



Leitfaden zur Abwärmennutzung in Kommunen





Dieses Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz im Rahmen der EU-Strukturförderung für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert.



**Auftraggeber: Bayerisches Staatsministerium für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz**



Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen

Impressum

Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen

ISBN (Druck-Version): 978-3-936385-24-3

ISBN (Online-Version): 978-3-936385-25-0

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: (08 21) 90 71 - 0

Fax: (08 21) 90 71 - 55 56

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

EU-Consult GmbH

Büro Ludwigshafen

Mundenheimer Str. 222

67061 Ludwigshafen

In Kooperation mit

bifa Umweltinstitut

Am Mittleren Moos 46, 86167 Augsburg

Redaktion:

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 22

Grafik und Layout:

aiaorange - büro für gestaltung, Augsburg

Druck:

Druckerei Senser, Augsburg

Stand:

Juli 2008

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemein	4
2. Leitfaden und Handlungsvorschläge	5
2.1 Ermitteln der Standorte von Industriebetrieben im Untersuchungsgebiet	5
2.2 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmepotenzials	5
2.3 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmenutzungspotenzials	9
2.4 Ermittlung/Abschätzung der Abwärmegewinnungs- und Transportaufwendungen	12
2.5 Abschätzung der ökonomischen Randbedingungen	15
2.6 Abschätzung der ökologischen Randbedingungen	17
2.7 Projektentwicklung zur Umsetzung der ermittelten Abwärmenutzungsmöglichkeiten	20
3. Abwärmequellen	21
3.1 Abluftwärmenutzung	24
3.2 Kühlwasser-/Abwasser-Wärmenutzung	28
3.3 Abgas-Wärmenutzung	31
4. Abwärmenutzung	36
4.1 Leitungsgebundener Wärmetransport	37
4.2 LKW/Bahn-gestütztes Wärmetransportsystem	40
5. Anwendungsbeispiel Mitterteich	42
5.1 Ermitteln der Standorte von Industriebetrieben im Untersuchungs- gebiet (gemäß Ziff. 2.1)	42
5.2 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmepotenzials	43
5.3 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmenutzungspotenzials	46
5.4 Ermittlung/Abschätzung der Abwärmegewinnungs- und Wärmetransport- aufwendungen	49
5.5 Abschätzung der ökonomischen Rahmenbedingungen – Beispiel Mitterteich	53
5.6 Abschätzung der ökologischen Rahmenbedingungen – Beispiel Mitterteich	55
6. Muster und Vordrucke	57
7. Literaturhinweise	62
8. Veröffentlichungen und Beispielprojekte	65
8.1 Beispiel 1: Wärmerückgewinnung bei den Thermoöfen einer Bäckerei	65
8.2 Beispiel 2: Wärmerückgewinnung bei der Flaschenspülanlage	67
8.3 Beispiel 3: Wärmerückgewinnung aus Druckluftherzeugungsanlagen	68
9. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	69

Vorwort

Der Schutz des Erdklimas ist eine der größten Herausforderungen für die Menschheit im 21. Jahrhundert. Nach Erkenntnissen des Weltklimarates (IPCC) lassen sich durch rasches und ambitioniertes Handeln die Folgen des Klimawandels auf ein erträgliches Maß begrenzen. Eine vielbeachtete Studie des britischen Wirtschaftswissenschaftlers Sir Nicholas Stern kommt zu dem Ergebnis, dass die Auswirkungen des Klimawandels viel teurer wären als konsequente Gegenmaßnahmen.

