

Energiedienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz von Spritzgieß- maschinen im Kunststoffbereich

W. Wimmer, R. Paminger, R. E. Winkler

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

55/2009

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Energiedienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz von Spritzgieß- maschinen im Kunststoffbereich

A.o. Univ.Prof. DI Dr. techn. Wolfgang Wimmer,
DI Rainer Pamminger, Roland E. Winkler
Forschungsbereich ECODESIGN, Institut für Konstruktions-
wissenschaften und technische Logistik, TU Wien

DI Michael Bauer
Engel Austria GmbH

Wien, Mai 2009

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at und die Schriftenreihe gewährleistet wird.

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1. Projektabriß	6
2. Einleitung	11
3. Ziele des Projektes	14
4. Inhalte und Ergebnisse des Projektes	16
5. Beschreibung der Projektergebnisse	21
5.1. <i>Auswahl einer Referenzmaschine</i>	21
5.2. <i>Auswertung gemessener Verbräuche an den energieintensiven Aggregaten</i>	22
5.3. <i>Energiebilanz für die Referenzmaschine</i>	29
5.3.1. Berechnung der Konvektion	29
5.4. <i>Darstellung der Energiebilanz</i>	33
5.5. <i>Recherche zur Abwärmenutzung in verwandten Industriebereichen</i>	36
5.5.1. Allgemein	36
5.5.2. Interne Nutzung von Abwärme	36
5.5.3. Externe Nutzung von Abwärme	41
5.5.4. Technische Lösungen zur Abwärmenutzung	51
5.6. <i>Technische Umsetzung der Energiedienstleistung zur Bereitstellung der Abwärme</i>	60
5.6.1. Nutzung der Abwärme aus dem Kühlwasser	60
5.6.2. Nutzung der Abwärme des Hydrauliköls	61
5.6.3. Nutzung der Konvektionswärme der Plastifiziereinheit	63
5.6.4. Verringerung des Abwärme der Plastifiziereinheit	63
5.6.5. Anwendungen der Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen	66
5.7. <i>Ideen zur Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen</i>	70
5.7.1. Direkt an der Maschine	70
5.7.2. Externe Nutzung der Abwärme	72
5.7.3. Mögliche Umsetzung im Referenzunternehmen	80
5.8. <i>Möglichkeiten von Geschäftsmodellen</i>	81
5.9. <i>Konkretisierung der Energiedienstleistung: Abwärmenutzung von Spritzgießmaschinen</i>	84
5.9.1. Nachhaltigkeitsbewertung der Energiedienstleistung	87
6. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie	94
7. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen	96
8. Ausblick und Empfehlungen	99
Literaturverzeichnis	101
Abbildungsverzeichnis	104
Tabellenverzeichnis	105

Kurzfassung

Ziel des Projekts ist die Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Untersuchung der organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen für das Anbieten einer neuen Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz für Kunststoffspritzgießmaschinen. Mit dieser Dienstleistung soll die im Kunststoffspritzgießprozess entstehende Wärme nutzbar gemacht werden und für andere, potentielle Nutzer angeboten werden können.

Kunststoffspritzgießmaschinen sind energieintensive Produkte, die zum Teil im Dreischichtbetrieb eingesetzt werden und „rund um die Uhr“ hohe Mengen an Energie benötigen. Jährlich werden in Österreich dafür 140 GWh an Energie benötigt. Interessant am Spritzgießprozess ist, dass auf der einen Seite hohe Mengen an Energie gezielt zugeführt werden müssen und auf der anderen Seite eine entsprechende Kühlung sichergestellt werden muss, damit kurze Einspritzzyklen erreicht werden können. Wärmemanagement ist daher in Bezug auf eine gute Energieeffizienz zentral.

Bei Energiemessungen stellte sich heraus, dass 80% der über die Antriebe, die Heizung und die Nebenaggregate zugeführten Energie als Wärme über das Hydrauliköl und die Werkzeugkühlung abgeführt werden. Diese Abwärme kann für eine weitere Abwärmenutzung bereitgestellt werden, jedoch müssen die vorhandenen niedrigen Temperaturen von ca. 15 – 25°C mittels einer Wärmepumpe auf ein höheres nutzbares Temperaturniveau (ca. 60°C) gebracht werden.

Die Nutzung der Abwärme wurde für die drei Anwendungsbeispiele eines Bürogebäudes, eines naheliegenden Wohnhauses und eines Gewächshauses genauer untersucht. Die zur Verfügung stehende Wärmemenge für das Wohnhaus ist durch die vorhandenen Transportverluste um ca. 40% geringer als für eine Nutzung in einem Bürogebäude, weshalb ein möglichst kurzer Transportweg gewählt werden sollte. Bei einer Umsetzung mit der Beheizung von Gewächshäuser können mit der im Referenzunternehmen vorhandenen Wärmemenge ca. 23 der Gewächshäuser mit Plexiglasverglasung beheizt werden.

Um diese Abwärme zur weiteren Nutzung als Dienstleistung anbieten zu können, wird das sogenannte Anlagencontracting gewählt. Hierbei errichtet und betreibt der Contractor (z.B. Spritzgießmaschinenhersteller, Energiedienstleister, etc.) die Anlage zu Bereitstellung der Energie und verkauft an den Abnehmer (z.B. Maschinenanwender) die Energie in der gewünschten Form. Bei einer Nachhaltigkeitsbewertung dieser Dienstleistung zeigen sich in den drei Säulen der Nachhaltigkeit, nämlich Ökologie, Ökonomie und Soziales positive Effekte. Vor allem ergeben sich ökonomische Vorteile durch die neue Einnahmenquelle bzw. die erzielten Energieeinsparungen. Durch den verringerten Gesamtressourcenverbrauch ergeben sich auch positive ökologische Effekte

Eine Umsetzung dieser Dienstleistung ist jedoch für jede Anwendung individuell zu gestalten. Wichtig ist die ganzheitliche Betrachtung der Energiebedarfsstruktur bei jeder einzelnen Umsetzung.

Abstract

This project aims at performing a feasibility study of establishing a sustainable product service for raising the energy efficiency of injection moulding machines. By this service, waste heat from the injection moulding process can be harnessed and be offered to potential users.

The injection moulding process is an energy intensive process. Approximately 140 GWh of energy is needed for injection moulding processes annually in Austria. On the one hand, high amount of energy is needed during the process and a lot of heat is generated, on the other hand cooling must be ensured to achieve short injection cycles. Thermal management becomes central for high energy efficiency.

Results of energy measurements point out that 80% of the energy input for the drives, the heating system and ancillary units converts to heat which has to be dissipated by the waste hydraulic oil and the cooling water. This heat could be used for further injections. Here for the actual low temperatures of about 15-25 ° C have to be increased by using heat pumps at a higher usable temperature level of about 60 ° C.

Three case studies for using this waste heat have been investigated in more detail: an office building, a nearby one family house and a greenhouse. Considering the losses of the transportation, the available heat for the family house is 40% less than for the nearby office building. Therefore short transportation routes should be chosen. With the heat from the heat pump which is connected to the cooling water, 23 greenhouses can be heated.

Providing this waste heat as a service, the so-called plant contracting has been chosen. In plant contracting, the contractor (e.g. injection moulding machine manufacturers, energy service companies, etc.) builds and operates the additional components needed to use the waste heat. The contractor sells the heat to a purchaser (e.g. machine user). By evaluating this service using sustainability criteria positive effects in all three dimensions, ecology, economy and social, can be observed. Economic benefits can be achieved through the new revenue source or the energy savings. The service also results in positive environmental effects which are achieved by the reduction of the overall consumption of resources.

Implementing this service has to be designed individually for each company. The holistic view of the energy structure of each individual application is essential.

1. Projektabriß

Motivation

Ein zentrales Anliegen dieses Projekts ist ausgehend von der Feststellung des Energiebedarfs, die Reduktion des Energieaufwandes beim Spritzgießprozess. Energieeinsparung bedeutet Effizienzsteigerung, somit Kostenreduktion beim Betrieb der Spritzgießmaschinen. Was wiederum, wenn man diesen Vorteil medial zu transportieren weiß, einen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Mitbewerbern bringt. Weiters ist es schon heute und wird in der Zukunft immer wichtiger sein, Arbeitsprozesse zu optimieren, somit Energieverluste sowie ungenutzte Energien zu minimieren. Auf die Nutzbarmachung dieser Ressourcen, der ungenutzten Energien, wird insbesondere der Fokus gelegt.

Ziele

Ziel des Projekts ist die Erstellung einer Machbarkeitsstudie zur Untersuchung der organisatorischen und technischen Rahmenbedingungen für das Anbieten einer neuen Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz für Kunststoffspritzgießmaschinen. Mit dieser Dienstleistung soll die im Kunststoffspritzgießprozess entstehende Wärme nutzbar gemacht und für andere, potentielle Nutzer angeboten werden.

Kunststoffspritzgießmaschinen sind energieintensive Produkte, die zum Teil im Dreischichtbetrieb eingesetzt werden und „rund um die Uhr“ hohe Mengen an Energie benötigen. Interessant am Spritzgießprozess ist, dass auf der einen Seite hohe Mengen an Energie gezielt zugeführt werden müssen. Diese erfolgt durch kinetische Antriebsenergie an der Extruderschnecke wie auch durch Heizbänder des Massezylinders. Auf der anderen Seite muss eine entsprechende Kühlung sichergestellt werden, damit kurze Einspritzzyklen erreicht werden können. Wärme-management ist daher in Bezug auf eine gute Energieeffizienz zentral.

In einer vorliegenden Umweltanalyse einer Spritzgießmaschine, die im Rahmen eines Fabrik der Zukunft Projektes erstellt wurde, hat sich gezeigt, dass sich mit rein maschinenbezogenen Verbesserungsmöglichkeiten nur begrenzte Energieeffizienzsteigerungen erreichen lassen. Erst durch die Neugestaltung eines Gesamtsystems, also durch den Einbezug der Maschinenbetreiber wie auch der potentiellen Wärmenutzer im Umfeld einer Kunststoffspritzgießmaschine dürfen relevante Potentiale zur Steigerung der Energieeffizienz vermutet werden.

Ziel des vorliegenden Projektes ist es, diese Potentiale zu identifizieren und Chancen für die neue „Energiedienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz“ aufzuzeigen.

Methoden

Neben den Energieberechnungen und Messungen an ausgewählten Maschinen wurden Workshops als Diskussionsplattform mit den Maschinenbetreibern wie auch deren potentieller Nutzer dieser Energiedienstleistung abgehalten. Es soll damit ein Ideenpool geschaffen werden in dem einerseits die Anforderungen und Bedürfnisse der Betreiber und Nutzer einer Energiedienstleistung erfasst werden können in dem aber auch andererseits neue Ideen zur Ausgestal-

tung der Kunststoffspritzgießmaschinen gefunden werden sollen. Damit sollen sowohl technische als auch organisatorische Rahmenbedingungen als Voraussetzung zum Anbieten einer Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz ermittelt werden.

Projekthalt

Neben einer Literatur- und Internetrecherche zur Abwärmenutzung in verwandten Industriebereichen wurden konkrete Messungen an einer ausgewählten Spritzgießmaschine durchgeführt. Um hier Abwärmepotentiale der Spritzgießmaschine genauer zu eruieren, wurden an einer Spritzgießmaschine bei der Firma Schöfer Energiemessungen durchgeführt. Diese wurden anschließend mit Berechnungen ergänzt, beziehungsweise verglichen.

Um eine neue Energiedienstleistung zu entwickeln ist die Einbindung aller Beteiligten entlang der Supply Chain wichtig. In Workshops bzw. Projektmeetings wurde Produktentwicklern, Zulieferern als auch den potentiellen Nutzern einer Energiedienstleistung eingebunden. Es wurde einerseits die Anforderungen und Bedürfnisse der Betreiber und Nutzer einer Energiedienstleistung erfasst und andererseits neue Ideen zur Ausgestaltung der Kunststoffspritzgießmaschinen ermittelt. Damit wurden sowohl technische und organisatorische Rahmenbedingungen als auch Voraussetzungen zum Anbieten einer Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz erarbeitet.

Ergebnisse

Wie sich aufgrund der Auswertungen der Messergebnisse bei der Firma Schöfer herausstellte, weisen die Bereiche rund um die Werkzeugkühlung und des Hydrauliköls große ungenutzte Wärmepotentiale auf, da ein Großteil der zugeführten Energie über Abwärme abgegeben wird. Die über die Antriebe, die Heizung und die Nebenaggregate zugeführte Energie wird zu 80% als Abwärme über das Kühlwasser abgeführt. Die restlichen 20% der abzuführenden Energie werden durch Konvektion und Strahlungswärme im Bereich der Plastifiziereinheit an die Umgebung abgegeben. Aus technischer Sicht ist es sehr schwierig die Abwärme aus Konvektion und Strahlungsabwärme zu nutzen, hingegen ist die Abwärme aus dem Kühlwasser bzw. aus dem Hydrauliköl sehr wohl nutzbar.

Grundsätzlich unterscheidet man bei einer Abwärmenutzung wird zwischen der interner und externer Nutzung. Bei einer internen Abwärmenutzung, direkt an der Maschine, an der die Abwärme anfällt, ist der Wirkungsgrad im Vergleich zur externen Nutzung meist höherer. Bei externer Nutzung treten nämlich vor allem durch den Transport Abwärmeverluste auf. Diese Verluste können allerdings mit guter Isolierung verringert werden.

Die interne Abwärmenutzung ist auch bei Spritzgießmaschinen eine Möglichkeit. Eine Idee wäre die Plastifiziereinheit einzuhausen, um die Konvektionswärme zu sammeln und an anderer Stelle zur Vorwärmung des Kunststoffgranulats zu verwenden. Allerdings ist dies aus Prozesssicht mit einer Veränderung des Spritzgußprozesses sowie aus technischer Sicht bei der Umsetzung der Vorwärmung des Granulats schwer zu realisieren.

Für die externe Abwärmenutzung kommt nur die Nutzung des Kühlwassers bzw. des Hydrauliköls in Frage. Jedoch müssen die vorhandenen niedrigen Temperaturen von ca. 15 – 25°C mittels Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht werden, um den Energieinhalt an anderer Stelle sinnvoll nutzen zu können. Bei Wärmepumpen wird Wärme bei niedrigem Temperaturniveau aufgenommen und unter Energieaufwand bei höherer Temperatur wieder abgegeben. Bei den untersuchten Beispielen wurden Temperaturen von 30°C mittels Wärmepumpe auf 62°C angehoben und für Gebäudeheizung bzw. für die Einspeisung ins Fernwärmenetz genutzt.

Die Abwärmenutzung wurde zusätzlich zur Nutzung in einem Bürogebäude, einem naheliegenden Wohnhaus und einem Gewächshaus untersucht. Die zur Verfügung stehende Wärmemenge für das Wohnhaus ist durch die vorhandenen Transportverluste um ca. 40% geringer als für eine Nutzung im Bürotrakt. Mit der durch das Kühlwasser samt angeschlossener Wärmepumpe vorhandenen Wärmemenge könnten beispielsweise 233 Niedrigenergiehäuser oder 23 Glashäuser mit Plexiverglasung beheizt werden.

Um eine weitere Verbesserung des Systems zu erreichen, ist eine Anhebung des Temperaturniveaus des Kühlwassers erforderlich. Nach Neuhaus [Neuhaus, 2009] sind Temperaturen von 35°C bis 40°C des Kühlwassers durchaus möglich und dies wird in einigen Unternehmen, die schon eine Abwärmenutzungsanlage in Betrieb haben, bereits eingesetzt.

Das Referenzunternehmen beheizt seine Bürogebäude mit einem Gaskessel mit 270 kW Leistung. Die Berechnung der benötigten Heizleistung für Heizung und Warmwasser ergab ca. 45 kW. Sowohl mit der Leistung aus dem Hydrauliköl wie auch aus dem Kühlwasser könnte dieser Gaskessel ersetzt werden. Das zu lösende Problem sind jedoch die geringen Temperaturen, die eine Nutzung in der derzeitigen Situation nicht erlauben. Das Kühlwasser könnte mittels Verwendung einer Wärmepumpe die Abwärmtemperatur erhöhen. Beim Hydrauliköl hingegen wäre eine Anhebung der Hydrauliköltemperatur von derzeit ca. 33°C auf 60°C durchaus möglich.

Um diese Abwärme zur weiteren Nutzung als Dienstleistung anzubieten wird das sogenannte Anlagencontracting gewählt. Beispielsweise ist in diesem Fall das Anlagencontracting bei Nachrüstung der Abwärmenutzung sehr interessant. Hierbei errichtet und betreibt der Contractor (z.B. Spritzgießmaschinenhersteller, Energiedienstleister, etc.) die Anlage zur Bereitstellung der Energie und verkauft an den Abnehmer (z.B. Maschinenanwender) die Energie in der gewünschten Form.

Der Contractor hat den Vorteil, dass er nach nutzbarer Wärmeleistung bezahlt wird und daher nach möglichst hoher Effizienz trachtet. Der Maschinenanwender hingegen hat keine Investitionskosten und muss sich keine Gedanken über die Wartung machen.

Die Bewertung dieser Dienstleistung nach Kriterien der Nachhaltigkeit zeigt in allen drei Bereichen positive Effekte. Ökonomische Vorteile ergeben sich beim Anbieter durch die erhöhten Einnahmen der neuen Dienstleistung, die weiters durch längerfristige Verträge gesichert sind. Für den Anwender auf der anderen Seite ergibt sich durch das Wegfallen von Investitionskosten

ten und der Nutzung bzw. dem Weiterverkauf der Abwärme eine positive ökonomische Bewertung. Die ökologische Dimension ist vor allem durch die neue Abwärmenutzung positiv bewertet. Durch die Kreislaufführung der Abwärme wird der Verbrauch an Kühlwasser reduziert. Auch die soziale Dimension lässt sich positiv bewerten. Der Anbieter profitiert durch eine gesteigerte Zahl an Arbeitsplätzen für die Herstellung der zusätzlichen Komponenten sowie für das Service. Beim Anwender fällt durch die Auslagerung der Montage und Wartung kein zusätzlicher Aufwand an.

Eine Umsetzung dieser Dienstleistung ist jedoch für jede Anwendung individuell zu gestalten. Wichtig ist die ganzheitliche Betrachtung der Energiebedarfsstruktur jeder einzelnen Anwendung. Hierzu bedarf es eines relativ großen Planungsaufwandes hinsichtlich der für die Bereitstellung von thermischer und elektrischer Energie vorhandenen und neuen Energiesysteme: BHKW, Solar, Ölkessel, Kompressoren, etc.. Durch einen ganzheitlichen Ansatz ergeben sich vielfältige Vorteile, die sich in einem geringeren Energieverbrauch, geringerem Kühlwasserbedarf, gleichmäßigeren Prozessbedingungen, angenehmeren Arbeitsklima etc. abbilden können.

Schlussfolgerungen

An Spritzgussanlagen sowie in weiteren Bereichen der kunststoffverarbeitenden Industrie kann bisher ungenutztes Abwärmepotential für eine weitere Nutzung bereitgestellt werden. Das niedrige Temperaturniveau kann mittels Wärmepumpe auf ein nutzbares Niveau angehoben und für eine weitere Nutzung z.B. zur Heizung und Bereitstellung von Warmwasser genutzt werden. Das Abwärmemodul kann mittels eines Contractingvertrages angeboten werden. Dadurch ergibt sich einerseits ein ökonomische Vorteil für alle Beteiligten andererseits ergeben sich durch die Energieeinsparungen positive ökologische Effekte.

Durch die Energiebilanzierung eines Gesamtsystems werden noch ungenutzte Energieressourcen offengelegt. Für Spritzgießmaschinen ergibt sich dabei ein Abwärmenutzungspotential von 80% der zugeführten Energie.

Eine Literaturrecherche hat gezeigt, dass Abwärmepemperaturen von ca. 15 - 20°C mittels Wärmepumpe auf nutzbares Niveau angehoben werden können. In einzelnen energiebedachten Unternehmen sind schon Wärmepumpen installiert und lukrieren daraus beachtliche Einsparungen. Das Risiko der technischen Umsetzung sollte daher im überschaubarem Rahmen liegen.

Um dieses Abwärmenutzungssystem dem Kunden anbieten zu können, ist ein Marketing-Konzept zu erarbeiten. Da viele Kunden andere Anforderungen an das System stellen sollen auf Basis von Grundanforderungen verschiedene Szenarien definiert werden und für jedes eine Lösung bieten. Hier ist beispielsweise zwischen der Umsetzung der Abwärmenutzung an Neuanlagen und bestehenden Anlagen zu unterscheiden. Bei Neuanlagen sollte aus Energieeffizienzgründen von Grund auf eine Neuintegration des Wärmerückgewinnungsmoduls berücksichtigt werden.

Dabei ist die Zusammenarbeit des Spritzgießmaschinen Herstellers und des Wärmepumpenhersteller zu intensivieren. Ziel ist dem Kunden ein für ihn optimales System bereitzustellen.

Das heißt, dass die Spritzgießmaschine samt der Wärmepumpe auf eine optimale Abwärmenutzung ausgelegt werden. Möglichkeiten an der Auslegung wären beispielsweise die Erhöhung der Kühlwassertemperatur, Erhöhung der Hydrauliktemperatur oder die Erhöhung der Temperaturspreizung von Kühlwasservor- und Rücklauf. Zusätzlich bestehen über die Schnittstellen der beiden Anlagen hinaus Potentiale zur Ableitung von Verbesserungen an der Spritzgießmaschine.

Für eine weitere Verbreitung ist die Darlegung der Vorteile auf Energieseite sowie auch auf Kostenseite relevant. Eine Kalkulation der Kosteneinsparung ist hier erforderlich. Nachdem die Auslegung der Abwärmenutzung von vielen Faktoren abhängig ist und speziell an jeden Kunden angepasst werden muss, ist diese für ein paar verschiedene konkrete Anwendungsfälle zu berechnen.

Nachdem auch in anderen Sparten der Kunststoffindustrie bzw. auch in anderen Industriebereichen ähnliche Temperaturniveaus vorliegen, sind die Ergebnisse des Projektes auch auf diese Bereiche anwendbar.

Neben der Bereitstellung von Abwärme sollte jedoch zusätzlich der Fokus auf die Verringerung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase von Spritzgussmaschinen nicht vernachlässigt werden. Hierzu wurde in diesem Projekt der Focus vor allem auf die Reduktion der nicht nutzbaren Abwärme (20%) über Konvektion gelegt. Beispielsweise kann durch das Anbringen von Dämmmatten am Plastifizierzylinder, 40% an Wirkenergie in diesem Bereich eingespart werden.

Parallel wird in einem weiteren Projekt, ein Instrument zur Kommunikation der Energieeffizienz von Kunststoff verarbeitenden Maschinen erarbeitet. Dieses Projekt verfolgt das der Bewusstseinsbildung, sodass in Zukunft Energieeffizienz von Spritzgießmaschinen ein Kaufkriterium sein wird. Die Abwärmenutzung ist somit ein weiterer Schritt in Richtung einer energieeffizienten Spritzgießmaschine.

2. Einleitung

Allgemeine Einführung in die Thematik

In diesem Projekt wurde eine Machbarkeitsstudie für eine Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz von Kunststoffspritzgießmaschinen durchgeführt. Mit dieser Dienstleistung wurde die im Kunststoffspritzgießprozess entstehende Wärme nutzbar gemacht und für andere, potentielle Nutzer angeboten.

Der Spritzgussvorgang ist energieintensiv: Unter der Annahme, dass die 4500 Maschinen, die in Österreich im Einsatz sind lediglich im Zweischichtbetrieb fahren, sind diese im Durchschnitt 4000 Stunden pro Jahr in Betrieb. Übliche Werte für die Verarbeitungsmengen dieser Maschinen liegen bei 20 kg Kunststoff pro Stunde. Dazu sind im Durchschnitt 0,4 kWh pro kg Kunststoff erforderlich.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich ein Energieverbrauch von knapp 30.000 kWh pro Maschine und Jahr und somit insgesamt ein Energieverbrauch durch die Kunststoffverarbeitung in Österreich von 144 GWh pro Jahr. Auf Basis des Österreichischen Strommixes (mit einem in Österreich bekannt hohen Anteil an erneuerbaren Energieformen) resultieren daraus immerhin 54.000 Tonnen CO₂ Emissionen. Selbst eine Reduktion von nur 10% wäre damit eine relevante Größenordnung.

Durch eine maschinenbezogene Produktoptimierung allein kann dieser Energiebedarf nicht wesentlich gesenkt werden. Daher wurde die Energiedienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz entwickelt. Dazu wurde eine genaue Analyse der Energiebilanz der Kunststoffspritzgießmaschinen und die Betrachtung des Gesamtsystems mit Einbindung der Maschinenhersteller, der Maschinenbetreiber sowie der potentiellen Kunden einer Energiedienstleistung durchgeführt. Ziel ist es, eine energieeffiziente Dienstleistung für die Nutzung der Abwärme aus Kunststoffspritzgießmaschinen zu etablieren.

Um die Energiebilanz quantifizieren zu können wurde eine Referenzmaschine des Industriepartners genau analysiert. Hierbei wurden die Verlustleistungen der Referenzmaschine berechnet, sowie die Verbräuche der Aggregate gemessen. Mit Hilfe dieser Ergebnisse wurden Kennwerte für verschiedene Maschinentypen von Spritzgießmaschinen erarbeitet, um die Energiebilanz verschiedener Maschinen erfassen zu können.

Um diese Energiedienstleistung effektiv umsetzen zu können, wurde untersucht, welche technischen Änderungen im Produktdesign hierfür notwendig sind. Dabei wurde der wirtschaftliche Aspekt des Re-designs mitberücksichtigt.

Abhängig von der Betriebsgröße und Betriebsform des Maschinenbetreibers wurden passende Modelle für eine Energiedienstleistung abgeleitet. Zudem wurde untersucht, welche organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen bzw. Umstrukturierungen notwendig sind, um diese Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz umsetzen zu können.

Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Vorarbeit 1:

Im FdZ – Projekt: ECODESIGN-Toolbox for Green Product Concepts - Entwicklung von Werkzeugen zur nachhaltigen Produktentwicklung (FdZ Projekt 810777) ist der Hersteller der Kunststoffspritzgießmaschinen als Projektpartner involviert. Resultat war, dass die Spritzgießmaschine ein nutzungsintensives Produkt ist – das heißt, dass für die energetischen Beurteilung über die Maschinenlebensdauer der Nutzungsbereich den größten energienanteiligen Abschnitt aufweist. Die Spritzgießmaschine für sich betrachtet wurde entsprechend der technischen Möglichkeiten hinsichtlich des Energieverbrauches in der Nutzungsphase in den letzten 20 Jahren optimiert – bei den meisten europäischen Herstellern werden Maschinen auf dem neuesten Stand der Technik – was die Antriebstechnologie anbelangt – erzeugt und vertrieben. Deswegen wird das Einsparpotential auf der Produktebene zur Zeit als nur begrenzt angesehen und nur mit einem Systemansatz wie in diesem Projekt vorgeschlagen weitere relevante Energieeinsparungen erzielt werden können.

Vorarbeit 2:

Öko-effiziente Produkt-Dienstleistungskonzepte: Schritt für Schritt zu zukunftsfähigen Geschäftsfeldern. Workshopreihe zur gemeinsamen Initiierung, Gestaltung und Umsetzung von öko-effizienten Produkt-Dienstleistungen (FdZ Projekt 804128).

Die Zielsetzung des Projekts bestand darin, einen Beitrag zur Initiierung, Gestaltung, Entwicklung und praktischen Umsetzung von innovativen Nutzungskonzepten für Produkte bzw. von öko-effizienten Produkt-Dienstleistungskonzepten zu leisten. Dabei wurde über die bloße Beschreibung und Analyse bereits vorhandener Dienstleistungskonzepte, die Inhalte vergangener Forschungsprojekte waren, eine konkrete Methodik für die praktische Anwendung in Betrieben entwickelt. Mit deren Hilfe wird die „Fabrik der Zukunft“ bei der Umsetzung von öko-effizienten Produkt-Dienstleistungskonzepten sowie bei der Entwicklung innovativer und zukunftsfähiger Geschäftsfelder unterstützt. Ein wesentliches Merkmal des Projektes war, beteiligte Industriepartner – als Zielgruppe für die Anwendung der Methodik – durch geeignete Partizipationsprozesse (Workshopreihe) von Beginn an in die einzelnen Projektphasen mit einzubeziehen. Darüber hinaus wurde ein Bewertungsinstrument entwickelt, das neue Dienstleistungsangebote auf ihre Ökoeffizienz bzw. Nachhaltigkeit hin beurteilt („Wann ist eine Dienstleistung eigentlich öko-effizient?“).

Vorarbeit 3:

CO₂-Minderung durch rationelle Energienutzung in der Kunststoffverarbeitenden Industrie, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg, 2002.

In dieser Studie werden am Beispiel eines Betriebes der kunststoffverarbeitenden Industrie die branchenspezifischen Potentiale zur Energieeinsparung und Minimierung an CO₂- Emissionen ermittelt und Maßnahmen daraus abgeleitet. Die ermittelten Maßnahmen wurden aus technischer, wirtschaftlicher und ökologischer Sicht bewertet.

Fokus/Schwerpunkte der Arbeit

Bei der vorliegenden Arbeit wurde der Fokus auf folgende Bereiche gelegt: Zuerst erfolgte die Auswahl einer geeigneten Spritzgießreferenzmaschine. Durch die Einbindung eines mittelständischen Unternehmens in das Projekt wurde die Aussagekraft der erhaltenen Ergebnisse erhöht. Anschließend wurden Energiemessungen an der Referenzmaschine vorgenommen. Ein energetischer Ist-Zustand rund um die Spritzgießmaschine hinsichtlich Energieinput und Energieoutput, sprich eine Energiebilanzierung wurde dargestellt. Weiters wurde eine Wirkungsgradberechnung mit den erhaltenen Werten der Spritzgießmaschine, sowie der Plastifiziereinheit vorgenommen. Ausgehend vom Ist-Zustand der Maschine wurden Lösungswege, Anwendungsmöglichkeiten, Ansätze etc. aufgezeigt, um diese nichtgenutzte Energie wiederzuverwerten, rückzugewinnen beziehungsweise zu minimieren.

Einpassung in die Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“

Wesentlich in diesem Projekt ist die Steigerung der Energieeffizienz. Diese kann bei Kunststoffspritzgussmaschinen nur durch eine erweiterte Sichtweise, weg vom reinen Produktdenken hin zu einer Betrachtung des Gesamtsystems mit Einbindung von weiteren Akteuren (Betreiber, Umfeld, ...) erreicht werden. Daher wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für ein Demonstrationsvorhaben überprüft werden, ob mit dem Anbieten einer Dienstleistung zur Abwärmenutzung aus Kunststoffspritzgussmaschinenparks sowohl ein neues, innovatives und wettbewerbsfähiges Geschäftsmodell wie auch eine signifikante Steigerung der Energieeffizienz erreicht werden kann. Dazu sollen die Rahmenbedingungen geklärt und allfällige Struktur- und Systemveränderungen ermittelt werden.

Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts

Zuerst werden die die Motivation, die Ziele, Methoden, die Projektinhalte, die Ergebnisse und die Schlussfolgerungen erläutert. In Kapitel 2 wird die Einführung in die Projektthematik sowie die bereits vorhandenen Vorarbeiten, der Fokus der Arbeit sowie die Einbindung in die Programmlinie EdZ beschrieben.

In Kapitel 3 werden die Ziele des Projekts definiert und beschrieben. Danach erfolgt in Kapitel 4 eine Beschreibung der verwendeten Methoden hinsichtlich der Inhalte und Projektergebnisse, außerdem wird der Stand der Technik ausgeführt. Der Kern des Endberichts, stellt Kapitel 5 dar. Es beinhaltet die detaillierte Beschreibung der Projektabwicklung und Ergebnisse. Kapitel 6 definiert Detailangaben der Programmlinienziele. Abschließend folgen in Kapitel 7 und Kapitel 8 Schlussfolgerungen der Projektergebnisse, sowie ein Ausblick und Empfehlungen.

3. Ziele des Projektes

Das Projektziel gliedert sich in die nachfolgenden beschriebenen Teilziele, die in Kapitel 5 im Detail ausgearbeitet wurden. Es ist im Projekt gelungen zu jedem Teilziel eine entsprechende Lösung zu finden. Die Machbarkeit konnte damit lückenlos nachgewiesen werden.

Teilziel 1: Messungen

Die Ziele des Projekts gliedern sich in eine Analysephase in der Messungen an einer Referenzmaschine durchgeführt wurden und eine Energiebilanz erstellt wurde. Ziel war es zunächst eine geeignete Referenzmaschine auszuwählen, um dann die Energieverbräuche der Maschine zu messen.

Teilziel 2: Energiebilanz

Ziel war es eine möglichst detaillierte Auswertung zu erhalten und für alle energieintensiven Aggregate Energieverbrauchszahlen zu ermitteln, die dann in eine Gesamtenergiebilanz für die Referenzmaschine zusammengefasst wurden. Damit wurde ermittelt welche Energieströme in die Maschine gehen und wie sich diese auf das Kühlwasser, die Wärmestrahlung und das Hydrauliköl aufteilen.

Teilziel 3: Recherche zu Abwärmenutzung

Damit wurde der bisher praktizierte Stand der Technik zu einer Abwärmenutzung intern an Anlagen wie auch in Form der Abwärmelieferung an extern an Dritte untersucht. Es wurden bewusst breit recherchiert und kunststoffbranchenunabhängig nach Beispielanwendungen gesucht. Ziel war es Bereich zu finden, die sowohl vom Temperaturniveau wie auch von der Wärmemengen durch die zu entwickelnde Abwärmenutzung der Spritzgießmaschinen bedienbar erscheinen.

Teilziel 4: Technische Lösungen zur Abwärmenutzung

In einem weiteren Rechenschritt dieser Machbarkeitsstudie wurde untersucht welche technische Lösungen zur Abwärmenutzung bereits erfolgreich im Einsatz sind und welche sich davon für den Einsatz zur Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen eignen.

Teilziel 5: Technische Umsetzung zur Realisierung der Energiedienstleistung

Aufbauend auf der erstellten Energiebilanz wurden die Abwärmepotentiale beim Kühlwasser der Werkzeugkühlung, beim Hydrauliköl und bei der Konvektionswärme der Plastifiziereinheit beschrieben. Ziel war es konkrete und machbare Anwendungen zur Abwärmenutzung darzustellen. Dabei wurden sowohl Realisierungen direkt an der Maschine wie auch externe Anwendungen betrachtet. Ziel war es die Erkenntnisse aus Teilziel 3 und 4 zusammenzufassen und im Hinblick auf Ihre Umsetzung darzustellen.

Teilziel 6: Mögliche Geschäftsmodelle und Nachhaltigkeitsbewertung

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Teilziel 5 wurden mögliche Formen von neuen öko-intelligenten Geschäftsmodellen skizziert (Anlagencontracting und Einsparcontracting). Ziel war es beispielhaft für Neuanlagen und nachgerüstete Anlagen mögliche Formen der wirtschaftlichen Umsetzung der Energieeffizienz durch Abwärmenutzung aufzuzeigen. Ziel am Ende des Projekts war es auch eine Nachhaltigkeitsbewertung der im Projekt vorgeschlagenen Energiedienstleistung durchzuführen.

4. Inhalte und Ergebnisse des Projektes

Verwendete Methoden und Daten

Neben einer Literatur- und Internetrecherche zur Abwärmenutzung in verwandten Industriebereichen wurden konkrete Messungen an einer ausgewählten Spritzgießmaschine durchgeführt. Um hier Abwärmepotentiale der Spritzgießmaschine genauer zu eruieren, wurden an einer Spritzgießmaschine bei der Firma Schöfer Energiemessungen durchgeführt. Diese wurden anschließend mit Berechnungen ergänzt, beziehungsweise verglichen.

Um eine neue Energiedienstleistung zu entwickeln ist die Einbindung aller Beteiligten entlang der Wertschöpfungskette zentral. In Workshops bzw. Projektmeetings wurde Produktentwicklern, Zulieferern als auch deren potentielle Nutzer einer Energiedienstleistung eine Diskussionsplattform zur Verfügung gestellt. Es wurde damit ein Ideenpool geschaffen indem einerseits die Anforderungen und Bedürfnisse der Betreiber und Nutzer einer Energiedienstleistung erfasst wurden, andererseits wurden neue Ideen zur Ausgestaltung der Kunststoffspritzgießmaschinen gefunden. Damit erlangt man sowohl technische und organisatorische Rahmenbedingungen als Voraussetzung zum Anbieten einer Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz.

Die folgenden Fragen wurden im Rahmen des Projektes bearbeitet. Hier findet sich eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Auswahl einer Referenzmaschine, Recherche verwandter Industriebereiche

Welches Bezugssystem soll im Projekt verwendet werden?

