriebs- und Servicenetz der Branche bedient METTLER TOLEDO Kunden auf globaler Basis. Produktionsstätten liegen in den USA, in Deutschland, Grossbritannien, in der Schweiz und in der Volksrepublik China. Dadurch ist die Kundennähe gesichert - nicht nur unter logistischen Aspekten, sondern auch, um schnelle Reaktionen und Anpassungen und spezielle Anforderungen vor Ort zu ermöglichen.

### **2.2 Umweltmanagement, KVP und „GreenMT Initiative“**

METTLER TOLEDO betrachtet Umweltschutz als unverzichtbaren Bestandteil des Unternehmens. Deshalb verpflichtet sich METTLER TOLEDO, 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 METTLER TOLEDO überzeugt, dass ein sorgfältiges Umweltmanagement der richtige Weg ist. Im Rahmen der kontinuierlichen Verbesserung, die über mehrere Jahre rollierenden Nachrüstung neuer Technologien, gepaart mit umwelt- und kostenrelevanten Überlegungen, gelang es zum Beispiel dem Entwicklungslabor, den Energieverbrauch seiner Klimakojen um 46% zu senken.

Neben den Projekten und kontinuierlichen Verbesserungsmaßnahmen, die im Rahmen der ordentlichen Budgetierung stattfinden, steht zusätzlich ein interner Umweltfonds zur Verfügung, der aus der rückerstatteten CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe finanziert wird. Aus diesem Umweltfonds können unter anderem Projekte mit Pilotcharakter oder Umweltmassnahmen, die die vorgegebenen, engen Payback-Zeiten nicht einhalten, mitfinanziert werden. Als Beispiele können die Nutzung neuer alternativer Energien, der Einsatz klimaneutraler Kühlmittel, Anlagen zur Rückgewinnung von Produktionsabwärme oder die Energie- und Prozessoptimierung bei Klimakojoen erwähnt werden. Bei letzterem gelang es, jahrzehntealte Denkweisen aufzubrechen und den Verantwortlichen enormes Energieeinspar- und somit Kostensparpotential aufzuzeigen.

### **Erfolgsfaktor „Betrieblicher Umweltfonds“**

*Die CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe wird von METTLER TOLDEO zurückgefordert und speist zweckgebunden den internen Umweltfonds. Festgelegte Spielregeln ermöglichen rasch und unkompliziert die Realisierung von Pilot-Vorhaben, Detailanalysen zur Verbesserung der Umweltleistung (z.B. Prozessoptimierungen) oder weitsichtigen Investitionen, die zum Zeitpunkt der Umsetzung die Payback-Anforderungen noch nicht erfüllen. In einem Grossbetrieb sind dies die Initialzündungen und Vorzeigeprojekte für eine breite Umsetzung im Unternehmen. Ohne diese Zusatzfinanzierung wären viele Vorhaben im Umwelt- und Energiebereich nicht möglich, denn es fehlt zunächst am notwendigen Pay-Back wie auch an Erfahrungen.*

Zudem wurde im Jahr 2010 auf Konzern-Ebene die „GreenMT-Initiative“ gestartet. Kern des GreenMT-Programms ist die umfassende Messung und schliesslich Reduktion des Ressourcenverbrauchs, der Emissionen und somit zur Verbesserung des globalen-Fussabdrucks. Im vergangenen Jahr hat METTLER TOLEDO im gesamten Unternehmen Daten gesammelt, darunter den Kraftstoffverbrauch der Fahrzeugflotten und den Energieverbrauch in allen von METTLER TOLEDO genutzten Gebäuden, um daraus abgeleitet Effizienzprojekte zu definieren.

## **2.3 Moderne Haustechnik dank Weitblick**

Vor einigen Jahren musste die Kältemaschine ersetzt werden, welche bis anhin auf einem Temperaturniveau von 6°C Vorlauftemperatur respektive 12°C Rücklauftemperatur arbeitete. 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. METTLER TOLEDO hat sich für letzteres entschieden.

Ein wichtiges Ziel der neuen Anlage war einerseits ein hoher Wirkungsgrad, d.h. einen deutlich höheren COP bei gleichzeitiger Nutzung der Abwärme. Realisiert wurde ein zentrales Wärmerückkoppelungssystem. Neben der Wahl hochwertiger Komponenten ist vor allem die Temperaturführung der involvierten Kühl- resp. Heizkreise für den Wirkungsgrad ausschlaggebend. Die Rückkühltemperatur auf Seite Haustechnik beträgt tiefe 40°C; dadurch waren günstigere Standardlösungen möglich. Im März 2013 beispielsweise wurden so über 40'000 kWh Wärme produziert und intern wiederverwendet. Der COP variiert insgesamt zwischen 3.9 und 5.7.

Andererseits wird prozessseitig über ein Rückkühlsystem mit der neuen zentralen Kaltwasserkühlung gekühlt. Vorlauftemperatur wurde auf 16°C angehoben; die Rücklauftemperatur bewegt sich bei ca. 20 °C. Ideal wäre eine Vorlauftemperatur von 20°C, weil dann die aufwändige Kälteisolation wegfällt. Zu diesem Zweck müssten die Produktionsmaschinen auf

einem höheren Temperaturniveau arbeiten, was bei entsprechender Auslegung möglich, heute aber nicht Standard und somit unverhältnismässig teuer ist.