In seinem jüngsten Sachstandsbericht spricht der IPCC von dem Erfordernis, bis 2050 die weltweiten CO₂-Emissionen bezogen auf das Jahr 2000 um 50 – 85 % zu senken. Dies bedeutet gerade für die Industrieländer eine Abkehr vom bisherigen Umgang mit Energieressourcen. Um die Chancen künftiger Generationen zu bewahren, ist eine nachhaltige Klimaschutzpolitik notwendig. Ihre Aufgabe ist es, einerseits die Treibhausgasemissionen konsequent zu vermindern und andererseits den unvermeidbaren Folgen der Klimaveränderung wirksam zu begegnen. Die Bayerische Staatsregierung hat daher das Bayerische Klimaschutzprogramm aus dem Jahr 2000 (novelliert im Jahr 2003) im Jahr 2007 zu einem „Klimaprogramm Bayern 2020“ fortgeschrieben. Mit dem „Klimaprogramm Bayern 2020“ sollen die Anstrengungen auf internationaler und nationaler Ebene gezielt ergänzt und verstärkt werden.

Das Klimaprogramm 2020 enthält Maßnahmen in den Bereichen Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude sowie Land- und Forstwirtschaft. Dieses umfangreiche Maßnahmenpaket macht deutlich, dass Klimaschutz eine Querschnittsaufgabe für die gesamte Gesellschaft ist und in besonderem Maße vernetztes Handeln verlangt. Wirtschaft, Staat und Kommunen sind ebenso gefordert wie jeder einzelne Bürger. Besonders wichtig sind breit angelegte Information und Kommunikation, die Bewusstsein für das Thema Klimaschutz schaffen, Handlungsmöglichkeiten aufzeigen und alle gesellschaftlichen Gruppen einbeziehen.

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) führt seit vielen Jahren im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Projekte durch, die die Möglichkeiten effizienter Energienutzung vor allem im Gewerbebereich aufzeigen. In Kooperation mit Betrieben, Ingenieurbüros und Forschungseinrichtungen wurden für zahlreiche Einzelbranchen und branchenübergreifende Bereiche Leitfäden zur sparsamen und effizienten Energienutzung herausgegeben. Die vorliegende Broschüre soll bayerischen Kommunen helfen, mit einfachen Mitteln vorhandene Abwärmeströme aus Industrie und Gewerbe aufzudecken und sie für andere Wärmeverbraucher verfügbar zu machen. Die Broschüre geht sowohl auf die ökologischen als auch auf die wirtschaftlichen Aspekte der Nutzung gewerblicher Abwärme ein.



Dr. Otmar Bernhard, MdL
Staatsminister für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz



Dr. Marcel Huber, MdL
Staatssekretär im Staatsministerium für
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Einführung

Die Steigerung der Energieeffizienz ist in der Regel der kostengünstigste und umweltverträglichste Weg, die Emissionen von Treibhausgasen zu verringern. Es gilt, nach neuen Energieträgern zu suchen und die vorhandenen besser auszunutzen. Dazu gehört, unvermeidliche Abwärmeströme zum Beispiel aus Industrie und Gewerbe anderen Wärmeverbrauchern zur Verfügung zu stellen. Wichtig ist daher, dass man die in vielen Kommunen vorhandenen und bisher ungenutzten Abwärmeströme erkennt und Konzepte entwickelt, diese Abwärme an anderer Stelle wirtschaftlich rentabel zugänglich zu machen.

Bisher gestaltet sich die die Situation in Kommunen oft so, dass Möglichkeiten der Abwärmenutzung zwar vermutet werden, die Potenziale hierfür aber oft unentdeckt bleiben, weil die Instrumente für eine systematische Analyse fehlen. Der vorliegende Leitfaden gibt Kommunalpolitikern und Planungsbüros ein Werkzeug an die Hand, die Möglichkeiten der Abwärmenutzung systematisch zu erschließen.

Der Leitfaden beschreibt die Vorgehensweise zur Identifizierung von Abwärmequellen und möglichen Abwärmenutzern. Er gibt einen ersten Überblick über dieses komplexe Fachgebiet, so dass auch Anwender ohne tiefere Kenntnis der zahlreichen technischen Varianten eine erste Abschätzung von Potenzial und Wirtschaftlichkeit vornehmen können. Zudem stellt der Leitfaden die technischen Möglichkeiten der Wärmeauskopplung und des Wärmetransportes dar. Ergänzt werden diese Aspekte durch Anleitungen zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit und der Umweltauswirkungen möglicher Nutzungsvarianten. Darüber hinaus enthält der Leitfaden auch Formulare zur Erfassung und Auswertung der technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen. Die Vorgehensweise wird anhand eines konkreten Praxisbeispiels erläutert.

