

Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung

Bericht im Rahmen des Vorhabens

„Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen,
ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des
nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“

FKZ 03KSW016A und B

Dr. Martin Pehnt, Jan Bödeker
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Marlene Arens
Fraunhofer Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung

Prof. Dr. Eberhard Jochem, Farikha Idrissova
IREES GmbH

Heidelberg, Karlsruhe
13. Juli 2010

Inhalt

1 Zusammenfassung	3
2 Einführung.....	4
3 Prozesswärmebedarf und Abwärmenutzung in der deutschen Industrie	5
4 Technologien der Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung	8
4.1 Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme außerhalb des Betriebs mit Wärmenetzen oder Wärmecontainern.....	9
4.2 Stromerzeugung aus Abwärme	10
4.3 Wärmepumpen und Kälteanlagen	12
5 Potenziale der Abwärmenutzung	14
Potenziale der Abwärmenutzung	14
6 Hemmnisse und fördernde Faktoren der Abwärmenutzung	20
6.1 Hemmnisse	21
6.2 Fördernde Faktoren.....	26
6.3 Rechtliche Rahmenbedingungen.....	28
7 Verbesserte Rahmenbedingungen für Abwärmenutzung: ein Vorschlag	29
7.1 Information, Fortbildung, Erfahrungsaustausch und Motivation	30
7.2 Finanzielle Anreize	32
7.3 Ordnungsrecht und technische Standards.....	34
7.4 Potenzial, Forschung und Entwicklung.....	37
8 Literatur	38
9 Anhang: Erfahrungen aus der Praxis: drei Beispiele	39
9.1 Körner Rotationsdruck und Stadtwerke Sindelfingen GmbH.....	39
9.2 Zementwerk Lengfurt	41
9.3 Abwärmenutzung bei einem Kupolofen: Kooperation zwischen Georg Fischer Automobilguss GmbH und Maggi-Werk Singen der Nestle Deutschland AG.....	43
10 Anhang: Workshop 5. Mai 2010.....	46

1 Zusammenfassung

Der Endenergieeinsatz für industrielle Prozesswärme betrug mit gut 1600 PJ im Jahre 2007 etwa zwei Drittel des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie. Bei vielen dieser Prozesse entsteht **Abwärme**. Abwärmequellen können Produktionsmaschinen oder -Anlagen sein, die Verlustwärme an die Umgebung abstrahlen, Öfen, Abwässer aus Wasch-, Färbe- oder Kühlungsprozessen, aber auch Kühlanlagen, Motoren oder die in Produktionshallen anfallende Abluft.

Neben passiven Wärmenutzungen gibt es weitere Nutzungsstrategien: Aus der Abwärme kann Strom erzeugt werden, es kann zusätzliche hochwertige Energie (beispielsweise Strom oder Gas) zugeführt werden, um mittels einer Wärmepumpe die Temperatur auf ein nutzbares Niveau zu heben, oder es kann mittels Absorptionskälteanlagen Kälte bereitgestellt werden. .

Es sind nur wenige Studien verfügbar, die belastbare Abwärmepotenziale in der Industrie veröffentlichen. Überträgt man Ergebnisse einer norwegischen Studie auf die deutsche Industriestruktur, so erhält man für die deutsche Industrie ein technisch-wirtschaftliches Abwärmepotenzial bei Temperaturen größer 140°C von 316 PJ pro Jahr oder 12 % des industriellen Endenergieeinsatzes und weitere 160 PJ pro Jahr zwischen 60 und 140 °C. Neben diesen Potenzialen, die vorrangig in großen Unternehmen anfallen, gibt es weitere Potenziale in kleinen und mittleren Unternehmen.

Verschiedene zielgruppen- oder technikspezifische **Hemmnisse** sind derzeit der Grund dafür, dass dieses Potenzial nur zu einem geringen Teil genutzt wird; beispielsweise handelt es sich um strukturelle, finanzielle, informatorische und betriebliche Hemmnisse. Insbesondere wärmelogistische Hemmnisse (beispielsweise die räumliche und zeitliche Übereinstimmung von Wärmeangebot und -nachfrage und die Informationslage zu Wärmenutzungstechnologien und -quellen), Bedenken bezüglich der Produktionssicherheit, aber auch die Amortisationserwartungen als Entscheidungskriterium (anstelle der Rentabilität) wurden als besonders relevante Hemmnisse herausgearbeitet. Auf der anderen Seite wirken steigende Energiepreise, eine verstärkte Durchdringung von Energiemanagementsystemen, aber auch Imagegewinn und persönliches Engagement der Geschäftsleitung und Energiebeauftragten förderlich.

Angesichts dessen reichen die derzeitigen Rahmenbedingungen und die Aktivitäten der Selbstorganisation der Wirtschaft für eine verbesserte Abwärmenutzung nicht aus. Das Projektteam schlägt vor, eine zukünftige Ausgestaltung dieses Handlungsfeldes auf verschiedenen **Säulen** zu stützen, um eine den Chancen und Hemmnissen angepasste Mischung aus Förderung, technischen Standards, Information, beruflicher Fortbildung, Selbstinitiative der Unternehmen und ihrer Wirtschaftsverbände sowie Forschung und Entwicklung zu erzielen:

- Die erste Säule einer nachhaltigen Abwärmenutzung beruht auf einer Stärkung von **Information und Fortbildung**, um die hohen Such- und Entscheidungskosten der Anwender und beratenden Ingenieure zu reduzieren, aber auch den Kenntnisstand der Hersteller und Installationsfirmen von Wärmetauschern auf dem neuesten technischen Stand zu halten. Hierzu zählen die Verankerung der

Abwärmenutzung in der beruflichen **Fortbildung**, Energieberatung und **Energiemanagementsystemen** und deren verpflichtende Einführung für größere Unternehmen, die Entwicklung qualitativ guter **Investitionsberechnungshilfen**, eine internetgestützte **Abwärmebörse** und leitfadengestützte **Wärmenutzungskonzepte** und eine Kampagne zur Angabe von **Lebenszykluskosten** seitens der Hersteller und beratenden Ingenieure zur Verbesserung der **betrieblichen Einkaufsroutinen**.

- Ein Anpassung der **finanziellen Förderung** u. a. durch Ausweitung der Förderung von **Nahwärmenetzen** und Abwärmenutzungstechnologien, durch einen **neuen EEG-Tatbestand** „Strom aus industrieller Abwärme“ und durch eine Anpassung der **steuerlichen Ausnahmen** für energieintensive Unternehmen bei der Ökosteuer.
- Die Ausarbeitung einer **Abwärmenutzungsverordnung** in ausgewählten Anwendungsfällen und für Industriegebiete, die im Kern von Unternehmen mit Abwärmeströmen einer gewissen Größenordnung eine **Selbstauskunft (Wärmenutzungskonzept) verlangt**, das einen in der Verordnung definierten Katalog an Maßnahmen untersucht und damit das Informationsdefizit als einem zentralem Hemmnis der Abwärmenutzung reduziert. Hinzu kommt die **Verpflichtung**, bei Überschreitung bestimmter Wärmemengen bei gegebenen Temperaturniveaus bestimmte Maßnahmen der Wärmenutzung zu ergreifen, z. B. an Dritte abzugeben.
- Die Prüfung weiterer rechtlicher Möglichkeiten u. a. im Rahmen von **Bebauungsplänen**, **Wasserrecht** und Primärenergiefaktoren (**EnEV**).

2 Einführung

Im Rahmen des Projektes „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“ werden unterschiedliche Handlungsfelder der Energieeffizienz einer detaillierten Untersuchung unterzogen.

Die Nutzung industrieller Abwärme zur Bereitstellung von Nutzwärme oder Strom ist ein interessantes – und bisher häufig vernachlässigtes – Handlungsfeld der Effizienzsteigerung. Dieses Themenfeld ist weder in bundesweiten Potenzialstudien noch in energiepolitischen Instrumentebündeln für verschiedene Anwendungsfälle und Investorengruppen ausreichend adressiert. Dieser Bericht erarbeitet die Voraussetzungen für ein Instrumentebündel zur Nutzung industrieller Abwärme, in dem er den Prozesswärmebedarf und technisch interessante Abwärmepotenziale skizziert (Kapitel 3), die technologischen Nutzungsvarianten (Kapitel 4), Potenziale (Kapitel 5), Hemmnisse und fördernde Faktoren (Kapitel 6) aufzeigt und daraus ein Instrumentebündel zur Förderung dieses Handlungsfeldes schnürt (Kapitel 7).

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde am 5.5.2010 ein Expertenworkshop durchgeführt (Teilnehmer siehe Anhang), dessen Ergebnisse in dieses Arbeitspapier eingeflossen sind (vgl. Abbildung 2-1).



Abbildung 2-1: Expertenworkshop Abwärme im Bundesumweltministerium, 5. Mai 2010

3 Prozesswärmebedarf und Abwärmenutzung in der deutschen Industrie

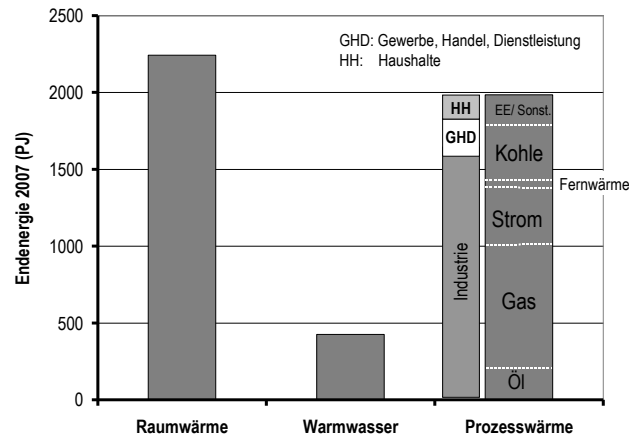
Prozesswärme wird in sehr verschiedenen Produktionsprozessen in der Industrie benötigt, beispielsweise für die Erzeugung von Dampf oder Heißgas für Trocknungsprozesse, für warme Bäder zum Waschen oder Galvanisieren oder zum Eindampfen oder für die Destillation. Weitere Anwendungen sind die Bereitstellung von Heiß- oder Warmwasser, die Erwärmung von Einsatzstoffen und Materialien, thermische Trennprozesse oder Pasteurisieren. Der Endenergieeinsatz für industrielle Prozesswärme betrug mit gut 1600 PJ im Jahre 2007 etwa zwei Drittel des Endenergiebedarfs der deutschen Industrie (vgl. Abbildung 3-1).

Bei vielen dieser Prozesse entsteht **Abwärme**, also „*die eine Anlage verlassende Wärme, ausgenommen die Wärme, deren Erzeugung der Zweckbestimmung der Anlage entspricht*“¹ {BUND, 1991 #1525}. **Abwärmequellen** können Produktionsmaschinen oder -Anlagen sein, die Verlustwärme an die Umgebung abstrahlen, Öfen, Abwässer aus Wasch-, Färbe- oder Kühlungsprozessen, aber auch Kühlanlagen, Motoren oder die in Produktionshallen anfallende Abluft.

Die Abwärmemenge Q wird beschrieben durch

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

¹ Die Wärme aus KWK-Anlagen wird nicht als Abwärme gewertet, da Wärme eines der beiden Zielprodukte ist. In der betrieblichen Praxis ergeben sich gleichwohl häufig Möglichkeiten, Abwärme und Wärme aus einem KWK-Prozess zugleich zu nutzen.



Quellen: BMWi 2010

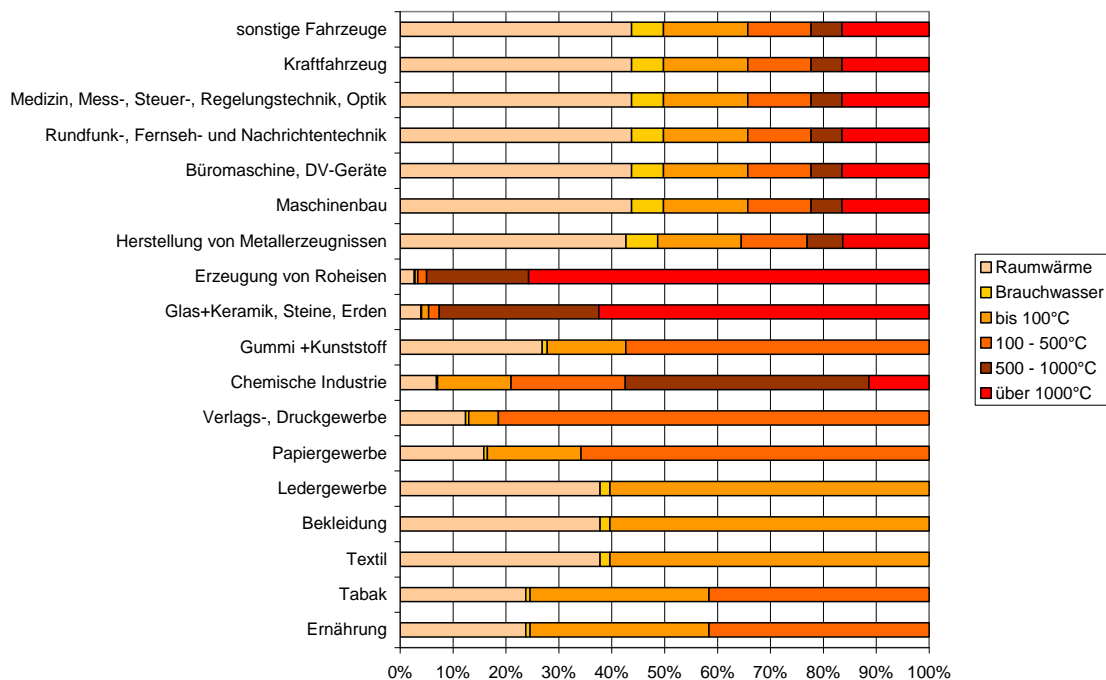
Abbildung 3-1: Vergleich des Prozesswärmebedarfs mit dem Gesamtwärmebedarf für die End-Energiesektoren, Deutschland, 2007

wobei m die Masse des wärmetragenden Mediums, c die spezifische Wärmekapazität des Mediums und ΔT die Temperaturdifferenz des Abwärmestroms gegenüber der Umgebungstemperatur (z. B. der Raumtemperatur) ist. Hinzu kommen mögliche Wärmemengen aus Phasenumwandlungen (latente Wärme) beispielsweise bei der Kondensation eines Rauchgases oder dem Erstarren einer Flüssigkeit.

Je höher also der Massenstrom bzw. die nutzbare Temperaturdifferenz, desto größer die Abwärmemenge. Ein weiteres wichtiges Entscheidungskriterium für die Nutzbarkeit von Abwärme ist die **zeitliche Verteilung** über den Tag, die Woche und das Jahr. Je kontinuierlicher ein Abwärmestrom anfällt, desto günstiger ist dies für eine wirtschaftliche Nutzung. Zudem ist zu prüfen, inwieweit Verschmutzungen des Wärmemediums die Nutzungsmöglichkeiten einschränken. Auch die räumliche Entfernung zwischen Wärmequelle und -senke kann das Potenzial einschränken.

Temperaturniveaus des Prozesswärmebedarfs. Der Prozesswärmebedarf liegt in den einzelnen Produktionsprozessen der verschiedenen Industriezweige auf sehr verschiedenen Temperaturniveaus zwischen etwa 60 °C (Reinigungsprozesse) und weit mehr als 1000 °C (Produkte der Grundstoffindustrie wie z.B. Roheisen und Stahl, Zement, Glas und Keramik, vgl. Abbildung 3-2). Die chemische Industrie benötigt Wärme bei Temperaturen zwischen 100 °C und 500 °C (in einigen Fällen bis 1000 °C). Im Gegensatz dazu fragen die Konsumgüterindustrie (z. B. Textilien, Pharmaka, Nahrungsmittel) sowie der Investitionsgütersektor (z. B. Fahrzeug- und Maschinenbau, Elektrotechnik) typischerweise eher Raumwärme- und Niedertemperaturwärme für beispielsweise Wasch- und Trocknungsprozesse zwischen 40 bis 90 °C (Ausnahme Oberflächenbehandlung von Metallen ab 180 °C für die Pulverlackierung) nach.

Diese Temperaturverteilung gibt Anhaltspunkte über das Temperaturniveau der anfallenden Abwärme wie auch der möglichen innerbetrieblichen Verwendungsmöglichkeiten. In allen Branchen lassen sich Beispiele einer industriellen Abwärmenutzung finden (Tabelle 3-1).



Quelle: Wagner 2002

Abbildung 3-2: Verteilung des Wärmebedarfs nach Temperaturniveau und Industriebranchen in der deutschen Industrie 2001

Bevor Abwärme genutzt wird, sollte sie durch die energetische Optimierung der Prozesse soweit wie möglich vermindert oder gar vermieden werden, und zwar sowohl auf Seiten der Abwärmequelle als auch der Abwärmesenke. Dies erfolgt beispielsweise durch bedarfsgerechte Regelung, Steuerung und Auslegung der Prozesse, verbesserte Wärmedämmung, Nutzung von hocheffizienten elektrischen Antrieben, Wechsel zu energieeffizienteren Produktionsverfahren etc..

Zudem ist bei der Planung einer Abwärmenutzung zu bedenken, wie langfristig die Abwärme bei dem als Abwärmequelle identifizierten Prozess zur Verfügung stehen wird (z.B. aus einer Raffinerie oder einem Waschbad einer Naßfertigung) und ebenso bei der Wärmesenke. Denn bei der Abwärmenutzung handelt es sich meist um langfristige Investitionen über acht bis 20 Jahre. Wenn hier zeitliche Unsicherheiten bestehen, sollten mobile Lösungen für die Wärmetransfer-Investitionen oder Reservekessel-Konzepte erwogen oder gleich mit geplant werden.