*Abb. 1: Wärmepumpe zur Nutzung der Abwärme und Kühlturm*

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. Für neue Produktionsmaschinen ist dies ein idealer Ausgangspunkt. Im Sommer wird die überschüssige Wärme hauptsächlich über Kühltürme an die Aussenluft abgegeben, was sich auf das Raumklima positiv auswirkt. Ein kleiner Teil der überschüssigen Wärme wird zudem zum Nachwärmen bei Entfeuchtungsprozessen genutzt.

***Erfolgsfaktor „effiziente Haustechnik dank längerfristiger Strategie und kontinuierlichem Verbesserungsprozess“***

*METTLER TOLEDO verfügt am Produktionsstandort in Nänikon über eine moderne Haustechnik. Dies ist nicht zufällig: Zum einen werden die einzelnen Komponenten in Produktion und Haustechnik laufend überprüft und optimiert. Im Frühling 2013 beispielsweise wurden die Klimakammern detailliert ausgemessen, um weiteres Verbesserungspotential zu erkennen; entsprechende Optimierungsmassnahmen werden nun umgesetzt. Zum anderen wurde bewusst eine längerfristige Strategie entwickelt und sukzessive – vor allem bei Ersatz- und Neubeschaffungen von einzelnen Maschinen und Geräten – umgesetzt.*

*Eine energieeffiziente Firma muss sowohl die Haustechnik wie auch die Produktionsmaschinen optimieren. Dieser gleichzeitige Abgleich ist schwierig, da unterschiedliche Produktlebenszyklen, laufende Veränderungen der Prozesse, Kundenbedürfnisse, Produkte und der gesetzlichen Vorschriften, aber auch eine variable Produktionsauslastung berücksichtigt werden müssen. Der Abgleich bedingt in beiden Bereichen, die stets einen grossen Bestand an Vorhandenem aufweisen, kleine Schritte in die richtige Richtung. Entscheidend ist auch, dass diese Schritte vor Neu- und Umbauten sowie Investitionen in Produktionsanlagen abgeklärt und „vorgedacht“ werden, damit die relevanten Informationen bei der Lösungsfindung zur Verfügung stehen. Die punktuelle Nachrüstung ist technisch meist schwierig, wenn nicht unmöglich, und vor allem unwirtschaftlich.*

### 3. Neue Produktionsmaschine – neues Optimierungspotential?

#### 3.1 Gelebtes Umweltbewusstsein

---

Am Standort Nänikon betreibt METTLER TOLEDO einen Produktionsbetrieb. Im Rahmen von Ersatzbeschaffungen und Kapazitätserweiterungen müssen immer wieder neue Produktionsmaschinen beschafft werden. Für 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 ist. An dieser konnten Energieverbrauchsmessungen in realer Produktionsumgebung vorgenommen werden, als Grundlagen für eine firmenspezifische Optimierung und Anpassung der zu beschaffenden Werkzeugmaschine. Der Umweltbeauftragte von METTLER TOLEDO suchte deshalb nach den richtigen Projektpartnern. Hilfreich war hier das F&E-Konsortium „Sustainable Engineering Network Switzerland“, ein Netzwerk aus Hochschulexperten und Firmen, welches das Ziel verfolgt, kollaborative Forschungsprojekte im Themenbereich der Ressourceneffizienz zu initiieren und in der Startphase aktiv zu begleiten. Erste Gespräche zwischen Umweltbeauftragtem und Geschäftsführer des Netzwerkes fanden anfangs 2013 statt. Rasch war klar, dass hier ein zusätzlicher Partner aus dem Bereich Werkzeugmaschinenbau notwendig ist.

#### **Erfolgsfaktor „Hochschulnetzwerk“**

*Für innovative Lösungen im Bereich „Energieeffizienz in Produktionsbetrieben/Industrie“ braucht es unterschiedliche Disziplinen und Erfahrungshintergründe. Zum einen ist Spezialwissen notwendig – hier sind die Hochschulen, wie beispielsweise die ETH-Bereiche gefordert. Zum anderen muss dieses Wissen anwenderspezifisch und vor allem in einem „System-Kontext“ umgesetzt werden. Zweckmässig sind hier nationale Netzwerke, Kompetenzzentren, oder auch Plattformen wie Novatlantis im ETH Bereich. Diese kennen bereits ihre Partner – eine Zusammenarbeit über Disziplinengrenzen hinweg wird deutlich einfacher.*

Im Rahmen von einem kollaborativen Forschungsprojekt zwischen den beiden ETH's in Lausanne und Zürich wurde das Thema „ressourceneffiziente Fertigung“ bereits in einem von der KTI unterstützten Projekt (2009 – 2011) näher untersucht. Das Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung IWF der ETH Zürich sowie das dazugehörige Transferinstitut inspire AG haben zu diesem Zweck ein Messsystem entwickelt, welches in realer Produktionsumgebung fünf Mal pro Sekunde über 16 energie- und medienverbrauchende Komponenten messen und übersichtlich auswerten kann. An diesem Projekt waren auch vier namhafte Schweizer Werkzeugmaschinenhersteller beteiligt; Projektkoordination hatte die Züst Engineering AG. Seither wurden durch inspire AG über 25 Messreihen an unterschiedlichen Maschinen durchgeführt. Zusammen mit der Messmethode, die in einen neuen ISO-Standard (Reihe ISO 14955, Ecodesign für Werkzeugmaschinen) einfließt, bilden sie eine weltweit einzigartige Messdatenbasis. Für die Fragestellung bei METTLER TOLEDO war deshalb inspire AG/IWF der ETH Zürich der richtige Ansprechpartner.