Bei der Referenzmaschine handelt es sich um eine mittelgroße hydraulisch betriebene Spritzgießmaschine. Diese Spritzgießmaschine wurde ausgewählt, da sie für Standardapplikationen verwendet wird.

Welche Ansätze und Lösungen zu Dienstleistungen zur Steigerung der Energieeffizienz gibt es in verwandten Industriebereichen?

In verwandten Industriebereichen gibt es verschiedene Lösungsansätze bezüglich der Dienstleistungen zur Steigerung der Energieeffizienz, welche nachstehend erläutert werden.

Grundsätzlich kann zwischen primären und sekundären Dienstleistungen unterschieden werden. Die begleitende Beratung dient als gutes Beispiel einer primären Dienstleistung, hingegen ist für die sekundäre Dienstleistung eine Produktkomponente miteinzubeziehen. Anwendungen der Energiedienstleistungen stellen zum Beispiel das Anlagencontracting sowie das Einsparcontracting dar.

2. Erstellung einer umfassenden Energiebilanz für die Referenzmaschine sowie Verallgemeinerung der Ergebnisse für verschiedene Spritzgießmaschinentypen

Welche Energieverbräuche treten wo auf? Wo entsteht Wärme und in welchem Umfang? Wie ist Abwärme nutzbar?

In einer Energiebilanz einer Spritzgießmaschine wurden alle Hauptverbraucher wie der Antriebsmotor, die Heizung und die Nebenaggregate erfasst. Die im Werkstück vorhandene Restenergie kann aufgrund der geringen Größe im Verhältnis zu den Hauptenergieverbräuchen vernachlässigt werden. Betrachtet man die anfallende Wärme an der Referenzmaschine, so werden im Bereich der Werkzeugkühlung 9,9 kW abgeführt, das Hydrauliköl enthält eine Wärmeleistung von rund 8,5 kW und über die Konvektion inklusive Wärmestrahlung werden circa 4,6 kW Leistung abgegeben. Die Abwärmen des Hydraulikkreislaufes sowie des Werkzeugkühlkreislaufes werden zusammen über einen Wasserkühlkreislauf abgeführt. Diese Abwärme kann auch für die weitere Nutzung herangezogen werden. Hingegen ist es aus technischer Sicht schwierig die Abwärme aus Konvektion und Strahlungsabwärme zu nutzen.

Insgesamt steht beim Referenzunternehmen 210 kW Abwärme im Kühlwasser mit einer durchschnittlichen Temperatur von 17,8°C zur Verfügung.

3. Einbindung von Maschinenbetreibern und Lieferanten von Peripherieaggregaten (z.B. Vortrockner, Temperierung, etc.) zur Darstellung der Energiesituation und Ideensammlung zur Wärmenutzung an deren jeweiligen Standorten.

Welcher Wärmebedarf liegt in den Unternehmen vor? Welchen Wärmebedarf gibt es außerhalb des Unternehmens? Welche Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz gibt es und welche Ansätze eignen sich für welche Betriebsgrößen und – formen?

Im Rahmen des hier vorliegenden Projekts wurden im Jahr 2008 mit den Projektpartnern, wie beispielsweise den Maschinenherstellern, Lieferanten von Peripherieaggregaten etc. zwei Workshops zur Darstellung der gegenwärtigen Energiesituation und weiters zur Ideensammlung der Wärmenutzung durchgeführt. Ein weiterer Diskussionspunkt waren mögliche Einsparpotentiale an der Maschine bzw. der Kühlung. Einsparpotentiale befinden sich beispielsweise am Plastifizierzylinder durch deren hohe Wärmeabstrahlung, beim Werkzeug durch Wärmeverluste bei der Kühlung, den statischen und auch dynamischen Temperiergeräten und auch an der Kühlanlage. Als statisches Temperiergerät zählt zum Beispiel die Kühlwasserpumpe, ein dynamisches Gerät ist beispielsweise dessen Temperaturregelung.

4. Ableitung von organisatorischen Voraussetzungen zum Anbieten einer Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz durch die Maschinenbetreiber.

Welche Dienstleistungsmodelle sind geeignet?

Für die Abwärmenutzung bzw. Wärmerückgewinnung werden in anderen Industriebereichen bereits Dienstleistungsansätze angewendet. Hierbei wird für die Installation und den Betrieb zusätzlicher Komponenten der produktergänzende Ansatz des sogenannten Energiecontractings gewählt. Dabei kommen mit Anlagen- und Einsparcontracting zwei Varianten zum Einsatz. In der einen Variante bleibt der Contractor im Besitz der Anlage, betreibt die-

se beim Kunden und zielt somit auf einen möglichst geringen Energieverbrauch während des Betriebes ab. In der zweiten Variante errichtet der Contractor die Anlage nach vorher vereinbarten Einsparzielen und übergibt diese im Anschluß.

5. Zusammenhang zwischen der Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz und dem Produktdesign der Kunststoffspritzgießmaschine.

In welcher Weise muss sich das Design der Kunststoffspritzgussmaschine ändern, damit diese zum Anbieten einer Energiedienstleistung eingesetzt werden kann? Wie wirken sich die Designänderungen allenfalls auf die Peripherieaggregate aus? Welche Auswirkungen haben etwaige Designänderungen auf die Hauptfunktion der Maschine? Welche Maßnahmen sind gleichzeitig erforderlich um den optimalen Betrieb der Maschine sicher zu stellen?

Beim Anlagencontracting werden vom Contractor zusätzliche Komponenten zur Abwärmenutzung an die bestehende Spritzgießmaschine angebracht bzw. im Unternehmen installiert.

Beispiel hierfür ist ein Wärmetauscher, welcher die Energien von den vorliegenden Medien der Werkzeugkühlung und des Hydraulikölkreislaufes auf einen anderen nutzbaren Arbeitsstrom überträgt.

Um die Abwärme aus dem Kühlwasser nutzen zu können ist eine Wärmepumpe zu installieren. Diese muss am Ende des Kühlkreislaufs integriert werden. Designänderungen an der Maschine könnten sich durch eine etwaige Erhöhung der Hydrauliköltemperatur ergeben. Mit dieser Erhöhung wird das Öl dünnflüssiger, somit ergibt sich eine erhöhte Leckagegefahr.

Etwaige weitere Designänderungen durch Anbauten dürfen die Hauptfunktion der Spritzgießmaschine nicht beeinträchtigen. Weiters muss die Zugänglichkeit für den operativen Maschinenbediener sowie das Servicepersonal gewährleistet sein. Um den optimalen Betrieb der Spritzgießmaschine sicherzustellen, sind die An- beziehungsweise Einbauten vollständig in die bestehende Anlage zu integrieren.

6. Konkretisierung der Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz

Wer sind die maßgeblich beteiligten Akteure? Welche Rahmenbedingungen müssen sich in welcher Weise ändern, damit die Energiedienstleistung angenommen wird? Welche Erfolgskriterien und Hemmnisse für die Einführung der Energiedienstleistung sind zu berücksichtigen?

Um die vorhandene Abwärme zur weiteren Nutzung als Dienstleistung anbieten zu können wird das sogenannte Anlagencontracting gewählt. Hierbei errichtet und betreibt der Contractor (z.B. Spritzgießmaschinenhersteller) die Anlage zur Bereitstellung der Energie und verkauft an den Abnehmer (z.B. Maschinenanwender) die Energie in der gewünschten Form.

Der Contractor hat den Vorteil, dass er nach nutzbarer Wärmeleistung bezahlt wird und daher nach möglichst hoher Effizienz trachtet. Der Maschinenanwender hingegen hat keine Investitionskosten und muss sich keine Gedanken über die Wartung machen.

Die Bewertung dieser Dienstleistung nach Kriterien der Nachhaltigkeit zeigt in allen drei Bereichen (Ökonomie, Ökologie, Soziales) positive Effekte.

Eine Umsetzung dieser Dienstleistung ist jedoch für jede Anwendung individuell zu gestalten. Wichtig ist die ganzheitliche Betrachtung der Energiebedarfsstruktur jeder einzelnen Anwendung.

Beschreibung des Standes der Technik

Das Spritzgießen ist ein diskontinuierliches Formverfahren, bei dem zumindest eine Maschine, ein Werkzeug und entsprechende Peripherie zur Prozessgestaltung notwendig sind. Ziel des Spritzgießprozesses ist die Herstellung von Formteilen.

Neben der Maschine kommt der Gestaltung des Werkzeuges höchstes Augenmerk zu. Im Werkzeug erfolgt die Gestaltgebung der Teile. In einem Prozessschritt können ein oder mehrere Teile erzeugt werden, indem das Werkzeug mit einer oder mehreren Kavitäten sowie entsprechenden Einrichtungen zur Befüllung der Kavitäten (Anguss, Kaltkanaltechnik, Heißkanaltechnik) sowie zur Kühlung der heißen Formmasse ausgestattet ist. In Abbildung 1 ist die Prinzipdarstellung der Spritzgießtechnologie dargestellt.

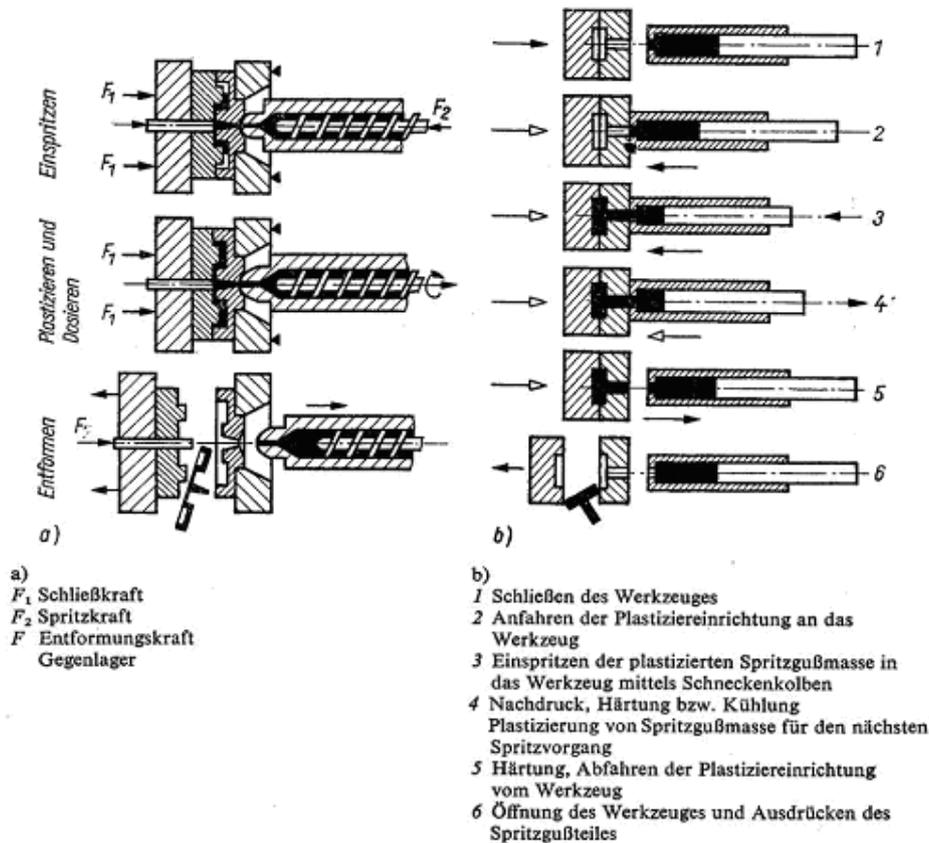


Abbildung 1: Prinzipdarstellung Spritzgießtechnologie

Das der Spritzgießmaschine zugeführte im festen Zustand befindliche Granulat wird in der sogenannten Plastifiziereinheit in einen verarbeitungsgerechten Zustand versetzt. Dabei wird das Granulat in einem beheizten Massezylinder durch Scherung resultierend aus motorischer Antriebsenergie und zusätzlich durch externe Beheizung des Zylinders mittels Heizbänder aufgeschmolzen d.h. in einen schmelzeflüssigen Zustand versetzt.

Die zähflüssige Schmelze wird dann durch die Maschinendüse und das werkzeugabhängige Schmelzeverteilungssystem in die Kavität des durch die Schließereinheit vorgespannten Werk-

zeuges zu unter hohem Druck eingespritzt. Dabei funktioniert die mit einer Rückstromsperre versehene Schnecke der Plastifiziereinheit als Kolben. Danach wird das Formteil im vorge-spannten Werkzeug abgekühlt, das Werkzeug öffnet sich und der Vorgang beginnt wieder von Neuem.

Eine umfassende, über die Betrachtung der Spritzgießmaschine an sich hinausgehende Betrachtung der Energieeffizienz war interessanterweise bei Kunststoffspritzgießmaschinen bisher kein großes Thema. Beim Projektpartner ENGEL wurde beginnend in den 90er Jahren Energiemessungen in Einzelfällen und hier vor allem als Nachweis gegenüber Leitkunden im Anlaßfall durchgeführt- Schwerpunkt war und ist hierbei die Messung des Energiebedarfes der Maschine alleine. Ein starker Anstieg dieser Messungen ist seit ca. 2005 feststellbar - insbesondere gekoppelt mit der Durchdringung des Marktes mit (voll-) elektrischen Spritzgießmaschinen. Erst mit der definitiven Einführung dieser nachweislich den Energiebedarf reduzierenden durch die Maschinenhersteller gepushten Produkte steigt das Bewusstsein der Anwender. Mit zunehmender Achtsamkeit für Energiekosten und die Auswirkungen von Energieverbrauch auf Klima und Umwelt ändert sich dies jedoch.

Eine gezielte Nutzung der Abwärme wie in diesem Projekt vorgeschlagen ist neu, es kann zu recht ein großes Potential zur Steigerung der Energieeffizienz erwartet werden.

Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projektes)

Innovationsgehalt, betriebswirtschaftliche Durchführbarkeit und der sich abzeichnende einzel- und volkswirtschaftliche Nutzen zeichnen den eingereichten Projektvorschlag aus.

Erst durch die Gestaltung eines Gesamtsystems, also durch den Einbezug der Maschinenbetreiber und potentieller Wärmenutzer im Umfeld einer Kunststoffspritzgießmaschine kann es zu einer relevanten Steigerung der Energieeffizienz kommen. Das Projekt versucht als Neuerung diese Gesamtbetrachtung und will die Rahmenbedingungen klären, wie verschiedene Akteure im Sinne einer win-win Situation zusammenspielen können.

5. Beschreibung der Projektergebnisse

5.1. Auswahl einer Referenzmaschine

Als Referenzmaschine bei den Messungen wurde eine Spritzgießmaschine der Firma Engel (siehe Abbildung 2) gewählt. Diese hydraulische Maschine ist bei der Firma Schöfer eine von insgesamt zwanzig im Betrieb befindlichen.



Abbildung 2: Spritzgießmaschine der Firma Engel

Schöfer wurde gezielt als Partner für dieses Projekt ausgewählt, da es im Fabrik der Zukunft Projekt „Entwicklung von Kriterien zur Kommunikation der Energieeffizienz von Kunststoff verarbeitenden Maschinen (KvM)“ mit der Projektnummer 814976 bereits eine sehr gute Zusammenarbeit gibt. Die Regionalität und Größenordnung des KUMs (derzeit sind sechzig Mitarbeiter beschäftigt), welche die Mehrheit der österreichischen Firmen repräsentiert, spielen weiters eine wichtige Rolle. Durch den Umstand, dass es sich bei der Betreiberfirma um einen mittelständischen Betrieb handelt, herrscht eine starke Aussagekraft für die mittelständische Industrie in Österreich vor. Derzeit gibt es in Österreich ca. 3300 Spritzgießmaschinen, die bei ca. 300 Betrieben im Einsatz sind. Die Verteilung der Betriebsgröße ist ein absolut unbeschriebenes Blatt. Geht man aber davon aus, dass 90 %, (255 Betriebe) Kleinbetriebe mit 5 Maschinen sind, so haben 45 Betriebe je 45 Maschinen. Die Firma Schöfer mit 22 Spritzgießmaschinen repräsentiert somit ein mittelgroßes österreichisches Kunststoffunternehmen.

Die Referenzmaschine wurde ausgewählt, da diese Maschine im parallel laufenden Projekt genau analysiert wurde und außerdem Vorort Energiemessungen durchgeführt wurden. Die Auswertungen dieser Messungen wurden als Ausgangsbasis für die Erstellung einer Energiedienstleistung verwendet.

Ausgehend von der Verlustleistung bzw. des Exergieverlustes der Referenzmaschine 11 wurde auf die Gesamtverlustleistung aller sich im Einsatz befindlichen Spritzgießmaschinen der Firma Schöfer hochgerechnet. Ziel dieser Berechnung war es (mit den ausgewerteten Messdaten) einen Basiswert für die „nicht genutzte Energie“ zu erlangen.

5.2. Auswertung gemessener Verbräuche an den energieintensiven Aggregaten

Bei Spritzgießmaschinen sind Abwärmepotentiale einerseits im Kühlwasser und andererseits in der durch Konvektion abgegebenen Wärme vorhanden. Um Nutzungsmöglichkeiten der Abwärmen genauer untersuchen zu können, müssen genaue Messungen durchgeführt werden. Hierzu wurden bei der Firma Schöfer Messungen über einen Zeitraum von 48 h durchgeführt. Dabei wurden Gesamtwärmeströme des Kühlsystems beziehungsweise die Temperaturen und Wärmemengenverläufe an der Referenzmaschine im Detail aufgezeichnet und untersucht.

Bei der Spritzgießmaschine teilen sich die Energie und Leistungsflüsse wie folgt auf. Im Spritzgießprozess wird auf der einen Seite viel Energie über den Antrieb, die Heizung, die Steuerung, Pumpen, Druckluft etc. zugeführt. Auf der anderen Seite erhält man als Ergebnis dieser Aufwendungen ein Produkt, erwärmtes Kühlwasser und Abwärme in Form von Wärmeleitung, Wärmestrahlung sowie Konvektion. Bei der Firma Schöfer wurden die zugeführten Leistungen (Antriebsleistung, Heizleistung und die Leistung der Nebenaggregate, sowie die abgeführten Leistungen (Kühlwasserleistung, Ölkühlerleistung) gemessen. Aufgrund dieser gemessenen Energieflüsse erfolgte eine Abwärmeenergieberechnung.

Energiebilanz einer Spritzgießmaschine

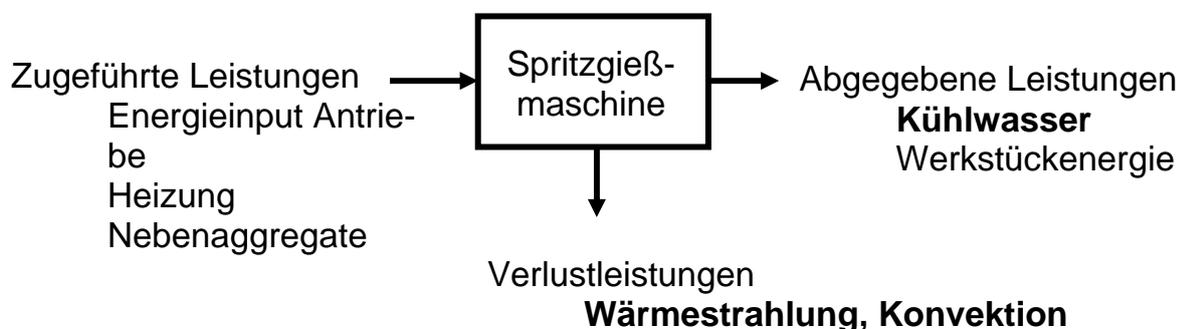


Abbildung 3: Energiebilanzierung Spritzgießmaschine - Allgemein

Energiemessungen bei der Firma Schöfer

Bei der Firma Schöfer erfolgt die elektrische Anspeisung in das Firmennetz zentralistisch, von der aus wiederum fünf Bereiche angespeist werden (siehe Abbildung 4):

- Σ Spritzgießmaschinen bestehend aus 19 Maschinen
- Spritzgießmaschine M17 – die größte Maschine
- Werkzeugbau
- Sonstige Produktion
- Büro

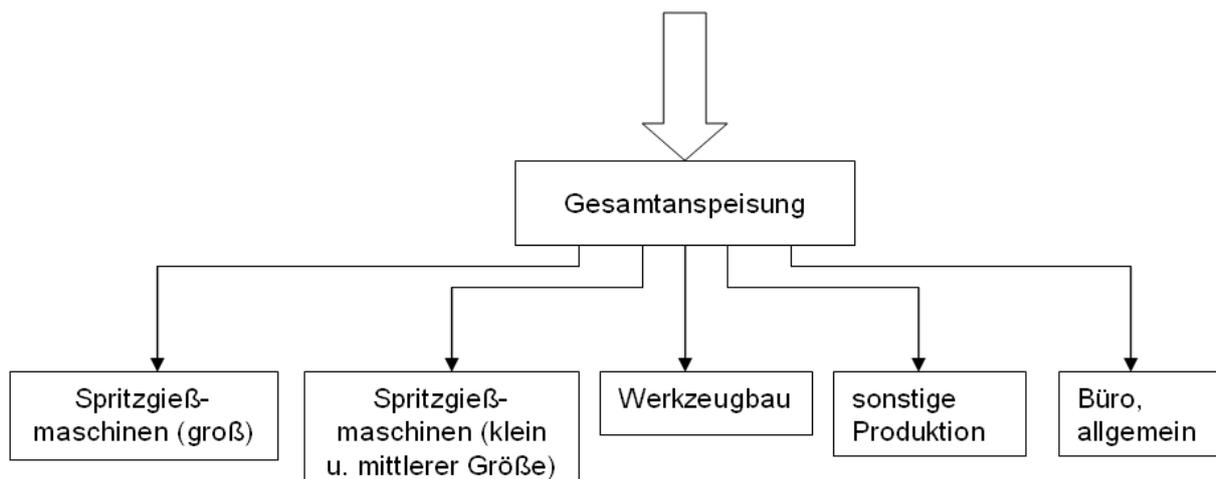


Abbildung 4: Gesamtanspeisung aufgeteilt in die einzelnen Bereiche [Wimmer, 2008]

Kühlwasserleistung

Die Werkzeuge der Spritzgießmaschinen werden über ein Kühlwasser, welches über Kanäle durch die Werkzeuge geführt wird, gekühlt. Die Abwärme kann über ein zentrales Grundwasserbecken abgeführt werden, wodurch der Einsatz von energieaufwändigen Kältemaschinen vermieden wird. Durch die von den Behörden vorgegebenen, einzuhaltenden niedrigen Rücklaufwassertemperaturen wird permanent mit sehr hohen Wassermengen und ständig voll laufender Brunnenpumpe rückgekühlt.

Damit variiert – abgesehen von über's Jahr schwankenden Temperaturverläufen - nur die Rücklauftemperatur in Abhängigkeit des Wärme- bzw. Kühlbedarfs der Produktion. Wie in Tabelle 1 dargestellt liegt die Vorlauftemperatur im Durchschnitt bei 9°C, die Rücklauftemperatur bei 16°C. Mit den Temperaturen und dem Massenstrom ergibt sich im Durchschnitt eine abzuführende Wärmemenge von 210kW, die zur weiteren Nutzung zur Verfügung steht. Das vorhandene Temperaturniveau ist jedoch für eine sinnvolle Nutzung viel zu gering.

<i>Datum</i>	<i>Rücklauf [°C]</i>	<i>Vorlauf [°C]</i>	<i>Spreizung [K]</i>
01.07.08 16:00	16,8	8,5	8,3
01.07.08 17:00	17,2	8,5	8,7
01.07.08 18:00	17,3	8,5	8,8
01.07.08 19:00	17,3	8,5	8,8
01.07.08 20:00	17,3	8,5	8,8
01.07.08 21:00	17,4	8,5	8,9
01.07.08 22:00	17	8,5	8,5
01.07.08 23:00	16	8,5	7,5
02.07.08 00:00	15,5	8,5	7
02.07.08 01:00	15,1	8,5	6,6
...
Durchschnitt	15,9	8,5	7,4

Tabelle 1: Auszug aus den Messungen der Gesamtabwärme des Rückkühlsystems

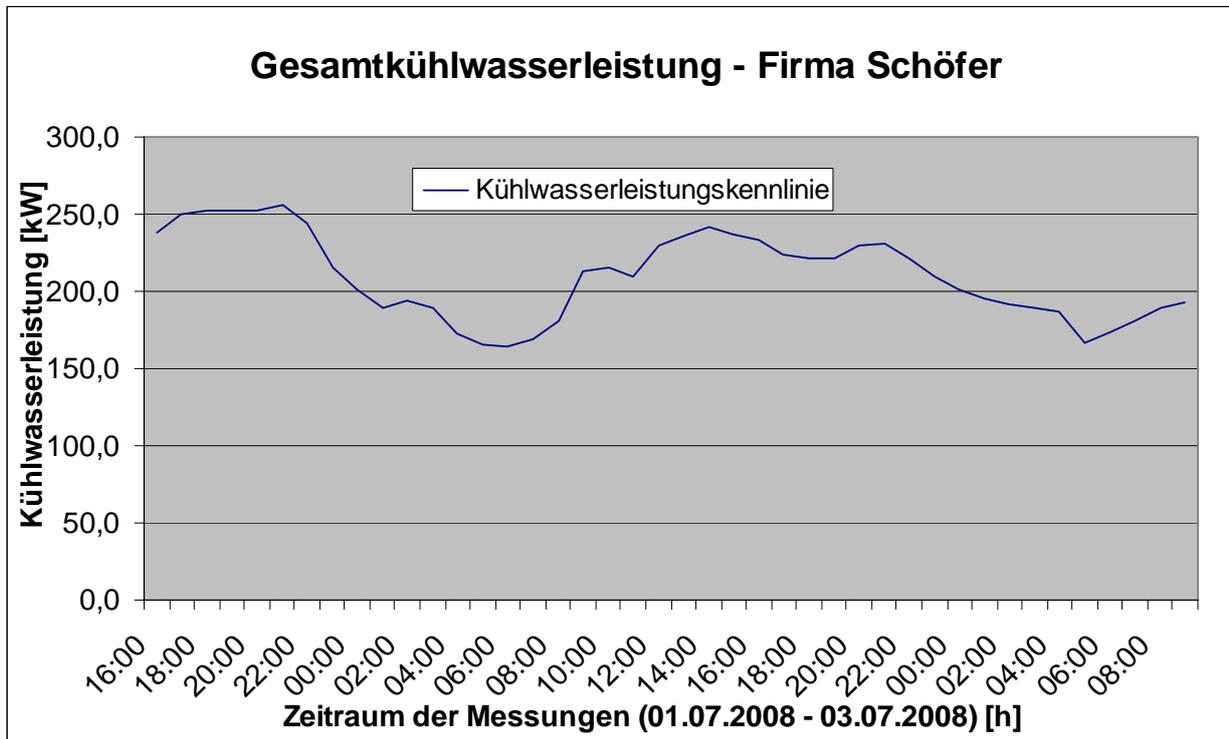


Abbildung 5: Kühlwasserleistung der Firma Schöfer

Aus den Temperaturen in Tabelle 1 und der Kühlwasserleistungskennlinie in Abbildung 5 lässt sich ablesen, dass die Rücklauftemperatur relativ stabil verläuft und somit auch die gesamte Kühlleistung relativ konstant bleibt. Eine über die Zeit konstante Verfügbarkeit der Abwärme ist eine Grundvoraussetzung für die Nutzung dieser. Die Untersuchung des Energieverbrauchs in selbiger Periode hat auch gezeigt, dass die Produktion in der Nachtschicht nur geringfügig den Tagesschichten hinterherhinkt. Die gesamte Wärmemenge liegt mit 160 bis 240 kW ebenfalls dauerhaft über dem benötigten Niveau. Die gemittelte Abwärmeleistung beträgt 210 kW.

Derzeitiges Kühlschema:

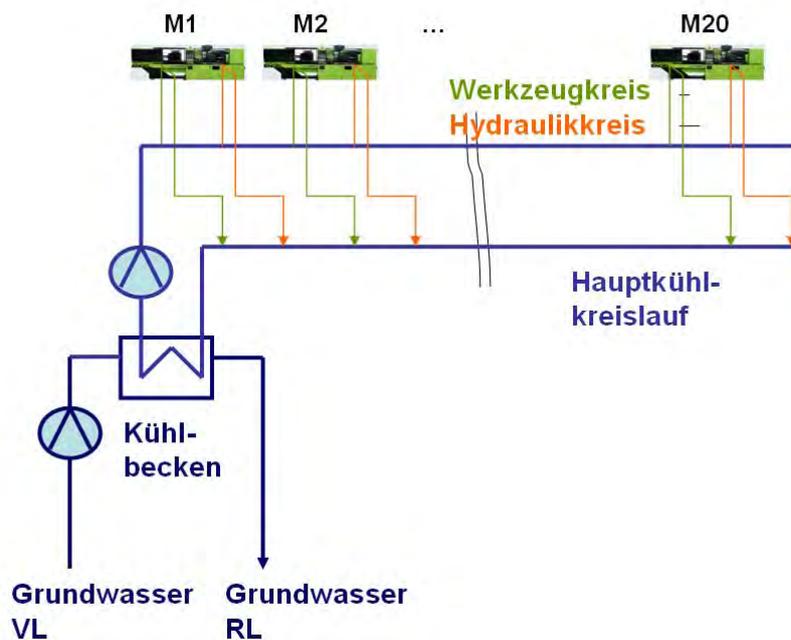


Abbildung 6: Schema des derzeitigen Rückkühlkreises [Sehnal, 2008]

Das zugrunde liegende Kühlsystem besteht aus zwei Kühlkreisläufen. Einem Grundwasserkreislauf, der Kühlwasser vom Grundwasser in ein Kühlbecken pumpt, sowie einem Kühlkreislauf zu allen zwanzig Spritzgießmaschinen. Beide Hauptpumpen laufen immer im Vollbetrieb. Vom Kühlkreislauf beziehen die einzelnen Maschinen die benötigten Kühlmengen aufgrund von Ventilregelungen, wodurch durch Ein- / Ausschaltung die benötigten Kühlmengen zugeführt werden. Im Detail splitten sich die Kreise bei jeder Maschine noch einmal auf, um die Hydraulikölkühlung und die Werkzeugkühlung individuell zu versorgen.

Hydraulikkühlung

Bei der Referenzmaschine, einer repräsentativen mittelgroßen Maschine wurde die Hydraulikölkühlung im Detail untersucht:

Die Hydraulikölkühlung wird über einen in den Maschinen standardmäßig integrierten Plattenwärmetauscher durchgeführt. Dabei erfolgt von Seiten des Hydraulikkreises eine permanente Durchströmung des Wärmetauschers. Auf der Kühlerseite wird über ein Ein-/Aus Regelventil der Kühlwasserkreislauf bei Erreichen der eingestellten Öltemperatur geschaltet.

Die Untersuchung zeigte, dass aufgrund der gewählten Temperaturgrenzen sehr kurze Intervalle resultierten:

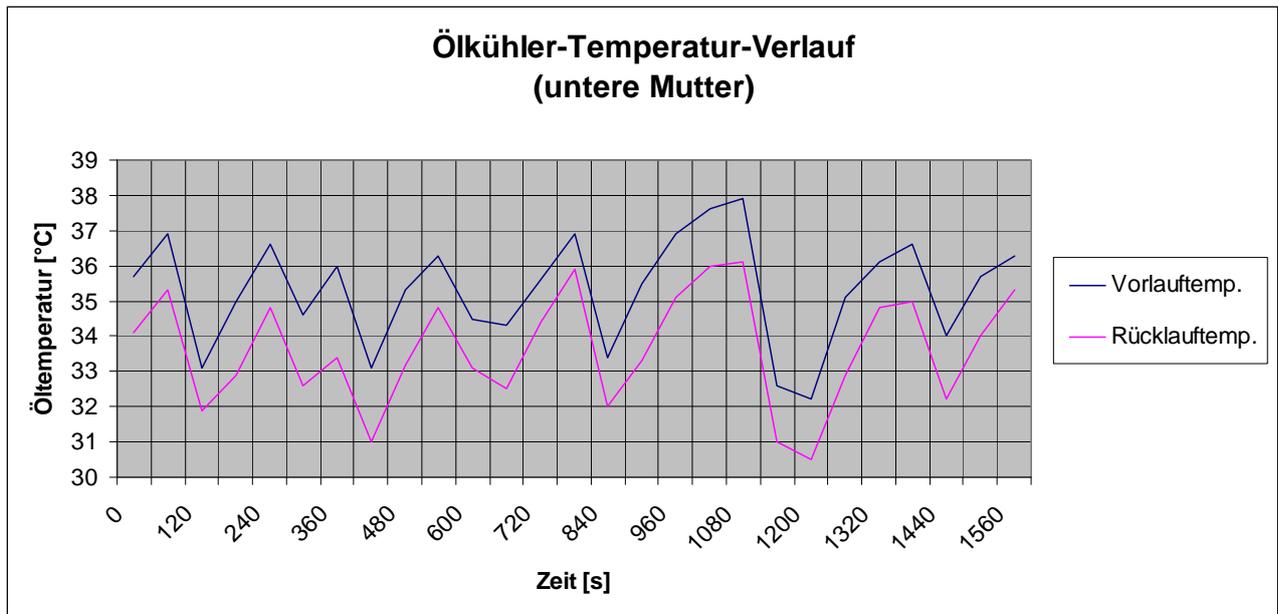


Abbildung 7: Temperaturverlauf des Hydrauliköl - Rückkühlers von der Referenzmaschine

Die Hydrauliköltemperaturen bei dieser Anlage schwankten laut Messungen zwischen 30°C und 38°C.

Die durchschnittliche Einschaltzeit des integrierten Plattenwärmetauscher bewegte sich bei etwa 20 %, was auf hohe Reserven schließen lässt. Besagte Wärmeüberträger werden als Bestandteil der Spritzgießmaschine ausgeliefert.

Diese niedrigen Hydrauliköltemperaturen waren für den Verarbeiter, als auch den in das Projekt involvierten Maschinenhersteller, überraschend niedrig. Die Erklärung liegt in der überdimensionierten Grundwasserförderung. Da hier behördliche Vorlagen einzuhalten sind, ist die Gesamtspreizung niedrig zu halten.

Nach Rücksprache mit dem Maschinenhersteller sind Hydrauliköltemperaturen bis 60°C üblich und die Maschinen sowie das Öl sind auch für diese Temperaturen ausgelegt.

Die Kühlleistung lag im Mittel bei 8,5 kW für das Hydrauliköl. Zum Vergleich wurde die Kühlleistung beim Werkzeugkreis dieser Anlage mit 9,9 kW festgestellt.

Werkzeugkühlkreislauf

Der Werkzeugkühlkreislauf wird für dieses Projekt nicht betrachtet, da hier verfahrenstechnisch die niedrigen Vorlauftemperaturen von der Produktion (16 - 18°C) als notwendig bzw. vorteilhaft erachtet werden.

Es ist jedoch technisch möglich die Abwärme des Hydrauliköls zu nutzen. Die Leistung des Hydrauliköls beträgt mit 8,5 kW ca. 73 % der gesamten Kühlleistung von 11,6 kW bei der Referenzmaschine. Aus der Gesamtkühlwasserleistung von 210 kW ergibt sich somit eine nutzbare Abwärme aus dem Hydraulikkreislauf von **153,3 kW**. Diese Abwärme steht momentan mit 33,6°C zur Verfügung. Um diese besser nutzbar zu machen kann die Temperatur auf **60°C** angehoben werden (siehe Kapitel 5.6.1).

Wärmeleitung – Wärmestrahlung - Konvektionswärme

Ein weiteres Abwärmepotential stellt die durch Konvektion an der Plastifiziereinheit abgegebene Wärme dar. Diese wird im Folgenden auf drei Arten hergeleitet:

- Die Konvektionsabwärme ist gleich Heizleistung bei Stillstand
- Die Konvektionsabwärme samt Wärmestrahlung ist die Differenz zwischen Energieinput und Energieabfuhr über das Kühlwasser
- Vereinfachte Berechnung der Konvektion nach thermodynamischen Formeln: „Wärmedurchgang durch ein zylindrisches Rohr“ (siehe Kapitel 5.3.1)

Da es sich hier um einen stationären Prozess mit konstantem Temperaturniveau handelt kann für die Konvektionswärme vereinfacht die Heizleistung bei Stillstand bzw. beim Werkzeugwechsel verwendet werden (siehe Abbildung 8).

