

Energieeffiziente Produktionsmaschinen Planungshilfen für die MEM-Industrie

Abwärmenutzung bei Produktionsmaschinen

Abwärmenutzung bei Produktionsmaschinen

1. Einleitung

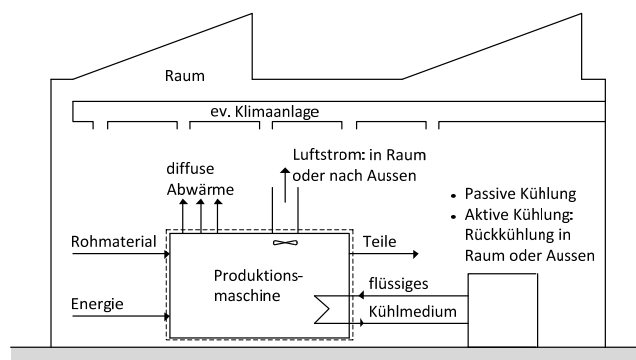
Die Reduktion des Energiebedarfs gewinnt für Unternehmen aus der Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie (MEM-Industrie) zunehmend an Bedeutung. Bei Produktionsmaschinen fallen teilweise beträchtliche Abwärmemengen an, die heute oft ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden. Sowohl den Entwicklern als auch den Anwendern von Produktionsmaschinen sind die Möglichkeiten und die erforderlichen Randbedingungen für eine systematische Nutzung von Abwärme vielfach nicht bekannt.

Die Vielfalt der Produktionsmaschinen in der MEM-Industrie ist gross und die Anforderungen sind sehr unterschiedlich. Das vorliegende Falblatt soll Entwicklern und Anwendern helfen, die Abwärme ihrer Produktionsmaschinen zu bewerten (Abwärme-Leistung, Temperaturniveau, Wärmeträger) und Massnahmen zur Effizienzsteigerung abzuleiten. Entwicklern wird aufgezeigt, wie die «Abwärme-Schnittstelle» gestaltet werden kann, so dass die Abwärme gezielt und einfach nutzbar ist. Anwender erhalten Handlungsempfehlungen, wann und unter welchen Bedingungen Abwärme vorteilhaft genutzt oder abgeführt werden sollte. Kernelemente dieses Falblattes sind die «Abwärme-Landkarte» und die «Planungshierarchie».

2. Begriffe

Mit einer **Produktionsmaschine** wird ein Fertigungsprozess («Machining») durchgeführt, z.B. Zerspanungsprozess in einer Werkzeugmaschine. Zum Betrieb der Produktionsmaschine werden elektrische Energie und/oder Brennstoffe benötigt. Die innerhalb der **Systemgrenze Produktionsmaschine** anfallende **Abwärme** (thermische Energie) weist unterschiedliche Formen auf:

- **Abwärme in «Flüssigkeiten»:** prozess- und maschinenseitige Kühlung, z.B. Kühlwasser, Kühlschmiermittel
- **Abwärme in «Luft»:** prozess- und maschinenseitige Kühlung, z.B. Kühlluft, Abluft
- **Diffuse Abwärme:** Abstrahlung aufgrund «warmer» Oberflächen, Restwärme in Teilen



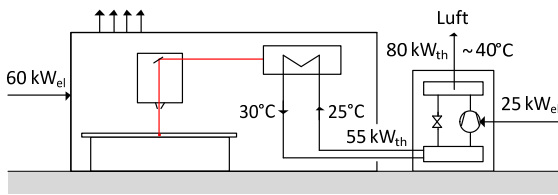
Das Kühlmedium wird aktiv (d.h. mit einer Kälteanlage) oder passiv gekühlt. Gelangt die Abwärme in den Raum, reduziert sie in der Heizsaison die erforderliche Heizenergie; in der Kühlsaison muss sie an die Umgebung abgeführt werden. Produktionsprozesse mit hoher Wertschöpfung finden immer häufiger in klimatisierten Räumen statt. Erfolgt die Abwärmeabfuhr via Klimaanlage an die Umgebung, führt dies zu hohen Investitions- und Betriebskosten auf Seite Gebäudetechnik.