#### 3.2 Ohne Messung keine Verbesserung

---

Wie müsste die neue Werkzeugmaschine ausgelegt sein, damit sie aus energetischer Sicht optimal in die bestehende Hallenumgebung bei METTLER TOLEDO integriert werden kann? Diese Frage stand am 26. März 2013 im Raum, als sich die Leiter Produktion sowie Gebäude/Haustechnik von METTLER TOLEDO, der Umweltbeauftragte, zwei Fachexperten von inspire AG/IWF der ETH Zürich, der F&E-Leiter des evaluierten Werkzeugmaschinenherstellers sowie der Geschäftsführer des Hochschulnetzwerkes zum ersten Workshop trafen.



Rasch war klar, dass nur eine gezielte Messung des bereits bestehenden Fräszentrums genügend Aufschluss geben kann. Zudem musste auf eine optimale Integration in die bereits bestehende und moderne Haustechnik von METTLER TOLEDO geachtet werden. 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 eine Pilotanwendung, welche sich einfach bei weiteren Ersatz- und Neubeschaffungen multiplizieren lässt.



*Abb. 2: Bestehende Werkzeugmaschine bei METTLER TOLEDO*

### **Erfolgsfaktor „Interdisziplinäre Workshops“**

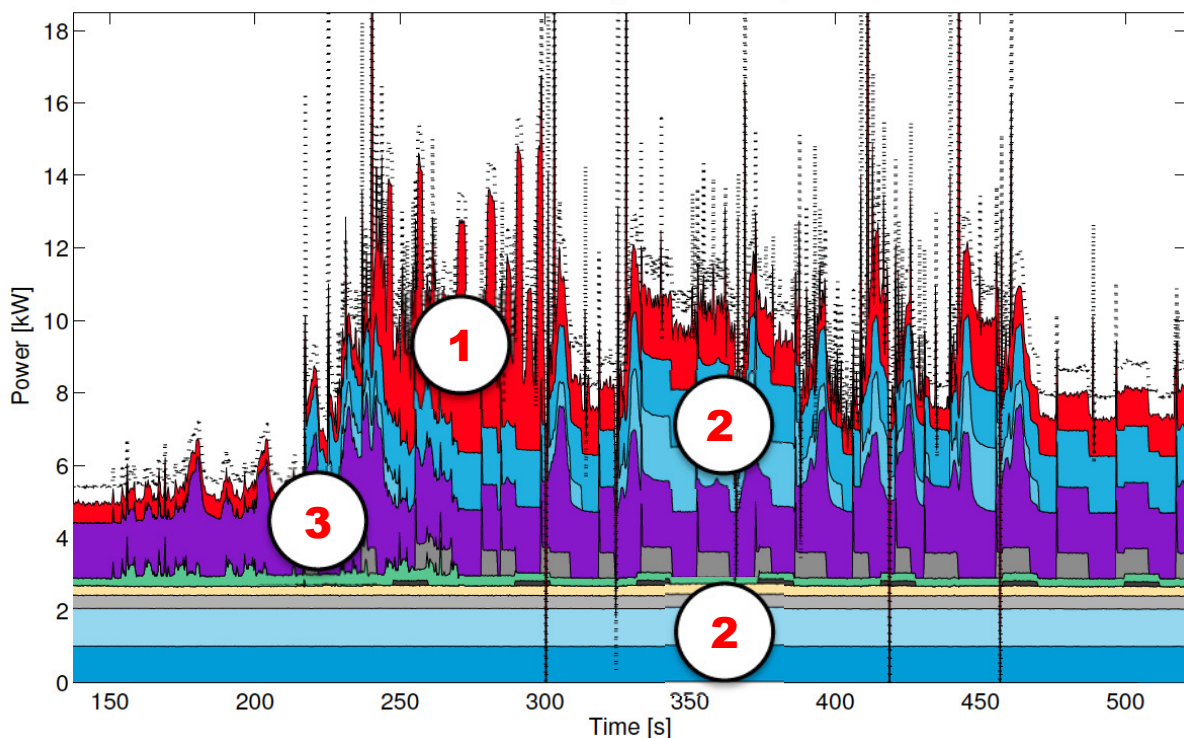
*Im Bereich „Energieeffiziente Lösungen“ & „Ecodesign“ haben Workshops mit unterschiedlichen Beteiligten den Vorteil, dass in kurzer Zeit verschiedene Fachbereiche einen wertvollen Input liefern können und dass diese Ideen und Hinweise in einer Gesamtschau aufgearbeitet werden. Interdisziplinäre Workshops können auch als „Haltepunkte“ in Projekten bezeichnet werden, mit dem Ziel, unterschiedliche Aspekte zu synchronisieren. Schliesslich bedeutet dies auch ein gemeinsames Forschen und Arbeiten an einem System. Idealerweise werden diese Workshops in einer frühen Phase der Planung durchgeführt, also zu einem Zeitpunkt, wo Änderungen und Anpassungen noch relativ einfach möglich sind.*