Tabelle 3-1: Beispiele für industrielle Abwärmenutzung

Branche	Beschreibung des Prozesses	Beispielhafte Maßnahmen
Lebensmittel-industrie	Abgase eines Produktionsprozesses gelangen in eine thermische Nachverbrennung, in der unverbrannter Kohlenstoff und Luftschadstoffe verbrannt werden.	Einbau von Abgas/Wasser-Wärmetauschern in die Abgasstränge der einzelnen Prozesse.
Waschmittelproduktion	Bei der Herstellung von pulverförmigen Waschmitteln durch Dampftrocknung fällt Abwärme an.	Der Großteil der Kondensationswärme des Trocknungsprozesses wird über einen Wärmetauscher an die Fernwärme abgegeben.
Lebensmittel-industrie	Kältebereitstellung zur Kühlung von Lebensmitteln	Abwärme der Kältemaschinen wird mittels Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gehoben; Wärme wird an das Fernwärmenetz weitergegeben.
Textilindustrie/Wäschereien	Dampf zur Kondensation im Waschprozess	In einem Sammelbecken werden warme Abwässer zusammengeführt, die zur Erwärmung des enthärteten Frischwassers durch einen speziellen Abwasserwärmetauscher genutzt werden.
Automobilindustrie	Abwärme aus diversen Prozessen	Die Abwärme der Kompressoren wird im Rücklauf der Warmwasserversorgung genutzt.
Kläranlage	Abführung warmen Abwassers	Einbau eines neuen Kanals, in dem ein Abwasserwärmetauscher integriert wurde.
Gießerei	Abwärme aus Hauptschmelz- und Prozessöfen	Einbau eines Abgas/Wasser-Wärmetauschers in den Hauptkanal und Einspeisung in ein Nahwärmenetz
Lackiererei	Mit der thermischen Nachverbrennung werden Lösemitteldämpfe, welche aus der Lackieranlage bzw. Trocknungsräumen abgesaugt werden, verbrannt.	Das Abgas der thermischen Nachverbrennung wird per Abgas/Wasser-Wärmetauscher abgekühlt. Abwärme wird direkt über die am Rande des Werkgeländes gelegene Fernwärmeheizzentrale in das Fernwärmenetz eingespeist.
Zementindustrie	Abwärme aus der Klinkerkühlanlage	Stromerzeugung mit ORC-Prozess
Metallverarbeitende Industrie	Abgaswärme im Schmelzofen	Stromerzeugung mit ORC-Prozess
Verpackungsindustrie	Abwärme aus diversen Prozessen	Abwärme wird mit Prozessdampf vorgeheizt und ins Fernwärmenetz eingespeist
Stahlindustrie	Abwärme aus Öfen	Abwärme wird ins Nahwärmenetz eingespeist.
Lebensmittelindustrie	Abwärme aus Kühlprozessen	Gasmotor-Wärmepumpe heizt Kühlturmwasser vor; Abwärme wird ins Nahwärmenetz eingespeist.
Chemieindustrie	Abwärme aus Schwefelsäureanlage	Abwärme wird ins Nahwärmenetz eingespeist.

4 Technologien der Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung

Abwärme wird in der Regel mittels **Wärmetauschern** einem wärmeführenden Stoffstrom (Gas, Flüssigkeit oder Feststoff) entnommen. In **rekuperativen Wärmetauschern** fließen das wärmetragende Medium und das zu erwärmende Medium in getrennten Räumen. Der Wärmeübertrag geschieht über feste Trennwände. Verschiedene Bauformen für Wärmeaustauscherflächen werden eingesetzt (Plattenwärmetau-

scher, Wärmerohre, ...), die je nach den Eigenschaften der beiden Medien und deren Verschmutzungsgefahr unterschiedlich ausgestaltet sind.

Regenerative Wärmetauscher, beispielsweise Rotationswärmetauscher, erlauben neben dem Austausch von Wärme auch geringfügige Vermischungen der Ströme sowie Feuchtigkeitsaustausch. Der Wärmeaustausch geschieht mit Speichermedien, die entweder feststehend sind und periodisch be- und entladen werden, oder die periodisch zwischen den Medien bewegt werden.

Die Wärmetauscher können in den Abluftstrom geschaltet werden, der mit einem Ventilator über einen Abluftkanal aus Produktionshallen, Maschinen oder Gebäuden abgesaugt wird. Alternativ können Wärmetauscher auch in einen Abwasser- oder Abgasstrom aus Kläranlagen, Wärmeerzeugern oder anderen Industrieprozessen integriert werden.

Neben diesen passiven Wärmenutzungen gibt es weitere Nutzungsstrategien: Aus der Abwärme kann Strom erzeugt werden (Abbildung 4-1 Fall 3), oder es kann zusätzliche hochwertige Energie (beispielsweise Strom oder Gas) zugeführt werden, um mittels einer Wärmepumpe die Temperatur auf ein nutzbares Niveau zu heben (Abbildung 4-1 Fall 4). Darüber hinaus gibt es als weitere Möglichkeit der Abwärmenutzung die Kälteerzeugung mittels der Absorptionstechnik.

4.1 Bereitstellung von Raum- und Prozesswärme außerhalb des Betriebs mit Wärmenetzen oder Wärmecontainern

Um die Abwärme außerhalb des Betriebes nutzen zu können, muss sie zu den Wärmekunden transportiert werden. Dies geschieht mittels wärmegeprägter Rohrleitungen, die je nach zu überbrückender Distanz mit höheren Temperaturen und Drücken (Fernwärmeleitungen; Vorlauftemperaturen bis zu 130 °C) oder niedrigeren Temperaturen und Drücken operieren (Nahwärmenetze; Vorlauftemperatur bis zu 90 °C).

Durch die Vielzahl der angeschlossenen Wärmekunden ergibt sich in solchen Wärmenetzen eine gleichmäßigere tägliche, aber auch saisonale Wärmenachfrage.

Alternativ kann ein Wärmetransport auch über sogenannte Wärmecontainer erfolgen, die per LKW oder Bahn zu den Kunden transportiert werden. In diesen Wärmecontainern sind Latentwärmespeicher beispielsweise mit Wärmeölen oder Speichersalzen enthalten (s. u.), die bis zu 3 MWh pro Container speichern und in rund drei Stunden entladen werden können (BLU 2009).

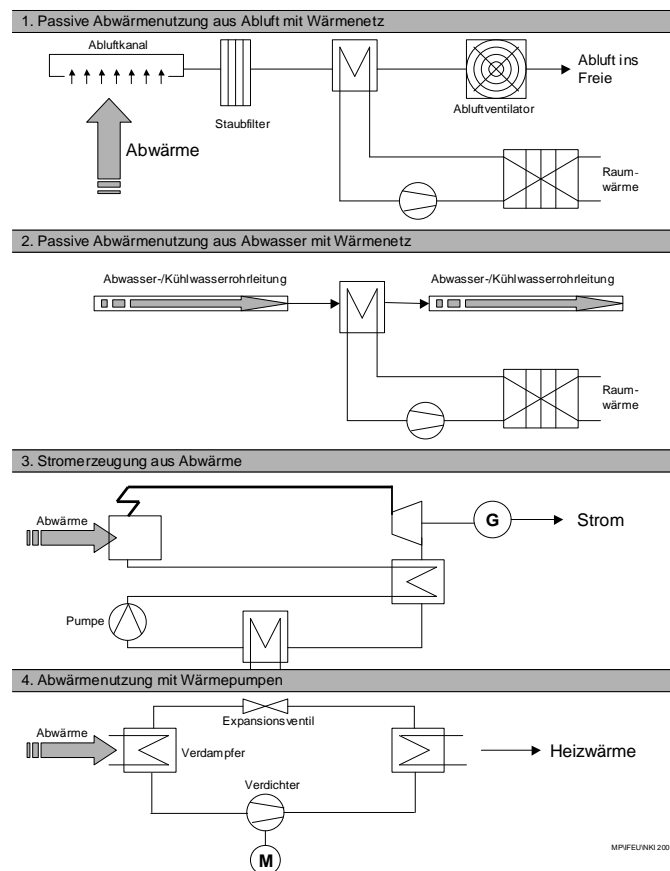


Abbildung 4-1: Anwendungsbeispiele der Abwärmenutzung

4.2 Stromerzeugung aus Abwärme

Unter bestimmten Voraussetzungen ist es möglich, die Energie von Hochtemperaturabwärme in Elektrizität umzuwandeln. Hier finden in der Regel ORC- (Organic Rankine Cycle) Systeme Anwendung. In diesen thermodynamischen Kreisprozessen wird anstelle von Wasserdampf ein organisches Arbeitsmedium wie beispielsweise Butan, Pentan etc. oder Silikonöle eingesetzt, das eine wesentlich niedrigere Verdampfungstemperatur hat. ORC-Anlagen werden auch in Geothermie- und Biomasse-Kraftwerken eingesetzt.

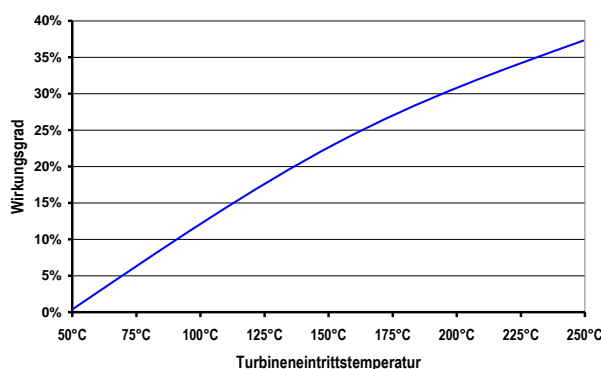
In einer solchen ORC-Anlage (Abbildung 4-2 Fall 3) verdampft der zugeführte Abwärmestrom das Arbeitsmedium. Die Arbeit, die dabei abgegeben wird, treibt eine Turbine an. Eine Pumpe bringt das Kondensat anschließend wieder auf Verdampfungsdruck.

Eine Variante des ORC-Prozesses ist der Kalina-Prozess, in dem als Arbeitsmedium ein Ammoniak-Wasser-Gemisch verwendet wird. Vorteilhaft sind der durch unterschiedliche Mischungsverhältnisse variable Siedepunkt, mit dem Schwankungen in der Temperatur des Wärmestroms einfacher ausgeglichen werden können, und der höhere Wirkungsgrad im Temperaturbereich um 100 °C gegenüber ORC-Anlagen. Kalina-Anlagen sind anlagentechnisch komplexer und damit kapitalintensiver. Ihr Leistungsbereich ist üblicherweise um 1 MW zu sehen, wobei es auch einige wenige Anlagen mit 500 kW gibt. Weltweit gibt es etwa 200 kommerzielle ORC-Anlagen, die in Be-

trieb sind; von Kalina-Anlagen wurden bisher weniger als 10 Stück gebaut, von denen nur einige aktuell in Betrieb sind.

Auf Grund des niedrigeren Temperaturniveaus, bei denen ORC- und Kalina-Anlagen in Abwärmenutzungen betrieben werden, ist – den thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten (Carnot-Wirkungsgrad) folgend – der Wirkungsgrad niedriger als in konventionellen Kraftwerksanwendungen.

ORC-Anlagen gibt es ab einer elektrischen Leistung von 300 kW_{el} (Arens 2009). In der Praxis wurden sie verschiedentlich mit Abwärmenutzung kombiniert, beispielsweise in einem Klinkerkühler der Firma Heidelberger Cement mit einer elektrischen Leistung von 1,1 MW (seit 1999 in Betrieb) oder der Gerresheimer Essen GmbH mit einer Abwärmenutzung aus zwei Schmelzöfen mit 500 kW (Steinmann 2007). Verschiedene Anlagen werden angeboten, beispielsweise von Turboden, Ormat, Maxxtec oder ElectraTherm. Die Abwärme der ORC-Turbine kann auch zur weiteren Wärmenutzung herangezogen werden, so dass sich eine Nutzungskaskade ergibt.



Quelle: Brandstätter 2008

Abbildung 4-2: Elektrischer Wirkungsgrad einer ORC-Anlage als Funktion der Temperatur

Als problematisch bei der Stromerzeugung erweisen sich die Wärmesenken. Erforderliche (Nass- und Trocken-)Kühltürme steigern die Investitionskosten und können auch genehmigungsrechtliche Fragen aufwerfen. Die Wirtschaftlichkeit wird maßgeblich von der „Qualität“ der Wärme (Temperaturniveau, sensibel/latent), den Wärmesenken, den Abwärmemengen und den Betriebsstunden determiniert (Rohloff 2010). Von einer wirtschaftlichen Abwärmeverstromung kann i. d. R. erst ab Temperaturen von rd. 120 °C ausgegangen werden.

Andere Technologien zur Stromerzeugung aus Abwärme, die sich derzeit in Entwicklung befinden, sind beispielsweise Stirlingmotoren, die einen Generator treiben, oder Thermoelektrik, die auf dem Seebeck-Effekt beruht. Dieser ermöglicht einen Stromfluss in zwei verschiedenen Metalleitern, deren Verbindungsstellen zwei unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Derzeit sucht die Forschung noch nach geeigneten Metallen und Bauformen. Diese Technologien müssen aber auf ihre Einsatzmöglichkeiten vor allem hinsichtlich der sinnvoll erreichbaren Leistungsgrößen geprüft werden.

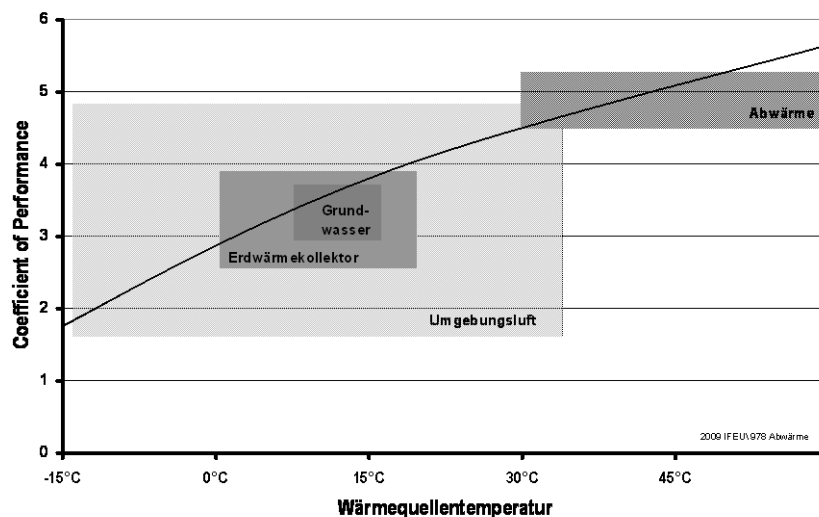
4.3 Wärmepumpen und Kälteanlagen

Wärmepumpen bieten die Möglichkeit, Wärme niedrigen Temperaturniveaus durch Zufuhr höherwertiger Energie (beispielsweise elektrischer Strom oder Gas) auf nutzbare Temperaturniveaus zu bringen.

Der Wärmepumpen-Prozess ist vierstufig: zunächst verdampft die zugeführte Abwärme ein im Kreislauf geführtes Kältemittel. In einem Verdichter wird es dann auf hohen Druck gebracht. Dieser Verdichter kann von einem Elektromotor angetrieben werden, aber auch von einem Gasmotor. Dessen Abwärme kann im Prozess genutzt werden. Im Kondensator kondensiert das Kältemittel und gibt die Wärme auf höherem Temperaturniveau wieder ab. In einem Expansionsventil wird dann das Kondensat entspannt. Die Temperatur fällt unter das Temperaturniveau der zugeführten Abwärme.

Da das Temperaturniveau von Abwärme bereits deutlich höher ist als das von üblichen Wärmequellen von Wärmepumpen (Umgebungsluft, Grundwasser oder Erdwärme), ist die erforderliche Energie zum „Pumpen“ auf ein höheres Temperaturniveau deutlich niedriger. Dies entspricht einem Coefficient of Performance (COP) (Quotient aus abgegebener Heizwärmeleistung und zugeführter (elektrischer oder Brennstoff-Energie) von über 4 bei 30 °C und über 5 bei 45 °C (Brandstätter 2008) (Abbildung 4-3).

Der Markt für kleine Wärmepumpen für den Einsatz als Heizung, insbesondere für Ein- und Zweifamilienhäuser, hat sich in den letzten Jahren dynamisch entwickelt; aber auch im großen Leistungssegment stehen Wärmepumpen mit einer Heizleistung bis zu 34 MW zur Verfügung (Lambauer et al. 2008), die Temperaturen von derzeit bis zu 75 °C, zukünftig bis zu 90 °C bereitstellen können.