Mittels **Wärmerückgewinnung (WRG)** wird Abwärme prozessintern genutzt. Viele Produktionsmaschinen der MEM-Industrie haben jedoch keinen Wärmebedarf, d.h. keine Wärmesenken. Wird die Abwärme einer Produktionsmaschine für einen anderen Produktionsprozess oder für die Gebäudetechnik (Heizung, Lüftung, Brauchwarmwasser) genutzt, spricht man von der **Abwärmenutzung (AWN)**.

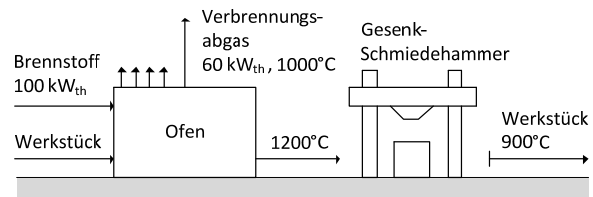
3. «Abwärme-Landkarte» Produktionsmaschinen

In der MEM-Industrie findet sich eine breite Palette von Produktionsmaschinen. Anhand von zwei Fertigungsprozessen wird schematisch aufgezeigt, wo und wie viel Abwärme entsteht (ohne diffuse Abwärme):

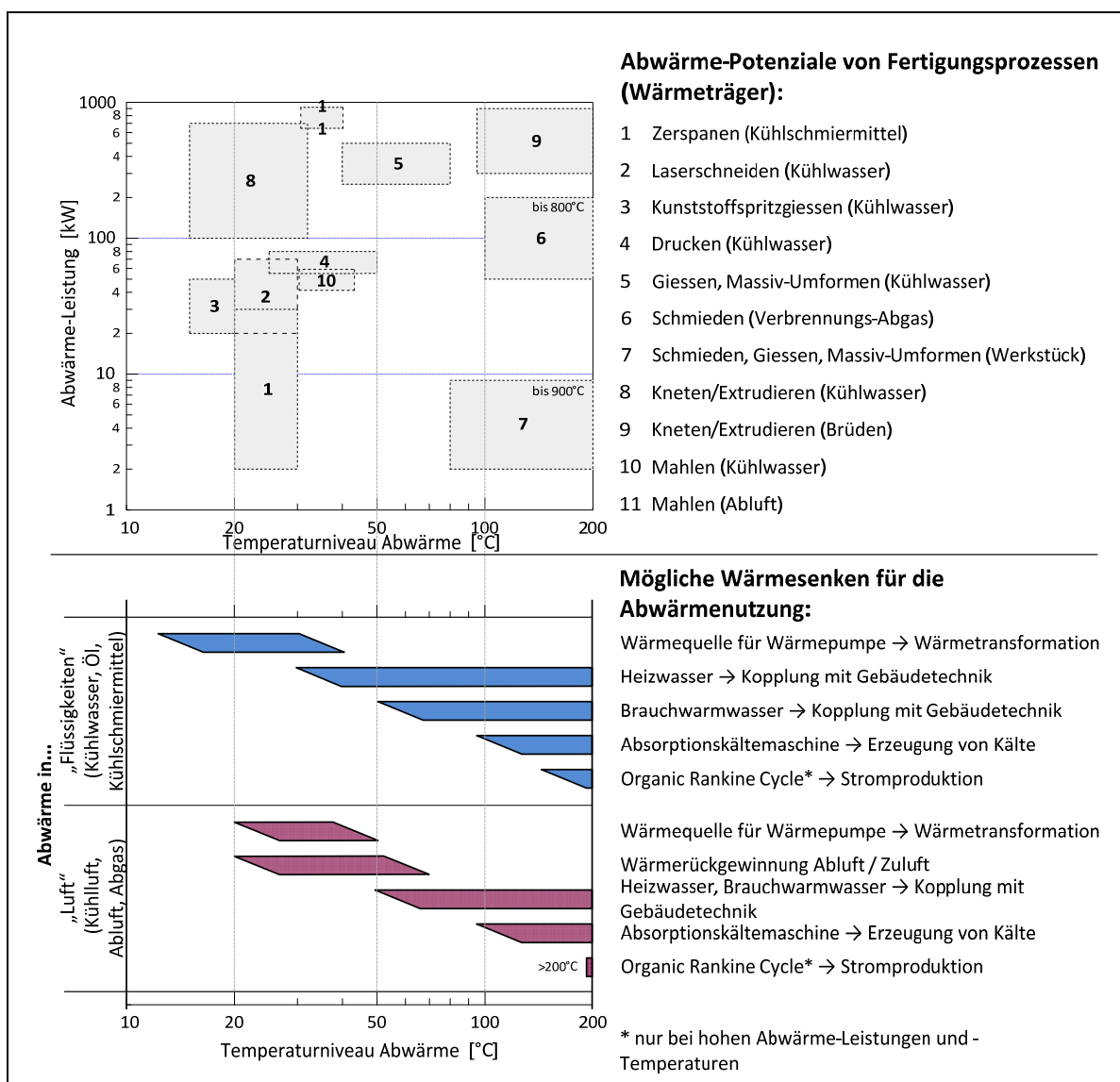
Laserschneiden



Schmieden



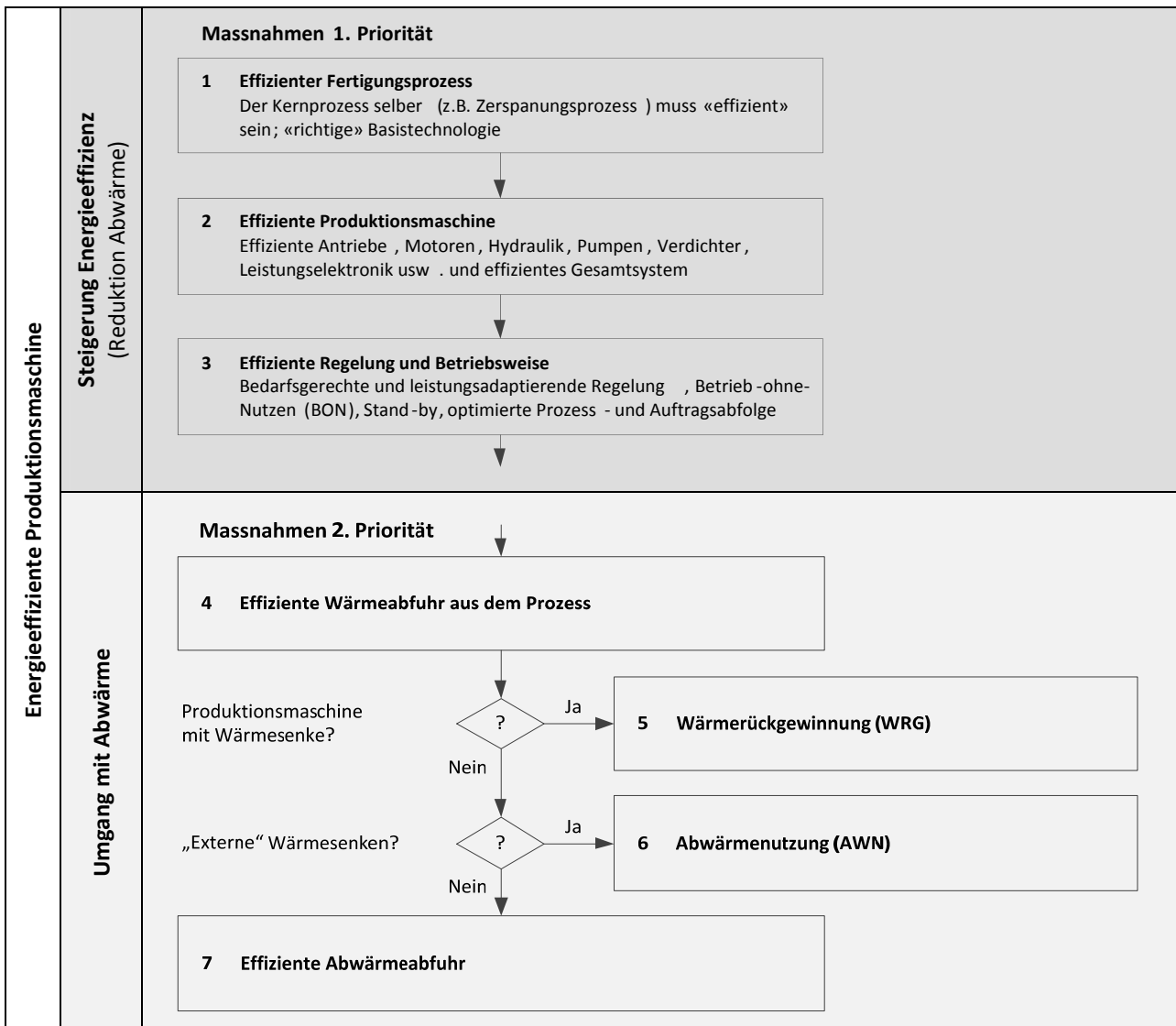
In der folgenden «Landkarte» sind beispielhafte **Abwärme-Potenziale (Leistung und Temperatur)** unterschiedlicher Fertigungsprozesse sowie eine Auswahl möglicher **Wärmesenken** für die Abwärmenutzung dargestellt.