### **3.3 Messkampagne bringt Transparenz**

Die Messungen der Maschine (vgl. [Abb. 2](#)) fanden im Mai 2013 statt. Die Maschine musste während des Auf- und Abbaus der Messgeräte insgesamt 3 Stunden ausser Betrieb gesetzt werden, da neben den standardmässigen Sensoren für elektrische Verbräuchen, zusätzlich Sensorik für Kühlmitteldurchflüsse sowie für Ein- und Ausgangstemperaturen der Kühl-

medien implementiert wurde. Während der Messung, welche einen Arbeitstag dauerte, wurde die Produktionsmaschine in den verschiedenen Maschinenzuständen betrieben, vorwiegend im Zielprozess und Produktionsumfeld. An diesem Messtag war auch der Lieferant eines Subsystems, der Kühlschmiermittelversorgung, mit einem Techniker vertreten. Er nahm an seiner Baugruppe zusätzliche Messungen vor, welche in die Analyse einbezogen wurden.

Die Auswertung der Messungen wurde zwei Wochen später mit allen Beteiligten analysiert (vgl. [Abb. 3](#)). Es zeigte sich, dass die Spindelleistung, also der Hauptantrieb, in allen Betriebszuständen einen Leistungsanteil von nur 15 % der Nennleistung hatte. Der Einbau einer Spindel 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.



**Abb. 3:** Leistungsverlauf einer Werkzeugmaschine während des Fertigungsprozesses (Ausschnitt).  
 Die Leistung an der Bearbeitungsspindel (rot, 1) schwankt sehr stark.  
 Bei den blau eingefärbten Leistungsanteilen (2) handelt es sich um Pumpen und Kühlsysteme,  
 lila ist der Druckluftverbrauch (3).  
 Es ist gut erkennbar, dass sowohl letzterer wie auch ein Teil der Pumpen und Kühlsysteme mit konstanter Leistung betrieben werden.

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. Drehmoment oder Drehzahl, gestellt werden. Diese Fülle an Anforderungen werden 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. Zudem ist die Bear-

beitungsfunktion vielfach energetisch bereits optimiert. Das grösste Potenzial besteht bei *prozessabhängigen Kühlfunktionen*, die oft wenig bedarfsgerecht ausgelegt und/oder betrieben werden. Massnahmen wie die Frequenzregelung von Pumpen sind wirkungslos, wenn Kühlschmiermittel in der Anwendung nicht an die Bearbeitungsstelle gelangt oder nachgeschaltete Drosseln einen Teil der Leistung systematisch in Wärme umwandeln. Ein weiteres Potenzial besteht bei den *prozessunabhängigen Versorgungsfunktionen*, bei denen fallweise zu wenig auf den Energieverbrauch geachtet wird. Eine Sonderstellung hat diesbezüglich die Druckluft, welche als Sperrluft zum Schutz von hochwertigen Komponenten dauernd und oft in zu grossen Mengen im wahrsten Sinne des Wortes verpufft wird. Im vorliegenden Fall würde die Auflagekontrolle ebenfalls über Druckluft realisiert.

### **„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: Der 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 wie 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<sup>4</sup> allen Interessierten zur Verfügung.*

<sup>4</sup> *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:*

- *Abwärmennutzung bei Produktionsmaschinen*
- *Vermeiden von «Betrieb ohne Nutzen» (anwesenheits- und bedarfsgerechte Regelung), sowie*
- *Monitoring*

*Eine weitere Planungshilfe betrifft die Auslegung von Pumpen- respektive Kühlschmiermittel-Pumpensysteme.*

*Diese sind online verfügbar unter:*

- *Swissmem: <http://www.swissmem.ch/de/industrie-und-politik/energie-und-umwelt/energie.html>*
- *Züst Engineering AG: <http://www.zuestengineering.ch>*

## 4. Energiesparen mit System: Gemeinsame Auswertung und Festlegen der Optimierungsmassnahmen

### 4.1 Ecodesign-Massnahmen zum richtigen Zeitpunkt

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Messungen schlug der Werkzeugmaschinenhersteller drei Anpassungen für die neue Maschine vor, welche für die bestehende als Nachrüstung ebenfalls offeriert wurden. Es waren dies:

- eine bedarfsgerechte Abschaltung der Kühlung des Hauptantriebs bei geringer Last,
- einen 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 Retrofit-geschäftsprozess teure Sonderlösungen. Bei der wirtschaftlichen Abwägung zeigte sich, dass nur eine der drei Nachrüstungsmassnahmen einen Pay-Back innerhalb der Restlaufzeit von 8 Jahren erzielte, was als oberste Grenze noch akzeptabel erschien.

Energieeffizienzmassnahmen lohnen 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. Damit ist eine langfristige Strategie und ein kontinuierlicher Verbesserungsprozesses vorteilhaft.