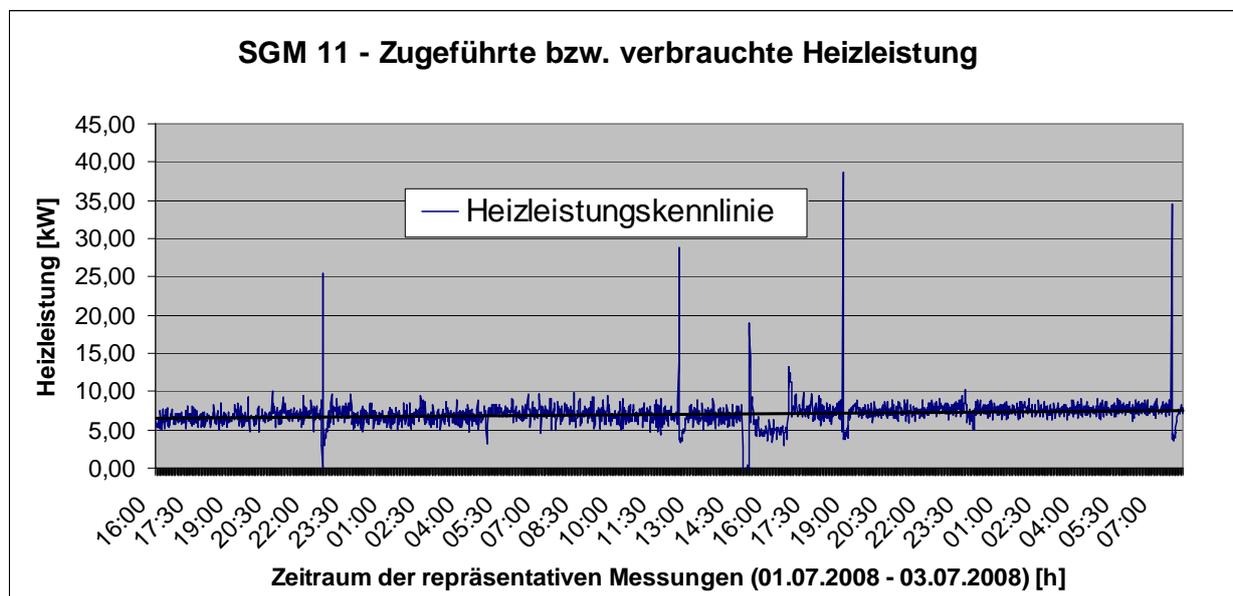


Abbildung 8: Heizleistungsdiagramm

Abbildung 8 zeigt die zugeführte beziehungsweise verbrauchte Heizleistung der Referenzmaschine 11, welche über einen Zeitraum vom 01.07.2008 (Start 16:00) bis zum 03.07.2008 (Ende 08:00) gemessen wurde. Die zugeführte Heizleistung bewegt sich über den angegebenen Zeitraum von circa eineinhalb Tagen zwischen fünf und zehn Kilowatt. Beim Werkzeugwechsel, sprich Produktwechsel, wurde eine Heizleistung von $Q_{zu} = 5,0 \text{ kW}$ gemessen, welche im Stillstand vollständig über die Oberfläche der Plastifiziereinheit an die Umgebung abgegeben wird.

Aus dem Gesamtenergieaufwand und der Energieabgabe über das Kühlwasser und da der Wärmeinhalt des Produktes mit 0 kW angenommen werden kann, lässt sich die Konvektion inklusive Strahlungsenergie für die Referenzmaschine mit $Q_{\text{Konvektion}} = 4,6 \text{ kW}$ ableiten. Da während der Produktion weniger Heizleistung an die Umgebung abgegeben wird, scheint dieser niedrigere Wert eher real und wird für die weitere Berechnung verwendet. Das Temperaturniveau der Konvektionswärme beträgt im Mittel 165°C .

Zusammenfassung

In Tabelle 2: Eckdaten der sind die Leistungsdaten der Spritzgießmaschine hinsichtlich INPUT, sowie die OUTPUTS der gemessenen Energieverbräuche zusammengefasst. Bei der Produktion eines Kühlergrills mit einem Gewicht von 620 g und einem Ausstoß von 0,4 kg/min ergeben sich folgende Energiedaten. Diese Werte werden für die folgende Berechnung der Verlustleistungen herangezogen.

Eckdaten – Referenzmaschine	
INPUT	Durchschnittswerte [kW]
Gesamtanspeisung Referenzmaschine	23
Motor	12,5
Heizung	7
Nebenaggregate	3,5
OUTPUT	
Hydrauliköl	8,5
Werkzeugkühlung	9,9
Konvektionsabwärme	4,6

Tabelle 2: Eckdaten der Referenzmaschine

5.3. Energiebilanz für die Referenzmaschine

Für die Erstellung der Energiebilanz und der damit notwendigen Berechnungen wurde der erste Hauptsatz für stationäre Fließprozesse angewandt. Dieser findet in weiterer Folge auch bei den Berechnungen der möglichen Abwärmeanwendungen für Spritzgießmaschinen Anwendung. Um die in Kap. 5.2 getroffenen Annahmen zur Konvektionsabwärme zu festigen wird diese in diesem Kapitel in vereinfachter Weise theoretisch berechnet.

Grundlagen: Erster Hauptsatz für stationäre Fließprozesse

Als Grundlage der Energiebilanzierungen diene der „*Erste Hauptsatz für stationäre Fließprozesse*“ [Linzer, 2001]

$$\dot{Q}_{12} + P_{12} = \dot{m}^* \left(u_2 + p_2 \cdot v_2 + \frac{w_2^2}{2} + g \cdot z_2 \right) - \dot{m}^* \left(u_1 + p_1 \cdot v_1 + \frac{w_1^2}{2} + g \cdot z_1 \right)$$

sowie

$$\dot{Q}_{12} + P_{12} = \dot{m}^* \left[h_2 - h_1 + \frac{1}{2} \cdot (w_2^2 - w_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1) \right]$$

Die Summe aus zugeführter Wärme und technischer Arbeit ist gleich der Enthalpiedifferenz, wenn die Änderung der kinetischen und potentiellen Energie vernachlässigt wird. Nachfolgend wird die Konvektionswärme (\dot{Q}_{ws}) berechnet. Die weiteren Energien können den Messungen entnommen werden.

5.3.1. Berechnung der Konvektion

Reale Situation

Nachstehende Abbildung zeigt einen realen Querschnitt über die Plastifiziereinheit. Wärmeleitfähigkeiten und Wärmeübergangskoeffizienten sind berücksichtigt.

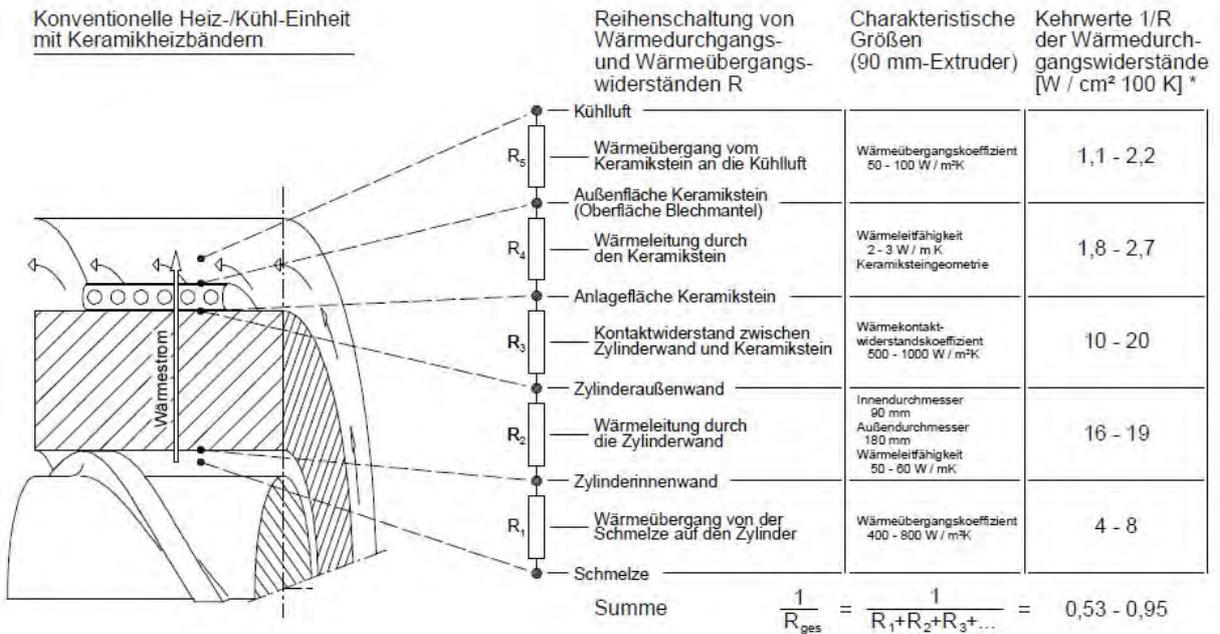


Abbildung 9: Heiz-/Kühl-Einheit mit Keramikheizbändern [Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, 2002]

Voranstehende Abbildung 9 zeigt eine Darstellung einer Heiz-/Kühleinheit mit integrierten Keramikbändern. Eine Übersicht der einzelnen Schichten besagter Einheit, beziehungsweise deren charakteristische Größen, wie zum Beispiel Wärmeübergangskoeffizienten, Wärmeleitfähigkeiten, Wärmewiderstandskoeffizienten sind ebenfalls dargestellt. Der aus der Schmelze vom Inneren des Zylinders nach außen dringende Wärmestrom weist in den einzelnen Schichten unterschiedliche charakteristische Größen auf. Beispielsweise beträgt die Wärmeleitfähigkeit durch die Zylinderwand bei einem Innendurchmesser von 90 mm sowie einem Außendurchmesser von 180 mm 50 bis 60 W/mK, hingegen verringert sich dieser Wert bei Keramiksteinen auf 2 bis 3 W/mK.

Vereinfachte Berechnung

Für die Berechnung der Abwärme durch Konvektion wird nicht wie in Abbildung 9 dargestellt der reale Querschnitt mit Berücksichtigung der Keramikplatte sondern eine vereinfachte Berechnung, siehe Abbildung 10, Wärmedurchgang durch ein zylindrisches Rohr nach [Linzer, 2001] verwendet.

Wärmedurchgang durch ein zylindrisches Rohr

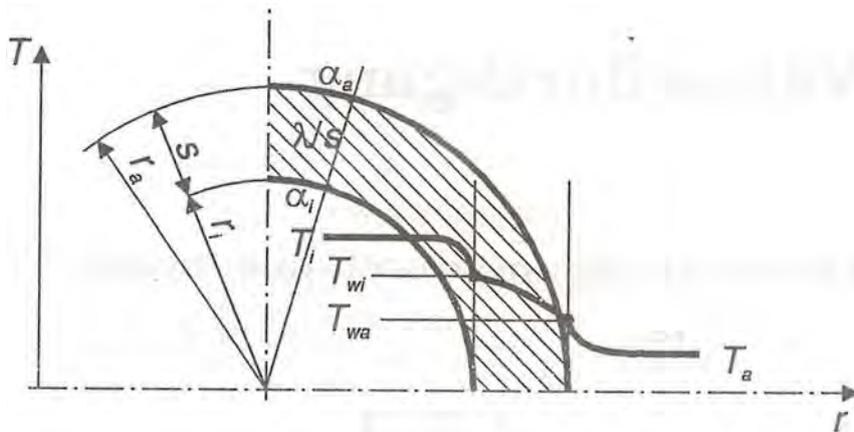


Abbildung 10: Wärmedurchgang durch ein zylindrisches Rohr [Linzer, 2001]

Berechnungsauszug der Konvektionswärme der Plastifiziereinheit - Referenzmaschine (gesamte Berechnung siehe Anhang)

Notwendige Angaben:

Wärmeleitfähigkeit für hochlegierten Stahl

$$\lambda_{\text{plast}} := 15 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Temperaturmittelwert der Plastifiziereinheit
(lt. Maschinendatenblatt Referenzmaschine)

$$T_{w_innen} := 498 \text{ K}$$

Mittelwert der gemessenen Oberflächentemperaturen

Innen-/ Außendurchmesser Plastifiziereinheit

$$d_a := 150 \text{ mm} \quad d_i := 90 \text{ mm}$$

$$l_{\text{zylinder}} := 700 \text{ mm}$$

Der Wärmedurchgang entspricht der Wärmeübertragung von einem Fluid durch eine Wand auf ein anderes Fluid bzw. in die Luft. Er lässt sich mit dem materialabhängigen Wärmeleitkoeffizienten, der Differenz von Außen und Innentemperatur und über die beiden Durchmesser berechnen.

Unter Betrachtung der gesamten Zylinderfläche ergibt sich somit:

$$\dot{Q}_{WS} = q_{WS_pro_Rohrlänge} * l_{Zylinder}$$

$$\dot{Q}_{WS} = -7,814kW$$

Der hier berechnete Wert $\dot{Q}_{wärmestrom}$ ergibt einen Wert für einen hochlegierten Stahl von 7,814 kW. Im Vergleich dazu ist die über die Energiedifferenz zum Energieinput berechnete Konvektionsabwärme inklusive Strahlungsenergie $Q_{Konvektion} = 4,6$ kW um einiges geringer. Da die Berechnung einem einfachen zylindrischen Rohr zu Grunde liegt, kann angenommen werden, dass die Konvektionsabwärme $Q_{Konvektion} = 4,6$ kW der Berechnung mit realen Gegebenheiten mit 5 Schichten sehr nahe kommt. Dieser Wert wird daher für die weitere Berechnung verwendet.

Das Problem bei der Gewinnung der Konvektionswärme ist allerdings die technische Umsetzung. Zuerst muss die Konvektionswärme sozusagen durch eine Einhausung der Plastifiziereinheit gesammelt werden, zum Beispiel durch Wärmetausch mit einem flüssigen Medium wie Öl. Diese nun im flüssigen Medium enthaltene Energie muss nun mit der im Kühlwasser enthaltenen Energie zusammengeführt werden um daraus einen einzigen nutzbaren Wärmestrom zu erhalten.

5.4. Darstellung der Energiebilanz

Zur übersichtlichen Darstellung der Energieflüsse einer Spritzgießmaschine am Beispiel der Firma Schöfer SGM werden die gemessenen bzw. berechneten Energieflüsse in verschiedenen Abbildungen dargestellt.

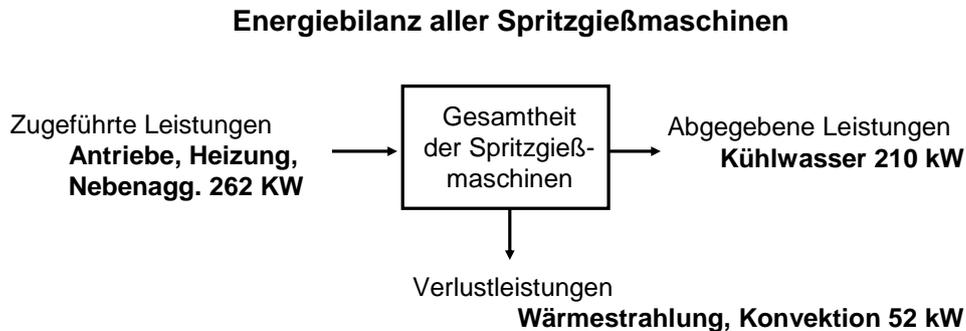


Abbildung 11: Energiebilanz aller Spritzgießmaschinen der Firma Schöfer

Die nachstehende Abbildung 12 zeigt die Energie- beziehungsweise Leistungsflüsse einer Spritzgießmaschine, welche der Maschine zugeführt, von der Maschine abgeführt beziehungsweise durch Verluste an die Umgebung abgegeben werden. Zum sogenannten Energieinput gehören unter anderem der Motor, die Heizung, Granulatzufuhr, Steuerung etc. . Outputseitig erhält man Hydraulikenergie, Kühlwasserenergie und eine im Verhältnis dazu äußerst geringe im Werkstück verbleibende Wärmeenergie. Wärmeverluste treten vermehrt als Konvektion und Wärmestrahlung auf.

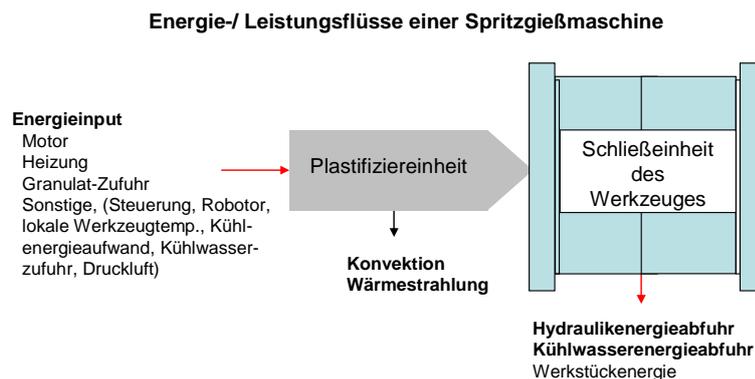


Abbildung 12: Energiebilanzierung Referenzspritzgießmaschine gesamt

In der nachstehenden Abbildung 13 ist die Referenzmaschine hinsichtlich der zugeführten und abgeführten Energieflüsse graphisch dargestellt. Die verbleibende Wärmeenergie im Werkstück wurde aufgrund ihrer sehr geringen Größe vernachlässigt.



Abbildung 13: Sankey Energieflussdiagramm

Prinzipiell wird die gesamte über Motor, Heizung und Nebenaggregate zugeführte Energie als Abwärme über das Hydrauliköl die Konvektion am Plastifizierzylinder bzw. über die Werkzeugkühlung abgeführt.

$$\text{Energiekennzahl} = \frac{\text{nutzbare Abwärmemenge}}{\text{zugeführte elektrische Energie}} [\%]$$

Aus der nutzbaren Abwärmemenge (Werkzeug- und Hydraulikkühlung) und der gesamt zugeführten elektrischen Energie lässt sich eine Energiekennzahl ableiten. In diesem Beispiel werden 80% der gesamten Energie über Hydrauliköl und Werkzeugkühlung abgeführt. Unter der Annahme dass diese 80% auch für andere Maschinentypen gelten, kann somit mit der vorhandenen zugeführten elektrischen Energie die zur Verfügung stehende Abwärmemenge berechnet werden (siehe unten). Die restlichen 20% der abzuführenden Energie werden durch Konvektion und Strahlungswärme im Bereich der Plastifiziereinheit an die Umgebung abgegeben. Aus technischer Sicht bieten 80% hohes Potential zur Abwärmenutzung hingegen ist es sehr schwierig die Abwärme aus Konvektion und Strahlungsabwärme (20%) zu nutzen.

Für das gesamte Referenzunternehmen ergibt sich daraus folgendes Bild:

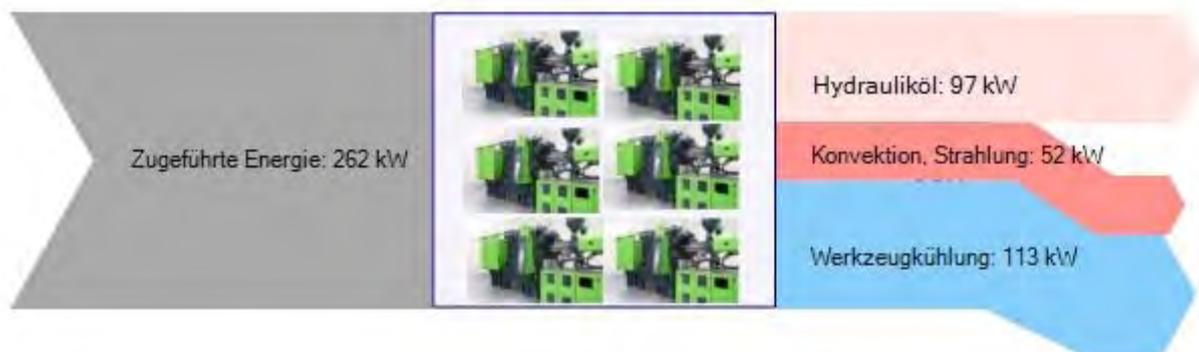


Abbildung 14: Energieflussdiagramm – Referenzunternehmen gesamt

In der folgenden Gegenüberstellung soll das technologisch bedingte Einsparpotential bezüglich der benötigten Energie an Hand einer Vergleichsuntersuchung aufgezeigt werden. Dazu wurden Maschinen mit den zur Zeit der Auslieferung üblichen Antriebskonzepten unter Verwen-

dung eines Kundenwerkzeuges bei gleichen Prozessabläufen und -bedingungen energetisch analysiert.

Wenn man davon ausgeht, dass Spritzgießmaschinen aufgrund der robusten Mechanik und eines guten Ersatzteilmarktes auch noch nach mehr als 20 Jahren sich bewähren und im Einsatz sind, lässt sich das Potential bezüglich Energieeinsparung / CO₂-Reduktion bei Umstellung alter Maschinen auf neue Maschinen mit zeitgemäßer Antriebstechnik auf zumindest 60 bis 70% folgern.

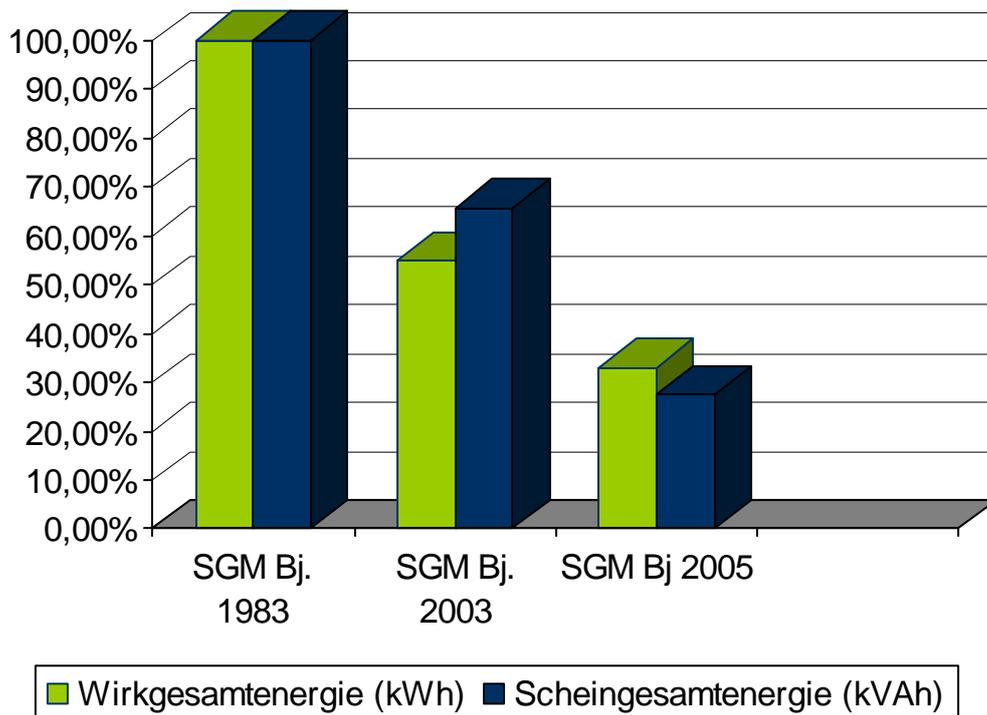


Abbildung 15: Energieverbrauch von Spritzgießmaschinen verschieden Alters

Insbesondere bei „kleinen“ Spritzgießmaschinen liefert allerdings eine entsprechende Amortisationsrechnung - alleine aufgrund des Energieverbrauchs - zur Zeit noch keinen Anlaß funktionsfähige „alte“ Maschinen zu ersetzen.

5.5. Recherche zur Abwärmenutzung in verwandten Industriebereichen

5.5.1. Allgemein

Die Abwärme von Maschinen und Anlagen kann in unterschiedlichsten Bereichen genutzt werden. Im Folgenden wird zwischen interner und externer Nutzung unterschieden.

Bei der internen Nutzung von Abwärme handelt es sich um die Nutzung direkt an der Anlage, wo diese entsteht. In den untersuchten Beispielen geht es vor allem um die Abwärmenutzung zur Verbrennungsluftvorwärmung bzw. zur Brennwertnutzung. Als Beispiele hierzu wurden die Abwärmenutzungen in einer Großbäckerei und in einer Ziegelei untersucht.

Wird hingegen die Abwärme an einem anderen Ort wieder verwendet, handelt es sich um eine externe Nutzung. Dazu muss die Abwärme über eine längere Strecke transportiert und eventuell auch zwischengespeichert werden. Externe Abwärmenutzungen sind beispielsweise eine Müllverbrennungs- oder eine Biogasanlage.

Grundsätzlich sollten jedoch bei der Untersuchung der Abwärme und bei der Verbesserung der Energieeffizienz folgende Schritte in genannter Abfolge durchlaufen werden:

1. Reduzierung der Abwärme
2. Feststellen welche Abwärmenutzung (thermische Nutzung oder die Nutzung zur Stromproduktion) unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoller ist
3. Thermische Abwärmenutzung an der Maschine (intern)
4. Thermische Abwärmenutzung zur externen Wärmenutzung

In dieser Studie ist das Hauptziel nicht eine Reduzierung der von der Spritzgießmaschine abgegebenen Wärme sondern die thermische Nutzung dieser Abwärme direkt an der Maschine bzw. auch deren Nutzung an externen Stellen.

5.5.2. Interne Nutzung von Abwärme

Bei Anlagen mit interner Nutzung wird die Abwärme direkt an selbiger Anlage, wo diese anfällt, an anderen Stellen z.B. zur Vorwärmung des zuführenden Materials oder zur Temperierung einzelner Anlagenabschnitte wieder verwendet. Im Folgenden wird die Abwärmenutzung zur Verbrennungsluftvorwärmung sowie Brennwertnutzung anhand verschiedener Umsetzungsbeispiele beschrieben.

Verbrennungsluftvorwärmung: Ein Abgasstrom, beziehungsweise Rauchgasstrom erwärmt die Verbrennungsluft im Luftvorwärmer.

Brennwertnutzung: Heiz- und Brennwert bilden die Grundlage der Klassifikation für Brennstoffe mit gebundenen oder freien Wasserstoffanteilen. Der Brennwert ist um die Kondensationswärme, welche betragsmäßig betrachtet wird, höher als der Heizwert.

Die Hauptvorteile von			
Verbrennungsluftvorwärmung		Brennwertnutzung	
Zeitgleichheit	Verfügbarkeit	Erhöhtes Abwärmeangebot	Schadstoffreduzierung

Tabelle 3: Hauptvorteile der Verbrennungsluftvorwärmung - Brennwertnutzung

- Bei der Verbrennungsluftvorwärmung liegen Abwärmefall z.B. Warmes Rauchgas und Wärmebedarf z.B. kalte Verbrennungsluft meist zeitgleich vor.
- Verfügbarkeit anderer Wärmesenken: Warmwasser und Raumwärme sind häufig nicht vorhanden oder aber mit Abwärme anderer Quellen versorgt.
- Das erhöhte Abwärmeangebot des nutzbaren Abwärmepotentials ist um bis zu 10 % höher.
- Eine Schadstoffreduzierung wird erreicht, indem man durch Kondensation verschiedene Schadstoffe auswäscht.

Werden Rauchgase aufgrund von Verbrennungsluftvorwärmung in die Nähe des Taupunktes gekühlt, dann bietet sich vor allem Verbrennungsluftvorwärmung, kombiniert mit Brennwertnutzung an.

Ein breites Anwendungsgebiet herrscht bereits bei der Verbrennungsluftvorwärmung vor, hingegen ist die Brennwertnutzung sowie die Verbrennungsluftvorwärmung bei Kleinanlagen praktisch noch ungenutzt.

Beispiel: Verbrennungsluftvorwärmung bei einer Thermoölanlage

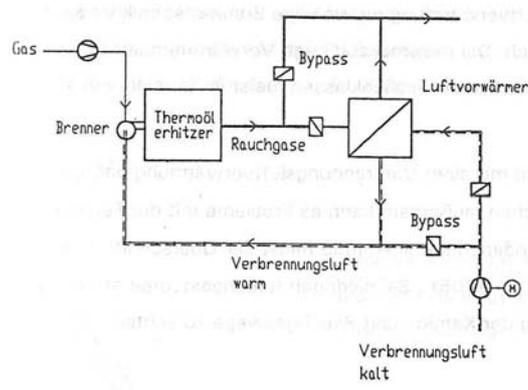


Abbildung 16: Thermoölanlage - Verbrennungsluftvorwärmung

Ausgehend von einer Rauchgastemperatur von 340°C, das entspricht jener Temperatur mit der die Rauchgase den Thermoölkessel verlassen, erwärmen diese die Verbrennungsluft im Luft-

vorwärmer auf 240°C. Aufgrund dieser Wärmeabgabe beträgt die Rauchgastemperatur nach dem Luftvorwärmer rund 180°C. Insgesamt können mittels Wärmerückgewinnung 6,5 % der eingesetzten Energie des Thermoölerhitzers wieder in das System bzw. die Anlage eingebracht werden.

[VDI Berichte 1296, 1997]

Das nachfolgende Beispiel zeigt die industrielle Anwendung einer Thermoölanlage in einer Großbäckerei. Das Prozessschaltbild wurde entsprechend des Ausgangsschaltbildes Abbildung 16: Thermoölanlage - Verbrennungsluftvorwärmung erweitert.

Beispiel: Thermoölanlage in einer Großbäckerei

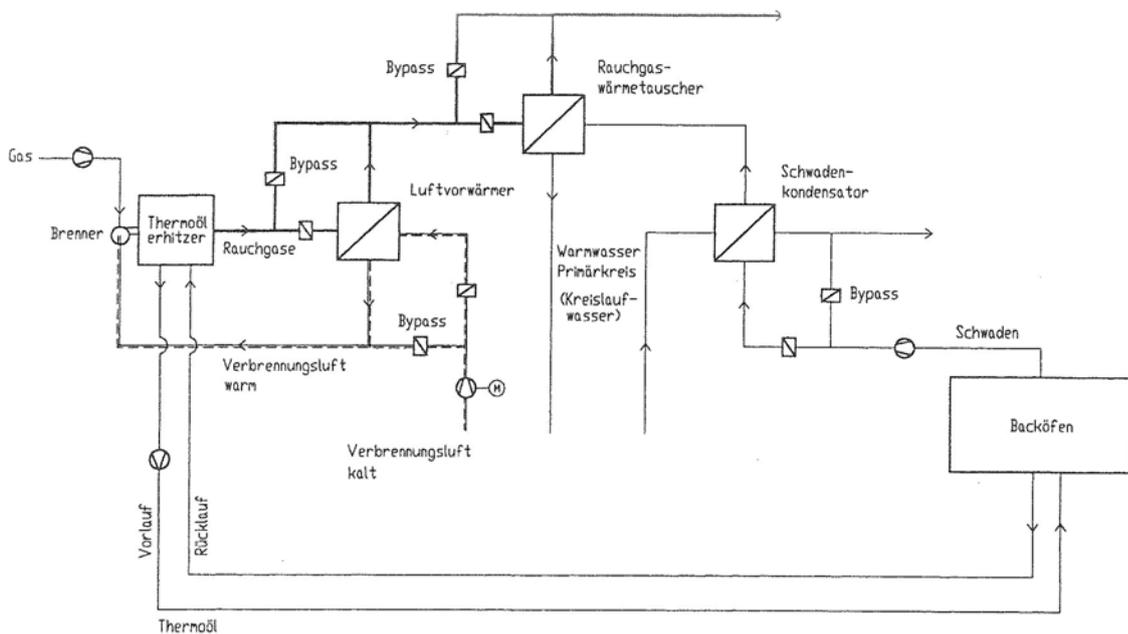


Abbildung 17: Großbäckerei Wärmerückgewinnungsanlage

Mittels Thermoölanlage, welche mit 1 MW Feuerungswärmeleistung beziehungsweise nachgeschalteter Wärmerückgewinnung ausgestattet ist, werden in einer Großbäckerei mehrere Backöfen versorgt.

Der Luftvorwärmer wird nach dem Thermoölerhitzer von den Rauchgasen durchströmt, hierbei wird im Wärmetauschverfahren (Rohrbündelwärmetauscher) die Wärme von den Rauchgasen an die kalte Verbrennungsluft abgegeben. Es folgt eine Verbrennungsluft erwärmung auf 240°C. Anschließend wird das Kreislaufwasser über die Abwärme der Rauchgase erwärmt (mittels Rauchgas-Wasser-Wärmetauscher). Im Wasser-Luft-Wärmetauscher, dem sogenannten Schwadenkondensator, wo die Kreislaufwasservorwärmung statt findet, werden die Backwaren kondensiert.

	Luftvorwärmer	Rauchgas- Wärme- tauscher	Schwadenkondensator
Wärmeleistung	62 kW	90 kW	240 kW
Primärmedium	Rauchgase	Rauchgase	Backschwaden
Eintrittstemperatur	340°C	180°C	200°C
Austrittstemperatur	180°C	70°C	55°C
Sekundärmedium	Verbrennungsluft	Wasser	Wasser
Eintrittstemperatur	15°C	50°C	15°C
Austrittstemperatur	240°C	65°C	50°C

Tabelle 4: WärmetauscherAuslegungsdaten [VDI Berichte 1296, 1997]

Thermische Energie wird aufgrund der Wärmerückgewinnung in Wärmetauschern, ausgehend vom Kreislaufwasser, in das Speicherverteilsystem übertragen. Eine Speicherung der Abwärme ist wegen der zeitlichen Divergenz des Auftretes der Abwärme und des Wärmebedarfes durch den Verbraucher notwendig. Durch die Wärmerückgewinnung können 12 % der eingesetzten Energie in Form von Warmwasser rückgewonnen werden, welches zum Beispiel zum Quellen von Körnern in der Teigbereitung oder zu Reinigungsmaßnahmen herangezogen werden kann. [VDI Berichte 1296, 1997]

Beispiel: Ziegelei Wärmerückgewinnung

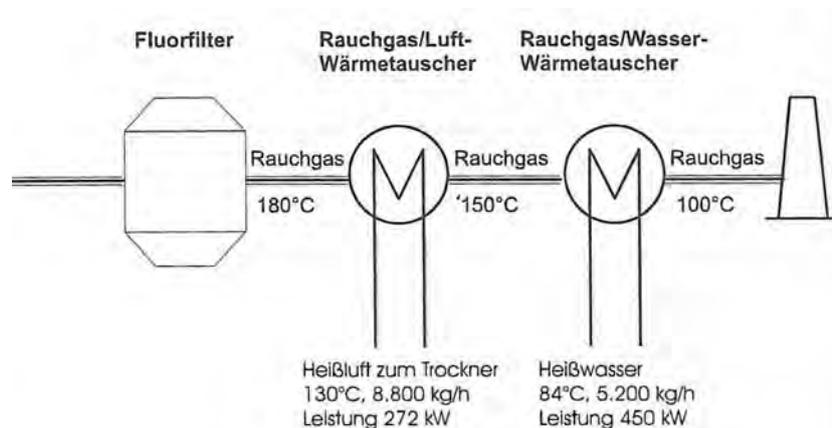


Abbildung 18: Ziegelei Wärmerückgewinnung Variante 1 [VDI Berichte 1296, 1997]

In Verbindung mit der Fluoremissionsreduzierung sollten Wärmerückgewinnungsmöglichkeiten für Rauchgase aus Tunnelöfen entsprechend der technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (kurz genannt TA Luft) diskutiert werden. Abbildung 18 zeigt ein Prozessschaltbild, indem das Rauchgas anfangs über einen Fluorfilter geleitet wird. Danach wird das erwärmte Rauchgas über einen Wärmetauscher geführt und erwärmt dort Luft. Diese Luft kann beispielsweise in Trocknern eingesetzt werden. Jetzt wird das Rauchgas durch einen zweiten Wärmetauscher geführt, wodurch Produktionswasser höher temperiert wird. Die nun letztendlich austretenden Rauchgase werden mit rund 100°C in den Kamin geleitet.