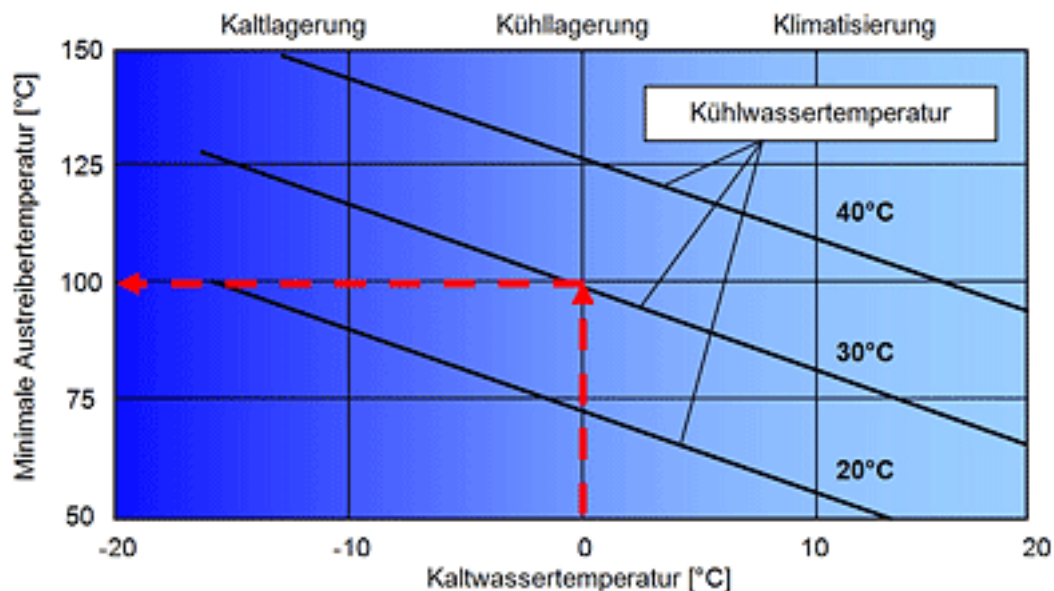
Quelle: Brandstätter 2008

Abbildung 4-3: Coefficient of Performance von Wärmepumpen als Funktion der Quelltemperatur

Anstelle einer Wärmepumpe können auch Kälteanlagen mit Abwärme betrieben werden, beispielsweise in **Absorptionskältemaschinen**. Während Kältemaschinen mittlerer und großer Leistung schon seit langem verfügbar sind, sind nun auch Kältemaschinen kleiner Leistung am Markt verfügbar.

Herkömmliche elektrisch angetriebene Kältemaschinen haben mit den thermisch angetriebenen Absorptionskältemaschinen und Adsorptionskältemaschinen gemeinsam, dass die nutzbare Kühlung durch das Verdampfen eines Kältemittels bei möglichst geringen Temperaturen bereitgestellt wird. Während die im Kältemittelkreislauf erforderliche Druckdifferenz bei Kompressionskältemaschinen mit einem elektrisch angetriebenen Verdichter erzeugt wird, nutzen Sorptionskältemaschinen chemische und physikalische Prozesse, um mit Hilfe von Antriebswärme das Temperaturniveau der Kälteerzeugung unter das der Umgebung abzusenken.

Konventionelle Kältemaschinen zeichnen sich durch einen erheblichen Stromverbrauch aus. Des Weiteren verwenden diese Kältemaschinen H-FCKW bzw. H-FKW-Kältemittel, welche ein hohes CO₂ äquivalent besitzen. Thermisch betriebene Kältemaschinen arbeiten hingegen mit umweltfreundlichen Kältemitteln. Entweder wird das natürliche Kältemittel Ammoniak oder reines Wasser für diese Zwecke verwendet. Sorptionskälteprozesse sind insbesondere bei der Nutzung von Abwärme aus der Produktion oder der Stromerzeugung (z.B. BHKW) sowie bei der Nutzung solar erzeugter Wärme zum Antrieb energetisch sinnvoll und wirtschaftlich attraktiv. Die Antriebstemperaturen bewegen sich ja nach Anwendung zw. 120-150°C (Kaltlagerung z.B: -10°C) und 50°C (Klimatisierung +10°C).



Quelle: Green Chiller 2010

Abbildung 4-4: Antriebstemperaturen (Wärmequellen) von Sorptionskältemaschinen als Funktion der Kaltwassertemperatur (nutzbare Kälte) und Kühlwassertemperatur (Abwärme)

5 Potenziale der Abwärmenutzung

Potenziale der Abwärmenutzung

Um Abwärme hinsichtlich einer weiteren Nutzung zu bewerten, ist es erforderlich, neben dem eigentlichen Potenzial in Form einer Energiemenge wie TWh/a auch Angaben über das Temperaturniveau, die Energiedichte des Abwärmestroms, der zeitlichen Verfügbarkeit, dem Ort des Abwärmeeintrags oder über mögliche Verunreinigungen zu erhalten. Je nach der gewünschten Nutzung der Abwärme muss sie unterschiedliche Charakteristika erfüllen. So kann z. B. Abwärme, die für den Gartenbau oder die Fischzucht verwendet werden soll, auf einem viel niedrigeren Temperaturniveau sein, als Abwärme, die z. B. verstromt werden soll. Dennoch kann die Leistungsgröße von derselben Größenordnung sein, und zwar dann, wenn eine viel größere Abwärmemenge für den Gartenbau oder die Fischzucht vorliegt als für die Verstromung.

Internationale Analyse zu Abwärmepotenzialen

International sind nur wenige aktuelle Studien verfügbar, die belastbare Abwärmepotenziale in der Industrie veröffentlichen. Öfters hingegen werden industrielle Abwärmepotenziale beziffert, ohne die Qualität der Abwärme zu charakterisieren.

Den verfügbaren Studien sind verschiedene **Methoden** zugrunde gelegt, die Abwärmepotenziale zu ermitteln. Bisher wurden drei unterschiedliche Methoden identifiziert, von denen eine Methode einen top-down Ansatz verfolgt und die beiden anderen einen Bottom-up-Ansatz.

- Bei der Top-down-Methode wird über den Energieverbrauch einer Branche oder ggf. eines Unternehmens und den **Wirkungsgraden** der Anlagen, Maschinen und Prozesse ein Abwärmepotenzial geschätzt. Es wird beispielweise angenommen, dass 100 % der Energie durch elektrische Antriebe mit einem Wirkungsgrad von 90 % verbraucht wird. Nach dieser Methode fallen somit 10 % der eingesetzten Energie als Abwärme an. Verfährt man nach dieser Methode, so lassen sich Größenordnungen des Abwärmepotenzials einer Branche abschätzen. Allerdings können keine genaueren Angaben über die Parameter der Abwärme wie Temperaturniveau oder Verfügbarkeit gemacht werden und somit lassen sich kaum Schlüsse über das technisch nutzbare Abwärmepotenzial ziehen. Zudem lassen sich kaum Aussagen über einen speziellen Betrieb oder ein spezielles Unternehmen treffen.
- Die beiden anderen Methoden verfolgen einen Bottom-Up-Ansatz, also die Erhebung unternehmensspezifischer Daten. Dies kann zum einen durch eine Erhebung mittels Fragebögen erfolgen oder durch direktes Messen durch Fachpersonal der Abwärmequellen in den Betrieben. Bei der erstgenannten Methode werden **Fragebögen** an einen Großteil der zu untersuchenden Branchen verschickt. Die ausgefüllten Fragebögen werden von Branchenexperten geprüft und anschließend die gewonnenen Daten ausgewertet. Je nach Detaillierungsgrad der Fragebögen können nach der Auswertung z. B. Angaben über das technisch nutzbare Abwärmepotenzial in verschiedenen Temperaturbereichen in den einzelnen Branchen getrof-

fen werden. Mit dieser Methode ist eine Verallgemeinerung der Daten zu einem gewissen Grad möglich.

- Die zweite Möglichkeit bottom-up Abwärmepotenziale zu erheben, beinhaltet das direkte **Messen** der Abwärmeströme in den Betrieben durch Fachpersonal. Diese Methode ist die mit Abstand aufwendigste. Um ein Abwärmepotenzial für z. B. eine Branche zu ermitteln, muss eine repräsentative Anzahl von **Betrieben auf ihr** Abwärmepotenzial untersucht werden. Problematisch sind zum einen der große Personaleinsatz und zum anderen die Erhebung von unternehmensspezifischen Angaben, die wettbewerbsrelevant sind. Die Erhebung dieser Daten kann nur dann erfolgen, wenn das Unternehmen darauf vertrauen kann, dass die Daten überwiegend vertraulich verwendet werden und dies auch über einen längeren Zeitraum.

Eine weitere Möglichkeit, Einblicke in Abwärmepotenziale in der Industrie zu bekommen, sind **Best-Practice-Beispiele**. Sie beinhalten meist eine Beschreibung des Ausgangszustandes, eine Beschreibung der Neuerung bzw. der Abwärmenutzungstechnologie sowie weitere Angaben z. B. über genutzte Abwärme, Investitionen, Amortisationen.

Für diesen Bericht wurden folgende Studien aus dem Ausland herangezogen:

- Enova, Potenzialstudie Spillvarme, 2009
- Land Oberösterreich, unveröffentlicht.
- US Department of Energy, Loss and Opportunities Analysis, US Manufacturing and Mining, 2004.

Enova-Studie (2009)

Die Abwärmepotenzialstudie aus Norwegen wurde 2009 von dem norwegischen Energieversorger Enova veröffentlicht. Sie ist nach unserem Wissen aktuell die detaillierteste verfügbare Studie dieser Art. Laut der Studie wurden an 105 Unternehmen Fragebögen verschickt, von denen 72 Unternehmen antworteten. Diese 72 Unternehmen entsprechen 63 % des Energiebedarfs der norwegischen Festlandindustrie. In der Studie wurden folgende Branchen untersucht: Food processing, Wood processing (pulp & paper mills and wallboard), Cement and building block processing, Chemistry, Aluminium, Ferro alloy. Zusätzlich wurden Unternehmen aus dem Bereich der Metallherstellung, Oil Refining und Gas Processing sowie Müllverbrennungsanlagen untersucht.

Der Energiebedarf enthält nicht den energetischen Aufwand für Rohmaterialien. Die beantworteten Fragebögen wurden von Fachpersonen der jeweiligen Branchen geprüft und bei offenen Fragen wurden die Unternehmen nochmals um Ergänzungen bzw. Ergänzungen gebeten. Die in der Studie veröffentlichten Abwärmeenergien werden mit einer Referenztemperatur von 0 °C angegeben. Für Deutschland ist dieser Wert im Vergleich zur durchschnittlichen Jahrestemperatur zu niedrig gewählt. Daher wurden im Rahmen des Vorhabens die Abwärmemengen aus der norwegischen Studie für eine Referenztemperatur von 20 °C abgeschätzt, d. h. jeweils um ein Siebtel reduziert. Die daraus generierten Abwärmemengen sind für mittlere Jahrestemperaturen in Deutsch-

land von 15 bis 18 °C realistischer. Diese Werte werden zusätzlich zu den Werten der norwegischen Studie angegeben. In der norwegischen Studie wurden Abwärmemengen abgefragt, die nicht intern oder extern genutzt werden. Mögliche Abwärmennutzungen sind die Stromerzeugung, Fernwärme, Fischzucht und Erdwärme. Daraus leiten sich die folgenden Temperaturniveaus für die Abwärme ab: > 140 °C, 60-140 °C, 40-60 °C, 25-40 °C. Die ermittelten Abwärmemengen für die untersuchten norwegischen Industrieunternehmen belaufen sich auf folgende Größen:

- 7,0 TWh mit Temperaturen > 140 °C
- 3,1 TWh mit Temperaturen von 60-140 °C
- 5,8 TWh mit Temperaturen von 40-60 °C
- 3,3 TWh mit Temperaturen von 25-40 °C

Im Weiteren werden die branchenspezifischen Ergebnisse der Studie für Abwärmemetemperaturen von > 140 °C vorgestellt.

Abbildung 5-1 verdeutlicht die Größenverhältnisse der absoluten Abwärmemengen. 80 % der Abwärme über 140 °C entfällt auf nur zwei Branchen.

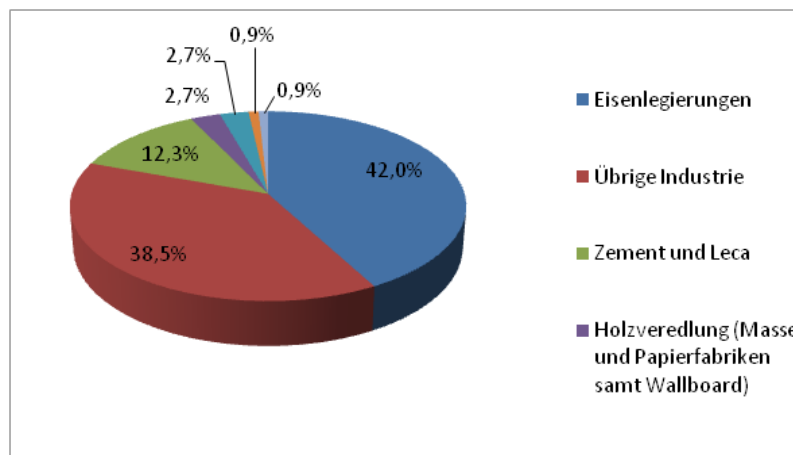


Abbildung 5-1: Anteile der untersuchten Branchen am untersuchten Abwärmepotenzial > 140 °C

Der größte Anteil entfällt mit 42 % auf die Branche Eisenlegierungen; weitere 38,5 % der Abwärme werden in der übrigen Industrie freigesetzt. Nach Angaben des Autors der Studie fallen hierunter Raffinerien und Gasaufbereitungsanlagen. In der Zementindustrie werden 12 % der industriellen Abwärme über 140 °C verursacht. Kleinere Anteile an der absoluten industriellen Abwärmemenge entfallen laut der norwegischen Studie auf die Holzveredlung, die Chemische Industrie und die Aluminiumindustrie.

Um die Ergebnisse aus der norwegischen Industrie auf andere Länder oder Industriestrukturen zu übertragen, sind nicht die absoluten Abwärmemengen der Branchen von Relevanz, sondern die relativen Abwärmemengen. Neben den Abwärmemengen der verschiedenen Branchen wurde auch deren Energiebedarf veröffentlicht. Damit lässt sich je Branche der Anteil der Abwärme am Energiebedarf berechnen. Tabelle 5-1

zeigt die berechneten Anteile. Für die Berechnung wurde die Abwärmemenge, die in der Studie veröffentlicht wurde, um ein Siebtel reduziert, um den höheren mittleren Jahrestemperaturen in Deutschland gerecht zu werden.

Tabelle 5-1: Anteile der Abwärme über 140 °C am Gesamtenergiebedarf der befragten Unternehmen

NACE-Code	Bezeichnung	Abwärmemenge > 140 °C der befragten Unternehmen (Tref = 0 °C)	Abwärmemenge > 140 °C der befragten Unternehmen (Tref = 20 °C, T = 140 °C)	Gesamtenergiebedarf der befragten Unternehmen	Anteil der Abwärme > 140 °C am Gesamtenergiebedarf der befragten Unternehmen
NACE 23.5	Zement und Leca	862 GWh/a	739 GWh/a	1900 GWh/a	39,9 %
NACE 27.1/27.4	Eisenlegierungen	2953 GWh/a	2531 GWh/a	8300 GWh/a	30,5 %
	Übrige Industrie	2702 GWh/a	2316 GWh/a	10200 GWh/a	22,7 %
NACE 23/24	Chemie	187 GWh/a	160 GWh/a	2000 GWh/a	8,0 %
	Abfallverbrennung	60 GWh/a	51 GWh/a	1100 GWh/a	4,6 %
NACE 20.2/21.1	Holzveredlung	193 GWh/a	165 GWh/a	10800 GWh/a	1,5 %
NACE 27.4	Aluminium	65 GWh/a	56 GWh/a	18500 GWh/a	0,3 %
NACE 15-16	Nahrungsmittel	1 GWh/a	0,9 GWh/a	500 GWh/a	0,2 %

Die größten Anteile an Abwärme über 140 °C sind mit rund 40 % in der Zement-Industrie zu finden. In der Branche Eisenlegierungen liegt der Anteil bei rund 31 %, gefolgt von der übrigen Industrie mit einem Anteil von rund 23 %. In der chemischen Industrie liegt der Anteil an Abwärme über 140 °C noch bei 8 %. Abbildung 5-2 zeigt die branchenspezifischen Anteile der Abwärme über 140 °C.

Auch wenn einige Unklarheiten über Definitionen der Branchen, des Endenergiebedarfs und des Entwicklungsstandes der norwegischen Industrie noch zu beantworten sind, so kann man doch aus dieser Studie die Anteile der Abwärme am Endenergiebedarf der Industrie auf deutsche Industriebranchen übertragen.

Anteil der Abwärme > 140 °C am Endenergieverbrauch der Branche:

- Zement Industrie: 40 %
- Eisenlegierungen: 30 %
- Chemie 8 %

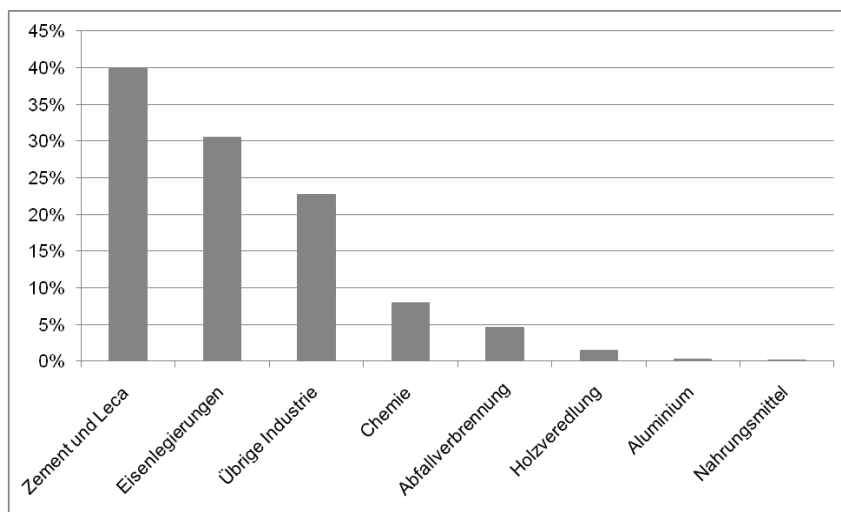


Abbildung 5-2: Anteile an Abwärme über 140 °C am Endenergiebedarf

Land Oberösterreich

Die vom Land Oberösterreich in Auftrag gegebene Studie wird aus Geheimhaltungsgründen nicht veröffentlicht. Aus einer Pressemitteilung ist zu erfahren, dass im Land Oberösterreich 30°PJ pro Jahr an ungenutzter industrieller Abwärme ab einem Temperaturniveau von ca. 30 °C anfallen. Dies entspricht 10 % des Gesamtenergiebedarfs des Landes Oberösterreich. Bei der Annahme, dass 40 % des Energiebedarfs auf die Industrie entfällt, so fallen 25 % des Energieeinsatzes der Industrie als ungenutzte Abwärme an. Dieser im Vergleich zu der Enova-Studie hohe Abwärmeanteil ist auf das niedrige Temperaturniveau der untersuchten Abwärme zurückzuführen. Eine Aufteilung der Abwärme nach Temperaturniveau wird nicht veröffentlicht. Man erfährt lediglich, dass „der überwiegende Anteil der vorhandenen Abwärme (...) auf relativ niedrigem Temperaturniveau im Bereich von rund 30 °C“ anfällt. Weiter heißt es: „Technisch nutzbare Abwärme (...) befindet sich vorwiegend auf einem Temperaturniveau unter 250 °C.“ Zusammenfassend wird festgestellt, dass „in Oberösterreich die technisch und wirtschaftlich einfach gewinnbaren Abwärmeströme bereits überwiegend genutzt werden.“ Das technisch/wirtschaftlich nutzbare Potenzial wird weiter eingeschränkt durch den Anfall der Abwärme im Gewerbebereich: „Neben den Potenzialen in den Industriebetrieben gibt es vor allem in gewerblichen Anwendungen, nicht so sehr aufgrund großer Leistungen, sondern aufgrund größerer Anzahl an Betrieben erhebliche Potenziale, deren Nutzungsmöglichkeiten jedoch aus betriebswirtschaftlicher Sicht starken Einschränkungen unterliegen“.