#### **Erfolgsfaktor „recht- respektive frühzeitig Verbesserungsmassnahmen herleiten“**

*Planungs- und Entwicklungsprozesse sind dadurch gekennzeichnet, dass zu einem frühen Zeitpunkt auf Basis unvollständiger und vielfach auch unsicherer Informationen wesentliche Entscheidungen gefällt werden. Dies betrifft im Bereich Maschinenbau insbesondere die Konzeptphase. Hier werden – basierend auf einem Pflichtenheft – unterschiedliche prinzipieller Lösungen entwickelt, bewertet und weiterentwickelt. Es entstehen zunächst Konzepte, welche anschliessend in einem Engineering-Prozess detailliert ausgearbeitet und auch dimensioniert werden. Zu diesem Zeitpunkt ist der Einfluss auf die wesentlichen Systemeigenschaften bereits stark eingeschränkt. Zudem sind Änderungen zu einem späteren Zeitpunkt, welche das eigentliche Grundkonzept betreffen, kaum mehr möglich – der Änderungsaufwand und vor allem auch die zeitlichen Verzögerungen sind nicht vertretbar.*

*Die Schwierigkeit besteht darin, frühzeitig nicht einzelne Komponenten auszuwählen, sondern ein Gesamtsystem von Anfang an zu entwickeln, welches den individuellen Anforderungen im späteren Einsatz genügt. Dieses Gesamtsystem umfasst Maschine, Halleninfrastuktur und Maschinennutzung und berücksichtigt vor allem die kundenspezifische Anwendung.*

*Gute Prozesse helfen, zum richtigen Zeitpunkt mit der richtigen Person die richtige Frage zu diskutieren. Im Rahmen einer Neubeschaffung könnte der im Anhang beschriebene Ablauf mit entsprechenden Fragen sinnvoll sein und sinngemäss in das betriebliche Prozessmanagement integriert werden.*

## 4.2 Erreichte Verbesserung ohne Zusatzinvestitionen

Das Ziel bestand darin, eine noch bessere Maschine zu demselben Preis zu erhalten. Durch die drei Anpassungen kann folgende Energieeinsparung realisiert werden (vgl. Tabelle 1):

- bedarfsgerechte Abschaltung der Kühlung des Hauptantriebs bei geringer Last (im Standby): Mit dieser Massnahme kann die Leistung um rund 1 kW während ca. 20 % der Einsatzzeit reduziert werden. Bei budgetierten 35'000 h Einsatzzeit<sup>5</sup> resultiert eine Einsparung von 7'000 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. Über die Einsatzzeit von 35'000 h ergeben sich zusätzliche Einsparungen von 17'500 kWh.

Die Tabelle 1 zeigt die Zusammenfassung der Resultate:

<b>Fall A: Neubeschaffung</b>	Zusatz- Investition	Erzielbare Reduktion	Wirksamer Zeitraum	Energie- Einsparung insgesamt	Kosten- Einsparung insgesamt
Massnahme	[CHF]	[kW]	[h]	[kWh]	[CHF]
bedarfsgerechte Abschaltung der Kühlung des Hauptantriebs bei geringer Last	0.-	1.0	7'000	7'000	875.00
Frequenzumformer für eine der Kühlschmiermittelpumpen	0.-	0.5	25'000	12'500	1'562.50.-
sparsamere Druckluftkomponenten	0.-	0.5	35'000	17'500	2'187.50.-
	0.-			37'000	4'625.00

*Tabelle 1: Umgesetzte Ecodesign-Massnahmen und Einsparpotential bei der Neubeschaffung ohne Zusatzinvestitionen, und ohne weitere Energie- / Kosteneinsparung auf Seiten Wärmeabführung / Klimatisierung*

Ohne Zusatzkosten resultiert durch die oben erwähnten Ecodesign-Massnahmen eine Verbrauchsreduktion über die Einsatzzeit der Maschine von ca. 37'000 kWh. Bei durchschnittlich 10 kW-Leistung entspricht dies einer Reduktion von über 10 %<sup>6</sup>. Bei Energiekosten von 0.125 CHF/kWh sind es immerhin 4'625.- CHF direkte Einsparung über die Nutzungsdauer von einer einzelnen Maschine, und dies ohne Zusatzkosten für METTLER TOLEDO.

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. 1'900.-€ können so rund 40 MWh, respektive rund 5'000.- CHF jährlich eingespart werden.

<sup>5</sup> 35'000 h Einsatzzeit ergeben sich aus einem 2-Schicht-Betrieb (3'500h pro Jahr) in 10 Jahren

<sup>6</sup> In der Studie unter Punkt 1 wird das Ecodesign-Potential bis 2020 mit 25 % angegeben. Im vorliegenden Beispiel konnte somit rund die Hälfte davon durch Massnahmen realisiert werden, welche keine Mehrkosten verursacht haben.

Aufgrund der vorliegenden Messergebnisse wurde auch geprüft, die bereits bestehende Maschine bei METTLER TOLEDO weiter anzupassen respektive umzubauen. Hier wären hingegen zusätzliche Investitionen notwendig (Tabelle 2):

<b>Fall B:mögliches weiteres Up-Grading der bestehenden Maschine</b>	<i>Zusatz-Investition</i> [CHF]	<i>Erzielbare Reduktion</i> [kW]	<i>Wirksamer Zeitraum</i> [h]	<i>Energie-Einsparung Restlaufzeit</i> [kWh]	<i>Kosten-Einsparung Restlaufzeit</i> [CHF]
<i>Massnahme</i>					
<i>bedarfsgerechte Abschaltung der Kühlung des Hauptantriebs bei geringer Last</i>	2'000	1	5'600	5'600	700.-
<i>Frequenzumformer für eine der Kühlschmiermittelpumpen</i>	5'000	0.5	20'000	10'000	1'250.-
<i>sparsamere Druckluftkomponenten</i>	8'500	0.5	28'000	14'000	1'750.-
	15'500				3'700.-