Kein Leitfaden kann die Arbeit eines kompetenten Planungsbüros ersetzen. Er kann aber eine Kommune bei der Beurteilung unterstützen, ob es sich lohnt, eine weitere, tiefer gehende und damit aufwändigere Analyse für ein Abwärmenutzungsprojekt in Auftrag zu geben. Er kann darüber hinaus die Fachplaner bei der Ausarbeitung eines Abwärmenutzungskonzeptes unterstützen.



Prof. Dr.-Ing. Albert Göttle
Präsident des Bayerischen
Landesamtes für Umwelt

1. Allgemein

Mit Hilfe dieses Leitfadens sollen bayerische Kommunen in die Lage versetzt werden, mit einfachen Mitteln die Möglichkeiten der Nutzung der gewerblichen Abwärme in ihrem Umfeld zu prüfen.

Naturgemäß kann bei der Komplexität dieses Themas und den vielfältigen technischen Anlagenvarianten, die in den Betrieben anzutreffen sind, hier nur ein erster Einstieg in dieses Fachgebiet gegeben werden, so dass der Anwender ohne tiefere Einarbeitung anhand der nachfolgenden Ausführungen eine erste grobe Potenzialabschätzung und eine erste grobe Wirtschaftlichkeitsabschätzung vornehmen kann. Auf Basis der damit gefundenen Ergebnisse lässt sich entscheiden, ob eine tiefergehende Analyse sinnvoll ist. Der Gesamtarbeitsablauf bei einer Abwärmepotenzialabschätzung ist in den nachfolgenden Kapiteln – aufgeteilt auf die einzelnen Teilaufgaben – erläutert.

Kapitel 2 enthält einen Leitfaden mit Handlungsvorschlägen und Fragebögen zur Ermittlung des jeweils nutzbaren Abwärmepotenzials. Weitere Erläuterungen zur Vorgehensweise zu den einzelnen Punkten des Leitfadens sind dann in den Kapiteln 3 und 4 enthalten. Die Vorgehensweise zur Prüfung der wirtschaftlichen Verfügbarkeit von Abwärmequellen wird in den Kapiteln 3 und 4 erläutert. Hierbei sind in Kapitel 3 mögliche Abwärmequellen und die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Potenziale erläutert. Kapitel 4 geht auf die Vorgehensweise bei der Ermittlung der Abwärmennutzungspotenziale ein. Erläutert werden auch die technischen Randbedingungen für die Abwärmeauskopplung, -übertragung und -nutzung. Beispiele für Anlagentechnik und Kostenstrukturen sind zusammengefasst dargestellt.

Kapitel 5 enthält ein Anwendungsbeispiel. In Kapitel 6 sind als Beispiel für die eigenen Arbeiten der Anwender dieser Ausarbeitung einige Muster für die Arbeitsbögen enthalten. Kapitel 7 gibt Literaturhinweise, um dem Anwender in Einzelfällen weitere Nachforschungen und Detaillierungen zu ermöglichen. Kapitel 8 beinhaltet Projektbeispiele für Abwärmennutzungstechniken anhand von Veröffentlichungen. Kapitel 9 listet alle in diesem Leitfaden verwendeten Bilder und Tabellen auf.

2. Leitfaden und Handlungsvorschläge

Die Ermittlung von Abwärmequellen ist von örtlichen Gegebenheiten und der in den Industriebetrieben vorhandenen Anlagentechnik abhängig. Wie wirtschaftlich die vorhandene Abwärme genutzt werden kann, hängt vor allem von den Kosten für die Wärmeauskopplungsanlagen und von den vorhandenen potenziellen Wärmenutzern und deren Entfernung zur Abwärmequelle ab.