Entscheidend für die Abwärmenutzung sind die **Abwärme-Leistung**, das **Temperaturniveau** (Wertigkeit) sowie der **Wärmeträger**, mit dem die Abwärme aus der Produktionsmaschine abgeführt wird. Je höher die Abwärme-Leistung und das Temperaturniveau, umso eher ist eine wirtschaftliche Abwärmenutzung möglich. Mit flüssigen Wärmeträgern ist eine Abwärmenutzung meistens einfacher zu realisieren, da diese grundsätzlich zu kleineren Volumenströmen und Wärmeübertrager führen und somit geringere Investitions- und Betriebskosten verursachen.

4. Planungshierarchie und Planungshilfe

Die energetische Optimierung einer Produktionsmaschine sollte sinnvollerweise gemäss der unten dargestellten Planungshierarchie erfolgen. Die sieben Hierarchiestufen sind in Massnahmen 1. und 2. Priorität unterteilt.



Massnahmen 1. Priorität: Steigerung der Energieeffizienz

Verbesserungen auf den Hierarchiestufen **(1) Prozess**, **(2) Maschine** und **(3) Regelung** führen zu höherer Energieeffizienz und damit zu weniger Abwärme – aus energetischer und ökonomischer Sicht sind sie Eingriffen auf den Hierarchiestufen (4) bis (7) überlegen. Die ersten drei Hierarchiestufen sind Bestandteil der anderen Teilprojekte im BFE/Swissmem-Projekt «Energieeffiziente Maschinen und Geräte».

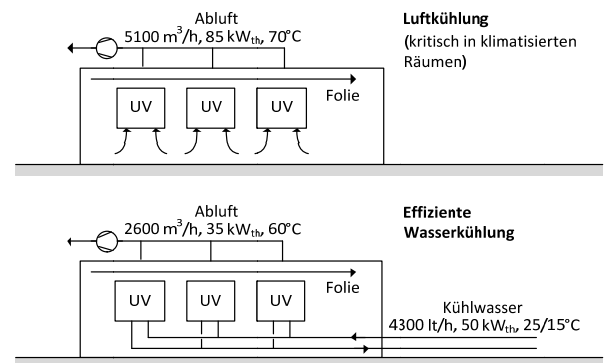
Massnahmen 2. Priorität: Umgang mit Abwärme

Die Hierarchiestufen (4) bis (7) befassen sich mit dem systematischen Umgang mit der «fassbaren» Abwärme (Kühlwasser, Öl, Kühlschmiermittel, Kühlluft, Abluft, Abgase). In jedem Fall ist zuerst für eine **(4) effiziente Wärmeabfuhr aus dem Prozess** zu sorgen. Sind in der Produktionsmaschine Wärmesenken vorhanden, hat die prozessinterne **(5) Wärmerückgewinnung** eine höhere Priorität als die **(6) Abwärmenutzung**. Wenn eine Abwärmenutzung nicht möglich oder wirtschaftlich sinnvoll ist bzw. das Potenzial ausgeschöpft ist, gilt es eine **(7) effiziente Abwärmeabfuhr** zu gewährleisten. Diffuse Abwärme ist meistens nicht wirtschaftlich nutzbar. Trotzdem ist es in manchen Fällen sinnvoll, diffuse Abwärme an der Quelle zu sammeln und gezielt abzuführen (z.B. Reduktion der zeitlichen und örtlichen Temperaturgradienten bei hohen Anforderungen an die Präzision).