*Tabelle 2: Mögliche Ecodesign-Massnahmen und deren Einsparpotential bei Up-Grading der bestehenden Maschine mit Anpassungen & Zusatzinvestitionen*

Bei einer Nachrüstung ist der Aufwand für Einzelmassnahmen erheblich grösser als die zu erwartenden Einsparungen, solange kein anderer Anlass zum Handeln besteht. Alle drei Massnahmen sind im vorliegenden Fall als kundenspezifische Sonderlösungen anzusehen. Die Kosten hierfür sinken, wenn ohnehin eine Intervention auf der Maschine durch den Lieferanten notwendig ist, für Wartungszwecke oder für eine Reparatur am entsprechenden Anlagenteil, oder ein Retrofitgeschäftmodell durch den Hersteller angeboten wird. Die Zusatzinvestition für einen Umbau reduziert sich dann auf die Kostendifferenz der Komponenten.

Ebenfalls besser sieht es aus, wenn Massnahmen gebündelt und als Paketlösung implementiert werden. Die Zahlen illustrieren deshalb die Bedeutung präventiven und koordinierten Handelns. Weitergehend ist die Sensitivität der einzelnen Parameter, wie z.B. Energiepreis, Maschinennutzung, Investitions- und Implementierungskosten, sehr hoch, sodass bereits geringe Änderungen dieser Faktoren die Amortisationszeiten stark beeinflussen können. Im vorliegenden Beispiel ergebe eine Energiepreiserhöhung von 10%, oder eine Reduktion der Investition um 10% bereits eine Reduktion der Amortisationsdauer um 2 Jahre.

Der Mehrwert für eine Firma ist noch grösser als in Tabelle 1 dargestellt, denn Wärme ist für eine hochpräzise Fertigung schädlich. Je weniger Wärme entsteht, desto mehr bewegt sich eine Firma hin zu einer „kalten Fabrik“; damit vereinfacht sich die Qualitätssicherung. Im Weiteren wird das Arbeitsumfeld für Mitarbeitende angenehmer, Kühlleistungen, welche bis anhin noch nicht berücksichtigt wurden, können reduziert und mittelfristig auch hallenseitige Infrastrukturen, wie Druckluftanlagen und Kühlsysteme, verkleinert werden. Alle diese Auswirkungen haben einen weiteren und zudem relevanten Effekt auf die Produktivität und Wirtschaftlichkeit einer Firma.

## 4.2 „Best Practice“ für Multiplikation im eigenen Betrieb

Bereiche, in denen die Energieeffizienz seit längerem und dauernd ein Thema von hoher Priorität ist, stützen sich auf klare Vorgaben für den Stand der Technik ab. Für die Isolation

von Gebäuden beispielsweise gibt es Normen, die von den Branchenorganisationen periodisch dem Stand der Technik angepasst werden. Sie bilden auch die Referenzbasis für die Gesetzgebung und andere Lenkungsmechanismen. Entwickler von Werkzeugmaschinen und vielfach auch von MEM<sup>7</sup>-Produkten sind in Bezug auf den Stand der Technik auf ihr eigenes Wissen, welches meist auf einem engen, spezialisierten Erfahrungshorizont basiert, angewiesen. Empfehlungen und gut dokumentierte Beispiele stellen bereits eine gute Entscheidungsgrundlage dar. Diese Referenzlösungen selbst wie auch der Prozess, wie eine Firma zu guten Lösungen gekommen ist, lassen sich auf vergleichbare Fälle übertragen.

### **Erfolgsfaktor „Referenzlösungen“**

*Der Stand der Technik betrifft zwei Aspekte: zum einen „die Effizienz von Energieverbrauchenden Komponenten“ (z.B. Effizienzklassen von Motoren); dieser Bereich ist relativ einfach überblickbar. Zum andern betrifft es das „gewählte Lösungsprinzip“; verwendet man zum Beispiel geregelte Antriebe oder nicht, ersetzt man Druckluft durch eine elektro-mechanische Lösung, oder definiert man angepasste Betriebszustände, welche eine einfachere „anwesenheits- und bedarfsgerechte Regelung“ zulassen und passt entsprechend die Maschine an? Hier geht es darum, für bestimmte Fragestellungen – und davon gibt es ganz viele verschiedene im Bereich Maschinen & Geräte – die zweckmässigste Lösung zu finden. Dies ist insbesondere in der frühen Entwicklungsphase nicht einfach abschätzbar. Deshalb ist hier eine weiterführende Unterstützung notwendig. Denkbar ist eine laufend aktualisierte Sammlung von Referenzbeispielen inklusive Nutznachweis respektive Quantifizierung der Wirksamkeit.*

METTLER TOLEDO hat nun weiterführendes Knowhow, um bei weiteren Maschinenbeschaffungen zielgerichtet energieeffizientere Lösungen zu finden. Diese Erfahrungen werden deshalb künftig berücksichtigt (vgl. Anhang: Mögliche Schritte und Inhalte für ein angepasstes Prozessmanagement). Dank dieser Multiplikation resultiert insgesamt ein ökonomisch gutes Resultat.

## **5. Ausblick**

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 am Beispiel METTLER TOLEDO aufgezeigt, sofort umzusetzen, resultiert bei der nächsten „Jahresflotte“ von 15'000 neuen Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung über deren ganze Einsatzdauer ein grosses Einsparpotential (Tabelle 3); dieses ist geschätzte 500'000 MWh respektive rund 50 Mio. CHF gross, und ohne Zusatzinvestitionen und Mehrkosten bei den Maschinen selbst. In dieser Abschätzung sind Einsparungen auf Seite Hallenkühlung und Druckluftbereitstellung nicht berücksichtigt.