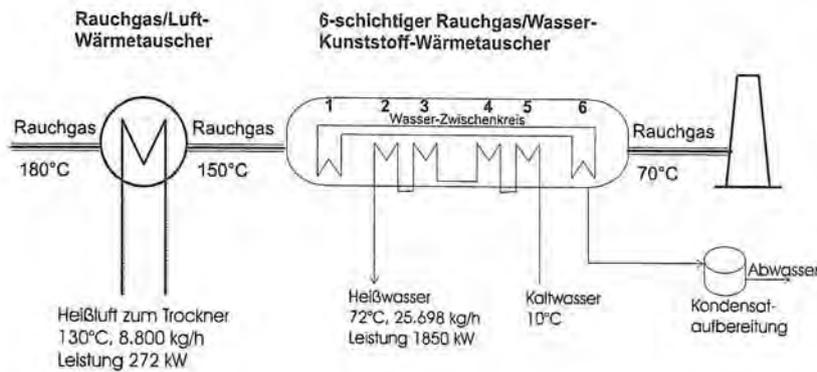


Abbildung 19: Ziegelei Wärmerückgewinnung Variante 2 [VDI Berichte 1296, 1997]

In Abbildung 19 ist ein Prozessschaltbild einer zweiten Variante einer Wärmerückgewinnung in einer Ziegelei ohne Fluorfilter dargestellt. Anfangs wird das Rauchgas über einen Wärmetauscher geleitet, wodurch sich dieses auf 150°C abkühlt. Der nachgeschaltete 6 – schichtige Kunststoff-Wärmetauscher überträgt die Rauchgaswärme auf einen Nutzwasserstrom. Das auf 70°C reduzierte Rauchgas gelangt letztendlich in den Kamin. Die erste Schicht des Kunststoff-Wärmetauschers bewirkt eine Rauchgasabkühlung auf 125°C, wobei diese entnommene Wärme in der 6. Schicht das vorhandene Rauchgas erneut aufheizt. Weiters erfolgt eine Rauchgasabkühlung auf rund 40°C in den Schichten 2 bis 5. Das so im Wärmetauscher entstehende Kondensat muss vor der Einleitung in die Kanalisation von Fluoranteilen (durch Fällung) gereinigt werden. Eine kontinuierliche Abwärmeentnahme ist Voraussetzung für eine Absenkung der in der TA – Luft geforderten Werte. [VDI Berichte 1296, 1997]

Beispiel: Abwärmenutzung des Abgases bei Aluminiumschmelzöfen

Ein gutes Anwendungsbeispiel stellt die Abwärmenutzung des Abgases bei Aluminiumschmelzöfen dar. In nachstehender Tabelle 5 ist beispielsweise ein Herd-/Wannenofen mit einer typischen spezifischen Schmelzenergie mit Kaltluftbrenner von 1080 kWh_{th}/t angeführt. Diese Abgasabwärmenutzung lässt sich hinsichtlich der Eignung als „gut“ bezeichnen. Beim Einsatz eines Regenerators, welcher alternierend mit Heißwasser und Kaltwasser durchströmt wird, wobei die Wärme zwischengespeichert wird, reduziert sich die spezifische Schmelzenergie auf rund 530 kWh_{th}/t wodurch sich eine Ersparnis von 550 kWh_{th}/t (50%) ergibt. Die Prozesstemperaturen bewegen sich bei den angeführten Verfahren zwischen 700 und 750 °C.

Industrieabwärmennutzungsbeispiele zur Verringerung der Schmelzenergie in Sekundärschmelzbetrieben:

Brennstoffbeheizte Aluminiumschmelzöfen					
Bauart	Abwärmennutzung aus dem Abgas (Eignung)	typische spez. Schmelz-Energien mit Kaltluft-Brenner	spez. Schmelz-Energie mit Regenerator	Ersparnis an Schmelz-energie	Abgas-temperatur
Schacht-Schmelz-Ofen	Gut	1.310 kWh _{th} / t	540 kWh _{th} / t	58 %	ca. 250 °C
Herd-/Wannenofen	gut (insbesondere Warmhalte-Öfen)	1.080 kWh _{th} / t	530 kWh _{th} / t	50 %	800 °C
2-Kammer-Schmelz-Ofen	aufwändig, da belastende Abgase	1.390 kWh _{th} / t	580 kWh _{th} / t	58 %	200 °C

Tabelle 5: Industrieabwärmennutzungsbeispiele zur Verringerung der Schmelzenergie in Sekundärschmelzbetrieben [ea-nrw.de, 2008]

5.5.3. Externe Nutzung von Abwärme

Bei der externen Abwärmennutzung wird die Abwärme einer Industrieanlage an einer anderen Anlage bzw. für eine andere Anwendung wieder verwendet. Nachfolgend sind unterschiedliche externe Abwärmennutzungsbeispiele angeführt. Diese reichen von einer Müllverbrennungsanlage aus öffentlicher Hand bis zu einer Biogasanlage zur Methanherstellung.

Fernwärme Wien - Müllverbrennungsanlage Spittelau

Allgemeine Beschreibung

Die Müllverbrennungsanlage Spittelau ist eine von drei thermischen Abfallbehandlungsanlagen der Fernwärme Wien GmbH. Mit einer installierten Gesamtleistung von 460 MW stellt die Anlage den zweitgrößten Erzeuger im Fernwärmeverbundnetz der Stadt Wien dar. Die im Werk untergebrachte thermische Abfallbehandlungsanlage mit einer Durchsatzleistung von 250.000 Jahrestonnen ist in das Verbundnetz integriert und speist im Jahresdurchschnitt 60 MW ein (Grundlastabdeckung). Zusätzlich können in 5 weiteren gas- bzw. gas-/ölbefeuerten Heißwasserkesseln zur Spitzenbedarfsabdeckung 400 MW an thermischer Leistung produziert werden. Aus dem thermischen Abfallbehandlungsprozess werden etwa 40.000 MWh Strom und 500.000 MWh Fernwärme produziert. Mit dieser Wärmemenge werden jährlich mehr als 60.000 Haushalte in Wien beheizt. [Wien Heizkraftwerk, 2008]

Technische Funktionsweise

Das heiße Wasser wird von der Müllverbrennungsanlage mit einer Temperatur von 90-150°C (je nach Außentemperatur) in das Fernwärmenetz eingeleitet. Die Übertragung der Wärme in die Hausanlage erfolgt über einen indirekten Anschluss. Bei der indirekten Übergabe wird die Wärme durch einen Wärmetauscher übergeben. Trinkwasser wird immer indirekt erwärmt. Bei anderen Fernwärmenetzen wird auch ein direkter Anschluss, bei dem das Heißwasser direkt durch die Hausanlage fließt, angewendet. Das Temperaturniveau in den Wohnhausanlagen liegt bei 50-55°C.

Wärme- und Energiebedarf verschiedener Gebäudearten

Wie auch bei Müllverbrennungsanlagen (siehe 0) sowie bei anderen Fernwärmelieferanten kann die Abwärme genutzt werden um Haushalte, Büros und andere Industriegebäude mit Heizung und Warmwasser zu versorgen. Die folgenden Tabellen zeigen die Energieverbräuche bzw. Heizleistungen von Häusern aufgrund von unterschiedlichen Konstruktionen bzw. Bauweisen. Beispielsweise benötigt ein Passivhaus im Vergleich zu einem Standardhaus etwa 15 % der Heizleistung. Diese Daten werden für die Berechnung (siehe Kapitel 5.3.1) und Auslegung der Abwärmenutzung der Spritzgießmaschine benötigt.

Energieverbräuche / Heizleistungen von Häusern mit unterschiedlicher Konstruktion und Wärmedämmung				
<i>Als Durchschnitts-Einfamilienhaus wird ein Haus mit einer Wohnfläche von 130 m² angenommen.</i>				
Standardhaus	1300	[l/a]	13000	[kWh/a]
Niedrigenergiehaus	624	[l/a]	6240	[kWh/a]
Passivhaus	195	[l/a]	1950	[kWh/a]

Tabelle 6: Energieverbräuche und Heizleistungen von Häusern nach [austrotherm.com, 2008]

In Tabelle 7 sind die Richtwerte des durchschnittlichen Warmwasserverbrauches eines Haushaltes, beliefert mittels Fernwärme, dargestellt. Angeführt sind Wasserverbräuche mit den dazugehörigen äquivalenten Heizleistungen.

Richtwerte zum Warmwasserverbrauch [durchschnittlicher Warmwasserverbrauch (55°C) in einem 4 Personen Haushalt]					
		Wasser- verbrauch	Einheit	Heizleistung	Einheit
sparsam	nur duschen	21900 bis 36500	[l]	ca. 1460	[kWh/a]
durch- schnittlich	1 Vollbad pro Woche	36500 bis 65700	[l]	ca. 2920	[kWh/a]
nicht spar- sam	2 Vollbäder pro Woche	73000 bis 131400	[l]	ca. 4380	[kWh/a]

Tabelle 7: Warmwasserverbrauchsrichtwerte [esv.or.at, 2008]

Abwärmenutzung aus Biogas

Interessant erscheint die Abwärmenutzung von Biogasanlagen, da dort das Temperaturniveau sowie bei Spritzgießmaschinen vergleichbar niedrig ist. Allerdings wird das Biogas meist in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verströmt und die dabei wiederum entstehende Abwärme kann an anderer Stelle genutzt werden. In der Studie [Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008] wurden hierzu einige Anwendungen vorgestellt. Die für diese Studie relevanten Nutzungsmöglichkeiten - in *kursiv* - werden im Folgenden genauer behandelt:

- *Fernwärmeeinspeisung*
- *Frucht- und Gemüsesaftherstellung*
- *Aquakulturen*
- *Gewächshausheizung*
- Kälteerzeugung
- Mikrogasnetze
- Milchconditionierung
- Nahwärmenetze
- Organic-Rankine-Cycle – Anlage als Kombiprozess zum Motor - BHKW
- Trocknungsanlagen
- Wärmebereitstellung für Wäschereien
- Wärmespeicher

Technische Beschreibung einer Biogasanlage

In einer Biogasanlage wird durch die Vergärung von Bioabfällen Methangas erzeugt, das als Kraftstoff und zur Strom- bzw. zur Wärmeerzeugung genutzt werden kann.

Bioabfälle (Gülle, Speisereste etc.) werden angeliefert und zerkleinert. Die Störstoffe wie Kunststoff, Eisen bzw. Holz werden abgesiebt. Im nächsten Schritt erfolgt die Anmischung der biogenen Abfälle in Turbomixern (Stofflösern), wobei weitere mineralische und metallische Schwerstoffe abgezogen werden. Die Maische wird dann über die Hygienisierungsstufe in den Gärreaktor eingespeist. Dort verweilt die Maische 20 Tage. Für die Aufrechterhaltung der Prozesstemperatur wird eine Heizung benötigt, wobei in der Regel die Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk (BHKW) genutzt werden kann. In mesophilen Biogasanlagen liegt die Prozesstemperatur zwischen 38 und 42°C, bei thermophilen Biogasanlagen zwischen 50 und 56°C. Verschiedene Mikroorganismenstämme zerlegen die organischen Kohlenstoffverbindungen. Fette und Proteine aus organischen Substraten werden in einem vierstufigen Abbauprozess zerlegt. Am Ende entsteht Biogas. Dieses Gas ist ein Gemisch, das zu 50 bis 65 Prozent aus brennbarem Methan und zu 35 bis 50 Prozent aus Kohlendioxid besteht [Multitalent Biogas, 2007]. Grundsätzlich kann Biogas zum Heizen, zur Stromerzeugung sowie als Kraftstoff eingesetzt werden.

Abwärmemetemperaturen in einem Blockheizkraftwerk

In eine Biogasanlage ist meistens ein Blockheizkraftwerk angeschlossen in der das Biogas verstromt wird. Neben dem Strom wird weiters auch Wärme freigesetzt die zur Abwärmenutzung verwendet werden kann. In folgender Abbildung ist ein Beispiel der erreichbaren Abwärmemetemperaturen in den verschiedenen Stufen, dargestellt.

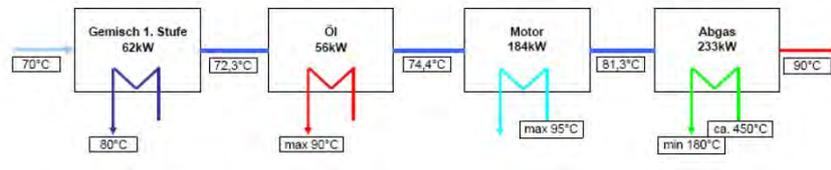


Abbildung 20: Abwärmen eines BHKWs bei 500kWel [Kirchmeyr, 2008]

Fernwärmeeinspeisung bei der Biogasanlage Wien

In der Biogasanlage Wien wird das im Gärreaktor erzeugte Biogas (37 – 38°C) nach der Entschwefelung mit Hilfe eines Heißwasserkessels (1100 kW) vollständig verbrannt und erwärmt dabei Wasser auf ein Temperaturniveau von 100 – 160°C. Diese Wärme wird über einen Wärmetauscher an das Fernwärmenetz abgegeben [Umweltzentrum Simmering, 2008]. Dieses Temperaturniveau ist notwendig um Wärme in das Fernwärmenetz abgeben zu können, da dort je nach Jahreszeit Wasser mit Temperaturen von 90 – 150°C bereitgestellt wird.

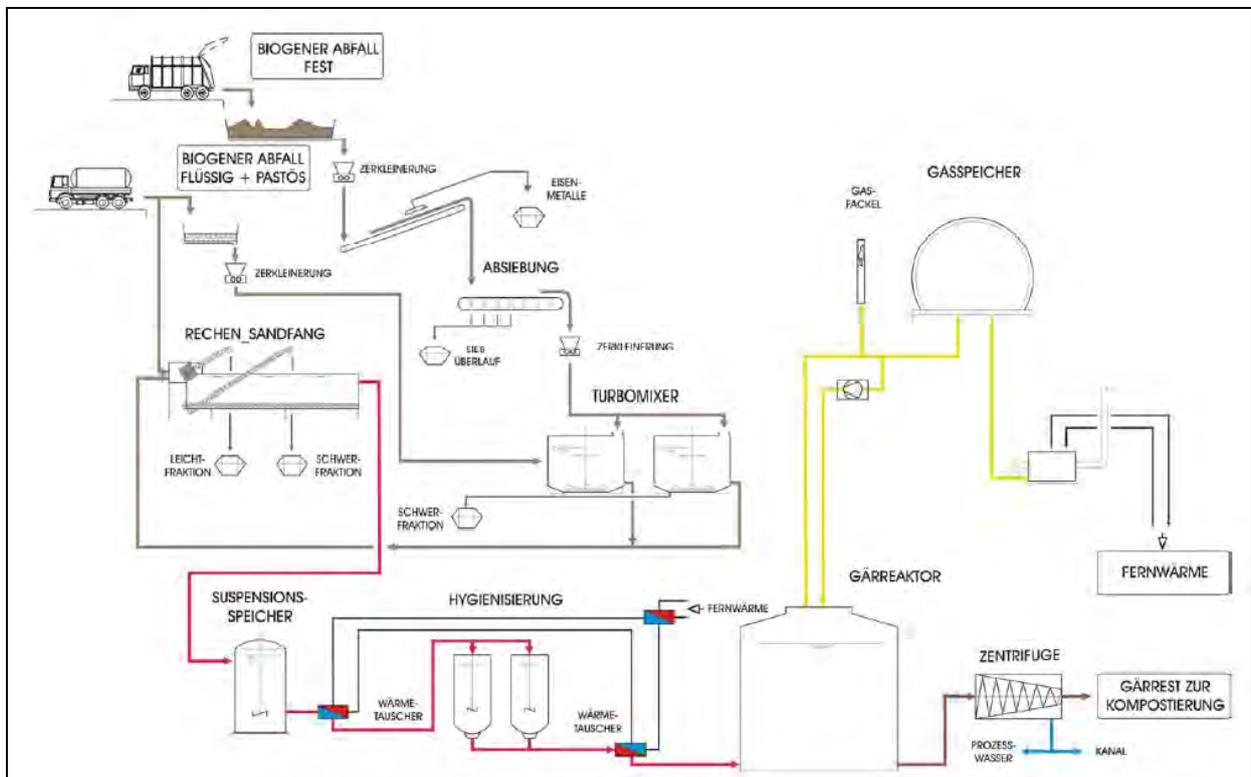


Abbildung 21: Schema der Biogasanlage Wien [Umweltzentrum Simmering, 2008]

Frucht- und Gemüsesaftherstellung

Bei der Fruchtsaftherstellung wird für verschiedene Prozessschritte Wärme benötigt: Für die Reinigung der Früchte und der Anlagenkomponenten, beim Entsaftungsprozess, bei der Herstellung von Konzentraten und der Pasteurisation. Für die Saftproduktion ist ein Warmwasserkreislauf für Temperaturen bis 90°C und ein druckbetriebenes Dampfsystem mit Temperaturen von 120 bis 200°C nötig. Der Wärmebedarf bei einer Saftproduktion kann über ein Dampfsystem abgedeckt werden. Das System besteht aus der Wasserversorgung, dem Verdampfer, dem Verdichter und dem Verteilernetz. Durch die unterschiedlichen Prozesstemperaturen ist es sinnvoll die Wärme an unterschiedlichen Punkten des Blockheizkraftwerks zu entnehmen.

„Wirtschaftlich gesehen ist die Erlössituation akzeptabel. ... der Energiekostenanteil für die Erzeugung von Wärme liegt bei größeren Herstellern bei 8 bis 15%“ [Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008]

Aquakulturen

Unter Aquakultur wird die Bewirtschaftung, Vermehrung und Aufzucht von Fischen, Krebstieren, Weichtieren und Pflanzen in natürlichen und künstlichen Teichen sowie industriemäßig in Netzkäfigen oder Becken verstanden. Im Rahmen dieses Projekts werden nur Aquakulturen in Kreislaufanlagen behandelt, da nur sie einen nennenswerten Wärmebedarf haben und daher für die Nutzung von Abwärme von Spritzgießanlagen in Frage kommen. Am sinnvollsten sind Kreislaufanlagen mit Süßwasserfischen, weil diese die geringsten Ansprüche an die Wasserparameter haben.

Wärme ist für die Temperierung des Wassers, im Speziellen für das zugeführte Frischwasser, und für die Erwärmung der Frischluft in der Halle notwendig. Der Wärmebedarf der Kreislaufanlage ist von der Größe der Anlage, vom Besatz und dessen Anforderungen an die Beckentemperatur abhängig. Als natürliche Wärmequellen können Luft, Wasser und Erdreich bis zu einer Temperatur von 20°C angesehen werden. Die typische Temperatur einer Wärmesenke, beispielsweise einer Fischfarm, liegt bei circa 15°C. [Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008; Industrielle und gewerbliche Nutzung der Wärmepumpen, 2000] Durch die niedrigen Temperaturniveaus wäre neben der Verwendung der Abwärme eines BHKW auch die direkte Abwärmenutzung des Biogases mit ca. 37°C möglich.

Gewächshausheizung

Um eine deutliche Reduzierung der Heizkosten eines Gewächshauses zu erreichen, bietet sich eine Anbindung zu einer Biogasanlage mit einem BHKW hinsichtlich der Abwärmebereitstellung an. Aufgrund der hohen Kosten des Wärmetransports sind die Transportwege so kurz als möglich zu halten. Die Dimensionierung eines Gewächshauses hängt von den Grundfaktoren, wie zum Beispiel dem Wärmeangebot der Biogasanlage, sowie den für die Pflanzenkulturen benötigten Temperaturen ab. Anhand von Heizlastprofilen, welche über die Gewächshausdaten beziehungsweise den Temperaturbedarf verschiedener Aufzuchtkulturen erstellt werden, lässt sich die Gewächshausgröße in Abhängigkeit zum Wärmebedarf bestimmen.

Gewächshäuser sind im Allgemeinen so gestaltet, dass auf ein optimales Verhältnis zwischen Isolierung und Lichtdurchlässigkeit geachtet wird. In Zentraleuropa werden Gewächshäuser in der Regel von Oktober bis März beheizt, hingegen muss in der übrigen Zeit während des Tages gelüftet werden. Während der Nachtzeit ist jedoch eine Beheizung vermehrt erforderlich. Für eine optimale Nutzung der Wärme, ist der Einsatz eines Pufferspeicher sinnvoll. So könnte die Wärme tagsüber gespeichert werden um nachts die Wärmeverbrauchsspitzen decken zu können.

„Bei den Gewächshausbetreibern ist aufgrund der relativ niedrigen Wärmekosten der Biogasanlage im Vergleich zu klassischen Heizungssystemen mit hoher Akzeptanz zu rechnen ... Bei der Beheizung von Gewächshäusern mit Biogas-Abwärme ist Wirtschaftlichkeit gegeben, daher ist diese Möglichkeit der Wärmenutzung durchaus interessant für Biogasanlagenbetreiber und für Gewächshausbetriebe“. [Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008]

Abwärme aus Schmelzwannen mittels ORC - Anlage

Bei der vorliegenden Anwendung wird durch den Einsatz des ORC-Prozesses nicht genutzte Abwärme von zwei Schmelzöfen in elektrische Energie umgewandelt. Beim vorliegenden Beispiel, der Gerresheimer Essen GmbH, dient ein Schmelzofenabgasstrom von 33.000 Nm³/h mit einer Temperatur von 370°C - äquivalent einer Abwärmeleistung von rund 4,4 MW - als Ausgangsbasis. Thermoöl wird mittels Wärmetausch auf eine Temperatur von 270°C gebracht, wodurch sich das Abgas auf 180°C abkühlt. Anschließend wird das erwärmte Thermoöl verwendet um das Arbeitsmedium WL 220 bei einem Druck von 20 bar zu verdampfen. Der hieraus entstehende Dampf wird im nächsten Prozessschritt einer einstufigen Dampfturbine zugeführt, wodurch ein Generator (570 kW_{el}) angetrieben wird, dessen Nettoleistung des Generators circa 500 kW_{el} beträgt.

In einem nachgeschalteten Zwischenwärmetauscher wird das nun expandierend vorliegende Arbeitsmedium in einem Kondensator verflüssigt, wobei sich eine Temperatur von 40°C einstellt. Aufgrund von thermodynamischen Gegebenheiten wird die Abwärme des Kondensators von 2 MW an die Umgebung abgegeben.

Geht man von einer jährlichen Betriebszeit von 8000 Volllaststunden aus, so erhält man eine elektrische Leistung von rund 4000 MWh, womit man in der Lage ist 1200 Haushalte ein Jahr lang zu beliefern. [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]

Gelatinefabrik versorgt Gebäude mit Abwärme mittels (Gas-) Wärmepumpe:

Unter Verwendung einer Gaswärmepumpe wird in einer Gelatinefabrik das 30°C warme Kühlwasser für Heizzwecke nutzbar gemacht. Mit der Abwärme werden eine Schule, ein Verwaltungsgebäude sowie mehrere Mehrfamilienhäuser beheizt.

Die Gaswärmepumpe entzieht dem Kühlwasser Wärme und überträgt diese auf ein Kühlmedium. Im nächsten Schritt wird das Kühlmedium verdampft. Beim Austritt wird dem Kühlmedium die Wärme entzogen. Die Abwärme zusammen mit der Nutzung der Motorabwärme wird für die Beheizung von Gebäuden verwendet. Die Leistung der Wärmequelle beträgt 400 kW, mit der Nutzung der Abwärme des Gasmotors erhöht sich die thermische Leistung der Anlage auf 700 kW. [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]

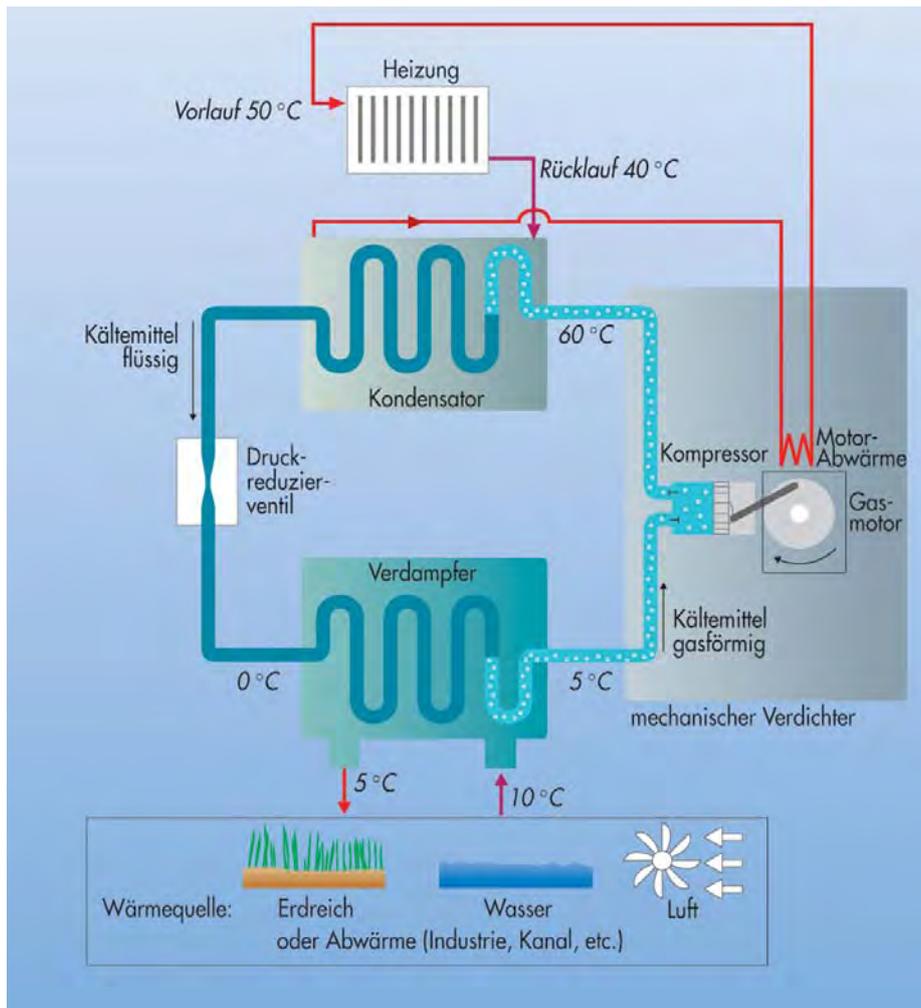


Abbildung 22: Schema der Gaswärmepumpe [ASUE, 2008]

Abwärmenutzung eines Walzwerkes mittels Wärmepumpe

Ein weiteres Beispiel für die Abwärmenutzung mittels Verwendung einer Wärmepumpe ist die Beheizung eines Freibades durch die Nutzung der Abwärme beim Walzen.

Das Aluminiumwalzwerk Ohle der Alcan Deutschland GmbH stellt Verpackungen und spezielle Menüschilder aus Aluminium her. Im Walzprozess fällt niedrig temperierte Abwärme - 45 bis 50°C - an. Diese musste aufwändig vernichtet werden. Die besagte Abwärme wird mittels einer Wärmepumpe auf ein für die Beheizung eines nahegelegenen Freizeitbades notwendiges Temperaturniveau von rund 75°C angehoben. Zusätzlich zur Wärmepumpe wird auch noch die Abwärme des Ölkühlers, des Motorkühlers sowie des Abgases genutzt. Auf diese Weise stehen bis zu 1,2 MW an thermischer Energie zur Verfügung.

Den Antrieb der Wärmepumpe übernimmt ein mit Erdgas betriebener Gasmotor. Er ist darüber hinaus über eine elektromagnetische Kupplung noch mit einem Generator von 220 kW Leistung verbunden, sodass die Anlage neben thermischer auch elektrische Energie liefert. Der Wärmetransport vom Walzwerk zum Bad erfolgt über eine rund 740 m lange Leitung. Die Vorlauftemperatur beträgt rund 75°C, das rücklaufende Wasser besitzt ein Temperaturniveau von 45 bis 50°C. Die Leitungsverluste betragen Messungen zufolge nicht mehr als zwei Grad Celsius.

Der Gasmotor soll immer im wirtschaftlichen Volllastbereich betrieben werden. Dazu kann zwischen Wärme- und Stromproduktion umgeschaltet werden. Verringert sich der Wärmebedarf des Freibades steigt im Gegenzug die Stromerzeugung an. [ASUE, 2008]

Fernwärmeeinspeisung aus der Abwärme einer Kartonfabrik

In Schweden ist die Fernwärmeversorgung besonders gut ausgebaut. 50 TWh Energie werden über Fernwärme bereitgestellt. Ein nicht unwesentlicher Anteil von 11 % wird über industrielle Prozesse generiert. Ein Beispiel hierfür ist die Nutzung der Abwärme der Kartonfabrik Ass Doman, welche 23.500 Bewohner mit Wärme beliefert.

Die Abwärme fällt im Kartonwerk mit 72°C an und wird mit Hilfe des Prozessdampfes auf die Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes von 86°C aufgeheizt. Mit einer Übertragungsleistung von 20 MW (82.000 MWh) wird die Wärme über ein 18 km langes Fernwärmenetz an die Stadtbewohner verteilt.

Zusammenfassung

Nachfolgende Tabelle 8 zeigt eine Übersicht einzelner unterschiedlicher Abwärmennutzungsanwendungen.

Bezeichnung der Anwendung	Eingesetztes Verfahren	Prozesstemperatur	Nutzbare Abwärmemetemperatur
Interne Abwärmennutzung			
Großbäckerei	Rauchgas-Wasser-Wärmetauscher	300 bis 340°C (Gas)	240°C (Luft)
Großbäckerei	Schwadenkondensator	200 bis 220°C (Schwaden)	50°C (Wasser)
Ziegelei	2 Wärmetauscher Fluorfilter vorgeschaltet	180°C (Gas)	100°C (Gas)
Ziegelei	2 Wärmetauscher ohne Fluorfilter	180°C (Gas)	70°C (Gas)
Aluminium Schacht-Schmelz-Ofen	Wärmetauscher	700 -750 °C	ca. 250 °C
Aluminium Herd-/Wannenofen			800 °C
Aluminium 2-Kammer-Schmelzofen			200 °C
Externe Abwärmennutzung			
Müllverbrennungsanlage - Fernwärme	Wärmetauscher	> 1000°C	90 bis 150°C (Wasser)
Fernwärmeeinspeisung –	Vergärungsprozess –	38 bis 56°C	100 – 160°C

Biogasanlage	Heißwasserkessel	(Gas)	
Frucht- und Gemüseherstellung	Biogas-BHKW	bis 500°C	90°C (Wasser) bis 200°C(Dampf)
Aquakulturen	Biogas-BHKW oder Wärmepumpe	20°C (Luft, Wasser, Erdreich)	15°C (Wasser)
Gewächshausheizung	Biogas-BHKW	80°C (Wasser)	60°C (Wasser)
Abwärme aus Schmelzwannen	ORC Prozess	370°C (Abgas)	270°C (Thermoöl)
Gelatinefabrik	Gaswärmepumpe	30°C (Kühlwasser)	60°C
Abwärmenutzung Walzwerk	Wärmepumpe	45 bis 50°C	75°C
Fernwärmeeinspeisung aus Kartonfabrik Abwärme	Wärmetauscher	72°C	86°C

Tabelle 8: Übersicht Abwärmenutzungsanwendungen

Bei den Beispielen zur **internen Abwärmenutzung** geht es vor allem um die Verwendung von Abluft mit hohem Temperaturniveau verschiedener Öfen zur Materialvorwärmung, zu verwenden. Hierzu wird die Wärme des Rauchgases mittels Wärmetauscher an Luft oder an Prozesswasser abgegeben.

Die Abwärmenutzung des Abgases bei Aluminiumschmelzöfen zeigt bei den verschiedenen Bauarten eine Einsparung an aufzuwendender Schmelzenergie von bis zu 58%. Hingegen werden bei der Verbrennungsluftvorwärmung in einer Thermoölanlage oder bei der Luftvorwärmung in einer Bäckerei mit Einsatz von Wärmetauschern 6 – 12 % der eingesetzten Energie zurückgewonnen.

Aufgrund geringer Transportwege ist Abwärmenutzung an Ort und Stelle optimal. Muss die Abwärme über weite Strecken transportiert werden ist dies meist mit hohen Verlusten verbunden, beziehungsweise ist der Aufwand für Isolierung sehr hoch. Daher wäre eine interne Abwärmenutzung einer externen meist vorzuziehen.

Dies wäre auch bei Spritzgießmaschinen eine mögliche Nutzung der Abwärme. Eine Idee wäre die Plastifiziereinheit einzuhausen um die Konvektionswärme zu sammeln und an anderer Stelle zur Vorwärmung des Kunststoffgranulats zu verwenden. Allerdings ist dies aus Prozesssicht mit einer Veränderung des Spritzgußprozesses sowie aus technischer Sicht bei der Umsetzung der Vorwärmung des Granulats schwer zu realisieren.

Bei der **externen Abwärmenutzung** ist ersichtlich, dass wenn die Abwärmtemperatur über der notwendigen Temperatur zur Abwärmenutzung ist, die Übertragung sehr einfach über Wärmetauscher erfolgen kann. Sind die Abwärmtemperaturen vergleichbar niedrig so werden

diese mittels Wärmepumpe, ORC-Prozess oder mittels BHKW auf höheres Temperaturniveau gebracht um den Energieinhalt an anderer Stelle sinnvoll nutzen zu können.

Beispielsweise wird durch die Verbrennung des Restmülls in der Verbrennungsanlage über 1000°C erreicht. Mit dieser Temperatur ist es relativ einfach das Warmwasser für das Fernwärmenetz auf 90 – 150°C (je nach Jahreszeit) aufzuwärmen.

Hingegen ist die Prozesstemperatur eine Biogasanlage mit 38-42°C eine viel niedrigere, die zur Abwärmenutzung nur bedingt geeignet ist. Das Biogas kann jedoch in einem BHKW verbrannt werden, indem auf der einen Seite Strom und auf der anderen Seite Abwärme mit nutzbarem Temperaturniveau von 50 – 500°C erzeugt wird. Für das hier untersuchte Beispiel der Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschine ist die Verbrennung mittels BHKW nicht realisierbar jedoch sind die Anwendungsbeispiele der Abwärmenutzung z.B. Gewächshausheizung relevant.

Vielversprechender scheint die Verwendung von Wärmepumpen. Hierbei wird Wärme von niedrigem Temperaturniveau aufgenommen und unter Energieaufwand bei höherer Temperatur wieder abgegeben. Bei den untersuchten Beispielen wurden Temperaturen von 30 bzw. 45°C mittels Wärmepumpe auf 62 bzw. 75°C angehoben und für Gebäudeheizung bzw. für die Einspeisung ins Fernwärmenetz genutzt.

Für die Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen sind daher folgende Anwendungen interessant:

- Interne Nutzung an der Maschine zur Vorwärmung des Kunststoffgranulates
- Nutzung der Abwärme in der Firma zum Heizen der Büroräume
- Externe Heizung eines Gewächshauses bzw. Bereitstellung von Fernwärme für anliegende Wohngebäude

Im nächsten Kapitel erfolgt die genauere Betrachtung der für die unterschiedlichen Anwendungen benötigten Technologien.

5.5.4. Technische Lösungen zur Abwärmenutzung

Zur Abwärmenutzung stehen verschiedene Technologien die je nach Anwendung, Temperaturniveau, nach dem verwendeten Medium, etc. eingesetzt werden können. Folgende technische Lösungsmöglichkeiten der Abwärmenutzung werden beschrieben:

- Wassererwärmung mittels Wärmetauscher
- Stromerzeugung mittels Mikro KWK-Anlage
- Stirling Mikro-Kraft Wärme Kopplungstechnologie
- Wärmepumpe und Gaswärmepumpe
- ORC – Beschreibung
- Speichermöglichkeiten der Abwärmenutzung

Wassererwärmung mittels Wärmetauscher

Wärmetauscher werden heutzutage in den verschiedensten Bereichen eingesetzt. Beispielsweise finden sich Anwendungen in der Trinkwassererwärmung, Hallenbadwassererwärmung oder auch der Erwärmung von Brauchwasser für gewerbliche Nutzungen z.B. Brauchwasserbetriebene Handwaschbecken. Da es sowohl Heute als auch in der Zukunft immer wichtiger wird, nicht genutzte Energie zu minimieren beziehungsweise vorhandene ungenutzte Energie eines Mediums auf andere Medien zu übertragen, gilt der Wärmetauscher als unverzichtbar für die Wärmeübertragung.

Wärmetauscher können hinsichtlich der Thermischen Wärmeübertragung in direkte, indirekte und halbdirekte Wärmeübertragung unterteilt werden.

Direkte Wärmeübertragung

Es handelt sich hierbei um eine kombinierte Wärme- sowie Stoffübertragung von trennfähigen Stoffströmen.

Anwendung: Nasskühlturm

Indirekte Wärmeübertragung

Die Stoffströme sind hier, mittels wärmedurchlässiger Wand, räumlich voneinander getrennt..

Indirekte Wärmeüberträger werden auch als Rekuperatoren bezeichnet.

Anwendungen: Heiz- und Kühlregister, Gegenstrom-Schichtwärmetauscher, Autokühler, Plattenwärmeüberträger, Spiralwärmeüberträger, Rohrbündelwärmeüberträger, U-Rohr-Wärmeüberträger, etc.

Halbdirekte Wärmeübertragung

Beide Stoffe werden zeitversetzt mit dem Wärmespeicher in Kontakt gebracht. Der Speicher wird alternierend durch das heißere Medium erwärmt und danach durch das kältere Medium abgekühlt, somit erfolgt die Wärmeübertragung der thermischen Energie vom heißeren auf das kältere Medium. Bezeichnet werden diese Wärmeüberträger als Regeneratoren.

Anwendungen: Rotationswärmeübertrager (bewegliche Speichermassen), Wärmerad, Winderhitzer oder Stirlingmotor (ortsfeste Speichermassen), etc..