Die Bewertung von Abwärmeprojekten erfolgt im Regelfall über die Wirtschaftlichkeit auf Basis von Jahreskosten bzw. spezifischen Nutzwärmegestehungskosten. Nur die Projekte, die die benötigte Nutzenergie kostengünstiger bereitstellen als die derzeit vorhandenen Anlagen, haben üblicherweise eine Realisierungschance.

Die Grobermittlung von Abwärmepotenzialen und die Entwicklung eines Abwärmennutzungsprojektes kann in folgenden Schritten abgewickelt werden:

1. Ermitteln der Standorte von Industriebetrieben im Untersuchungsgebiet.
2. Ermittlung/Abschätzung des Abwärmepotenzials (Abwärmeangebot).
3. Ermittlung/Abschätzung des Abwärmennutzungspotenzials (Wärmekunden).
4. Ermittlung/Abschätzung der Abwärmegewinnungs- und -transportaufwendungen (Investitionen in die erforderliche Anlagentechnik).
5. Abschätzung der ökonomischen Rahmenbedingungen (Wirtschaftlichkeitsberechnung).
6. Abschätzung der ökologischen Rahmenbedingungen (Emissionseinsparungsprognose).
7. Projektentwicklung zur Umsetzung der ermittelten Abwärmennutzungsmöglichkeiten.

Für die einzelnen Arbeitsschritte werden nachfolgend die Rahmenbedingungen erläutert.

2.1 Ermitteln der Standorte von Industriebetrieben im Untersuchungsgebiet

Hierzu dienen als Arbeitsgrundlage zunächst Stadtgrundkarten, Katasterkarten, Stadtpläne usw. Des Weiteren ist eine Übersicht über die örtlich ansässigen Industriebetriebe anhand der Daten der örtlichen Industrie- und Handelskammer, der Handwerkskammer, der Gemeindeverwaltung usw. hilfreich.

Aufgrund dieser Übersichten muss dann ein erster Kontakt zu den ausgewählten Betrieben hergestellt werden, um die notwendigen Erstdaten zu erfragen. Diese Informationen dienen dann den weiteren Arbeitsschritten als Grundlage. Die Ergebnisse der Umfrage werden in den in Kapitel 2.2 dargestellten Tabellen erfasst.

2.2 Ermittlung /Abschätzung des Abwärmepotenzials

Anhand der im ersten Schritt ausgewählten Ansprechpartner der Industriebetriebe werden nun die Daten für die Ermittlung der Abwärmemengen erhoben.

Nachfolgende Tabelle 2.2_1 zeigt ein Muster für eine erste Datenanfragetabelle. Es empfiehlt sich, die Ergebnisse der Datenerhebung einschließlich der Grenzen der Industriegrundstücke im Stadtplan/Lageplan entsprechend einzutragen. Wichtig ist es, außer der Maximalleistung und den Jahresenergiemengen auch das Bedarfsprofil und den Verlauf zu erfassen (zeitlicher Verlauf der Leistungen über das Jahr, übliche Werksferienzeiten, regelmäßige Stillstände usw.).

Da Industriebetriebe die hier notwendigen Daten meist ungern nach außen geben, muss im Dialog versucht werden, eine Kooperation im Sinne der Aufgabe zur Abwärmeebenutzung zu erwirken. Für eine erste Abschätzung der Abwärmemengen reicht es meist aus, wenn die Übersichtsdaten des Energiebedarfs vom Betrieb angegeben werden. Sofern der Betrieb Angaben zu den Abwärmemengen und -möglichkeiten übergeben kann, erleichtert dies die Abwicklung der weiteren Arbeiten und trägt zu einer größeren Ergebnisgenauigkeit bei, von der letztlich der Abwärmelieferant mit profitiert.

Falls keine Angaben über das mögliche Abwärmepotenzial zu erhalten sind, dann kann das Abwärmepotenzial auch anhand des Energieeinsatzes abgeschätzt werden. Etwa 20 bis 30 % der zur Produktion eingesetzten Energiemengen (Strom-, Gas-, Heizöleinsatz usw.) können üblicherweise mit entsprechendem technischem Aufwand als Abwärme wieder zurückgewonnen werden.