<sup>7</sup> MEM = Maschinen-, Elektro- und Elektronik-, und Metallindustrie

<b>Szenario</b>	<b>Einsparpotential<sup>8</sup></b>		
	MWh	CHF <sup>9</sup>	CO <sub>2</sub> [Tonnen] <sup>10</sup>
<b>Berücksichtigung von einer Firma</b>			
Ersatz von einer Werkzeugmaschine; in CH; um 12% optimiert ohne zusätzliche Investitionen <sup>11</sup>	37	4'625.-	4.1
Ersatz von einem Bearbeitungsbereich (=10 Werkzeugmaschinen); in CH; um 12% optimiert ohne zusätzliche Investitionen	370	46'250.-	41
<b>Berücksichtigung einer ganzen Jahresflotte<sup>12</sup> in CH</b>			
1 Jahresflotte von Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung; in CH; um 12% optimiert ohne zusätzliche Investitionen	500'000	62'500'000	5'500
1 Jahresflotte aller Produktionsmaschinen; in CH; um 12% optimiert ohne zusätzliche Investitionen	1'000'000	125'000'000	11'000
<b>Berücksichtigung einer ganzen Jahresflotte in CH plus Export von CH-Maschinen</b>			
1 Jahresflotte von Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung; in CH plus Export CH-Maschinen ins Ausland; um 12% optimiert ohne zusätzliche Investitionen	1'300'000	162'500'000	44'000
1 Jahresflotte von Produktionsmaschinen; in CH plus Export CH-Maschinen ins Ausland; um 12% optimiert ohne zusätzliche Investitionen	2'600'000	325'000'000	88'000

Tabelle 3: maschinen-seitiges Einsparpotential für unterschiedliche Umsetzungsszenarien ohne Berücksichtigung einer allfälligen Abwärmenutzung

Das Einsparpotential erhöht sich massiv (vgl. Tabelle 3),

- falls alle Produktionsmaschinen - nicht nur Werkzeugmaschinen - für die Schweiz verbessert und in der Abschätzung berücksichtigt werden. Der Multiplikator wäre hier in etwa Faktor 2<sup>13</sup>.
- falls auch die in der Schweiz für das Ausland produzierten Maschinen berücksichtigt werden. Aktuell ist dies rund 1.5-mal mehr<sup>14</sup>, als hier berücksichtigt. Der weitere Multiplikator wäre in etwa Faktor 2.5<sup>15</sup>.

<sup>8</sup> Annahme: Einsparung über ganze Einsatzzeit; bei Werkzeug- und Produktionsmaschinen sind dies ca. 35'000 h

<sup>9</sup> Annahme: 1 kWh Strom kostet 0.125 CHF

<sup>10</sup> Annahme: 1 kWh Strom verursacht in CH ca. 111g CO<sub>2</sub> (Lieferantn-Strom-Mix); im europäischen Raum ca. 500 g CO<sub>2</sub>

<sup>11</sup> Zahlen gemäss Beispiel METTLER TOLEDO – siehe Ausführungen zuvor

<sup>12</sup> Annahme: Inbetriebnahme von 15'000 neue Werkzeugmaschinen pro Jahr in der Schweiz

<sup>13</sup> Es werden jährlich in der Schweiz rund 30'000 neue Produktionsmaschinen in Betrieb genommen; 1/2 davon sind Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung.

<sup>14</sup> Bei Werkzeugmaschinen für die Metallbearbeitung werden jährlich ca. 15'000 Maschinen in CH neu in Betrieb genommen; zudem werden ca. 25'000 Maschinen exportiert. Bei der Produktionsmaschinen sind es ca. 30'000 Maschinen für CH und 50'000 für den Export. (Basis: 2008, Oberzolldirektion)

<sup>15</sup> Bei einer CO<sub>2</sub>-Bilanz müsste man hier die Tatsache berücksichtigen, dass der CO<sub>2</sub>-Anteil bei Strom im europäischen Ausland rund 5x höher ist als in der Schweiz. Damit erhöht sich der Klimabeitrag massiv durch umgesetzte Ecodesign-Massnahmen in CH-Maschinen für den Export.



Falls das ganze Ecodesign-Potential bis 2020<sup>16</sup> ausgeschöpft wird, also nicht nur um 12% sondern um 25% optimiert, können die Zahlen in Tabelle 3 um den Faktor 2 multipliziert werden.

Für eine einzelne Neubeschaffung sind die aufgezeigten Einsparungen gering, in der Summe hingegen beachtlich gross. 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 einzufordern. Die Diskussion über Energiekosten führt hier vielfach ins Leere. Interessanter ist hingegen die Frage nach einer „kalten Fabrik“ mit grösserer thermischer Stabilität und somit höherem Qualitätsniveau. Dazu müsste rechtzeitig ein Vordenk-Prozess initiiert werden und der Betrachtungsrahmen erweitert werden. Letzteres, d.h. die erweiterten Systemgrenzen, führen zu weiterem Optimierungspotential, aber auch zu höherer Komplexität. In diesem Bereich besteht Handlungsbedarf, bei der Industrie wie auch bei den Hochschulen.