Das Ausmaß der Wärmeübertragung ist im starken Maße von der geometrischen Führung bei der Stoffströme zueinander abhängig. Man unterscheidet die Führung der Stoffströme in vier Grundformen:

Gleichstrom

Strömt ein wärmeres Fluid 1 und ein kälteres Fluid 2 in gleicher Richtung (getrennt durch eine Trennwand eines Wärmeübertragers), so entstehen die Temperaturbedingungen in nachstehender Abbildung 23. Aufgrund des Wärmetransportes, welcher durch die Trennwand erfolgt, sinkt die Temperatur des wärmeren Fluides von $T_{w,A}$ auf $T_{w,E}$ und die des kälteren steigt von $T_{k,A}$ auf $T_{k,E}$. Die Anfangstemperaturdifferenz ΔT_A zwischen den Fluiden beträgt $T_{w,A} - T_{k,A}$. Sie fällt entlang der Wärmetauscherfläche A der Trennwand bis zur Endtemperaturdifferenz ΔT_E , welche als $T_{w,E} - T_{k,E}$ definiert ist. [Thermische Verfahrenstechnik, 2001]

ΔT_A ... Anfangstemperaturdifferenz

ΔT_E ... Endtemperaturdifferenz

A ... Austauschfläche

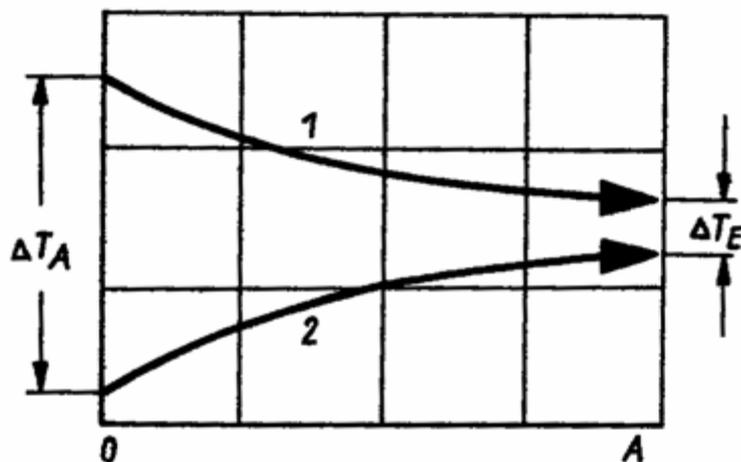


Abbildung 23: Stoffströmung bei Gleichstrom [Friedl,2001]

Die Triebkraft strebt mit größer werdender Austauschfläche und Zeitspanne gegen Null, da sich beide Fluide in ihren Endtemperaturen gegeneinander annähern.

Gegenstrom

Abbildung 24 zeigt zwei Fluide bzw. deren Temperaturverhältnisse, welche entgegengesetzt angeordnet im Gegenstromverfahren, durch eine Trennwand getrennt, strömen.

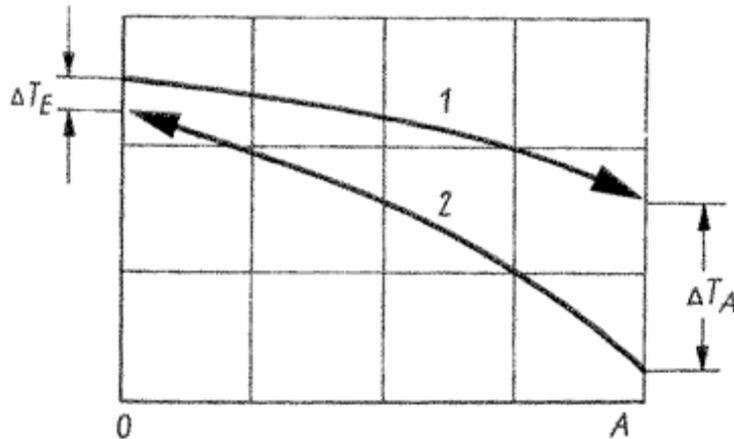


Abbildung 24: Stoffstromführung bei Gegenstrom [Friedl, 2001]

Kreuzstrom

Die Stoffstromführungen kreuzen sich beziehungsweise liegt die geometrische Anordnung zwischen der Gegenstrom-, sowie der Gleichstromanordnung. Weitere Kombinationen betreffend der Grundformen finden große Verbreitung, da sich dadurch ihre Vorteile ergänzend aufeinander auswirken.

Kreuzgegenstrom

Das Tauschen der Stoffstromtemperaturen erfolgt analog zur Gegenstromanordnung, wobei sich besagte Stoffströme wiederholt kreuzen.

Anwendung findet der Kreuzstromwärmetauscher zum Beispiel beim Kondensationswäschetrockner.

Der Vorteil des Gegenstromwärmetauschers gegenüber dem Kreuzstromwärmetauscher liegt in der deutlich längeren Austauschfläche, wodurch ein Wirkungsgrad von über 90% erzielt werden kann, hingegen werden beim Kreuzstromwärmetauscher Wirkungsgrade von ca. 60% erreicht.

Stromerzeugung mittels Mikro KWK-Anlage

Die Mikro-Kraft-Wärme-Kopplung (Mikro-KWK) steht für eine Klasse von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die das unterste Leistungssegment der KWK abdecken. Sie ist vor allem für den gebäudeintegrierten Einsatz bei Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie im Kleingewerbe geeignet.

- Stirling Mikro-Kraft Wärme Kopplungstechnologie (am Beispiel Firma ENATEC)

Für die Kombination des Freikolben-Stirling-Motors mit regulärer Brennwertechnologie gibt es bereits eine Anzahl ergänzender Komponenten und Systeme. Der Anschluss des Stirling-Generators an das öffentliche Netz erfolgt über eine sogenannte Gridbox (entwickelt von den Firmen Enatec & Magnetics Enterprise B.V.). Diese Gridbox sorgt für die Synchronisation und den Anschluss an das Netz sowie für die gesetzlich vorgeschriebene Sicherung des Systems.

Weiters verfügt das System über einen speziell auf den Stirling-Betrieb abgestimmten Gasbrenner. Externe Verbrennung ist einer der Aspekte, durch die die Stirling-Technologie sich von Diesel- und Ottomotoren, bei denen die Verbrennung im Motor selbst erfolgt, unterscheidet. Der große Vorteil externer Verbrennung ist die außerordentlich gute Überwachung des Verbrennungsprozesses, wodurch die Schadstoffemission auf ein Mindestmaß beschränkt werden. Letztendlich dienen die Kenntnisse für die erfolgreiche Integration des Stirling-Generators und des Heizkessels als Ausgangspunkt für das grundlegende Systemmodell der Darstellung in Abbildung 25.

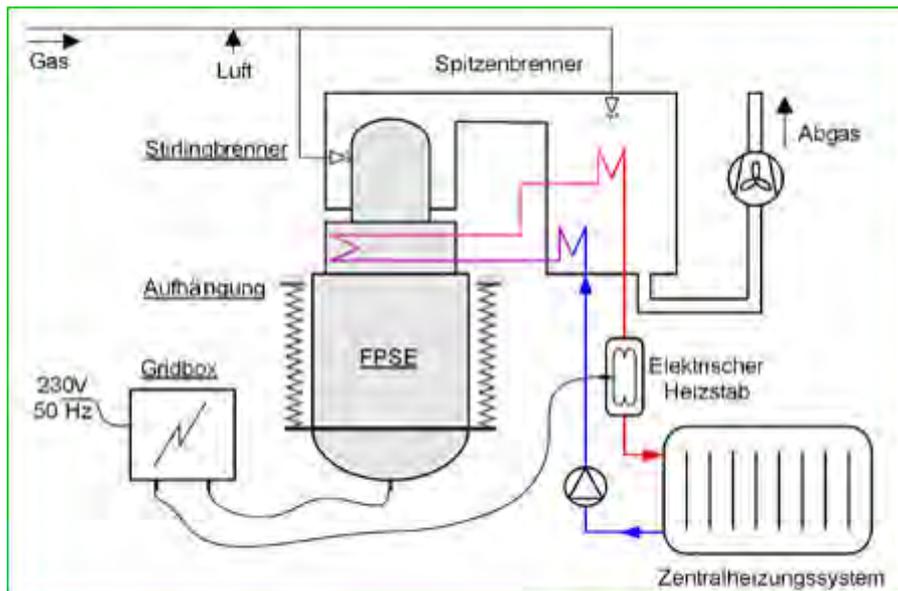


Abbildung 25: Grundlegendes Flussdiagramm einer Stirling Mikro-KWK-Anlage [enatec.com, 2008]

Der Darstellung in

Abbildung 25 entsprechend, enthalten die Geräte einen Stirling-Brenner, der zwischen 4 und 9 kW modulierbar ist. Die Wärme des Stirling-Brenners wird teilweise an den Stirling-Generator und teilweise an das Wasser des Zentralheizungssystems abgegeben. In den meisten Fällen wird auch ein Spitzenlastbrenner installiert sein, der zugeschaltet wird, wenn der Wärmebedarf größer ist als die Leistung des Stirling-Brenners. Die Leistung dieses Brenners wird vom Kesselhersteller bestimmt und liegen voraussichtlich zwischen 6 und 24 kW, abhängig von der gesamten Kesselleistung und der zuzuführenden Menge Brauchwasser. Beide Brenner können modulieren, so dass immer Wärme mit hohem Komfort geliefert werden kann.

- Technische Spezifikation von Mikro-Kraft-Wärme-Kopplungsgeräten

Die Mikro-KWK-Geräte, können aus elektrischen Zentralheizungen mit einer modulierenden Leistung von 4 bis etwa 35 kW thermisch (bedingt durch den anzuwendenden Spitzenbrenner) bestehen. Die Geräte werden auf Grund des Wärmebedarfs angesteuert und können abgesehen von Wärme für Heizung oder Brauchwasser maximal 1 kW elektrische Leistung liefern. Diese Elektrizität ist unmittelbar als 230 V bei 50 Hz verfügbar und kann im Haus verbraucht oder an das Stromnetz zurückgeleitet werden [enatec.com, 2008].

Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe ist eine Einrichtung, die einen Wärmestrom bei niedriger Temperatur aufnimmt (kalte Seite) und unter Aufwand hochwertiger Energie bei höherer Temperatur wieder abgibt [VDI 2067]. Das heisst, dass Wärme bei höherer Temperatur abgegeben wird und zum Heizen oder auch für das Warmwasser genutzt werden kann.

[VDI 2067, 1998]

Bei Wärmepumpen werden hauptsächlich Absorptions- bzw. Kompressionswärmepumpen eingesetzt.

- Bei der Kompressionswärmepumpe wird der physikalische Effekt der Verdampfungswärme genutzt. Das Kältemittel wechselt in einem Kreislauf vom flüssigen in den gasförmigen Zustand.
- Absorptionswärmepumpen werden in der Regel mit Erdgas betrieben. Im Prinzip basieren diese auf denselben physikalischen Grundlagen wie die Kompressionswärmepumpen. Anders als bei diesen Wärmepumpen haben diese thermischen Verdichter – anstatt eines Mechanischen. Dabei werden Kältemittel eingesetzt, die schon unter niedrigen Temperaturen und geringem Druck verdampfen, Wärme mit Umgebungstemperatur aufgenommen wird.

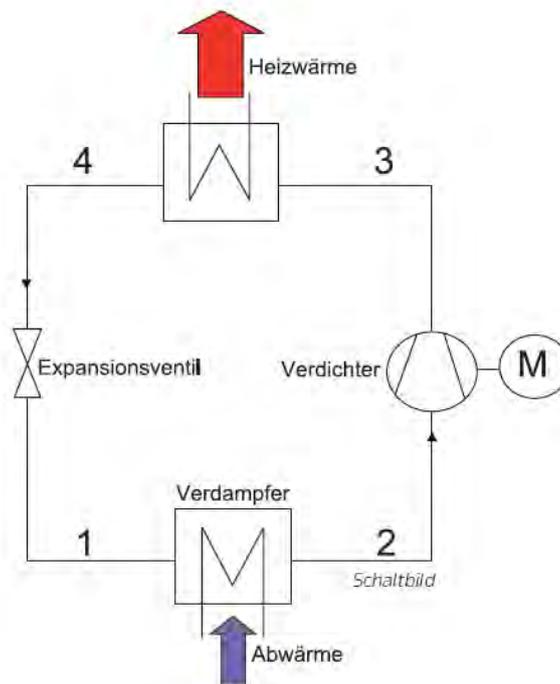


Abbildung 26: Vereinfachtes Wärmepumpenprozess Schaltbild [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]

In Abbildung 24 ist das Schaltbild einer Kompressionswärmepumpe dargestellt. Die einzelnen Prozessschritte werden im Folgenden genauer beschrieben.

- 1 → 2 Verdampfung des Kältemittels aufgrund von Abwärme Zufuhr in das System (erfolgt sowohl bei niedrigem Druck und Temperatur)

- 2 → 3 Mittels Verdichter wird das Kältemittel auf Kondensationsdruck und Temperatur komprimiert
- 3 → 4 Es erfolgt der Übergang in den flüssigen Aggregatzustand im Kondensator (Kältemittel gibt Wärme an das Heizmittel ab)
- 4 → 1 Expansion des Kondensates – Abkühlung auf ein Niveau unterhalb der Abwärmetemperatur (somit ist eine neuerliche Wärmeübertragung auf das Kältemittel möglich)

Im Wärmepumpenprozess verwendete Verdichter können wahlweise mit Elektromotoren oder aber auch Verbrennungsmotoren betrieben werden. Der Einsatz von Verbrennungsmotoren erhöht den Anlagenwärmeertrag deutlich, Elektromotore hingegen bewirken aufgrund ihres höheren Wirkungsgrades einen höheren COP Wert (siehe unten). Nachteilig wirken sich bei der Verwendung von Verbrennungsmotoren die höheren Investitionskosten beziehungsweise die aufwendigere Wartung aus. Trotzdem sind bei kontinuierlich anfallender industrieller Abwärme besagte Verbrennungsmotore zu favorisieren, da durch den Einsatz eines Brennstoffes die erforderliche elektrische Energie ersetzt werden kann.

Definition COP

Mit Coefficient Of Performance - kurz COP - wird der thermische Wirkungsgrad / Leistungszahl von Wärmepumpen und Kältemaschinen bezeichnet. Der COP ist der Quotient aus der abgegebenen Wärme Q_0 , zur aufgewandten elektrischen Arbeit $W_{\text{elektrisch}}$.

$$COP = \frac{Q_0}{W_{\text{elektrisch}}}$$

Abbildung 27 veranschaulicht qualitativ den Coefficient of Performance (COP) in Abhängigkeit der Wärmequellentemperatur einer Wärmepumpe. Der Wärmepumpenprozess beinhaltet einen elektrisch betriebenen Verdichter mit einer Kondensationstemperatur von 60°C.

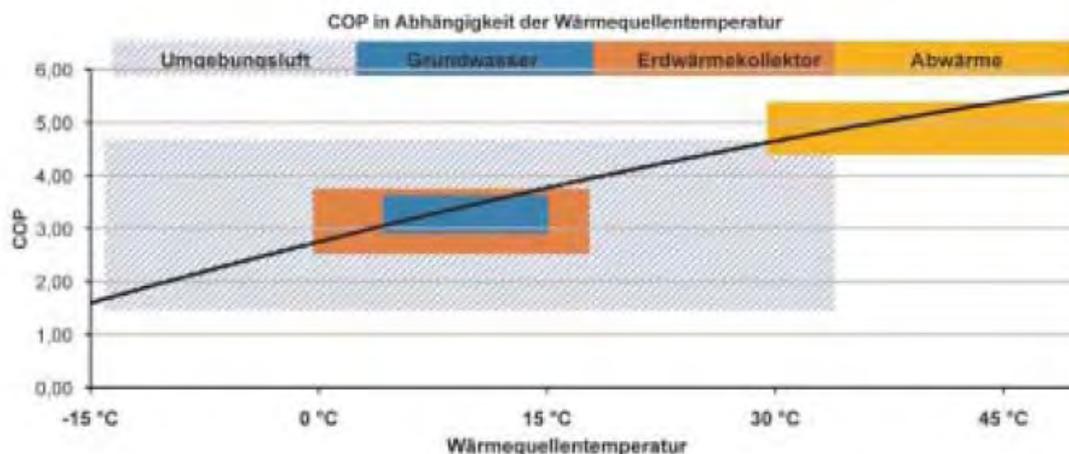


Abbildung 27: Coefficient of Performance – COP [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]

Die in der Abbildung dargestellten farblich unterschiedlichen Felder geben Auskunft über die allgemeinen Temperatur- und COP-Bereiche differierender Wärmequellen. Anhand des Umgebungsluft Bereiches, welcher sich von rund -14°C bis zu ungefähr 35°C erstreckt, weist der COP-Wert Größen von 1,7 bis zu 4,9 auf. Aufgrund der niederen Außentemperaturen in der Heizperiode ergibt sich trotz der höchsten Leistungsanforderungen an Wärmepumpen ein äußerst niedriger COP-Wert.

ORC – Prozess

Unter ORC (Organic-Rankine-Cycle) versteht man eine Kraft-Wärme-Kopplung unter Verwendung organischer Substanzen wie zum Beispiel Silikonöle, Kohlenwasserstoffe beziehungsweise Fluorkohlenwasserstoffe, welche als Arbeitsmedien kombiniert mit Biomassefeuerungen genutzt werden. Besagte Arbeitsmedien haben den Vorteil gegenüber Wasser, dass sie bis zu Temperaturen von 350°C eingesetzt werden können – jedoch bei höheren Massenströmen. Beim ORC-Prozess wird Wärme in mechanische Arbeit und anschließend über einen Generator in Strom umgewandelt. Ausgehend von einem Biogas-BHKW (Blockheizkraftwerk) kann die Wärmeenergie der gesamten überschüssigen Abwärme oder der Abgaswärme in einem Sekundärprozess beispielsweise zur Stromerzeugung genutzt werden.

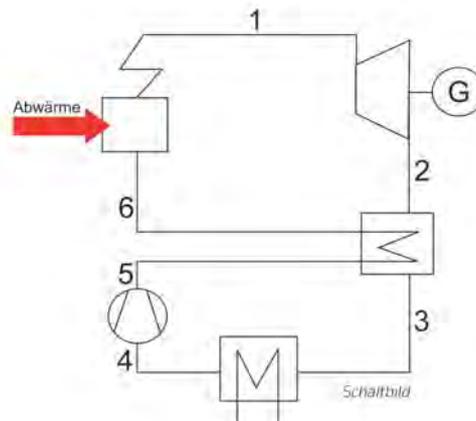


Abbildung 28: ORC-Prozess Schaltbild [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]

Die voranstehende Abbildung 28 zeigt das Schaltbild des ORC-Prozesses und kann wie folgt in einzelnen Schritten erklärt werden:

- 1 → 2 Arbeitsmittel Expansion in der Turbine – Stromerzeugung mittels Generator
- 2 → 3 Innerer Wärmetausch im Prozess, ergibt Wirkungsgradsteigerung
- 3 → 4 Arbeitsmittel Kondensation
- 4 → 5 Druckerhöhung im Verdichter
- 5 → 6 Vorwärmung durch Prozesswärme mittels innerem Wärmetausch
- 6 → 1 Arbeitsmittel Erwärmung, Verdampfung und Überhitzung durch die zugeführte Abwärme

Die Abwärme, welche im Prozessschritt 6 nach 1 dem System zugeführt wird, stammt beispielsweise von einer in einer Biogasanlage erzeugten Wärme und wird mittels Thermoölkreislauf an den ORC-Prozess herangeführt und übertragen. Prinzipiell sind ORC-Anlagen so aufgebaut, dass diese mit zwei voneinander getrennten Kreisläufen, dem Primär- und Sekundärkreislauf, arbeiten.

Im drucklosen Betrieb des Primärkreislaufes, wodurch die Kosten der Konstruktion niedrig gehalten werden können, erfolgt die Wärmeübertragung der Wärmequelle mittels Wärmetauscher zum Dampferzeuger hin.

Der Dampferzeuger, welcher sich im Sekundärkreislauf - dem eigentlichen ORC-Prozess befindet, bewirkt die Verdampfung durch Erhitzung des organischen Arbeitsmittels. Anschließend wird das verdampfte Arbeitsmittel einer Expansionsmaschine zugeführt, wobei über eine Welle Arbeit entnommen werden kann und sich elektrische Energie mittels Generator erzeugen lässt. Wirkungsgraderhöhungen werden am Besten erzielt, indem man den entspannten Dampf einer internen Wärmerückgewinnung, sprich einem sogenannten Regenerator zuführt. Im nächsten Verfahrensschritt wird der Arbeitsdampf in einen nachgeschalteten Kondensator geleitet. [Industrielle Abwärmenutzung, 2008; Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008]

Als Hauptvorteil von ORC-Anlagen lässt sich belegen, dass diese bei jedem beliebigen BHKW nachrüstbar sind, weiters ermöglichen sie eine kontinuierliche, ganzjährige Wärmenutzung. Weiters unterstützt das Erneuerbare-Energien-Gesetz, durch die Gewährung des Technologie-Bonus, den Einsatz von ORC-Anlagen.

Anwendung findet das ORC-Verfahren beispielsweise bei einem für den Betrieb zu geringen Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und -senke, einer mittels Wasserdampf betriebenen Turbine. Weitere Anwendungen sind beispielsweise die Kraft-Wärme-Kopplung, Solarteichkraftwerke, Meereswärmekraftwerke beziehungsweise bei der Stromerzeugung per Geothermie. [Industrielle Abwärmenutzung, 2008; Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008]

Speichermöglichkeiten der Abwärmenutzung:

- Kurzzeitspeicher: Regeneratoren – für diskontinuierlich anfallende Wärmen, geeignet für wenige Tage oder Stunden, Wärmeüberträger für zum Beispiel Stirlingmotor mit $n=300$ bis 4000 U/min
- Langzeitspeicher: Heißwasser Wärmespeicher (gedämmte Behälter mit Wasser)
- Kies/Wasser Wärmespeicher (gedämmte Behälter mit Kies-Wasser Gemisch)
- Erdsonden-Wärmespeicher: Boden wird in bis zu 100 m erwärmt
- Aquifer-Wärmespeicher: Grundwasser und Erde werden erwärmt (nur bei stehenden Gewässern)
- Thermochemische Wärmespeicher: Wärmeumsatz umgekehrter chem. Reaktionen wird genutzt (vergleichsweise teuer, relativ träge Reaktionen bei vielen Systemen) nur im ergänzenden Einsatz
- Latent Wärmespeicher: Meist bei Solaranlagen (verändern ihren physikalischen Aggregatzustand bei Wärmezufuhr)

Für das hier vorliegende Projekt sind allfällige Zwischenspeicherungen nicht maßgeblich um konstante Temperaturen zu gewährleisten. Somit wird diesen Anwendungen nicht weiter nachgegangen.

Zusammenfassung

Abwärme mit einer Temperatur von 15 - 20°C wie es im Spritzgießprozess der Fall ist kann weder in einer KWK noch in einem ORC-Prozess zur Stromerzeugung genutzt werden. Die Nutzung dieser Temperaturen wird nur durch den Einsatz von Wärmepumpen ermöglicht.

Bei Wärmepumpen wird zwischen Absorptions- bzw. Kompressionswärmepumpen unterschieden wobei in der Bauweise der Hauptunterschied beim Verdichter in einer thermischen bzw. mechanischen Bauart liegt. Bei Absorptionswärmepumpen wird diesbezüglich Gas im Verbrennungsmotor verwendet. Aus Abwärmesicht hat dies den Vorteil eines zusätzlichen Aufkommens der wiederum genutzt werden kann. Im Vergleich dazu bringen Elektromotore durch deren hohen Wirkungsgrad einen höheren COP Wert und die anfallenden Investitionskosten sind geringer. Trotzdem sind bei kontinuierlich anfallender industrieller Abwärme Verbrennungsmotore zu favorisieren, da durch den Einsatz eines Brennstoffes die erforderliche elektrische Energie ersetzt werden kann.

Eine der wichtigsten technischen Lösungen bei der Wärmeübertragung ist der Wärmetauscher der bei vielen Abwärmenutzungen zum Einsatz kommt. Bei Wärmetauscher aber durch die verschiedenen Bauweisen, direkte, indirekte und halbdirekte Wärmeübertragung, auf eine optimale Auswahl zu achten

Für die Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen sind daher folgende technische Lösungen interessant:

- Wärmepumpe
- Wärmetauscher

5.6. Technische Umsetzung der Energiedienstleistung zur Bereitstellung der Abwärme

Um die Abwärme der Spritzgießmaschine nutzbar zu machen und als Energiedienstleistung anzubieten ist die Nutzung der Abwärme des Kühlwasserkreislaufs, des Hydraulikkreislaufs sowie der Konvektionsabwärme des Plastifizierzylinders denkbar. Das sich ergebende Temperaturniveau ist für viele denkbare Anwendungen zu niedrig, weshalb eine Anhebung der Temperatur über eine Wärmepumpe in den meisten Fällen sinnvoll ist.

5.6.1. Nutzung der Abwärme aus dem Kühlwasser

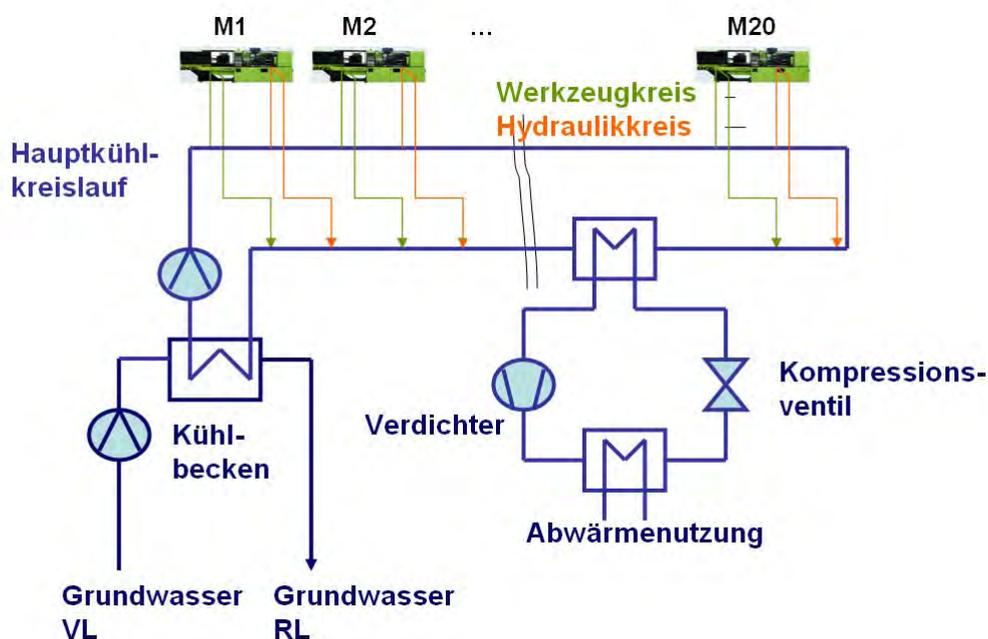


Abbildung 29: Schema Abwärmenutzung des Kühlwassers mittels Wärmepumpe

Über die Nutzung der Abwärme mittels Wärmepumpe kann die gesamte Wärmemenge des Werkzeugkreises sowie des Hydraulikkreises genutzt werden. Wie in Kapitel 5.5.4 beschrieben wird in einer Wärmepumpe der Energieinhalt eines Wärmestroms bei niedriger Temperatur auf ein höheres Potential, sprich auf eine höhere Temperatur gehoben.

Am Beispiel Spritzgießmaschine bedeutet dies, dass der Wärmeinhalt des Kühlwassers bei einer Temperatur von 17-25°C im Verdampfer auf das Kältemittel abgegeben wird. Dadurch fließt Wärme vom Kühlwasser zum Kältemittel. Das Kühlwasser wird gekühlt und das Kältemittel verdampft. Das gasförmige Kältemittel wird im Verdichter auf einen höheren Druck verdichtet, wodurch sich die Temperatur sehr stark auf ca. 50 - 70°C erwärmt. Der Verdichter wird meist durch einen Verbrennungsmotor (Gas oder Diesel) angetrieben. Im Verflüssiger gibt das heiße, unter hohem Druck stehende Kältemittel, die gesamte Wärmeenergie an den Abwärmenutzungskreis ab. Im letzten Schritt wird im Expansionsventil der Verflüssiger- auf Verdampferdruck reduziert. Somit ist der Kreislauf geschlossen. Diese Anlage hat also einen

doppelten Nutzen, indem einerseits die Abwärme für andere Bereiche z.B. Heizung genutzt werden kann und andererseits die Spritzgießmaschinen mit dem Kühlwasser gekühlt werden.

5.6.2. Nutzung der Abwärme des Hydrauliköls

Die Abwärmenutzung des Hydrauliköls könnte relativ einfach durch Abkoppelung vom Hauptkreislauf und führen in einem eigenen Hydraulikkreislauf umgesetzt werden (siehe Abbildung 30). Dabei wäre jede Maschine über ein Regelventil mit diesem Keislau verbunden.

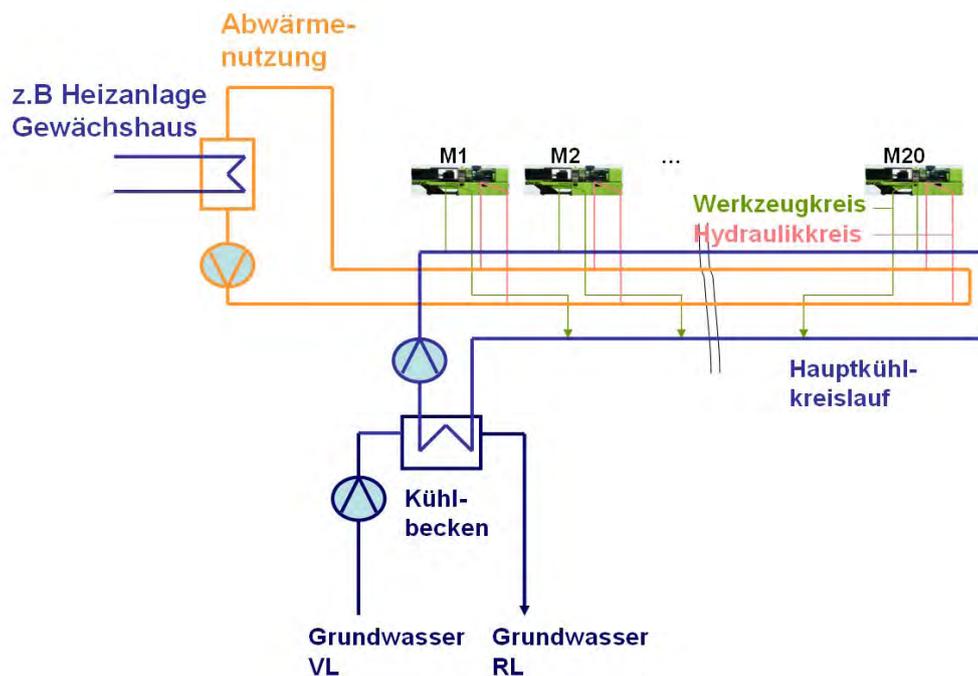


Abbildung 30: Technische Umsetzung der Abwärmenutzung des Hydrauliköls

Das derzeitige Temperaturniveau des Hydrauliköls ist mit ca. 33°C sehr niedrig und müsste für eine sinnvolle spätere Nutzung angehoben werden. Laut Hersteller wäre der Betrieb mit Hydrauliköltemperaturen bis 60°C möglich.

Die Plattenwärmetauscher, welche standardmäßig in Spritzgießmaschinen eingebaut sind, werden grundsätzlich für den Worst Case, die sozusagen ungünstigsten Betriebsbedingungen dimensioniert, um für alle Kundenanwendungsfälle gewappnet zu sein. Das belegt auch die kurze Einschaltdauer der Betriebsbedingungen an der untersuchten Spritzgießmaschine. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass auch bei der Einstellung des Hydrauliköls auf 60°C und einer Grädigkeit des Kühlwasserkreislaufs von 10°C die eingebauten Plattenwärmetauscher ausreichend dimensioniert sind [Sehnal, 2008].

Betriebspunkt des Plattenwärmetauschers		
Vorlauf Hydrauliköl	60	[°C]
Rücklauf Hydrauliköl	50	[°C]
Vorlauf Abwärmekreislauf	45	[°C]
Rücklauf Abwärmekreislauf	55	[°C]
Mittlere Temperaturdifferenz	10	[°C]

Tabelle 9: Optimierung der Rückkühlung des Hydrauliköls auf die maximal erlaubte Betriebstemperatur

Durch die Übertragung der Abwärme in einen Heizkreislauf beziehungsweise für die Verwendung zur Brauchwassererwärmung ist mit einem weiteren Temperaturniveauverlust von circa 5°C zu rechnen. Damit können theoretisch Temperaturen bis zu 45°C genutzt werden.

Die daraus resultierende neue Abwärmetemperatur von 45°C ist nun auch für die Heizung und die Brauchwassererwärmung geeignet. Zum Händewaschen und Duschen reichen 45°C aus jedoch müsste zur Vermeidung von Legionellen periodisch nachgeheizt werden.

Größtes zu berücksichtigendes Hemmnis stellt, bei der Erhöhung der Hydrauliköltemperatur, die Zunahme der Leckagen dar, welche sich durch die niedrigere Viskosität des Öls erhöhen. Um sowohl eine qualitative und quantitative Abschätzung treffen zu können, müssten weitere Versuche durchgeführt werden.

Weiters besteht die Möglichkeit, dass bei verschiedenen Anwendungen beziehungsweise auch langsamen Fahrweisen eine Hydrauliktemperatur von 60°C erst gar nicht erreicht wird.

5.6.3. Nutzung der Konvektionswärme der Plastifiziereinheit

Die Plastifiziereinheit gibt durch Konvektion, Wärmestrahlung und Leitung Wärme an die Umgebung ab. Um diese abgegebene Energie nutzen zu können muss diese mit einer Einhausung gesammelt werden.



Abbildung 31: Einhausung des Plastifizierzylinders

In Abbildung 31 ist eine Pilotanlage einer Einhausung dargestellt. Durch einen Luftstrom zwischen Zylinder und Einhausung ist es möglich, die abgegebene Wärme, beispielsweise zur Vorwärmung des Granulates zu verwenden. Bei durchgeführten Messungen wurde jedoch keine Energieeinsparung festgestellt (siehe Kapitel 5.7.1) Auch ist ein sogenanntes Abziehen der Wärme von der Plastifiziereinheit durchaus als problematisch anzusehen, da bei einem zu hohen Abzug der Wärmeenergie dem Granulat - Plastifiziersprozess wiederum zusätzlich Wärmeenergie zugeführt werden muss, um den Prozess aufrechtzuerhalten.

5.6.4. Verringerung des Abwärmes der Plastifiziereinheit

Aufgrund der schwierigen Nutzung der Abwärme des Zylinders kommt der gezielten Vermeidung größte Bedeutung zu. Nach einer Bilanzierung des Energieverbrauchs an der Plastifiziereinheit ist erkennbar, dass beim Heizen 45% des Energieverbrauchs benötigt werden und somit ein hohes Energieeinsparungspotential gegeben ist (siehe Abbildung 32).

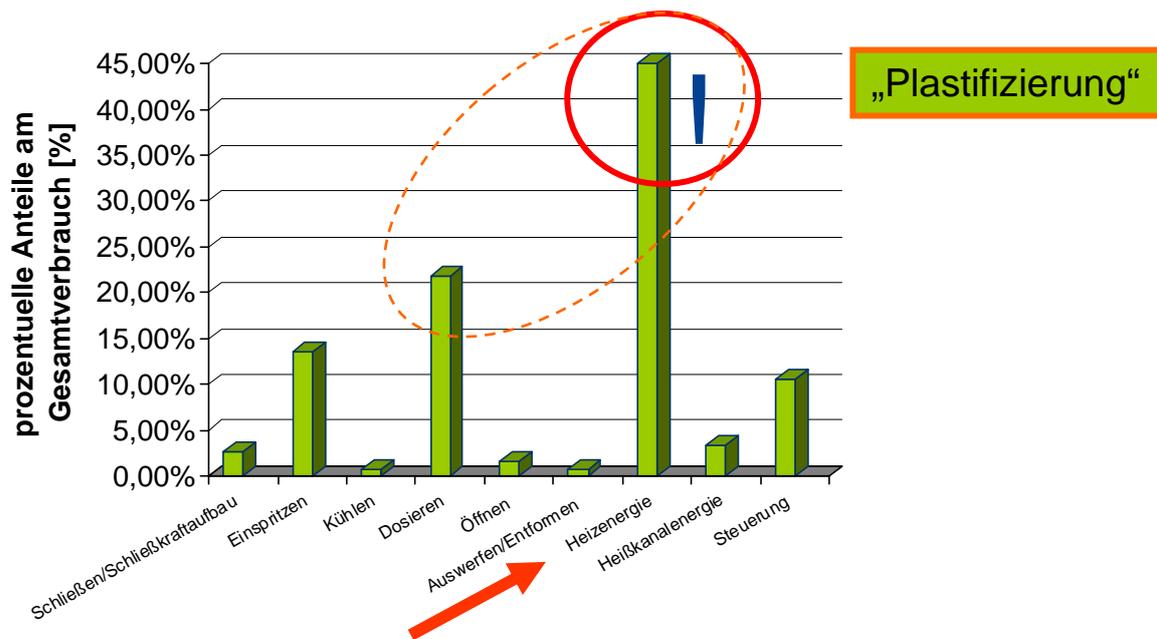


Abbildung 32: Energieverteilung der verschiedenen Achsen

Eine „Einhausung“ der Plastifiziereinheit ist aus heutiger Sicht keine sinnvolle Lösung um die Abwärme zu nutzen, jedoch sinnvoll um den Energieeinsatz zu verringern. Dies kann einerseits durch die dargestellte Einhausung bzw. andererseits durch Dämmmatten erfolgen.