Wenn auch der Energieeinsatz vom ausgewählten Industriebetrieb nicht angegeben werden kann, so lassen sich Anhaltswerte für den Energiebedarf typischer Industriebetriebe – anhand der Fertigungskapazität – mit Hilfe der nachfolgenden Tabelle 2.2_2 errechnen. Produktionsdaten und Energieverbrauch können hierzu in vielen Fällen den jährlichen Geschäfts- und/oder Umweltberichten der Unternehmen entnommen werden.

Für die Auswahl der möglichen Abwärmeebenutzungsverfahren ist unter anderem das Temperaturniveau der Abwärmeequellen von Bedeutung. Das Temperaturniveau der Abwärme hängt vor allem von den vorhandenen Anlagen und Produktionsverfahren ab. Für typische Industriezweige können Anhaltswerte der Tabelle 2.2_3 entnommen werden. Bei der Verwendung der Tabelle muss berücksichtigt werden, dass viele Betriebe durch interne Optimierungsmaßnahmen bereits die Abwärme zu großen Teilen verwenden und somit die tatsächlich extern nutzbaren Abwärmemengen geringer sein können und auch auf niedrigerem Temperaturniveau anfallen.

Die Tabellen 2.2_2 und 2.2_3 können daher nur als erste Information bei der Abschätzung der möglicherweise vorhandenen Potenziale dienen.

Spezifischer Energiebedarf ausgewählter Industriebetriebe				
Erfahrungsgemäß können ca. 20 bis 30% des Energiebedarfs einer Fabrik als Abwärme wiedergewonnen werden				
Industrie	typischer Wärmebedarf		typischer Strombedarf	
	kWh/kg von	kWh/kg bis	kWh/kg von	kWh/kg bis
Energiebedarf je kg Fertigprodukt				
Tuchfabrik	2,78	3,61	0,60	0,80
Weberei	5,83	9,17	0,07	0,15
Feinpapier	4,17	5,28	1,00	1,20
Zellstoff	1,75	2,92	0,30	0,40
Zementwerke	0,83	1,39	0,10	0,18
Zuckerfabrik	2,92	3,47	0,15	0,20
Milchwerke	0,24	0,36	0,02	0,12
Wäschereien	2,78	3,89	0,20	0,30
Kalkbrennerei	1,17	2,33	0,05	0,10
Spiritusbrennereien	4,72	9,44	0,04	0,15

Tabelle 2.2_2:
Anhaltswerte über den spezifischen Energiebedarf ausgewählter Industriebetriebe

Abwärmeverwertungsmöglichkeiten bei Öfen und Feuerungen		
Ofenart	übliche Abgastemperatur	
	°C von	°C bis
Hochöfen (hinter dem Winderhitzer)	200	400
Schmelzöfen		
SM-Öfen	400	700
Glasöfen		
*ohne Regenerator	900	1.300
*mit Regenerator	600	800
Warmöfen		
*ohne Regenerator	700	1.200
*mit Regenerator	300	600
Zementöfen	400	600
Brennöfen Keramische Industrie	150	1.000
Glühöfen	600	700

Tabelle 2.2_3:
Anhaltswerte über die Abgastemperaturen von typischen industriell eingesetzten Öfen und Feuerungen

2.3 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmenutzungspotenzials

Das Abwärmenutzungspotenzial richtet sich nach der im Umfeld der Abwärme produzierenden Industriebetriebe vorhandenen Bebauung. Bei entsprechend hohem Temperaturniveau können oft auch benachbarte Industriebetriebe von einem Abwärme produzierenden Betrieb aus mitversorgt werden. Ideal wäre zum Beispiel auch ein vorhandenes Fern- oder Nahwärmenetz, in das Abwärme eingespeist werden könnte.

Da aus der Abwärme mittels Absorptionskälteanlagen auch Kaltwasser für Kälteversorgungsnetze erzeugt werden kann, sind auch Kälteverbraucher wie zum Beispiel Kühlhäuser, Gebäude mit Klimaanlage usw. als Abwärmekunden von Interesse.