DOE 2004

Das U.S. Department of Energy veröffentlichte 2004 eine Abwärmepotenzialstudie für die U.S. amerikanische Industrie. Die Bestimmung des Potenzials erfolgt über den Energieverbrauch in den einzelnen Branchen und über den Wirkungsgrad der typisch eingesetzten Anlagen und Maschinen. Die nicht umgewandelte Energie wird als Energieverlust definiert. Für Pumpen wird z. B. eine Verlustenergiemenge von 40 % der

eingesetzten Endenergie angenommen. Die Vorgehensweise und die Ergebnisse sollen am Beispiel der chemischen Industrie dargestellt werden.

Laut der Studie hat die chemische Industrie in den USA einen Brennstoff- und Strombedarf von 3934 PJ pro Jahr. Davon sind 1438 PJ Energieverluste (36 %). Daraus lässt sich erkennen, dass diese Methode zwar aufzeigt, welche Energieverluste in den einzelnen industriellen Sektoren auftreten; sie kann aber keinerlei Aussagen über die Verwertbarkeit dieser Energieverluste im Rahmen einer Abwärmenutzung treffen.

Für drei Branchen wurden die Energieeinsparungen durch Abwärmenutzung untersucht (Tabelle 5-2). Wie auch in der Enova-Studie wird das Einsparpotenzial durch Abwärmenutzung in der Chemischen Industrie mit 8 % und in der Holzverarbeitenden Industrie mit etwa 2 % des Endenergiebedarfs angegeben. In Raffinerien gibt es laut der amerikanischen Studie ein Potenzial von 14 % des Endenergiebedarfs.

Tabelle 5-2: Anteil der Energieeinsparung durch Abwärmenutzung am Endenergieverbrauch der Branchen

	Energy Consumption Fuel and Electricity	Energy Savings through Waste Heat Recovery	Anteil der Energieeinsparung am Energieverbrauch durch WHR
	PJ	PJ	
Chemicals Manufacture	3.934	310	8 %
Petroleum Refineries	3.669	520	14 %
Forest Products	3.452	67	2 %

Quelle: DOE 2004

Resultierendes technisches/(wirtschaftliches) Abwärmepotenzial für Deutschland

Tabelle 5-3 zeigt die Energieverbräuche der deutschen Industriebereiche (AG Energiebilanzen, 2007) und Faktoren, wie viel Abwärme über 140°C am Endenergiebedarf der Branchen anfällt. Diese Faktoren wurden für die Branchen Metallherzeugung, Grundstoffchemie und Verarbeitung von Steine und Erden aus den Abwärmepotenzialstudien abgeleitet (Enova 2009, DOE 2004). Für Branchen, für die keine genauen Angaben vorliegen, bei denen aber ein signifikantes Abwärmepotenzial realistisch ist, wurden Abwärme-Anteile von 3 % des Endenergiebedarfs angenommen.

Unter diesen Annahmen erhält man für die deutsche Industrie ein technisches/wirtschaftliches Abwärmepotenzial bei Temperaturen grösser 140°C von 316 PJ pro Jahr oder 12 % des industriellen Endenergieeinsatzes. Dieses Potenzial gibt eine erste Abschätzung wieder; die Durchführung einer Abwärmepotenzialstudie in der deutschen Industrie kann sie nicht ersetzen. Dieses Potential wäre häufig für die Stromgewinnung verwendbar, zumal in vielen Fällen der betroffenen Branchen kein Wärmebedarf mit dem Temperaturniveau des jeweiligen Abwärmestromes vorhanden ist.

Tabelle 5-3: Resultierendes technisches/(wirtschaftliches) Abwärmepotenzial für Deutschland

Bezeichnung (AG-Energiebilanzen 2007)	Primär-energie	Primär+ Sekundär	Anteil an Abwärme über 140 °C an Primär+ Sekundär	Abwärme über 140 °C an Primär+ Sekundär
	TJ	TJ		TJ
Metallerzeugung	219.021	561.846	30 %	168.554
Grundstoffchemie	205.904	460.104	8 %	36.808
Papiergewerbe	139.814	242.634		
Verarbeitung v. Steine u. Erden	114.291	221.802	40 %	88.721
Ernährung und Tabak	108.196	204.328		
Sonstige Wirtschaftszweige	92.550	215.970		
Glas u. Keramik	63.441	92.501	3 %	2.775
Metallbearbeitung	50.335	114.476	3 %	3.434
NE-Metalle, -gießereien	40.522	133.674	3 %	4.010
Fahrzeugbau	39.813	131.117	3 %	3.993
Sonstige chemische Industrie	37.878	91.138	3 %	2.734
Maschinenbau	29.610	84.435	3 %	2.533
Gummi- u. Kunststoffwaren	20.774	81.298	3 %	2.439
Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau	5.412	17.777		
	1.167.562	2.653.101		316.001

Folgt man den Ergebnissen der ENOVA-Studie mit den Abwärmepotenzialen, so lägen die Abwärmepotenziale zwischen 60°C und 140°C bei etwa der Hälfte des Potenzials über 140°C, d. h. bei etwa 6% des industriellen Endenergiebedarfs, d. h. in der deutschen Industrie bei etwa 160 PJ pro Jahr.

6 Hemmnisse und fördernde Faktoren der Abwärmenutzung

Als Ergebnis einer Literaturrecherche, der Auswertung von drei Praxisbeispielen mit Experteninterviews (siehe Anhang 9) und des Expertenworkshop am 5. Mai 2010 wurden die im Folgenden kategorisierten Hemmnisse und fördernden Faktoren erfasst und von den Workshop-Teilnehmern gewichtet. Einige der Faktoren gelten generell für Effizienzmaßnahmen, insbesondere finanzielle und informatorische Hemmnisse. Andere, insbesondere strukturelle und technologische Hemmnisse sind spezifisch für industrielle Abwärmenutzung.

6.1 Hemmnisse

Strukturelle Hemmnisse

Wird die Abwärme betriebsintern genutzt, muss zunächst überhaupt ein zusätzlicher **Wärmebedarf** nahe des Ortes der Abwärme-Entstehung **vorhanden** sein. Diese Voraussetzung ist zunächst kein Hemmnis per se, aber es wurde von den Workshopteilnehmern in der Arbeitsgruppe „betriebsinterne Abwärmenutzung“ bestätigt, dass lange zusätzliche Leitungen des Wärmetransports die Rentabilität oftmals erheblich verschlechtern können. Oft sei es auch bei der ersten Planung schwierig, die Abwärmeströme zu quantifizieren und hinreichend verlässliche Daten über Wärmequelle und –senke zu finden bzw. zu schätzen.

Ansonsten kann die Wärme an externe Dritte (z.B. benachbarte Betriebe oder Siedlungsgebiete, Einspeisung in ein vorhandenes Fern- oder Nahwärmenetz) abgegeben werden, wenn die Wärmesenke nicht allzu weit **entfernt** ist. Wenn die Abwärme nicht **gleichzeitig** zum Wärmebedarf oder in stark **variierenden Mengen** anfällt, muss sie gespeichert werden. Auch das **Temperaturniveau** muss zu der erforderlichen Anwendung passen. Ggf. kann es durch Zumischen von Dampf, Nacherhitzung oder Wärmepumpen angepasst werden, wobei dies zusätzlichen technologischen Aufwand erfordert, oder die Abwärme wird lediglich zur Vorerwärmung eingesetzt.

Diese wärmelogistischen Hemmnisse wurden von den Workshop-Teilnehmern als besonders wichtig bewertet. Sie beeinflussen sehr die Rentabilität, sind aber kein Hemmnis im engeren Sinne.

Finanzielle und administrative Hemmnisse

Die zusätzliche **Wärmelogistik** führt zu **zusätzlichen investiven Kosten** (beispielsweise für den Bau von Wärmenetzen), aber auch zu **Such-** und **Informationskosten**, die im Verhältnis zu den ökonomischen Vorteilen der Abwärmetechnologien vielfach als zu hoch eingeschätzt werden könnten (KfW 2008). Auch das wurde mehrfach von den Experten der Arbeitsgruppe „betriebsinterne Abwärmenutzung“ bestätigt, denn die Planung einer Abwärmenutzungslösung ist in der Regel wegen ihrer Individualität arbeitsaufwändig und damit kostenintensiv.

Die Mehrkosten für eine Abwärmenutzung können zwar vielfach im Lauf der Lebensdauer der Komponenten wieder eingespielt werden. Aber die Unternehmen in Deutschland basieren ihre Investitionsentscheidungen zu 85 % nicht auf Basis einer Lebenszykluskosten-Entscheidung, d.h. einer Rentabilitätsbetrachtung wie z.B. den **Barwert** oder **die interne Verzinsung**, sondern einer **Amortisationszeiten-Betrachtung**, d.h. ausschließlich einer Risikobetrachtung, wann das eingesetzte Kapital durch die Einsparungen wieder zurückgeflossen ist (Schröder u.a. 2010).

In den meisten Unternehmen werden zudem häufig sehr kurze Amortisationszeiten von zwei bis drei Jahren vorgegeben, so dass die erheblichen Energiekosteneinsparungen durch Abwärmetechnologien, die über die vorgegebene Amortisationszeit über viele Jahre hinausgehen, bei Investitionsentscheidungen nicht im ausreichenden Maße Be-

rücksichtigung finden. Somit wird die zu erzielende Rendite einer verbesserten Abwärmennutzung von mehr als 25 bis 30 % oftmals vernachlässigt (vgl. Tabelle 6-1). Nach Aussagen der Experten auf dem Workshop sei die Risikobewertung der Abwärmennutzungslösung auch mit der Produktionssicherheit im Betrieb verbunden. Die Restriktionen bezüglich Amortisationszeiten treffen weniger auf kleine und mittlere Unternehmen zu.

Tabelle 6-1: Interne Verzinsung einer Energieeffizienz-Investition bei vorgegebener statischer Amortisationszeit und als Funktion der Lebensdauer der Investitionsmaßnahme

geforderte Amortisationszeit in Jahren	Interne Verzinsung in % pro Jahr ¹⁾							
	Anlagennutzungsdauer in Jahren							
	3	4	5	6	7	10	12	15
2	24%	35%	41%	45%	47%	49%	49.5%	50%
3	0%	13%	20%	25%	27%	31%	32%	33%
4	unrentabel	0%	8%	13%	17%	22%	23%	24%
5		0%	6%	10%	16%	17%	18.5%	
6		0%	4%	10.5%	12.5%	14.5%		
8		4.5%	7%	9%				
¹⁾ unterstellt wird eine kontinuierliche Energieeinsparung über die gesamte Anlagennutzungsdauer								
bei vier Jahren Amortisationszeit abgeschnittene rentable Investitionsmöglichkeiten, die zuweilen ein Geschäftsfeld von Contracting ist								

Bei der Abgabe von Abwärme an Dritte bestehen von Seiten der Abwärme zur Verfügung stehenden Unternehmen Erwartungen hinsichtlich der **Investitionssicherheit**. Die Unternehmen müssen letztlich über vertragliche Vereinbarungen sicherstellen, dass die Abwärme über die Abschreibungszeiten abgenommen bzw. abgekauft wird. So ergäbe sich zum Beispiel ein Problem bei der Abnahme der Abwärme, wenn der Abnehmer in **Insolvenz** ginge. Praktikable vertragliche Lösungen sind dafür erforderlich (einschließlich Lösungen über Versicherungen).

Die planerische Verwirklichung scheidet zuweilen auch an der nicht adäquaten Vergütung der Planungsleistungen durch z.B. die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI). Nach Einschätzungen der Experten auf dem Workshop würde aufgrund der Komplexität der Abwärmennutzungslösungen eine zusätzliche Förderung der Beratungs- und Planungskosten (beispielsweise die Entwurfsplanung mit Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnung nach HOAI) dazu beitragen, die Such- und Informationskosten für den Nutzer zu reduzieren.

Produktionssicherheit, Kerngeschäft

Zudem können in Unternehmen Bedenken bezüglich des **Betriebsablaufs** und der **Produktionssicherheit** während der technischen Installations-/Umrüstungsphase und während des laufenden Betriebs bestehen. In der Industrie spielen darüber hinaus Prioritäten eine Rolle, wie z.B. investive Maßnahmen, die das eigentliche **Kerngeschäft** des Unternehmens betreffen und damit im Fokus der Unternehmensleitung liegen (z. B. Produktionssteigerung zur Erzielung größerer Marktanteile, Verbesserung der Qualität der Produkte). Rentable Investitionen in Technologien zur Abwärmenutzung stehen demzufolge stets in Konkurrenz zu anderen Investitionen im Unternehmen.

Bei der Abgabe von Abwärme an Dritte stellt aus Sicht der Abnehmer die Erwartung an Versorgungssicherheit ein Hemmnis dar. Der Abnehmer von Abwärme, der von der Wärmelieferung abhängig ist, möchte eine kontinuierliche Versorgung gewährleistet sehen. Zum Beispiel könnten sich bei Insolvenz oder verringerter Produktionsleistung des abwärmeliefernden Unternehmens Versorgungsengpässe ergeben, die sich allerdings durch sowieso erforderliche Reserve-Kesselkapazitäten in vielen Fällen regeln liessen.

Information

Vielfach ist in den Unternehmen kein spezielles **Personal** für Effizienztechnologien im Allgemeinen und Abwärmotechnologien im Speziellen in den Unternehmen vorhanden ist. Unternehmen mit Energiefachpersonal schätzen in der Tendenz ihr Energieeinsparpotenzial höher ein, und sie haben häufiger Energieeffizienzmaßnahmen umgesetzt als die anderen Unternehmen ohne solches Fachpersonal“ (KfW 2008). Die genannten Hemmnisse könnten grundsätzlich durch Beratungsleistungen und durch Fortbildung des entsprechenden Personenkreises beseitigt werden. In der Praxis zeigt sich aber, dass diese Möglichkeiten aus verschiedenen Gründen (Zeitmangel des Energieverantwortlichen, Prioritätensetzung der Unternehmensleitung, zu hohe Spezialisierung der beratenden Ingenieure oder Misstrauen der Energieverantwortlichen gegenüber beratenden Ingenieuren) nur unzureichend von den meisten Akteuren in diesem Feld wahrgenommen werden.

Zudem fehlen vielfach technische Spezifikationen oder Anforderungen für Energieeffizienz in den Einkaufsrichtlinien bzw. Ausschreibungen in den Betrieben, die häufig zu höheren Abwärmequellen führen.

Manche Energieverantwortliche im Betrieb wollen auch keinen Berater engagieren, weil sie vielleicht ihr Gesicht verlieren könnten: Wenn der Berater auf Energieeffizienzmaßnahmen im Bereich der Wärmenutzung hinweist, könnte sich der Mitarbeiter seitens der Geschäftsleitung den Vorwurf einhandeln, dass er auf diese Potenziale selbst hätte kommen müssen.

Den Unternehmen kann ein Überblick darüber fehlen, welche Möglichkeiten einer Abwärmenutzung überhaupt vorhanden sind oder welche potenzielle Wärmekunden an einer Abnahme interessiert wären. Den Betrieben entstehen dadurch – wie sie meinen – zu hohe **Such-** und **Informationskosten** (s.o.).

Dabei ist die Höhe des Beratungs- und **Planungsaufwands** für die technischen Lösungen der Abwärmenutzung nicht zu unterschätzen. Für jede Anlage muss sehr häufig

fig individuell geplant werden. Hinzu kommt, dass das planende Ingenieurbüro eine fundierte Fachkompetenz in nahezu allen Bereichen der Wärme- und Kälteerzeugung aufweisen muss, um verschiedene Techniken bei der Abwärmenutzung effizient miteinander kombinieren zu können. Die Diskussion auf dem Workshop hat das Letztere bestätigt: Es gibt zu wenig erfahrene Energieeffizienzberater, die sich ausreichend mit Abwärmenutzung in Industrieprozessen in den verschiedenen Branchen auskennen.

Rechtliche Hemmnisse

Sobald Abnehmer und Lieferant von Abwärme nicht dieselbe Person sind, entstehen oft Hemmnisse durch neue technische oder abrechnungsrelevante **Schnittstellen**. Zudem ergeben sich bei der Umrüstung auf Abwärmenutzungstechnologien Hemmnisse durch **rechtliche Vorgaben** (Umweltrecht, Bau- und Betriebsgenehmigungen (beispielsweise von Thermoölleitungen) u. a.), die zu einem zusätzlichen bürokratischen, d. h. zeitlich und personellen Aufwand führen. Experten des Workshops zufolge betrifft solcher Umbau zusätzlich noch das Wasserrecht, wenn es um Abwassernutzung geht, Brandschutzanforderungen im Baurecht bei Abwärmenutzung bei höheren Temperaturen dürfen dabei nicht unterschätzt werden.