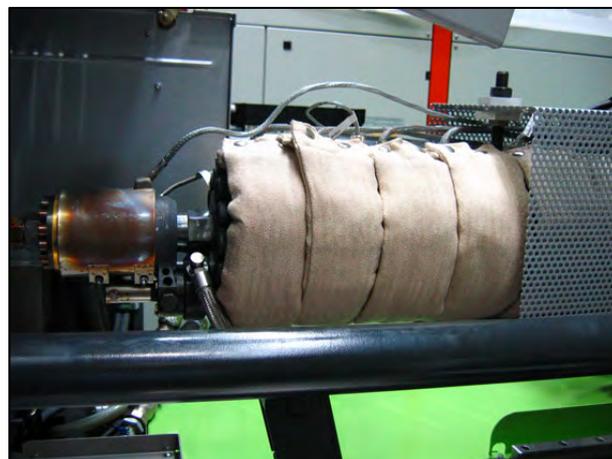


Abbildung 33: Dämmmatten am Plastifizierzylinder

Durch eine Einhausung wird die, durch Wärmestrahlung vom Plastifizierzylinder überschüssige Wärmeenergie gespeichert und wieder an den Zylinder zurückgegeben. Der Luftspalt bewirkt eine zusätzliche Isolierung. Die Dämmmatte haben eine rein isolierende Wirkung. Aus den in Abbildung 34 dargestellten Infrarotbildern lässt sich ablesen, dass die Temperaturen an der Oberfläche des Plastifizierzylinders von über 200°C mittels Dämmmatten auf unter 100°C reduziert werden können. Bei diesen Messungen wurde weiters festgestellt, dass sich der Wirkenergieaufwand um 40% reduziert.

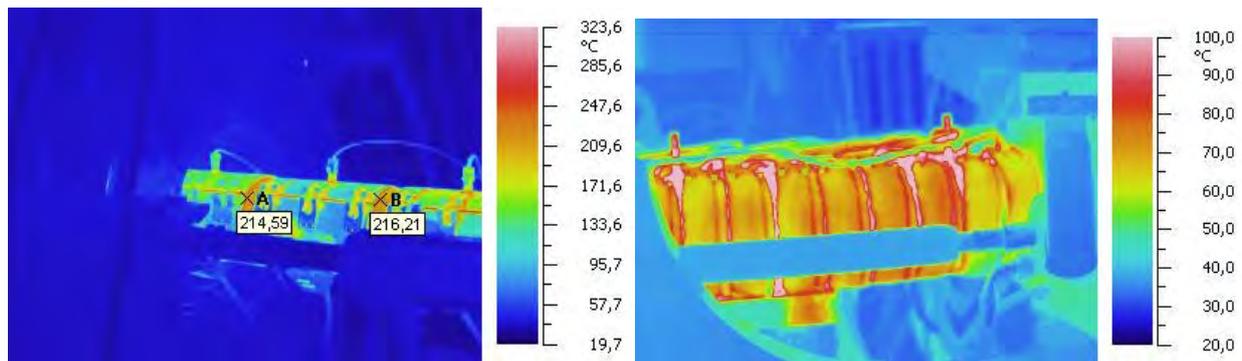


Abbildung 34: Infrarot Wärmebilder der Plastifiziereinheit ohne (links) und mit Dämmmatten (rechts)

Im Zuge von mehreren Messungen wurde unter einer worst-case Betrachtung eine Einsparung der Heizenergie von ca. 25 % nachgewiesen. Bei Messungen direkt beim Kunden zeigte sich je nach Prozess ein Einsparpotential von bis zu 45 % als realistisch auf.

Typische Ergebnisse sind der folgenden Darstellung zu entnehmen:

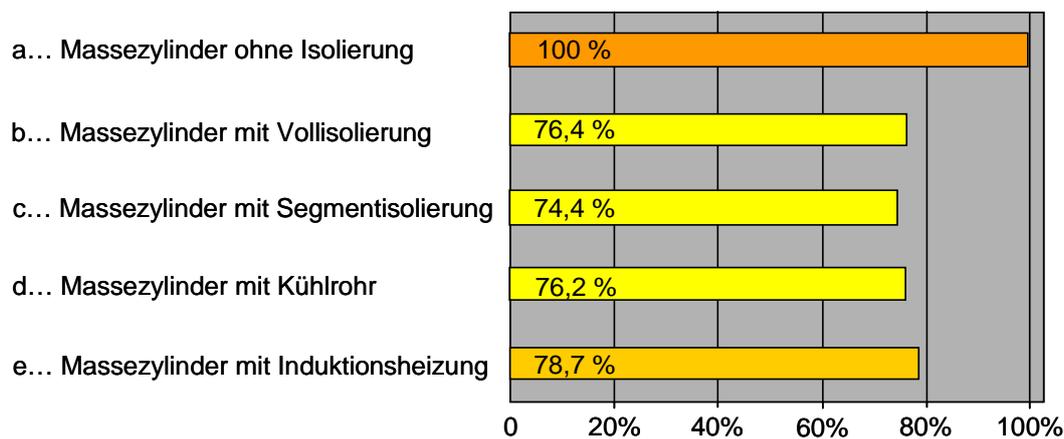


Abbildung 35: Energieeinsparung mit und ohne Isolierung der Plastifiziereinheit

Erfreulich bei den Versuchen war, dass nahezu alle getroffenen Maßnahmen dieselbe Größenordnung in Bezug auf die erwartete Energieeinsparung aufweisen.

Darüber hinaus ergeben sich nach [euRECIPE, 2006] mit einer Isolierung der Plastifiziereinheit folgende Vorteile:

- Kürzere Anlaufzeiten
- Verminderung des elektrischen Verbrauchs
- Spitzenwerte und die gesamte Wärmeenergiemenge kann vermindert werden
- Mitarbeiterschutz
- Konstante Betriebstemperaturen
- Kurze Invest-Amortisationszeiten (ca. 6-12 Monate)
- Verbesserungen bei Gesundheit und Sicherheit
- Verminderte Betriebskosten

Aus diesen Gründen und den gemessenen Einsparungen ist eine Kapselung mit wärmedämmenden Materialien anzustreben.

5.6.5. Anwendungen der Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen

Die Nutzung der Abwärme mit Wärmepumpen bzw. auch Kältemaschinen findet schon in einigen Kunststoffunternehmen mit Spritzgießmaschinen Anwendung:

- Beispiel 1: Karl Bock GmbH & Co. KG

Die Firma Bock ist ein Spritzgussunternehmen das Teile für verschiedenste Bereiche herstellt. Es sind dabei 45 Spritzgießmaschinen mit 25 - 200 Tonnen Schließkraft im Einsatz. Für die Firma Bock ist Abwärmenutzung schon seit langem ein Thema. 1986 wurde eine Wärmepumpe zur Abwärmenutzung der Spritzgießmaschinen entwickelt. Weiters wurde 1990 eine Fußbodenheizung in der Produktionshalle installiert in der auch die Abwärme der Spritzgießmaschinen genutzt wird. Dabei erfolgt die Kühlung in zwei Kühlkreisläufen; dem kalten Wasserkühlkreislauf und dem wärmeren Kühlkreislauf von der Hydraulikkühlung, der zur Wärmerückgewinnung verwendet wird. Die Wärme des warmen Kühlwasserkreislaufs wird also einerseits über einen Wärmetauscher an die Fußbodenheizung abgegeben bzw. andererseits über die Wärmepumpe wieder gekühlt und anschließend an das Niedertemperatur Heizsystem abgegeben. Bei zusätzlicher Nutzung der Abwärme der Druckluftkompressoren muss laut Herrn Karl Bock bis zu einer Temperatur von -3°C keine externe Heizenergie zugeführt werden [Bock, 2009].



Abbildung 36: Spritzgießmaschinen bei der Firma Karl Bock

Wärmeleistung/ Wärmepumpe (6x): 35 kW

Kühltemperatur: 24°C

Abwärme Temperatur: $50 - 60^{\circ}\text{C}$ (für Niedertemperatur)

- Beispiel 2: Greiner Bio-One International AG

Bei der Firma Greiner Bio-One International AG erfolgt die Bereitstellung der prozessbedingten Kühlung über Kühlmaschinen. Zur effizienteren Nutzung dieser Kältemaschinen wird die Abwärme für die hausinterne Heizung verwendet.

Die Kältemaschinen arbeiten so wie Wärmepumpen nur dass der Hauptnutzen nicht die Heizleistung des Verflüssigers sondern die Kühlleistung des Verdampfers darstellt. Die Abwärme der Kältemaschine mit 40°C versorgt über einen Wärmespeicher die Heizung des Gebäudes. Zusätzlich wird in den Wärmespeicher die Abwärme der Druckluftkompressoren mit einem Temperaturniveau von 50°C zugeführt.

Um dieses Temperaturniveau zu erreichen und auch die notwendige Wärmemenge als Abwärme zur Verfügung stellen zu können wird die Hydraulikkühlung auf ein höheres Temperaturniveau gefahren. Einerseits wurde das Temperaturniveau der Vorlauftemperatur von 22°C auf 28°C erhöht (eine weitere Temperaturerhöhung wäre noch möglich) indem größere Ölkühler eingesetzt werden und andererseits wurde die Temperaturspreizung auf 5°C erhöht. Die Temperatur des Hydrauliköls erhöht sich dadurch auf 45°C, Maximalwerte liegen bei 55°C. Im Wasserkühlkreislauf wird weiterhin mit den erforderlichen Temperaturen von 12-13°C gefahren [Pakanecz, 2009].

Kühltemperatur/ Hydraulik:	28°C
Hydrauliköltemperatur:	45°C
Abwärme Temperatur:	40°C (für Niedertemperatur)

- Beispiel 3: Alcatel SEL

In der Firma ALCATEL SEL AG, Dunkermotoren Bonndorf werden die Produktionsmaschinen über einen geschlossenen Kühlwasserkreislauf gekühlt. Die Abwärmespeicherung erfolgt zentral über einen Löschwasserbehälter. Von diesem wird das warme Wasser über eine Wärmepumpe der Heizungsanlage zugeführt. Die Kompressorwärmepumpe entzieht dem Maschinenkühlwasser Energie (86 kW) und unterstützt im Winter das Heizsystem. Während der Heizperiode 2001/2002 wurden so 25 % bzw. 29.000 l Heizöl weniger benötigt [Jauch, 2009].



Abbildung 37: Wärmepumpe der Frima Alcatel SEL [Jauch, 2009]

Detailinformationen:

Wärmeleistung:	86 kW
Kühlleistung [Combitherm, 2009]:	66 kW
Kühltemperatur:	25°C
Abwärme Temperatur:	70°C
Antriebsleistung Wärmepumpe:	24 kW
COP	3,8

- Beispiel 4: REW-Plan

In einem weiteren Planungsbeispiel der Firma REW-Plan wird bei einer Abwärmeleistung von 150 kW mit einer Kühltemperatur von 17-18°C eine Abwärmtemperatur mit Hilfe einer Wärmepumpe (25 kW) eine Abwärmtemperatur von 45°C erreicht. So können 200 kW an Gasleistung eingespart werden. Im 3-Schicht Betrieb ergibt sich eine Amortisationsdauer von weniger als 2 Jahren.

[REW-Plan, 2000]

Wärmeleistung:	150 kW
Kühltemperatur:	17-18°C
Abwärme Temperatur:	45°C
Eingesparte Gasleistung:	200 kW
Antriebsleistung Wärmepumpe:	25 kW
Amortisationsdauer:	< 3 Jahre (2 Schicht Betrieb), < 2 Jahre (3 Schicht Betrieb)

Wärmepumpen - Hersteller:

Nicht alle Wärmepumpenhersteller bieten Großwärmepumpen für die Industrie an. Hier eine Liste von Herstellern. [Lambauer, 2008]

Alpha-InnoTec GmbH Industriestrasse 3 95359 Kassendorf www.alpha-innotec.de	Axima Kältetechnik GmbH Langeasse 19 6923 Lauterach refat@at.axiref.com www.at.axiref.com
Climaveneta Deutschland GmbH Oststrasse 104a 22844 Norderstedt www.climaveneta.de	Combitherm GmbH Friedrichstraße 14 70736 Fellbach www.combitherm.de
Conergy Vertriebs GmbH&Co. KG (früher SPARTEC®) Industriestraße 8 66280 Sulzbach www.conergy.de www.spartec.de	Friotherm AG Postfach 414 Zürcherstrasse 12 CH-8401 Winterthur Schweiz www.friotherm.com/deu/index_d.htm
Isocal HeizKühlsysteme GmbH Donaustraße 12 88046 Friedrichshafen Postfach 1625 88006 Friedrichshafen www.isocal.de	Kapag Kälte-Wärme AG Schwäntenmos 6A 8126 Zumikon Schweiz www.kapag.ch
KWT Kälte-Wärmetechnik AG Hühnerhubelstrasse 79 CH-3123 Belp Schweiz www.kWt.ch	Ochsner Wärmepumpen GmbH Krackowizerstraße 4 4020 Linz kontakt@ochsner.at www.ochsner.at

ONI-Wärmetrafo GmbH Niedertlabbach 17 D-51789 Lindlar-Frielingsdorf www.onLde-info@onLde	Waterkotte-Vertriebsleitung Österreich Sportplatzstraße 2 6921 Kennelbach www.waterkotte.at
YORK Deutschland GmbH Johnson Controls Systems& Service GmbH Gottlieb-Daimler-Straße 8 68165 Mannheim www.york.de	Zent-Frenger GmbH Niederlassung Stuttgart Zent-Frenger Maybachstraße 7 D-71229 Leonberg www.zent-frenger.de

Um eine Wärmepumpe effizient einsetzen zu können, ist eine ganzheitliche Betrachtung der Energiebedarfsstruktur jeder einzelnen Anwendung erforderlich. Hierzu bedarf es eines relativ großen Planungsaufwandes, während folgende Punkte zu beachten sind:

- Einbeziehung von anderen Energiesystemen in die Analyse wie BHKW, Windkraft, Turbinen, Solar etc.
- Verknüpfen von Wärmesystemen mit anderen Energiekonzepten zu einem neuen, integrierten System
- Jedes Projekt erfordert eine aufwändige Detailberechnung
- Einsparungspotential ist enorm

Durch diesen integrativen Ansatz ergeben sich eine Reihe von Vorteilen für den Anwender:

- geringerer Kühlwasserbedarf
- gleichmäßigere Prozessbedingungen
- Nennleistung auch bei warmer Witterung
- verbessertes Öko-Audit bei der Bewertung von Industrieprozessen

Um eine weitere Verbesserung des Systems zu erreichen, ist eine Anhebung des Temperaturniveaus des Kühlwassers erforderlich. Nach Neuhaus [Neuhaus, 2009] sind Temperaturen von 35°C bis 40°C des Kühlwassers durchaus möglich und dies wird in einigen Unternehmen, die schon eine Abwärmenutzungsanlage in Betrieb haben, bereits praktiziert.

5.7. Ideen zur Abwärmenutzung bei Spritzgießmaschinen

5.7.1. Direkt an der Maschine

bei Spritzgießmaschinen ist als Abwärmenutzung direkt an der Maschine eine Vorwärmung des Granulats möglich. Dazu sind beim Spritzgussprozess zwei Anwendungen denkbar:

- Vorwärmung des Granulats im Trichter bevor es in die Plastifiziereinheit eingeführt wird.
- Vorwärmung des Granulats vor der Entgasung zur Verkürzung der Verweilzeit im Entgasungssilo.

Für eine Vorwärmung des Granulats vor der Plastifiziereinheit ist eine direkte Erwärmung mit heißer Luft und / oder eine indirekte über einen Wärmetauscher möglich.

Direkte Vorwärmung durch Luft

Bei der direkten Erwärmung des Granulats wird heiße Luft in Trommel- bzw. Wirbelstromanlagen von unten entgegen der Fließrichtung des Granulats geblasen. Die heiße Luft wird dabei über die Einhausung der Plastifiziereinheit abgezogen.

Indirekte Vorwärmung durch Wärmetauscher

Weiters kann das Granulat vor der Plastifiziereinheit bzw. vor der Entgasung auch indirekt über einen Wärmetauscher erwärmt werden.

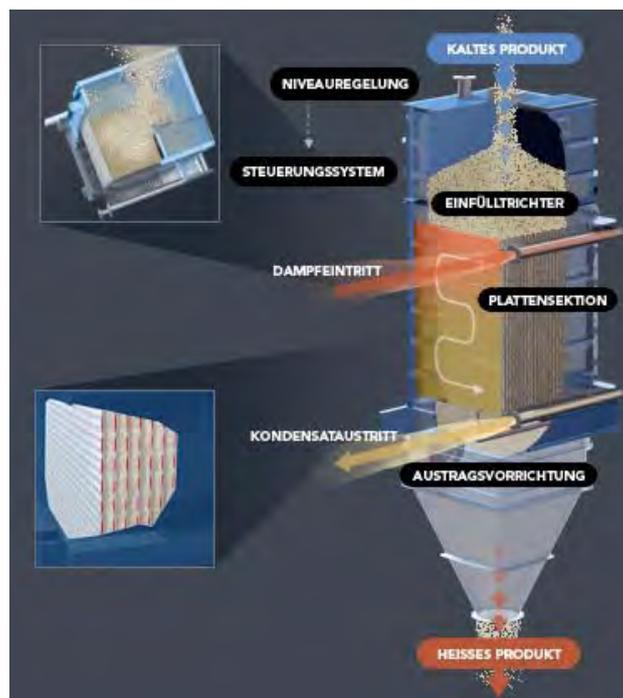


Abbildung 38: Granulaterwärmung mittels Wärmetauscher [Solexthermal, 2009]

Das Granulat fließt dabei von oben nach unten durch die vertikal angeordneten Wärmetauscherplatten. Als Heizmedium kann heiße Luft bzw. auch Öl verwendet werden. Luft als Medium zu verwenden ist aus technischen Gründen, siehe Kapitel 5.6.2, nicht sinnvoll. Das Hydrauliköl steht mit 45°C direkt an der Maschine in einem eigenen Kreislauf zur Verfügung. Das Öl fließt durch die Wärmetauscherplatten und erwärmt das Granulat durch Wärmeleitung. Durch einen gleichmäßigen Materialfluss im Wärmetauscher wird eine stabile und gleichförmige Temperaturverteilung im Granulat sichergestellt. Hierzu kann ein Massenflusskegel mit Zellschleuse eingesetzt werden [Solexthermal, 2009].

Gegenüber der Wärmeübertragung mittels Trommel- und Wirbelstromanlagen ergeben sich bei der indirekten Wärmeübertragung mittels Plattenwärmetauscher Vorteile, da der direkte Kontakt Luft – Granulat entfällt [Solexthermal, 2009]:

- Es entstehen keine Luftemissionen, da keine Luft verwendet wird.
- Es müssen keine Luftfilter eingebaut werden. Sowohl direkt im Wärmetauscher um eine Kontamination am Granulat zu vermeiden wie auch in der Produktionshalle um Grenzwerte einzuhalten.
- Durch einen gleichmäßigen Massenfluß wird eine effiziente Wärmeübertragung sichergestellt.

Bei Spritzgießmaschinen sind zu einer effizienten Vorwärmung des Granulats im Trichter – bei gängigen Granulattypen - i.a. Temperaturen von zumindest 180°C über entsprechend lange Verweilzeiten (zumindest eine halbe Stunde) erforderlich. Diese Energieströme sind über die Nutzung der Massezylinderabwärme nicht direkt erreichbar.

Trotzdem wurde überprüft, ob nicht auch bei niedrigeren Temperaturen und geringerer Verweildauer des Mediums im Granulat nachweisbare Änderungen (Verbesserungen) des Energiebedarfes feststellbar sind.

Dazu wurden im Projekt Versuche durchgeführt, bei denen ein entsprechender Wärmestrom – bei Nutzung der Einhausung als Sammelrohr – mittels Steigrohr durch den Granulattrichter geführt wurde. Es konnten keine messbaren Änderungen bei Antriebs- und Heizenergie beim Referenzversuch festgestellt werden. Somit ist die Überführung dieser vorgeschlagenen Maßnahme, zumal zusätzlich elektrische Energie für ein kleines Gebläse zur Erzielung konstanter Wärmeströme benötigt wird, in eine entsprechende Serienlösung nicht sinnvoll.

5.7.2. Externe Nutzung der Abwärme

Bei der externen Nutzung der Abwärme wird die Abwärmenutzung außerhalb der Spritzgießmaschine betrachtet. Es werden verschiedene Möglichkeiten für diese Abwärmenutzungsmöglichkeit untersucht. Vorerst wurde die unter Berücksichtigung der Transportverluste zur Verfügung stehende Wärmemenge berechnet.

- Allgemein: Berechnung der zur Verfügung stehenden Wärmeenergie unter Berücksichtigung des Transportverlustes
- Nutzung im Unternehmen zur Heizung des Bürogebäudes
- Nutzung für externe benachbarte Einfamilienhäuser
- Nutzung der Abwärme zur Heizung eines Gewächshauses

Die Berechnung des zu heizenden Bürogebäudes, der Einfamilienhäuser bzw. des Gewächshauses erfolgte einerseits durch die zur Verfügung stehende Abwärme und auf der anderen Seite durch die durchschnittlich benötigte Wärmemenge der verschiedenen Nutzer. Die Abwärmemperaturen bzw. Temperaturniveaus beim Nutzer werden hier nicht weiter berücksichtigt, da dies mit der Verwendung einer Wärmepumpe realisiert werden kann, wie die Beispiele in Kapitel 5.6.5 deutlich zeigen.

Berechnung der zur Verfügung stehenden Wärmeenergie unter Berücksichtigung des Transportverlustes

Entsprechend der Länge des Transportweges (der zur Verfügung stehenden Wärmemenge) treten unterschiedliche Verluste auf. Verluste beim vorhandenen Wärmetransport werden im allgemeinen durch Konvektion beziehungsweise Strahlung hervorgerufen.

Da die Abwärmenutzung des Kühlwassers über eine Wärmepumpe erfolgt wird auch deren Abwärmemenge mit 210 kW für die Berechnung der ausgewählten Nutzungsmöglichkeiten verwendet. Diese Wärmeenergie setzt sich aus dem Werkzeug- sowie dem Ölkühlkreislauf zusammen. Es wird weiters angenommen, dass mit der Wärmepumpe die Abwärmetemperatur auf 60°C angehoben werden kann. Dies stellt einen Mittelwert 50 – 70°C der untersuchten Beispiele dar.

Bei der nachstehenden Tabelle 10 wurden drei Anwendungen hinsichtlich des Transportweges verglichen. Ausgegangen wurde von einem Massenstrom von 9 kg/s – Transportmedium Wasser. Der Rohrdurchmesser beträgt 100 mm, die Isolierschicht 15 mm. Die Temperatur an der Aussenseite der Isolierschicht beträgt 0°C, die Einlauftemperatur in die Rohrleitung beträgt 60°C (Temperaturkonstanz vorausgesetzt). Die genauen Randbedingungen sind der beigefügten Rechnung zu entnehmen.

Auszug aus der Rechnung:

„Wärmetransport – Verlust bei Lieferung über ein definiertes Rohrleitungssystem“
(gesamte Rechnung siehe Anhang)

Die vorliegende Rechnung bezieht sich auf einen 30 Meter Transportweg, beispielsweise zur Bürogebäudenutzung (siehe Tabelle 10). Weitere Berechnungen mit unterschiedlichen Transportwegen wurden analog (unter Einbeziehung eines Berechnungsprogrammes) nach dem selbigen Prinzip, um eine bessere Vergleichbarkeit herstellen zu können, durchgeführt.

Nachstehender Auszug gibt einen Überblick über die durchgeführte Berechnung des Wärmetransportes. Im Anhang befindet sich die gesamte Berechnung.

Berechnungsauszug der Konvektionswärme eines PE Rohres für ein Bürogebäude 30 Meter entfernt

Notwendige Angaben:

Ausgehend von der gemessenen Kühlleistung von $Q = -210,6$ kW sowie einem Massenstrom von 7 kg/s wurde die Abwärme durch die Mantelfläche errechnet.

Die Temperatur an der Aussenseite der Isolierschicht sei mit 0°C (Temperaturkonstanz vorausgesetzt) angenommen. Die Einlauftemperatur in die Rohrleitung wird mit 60°C angenommen. Die Berechnung der spezifischen Wärme $Q_{\text{Wärmestrom}}$ ist im Anhang gesondert angeführt.

Vereinfacht wird im Folgenden immer Q bzw. m statt den gepunkteten Größen \dot{Q} bzw. \dot{m} geschrieben.

$$m_{\text{durchström}} := 7 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Somit ergibt sich für die Abwärme an Mantelfläche:

$$Q_{\text{Wärmestrom}} := -q_{\text{aussenseite}} \cdot (d_{\text{rdm}} + 2 \cdot s_{\text{isolierschicht}}) \cdot \pi \cdot L_{\text{heisswasser}}$$

$$Q_{\text{Wärmestrom}} = -5.603 \text{ kW}$$

Die Temperatur im Auslauf:

$$T_{\text{auslauf}} := \frac{Q_{\text{Wärmestrom}}}{m_{\text{durchström}} \cdot c_{\text{p_h2o}}} + T_{\text{einlauf}}$$

$$T_{\text{auslauf_Grad}} = 59.852^\circ\text{C}$$

Nachfolgende Tabelle gewährt eine Übersicht bezüglich der drei definierten Abwärmenutzungsmöglichkeiten bei unterschiedlich angenommenen Transportwegen.

Im Unternehmen – für ein Bürogebäude					
Abwärmtransportweg	30	[m]	Q ... zur Verfügung stehende Wärmemenge	210	[kW]
			Verlustwärme laut Berechnung	-5,6	[kW]
			Nettowärmemenge nach Wärmetransport	204,4	[kW]
Extern – für ein Gewächshaus					
Abwärmtransportweg	100	[m]	Q ... zur Verfügung stehende Wärmemenge	210	[kW]
			Verlustwärme laut Berechnung	-18,67	[kW]
			Nettowärmemenge nach Wärmetransport	191,33	[kW]
Extern – für ein Wohnhaus					
Abwärmtransportweg	500	[m]	Q ... zur Verfügung stehende Wärmemenge	210	[kW]
			Verlustwärme lt. Berechnung	-93,09	[kW]
			Nettowärmemenge nach Wärmetransport	116,91	[kW]

Tabelle 10: Abwärmenutzungsmöglichkeiten (Transportwege und Verlustwärmern berücksichtigt)

Aufgrund des direkt proportionalen Zusammenhanges zwischen Transportverlust und Transportweg sind kurze Transportwege zu favorisieren. Für die Abwärmenutzung direkt an der Maschine kann der Rohrleitungsverlust hingegen vernachlässigt werden.

Beispiel: Gewächshausbeheizung

Beschreibung

Man unterscheidet grundsätzlich bei den Gewächshäusern je nach Innenraumtemperatur zwischen:

Kalthaus	mit	Temperaturen unter 12°C
Temperiertes Haus		Temperaturen von 12°C – 18°C
Warmhaus		Temperaturen über 18°C

Tabelle 11: Einteilung der Gewächshäuser

Ein Gewächshaus oder Glashaus (vereinzelt auch Treibhaus genannt) ist eine lichtdurchlässige Konstruktion, die das geschützte und kontrollierte Kultivieren von Pflanzen ermöglicht.

Die Abdeckung - traditionell aus Glas, heute oft Folien beziehungsweise Verbundwerkstoffe - erhöht einerseits durch den Glaseffekt die Temperatur, andererseits schützt sie vor Niederschlag. Durch Regelung verschiedener Faktoren wie zum Beispiel der Lufttemperatur sowie der Bewässerung ist eine Steuerung des Klimas innerhalb des Gewächshauses möglich. Was zur Folge hat, dass die Wuchsbedingungen der Pflanzen in Gewächshäusern optimiert werden.

Dimensionierung eines Gewächshauses:

Für die Berechnung wird zwischen zwei Szenarien unterschieden. Im ersten Szenario wird mit einer Einfach- und im zweiten mit einer Doppelverglasung gerechnet, mit unterschiedlichen Werkstoffen. Die genauen Berechnungen befinden sich im beigefügten Anhang.

Szenario 1: Einfachverglasung

Für Szenario 1 wurde ein Gewächshaus mit Einfachverglasung ausgewählt. Es handelt sich dabei um ein Warmhaus mit einer Umgebungstemperatur von 5°C, sowie einer Innenraumtemperatur von 25°C. Aus dem in Abbildung 39 dargestellten Gewächshaus und dessen Dimensionen ergibt sich eine Gesamtglasoberfläche von 187 m², da jedoch von einer zur Verfügung stehenden Wärmemenge von 210 kW auszugehen ist, reduziert sich die bei den vorhandenen Randbedingungen beheizbare Glasoberfläche auf 110 m².

Abmessungen:

L = 10 m

B = 10 m

H = 2 m

GH = 1 m

Entspricht einer Glasoberfläche von 187 m²

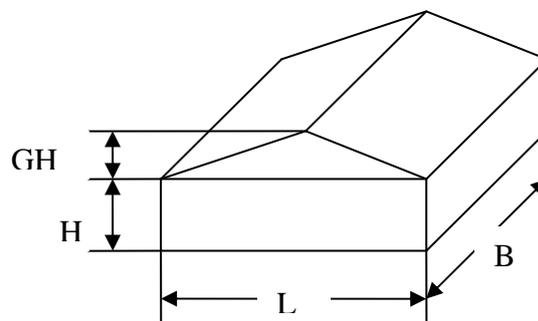


Abbildung 39: Modell eines Gewächshauses

Als weitere Annahmen wurde eine Glasstärke von $s_{\text{glasstärke}}=8$ mm mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda=0,76$ W/mK angenommen. Bei der entsprechenden Berechnung, der Wärmebedarf Q errechnet sich aus der multiplikativen Verknüpfung der Wärmeleitfähigkeit, der Gewächshausoberfläche $F_{\text{Gewächshaus}}$ und der Temperaturdifferenz zwischen Innenraum $T_{\text{Innenraum}}$ und Umgebung T_{Umgebung} dividiert durch die Glasstärke, erhält man einen Wärmebedarf von 256,5 kW.

Auszug aus der Gewächshausberechnung mit Einfachverglasung

Berechnung des Wärmebedarfes eines Gewächshauses mit 187 m² und Einfachverglasung:

$$Q_{\text{w\u00e4rmebedarf_gew\u00e4chshaus}} := \lambda_{\text{glas}} \cdot F_{\text{gew\u00e4chshaus}} \cdot \frac{T_{\text{Innenraum}} - T_{\text{Umgebung}}}{s_{\text{glasstärke}}}$$

$$Q_{\text{w\u00e4rmebedarf_gew\u00e4chshaus}} = 355.3 \text{ kW}$$

Szenario 2: Doppelverglasung

Im 2. Szenario wurde eine Berechnung eines Gewächshauses mit Doppelverglasung durchgeführt. Beide Glasstärken wurden mit 6 mm angenommen, der Luftspalt mit 12 mm. Es wurde mit einer Luft - Wärmeleitfähigkeit von 0,025 W/mK, sowie der Wärmeleitfähigkeit für Glas aus vorangehender Berechnung gerechnet. Die Wärmeübergangszahl innen wurde mit 8 W/m²K sowie außen mit 20 W/m²K angenommen. Somit errechnet sich ein k-Wert von 1,491 W/m²K.

Der Wärmebedarf im hier vorliegenden Fall berechnet sich aus der multiplikativen Verknüpfung des k-Wertes mit der Temperaturdifferenz und der Gewächshausoberfläche. Es ergibt sich ein Wärmebedarf von 5,576 kW.

Berechnung des Wärmebedarfes eines Gewächshauses mit 187 m² und Doppelverglasung:

$$Q_{\text{doppelverglasung}} := q_{\text{spez}} \cdot F_{\text{gewächshaus}}$$

$$q_{\text{spez}} := k \cdot (T_{\text{innenraum}} - T_{\text{umgebung}})$$

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_a}}$$

$$Q_{\text{doppelverglasung}} = 5.576 \text{ kW}$$

Bei selbiger Rechnung, jedoch ohne Berücksichtigung der Wärmeübergangszahlen erhält man einen Wärmebedarf von 7,835 kW.

Szenario 3: Plexiglas

Gerechnet wurde außerdem ein Gewächshaus mit einer Plexiglasverglasung [Plexiglas Allstop SDP, 2008] bei einem gegebenen k-Wert von 2,8 W/m²K mit Flächenabmessungen, siehe [Abbildung 39](#). Es ergab sich ein Wärmebedarf von 10,472 kW.

Berechnung des Wärmebedarfes eines Gewächshauses mit 187 m² und Plexiglas:

$$Q_{\text{plexiglas}} := q_{\text{spez}} \cdot F_{\text{gewächshaus}}$$

$$Q_{\text{plexiglas}} = 10.472 \text{ kW}$$

Mit Doppelfolie Polyethylen (k-Wert = 3,5 W/m²K ergab sich eine Wärmeleistung von 13,09 kW (Die Berechnung erfolgt analog zur Plexiglas Berechnung) [FH Weihenstephan, 2008].

Als nächstes wird der Wärmetransportverlust über ein Rohrleitungssystem für einen Transportweg von 100 Meter bestimmt. Die von der Firma Schöfer zur Verfügung stehende Abwärme von 210 kW reduziert sich nach einem Transportweg von 100 Metern durch die Abstrahlung über das Rohrleitungssystem um 18,667 kW auf 191,3 kW. Mit dieser vorhandenen Wärmeenergie werden nun die unterschiedlichen Bauweisen beziehungsweise Verglasungsarten von Gewächshäusern verglichen.

Tabelle 12 zeigt einen Überblick über die verschiedenen Verglasungsarten, deren aufzuwendende Heizleistungen beziehungsweise die damit beheizbare Fläche.

Nach einem Transportweg von 100 Metern steht eine Wärmeleistung von 191,3 kW zur Verfügung, diese dient als Grundlage für die weiteren Vergleiche.		
Verglasungsarten	Wärmeleistung [kW]	Beheizbare Fläche [m ²]
Einfachverglasung	191,3 (355,3)	101 (187)
Plexiglasverglasung	10,47	187
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung (mit Plexiglasverglasung)	191,3	3417 (oder rund 18 Einheiten zu 187 m ²)
Zweifachverglasung (Wärmeübergangszahlen berücksichtigt)	5,6	187
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung (mit Zweifachverglasung)	191,3	6388 (oder rund 34 Einheiten zu 187 m ²)
Plexiglasverglasung mit Doppelfolie	13,9	187
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung (mit Plexiglasverglasung mit Doppelfolie)	191,3	2574 (oder rund 14 Einheiten zu 187 m ²)
Die beheizbare Fläche von 187 m ² bezieht sich auf <u>Abbildung 39</u> , beziehungsweise auf die dort definierten Abmessungen.		

Tabelle 12: Verglasungsarten – Wärmeleistung – Beheizbare Fläche Übersicht

Als Resultat dieser Berechnungen erhält man die Aussage, dass sich der aufzuwendende Wärmebedarf, durch Einsatz von Mehrfachverglasungen (Schichtdickenerhöhungen), drastisch reduzieren lässt. Geht man nun von einem mittleren Wärmebedarf von 10 kW Heizleistung beim zuvor dimensionierten Gewächshaus aus, so könnte man theoretisch zwanzig solcher Häuser beheizen.

Beispiel: Bürogebäude

Beschreibung

Ein weiteres Beispiel der Abwärmenutzung stellt die Beheizung von Bürogebäuden dar. Die anfallenden Wärmen, die sogenannte Kühlwasser – Abwärme und die Konvektionswärme werden mittels hintereinander geschalteter Wärmetauscher zu einem gesamt nutzbaren Wärmestrom zusammengeführt, welcher dann über ein Rohrleitungssystem zur Anwendung/Nutzung vor Ort geführt wird. Anschließend wird die zur Verfügung stehende Energie in das Heizungssystem eingespeist.