4 Effiziente Wärmeabfuhr aus dem Prozess

- Mit möglichst hohen Temperaturen kühlen (hohe Kühlwasser- oder Lufttemperaturen): Faustregel für Kälteanlagen: 2–4% höhere Effizienz pro Grad Celsius
- Abwärme wenn möglich auf verschiedenen Temperaturniveaus auskoppeln (Wertigkeit)
- «Wasser statt Luft!» Wenn immer möglich Flüssigkeiten als Wärmeträger verwenden
- Effiziente strömungstechnische Installationen und Regelungen: Elektro/Thermo-Verstärkung (ETV, Verhältnis elektrische zu thermische Leistung) Hilfsaggregate beachten, Pumpen und Ventilatoren nur bei Bedarf in Betrieb
- Wärmeübertrager auf kleine, aber wirtschaftliche Temperaturdifferenzen auslegen

Wärmeabfuhr bei Druckmaschine

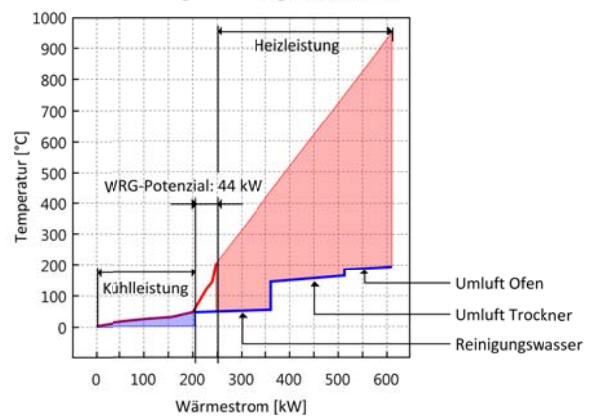


5 Wärmerückgewinnung (WRG)

Bei Produktionsmaschinen mit prozessinternen Wärmesenken ist die Wärmerückgewinnung der Abwärmenutzung energetisch und wirtschaftlich überlegen. Mit der Pinch-Analyse (www.pinch-analyse.ch) lässt sich systematisch aufzeigen, wie die Energieströme in einem Gesamtprozess miteinander gekoppelt werden müssen, um eine ganzheitlich optimale Lösung zu finden. Nutzen der Pinch-Methode:

- Energetisch und wirtschaftlich optimale prozessinterne Wärmerückgewinnung
- Strategische Planung von Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und verbesserten Energieversorgung
- Integration von Wärmepumpen, BHKW usw.
- Eruiieren von Potenzial zur externen Abwärmenutzung
- Senkung des Energiebedarfs typischerweise 10 bis 40%

Pulverbeschichtung: 20% Energiereduktion durch WRG



6 Abwärmenutzung (AWN)

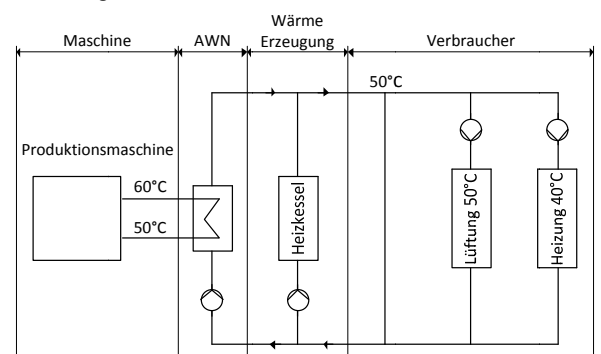
Falls möglich konsequente Nutzung von Abwärme mit «hohem» Temperaturniveau für:

- Benachbarte Prozesse und Anlagen
- Erzeugung von Brauchwarmwasser
- Wärmetransformation (z.B. Wärmepumpe, Absorptionskälteanlagen)
- Stromproduktion (Dampfturbinen, Stirlingmotoren oder ORC-Anlagen)

Grundsätzlich immer möglich ist die Nutzung von Abwärme zu Heizzwecken im Winter:

- Kühlmedium Luft direkt in Raum führen (falls Luftqualität dies erlaubt)
- Kühlmedium Luft nach Aussen führen mit WRG
- Rückkühlung von Kühlflüssigkeiten in Raum
- Einbindung des Kühlmediums in Heizsystem (siehe Bsp.)