Mangelndes individuelles Engagement entscheidender betrieblicher Akteure

In der Praxis zeigt sich, dass der Erfolg von Projekten zur Umsetzung von Abwärmenutzungstechnologien und Effizienzmaßnahmen im Allgemeinen von dem Engagement einzelner Schlüsselpersonen abhängt. Umgekehrt ist mangelndes Engagement als ein Hemmnis bei der Abwärmenutzung zu sehen. Gründe für mangelndes individuelles Engagement sind beispielsweise Zeitmangel, fehlendes Image von Effizienztechnologien, Zögern gegenüber Neuerungen oder anderweitige individuelle Prioritäten von Mitgliedern der Geschäftsführung, des Energieverantwortlichen oder des Einkaufs.

Technologische Hemmnisse und Entwicklungsbedarf

In verschiedenen Bereichen, beispielsweise bei der Verstromung niedergrädiger Wärme, bei der Entwicklung foulingresistenter Wärmetauscher oder Wärme-Logistikkonzepte oder der Wärmerückgewinnung aus heißen Produkten, besteht noch technologischer Entwicklungsbedarf. Laut Experten auf dem Workshop können bzw. könnten manche der genannten technologischen Hemmnisse mit moderner Technik oder speziellen Materialien und Oberflächen beseitigt werden, so beispielsweise lassen sich für Fouling- und Reinigungsprobleme der Wärmetauscher häufig mit Filtern praktikable Lösungen finden. Andererseits gibt es seitens der Anlagenhersteller fast kein Angebot, wie die innere Wärme aus heißen Produkten zurückgewonnen und im Betrieb verwendet werden könnte.

Die Hemmnisse wurden während des Workshops auch von den Teilnehmern bewertet. Die Antworten sind auch vor dem Hintergrund zu sehen, welche Zielgruppen vertreten waren (z.B. Hersteller von Anlagen, Anwender, Forschung, Verwaltung) und wie deren Erfahrungshorizont einzelnen Hemmnissen mehr oder weniger Bedeutung zubilligt.

Tabelle 6-2: Spezifische und allgemeine Hemmnisse der Abwärmenutzung und deren Gewichtung durch die Workshop-Teilnehmer (1 = sehr wichtig, 5 unwichtig). Kursiv: Maßnahmen mit Gewichtung < 2)

Hemmnis	Lösungsmöglichkeit	Beispiel, Bemerkungen	Spezifisch für Abwärme?	Gewichtung	RMS
Strukturelle Hemmnisse					
<i>Keine Wärmesenke in der Nähe</i>	<i>Abwärmebörse (Informationsportal)</i>	<i>Abwärmebörse Sachsen</i>	Ja	1,6	1,0
<i>bei betriebsinterner Nutzung</i>			Ja	1,9	1,0
<i>bei Wärmeabgabe an Dritte</i>	<i>Bau von Wärmeleitungen, Wärmetransport</i>		Ja	1,9	1,1
<i>Keine Information über Wärmesenke in der Nähe</i>	<i>Abwärmebörse (Informationsportal)</i> <i>Suche nach Nachbarunternehmen, z. B. in Industriegebieten</i>	<i>Abwärmebörse Sachsen</i> <i>Unternehmenskooperationen</i>	Ja	1,8	1,1
Zeitliche Diskrepanz Wärmeanfall/-bedarf	Andere Art von Wärmenutzung (z. B. Stromerzeugung oder Netzeinspeisung), Speicherung,		Ja	2	0,9
Temperaturniveau					
zu niedrig	Einsatz von Wärmepumpen		Ja	2,1	0,9
zu hoch	Zumischen von Dampf o. ä., Kaskadennutzung		Ja	3,3	1,5
Fehlende tech. Spezifikationen/Effizienzanforderungen in den Einkaufsrichtlinien der Betriebe			Nein	*	*
Produktionssicherheit, Kerngeschäft					
Betriebsablauf wird gestört			Ja	2,1	1,1
<i>Produktionssicherheit</i>				1,0	0,0
<i>während der Umrüstphase</i>	<i>bei Wartungsstillstand umrüsten</i>		Ja	2,1	1,0
<i>andauernd</i>	<i>Kesselanschluss als Reserve</i>		Ja	2,2	0,9
Ausfallsicherheit in Heizzentrale	Redundante Heizkessel			2,2	0,8
Priorität bei Kerngeschäft	Einsatz von Dienstleistern, Abwärme-Contracting		Nein	2,7	1,1
Information					
Mangel an betrieblichem Wissen und Personalkapazität	Spezielle Informationskampagnen und technikspezifische Fortbildungsangebote für ausgewählte Zielgruppen Qualitativ gute Investitionsberechnungstools		Nein	2,1	0,9
Unterbewertung von Erfahrungswissen bei der Personalebewertung				*	*

Hemmnis	Lösungsmöglichkeit	Beispiel, Bemerkungen	Spezifisch für Abwärme?	Gewichtung	RMS
Zu hohe Suchkosten	Entwicklung Investitionsberechnungshilfen für beratende Ingenieure und Energiemanager in den Betrieben		Nein	2,7	1,1
Finanzielle und administrative Hemmnisse					
Begrenzte Verfügbarkeit von Investitionsmitteln	Förderprogramme, Kredite	auch Contracting möglich	Nein	2,3	0,7
<i>Zu hohe Amortisationserwartungen, Risiko- statt Rentabilitätsbewertung</i>	<i>Information über Lebenszykluskosten und interne Verzinsung</i>		Nein	1,5	0,8
Unsicherheit bezügl. wirtschaftl. Zukunft					
für das investierende Unternehmen			Nein	2,0	0,8
für potenzielle Wärmekunden	Vertragliche Regelung suchen		Ja	2,3	0,8
Administrativer Aufwand für Genehmigung, Durchführung und Abrechnung			Nein	3,0	1,0
HOAI Anreiz in falsche Richtung				*	*
Rechtliche Hemmnisse					
Rechtliche Vorgaben mit hohem bürokratischen Aufwand			Nein	3,0	1,0
Mangelndes individuelles Engagement	Motivatorische Maßnahmen		Nein	2,5	0,9
Technologische Hemmnisse	Förderung von Forschung und Entwicklung		Nein	3,0	1,0
Materialverbesserung bei Wärmetauschern (Reinigung und Fouling)				*	*

*Nicht quantifiziert, da Hemmnisse erst während des Workshops ergänzt wurden.

6.2 Fördernde Faktoren

Neben den Hemmnissen der Abwärmenutzung gibt es einige förderliche Faktoren, die man in äußere Rahmenbedingungen und betrieblich gestaltbare Einflussfaktoren unterscheiden kann:

Äußere Rahmenbedingungen

Auf diese Rahmenbedingungen hat das einzelne Unternehmen keinen Einfluss. Es handelt sich hier um

- **steigende Energiepreise**, die die Rentabilität der Investitionen verbessern, oder

- Akteure mit **Vorort-Kenntnissen**, beispielsweise Stadtwerke, die als Contractoren auf einen **aufwändigen Suchprozess** verzichten können. Vielfach können sie mit der Abwärmenutzung auch andere Strategieelemente verfolgen, beispielsweise Temperaturerhöhung in entlegenen Teilen des Fernwärmenetzes, **Kundenbindung** oder **Imagegewinn**.

Hinzu kommen rechtliche Rahmenbedingungen, die eine Abwärmenutzung nahelegen oder durch örtliches Baurecht einfordern.

Förderliche Einflussfaktoren, gestaltbar durch das Unternehmen

Diese förderlichen Faktoren sind häufig die Kehrseite eines Hemmnisses oder einer nicht wahrgenommenen Chance des Unternehmens. Es handelt sich im Wesentlichen um folgende, meist sozialpsychologische Aspekte auf Seiten der Unternehmensführung oder des Energiebeauftragten oder -verantwortlichen:

- **Imagegewinn des Unternehmens bzw. der Geschäftsführung.** Die Geschäftsführung eines Unternehmens ist aus Gründen des **Alleinstellungsmerkmals** des jeweiligen Produktes oder des Unternehmens daran interessiert, sich durch zusätzliche Merkmale von den Kollegen in anderen Unternehmen am Ort oder in der Branche abzuheben.
- Es können auch die **persönlichen Bedürfnisse nach sozialer Anerkennung** in seiner Berufsgruppe oder seinem Freundesumkreis eine fördernde Rolle spielen, dass sich die Mitglieder der Geschäftsführung besonders für den Umwelt- und Klimaschutz engagieren. Dabei haben sie ein hohes Interesse, entsprechende energieeffiziente oder klimaschützende Maßnahmen zu veröffentlichen, sei es durch Pressemitteilungen, Kolloquien, Teilnahme an Wettbewerben etc. sei es durch Zertifizierung (z.B. EMAS, DIN 16.001), Umweltlogos oder vergleichbare Signale an die Öffentlichkeit.

An diesen Bedürfnissen der Selbstdarstellung und der Alleinstellungsmerkmale können sowohl die Politik als auch die Selbstorganisationen der Wirtschaft ansetzen, um diese fördernden Faktoren wirksam werden zu lassen oder in ihrer Anwendung zu verbreitern.

- **Persönliches Engagement des Energieverantwortlichen und der Mitarbeiter** durch Freiräume und Anerkennung. Es ist ein großer Unterschied für die Motivation und das Engagement des Energieverantwortlichen und der Mitarbeiter allgemein, ob die Anstrengungen zur energieeffizienten Produktion von der Geschäftsleitung positiv gesehen und gefördert wird. Diese positive, verstärkende Sichtweise der Geschäftsführung äußert sich in **Alltagsroutinen** (z.B. Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Methode Barwert oder interne Verzinsung, **Mitspracherecht des Energieverantwortlichen** bei Re- und Neuinvestitionen im Produktionsbereich und bei Gebäuden), durch Belobigungen und interne Aufforderung zu Verbesserungsvorschlägen zur energieeffizienteren Produktion und **freie Investitionsbudgets**, über die der Energieverantwortliche selbständig entscheiden kann.

Schließlich gibt es eine Reihe von organisatorischen Voraussetzungen, die sich als förderlich erweisen:

- Eine **bereits vorhandene Infrastruktur** war in verschiedenen Praxisfällen bereits vorhanden, beispielsweise ein Kessel oder ein BHKW, die als Backup-Aggregate Ausfallsicherheit bei kurzfristigen betrieblichen Einschränkungen, aber auch bei langfristigen Versorgungspässen geben können.
- Förderlich für die Installation einer Abwärmenutzung sind auch sowieso anstehende Sanierungen, Erneuerungen oder Erweiterungen der Produktionsanlagen (**Erneuerungszyklus**).
- Die Unsicherheit bezüglich der Produktions- und Ausfallsicherheit kann durch klare **vertragliche Vereinbarungen** abgedeckt werden. Hierzu wären öffentlich verfügbare und bereits erprobte Vertragsmuster von Vorteil, um die Transaktionskosten in diesem Punkt gering zu halten.

6.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Heutige Rechtsregeln über die Nutzung von Abwärme finden sich in der Bundesrepublik Deutschland zum einen im **Immissionsschutzrecht**. Das Bundesimmissionsschutzgesetz legt dem Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen in § 5 Abs. 1 Nr. 4 die Pflicht auf, dass Energie sparsam und effizient verwendet werden muss, allerdings unter der Voraussetzung der technischen Realisierbarkeit und Zumutbarkeit. § 5 regelt zugleich, dass bei Anlagen, die dem Emissionshandel unterliegen, keine weiteren Anforderungen bezüglich Effizienz und Kohlendioxid-Ausstoß gestellt werden dürfen. In § 7 BImSchG Absatz 1 wird die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsverordnung vorzuschreiben, dass die Errichtung, die Beschaffenheit, der Betrieb, der Zustand nach Betriebseinstellung und die betreibereigene Überwachung genehmigungsbedürftiger Anlagen zur Erfüllung der sich aus § 5 ergebenden Pflichten bestimmten Anforderungen genügen müssen.

In den **energiebezogene Rechtsvorschriften** finden sich nur punktuelle, bisweilen sehr fallspezifische Regelungen (bspw. Auflagen zur Kraft-Wärme-Kopplung im KWKG). Im **Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz** (EEWärmeG) wird Abwärme nach § 7 als „Ersatzmaßnahme“ geführt, durch das die Nutzungspflicht für Eigentümer bei Neubauten nach § 3 Abs. 1 unter anderen als erfüllt angesehen wird, wenn Verpflichtete den Wärmeenergiebedarf zu mindestens 50 % aus Anlagen zur Nutzung von Abwärme nach Maßgabe der Nummer IV der Anlage zu diesem Gesetz decken (laut § 7, Absatz 1, Punkt 1a). Der Abschnitt IV dieser Anlage widmet sich den Anforderungen für Abwärme.

Auch in den Bundesländern gibt es abwärmebezogene rechtliche Regelungen. Das Bundesland Berlin beispielsweise hat, ähnlich wie Hamburg, Vorschriften mit Bezug auf Abwärmenutzung im **Gesetz zur Förderung der sparsamen sowie umwelt- und**

sozialverträglichen Energieversorgung und Energienutzung im Land Berlin² festgeschrieben. Als einen Grundsatz nennt das Gesetz, dass Maßnahmen zur Bedarfs- und Verbrauchsminderung sowie zur Abwärmenutzung oder Wärmerückgewinnung Vorrang vor Maßnahmen haben sollen, die den Einsatz von Primärenergie erhöhen (§ 2, Punkt 3). Entstandene Abwärme ist nach Möglichkeit zu nutzen (§ 2, Punkt 4, Satz 2). Inwieweit diese Vorschriften kontrolliert und eingehalten werden, ist den Autoren nicht bekannt.

Im Rahmen des **KWK-Gesetzes** werden nach § 5a Wärmenetze dann gefördert, wenn sie im geplanten Endausbau „mindestens einen Anteil von 60 %“ aus KWK-Anlagen im Sinne des Gesetzes nachweisen können. Die Wärmenetz-Förderung im Marktanreizprogramm stellt Anforderungen an den EE-Anteil (Anteil mindestens 50 %, bei solaren Wärmenetzen mindestens 20 %). Wärmenetze mit industrieller Abwärme wären nur unter a) mit entsprechenden Anteilen erneuerbarer Energieträger förderfähig.

Damit ergibt sich aus Fördersicht eine klare Förderlücke für Wärmenetze auf Basis von Abwärme. Auf dem Gebiet der Förderung von Technologien zur Abwärmenutzung bzw. -rückgewinnung ist insbesondere der „Sonderfonds Energieeffizienz in KMU (kleine und mittlere Unternehmen)“ zu nennen.

Der Sonderfonds besteht aus zwei Komponenten: Förderung zur Verbesserung der Information durch Energieberatung und Finanzierung von Energieeffizienzmaßnahmen.

Im Rahmen der Energieeffizienzberatung werden fachkundige, unabhängige Energieberatungen gefördert. Hierbei sind Initialberatungen zum Auffinden energetischer Potenziale und Detailberatungen zur vertiefende Energieanalyse und Erarbeitung eines konkreten Maßnahmenplans förderfähig.

Der Investitionskredit im Rahmen des ERP-Umwelt- und Energieeffizienzprogramms (Programmteil B) können KMU die vom Berater empfohlenen Energieeffizienzmaßnahmen, zu denen explizit auch Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung/Abwärmenutzung genannt werden, zinsgünstig mit Darlehen finanzieren.

7 Verbesserte Rahmenbedingungen für Abwärmenutzung: ein Vorschlag

Angesichts der oben aufgeführten Hemmnisse und fördernden Faktoren reichen die derzeitigen Rahmenbedingungen und die Aktivitäten der Selbstorganisation der Wirtschaft für eine deutlich verbesserte Abwärmenutzung nicht aus. Das Projektteam schlägt vor, eine zukünftige Ausgestaltung dieses Handlungsfeldes auf verschiedenen Säulen zu stützen, um eine den Chancen und Hemmnissen angepasste Mischung aus Förderung, technischen Standards, Information, beruflicher Fortbildung, Selbstinitiative der Unternehmen sowie Forschung und Entwicklung zu erzielen (Abbildung 7-1).

² <http://www.umweltdigital.de/nd/31952/vorschrift.html>

Ein entscheidender Aspekt für die Verbesserung der Rahmenbedingungen ist, dass Politik und Selbstorganisationen der Wirtschaft gemeinsam ein Bündel von Maßnahmen entwickeln, dass die bestehenden Hemmnisse zeitlich simultan vermindert und zugleich auch die fördernden Faktoren aufgegriffen werden.

Neben diesen fördernden Faktoren wirken weitere Rahmenbedingungen auf die Abwärmennutzung, beispielsweise die Entwicklung der Energiepreise (einschließlich Steuern und Abgaben) und des Emissionshandels. Sehr vorteilhaft auf die Entwicklung der Abwärmennutzung würde sich auch die Einführung von Energiemanagementsystemen in Unternehmen auswirken.