Berechnung

Berechnung der zur Verfügung stehenden Abwärme:

Die Berechnung der Konvektionswärme wurde für einen Transportweg von beispielsweise 30 Metern zu einem Bürogebäude durchgeführt. Man entnimmt die bei der Firma Schöfer theore-

tisch berechnete nutzbare Gesamtabwärme von 210 kW, reduziert diese um den Transportwärmeverlust, so erhält man eine Nettowärmemenge nach 30 Metern von 204,4 kW.

Berechnung der benötigten Heizleistung

Ausgehend von einer theoretischen Nutzungsfläche von 500 m² eines Bürogebäudes (ausgeführt als Standardenergiehaus), bei einer benötigten Heizleistung von 100 kWh/m²/a (siehe Tabelle 6) ergibt sich eine benötigte Heizleistung von 5,69 kW. Hochgerechnet auf die zur Verfügung stehende Abwärme können 22.000 m² Bürogebäude beheizt werden.

$$Q_{\text{benötigt}} := \frac{Q_{\text{standardhaus}} \cdot A_{\text{beheizt}}}{\Delta T}$$

	Wärmeleistung [kW]	Beheizbare Fläche [m ²]
Bürogebäude	5,69	500
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung	204,4	17961

Tabelle 13: Bürogebäudeheizungsbedarf

Beispiel: Wohnhaus

Beschreibung

Alternativ zur direkten Bürogebäudebeheizung besteht die Möglichkeit die vorhandene Wärme zur Temperierung von Wohnhäusern beziehungsweise Wohnhausanlagen zu nutzen.

Annahmen

Als Wärmetransportweg wird eine Strecke von 100 Meter angenommen. Der Energietransport erfolgt über selbiges, wie zuvor verwendetes Rohr.

Mit dem Transportwärmeverlust von 93,09 kW aufgrund des Transportes über ein 500 Meter langes Rohrleitungssystem und der theoretisch nutzbaren, berechneten Wärme von 210 kW, erhält man eine Nettowärmemenge von 116,9 kW vor Ort.

Die in Tabelle 14 dargestellte Übersicht, bezieht sich auf Referenzdaten (zum Beispiel „Benötigte Heizleistungen“ etc.) der Tabelle 6 . Aus durchschnittlichen Heizwärmebedarfen der verschiedenen Gebäudearten: Standardhaus, Niedrigenergiehaus und Passivhaus wurde, mit der zur Verfügung stehenden Wärmeleistung, die beheizbare Fläche berechnet. Durch den geringen Wärmebedarf eines Passivhauses von nur 0,22 kW ergibt sich auch die größte beheizbare Fläche von 750 Einheiten zu 130m².

	Wärmeleistung [kW]	Beheizbare Fläche [m ²]
<i>Standardhaus</i>	1,48	130
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung	116,9	10268 (oder rund 79 Wohneinheiten zu je 130 m ²)
<i>Niedrigenergiehaus</i>	0,71	130
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung	116,9	21404 (oder rund 165 Wohneinheiten zu je 130 m ²)
<i>Passivhaus</i>	0,22	130
Zur Verfügung stehende Wärmeleistung	116,9	69077 (oder rund 531 Wohneinheiten zu je 130 m ²)

Tabelle 14: Wohnhausbeheizungsübersicht

Zusammenfassung

In der folgenden Tabelle sind die drei berechneten Gebäudearten gegenübergestellt. Durch den direkten Zusammenhang des Wärmebedarfs mit der Isolierung des Gebäudes ergibt sich für das Wohnhaus, in diesem Beispiel ein Niedrigenergiehaus, die größte beheizbare Fläche. Will man dagegen ein Standardhaus heizen, wäre das Bürogebäude nach dem Kriterium der „beheizbaren Fläche“ zu bevorzugen.

	Wärmeleistung [kW]	Beheizbare Fläche [m ²]
Gewächshaus – Doppelverglasung	210	7012
Bürogebäude	204,4	17961
Wohnhaus - Niedrigenergie	116,9	69077

Tabelle 15: Gegenüberstellung unterschiedlicher Abwärmenutzungsmöglichkeiten

Da bei der Abwärmenutzung in einem Wohnhaus oder auch in einem Gewächshaus die Abwärme weiter transportiert werden muss, ist durch die auftretenden Leitungsverluste, die zur Verfügung stehende Wärmemenge geringer. Vergleicht man die firmeninterne Nutzung der Abwärme im Bürogebäude mit der Nutzung in Wohngebäuden, ist die zur Verfügung stehende Wärmemenge um rund 40% geringer. Ein weiteres Auswahlkriterium sind die Investitionskosten. Für die Nutzung im Bürogebäude wie auch im Gewächshaus ist jeweils nur eine Anschlussstelle erforderlich, hingegen benötigt jedes einzelne Einfamilienhaus einen eigenen Anschluss. Damit verbunden ist auch eine erhebliche Leitungsverlängerung.

5.7.3. Mögliche Umsetzung im Referenzunternehmen

Das Referenzunternehmen beheizt seine Bürogebäude mit einem Gaskessel mit 270 kW Leistung. Dieser Kessel war von Anfang an durch Fehlplanungen zu groß dimensioniert und konnte nie zufriedenstellend betrieben werden. Man war bei der Errichtung der Anlage davon ausgegangen, dass die komplette Fabrik zu heizen wäre. Tatsächlich werden jedoch nur die Büroräumlichkeiten versorgt, da der Produktionsbereich durch die direkte Abstrahlung der Anlagen geheizt werden kann.

Bei der Berechnung der Heizlast ergibt sich für 440 m² eine Heizlast von 39,4 kW. Für die Warmwasseraufbereitung zum Händewaschen und Duschen sind zusätzlich 2,1 kW erforderlich. Inklusive Reserven würde somit insgesamt ein Heizkessel bzw. eine Heizleistung aus der Abwärme von zumindest 45 kW ausreichen. Das zeigt auch, dass der bestehende Kessel stark überdimensioniert ist. Weiters ist auch der Gasverbrauch fast doppelt so hoch wie die theoretische Berechnung mit Berücksichtigung lokaler Klimadaten.

Mit 210 kW Kühlwasserleistung bzw. 92 kW Hydraulikleistung liegt die verfügbare Abwärme weit über der maximal benötigten Leistung von 48 kW. Das zu lösende Problem sind jedoch die geringen Temperaturen, die eine Nutzung in der derzeitigen Situation nicht erlauben.

Wie in 5.6.1 beschrieben kann das Kühlwasser mittels Verwendungen einer Wärmepumpe auf ein Temperaturniveau angehoben werden, dass für Heizzwecke bzw. für die Bereitstellung von Warmwasser genutzt werden kann. Das derzeitige Temperaturniveau des Hydrauliköls ist mit ca. 33°C auch sehr niedrig und könnte wie in 5.6.2 beschrieben bis auf max. 60°C angehoben werden. Damit könnte im Rahmen eines Niedertemperatursystems die Heizung sowie Warmwasser bereitgestellt werden. Der 270 kW Gaskessel könnte in beiden Fällen substituiert werden.

Österreichweit stehen somit theoretisch 80% die Eingangs erwähnten 144 GWh als Abwärmepotential zur Verfügung. Ideal wäre eine direkte Nutzung bei vorliegendem niedrigem Temperaturniveau des Kühlwassers. Bei Erhöhung dieses Niveaus mittels Wärmepumpe müsste zusätzlich elektrische Energie zum Verdichten aufgebracht werden. Das Einsparungspotential Österreichweit ist schwer abzuschätzen, da wie im berechneten Beispiel die vorhandenen Gegebenheiten mitberücksichtigt werden müssen. Es ist die Nutzung der industriellen Abwärme mittels Wärmepumpe mit der vorliegenden Art der Wärmeerzeugung zu vergleichen. Vor allem geht es um die Art der Energieerzeugung (Gas, Elektrisch, Fernwärme, Wärmepumpe etc.) und der notwendigen Temperaturniveaus der jeweiligen Anwendung. Beispielsweise wirken sich im Vergleich zu der Wärmebereitstellung mittels Erdwärme-Wärmepumpe, die höheren Temperaturen des Kühlwassers positiv, jedoch die lange Transportstrecke negativ aus.

5.8. Möglichkeiten von Geschäftsmodellen

Der Weg vom Verkauf von Produkten hin zum Anbieten von Produktdienstleistungen stellt in vielen Fällen einen wesentlichen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung dar. Bei dieser Entwicklung geht es um Verbesserungen in allen drei Säulen der Nachhaltigkeit: Verbesserung der Rohstoffeffizienz, der Sozialstandards und der unternehmerischen Wettbewerbsfähigkeit. Nach [Jasch et al., 2008] hat sich dieser Paradigmenwechsel einerseits weg vom Verkauf von Produkten, hin zu zur Bereitstellung zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse noch nicht durchgesetzt, andererseits ist eine Produktdienstleistung nicht notwendigerweise Nachhaltig. Diese Energiedienstleistung soll helfen, die Umsetzung hin zu nachhaltigen Produktdienstleistungen weiter voranzutreiben.

Im folgenden Kapitel wird diese Energiedienstleistung nach den Produktdienstleistungen eingeteilt, beschrieben und untersucht wie nachhaltig diese Dienstleistung ist.

Grundsätzlich können Produktdienstleistungen in primäre Dienstleistungen (z.B. Beratung), die durch keine Produkte ersetzbar sind und sekundäre Dienstleistungen mit einer Produktkomponente unterschieden werden. In den Sekundären Dienstleistungen liegt auch der Focus bei produzierenden Betrieben. Diese unterscheiden sich in Produktergänzende und Produktersetzende.

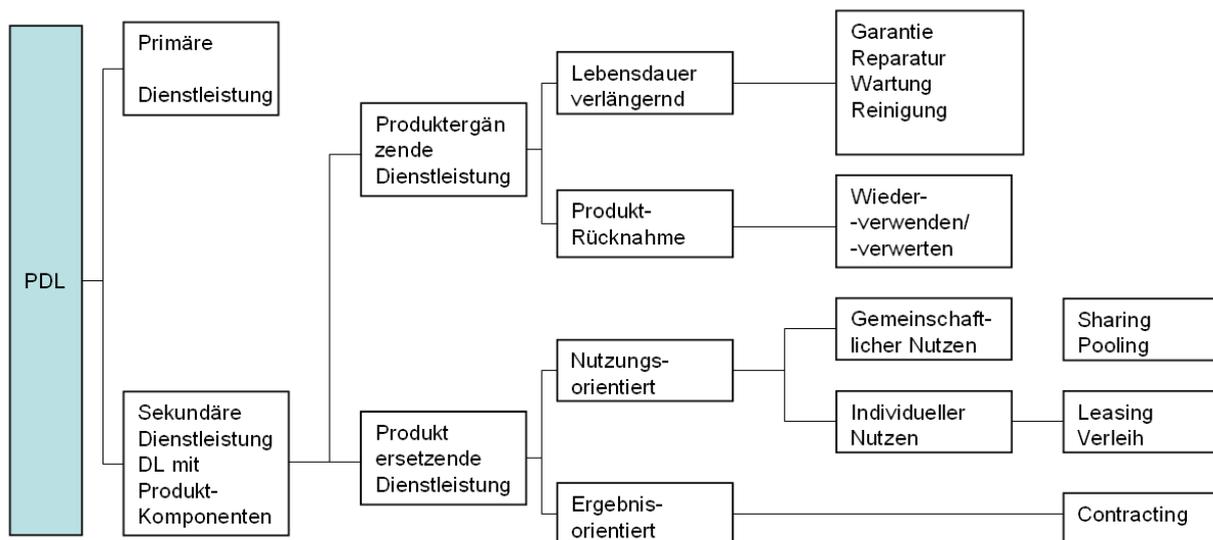


Abbildung 40: Einteilung von Produktdienstleistungen [Hammerl et al., 2003]

Die Produktergänzenden wie Wartung oder Reparatur zielen beispielsweise auch durch eine Produktrücknahme auf eine Lebensdauerverlängerung ab. Im Gegensatz dazu bleibt bei den produktersetzenden der Hersteller oder auch der Anbieter im Besitz des Produktes und verkauft dem Anwender den Nutzen weiter. Ein Beispiel für eine Produktersetzende Dienstleistung ist das auch für dieses Projekt relevante Contracting.

Definition Energiedienstleistung/ Contracting:

Anwender:

Bezahlt nicht die Anlage, sondern für die Funktion der Anlage

Hersteller:

Verkauft die Funktion, nicht die Anlagen, Abwendungs-Know-how beinhaltet, Produktmanagement und Logistik enthalten

Bereiche und Branchen in denen Energiedienstleistungen bzw. Contracting bereits zum Einsatz kommen:

Bereiche	Branche
Raumwärme	Büro- und Dienstleistungsgebäude
Beleuchtung	Hotels, Jugendherbergen, Gastronomiebetriebe
Druckluft	Handel (Einkaufszentren, Verwaltungsgebäude)
Dampf	Banken, Versicherungen
Prozesswärme	Sportstätten
Prozesskälte	Industriebetriebe
Strom	Pharmaindustrie
Lüftung	Papierindustrie
Kühlung	Holzindustrie
Energetische Verbesserung der Gebäudehülle	Chemische Industrie
	Lebensmittelproduktion
	Bauindustrie

Abbildung 41: Energiedienstleistungsübersicht [Jasch et al., 2008]

Beispielsweise sind Dienstleistungsunternehmen für die Lieferung von Nutzenergie wie Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung, Druckluft usw. oder für die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen in Ihrem Betrieb zuständig. Bei dieser Studie handelt es sich um eine Prozesswärme aus einem Industriebetrieb die an anderer Stelle in der Industrie bzw. Privat genutzt werden soll.

Bei Energiedienstleistungen unterscheidet man grundsätzlich zwischen zwei Hauptvarianten, dem *Anlagencontracting* und dem *Einsparcontracting*.

Anlagencontracting: Hierbei errichtet und betreibt der Contractor die Anlage zu Bereitstellung der Energie und verkauft an den Abnehmer die Energie in der gewünschten Form.

Beispiele zu Anlagencontracting: In der Papierfabrik SCA Graphic Laakirchen AG wurde beispielsweise ein Gasturbinen-Heizkraftwerk mittels Anlagen-Contracting errichtet und jetzt betrieben. Ziel war die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit, Wahrung der Liquidität und Auslagerung des Risikos. Durch den Bau der Gasturbine wurde die Brennstoffeffizienz um 32% erhöht [ÖGUT, 2007].

In einer anderen Papierfabrik Mondi Business Paper Services AG wird bisher ungenutztes Rauchgas über einen Wärmetauscher geführt und als Heißwasser als Fernwärme eingespeist. Diese Fernwärme speist ein nahegelegenes Krankenhaus. Die zu erzielende Einsparung wird mit 4.500 CO₂/Jahr beziffert [ÖGUT, 2007].

Einsparcontracting: Hier übernimmt der Contractor die Aufgabe Energieeinsparungen und Effizienzsteigerungen beim Vertragspartner zu realisieren.

Der Energiedienstleister analysiert beim Vertragspartner die Energiesituation und leitet daraus Effizienzmaßnahmen ab. Mit diesen Maßnahmen soll die Energieeffizienz des Produktes bzw. der Anlage verbessert werden. Im Vergleich zum aktuellen Energieverbrauch werden mit dem Vertragspartner Einsparziele im Contracting-Vertrag festgelegt.

Das Energiedienstleistungsunternehmen übernimmt je nach Vertragsgestaltung folgende Leistungen [ÖGUT, 2007]:

- Planung und Durchführung der Einsparmaßnahmen
- Garantie für das Erreichen der Einsparziele
- Betrieb und Instandhaltung von Anlagen
- Vorfinanzierung der Maßnahmen
- Einschulung der NutzerInnen

Contracting ist in folgenden Fällen sinnvoll:

- Wenn das Know-how des Contractors in Bezug auf Planung, Umsetzung und Betrieb der Anlage wesentlich über jenem des Abnehmers liegt
- Wenn die Finanzierung von Investitionen hohe Kosten beim Abnehmer verursacht
- Wenn der Abnehmer das Investitionsrisiko scheut
- Wenn Entscheidungsprozesse langwierig und schwierig sind

Beispiele zu Einsparcontracting: Die Firma MCE Building & Infrastructure Solution GmbH ist beispielsweise Contractor bei der Firma Baxter Vaccine AG. MCE optimierte die Produktion des Pharmakonzerns um Lüftungsanlagen und errichtete eine Wärmerückgewinnungsanlage. Dabei wurde festgelegt, dass während der 6 Jahre Vertragslaufzeit € 230.000,- pro Jahr bzw. 1.300 Tonnen CO₂/Jahr eingespart werden [ÖGUT, 2007].

In einem weiteren Beispiel wurde bei Austro Control Wien zur Erhöhung der Betriebs- und Ausfallsicherheit und zur Senkung der Energiekosten die Heizungsanlage beziehungsweise Lüftungs- sowie Klimaanlage optimiert, die Steueranlage erneuert und ein E-Spitzenlastmanagements eingeführt.

Ziel war es mit dem Contractor Axima Gebäudetechnik GesmbH und Energieeinsparcontracting mit einer Investition von knapp € 900.000,- jedes Jahr € 130.000,- zu sparen [ÖGUT, 2007].

Für die Nutzung der Abwärmenutzung bzw. Wärmerückgewinnung wird in anderen Industriebereichen bereits ein Dienstleistungsansatz angewendet. Hierbei wird für die Installation und den Betrieb zusätzlicher Komponenten der Produkergänzende Ansatz des sogenannten Energiecontractings gewählt. Es kommen dabei mit Anlagen- und Einsparcontracting zwei Varianten zum Einsatz. In der einen Variante bleibt der Contractor im Besitz der Anlage, betreibt diese beim Kunden und ist somit auf einen möglichst geringen Energieverbrauch während des Betriebes aus. In der zweiten Variante errichtet der Contractor die Anlage nach vorher vereinbarten Einsparzielen.

5.9. Konkretisierung der Energiedienstleistung: Abwärmenutzung von Spritzgießmaschinen

Die Nutzung der Abwärme von Spritzgießmaschinen kann daher in Form von Anlagen- bzw. Energiesparcontracting angeboten werden. Im Folgenden wird zwischen Anlagencontracting bei Nachrüstung der Abwärmenutzung sowie Anlagencontracting der gesamten Anlage bei Neukauf unterschieden.

Anlagencontracting:

- Der Energiedienstleister errechnet Einsparpotential und bewertet die Abwärmenutzungsmöglichkeiten.
- Der Energiedienstleister errichtet beim Maschinenanwender die zusätzlichen Geräte und ist für die Wartung verantwortlich.
- Er verkauft dem Maschinenanwender die damit gewonnene Energie.
- Der Maschinenanwender verwendet die Energie intern bzw. verkauft Sie an externe Nutzer

Anlagencontracting bei Nachrüstung der Abwärmenutzung

Anlagencontracting ist sehr interessant bei der nachträglichen Umrüstung der Maschinen. Der Betreiber will die Investition nicht machen da er von z.B. von der Performance nicht überzeugt ist oder da ihm die Amortisationszeit zu lange ist. Nach Aussage eines Maschinenverkäufers wird bei einer Amortisationsdauer von über ½ Jahr nicht mehr investiert. Im Vergleich dazu liegt die durchschnittliche Lebensdauer bei Spritzgießmaschinen bei 15 Jahren.

Ziel: Energieeffizienz der Abwärmenutzung

Akteure in unserem Beispiel:

Contractor/ Energiedienstleister: Spritzgießmaschinen Hersteller, Wärmepumpen Hersteller, technisches Planungsbüro

Vertragspartner: Maschinenanwender

Externe Nutzer: Gewächshaus

Vorteile für Maschinenhersteller:

- Maschinenhersteller bekommt Prozesswissen
- Maschinenhersteller bleibt im Besitz der zusätzlich notwendigen Anlagenteile
- Maschinenhersteller wird nach der nutzbaren Wärmeleistung bezahlt
- Maschinenhersteller zielt daher auf möglichst hohe Wärmenutzung ab

Vorteile für den Maschinenanwender:

- Geringe Investitionskosten
- Keine Gedanken an Wartung

Vorteile für die Umwelt:

- Bisher ungenutztes Abwärmepotential der Abwärme wird nutzbar
- Fokus auf maximale Nutzung der Abwärme

Nachteile:

- Fokus auf Abwärmenutzung – Effizienz der Spritzgießmaschine wird nicht verbessert

Anlagencontracting der gesamten Anlage:

Bei Neuanschaffungen ist Anlagencontracting nur interessant wenn die gesamte Maschine für die Dienstleistung herangezogen wird und der Anwender den Dienstleister nach der Performance der Maschine bezahlt. Im Vergleich zur Anlagencontracting bei Nachrüstung wird hier der Fokus auf die gesamte Anlage gelegt d.h. das es hier nicht nur um die Abwärmenutzung geht sondern um die Gesamteffizienz der Maschine. Es kann daher sein, dass die Abwärmemenge und damit das nutzbare Potential sinkt (im Beispiel davor eher schlecht) aber dafür die Gesamteffizienz der Spritzgießmaschine steigt.

Ziel: Energieeffizienz des gesamten Spritzgießprozesses

Akteure in unserem Beispiel:

Contractor/ Energiedienstleister: Spritzgießmaschinen Hersteller, Wärmepumpen Hersteller, technisches Planungsbüro

Vertragspartner: Maschinenanwender

Externe Nutzer: Gewächshaus

Vorteile für Maschinenhersteller:

- Maschinenhersteller bekommt Prozesswissen
- Maschinenhersteller bleibt im Besitz der gesamten Maschine
- Maschinenhersteller wird nach der Leistung und Effizienz der Maschine bezahlt
- Maschinenhersteller wird die Maschinen so entwickeln, dass der Energiebedarf möglichst gering ist

Vorteile für den Maschinenanwender:

- Geringe Investitionskosten

- Keine Gedanken an Wartung, Maschinenaustausch, ...

Vorteile für die Umwelt:

- Focus auf geringen Energiebedarf und maximaler Funktionalität
- Focus auf lange Lebensdauer der Maschinen

Einsparcontracting:

Der Energiedienstleister (ev. Maschinenhersteller) errichtet beim Maschinenanwender die zusätzlichen Geräte zur Energieeinsparung und wird dafür von Maschinenanwender bezahlt.

Der Energiedienstleister übernimmt dabei folgende Aufgaben:

- errechnet Einsparpotential und bewertet die Abwärmenutzungsmöglichkeiten.
- plant notwendige Maßnahmen
- errichtet beim Maschinenanwender die zusätzlichen Geräte
- verkauft die Anlage an den Maschinenanwender mit den vertraglich festgehaltenen Einsparungen

Vorteile für den Maschinenanwender:

- Gibt nicht sein gesamtes Prozesswissen weiter
- Kann die gesamten erzielten Einsparungen für sich gutschreiben

Nachteile:

- Fokus auf Abwärmenutzung – Effizienz der Spritzgießmaschine wird nicht verbessert
- Nach der Installation der Anlage samt den erzielten Effizienzverbesserungen gibt es für den Contractor keinen Anreiz mehr die Anlage zu verbessern.
- Höhere Investitionskosten
- Muss sich über die Wartung und Betrieb der zusätzlichen Komponenten kümmern
- Muss sich über technologische Weiterentwicklungen am Laufenden halten um neue Einsparungen zu erzielen

Nach Darstellung der beiden grundsätzlichen Möglichkeiten für eine Abwärmenutzung mittels Dienstleistung kann abgeleitet werden, dass mit Anlagencontracting im Vergleich zu Einsparcontracting über die Produktlebensdauer mehr Energieeinsparungen realisiert werden kann. Hingegen muss sich der Maschinenanwender Einblick in seine Prozesse gewähren. Dies ist sicher bzw. war bis dato ein großes Hindernis für Anlagencontracting in Unternehmen, da Einblick in die Kernprozesse nicht gerne gegeben wird.

5.9.1. Nachhaltigkeitsbewertung der Energiedienstleistung

Neben der technischen Machbarkeitsuntersuchung in dieser Studie wird weiters auf die Nachhaltigkeit dieser Energiedienstleistung eingegangen. Das heißt, es soll beurteilt werden in wie weit diese Dienstleistungen im Vergleich zu den bisherigen Lösungen Bedürfnisse über den Verkauf von Produkten befriedigen und ob sie zu Verbesserungen in den drei Nachhaltigkeitsbereichen: Ökologie, Sozial und Ökonomie führen [Jasch et al, 2006].

Aus diesem Buch geht weiters hervor, dass Produktdienstleistungen nicht automatisch nachhaltiger sind als reine Produkte. In einigen Beispielen hat die Dienstleistung zwar positive Auswirkungen auf die Umwelt, jedoch wird dies durch den sogenannten „Rebound Effekt“ wie beispielsweise bei Waschsalons, durch den erhöhten Transportaufwand, wieder überkompensiert.

Das verwendete Bewertungsinstrument aus [Jasch et al, 2006] besteht aus einem Set an Kriterien für die drei Bereiche Sozial, Ökologie und Ökonomie. Dabei wurden diese Kriterien nicht neu entwickelt sondern bauen auf verschiedenen Vorgängerbewertungen auf. Ziel dieses Bewertungstools ist es, dass externe Experten mit meist unvollständigen Daten eine erste Nachhaltigkeitsbewertung durchführen zu können. Dabei muss die umwelt- und sozialverträgliche Abdeckung von Bedürfnissen und die ökonomischen Auswirkungen abgeschätzt werden.

Ökonomische Dimension:

Bei der Ökonomischen Dimension geht es um die Profitabilität bei den beteiligten Akteuren: Meistens Anwender und Anbieter. Eine Produktdienstleistung die nicht eine Dienstleistung, die weder billiger ist noch einen Zusatznutzen bietet, wird nicht angewendet. Weiters geht es hier um regionale bzw. Makroökonomische Kriterien d.h. beispielsweise werden neue Arbeitsplätze in der Region geschaffen.

Ökologische Dimension:

Hier wird der unterschiedliche Verbrauch an Materialien bzw. Energien die während des Produktlebens benötigt werden erfasst. Weiters soll die Veränderung der Emissionen im Vergleich zum Referenzprodukt abgeschätzt werden.

Soziale Dimension:

Die Sozialen Kriterien werden in soziale Effekte beim Anwender (z.B. Wie verändert sich die Arbeitssituation, etc.), soziale Effekte beim Anbieter (z.B. Werden Störungen wie Lärm, Hitze, Gestank reduziert?) und in makroökonomische Effekte (z.B. Wie verändert sich die Verteilung von Wohlstand?) unterteilt. Wenn man die Situation beim Anbieter nicht kennt sind diese schwer zu beurteilen. Effekte beim Anwender sind meistens positiv.

Die Produktdienstleistung wird auf Basis der Referenzsituation bewertet. Dabei steht eine Bewertungsskala von -1 (Verschlechterung), 0 (keine Veränderung), +1 (Verbesserung) bis +2 (starke Verbesserung) bzw. „nicht relevant“ zur Verfügung. Die Bewertung ist einerseits quantitativ durch dieses Bewertungssystem abzuschätzen und andererseits verbal zu begründen.

Anschließend erfolgt eine Addierung der Bewertungen nur innerhalb einer der drei Dimensionen. In Tabelle 16: Nachhaltigkeitsbewertung der Energiedienstleistung nach [Jasch et al, 2006] sind die Kriterien in den drei Dimensionen samt der Bewertung der Energiedienstleistung angeboten als Anlagencontracting dargestellt.

Beschreibung der Referenzsituation (Produkt, Dienstleistung)		
Betrieb einer Spritzgießmaschine		
Abwärme wird über das Kühlwasser bzw. durch Konvektion an die Umgebung abgeführt		
Beschreibung der Dienstleistung + Innovation/ des neuen Lösungsansatzes		
Anlagencontracting		
Errichtung und Betrieb einer Abwärmenutzungsanlage an einer Spritzgießmaschine und Verkauf der Abwärme an den Anwender		
Bewertung der Nachhaltigkeitsperformance der Innovation	Bewertung -2 -1 0 +1 +2 bzw. nicht relevant	Textfeld für verbale Begründung der Bewertung
ÖKONOMISCHE DIMENSION		2
Ökonomische Effekte für den Anbieter		
1	Wie verändert sich der Nutzen für den Anbieter der Innovation?	2
		Kundenbindung, Umsatz, Prozesseinblick
2	Wie verändern sich die Herstellkosten und/oder Kosten der Leistungserstellung? (Personal-, Materialkosten)?	0
		Höhere Kosten durch Anlagenherstellung und Service, aber auch höherer Umsatz
3	Wie verändert sich die Profitabilität (kurz-, langfristige Auswirkungen)?	1
		Mehr Umsatz durch Verkauf der Abwärme
4	Wie verändert sich die Kundenbindung?	2
		Steigt durch Vertrag, Service und Prozesseinblick
5	Wie verändert sich der Zugang zu neuen Märkten/neuen Kundengruppen?	1
		Die Knowhow Erweiterung der Abwärmenutzung, könnte auch in anderen Industriebereichen genutzt werden
Ökonomische Effekte für den Anwender		
6	Wie verändert sich der Hauptnutzen für den Anwender?	0
		Bleibt gleich
7	Wie verändert sich der ökonomische Zusatznutzen für den Anwender (z.B. Haftungsfragen ausgelagert, Wartungsverpflichtung ausgelagert, Zeitgewinn..)?	2
		Positiv, durch zusätzlichen Umsatz bzw. durch geringeren Energieverbrauch für die Heizung

8	Wie verändern sich die Kosten (pro Nutzeneinheit) für den Anwender?	1	Verringern sich durch Nutzung bzw. Verkauf der Abwärme
9	Wie verändern sich die Betriebskosten beim Anwender?	2	Sinken durch Nutzung der Abwärme
10	Wie verändert sich der Investitionsbedarf beim Anwender?	0	Bleibt gleich, da für die Errichtung der Abwärmenutzungsanlage der Anbieter zuständig ist
Regionale Effekte			
11	Werden neue Arbeitsplätze in der Region geschaffen (welcher Art - Vollzeit, Teilzeit, Saisonal,...)?	1	Neue Arbeitsplätze beim Anbieter: Anlagenbau, Service, bzw. beim Anwender bei der Weiterverwendung der Abwärme
12	Wird eine Verbesserung der Befriedigung der Bedürfnisse der Menschen einer Region erzielt (Bereicherung/ Erweiterung des regionalen Angebots an Produkten/ Dienstleistungen)?	1	Umliegende Wohnhäuser, Freibäder können mit Fernwärme/Abwärme beheizt werden
13	Wie verändert sich die Wertschöpfung in der Region (z.B. höhere Anzahl regionaler Lieferanten)?	1	Die Wertschöpfung bleibt in der Region da weniger Energie (z.B. Erdgas) von überregionalen Anbieter gekauft werden muss
ÖKOLOGISCHE DIMENSION		2	
Material/ Rohstoffe			
14	Wie verändert sich der Materialverbrauch?	-1	Produktion und Installation von Wärmetauscher samt Leitungen
15	Wie verändert sich der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen?	0	Keine Änderung
16	Wie verändert sich der Einsatz von Rezyklaten?	0	Keine Änderung
17	Wie verändert sich der Einsatz gefährlicher (toxischer) Materialien?	0	Keine Änderung
18	Wie verändert sich die Materialeffizienz der eingesetzten Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe?	0	Keine Änderung
19	Wie verändert sich der Wasserverbrauch?	2	Verringerung durch Kreislaufführung
Energie			
19	Wie verändert sich der Energieverbrauch im Rahmen der Herstellung der Maschine?	1	Erhöhung durch die Produktion zusätzlicher Komponenten
20	Wie verändert sich der Energieverbrauch im Rahmen der Nutzung der Maschine?	2	Sinkt durch die Nutzung der Abwärme
21	Wie verändert sich der Einsatz von erneuerbaren Energien?	0	Keine Änderung

Boden/ Biodiversität			
23	Wie verändert sich der Bodenverbrauch/ die Bodenversiegelung?	0	Keine Änderung
24	Wie verändert sich die Biodiversität?	1	Kühlwasser aus dem vorbei fließenden Fluss wird nicht mehr mit 2-3°C Erwärmung in den Fluss zurückgespeist.
Abfälle/ Emissionen/ Abwasser			
25	Wie verändert sich die Menge an festen Abfällen?	0	Keine Änderung
26	Wie verändert sich die Menge an gefährlichen Abfällen?	0	Keine Änderung
27	Wie verändert sich der Ausstoß von Emissionen in die Luft (z.B. durch Transportvorgänge)?	1	Durch Abkapselung der Plastifiziereinheit, verdampft weniger Öl an der Oberfläche
28	Wie verändert sich die Menge der Abwässer?	2	Kühlwasser kann zukünftig im Kreislauf geführt werden
29	Wie verändert sich die Lebensdauer und/ oder Nutzungsdauer der Maschine?	0	Durch die Steigerung der Gesamteffizienz der (Keine Vorschläge), kann diese auch länger wirtschaftlich genutzt werden
30	Wie verändert sich die Wieder- bzw. Weiterverwendung (Verwertung) der Maschine/Anlage (z.B. durch Produktrücknahmesysteme)?	1	Keine Änderung
SOZIALE DIMENSION		1	
Soziale Effekte beim Anbieter			
31	Wie verändern sich die Arbeitsbedingungen (z.B. Arbeitssicherheit, Gesundheit)?	0	keine Änderung
32	Wie verändern sich die Sozialstandards (z.B. Chancengleichheit, Partizipation, Qualifizierung,...)?	0	keine Änderung
33	Wie verändern sich Anzahl und Struktur der Arbeitsplätze?	1	Mehr Arbeitsplätze für die Herstellung der zusätzlichen Komponenten sowie für das Service
34	Wie verändert sich die Anzahl von LieferantInnen, die soziale Standards berücksichtigen?	0	keine Änderung
Soziale Effekte beim Anwender			
35	Wie verändert sich die Arbeitsbedingungen beim Anwender (z.B. Bequemlichkeit, Informationsgewinn, Zeitgewinn, Luxus, Lernchancen, Möglichkeiten der Mitgestaltung,...)?	1	Steigt durch Auslagerung der Erstellung und Betrieb der zusätzlichen Anlage
36	Werden Störungen, wie Lärm, Hitze, Gestank, Verschmutzung, etc. reduziert und/ oder wird die Arbeitssicherheit erhöht (Arbeitsbedingungen beim Anwender)?	2	Durch die Verringerung der Abwärme der Maschinen verringert sich auch die Temperatur in der Produktionshalle sowie an der Plastifiziereinheit und damit auch die Verbrennungsgefahr
37	Wie verändert sich der Beitrag/ Anreiz zu nachhaltigeren Konsumformen (z.B. Steigerung der Nutzungsintensität, intelligenter Konsum, Nutzen statt Besitzen,...)?	1	Steigerung durch Nutzung der Abwärme: Bewusstseinsbildung der Mitarbeiter kann zu zusätzlichen Ideen zur Energieeinsparung führen

Makroökonomische Effekte			
38	Wie verändert sich die Verteilung von Wohlstand bzw. die Nord-Süd-Problematik?	0	Keine Änderung
39	Haben breitere Gruppen der Bevölkerung die Möglichkeit, Ihren Bedarf zu decken (einfacher Zugang zu Produkten und Dienstleistungen für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen)?	0	Keine Änderung
40	Wie verändert sich die Einbindung von KundInnen, LieferantInnen in den Entwicklungsprozess von Maschinen/Anlagen (Möglichkeiten der Mitgestaltung)?	1	Da die Anlage beim Anwender installiert wird hat dieser Mitgestaltungsmöglichkeiten. Umgekehrt wird der Anbieter in den Produktionsprozess des Anwenders eingebunden und kann dies für die Gestaltung der Spritzgießmaschine nutzen
41	Wie verändern sich Sicherheitsaspekte (z.B. Vandalismus- und Verbrechensprävention)?	0	Keine Änderung

Tabelle 16: Nachhaltigkeitsbewertung der Energiedienstleistung nach [Jasch et al, 2006]

Ökonomische Dimension: 2 Punkte

Diese Energiedienstleistung wird ökonomisch positiv bewertet da sich sowohl für den Anbieter als auch für den Anwender positive Aspekte ergeben. Beim Anbieter erhöhen sich durch die neue Dienstleistung die Einnahmen. Diese sind durch längerfristige Verträge gesichert. Durch die Anlagenerstellung und -wartung direkt beim Spritzgießer erhält der Anbieter einen Prozess-einblick. Ist der Anbieter ein Maschinenhersteller soll kann dieser Know-how Gewinn in der Entwicklungsabteilung genutzt werden.