Einbindung der Abwärme in Gebäudetechnik



7 Effiziente Abwärmeabfuhr

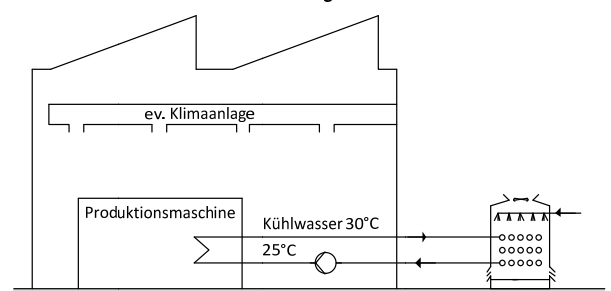
Für die Abwärmeabfuhr gilt grundsätzlich:

- Im Sommer Abwärmeabfuhr immer nach Aussen, insbesondere wenn der Raum klimatisiert wird
- Im Winter Abwärmeabfuhr nach Aussen strikte vermeiden, stattdessen Abwärmenutzung zu Heizzwecken anstreben

Ist im Sommer eine Abwärmeabfuhr erforderlich (Temperaturstabilität, Behaglichkeit), gelten folgende Punkte:

- Maximierung des Anteils an Free Cooling (z.B. mit hybridem Kühlturm)
- Einsatz von Kälteanlagen nur zur Spitzenlast-Deckung
- Effiziente Kältemaschinen mit variablem und möglichst kleinem Temperaturhub (keine unnötige Hochhaltung)

Abwärmeabfuhr mittels Free Cooling



5. Abwärmenutzung oder Abwärmeabfuhr?

Die beiden letzten Hierarchiestufen **(6) Abwärmenutzung** und **(7) Abwärmeabfuhr** der Planungshierarchie erfordern eine vertiefte Betrachtung. Die nachfolgende Darstellung, welche die Wärmeträger «Luft» und «Flüssigkeiten» berücksichtigt, gibt dem Anwender von Produktionsmaschinen Hinweise zum Umgang mit Abwärme und zeigt auf, unter welchen Umständen Abwärme genutzt bzw. effizient abgeführt werden soll.

		Raum klimatisiert		Raum nicht klimatisiert	
		Luft	Flüssigkeit	Luft	Flüssigkeit
Sommer	Abwärmenutzung Falls möglich Nutzung von Abwärme mit „hohem“ Temperaturniveau für benachbarte Prozesse, Brauchwarmwassererzeugung, Wärmetransformation oder Stromproduktion				
	Abwärmeabfuhr				
	Luft nach Aussen führen	Rückkühlung Aussen	Luft nach Aussen führen ist anzustreben	Rückkühlung Aussen ist anzustreben	
Winter	Abwärmenutzung Falls möglich Nutzung von Abwärme mit „hohem“ Temperaturniveau für benachbarte Prozesse, Brauchwarmwassererzeugung, Wärmetransformation oder Stromproduktion				
	Immer möglich ist die Nutzung von Abwärme zu Heizzwecken:				
	1. Luft in Raum führen 2. Luft nach Aussen führen mit WRG 3. Einbindung in Heizsystem	1. Rückkühlung in Raum 2. Einbindung in Heizsystem	1. Luft in Raum führen 2. Luft nach Aussen führen mit WRG 3. Einbindung in Heizsystem	1. Rückkühlung in Raum 2. Einbindung in Heizsystem	
	Abwärmeabfuhr ist zu vermeiden				

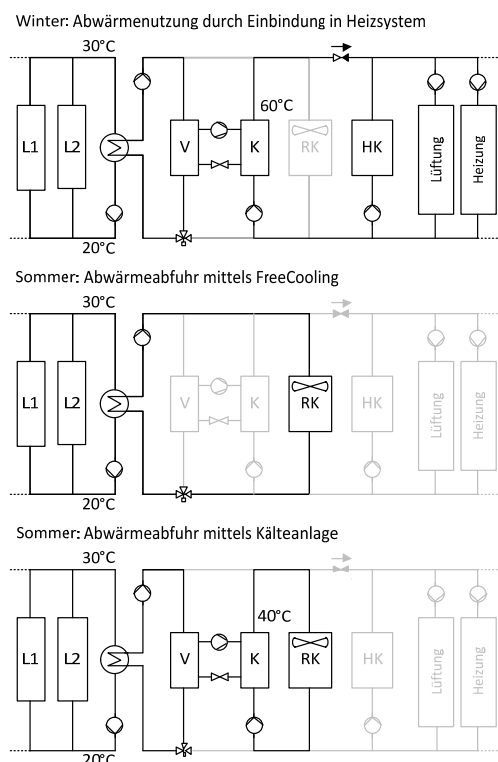
Besonders kritisch sind klimatisierte Räume: In einem effizienten Gesamtkonzept bestimmt nicht der Kühlbedarf, sondern die Luftqualität die erforderliche Luftaustauschrate. Aus Gründen der Behaglichkeit oder der Temperaturstabilität, welche für bestimmte Fertigungsprozesse erforderlich ist, soll die Abwärmeabfuhr im Sommer auch bei Verwendung der Produktionsmaschine in nicht klimatisierten Räumen nach Aussen erfolgen.