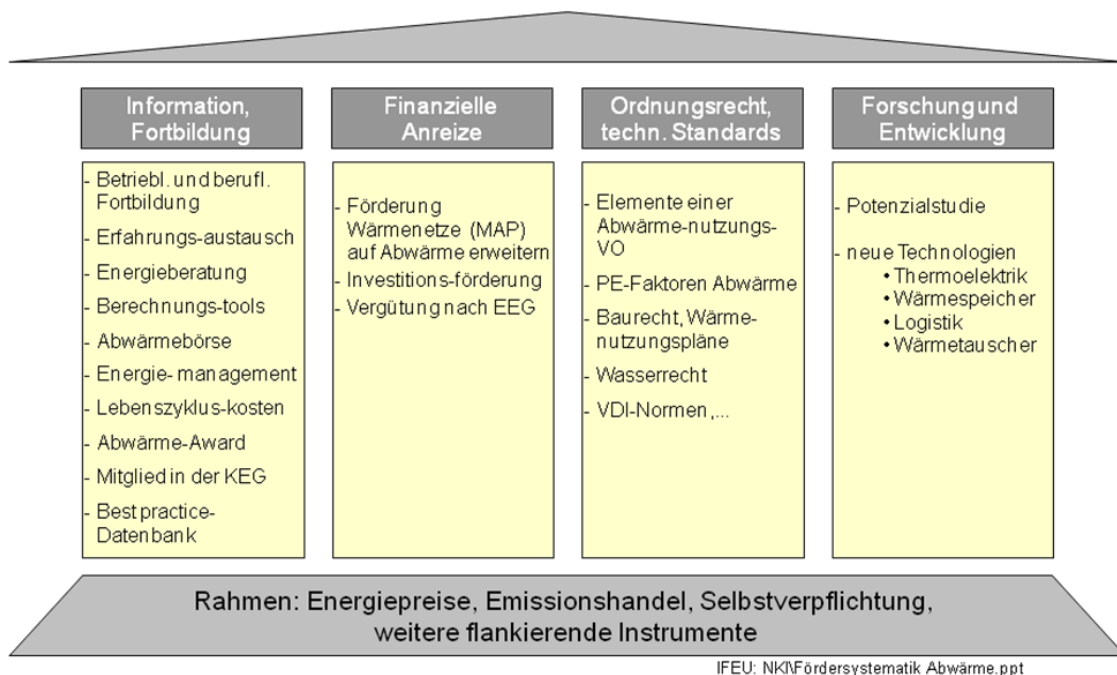


Abbildung 7-1: Förderliche Rahmenbedingungen für Abwärmennutzung - ein Vorschlag

7.1 Information, Fortbildung, Erfahrungsaustausch und Motivation

Die erste Säule einer nachhaltigen Abwärmennutzung beruht auf einer Stärkung von Information und Fortbildung, um die hohen Such- und Entscheidungskosten der Anwender und beratenden Ingenieure zu reduzieren, aber auch den Kenntnisstand der Hersteller und Installationsfirmen von Wärmetauschern auf dem neuesten technischen Stand zu halten. Es ist davon auszugehen, dass Großindustrien wirtschaftliche Abwärmepotenziale mit Amortisationszeiten von weniger als drei Jahren bereits ausschöpfen; die erste Säule der Maßnahmen sollte daher im Wesentlichen KMUs ansprechen.

• Berufliche Aus- und Fortbildung und Energieberatung

Im Bereich der beruflichen Fortbildung und Energieberatung ist das Thema Abwärme zusätzlich zu verankern. Dies betrifft beispielsweise die KfW-geförderte Beratung oder die derzeit weitgehend gestarteten 30 Energieeffizienz-Netzwerke, die bereits das Thema der Abwärmennutzung als Pflichtthema verfolgen. Hier müssten systematisch

Fortbildungshilfen für die verschiedenen Zielgruppen und Branchen entwickelt und von Fortbildungsträgern (VDI, branchenspezifische Fortbildungsträger) angeboten werden. In abgewandelter Form könnten die Fortbildungsmanuskripte für die Ausbildung von Ingenieuren und Installateuren genutzt werden. Auch in die weiteren laufenden NKI-Projekte ist dieses Thema zu integrieren (z. B. DIHK-Projekt mit Energie-Coaching, Energieeffizienz-Optionen).

Nach Meinung der Experten auf dem Workshop ist die Aufnahme eines neuen Fachs bzw. Themas „Energieeffizienz mit dem Konzept der Abwärmenutzung“ für Hochschulen für die Ingenieurausbildung wichtig und könnte auch eine zusätzliche Maßnahme im Bereich der Fortbildung von Ingenieuren und Installateuren sein. Hierbei sollte ein Grundsatz sein, nur soviel Abwärme anfallen zu lassen, wie unbedingt nötig ist.

- **Energiemanagementsysteme mit der Kategorie Abwärmenutzung**

Bei der Einführung von Energiemanagementsystemen (beispielsweise derzeit in NRW) ist die Kategorie „Abwärmenutzung“ von vornherein durch Abwärmebilanzen zu berücksichtigen, um auf Potenziale aufmerksam zu machen. Zusätzlich schlugen die Workshop-Teilnehmer vor, die Energiemanagementsysteme sowie Energiemonitoring- und -Controlling einzuführen, um die Datengrundlage (z.B. vorhandene Energieströme im Betrieb) für Erst-Beratungen zu liefern und somit den Erkenntnis- und Planungsprozess zu beschleunigen.

Im Rahmen eines Energieeffizienzgesetzes sollten Energiemanagementsysteme in Abhängigkeit von der Größe und der Energiekosten des Betriebs verpflichtend einzuführen sein. Auch könnte festgelegt sein, dass ein Betrieb ab einem bestimmten jährlichen Energieverbrauch ein Sankey-Diagramm erstellen muss, aus dem die Abwärmeströme hervorgehen. Hierzu wäre es für die Betriebe effizient, eine elektronische Berechnungs- und Zeichenhilfe zu haben, die sie selbst oder beratende Ingenieure anwenden können.

- **Entwicklung qualitativ guter Investitionsberechnungshilfen**

Zur Reduktion der Such- und Entscheidungskosten sowie der Planungskosten sollten darüber hinaus Planungstools geschaffen werden, die eine schnelle Analyse der Abwärmenutzung durch Spezifikation der Abwärmequelle und -senke und des erforderlichen Wärmetransfers erlauben. Zielgruppe: beratende Ingenieure und Energiemanager in den Betrieben (derzeit in Bearbeitung im 30-Pilotnetzwerke-Projekt). Außerdem könnte Energiecontracting von Abwärmenutzung eine Lösung zur Senkung der hohen Such- und Entscheidungskosten (insbesondere bei KMUs) darstellen.

- **Internetgestützte Abwärmebörse und Wärmenutzungskonzepte**

Das Wissen über Wärmequellen und Wärmesenken über die Firmengrenzen hinweg könnte durch eine internetgestützte „Wärmebörse“ vorangebracht werden. Erste Erfahrungen hierzu werden derzeit in Sachsen gesammelt. Wärmenutzungskonzepte sind bereits in der kommunalen Fördersäule vorgesehen und enthalten auf Empfehlung dieses Projektes hin die Analyse von Abwärmepotenzialen.

- **Angabe von Lebenszykluskosten seitens der Hersteller und beratenden Ingenieure**

Empfehlung und Kampagne des VDMA/ZVEI an seine Mitgliedsfirmen, bei Energieeffizienz-Investitionen und Investitionsoptionen immer – neben der Amortisationszeit – die interne Verzinsung anzugeben, d.h. auch die Lebenszykluskosten der effizienten Alternative, und zwar grundsätzlich in Angeboten und Firmenprospekten, Flyern und Fachvorträgen.

- **Verbesserung der betrieblichen Einkaufsroutinen**

Dem Einkauf in Betrieben sollten die Lebenszyklus-Kosten sowie technische Vorgaben als Entscheidungshilfe zur Verfügung stehen bzw. er sollte sie grundsätzlich bei seiner Ausschreibung einfordern. Außerdem sollte sowohl in die Ausschreibung als auch in die Entscheidung über den Zuschlag energietechnische Kompetenz eingebunden werden.

- **Vergabe eines speziellen Abwärmenutzungspreises**

Die dena oder auch eine weitere Institution wie z. B. die Karlsruher Wärmetauscher-Messe sollten jährlich einen speziell auf die Abwärmenutzung ausgerichteten internationalen Preis vergeben. Das dazu erforderliche Kapital könnte von der Bundesregierung und den Mitgliedern der entsprechenden Fachgemeinschaft beim VDMA oder einer anderen/weiteren Unternehmensgruppe aufgebracht werden.

- **Auszeichnung von Abwärmenutzung bei der KEG als ein technologisches Merkmal**

Die derzeit anlaufende Auswahl von etwa 150 Unternehmen in Deutschland, die als besonders fortschrittlich im Bereich der Energieeffizienz und des Klimaschutzes ausgezeichnet werden sollen, könnte verschiedene technologische Bereiche bei den Auszeichnungen explizit ausdrücken. Einer dieser technologischen Bereiche sollte die Abwärmenutzung sein.

7.2 Finanzielle Anreize

Die derzeitigen finanziellen Anreize für Beratung und Investitionen beschränken sich weitestgehend auf KMU nach der Definition der EU durch Förderprogramme der KfW. In beiden Förderbereichen wird die Abwärmenutzung nicht speziell betont. Hinzu kommt, dass die Stromerzeugung aus Abwärme als sehr investitionsintensive Form der Abwärmenutzung Gegenstand einer speziellen Förderung sein könnte.

- **Erweiterung der finanziellen Anreize auf Wärmenetze und Wärmetransportsysteme**

In den derzeitigen Förderprogrammen für Wärmenetze ist Abwärme nicht als Hauptwärmequelle zugelassen. Dies gilt sowohl für das KWKG wie auch für das MAP. Dazu müssten nur die Fördervoraussetzungen beispielsweise des MAP für Abwärme geöffnet werden. Dazu sollten Qualitätskriterien definiert sein, etwa dass die Wärmebereit-

stellung bei der Wärmesenke nicht rentabel in absehbaren Zeiträumen durch Re- oder Zusatz-Investitionen in verbesserte Effizienz reduziert werden könnte.

Eine solche Öffnung des MAP für Abwärme würde langfristig auch einen Beitrag leisten, die Nutzungskonkurrenz um Biomasse (z.B. bei Holzhackschnitzel und Pellets) zu entschärfen, um die energiebedingten CO₂-Emissionen der Industrie zu vermindern.

- **Investitionsförderung für Abwärmenutzungs-Maßnahmen in der NKI**

Ein zusätzlicher Fördertatbestand für Abwärmetechnologien könnte in der NKI verankert werden. Förderfähig wären Komponenten, die einer verstärkten Wärmenutzung in Prozessen dienen, die wegen mangelnder Rentabilität nicht installiert worden wären (z.B. WT-Installationen mit baulichen Veränderungen, Wärmenetze (wenn nicht über MAP abgedeckt), Installationen zur Strom- oder Kälteerzeugung aus Abwärme, etc.) .

Förderprogramme für Abwärmenutzungsmaßnahmen werden vereinzelt in den Bundesländern durchgeführt und auch in anderen Ländern aufgelegt. In den USA gibt es beispielsweise ein "Waste energy recovery incentive grant program", das Besitzer und Betreiber von Abwärmenutzungs-Projekten finanziell fördern soll. Im US-Bundesstaat Kansas werden Steueranreize für Wärmerückgewinnungsanlagen festgeschrieben. In Indien kann gemäß Income Tax Act eine prozentuale Absenkung der Einkommensteuer vorgenommen werden, wenn Technologien der Abwärmenutzung und/oder Wärmerückgewinnung installiert werden.

- **Neuer EEG-Tatbestand**

Im EEG könnte ein neuer Tatbestand „Strom aus Abwärme“ verankert werden. Zwar entspricht Abwärme als Energieträger nicht der Definition von Erneuerbaren Energien, jedoch hat auch heute schon das EEG mit Grubengas einen weiteren nicht-erneuerbaren Energieträger im Portfolio. Damit wäre eine verlässliche, umlagefinanzierte Grundlage für den Ausbau dieses Segmentes geschaffen.

Nach Einschätzung der Experten des Workshops sollte eine mögliche Einspeisevergütung für Wärmeverstromung im Bereich von ca. 8 bis 15 ct/kWh liegen; gestaffelt nach kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Prozessen, der Anlagengröße, der Wärmequelle bzw. dem Temperaturniveau. Weiterhin muss sichergestellt sein, dass auf der Abwärmeseite keine Zufeuerung stattfindet und nicht auf die Optimierung des Hauptprozesses verzichtet wird. Wichtig ist daher eine saubere Bilanzierung. Sollte ein solcher Tatbestand entwickelt werden, müsste ein einfach abzuwickelndes Verfahren entwickelt werden. Denkbar wäre beispielsweise, eine Bestätigung eines zugelassenen Sachverständigen als Vergütungsvoraussetzung zu fordern, die dem Netzbetreiber vorzulegen ist.

- **Steuerrechtliche Maßnahmen**

Gerade energieintensive Unternehmen unterliegen derzeit Sonderregelungen bei der Besteuerung der Heizstoffe und Strom und können im Rahmen des Spitzensteuerausgleichs Erstattungen beantragen, wenn die Belastung durch die Ökosteuer die Entlastung bei den Rentenversicherungsbeiträgen überschreitet. Die (derzeit im Rahmen der Finanzkrise diskutierte) Rücknahme dieser Ausnahmen würde einen deutlichen Anreiz für die Weiterentwicklung von Effizienzmaßnahmen bedeuten. Eine Reform der – durch

die Inflation ständig entwerteten und im europäischen Vergleich relativ günstigen – Heizölsteuer wäre ein weiterer Beitrag, der Abwärmenutzungsmaßnahmen ökonomisch attraktiver machen würde.

7.3 Ordnungsrecht und technische Standards

- **Prüfung einer Abwärmenutzungsverordnung in ausgewählten Anwendungsfällen und für Industriegebiete, kombiniert mit Ausfall-Versicherungslösungen**

Ein Abwärmenutzungsgebot, das auf einer stufenweisen Verpflichtung aufbaut, hat den Vorteil, dass es durch die Erstellung eines Wärmenutzungskonzeptes ein Informationsdefizit beseitigt. Der Grundgedanke der Wärmenutzungsverordnung ist die Verpflichtung, eine **Selbstauskunft (Wärmenutzungskonzept)** zu erstellen, die einen in der Verordnung definierten Katalog an Maßnahmen untersucht und damit das Informationsdefizit als einem zentralem Hemmnis der Abwärmenutzung reduziert. Hinzu kommt die **Verpflichtung**, bei Überschreitung bestimmter Wärmemengen bei gegebenen Temperaturniveaus bestimmte Maßnahmen der Wärmenutzung zu ergreifen. Die Pflicht zur Wärmenutzung bzw. Weitergabe an Dritte wird definiert in Abhängigkeit verschiedener technischer Parameter (anfallende Wärmemenge; Temperaturniveau; Volllaststunden; Entfernung von Wärmesenken). Je nach wirtschaftlicher Zumutbarkeit wird als Konsequenz des Wärmenutzungskonzeptes eine Einsparmaßnahme erforderlich. Viele der Maßnahmen sind bei dem heutigen und zu erwartenden Energiepreisniveau wirtschaftlich. Die Frage der nachträglichen Anordnung bei bestehenden Anlagen ist zu klären.

Exkurs: Die Wärmenutzungsverordnung 1991

Ein Entwurf der Wärmenutzungsverordnung (Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Wärmenutzungs-Verordnung – BImSchV)) wurde 1991 erstellt. Damit ist die Wärmenutzungsverordnung ein kombiniertes Regelwerk, das unmittelbaren Immissionsschutz nach § 5 Absatz 1 Nr. 1 und 2 mit mittelbarem Schutz nach Nr. 4 (effiziente und sparsame Verwendung von Energie) verbindet. Betroffen von der Verordnung wäre gemäß diesem Entwurf die Industrie mit genehmigungsbedürftigen Anlagen gewesen (Anlagen mit typischerweise hohem Energieverbrauch gemäß Anlage 1 des Verordnungsentwurfs).

Betreiber einer wärmenutzungspflichtigen Anlage müssen demnach zunächst unnötigen Energieverbrauch vermeiden, die Abwärme anlagenintern nutzen (Wärmerückgewinnung), betriebsintern nutzen oder sonst an Dritte weiterzugeben, insofern diese Maßnahmen technisch möglich und zumutbar sind (§ 3 Absatz 1 Satz 1). Als zumutbar definiert der Verordnungsentwurf Maßnahmen, „wenn die Amortisationsdauer der Maßnahmen kleiner ist als die Nutzungsdauer der wärmenutzungspflichtigen Anlage, und keine anderen, nachweisbar wesentlichen Gründe entgegenstehen.“ (§ 5)

Die Industrie konnte damals durch eine Selbstverpflichtung zur CO₂-Minderung die Wärmenutzungsverordnung verhindern. Kritikpunkte waren ordnungsrechtliche Vorgaben zu Pflichten für Maßnahmen und Befürchtungen vor kostenintensiven und bürokratischen Wärmenutzungskonzepten.

In der aktuellen Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge heißt es: „Solange die Verpflichtung „erfolgreich umgesetzt und (...) gemeinsam weiterentwickelt wird, wird die Bundesregierung keine Initiative ergreifen, um die Klimaschutzpolitischen Ziele auf ordnungsrechtlichem Wege zu erreichen“. Und weiter: „Auf die Einführung eines verbindlichen Energieaudits wird verzichtet.“

Betreiber wärmenutzungspflichtiger Anlagen müssen...

Nach BImSchV genehmigungspflichtige Anlagen, spezifiziert in Anlage

...ein **Wärmenutzungskonzept** erstellen
> 2000 MWh/a
auch bei Altanlagen

....unnötigen Energieverbrauch **vermeiden**

....Abwärme in anderen Anlagen nutzen (**betriebsintern**)
Stromerzeugung, falls > 1000 MWh/a, > 1000 h/a, >300°C

....Abwärme **an Dritte abgeben**
wenn > 5000 MWh/a, >50 (flüssig)/100 (Dampf)/150°C (gasf.)
- Mitteilungspflicht an Dritte (mind. 10 MWh/m*a Abnahme,
< 5 km Entf.)
- Erklärt sich ein Dritter bereit, müssen technische
Möglichkeiten geprüft werden

Wenn zumutbar
(Amortisationszeit < Lebensdauer der Anlage)

Die Workshopteilnehmer diskutierten dieses Thema kontrovers. Nach Meinung der meisten Workshop-Teilnehmer sei es durchaus sinnvoll, Elemente der Abwärmenutzungsverordnung zu übernehmen: beispielsweise könnte man Abwärmenutzung als Pflicht vorschreiben bei Betrieben, sobald ein bestimmter Abwärme-Wert überschritten wird.