Für den Anbieter auf der anderen Seite ergibt sich durch keine Aufbringung von Investitionskosten und der Nutzung bzw. Weiterverkauf der Abwärme eine positive ökonomische Bewertung. Der Anbieter kann sich außerdem durch die Auslagerung der Wartung und den damit verbundenen Zeitgewinn auf sein Kerngeschäft konzentrieren.

Positiv ist auch die regionale Wertschöpfung. Durch die Anlagenherstellung werden beim Anbieter neue Arbeitsplätze geschaffen. Mit der Abwärme kann regional über ein Fernwärmenetzwerk umliegende Wohnhäuser, Freibäder, etc. heizen. Somit muss auch weniger Energie (z.B. Erdgas) vom überregionalen Anbieter gekauft werden.

Ökologische Dimension: 2 Punkte

Die ökologische Dimension ist auch sehr positiv bewertet. Zwar erhöht sich durch die Produktion und Installation von Wärmetauscher samt Leitungen der Materialverbrauch, dieser wird aber durch die Nutzung der Abwärme als z.B. Heizenergie überkompensiert. Durch die Kreislaufführung der Abwärme, wird der Verbrauch an Kühlwasser reduziert. Mit der Nutzung der Abwärme wird die abzuführende Wärmemenge reduziert und damit der Kühlwasserverbrauch.

Weiters verdampft durch die Abkapselung der Plastifiziereinheit und damit Verringerung der Oberflächentemperatur, weniger Öl an der Oberfläche.

Soziale Dimension: 1 Punkte

Auch die soziale Dimension lässt sich positiv bewerten. Der Anbieter profitiert durch eine gesteigert Zahl an Arbeitsplätzen für die Herstellung der zusätzlichen Komponenten sowie für das

Service. Beim Anwender fällt durch die Auslagerung der Montage und Wartung kein zusätzlicher Aufwand an. Durch die Verringerung der Abwärme der Maschinen verbessern sich auch die Arbeitsbedingungen. Es verringert sich die Temperatur in der Produktionshalle sowie die Temperatur an der Plastifiziereinheit und damit auch die Verbrennungsgefahr.

Weiters muss die Anlage spezifisch an die Anforderungen angepasst werden, somit hat dieser auch Einfluss auf die Gestaltung der Anlage. Umgekehrt wird der Anbieter in den Produktionsprozess des Anwenders eingebunden und kann dies für die Gestaltung der Spritzgießmaschinen nutzen.

Darstellung im Nachhaltigkeitsportfolio

In [Jasch et al., 2008] wurde ein Nachhaltigkeitsportfolio definiert, das Beispiele anhand von vier Parametern (Innovationstyp, Nachhaltigkeitsperformance, Status der Innovation, Anzahl involvierter Akteure) einteilt:

Innovationstyp (X-Achse)

- Produkt/Prozessinnovationen
- Dienstleistungs-/Systeminnovation
- Institutionelle Innovationen

Nachhaltigkeitsperformance (Y-Achse)

Basis für die Zuordnung ist das Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung (Tabelle 15). Für das Portfolio werden 3 Klassen an Nachhaltigkeitsperformance vorgegeben (gering = 1-2 Punkte, mittel = 3-4 Punkte, hoch = 5-6 Punkte)

Status der Innovation (Farbe der Kreise)

- Rot = Anstoß, Ideengenerierung
- Gelb = Pilotumsetzung bewerteter und ausgewählter Ideen
- Grün = Marktreife, Umsetzung und Realisierung

Anzahl involvierter Akteure (Größe der Kreise)

- Kleiner Kreis = geringe Anzahl (meist nur ein Unternehmen involviert)
- mittlerer Kreis = mittlere Anzahl (mehrere Akteure entlang der Wertschöpfungskette involviert)
- großer Kreis = große Anzahl (möglichst alle relevanten Akteure innerhalb eines Bedarfesfeldes involviert)

Im Nachhaltigkeitsportfolio stellt somit ein großer grüner Kreis im rechten oberen Eck einen „Leuchtturm“ innerhalb des Bedarfesfeldes dar.

Aufgrund der Tatsache, dass Energie sowohl bei den Haushaltsausgaben wie auch aus Umweltsicht relevant ist wurden in [Jasch et al., 2008] Energiedienstleistungen genauer untersucht und mehrere Anwendungsbeispiele in einem Nachhaltigkeitsportfolio dargestellt.

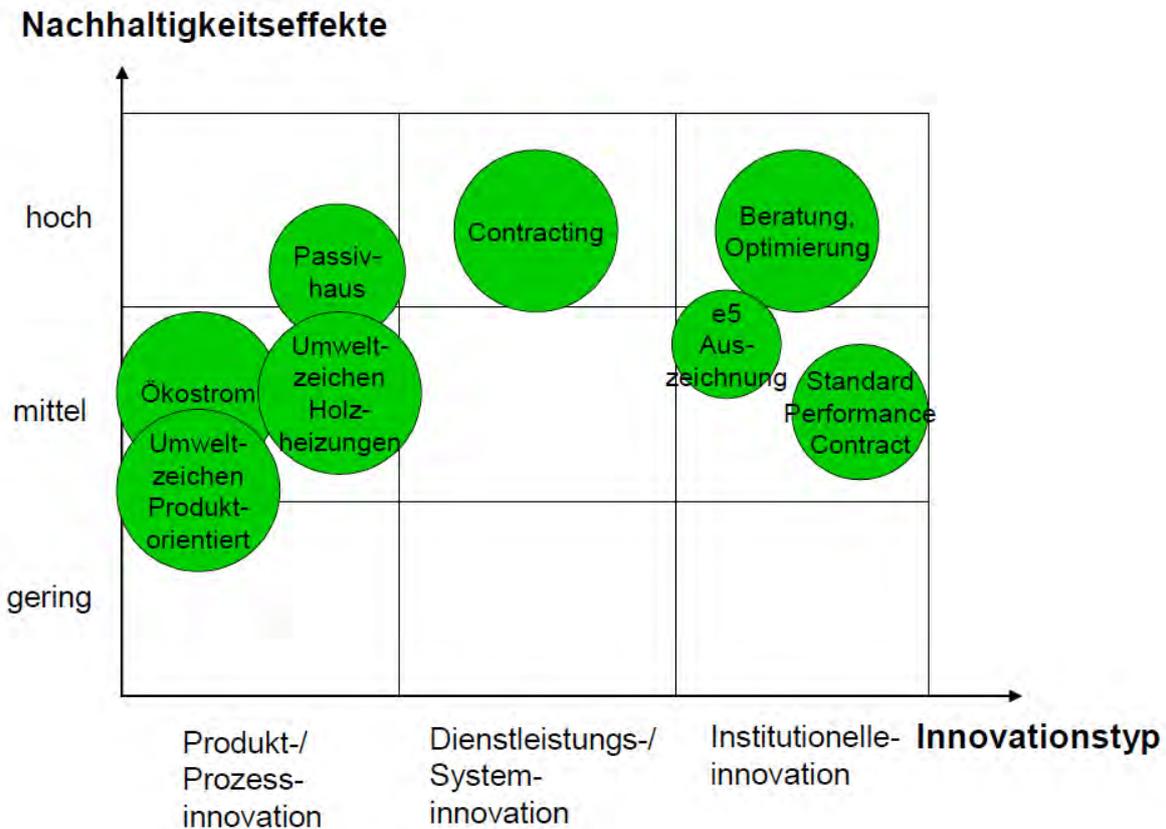


Abbildung 42: Nachhaltigkeitsbewertung verschiedener Energiedienstleistungen, nach [Jasch et al., 2008]

Zu Erkennen ist hier, dass sich alle untersuchten Energiedienstleistungen in Umsetzung befinden. Das bewertete Anlagencontracting hat wie auch die anderen Dienstleistungen mittlere bis hohe Nachhaltigkeitseffekte. Um diese Contracting Anwendung noch nachhaltiger zu gestalten wäre eventuell mit einem Wechsel von einer Dienstleistungsinnovation zu einer Institutionellen Innovation möglich. Hierzu müssten weitere Akteure von den Zulieferern der Komponenten bis zu den Nutzern der Abwärme in z.B. Glashäusern miteingebunden werden.

6. Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

Mit dem vorliegenden Projekt wurde die Machbarkeit eines „Innovativen Produktions- und Dienstleistungssystems“ geprüft (Ausschreibungsthema 5.3). Ziel ist es dabei, ein Konzept im Bereich „Neue Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz“ zu erarbeiten.

Der wesentliche Punkt des Projektes trägt insofern zum Gesamtziel der Programmlinie bei indem es auf eine Steigerung der Energieeffizienz von Kunststoff verarbeitenden Maschinen abzielt. Eine Effizienzsteigerung kann bei Kunststoffspritzgießmaschinen nur durch eine erweiterte, ganzheitliche Prozesssichtweise, weg vom reinen Produktdenken hin zu einer Betrachtung des Gesamtsystems mit Einbindung der Akteure wie beispielsweise der Betreiber, dem Umfeld etc. erreicht werden. Daher wurde im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für ein Demonstrationsvorhaben überprüft, ob mit dem Anbieten einer Dienstleistung zur Abwärmenutzung von Spritzgießmaschine sowohl ein neues, innovatives und wettbewerbsfähiges Geschäftsmodell als auch eine signifikante Steigerung der Energieeffizienz und in weiterer Folge eine Kosteneffizienzsteigerung erreicht werden kann. Es wurden dazu die Rahmenbedingungen geklärt und allfällige Struktur- und Systemveränderungen ermittelt. Eine Umsetzung dieser Dienstleistung ist jedoch für jede Anwendung individuell zu gestalten. Wichtig ist die ganzheitliche Betrachtung der Energiebedarfsstruktur jeder einzelnen Anwendung.

Folgende Leitprinzipien wurden mit dieser Machbarkeitsstudie umgesetzt:

- Die Prinzipien „Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung“ und das „Effizienzprinzip“ wurden umgesetzt indem in dieser Machbarkeitsstudie eine Dienstleistung zur Steigerung der Energieeffizienz von Spritzgießmaschinen erstellt wurde.
- Das „Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität“ wurde umgesetzt indem durch das Anbieten dieser Dienstleistung auf regionaler Ebene hochwertige Arbeitsplätze geschaffen werden.
- Das „Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit“ wurde umgesetzt indem durch die Dienstleistung die Wiederverwendung der Abwärme von Spritzgießmaschinen forciert wird.

Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) in das Projekt und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Die Zielgruppe des Projekts sind neben dem Hersteller der Kunststoffspritzgießmaschinen als Projektpartner außerdem deren Kunden, welche die Maschinen betreiben, sowie deren potentielle Wärmeabnehmer. Dies kann zum Beispiel ein Gewächshaus oder aber auch ein naheliegendes Wohnhaus sein. Für eine Umsetzung dieser Dienstleistung ist es notwendig die vorliegenden Bedürfnisse der Anwender und deren Energiesystem genau zu kennen und die Gesamtsituation zu erfassen.

Der Nutzen für die Zielgruppen lässt sich folgendermaßen einschätzen:

- Dem Anbieter z.B. Wärmepumpenhersteller oder dem Spritzgießmaschinenhersteller wurde ein neues, zusätzliches Geschäftsfeld aufbereitet.
- Für die Umwelt ergibt sich eine wesentlich verbesserte Energieeffizienz und damit Reduktion der Umweltbelastung.
- Für die Betreiber von Kunststoffspritzgießmaschinen, als auch für die potentiellen Nutzer der Abwärme, ergeben sich Energie- und damit Kosteneinsparungen.
- Das Schaffen von kleinräumigen, dezentralen Netzwerken stellt im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung den gesellschaftlichen Nutzen dar.

Im Rahmen von Expertendiskussionen / Workshops wurde die Energiesituation hinsichtlich Verbrauch, Verbesserungsmaßnahmen, Energiereduktion sowie Wärmerückgewinnung - Abwärmenutzung des Gesamtsystems Spritzgießmaschine diskutiert. Ziel war es eine praxistaugliche, innovative Dienstleistung mit Einbeziehung der potentiellen Betreiber und Nutzer der Spritzgießmaschinen zu entwickeln.

Beschreibung der Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Umsetzungspotenzial) für das Projekt

Marktpotenzial: Im Jahr 2006 gab es in Österreich 325 Kunststoffverarbeiter, die gesamt 3.500 Maschinen betrieben haben. In Europa betreiben 31.920 Kunststoffverarbeiter circa 450.000 Maschinen.

Unter der Annahme, dass die 4500 Maschinen, die in Österreich im Einsatz sind lediglich im Zweischichtbetrieb gefahren werden, befinden sich diese im Durchschnitt 4000 Stunden pro Jahr im Betrieb. Übliche Werte für die Verarbeitungsmengen dieser Maschinen liegen bei 60 kg Kunststoff pro Stunde. Dazu sind im Durchschnitt 0,4 kWh pro kg Kunststoff erforderlich.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich ein Energieverbrauch von knapp 100.000 kWh pro Maschine und Jahr und somit insgesamt ein Energieverbrauch durch die Kunststoffverarbeitung in Österreich von 144 GWh pro Jahr. Auf Basis des österreichischen Strommixes (mit einem in Österreich bekannten hohen Anteil an erneuerbaren Energieformen) resultiert daraus immerhin eine Emission von 54.000 Tonnen CO₂. Selbst eine Reduktion von nur 10 % wäre somit eine relevante Größe.

Verbreitungs- bzw. Umsetzungspotenzial:

Lokale Maschinenbetreiber könnten durch das Anbieten einer Energiedienstleistung als lokale Energielieferanten auftreten. Die in diesem Projekt involvierten Maschinenbetreiber können an ihren Standorten im Sinne einer „Modellregion“ als Vorbilder für weitere zukünftige Regionen dienen. Das Verbreitungs- und Umsetzungspotential der Modellregionen auf andere Regionen ist als Resultat der vielen verstreuten Maschinenbetreiber gegeben.

Aufgrund der bis dato ungenutzten Ressourcenbewirtschaftung führt der angestrebte gesellschaftliche Wandel hin zu einem großen Markt der vorhandenen Abwärmepotentiale. Der Nachholbedarf an effizienten Systemen wird immer wichtiger, somit ist das Umsetzungspotenzial, nach dem hier vorliegenden Demoprojekt auf die Großserie als hoch einzustufen.

7. Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam? (fachliche Einschätzung)

An Spritzgussanlagen sowie in weiteren Bereichen der kunststoffverarbeitenden Industrie kann bisher ungenutztes Abwärmepotential genutzt werden. Das niedrige Temperaturniveau kann mittels Wärmepumpe auf ein nutzbares Niveau angehoben und für eine weitere Nutzung z.B. zur Heizung und Bereitstellung von Warmwasser genutzt werden. Das Abwärmemodul kann mittels eines Contractingvertrages angeboten werden. Dadurch ergibt sich einerseits ein ökonomische Vorteil für alle Beteiligten andererseits ergeben sich durch die Energieeinsparungen positive ökologische Effekte.

In einer vorliegenden Umweltanalyse einer Spritzgussmaschine, hat sich gezeigt, dass der Energieverbrauch in der Nutzungsphase dominant ist. In diesem Projekt wurde durch konkrete Energiemessungen an einer Maschine erkannt, dass ein Großteil der aufgebrachten Energie als Abwärme abgegeben werden. 80% davon stehen als nutzbares Abwärmepotential zu Verfügung, welches bisher noch nicht genutzt wurde. Die restlichen 20% werden vom Plastifizierzylinder, Antrieben oder Pumpen via Konvektion oder Strahlung an die Umgebung abgegeben.

Eine Literaturrecherche hat gezeigt, dass Abwärme in anderen Industriebereichen bereits erfolgreich genutzt wird, jedoch stehen dort Abwärmern von mehreren hundert Grad zur Verfügung, hingegen sind es beim Spritzgießprozess nur ca. 15 - 20°C. Um diese Temperatur anzuheben ist die Anwendung einer Wärmepumpe sehr sinnvoll. Einige energiebewusste Unternehmen haben schon Wärmepumpen installiert und nutzen diese als Wärmelieferant für verschiedene Anwendungen und lukrieren daraus beachtliche Einsparungen. Die technische Umsetzung sollte daher bereits mit geringem Risiko behaftet sein.

Für eine konkrete Ausarbeitung des Abwärmemoduls samt Wärmepumpe wäre es von Vorteil die vorhandenen Erkenntnisse dieser Anwender einzubeziehen. Neben den Anwendern sind auch Wärmepumpen Hersteller, Peripheriegeräte Hersteller sowie potentielle Nutzer bei einer konkreten Planung mit ein zu beziehen. Beispielsweise geht es hier um die Auswahl des optimalen Kältemittels für Abwärmertemperaturen von ca. 15°C. Mit der Einbeziehung der gesamten Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung der jeweiligen Anforderungen soll eine Gesamtlösung zur Steigerung der Energieeffizienz von Spritzgießmaschinen geschaffen werden.

Neben der Bereitstellung von Abwärme sollte jedoch zusätzlich der Fokus auf die Verringerung des Energieverbrauchs in der Nutzungsphase von Spritzgussmaschinen nicht vernachlässigt werden. Hierzu ist vor allem die Reduktion der nicht nutzbaren Abwärme (20%) über Konvektion relevant. Beispielsweise kann durch das Anbringen von Dämmmatten am Plastifizierzylinder, 40% an Wirkenergie in diesem Bereich eingespart werden.

Als potentielle Abwärmenutzer wurden Bürogebäude, angrenzende Einfamilienhäuser oder Gewächshäuser untersucht. Hier sind vor allem jene zu bevorzugen, deren Entfernung zur Maschine und damit zur entstehenden Abwärme am geringsten ist. Es wird also die unternehmensinterne Nutzung vor externer Nutzung empfohlen.

Die Umsetzung dieser Abwärmenutzung als Dienstleistung in Form von Anlagen- oder Einsparcontracting anzubieten bringt Erfolgsfaktoren sowie Hemmnisse mit sich. Die Umwelt sollte nach den Ergebnissen der Nachhaltigkeitsbewertung immer profitieren. Andere Erfolgsfaktoren für eine Umsetzung sind der momentan recht volatile Ölpreis / Energiepreis oder auch die EU-Gesetzgebung die verstärkt Richtlinien und Verordnungen im Bereich der Energieeffizienz und anderen Umweltbereichen erlässt. Hemmnisse für die Umsetzung liegen beim Anlagencontracting vor allem im nötigen Prozesseinblick, den Anwender nicht gerne gewähren oder beim Einsparcontracting in den Investitionskosten.

Eine strategische Ausrichtung einer Region in Richtung Energieautarkheit wäre hier auch als Erfolgsfaktor zu nennen indem es die Umsetzung von Energiebereitstellung aufgrund von Abwärmenutzungen forciert. Neben den energiepolitischen und ökonomischen Vorteilen dieser Regionen kann die Nutzung von Abwärme auch positive Auswirkungen auf das Zusammengehörigkeitsgefühl der Bewohner haben. Für Anrainer wäre somit ein Unternehmen nicht nur mehr ein potentieller Arbeitgeber und sondern auch der Energielieferant.

Parallel wird in einem weiteren Projekt, ein Instrument zur Kommunikation der Energieeffizienz von Kunststoff verarbeitenden Maschinen erarbeitet. Dieses Projekt verfolgt das Ziel der Bewusstseinsbildung, sodass in Zukunft Energieeffizienz von Spritzgießmaschinen ein Kaufkriterium sein wird. Die Abwärmenutzung ist somit ein weiterer Schritt in Richtung einer energieeffizienten Spritzgießmaschine.

Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?

Die vorliegenden Ergebnisse stellen eine fundierte Basis für eine mögliche, reale Umsetzung dar. Dazu ist im nächsten Schritt das Ziel ein Marketing-Konzept für verschiedene Arten von Kunden zu erarbeiten.

Es soll die Zusammenarbeit des Spritzgießmaschinen Herstellers und des Wärmepumpenherstellers intensiviert werden. Ziel hierbei ist dem Kunden ein für ihn optimales System bereitzustellen. Das heißt, dass die Spritzgießmaschine samt der Wärmepumpe auf eine optimale Abwärmenutzung ausgelegt werden. Möglichkeiten an der Auslegung wären beispielsweise die Erhöhung der Kühlwassertemperatur, Erhöhung der Hydrauliktemperatur oder die Erhöhung der Temperaturspreizung von Kühlwasservor- und Rücklauf. Zusätzlich bestehen über die Schnittstellen der beiden Anlagen hinaus Potentiale zur Ableitung von Verbesserungspotentialen an der Spritzgießmaschine.

Für eine weitere Verbreitung ist die Darlegung der Vorteile auf Energieseite sowie auch auf Kostenseite relevant. Eine Kalkulation der Kosteneinsparung ist hier sehr sinnvoll. Nachdem die Auslegung der Abwärmenutzung von vielen Faktoren abhängig ist und speziell an jeden Kunden angepasst werden muss, ist diese für ein paar verschiedene konkrete Anwendungsfälle zu berechnen.

Hier ist beispielsweise zwischen der Umsetzung der Abwärmenutzung an Neuanlagen und bestehenden Anlagen zu unterscheiden. Bei Neuanlagen kann von Grund auf eine Neuintegration des Wärmerückgewinnungsmoduls berücksichtigt werden. Hingegen ist man bei bestehenden Anlagen, die meistens durch ihre schlechtere Energieeffizienz ein erhöhtes Abwärmepotential besitzen, an bauliche Gegebenheiten gebunden.

Die Ergebnisse des Projektes können auch auf andere Sparten der Kunststoffindustrie umgesetzt bzw. in anderen Industriebereichen, wo ähnliche Temperaturniveaus vorliegen, angewendet werden.

Die erarbeiteten Verbesserungsmaßnahmen direkt an der Spritzgießmaschine z.B. Dämmmaten werden vom Hersteller in diversen internen Projekten weiterverfolgt.

Die Erkenntnisse dieses Projektes fließen in einen zurzeit in der Antragsphase befindlichen EU-Projekt Antrag ein. Dieser wird in der zweiten Ausschreibung von Intelligent Energy Europe eines Projektpartners unter dem Titel: Energy Efficiency Labelling and Total Cost of Ownership for the European Flexible Packaging Industry (LEEP) eingereicht.

Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?

Für Anwender von Spritzgießmaschinen ist diese Abwärmenutzung ideal, da sich mit der Abwärmenutzung eine erhebliche Energieeinsparung ergibt. Durch die Integration dieses Abwärmemoduls mittels eines Contracting Vertrages kann der Investitionsbetrag minimiert werden und auch die Wartung wird vom Contractinggeber übernommen.

Für den Contractor (z.B. Wärmepumpenhersteller, Spritzgießmaschinen Hersteller, etc.) ergibt sich dadurch ein zusätzliches Einkommen. Ist der Contractor auch der Maschinenhersteller, so kann er das zusätzlich gewonnene Prozesswissen in die Weiterentwicklung der Spritzgießmaschinen einfließen lassen.

Die Gesetzgeber können bereits bestehende bzw. die Entwicklung neuer Gesetze zur konsequenten Reduktion aufgewendeter Energien bei Kunststoff verarbeitenden Maschinen forcieren.

8. Ausblick und Empfehlungen

Wo liegen die Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Realisierung / Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt?

Die in diesem Projekt vorgeschlagene Machbarkeitsstudie dient dazu den nächsten Schritt in der Entwicklung eines Demonstrationsvorhabens aufzubereiten. Dabei soll gemeinsam mit einem Wärmepumpenhersteller und einem ausgewählten Maschinenanwender ein Umsetzungsversuch gestartet werden.

Eine Umsetzung in Form eines Demoprojekts ist nicht risikofrei. Vor allem stellen folgende Fragen Herausforderungen dar:

- Einbindung bzw. Errichtung einer Infrastruktur zur Wärmeverteilung
- Kosten für mögliche Änderungen an Spritzgießmaschinen
- Erhöhung der Leckagegefahr durch die Erhöhung der Hydrauliköltemperatur
- Sicherstellung der Akzeptanz einer neuen Versorgungsangebots (Abhängigkeit)
- Sicherstellung der Verfügbarkeit über einen langen Versorgungszeitraum

Empfehlungen für den weiterführenden Forschungsbedarf (Empfehlungen, nur für den Endbericht)

In dieser Machbarkeitsstudie wurde festgestellt, dass ein Großteil der benötigten Energie bei Spritzgießmaschinen erneut für eine weitere Nutzung zur Verfügung gestellt werden kann. In anderen Bereichen und Branchen, vor allem in der Kunststoffverarbeitenden Industrie ist das Abwärmepotential auch vorhanden. Eine Ausweitung dieser Studie und eine Potentialerhebung der Abwärmenutzung auf andere Branchen erscheint sinnvoll.

Zur Bereitstellung von nutzbarer Abwärme ist die Wärmepumpe ideal. Wie und unter welchen Voraussetzungen ist jedoch die Erzeugung von Strom mit der vorhandenen Abwärme sinnvoll? Es muss also untersucht werden inwieweit mit dem vorhandenen niedrigen Abwärmenniveau mittels z.B. ORC-Prozess Strom erzeugt werden kann und wie effizient dies im Vergleich zur Abwärmenutzung mittels Wärmepumpe ist.

Zusätzlicher Forschungsbedarf ergibt sich bei der Abwärmenutzung der Konvektionsabwärme am Plastifizierzylinder. Bei ersten Messungen wurde festgestellt, dass sich durch eine Einhausung des Zylinders und Nutzung zur Vorwärmung des Granulates keine Energieeinsparung ergibt. Durch das vorhandene Abwärmepotential mit den im Vergleich hohen Abstrahlungstemperaturen, wäre eine Nutzung aber durchaus denkbar. Eine detaillierte Betrachtungsweise auf theoretischer Seite mit genauen Berechnungen der vorhandenen Energien und auf praktischer Seite mit Messungen der Wärmeströme ist hier essentiell. Auch eine Versuchsreihe mit dem Granulatvorwärmer (siehe 5.7.1) sollte ein Teil dieser Untersuchungen sein.

Forschungsbedarf ergibt sich auch bei einer Anhebung der Hydrauliköltemperatur. Ziel ist es, die Temperatur von derzeit ca. 33°C auf bis zu 60°C anzuheben. Bei dieser Öltemperatur ist das Öl jedoch schon sehr dünnflüssig und demnach ergeben sich auch erhöhte Leckagen. Im folgenden Schritt ist zu untersuchen, ob auf ein zäheres Öl gewechselt werden kann und sich daraus eventuell konstruktive Änderungen ergeben. Weiters sind die Langzeitauswirkungen auf das Gesamtsystem z.B. Dichtungen zu untersuchen.

Literaturverzeichnis

Abwärmenutzung von Biogasanlagen, 2008

Projektbericht, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Bezirksgruppe Uelzen, Fachgruppe Nachhaltige Landnutzung, 2008

ASUE, 2008

www.asue.de, 2008

http://www.asue.de/html/seite/preis/preis2004/image/projekte/preis_2004_projekt_04.pdf

austrotherm.com, 2008

<http://www.austrotherm.com/at/main1/>

Bock, 2009

Bock Karl, Bock GmbH & Co. KG, Telefonat, 26.03.2009

Combitherm, 2009

Combitherm Wärmepumpen für Gebäude & Industrie AB 20kW Heizleistung, Werbebrochure, www.combithermde.com, 20.03.2009

ea-nrw.de, 2008

<http://www.energieagentur.nrw.de/schulen/page.asp?RubrikID=4119>

enatec.com, 2008

www.enatec.com/English/pdf/Press_Release_September_2007_English.pdf

energiesystemederzukunft.at, 2008

<http://www.energiesystemederzukunft.at/>

esv.or.at, 2008

<http://www.esv.or.at/esv/index.php?id=1>

euRECIPE, 2006

Reduced Energy Consumption in Plastics Engineering, Best Practise Guide, Energieeinsparung in der Kunststoffverarbeitung, 2006

FH Weihenstephan, 2008

<http://www.fh-weihenstephan.de/fgw/infodienst/2008/dezember.html>

Friedl, 2001

Thermische Verfahrenstechnik, Vorlesungsskriptum, TU Wien, 2001

Hammerl et al., 2003

Nachhaltige Produkte und Dienstleistungen, Leitfaden zur Entwicklung zukünftiger Geschäftsfelder, 2003

Industrielle Abwärmenutzung, 2008

Amt der Oö.Landesregierung, Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung Umweltschutz, 2008

Industrielle und gewerbliche Nutzung der Wärmepumpen, 2000

Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik, R. Heidelck, Nürnberg, Oktober 2000

Jauch, 2009

Ingenieurbüro für Versorgungstechnik Hubert Jauch Dipl. Ing.(FH), www.ib-jauch.de,
30.03.2009

Jasch et al., 2006

Produkte und Dienstleistungen, Nachhaltige Innovationen für Firmen und KonsumentInnen,
Books on Demand GmbH, 2006

Kirchmeyr, 2008

Kirchmeyr, F., Anzengruber, G., Leitfaden zur Wärmenutzung bei Biogasanlagen, klima:aktiv
biogas, 2008

Lambbauer, 2008

Lambauer, J., Fahl, U., Ohl, M., Blesl, M., Voß, A., Industrielle Großwärmepumpen – Potentiale,
Hemmnisse und Best-Practice Beispiele, Universität Stuttgart, Forschungsbericht, 2008

Linzer, 2001

Angewandte Thermodynamik, Skriptum zur Vorlesung, TU Wien, 2001

Multitalent Biogas, 2007

<http://www.awi.bmlf.gv.at/bibliothek/neuzugang.pdf>

Neuhaus, 2009

Hr. Neuhaus, Technischen Leiter der Firma ONI, Telefonat, 17.02.2009

ÖGUT, 2007

Energiesparen in Betrieben, Ein Leitfaden für innovative Energiedienstleistungen,
<http://www.contracting-portal.at/downloads/96.pdf>

Pakanecz, 2009

Pakanecz Günther, Greiner Bio-One International AG, Telefonat, 26.03.2009

Plexiglas Allstop SDP, 2008

<http://www.methacrylates.de/methacrylates/fr/plexiglas/produits/stegplatten/alltop>

Sehnal, 2008

Substitution des Heizkessels des Unternehmens durch Nutzung der Abwärme aus der Kunststoffverarbeitung, Projektarbeit zum Europäischen Energie Manager, EUREM, 2008

Solexthermal, 2009

<http://www.solexthermal.com/products/alpha/>, 16.02.2009

<http://www.pua24.net/pi/index.php?StoryID=41&articleID=108118>

Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, 2002

7. Fachtagung „Neuigkeiten in der Extrusion“, Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, Würzburg,
2002

Umweltzentrum Simmering, 2008

<http://www.umweltzentrum.at>, 20.12.2008

VDI 2067, 1998

Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Richtlinien, VDI 2067 Blatt 6, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen - Wärmepumpen, September 1998

VDI Berichte 1296, 1997

Wirtschaftliche Wärmenutzung in Industrie und Gewerbe, Tagung Braunschweig 5./6. März 1997

Wien Heizkraftwerk, 2008

<http://www.wien-vienna.at/heizkraftwerk.php>

Wimmer, 2008

Entwicklung von Kriterien zur Kommunikation der Energieeffizienz von Kunststoff verarbeitenden Maschinen (KvM), Fabrik der Zukunft Projekt, Projektnr. 814976, Zwischenbericht, 23.12.2008

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipdarstellung Spritzgießtechnologie	19
Abbildung 2: Spritzgießmaschine der Firma Engel	21
Abbildung 3: Energiebilanzierung Spritzgießmaschine - Allgemein	22
Abbildung 4: Gesamtanspeisung aufgeteilt in die einzelnen Bereiche [Wimmer, 2008]	23
Abbildung 5: Kühlwasserleistung der Firma Schöfer	24
Abbildung 6: Schema des derzeitigen Rückkühlkreises [Sehnal, 2008].....	25
Abbildung 7: Temperaturverlauf des Hydrauliköl - Rückkühlers von der Referenzmaschine....	26
Abbildung 8: Heizleistungsdiagramm.....	27
Abbildung 9: Heiz-/Kühl-Einheit mit Keramikheizbändern [Süddeutsches Kunststoff-Zentrum, 2002]	30
Abbildung 10: Wärmedurchgang durch ein zylindrisches Rohr [Linzer, 2001].....	31
Abbildung 11: Energiebilanz aller Spritzgießmaschinen der Firma Schöfer.....	33
Abbildung 12: Energiebilanzierung Referenzspritzgießmaschine gesamt	33
Abbildung 13: Sankey Energieflussdiagramm.....	34
Abbildung 14: Energieflussdiagramm – Referenzunternehmen gesamt.....	34
Abbildung 15: Energieverbrauch von Spritzgießmaschinen verschieden Alters.....	35
Abbildung 16: Thermoölanlage - Verbrennungsluftvorwärmung	37
Abbildung 17: Großbäckerei Wärmerückgewinnungsanlage	38
Abbildung 18: Ziegelei Wärmerückgewinnung Variante 1 [VDI Berichte 1296, 1997].....	39
Abbildung 19: Ziegelei Wärmerückgewinnung Variante 2 [VDI Berichte 1296, 1997].....	40
Abbildung 20: Abwärmen eines BHKWs bei 500kWel [Kirchmeyr, 2008]	44
Abbildung 21: Schema der Biogasanlage Wien [Umweltzentrum Simmering, 2008]	44
Abbildung 22: Schema der Gaswärmepumpe [ASUE, 2008].....	47
Abbildung 23: Stoffströmung bei Gleichstrom [Friedl,2001].....	52
Abbildung 24: Stoffstromführung bei Gegenstrom [Friedl, 2001]	53
Abbildung 25: Grundlegendes Flussdiagramm einer Stirling Mikro-KWK-Anlage [enatec.com, 2008]	54
Abbildung 26: Vereinfachtes Wärmepumpenprozess Schaltbild [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]	55
Abbildung 27: Coefficient of Performance – COP [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]	56
Abbildung 28: ORC-Prozess Schaltbild [Industrielle Abwärmenutzung, 2008]	57
Abbildung 29: Schema Abwärmenutzung des Kühlwassers mittels Wärmepumpe.....	60
Abbildung 30: Technische Umsetzung der Abwärmenutzung des Hydrauliköls	61
Abbildung 31: Einhausung des Plastifizierzylinders	63
Abbildung 32: Energieverteilung der verschiedenen Achsen.....	64
Abbildung 33: Dämmmatten am Plastifizierzylinder	64
Abbildung 34: Infrarot Wärmebilder der Plastifiziereinheit ohne (links) und mit Dämmmatten (rechts).....	65
Abbildung 35: Energieeinsparung mit und ohne Isolierung der Plastifiziereinheit.....	65
Abbildung 36: Spritzgießmaschinen bei der Firma Karl Bock.....	66
Abbildung 37: Wärmepumpe der Firma Alcatel SEL [Jauch, 2009].....	67
Abbildung 38: Granulaterwärmung mittels Wärmetauscher [Solexthermal, 2009]	70
Abbildung 39: Modell eines Gewächshauses	75
Abbildung 40: Einteilung von Produktdienstleistungen [Hammerl et al., 2003].....	81
Abbildung 41: Energiedienstleistungsübersicht [Jasch et al., 2008].....	82
Abbildung 42: Nachhaltigkeitsbewertung verschiedener Energiedienstleistungen, nach [Jasch et al., 2008].....	93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auszug aus den Messungen der Gesamtabwärme des Rückkühlsystems.....	23
Tabelle 2: Eckdaten der Referenzmaschine	28
Tabelle 3: Hauptvorteile der Verbrennungsluftvorwärmung - Brennwertnutzung.....	37
Tabelle 4: Wärmetauscherauslegungsdaten [VDI Berichte 1296, 1997].....	39
Tabelle 5: Industrieabwärmenutzungsbeispiele zur Verringerung der Schmelzenergie in Sekundärschmelzbetrieben [ea-nrw.de, 2008]	41
Tabelle 6: Energieverbräuche und Heizleistungen von Häusern nach [austrotherm.com, 2008]	42
Tabelle 7: Warmwasserverbrauchsrichtwerte [esv.or.at, 2008].....	42
Tabelle 8: Übersicht Abwärmenutzungsanwendungen.....	49
Tabelle 9: Optimierung der Rückkühlung des Hydrauliköls auf die maximal erlaubte Betriebstemperatur	62
Tabelle 10: Abwärmenutzungsmöglichkeiten (Transportwege und Verlustwärmern berücksichtigt).....	74
Tabelle 11: Einteilung der Gewächshäuser.....	74
Tabelle 12: Verglasungsarten – Wärmeleistung – Beheizbare Fläche Übersicht	77
Tabelle 13: Bürogebäudeheizungsbedarf	78
Tabelle 14: Wohnhausbeheizungsübersicht.....	79
Tabelle 15: Gegenüberstellung unterschiedlicher Abwärmenutzungsmöglichkeiten.....	79
Tabelle 16: Nachhaltigkeitsbewertung der Energiedienstleistung nach [Jasch et al, 2006]	91