---

<sup>16</sup> Vgl. Studie unter Punkt 1; die Rede ist von einem Ecodesign-Potential von mindestens 25 % bis 2020. Notwendig sind Gesamtsystemoptimierungen, also auch die Berücksichtigung der Hallenintegration.

## Anhang: Mögliche Schritte und Inhalte für ein angepasstes Prozessmanagement

---

### 1. **Überprüfung Umweltrelevanz:** Handelt es sich um ein „umweltrelevantes Vorhaben“?

- Werden Kleingeräte (allenfalls in grosser Anzahl) beschafft? Falls ja, Abgleich mit [www.topten.ch](http://www.topten.ch) oder [www.eu-energystar.org/de/index.html](http://www.eu-energystar.org/de/index.html) und beschaffen
- Liegt eine Investition in Produktionsmittel vor? Falls ja, weitere Schritte durchlaufen

Denkbar sind dann auch weitere, vertiefende Fragen:

- Sind Gefahrenstoffe im Spiel? Falls ja, ...
- Sind Auswirkungen auf die Abluft, Abwasser oder auf Lärmemissionen absehbar?
- Handelt es sich um eine Neubeschaffung? Falls ja, ...
- Handelt es sich um eine Ersatzbeschaffung?  
Falls ja, stimmen die Rahmenbedingungen und Anforderungen im Vergleich zur Erstbeschaffung noch? Falls...
- Handelt es sich nur um eine Beschaffung einzelner Komponenten?  
Falls ja, stimmen die Anforderungen im Vergleich zur Erstbeschaffung noch? Optimierungspotential vorhanden? Bedarfsgerechte Anpassung der Steuerung möglich? Falls...
- ...
- Bei Optimierungen: ....

### 2. **Auflisten Medienbedarf & Medienangebot:** Welche Medien werden gebraucht? Welche Medien sind verfügbar (Hallenseitige Rahmenbedingungen wie Art, Menge, Anschlussleistungen für Band- und Spitzenenergie)? Welche Medienversorgung muss ins Projekt miteinbezogen werden? Welche Reserven / Redundanzen werden benötigt?

### 3. **Abgleich der Spezifikationen:** Wo stimmt der Abgleich? Wo stimmt er nicht? Und wo besteht Gestaltungsspielraum, auch im Hinblick auf zukünftigen Nutzungsänderungen?

- In wie fern kann die Halle diese Leistungen erbringen? In welchen Bereichen sind Anpassungen denkbar oder sogar wünschbar? Wer ist der Ansprechpartner?
- Wird die Haustechnik bei Neubeschaffung von Anlagen rechtzeitig und partnerschaftlich beigezogen?

Aus Sicht „Haustechnik“ sind u.a. folgende Fragen interessant:

- Kann der Mehrbedarf an Medien problemlos abgedeckt werden oder bestehen bereits Engpässe?
- Wie und in welcher Menge fällt rückgewinnbare Energie an? Von Interesse ist „Bandenergie“
- Wo fällt Energie an? Wo wird sie aufbereitet? Wo kann sie genutzt werden (Berücksichtigung örtlicher Begebenheiten)? Wann und in welcher Menge kann sie genutzt werden (z.B. in Anhängigkeit der Jahreszeiten)?
- Ist nur ein Kühl- respektive Wärmesystem für die meisten Anwendungen möglich?
- Ist eine Auslegung der Anlagen auf ein einheitliches Netz möglich?
- Können Installationskosten minimiert werden?
- Sind Maschinenhersteller entsprechend flexibel bei der Festlegung des Kühlbedarfs und Pumpleistung?
- Können dank Optimierungsmassnahmen (teure) Redundanz- und Reservesysteme redimensioniert werden?
- Können Maschinen-Spezifikationen an die Halleninfrastruktur angepasst werden? Kann der Medienbedarf der Maschine reduziert werden? Ist der Hersteller für diese Diskussion bereit?

4. Potentielle Massnahmen zur Reduktion Medienverbrauch sowie Optimierung Medienbereitstellung: Braucht die Maschine wirklich diese Medienleistungen? Geht es auch mit geringerem energetischen Aufwand? Wie könnte Medienversorgung optimiert und an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden?
  - Besteht Ecodesign-Potential? Wie wurden „üblich verdächtige Verbraucher“ behandelt (siehe Seite 11)? Sind „best practices“ umgesetzt? Können Betriebszustände verändert werden?
  - Gibt es durch die Neubeschaffung Sachzwänge auf Hallen-Seite (z.B. andere Temperaturniveaus, andere Drücke, ...)? Wie könnte man diese lösen? Sind mit der Neubeschaffung weitere Optimierungen des Gesamtsystems möglich?
  
5. Kosten-Nutzen-Verhältnis: in welchem finanziellen Rahmen können die Effizienz-Massnahmen umgesetzt werden? Welche Massnahmen sind wirtschaftlich?
  - Kann die Maschine und / oder Halleninfrastruktur ohne Mehrkosten optimiert werden?
  - Welche Massnahmen – auf Seite Maschine & Halle – verursachen Mehrkosten? Wie sieht der ökologische und ökonomische Nutzen aus? Sind diese Ausgaben gerechtfertigt?
  - Dabei ist wichtig, nicht nur den ROI, sondern die Lebensdauerkosten bzw. -einsparungen zu berücksichtigen