Kritisch wurden auf dem Workshop folgende Fragen diskutiert:

- Überprüfbarkeit und bürokratischer Aufwand, um die jeweiligen Wärmenutzungskonzepte und die Zumutbarkeit von identifizierten Investitionen zu prüfen. Allerdings tritt diese Problematik auch bei anderen ordnungsrechtlichen Maßnahmen auf, wie der EnEV, und könnte durch eine Kombination von Stichprobenkontrolle und Bußgeldgestaltung gemildert werden.
- Die Zusatzkosten für die Betriebe durch die Erstellung eines Abwärmenutzungsplans und eventuelle folgende Investitionen. Hier wurde allerdings entgegengehalten, dass nur wirtschaftlich zumutbare Maßnahmen durchgeführt werden müssen und sich dadurch die Zusatzkosten innerhalb der Nutzungsdauer amortisieren. Auch der Nutzungsplan als solcher dürfte in den meisten Betrieben wirtschaftlich erschließbare Einsparpotenziale aufdecken.
- Die Aufschiebwirkung einer solchen Verordnung, wenn sie sich nur auf neue Anlagen bezieht und dadurch Ersatzinvestitionen verschoben werden. Würde sich eine solche Verordnung allerdings auf Betriebe beziehen, so wäre diese Aufschiebwirkung nicht gegeben.

- Einzelne Workshopteilnehmer schlugen vor, anstelle einer Abwärmenutzungspflicht bestimmte industrielle Prozessschritte, die in der betrieblichen Praxis vorkommen, aber weder ökologisch noch ökonomisch Sinn machen, zu verbieten, beispielsweise die Erzeugung von Niedertemperaturwärme aus Dampf.
- Der Ansatz der Verordnung bei (genehmigungspflichtigen) Anlagen versus Betrieben. Es ist durchaus denkbar, dass eine Abwärmenutzungspflicht nicht, wie im ursprünglichen Entwurf, bei genehmigungspflichtigen Anlagen und deren Neubau/Austausch ansetzt, sondern bei Betrieben. Beispielsweise könnten, wie im Entwurf zum Energieeffizienzgesetz von 2009, im Zuge einer Verpflichtung von Unternehmen bestimmter Größe/bestimmter Energiekosten diese auch zur Erstellung eines Wärmenutzungskonzeptes als Teil des Energiemanagements verpflichtet werden, wenn die Unternehmen bestimmte Abwärmemengen an einzelnen Standorten abgeben. Dies hätte den Vorteil, dass auch Wechselwirkungen der Anlagen untereinander berücksichtigt werden können. Zudem wäre dies in Einklang mit dem Ansatz der DIN 16001.

Durch die deutlich höheren Energiepreise im Vergleich zu 1990 hat sich die Wirtschaftlichkeit von Abwärmenutzungsmaßnahmen erheblich verbessert. Es ist daher davon auszugehen, dass das Eigeninteresse der Industrie heute höher ist als damals. Insgesamt empfehlen wir daher die Einführung einer Pflicht zur Erstellung eines Abwärmenutzungskonzeptes und einer Informations- und Nutzungspflicht. Eine solche Nutzungspflicht sollte im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung eines Erneuerbaren-Energien-Wärmegesetzes diskutiert werden, da eine Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energieträger auch für den Prozesswärmebereich diskutiert wird und mit dem Thema Abwärmenutzung zu verbinden ist.

- **Festlegung von EnEV-Primärenergiefaktoren für Abwärme und verpflichtende Nutzung von Abwärme in neuen Fabrikationsgebäuden**

Durch die Festlegung von Primärenergiefaktoren für die Berechnung gemäß EnEV können Anreize geschaffen werden, bei Neubauten von Fabrikationsgebäuden Abwärme und Maschinen und Anlagen für die Beheizung, Kühlung oder die Vorerwärmung von Kesselwasser einzusetzen; sie machen den Abwärmeabsatz auch für Wärmeanbieter interessant, da sie mit diesem niedrigen PE-Faktor werben können. Allerdings muss bei der Bestimmung dieser Faktoren sichergestellt werden, dass die Abwärme nicht durch mangelnde Effizienzmaßnahmen oder Zufeuerung anfällt. Derzeit werden die PE-Faktoren für die EnEV überarbeitet. Hier könnte Abwärme bei Erfüllung bestimmter Qualitätskriterien mit 0 gewichtet werden.

- **Prüfung der rechtlichen Möglichkeiten im Bereich Baurecht; Bebauungspläne, Wärmenutzungspläne in Industriegebieten**

Bei der Ausweisung neuer Industriegebiete könnte im Rahmen der Bebauungsplanung die Prüfung einer Abwärmenutzung bzw. die Abgabe der Wärme an Dritte verpflichtend gemacht werden.

- **Prüfung der rechtlichen Möglichkeiten im Bereich Wasserrecht (beispielsweise Wasserentnahmeentgelt, ...)**

Im Rahmen des Wasserrechtes können die Bundesländer die Höhe des Wasserentnahme-Entgeltes festlegen. Hier besteht die Möglichkeit, durch ein niedrigeres WEE Anreize zur Temperatursenkung oder Wärmeeinleitung – und damit Abwärmenutzung – zu schaffen.

7.4 Potenzial, Forschung und Entwicklung

- **Durchführung einer bundesweiten Potenzialstudie in Industrie und Gewerbe**

Eine bundesweite Potenzialstudie auf Basis bottom-up und top-down erhobener Daten sollte eine fundierte Grundlage für weitere Maßnahmenentwicklungen schaffen. Dabei sollten u. a. auch industrielle Anwendungen identifiziert werden, in denen verschiedene Technologieoptionen, beispielsweise ORC-Anlagen, standardmäßig integriert werden können. Die derzeit vom BMU gestartete Studie zum Wärme- und Kältebedarf in der Wirtschaft und den privaten Haushalten deckt einen erheblichen Teil dieser Anregung ab; sie wird Ende 2011 abgeschlossen sein.

- **Förderung innovativer Technologien und Pilotsysteme der Abwärmenutzung**

Auf der Hardware-Seite sollte die Entwicklung innovativer Technologien zur Abwärmenutzung vorangetrieben werden, beispielsweise

- Demonstrationsanlagen von innovativen Abwärmenutzungstechnologien, die eine gewisse Übertragbarkeit aufweisen,
- Thermoelektrik mit der Suche geeigneter Materialkombinationen für verschiedene Temperaturniveaus der Abwärme,
- Technologien der Behandlung von Wärmetauscherflächen oder neuer Konstruktion von Wärmetauschern zur Vermeidung von Fouling und Zusetzen der Wärmetauscher in gasförmigen und flüssigen Medien, eventuell auch durch geeignete Vorreinigung im heißen Zustand),
- Entwicklung von Wärmerückgewinnung aus heißen Produkten (z.B. aus Gießereien, Härtereien, Keramiköfen, Glasöfen, Pulverlackierungsöfen, etc.),
- Entwicklung von Logistik-Systemen für Wärmespeicher und -transport, verbunden mit einer gezielten Suche nach ersten Premium-Anwendungsmärkten zur Kostenreduktion über Lern- und Mengeneffekte,
- Analyse von Kostenreduktionsmöglichkeiten von ORC-Anlagen durch weitere Optimierung und Standardisierung (z.B. für bestimmte Branchen oder Temperaturniveaus).

8 Literatur

AG Energiebilanzen (2007): Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 2007. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, www.ag-energiebilanzen.de, Zugriff 30.3.2010.

BLU (2009): Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen. Ludwigshafen, EU-Consult GmbH.

BMWi (2010) Energiedaten. Nationale und Internationale Entwicklung. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. Download www.bmwi.de. Zugriff 16.3.2010.

Brandstätter, R. (2008): Industrielle Abwärmenutzung. Beispiele und Technologien. Linz, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung.

DOE (2004) US Department of Energy, Loss and Opportunities Analysis, US Manufacturing and Mining.

Enova, Potenzialstudie Spillvarme, 2009.

KfW (2008): KfW-Befragung zu den Hemmnissen und Erfolgsfaktoren von Energieeffizienz in Unternehmen. Kreditanstalt für Wiederaufbau, Frankfurt a. M.

Lambauer, J., U. Fahl, M. Ohl, A. Voß, M. Blesl (2008): Industrielle Großwärmepumpen - Potenziale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele. Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung.

Rohloff, K. (2010): Stromerzeugung aus Abwärme. Randbedingungen, Technologien und Schwierigkeiten. Vortrag Expertenworkshop Abwärme, 5.5.2010, Institut für Energietechnik, TU Hamburg-Harburg.

Steinmann, W.-D. (2007): EVA. Thermische Energiespeicher zur Verstromung diskontinuierlicher Abwärme. Teil 1. Projekt im Rahmen des Förderprogramms BWPlus. Stuttgart, Esslingen, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Stadtwerke Esslingen.

Wagner, H.-J., Unger, H., et al. (2002): Validierung und kommunale Disaggregation des Expertensystems HERAKLES, Abschlussbericht, Ruhr-Universität Bochum, 2002

9 Anhang: Erfahrungen aus der Praxis: drei Beispiele

9.1 Körner Rotationsdruck und Stadtwerke Sindelfingen GmbH

Ein Projekt im Bereich Abwärmenutzung wurde 2008 in Sindelfingen in Betrieb genommen. Durch eine Kooperation der Firma Körner Rotationsdruck und den Stadtwerken Sindelfingen wird zukünftig Abwärme, die beim Betrieb der Druckmaschinen entsteht, in das Fernwärmenetz des nahegelegenen Wohngebietes „Grünäcker“ eingespeist.

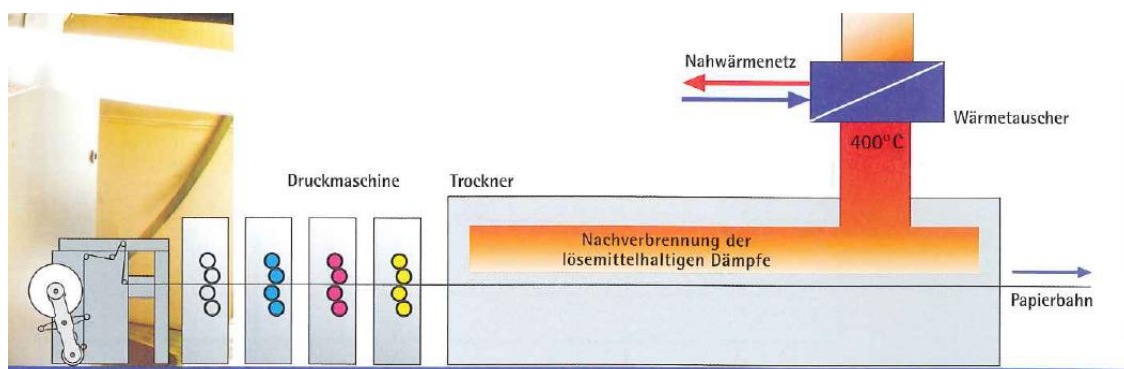


Abbildung 9-1: Abwärmenutzung bei der Fa. Körner Rotationsdruck

Die Firma Körner Rotationsdruck verwendet vier moderne Offset-Rotationsdruckmaschinen. Hierbei ist die Trocknung von Papierbahnen im Anschluss an den Druckprozess notwendig. Diese erfolgt mittels erdgasbefuerter Trockner, die eine integrierte Nachverbrennung der kohlewasserstoffhaltigen Abluft beinhalten. Das daraus entstehende Reingas, das eine Temperatur von 400 °C aufweist, wurde bislang ungenutzt an die Umgebung abgegeben.



Abbildung 9-2: Luftbild Wohngebiet Grünäcker – Fa. Körner Rotationsdruck

Nun wird die Abwärme mittels Wärmetauschern auf dem Dach der Produktionshalle zur Aufheizung von Wasser (auf eine Temperatur von 105 °C) verwendet. Über eine Sammelleitung wird das aufgeheizte Wasser an eine zentrale Übergabestation transportiert und dort mittels zwei weiteren Wärmetauschern in das Fernwärmenetz der Stadtwerke eingeleitet. Die insgesamt auskoppelbare Wärmeleistung beträgt insgesamt 2.500 kW.

Betrieben wird das Netz durch die Stadtwerke Sindelfingen, die auch die Investitionen von rund 1,5 Millionen € für den Wärmetauscher und das Wärmenetz getätigt haben. Dafür wird der Firma Körner ein Wärmepreis gezahlt.

Die Wärme, die in das Netz eingespeist wird, wurde bislang in Kesselanlagen und Blockheizkraftwerken erzeugt. Die Abwärmenutzung in Höhe von 6.000 Megawattstunden jährlich reduziert die CO₂-Emissionen nach Berechnungen der Stadtwerke Sindelfingen von 980 Tonnen jährlich auf 154 Tonnen – das entspricht einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 84 %. Derzeit wird erwogen, einen zusätzlichen Wärmespeicher zu installieren, um die zeitliche Synchronität von Wärmeeinfall und Bedarf zu verbessern. Im Sommer wird die Wärme nicht genutzt, sondern – wie vor Installation der Wärmetauscher – über einen Bypass an die Atmosphäre abgegeben.

Tabelle 9-1: Technische Daten Abwärmenutzung Sindelfingen

Geplante jährliche Abwärmenutzung	6.000 MWh (entspr. 600.000 l Heizöl)
Versorgungspotenzial Haushalte	ca. 400 EFH (Deckungsbedarf 70 % der HH)
Projektkosten	1,5 Mio. €
Auskoppelbare Wärmeleistung	2.500 kW
Benötigte Fernwärmeleitung	1.100 m
Anzahl Offset-Druckmaschinen	4
Baubeginn	Januar 2008
Inbetriebnahme	November 2008
Eingesparte Menge CO ₂	800 t/a (entspr. Reduzierung um 84 %)

Zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme konnte aus Vertraulichkeitsgründen keine Aussage gemacht werden. In einer überschlägigen Betrachtung (Annahme Lebensdauer 20 Jahre, 6000 MWh Nutzung pro Jahr) führen die getätigten Investitionskosten zu rund 12,5 €/MWh. Hinzu kommt ein Wärmepreis, der der Druckerei zu bezahlen ist. Damit lässt sich insgesamt ein wirtschaftliches Wärmeprodukt bilden.

Förderliche Faktoren. Verschiedene Faktoren waren für die erfolgreiche Realisierung des Projektes verantwortlich:

- In der Heizzentrale, die mit der Abwärmeleitung verbunden wurde, waren bereits ein BHKW und ein Heizkessel installiert. Damit war die **Ausfallsicherheit** bei kurzfristigen betrieblichen Einschränkungen, aber auch hinsichtlich einer langfristigen Versorgung mit Abwärme gegeben.

- Seitens des Unternehmens waren engagierte Mitarbeiter für eine Abwärmenutzung initiativ; die Stadtwerke als Contractoren mussten **keinen aufwändigen Suchprozess** für Abwärmequellen starten.
- **Störungen** in der Wärmenutzung **wirken nicht auf den Betrieb** der Druckerei **zurück**, da über eine Bypass-Klappe die Wärmeströme wie zuvor an die Atmosphäre gegeben werden können.
- Die Stadtwerke Sindelfingen sind als **regionaler Versorger** im Klimaschutz aktiv und an einem Ausbau von Wärmenetzen interessiert und kennen die Kunden und etwaigen Nutzungspotenziale.

Stadtwerke als örtliche Gas- und Stromlieferanten kennen vielfach bereits die örtlichen Potenziale; mit der Liberalisierung auch des Gasmarktes verliert dieses Wissen allerdings an Vollständigkeit.

Abwärmeströme wie diese fallen in vielen Rotationsdruckereien an, die eine Nachverbrennung der Lösemittel benötigen. Nach Branchenangaben gibt es rund 200 solcher Druckereien in Deutschland.

9.2 Zementwerk Lengfurt

Im Zementwerk in Lengfurt der HeidelbergCement AG wurde eine Niedertemperaturstromerzeugungsanlage installiert, die den Abwärmestrom des Klinkerkühlers der Ofenanlage verstromt. Im Jahr 2001 startete das Pilotprojekt, bei dem eine ORC-Anlage erstmals in einem Zementwerk zum Einsatz kam.

Beim Klinkerbrennen gelangen die abgebauten Rohstoffe (Kalkstein, Ton/Eisenerz) nach dem Zerkleinern in relativ trockenem Zustand in die sogenannte Mahltrocknung. Dort werden sie bei Temperaturen von etwa 850 bis 900 °C vermahlen und vollständig getrocknet. Anschließend wird das Rohmehl im Drehofen bei Flammentemperaturen von über 2.000 °C auf die notwendige Sintertemperatur von ca. 1.450 °C aufgeheizt. Der fertig gebrannte heiße Zementklinker wird im nachgeschalteten Klinkerkühler mit Luft auf 100 °C bis 150 °C heruntergekühlt.

Das Zementwerk wurde im Jahre 1970 errichtet, von 1991 bis 1993 wurde es technisch überholt. Die Nennleistung beträgt 3.150 t Klinker/Tag, die Ofenlaufzeit 7.015 h/Jahr. Im Jahr 2000 wurden 834.900 t Klinker produziert, wofür 2,83 PJ Energie (Brennstoffe 94,1 %, Strom 5,9 %) verbraucht wurden. Dies entspricht einem spezifischen Verbrauch von 3,38 GJ/t Klinker. Brennstoffe werden bei der Zementherstellung im Wesentlichen für das Brennen des Zementklinkers eingesetzt. Elektrische Energie wird vor allem für die Rohmaterialaufbereitung und für die Zementmahlung benötigt.