6. Planungsbeispiel aus der Praxis

Das Planungsbeispiel aus der Praxis zeigt auf, was durch eine intelligente Verbindung von Produktions- und Gebäudetechnik möglich ist. Im betrachteten Betrieb wird die Abwärme von rund einem Dutzend Lasermaschinen im Winter gezielt genutzt und im Sommer effizient abgeführt:

- Im Winter erfolgt eine Abwärmenutzung zu Heizzwecken, indem die Abwärme mit einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau transformiert und in das Heizsystem eingebunden wird.
- Im Sommer erfolgt abhängig von den klimatischen Bedingungen:
 - eine effiziente Abwärmeabfuhr mittels Free Cooling (Kälteanlage nicht in Betrieb)
 - oder eine Abwärmeabfuhr mit einer effizienten Kälteanlage mit variablem Temperaturhub

Erläuterungen zum Schema: L1, L2 Lasermaschinen; V, K Verdampfer und Kondensator der Kälteanlage; HK Heizkessel; RK Rückkühler.



Voraussetzung für die Realisierung einer solchen Abwärmenutzung bzw. Abwärmeabfuhr ist eine geeignete Abwärme-Schnittstelle – im vorliegenden Fall die wassergekühlten Kälteaggregate der Lasermaschinen.

Um das Ziel einer energieeffizienten Produktion zu erreichen, sind eine enge Zusammenarbeit zwischen Maschinenlieferant, Produktionsfachleuten und Gebäudetechnikplanern sowie eine integrale Sichtweise unerlässlich. Der Informationsfluss ist entscheidend: Der Maschinenlieferant muss frühzeitig im Planungsprozess den Gebäudetechnikplanern Informationen zur Abwärme-Schnittstelle zur Verfügung stellen: z.B. Abwärme-Leistung, Temperaturniveau, Wärmeträger und weitere Randbedingungen. Für die optimale Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems müssen die Wechselwirkungen zwischen Produktions- und Gebäudetechnik zwingend berücksichtigt werden.

7. Weitere Informationen

Weitere Informationen zum Thema Energieeffizienz und Abwärmenutzung sind auf folgenden Webseiten zu finden:

- EnergieSchweiz, www.energieschweiz.ch (Unternehmen)
- Bundesamt für Energie BFE, www.bfe.admin.ch
(Themen/Energieeffizienz/Prozessoptimierung Industrie und Dienstleistungen)
- Swissmem, www.swissmem.ch (Themen / Energie & Umwelt)
- Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW, www.enaw.ch
- BFE-Stützpunkt für Prozessintegration und Pinch-Analysen, www.pinch-analyse.ch

8. Beteiligte Organisationen und Unternehmen

Projektteam:

Prof.Dr. Beat Wellig, Hochschule Luzern (Hauptautor)
Dr. Sonja Studer, Swissmem (Gesamtprojektverantwortung)
Dr. Rainer Züst, Züst Engineering AG (Projektleiter)
Lukas Weiss, inspire AG, ETH Zürich

Unternehmen:

ABB Turbo Systems AG (Wolfgang Kizina), Bobst SA (Marc Nicole), Bucher Unipektin AG (Dieter Pinnow), Bühler AG (Rolf Lämmlli), Bystronic Laser AG (Adolf Lauper), Gallus Ferd. Rüesch AG (Josef Zingg), GF Piping Systems AG (Stefan Erzinger), Hatebur Umformmaschinen AG (Andreas Matt), Helbling Technik AG (Andreas Portmann), Maillefer SA (Alain Hess), Netstal Maschinen AG (Dr. Patrick Blessing), SAFED Suisse SA (Hermann Bickmann), Schneeberger AG Lineartechnik (Hans Eggenschwiler), Tornos SA (Yves-Julien Regamey), TRUMPF Maschinen AG (Dr. Andreas Lehr)

Dieses Projekt wurde vom Bundesamt für Energie BFE finanziell unterstützt.