Die wesentlichen Abwärmeströme beim Klinkerbrennprozess im Zementwerk Lengfurt sind die Ofenabgase sowie die aufgewärmte Kühlluft aus dem Klinkerkühler. Auch vor dem Einbau der ORC-Anlagen wurde die Abwärme der Ofenabgase und die des Klinkerkühlers genutzt:

Ofenabgase: Die Abgaswärme des Ofens (ca. 350 °C) wird zur Vorwärmung des Rohmaterials in den Mahltrocknungsanlagen genutzt. Die Mahltrocknungsanlagen funktionieren im Verbundbetrieb, d.h. sie laufen nur dann, wenn Abgaswärme des Ofens zur

Verfügung steht. Der Anteil des Verbundbetriebes beträgt im Jahresdurchschnitt ca. 21,1 Betriebsstunden/Tag (rund 88 %). Die thermische Leistung der Abgaswärme beträgt ca. 8 bis 9 MW. Daraus resultiert eine Abwärmemenge von ca. 0,18 PJ/Jahr bis 0,2 PJ/Jahr (Ofenlaufzeit: 7.015 h/Jahr).

Klinkerkühler: Ca. 70 % der aufgewärmten Klinkerkühlerluft kann dem Ofen (als vorgewärmte Verbrennungsgase) wieder zugeführt und damit energetisch zurückgewonnen werden. Der Wärmeinhalt beträgt ca. 60 MW. Bei einer Ofenlaufzeit von 7.015 h/Jahr resultiert eine Abwärmeenergie in Höhe von ca. 1,5 PJ/Jahr.

Bis zum Einbau der ORC-Anlage traten 30 % der aufgewärmten Klinkerkühlerluft ungenutzt in die Atmosphäre. Die Abwärme aus dem Klinkerkühler kann zur Rohmaterialtrocknung nicht wiederverwendet werden, da die Feuchtigkeit der Rohstoffe zu niedrig ist, als dass eine weitere Wärmerückführung neben der Ofenabgaswärme erforderlich wäre. Das Temperaturniveau der Klinkerkühlluft beträgt im Durchschnitt etwa 275 °C, wobei die Temperatur z. T. stark schwankend sind. Der Wärmeinhalt liegt bei 13 bis 17 MW. Bei einer Ofenlaufzeit von 7.015 h/Jahr resultiert daraus eine Abwärmeenergie von ca. 0,35 PJ/Jahr.

Motivation zum Bau der ORC-Anlage

Da die ungenutzte Abwärme aus der Klinkerkühleranlage mangels Rohmaterialfeuchte nicht wie üblich zur Trocknung zurückgeführt werden kann, wurde im Zementwerk Lengfurt eine ORC-Anlage installiert, die sie in elektrische Energie umwandelt.

Als Abwärmequelle dient die ca. 275 °C warme Klinkerkühlerabluft, die vor der weiteren Nutzung durch einen Heißelektrofilter entstaubt wird. Die ORC-Anlage ist ausgelegt auf eine Klinkerproduktion von ca. 3.000 t /Tag. Die elektrische Leistung liegt bei ca. 1,1 MW. Bei einer Verfügbarkeit der ORC-Anlage im Jahresschnitt von 97,1 % und einer Ofenlaufzeit von 7.015 h/Jahr beträgt die Erzeugung elektrischer Energie ca. 7.500 MWh/Jahr.

Betrachtet man lediglich den Klinkerbrennbetrieb, so kann der bis dahin fremd bezogene Strombedarf durch die ORC-Anlage um 26 % reduziert werden. Bezieht man die stromintensive Zementmahlung mit in die Betrachtung ein, so ergibt sich eine Reduktion des Strombedarfs um 10 %.

Die vorher ungenutzten 30 % der aufgewärmten Kühlerabluft werden in ca. 1,1 MW elektrische Energie umgewandelt. Der Wirkungsgrad – bei Betrachtung dieses Teilbereichs Kühlerabluft und ORC-Anlage – beträgt ca. 7,8 %.

Untersucht man die Klinkerkühlerabluft isoliert, verringert sich der Wärmeverlust an die Atmosphäre um ca. 28 %. Aus ca. 14 MW werden mittels ORC-Anlage durchschnittlich 8,2 MW ausgekoppelt und ca. 1,1 MW elektrische Energie gewonnen. Die Ofenabgase, die zur Trocknung der Rohstoffe genutzt werden (s.o.), könnten ebenfalls mittels ORC-Technologie verstromt werden. Die Leistung der bisher installierten ORC-Anlage könnte dadurch verdoppelt werden. Es müsste allerdings eine Wärmetauscherbauart verwendet werden, die eine hohe Rohgasstaubbelastung sicher verkraftet, da die Heißeentstaubung der Ofenabgase auf hohem Temperaturniveau nicht wirtschaftlich durchführbar ist.

9.3 Abwärmenutzung bei einem Kupolofen: Kooperation zwischen Georg Fischer Automobilguss GmbH und Maggi-Werk Singen der Nestle Deutschland AG

Die Georg Fischer Automobilguss GmbH mit Sitz in Singen (Baden-Württemberg) entwickelt und fertigt gegossene Komponenten und Systeme aus Leichtmetall und Eisen für die weltweite Fahrzeugindustrie. Seit Ende 2008 wird die Abwärme, die beim Schmelzprozess entsteht, ganzjährig aus dem Werk ausgekoppelt und anschließend im benachbarten Maggi-Werk zur Dampferzeugung für Trocknungsprozesse eingesetzt.



Quelle: http://www.georgefischer.com/public/digitalemedienmappe/event_singen

Abbildung 9-3: Nachbarschaftsprojekt zwischen Georg Fischer Automobilguss GmbH und Maggi-Werk in Singen

Ausgangszustand

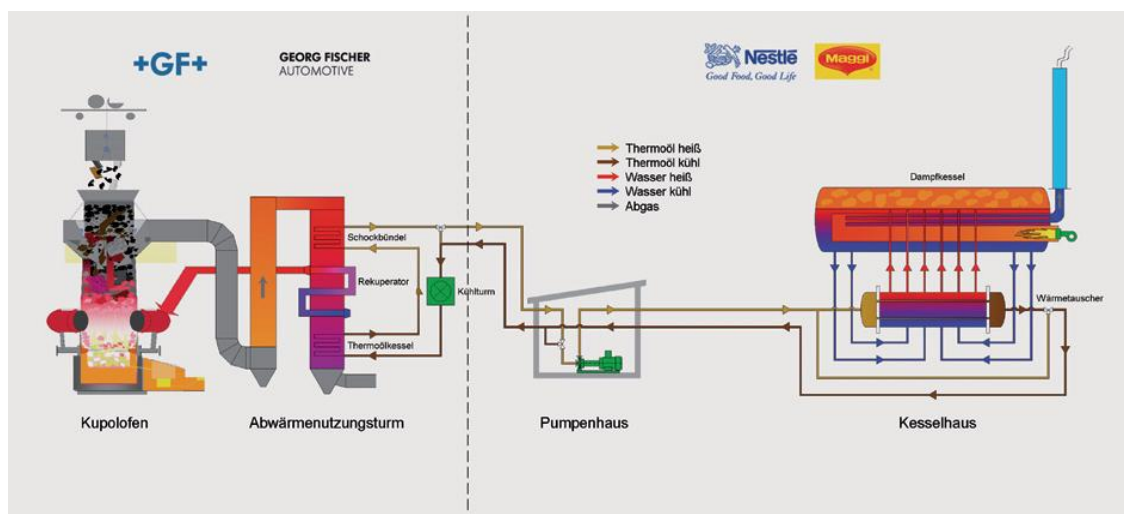
Das Schmelzen von Eisenschrott erfolgt in einem mit Koks befeuerten Kupolofen. Die Abgastemperatur steigt durch die anschließende Verbrennung der im Abgas vorhandener Schadstoffe auf bis zu 1200 °C. Für die nachgeschaltete Staubfiltrierung wird das Abgas auf die Temperatur von etwa 140 °C gekühlt.

Bisher erfolgte die Abwärmenutzung durch die Erhitzung der Frischluft, die anschließend als Heißwind in den Kupolofen eingeblasen wurde. Zusätzlich wurde in der Heizperiode ein Teil der verbleibenden Abwärme für Raumwärme und Brauchwasser genutzt. Nach Abschätzung des Unternehmens betrug das theoretisch nutzbare Potenzial der Abwärme etwa 25 MW. Davon konnte Georg Fischer maximal etwa 8 bis 10 MW wiedergewinnen. Das restliche gekühlte Abgas wurde nach dem Rekuperator gefiltert und an die Umwelt abgegeben.

Abwärmenutzungstechnologie

2008 erfolgte eine Erneuerung des Rekuperators, wobei das Thermoöl als Transportmedium im Rekuperator eingesetzt wird. Wie bisher wird im Rekuperator der Heißwind für den Kupolofen und anschließend das im Werk benötigte warme Brauch- und Heizwasser erzeugt. Durch den höheren Wirkungsgrad nach Heißwinderzeugung beträgt die Temperatur des Thermoöls immer noch bis zu 280 °C.

Dies wird seit Ende 2008 durch ein etwa 400 m langes Rohrleitungssystem vom Rekuperator bei Georg Fischer in das etwa 200 m entfernte Kesselhaus von Maggi transportiert. Dort wird bis zu 300 m³ Thermoöl pro Stunde durch einen Wärmetauscher geführt, anschließend wird die Wärme an das Speisewasser eines Dampfkessels abgegeben.



Quelle: http://www.georgfischer.com/public/digitalemedienmappe/event_singen

Abbildung 9-4: Schematische Darstellung der Abwärmenutzung

Der dort erzeugte Dampf wird zur Sterilisation von Nassfertiggerichten, für Trocknungsprozesse bei der Herstellung von Trockensuppen und Saucen sowie für thermische Prozesse bei der Würzproduktion genutzt. Damit wird beim Lebensmittelhersteller jährlich etwa zwei Drittel des Erdgases ersetzt (GF Automotive 2009).

Tabelle 9-2: Energieverbrauchseckdaten

Geplante jährliche Abwärmenutzung	50.000 MWh
Investitionskosten Georg Fischer Automobilguss	3,5 Mio. €
Zuschuss (für Georg Fischer Automobilguss)	20 %
Investitionskosten Maggi-Werk Singen	1,5 Mio. €
Ausgekoppelte Wärmeleistung	20 MW
Benötigte Wärmeleitungssystem	400 m
Inbetriebnahme	Ende 2008
Eingesparte CO ₂ Emissionen	11.000 t CO ₂ /a

Quelle: GFAutomotive 2009

Um die Unsicherheit bezüglich der künftigen Wärmelieferungen bzw. -abnahme auszuschließen, wurde die Dampferzeugung bewusst bei Maggi angesiedelt. So erreichte man eine optimale Integration der Technik in das Kesselhaus sowie Anlagensteuerung. Zusätzlich kann das Unternehmen sofort und unkompliziert den Kessel mit Erdgas beheizen, falls von Georg Fischer keine Abwärme geliefert werden kann. Ähnlich kann Georg Fischer Werk kontrolliert die Abwärme an die Umgebung abgeben, wenn Maggi als Wärmeabnehmer ausfällt.

Die wichtigsten fördernden Faktoren für die beiden Unternehmen waren (GF Automotive 2010):

- Unabhängigkeit von ansteigenden Energiepreisen durch Nutzung vorhandener Ressourcen trägt zu Versorgungssicherheit bei. Durch die implementierte Lösung entstehen zwei autarke Systeme
- Senkung des Energiebezug durch Eigenproduktion beim Werk Maggi führt zu keinem zusätzlichen Verbrauch von Rohstoffen
- berechenbare Rentabilität und erreichbarer Imagegewinn.

Bei der Implementierung der Lösung mussten einige markante Meilensteine gelöst werden:

- eine vertragliche Vereinbarung mit Nestle Deutschland,
- eine Änderungsgenehmigung gemäß Bundes-Immissionschutzgesetz (BImSchG) für den Anlagenumbau,
- die Genehmigung zum Bau und Betrieb der werksübergreifenden Thermoölleitung, was gemäß VAWS³ in Baden-Württemberg nicht erlaubt ist.

³ VAWS: Verordnung des Umweltministeriums über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und über Fachbetriebe, Baden-Württemberg

10 Anhang: Workshop 5. Mai 2010

Zeit	Thema	Referenten- vorschlag
10:00	Begrüßung	BMU
10:05	Einführung, Hintergrund der NKI-Studie, Zielsetzung	M. Pehnt, Ifeu
Technologien der Abwärmenutzung – Impuls-Referate von 10 Minuten Kosten und Wirtschaftlichkeit, Hemmnisse bzw. förderliche Faktoren in der praktischen Umsetzung, Lösungsansätze und Wünsche an politische Rahmenbedingungen und Aktivitäten der Wirtschaft		
Moderation: E. Jochem, IREES		
10:10	Wärmeaustauscher	P. Sturm, Langbein & Engelbracht GmbH
10:20	Wärmenetze und Abwärme aus Industrieprozessen	V. Schäfer, Eta Energieberatung
10:30	Stromerzeugung aus Abwärme	K. Rohloff, Technische Universität Hamburg-Harburg
10:40	Wärmepumpen in industriellen Anwendungen	A. Arnold, Alpha-Innotec GmbH
10:50	Kälte aus Wärme (Absorptionstechnik)	U. Jakob, Green Chiller
11:00	Diskussion und Fragen für die Arbeitsgruppen	
11:15	Kaffeepause	
Praxis, Potenziale und Hemmnisse – Impuls-Referate von 10 Minuten		
Moderation: M. Pehnt, IFEU		
11:45	Abwärmenutzungs-Börse Sachsen: Erfahrungen aus der Praxis	T. Sander, TU Dresden
11:55	Wärmerückgewinnung am Beispiel einer Verzinkerei und einer Kaffeerösterei	C. Ernst, Ökotec GmbH

12:05	Potenziale und Hemmnisse der Abwärmenutzung – eine Zusammenfassung der bisherigen Erkenntnisse	M. Arens, FhG ISI
12:30	Diskussion und Fragen für die Arbeitsgruppen	
12:45	Mittagspause	
Workshopphase		
13:30	Maßnahmenbündel für die Nutzung industrieller Abwärme <i>Vorschläge und Ideen zur Diskussion in den Arbeitsgruppen</i>	M. Pehnt, IFEU
13:45	Drei Arbeitsgruppen (Kommentare zum Diskussionspapier): <ul style="list-style-type: none"> - Betriebsinterne Wärmenutzung - Wärmeabgabe an Dritte - Stromerzeugung und andere Formen der innovativen Abwärmenutzung Moderierte Gruppendiskussion mit den Fragen: <ul style="list-style-type: none"> - sind die angegebenen Entwicklungspotenziale der Technologien und Anwendungsfelder realistisch? - Braucht die Wirtschaft weitere politische Rahmenbedingungen, die diese Potenziale schneller und vollständiger erschließen? Wenn ja, beispielsweise (vgl. Policy Paper) <ul style="list-style-type: none"> - Welche? (RD&D, Information, andere Entscheidungs-routinen, Ausbildung von Energieberatern, Wärmebörsen, Einspeisevergütung, Förderprogramme, Erweiterung MAP/KWKG auf Abwärme, Prozesssteuerungssysteme zur Vermeidung von Abwärme, DIN EN 16.001, Abwärme-/Wasserrecht, Immissionsrecht, etc.) 	Moderatoren für Vorschlag: je ein Moderator von IFEU, ISI, IREES Rapporteur: Je eine Person festzulegen
15:30	Kaffeepause	
Synthese		
15:45 bis	Zusammenführen der Ergebnisse der Arbeitsgrup-	Rapporteure

16.25	pen durch die Moderatoren Synthese Nächste Schritte zum Abschluss des Policy Papers, Zusammenarbeit mit weiteren NKI-Projekten	E. Jochem, IREES M. Pehnt, IFEU
16:30	Schlusswort	BMU

Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Name	Firma
Referenten	
Dr. Uli Jakob	Green Chiller
Volkmar Schäfer	Eta Energieberatung
Thomas Sander	TU Dresden
Kathrin Rohloff	TU Hamburg-Harburg
A. Arnold	Alpha-Innotec GmbH
Patrick Sturm	Langbein & Engelbracht GmbH
C. Ernst	Ökotec GmbH
Projektteam	
Dr. Martin Pehnt	IFEU
Jan Bödeker	IFEU
Marc Bauer	IFEU
Marlene Arens	FhG-ISI
Farikha Idrissova	IREES
Prof. Dr. Eberhard Jochem	IREES/FhG-ISI
Andreas Gerspacher	FhG-ISI
Dr. Bernd Wenzel	
TeilnehmerInnen	
Roger Worm	BMU
Bodo Linscheidt	BMU
Jörn Schwarz	BMU
Andrea Schäfer	BMU
Franziska Eichler	PTJ, Sprecherin der Kommunalrichtlinie
Markus Bockshammer	PTJ, Geschäftsbereich Umwelt (UMW) - Klimaschutzinitiative
Dr. Peter Pichl	UBA
Dr. Jörg Schneider	UBA
Nicole Becker	VDI ZRE
Dr. Jochen Schäfer	Siemens
Thomas Fischer	Climaveneta Deutschland GmbH
André Schreier	Güstrower Wärmepumpen (Conergy Group)
Jörg Mucke	KWT Kälte-Wärmetechnik AG Viessmann Group

Peter Weber	Alpha Innotec GmbH
Marcel Schieskow	HTA
Gerd Höhn	Schirm Wärmetechnik