Bild 2.3_1 zeigt schematisch die Übersicht über ein typisches Abwärmenutzungssystem mit Wärme- und Kältebereitstellung.

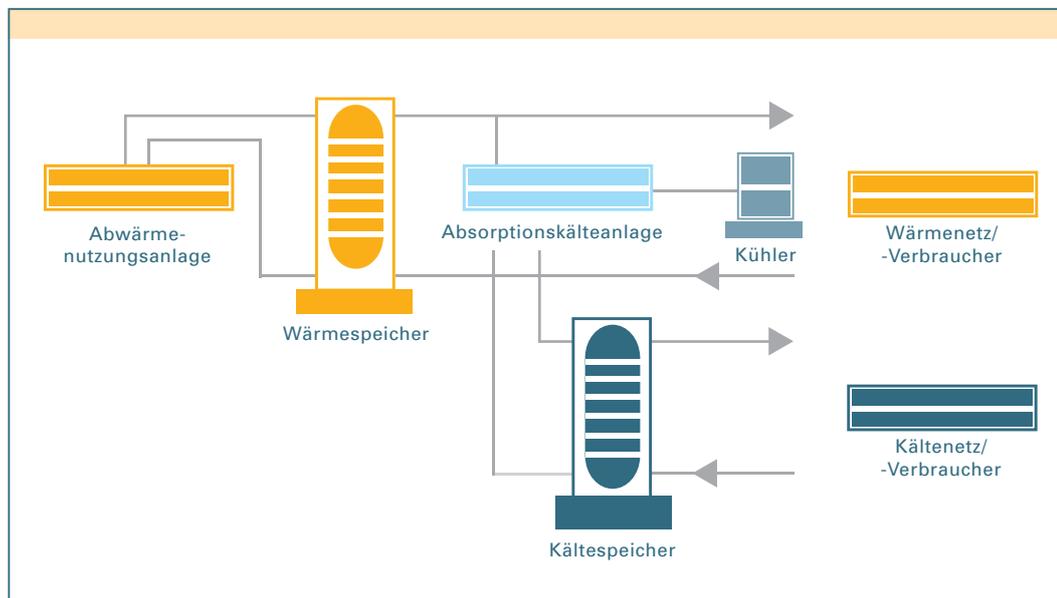


Bild 2.3_1:
Übersichtsschema
Abwärmenutzungssystem

In diesem Bearbeitungsschritt gilt es, zu den potenziellen Abwärmekunden (Wärme-/Kältekunden) Kontakt herzustellen und die Abwärmenutzungsmöglichkeiten zu hinterfragen. Hierzu werden zunächst die Grundstücksflächen der potenziellen Abwärmekunden in den unter Ziffer 2.1 erstellten Lageplan eingetragen. Danach erfolgt die Ermittlung der Ansprechpartner aufseiten der potenziellen Wärmekunden über Telefonbücher, Liegenschaftsämter, Industrie- und Handelskammern, Handwerkskammern usw. Im Bereich der Wohnbebauung sind oft auch Wohnungsbaugesellschaften, Bauträger und Eigentümergemeinschaften anzusprechen. In Städten mit eigenen Stadtwerken können diese oft als Vermittler zwischen den potenziellen Wärmekunden und den Industriebetrieben fungieren.

Als Wärmekunden sind in erster Linie die Betreiber und Eigentümer der in Tabelle 2.3_1 festgehaltenen Objekte interessant. Die Umfrageergebnisse können anhand von Tabelle 2.3_3 festgehalten werden. Ziel ist es, die potenziellen Wärmekunden über die aus ihrer Sicht notwendigen Anforderungen an die denkbare Wärmeversorgung auf Basis der Abwärme zu befragen. Auf Basis dieser Daten wird dann im nächsten Schritt die Anlagentechnik ermittelt. Darauf aufbauend erfolgen dann die Ermittlung der erforderlichen Investitionen, Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten und die Berechnung des potenziellen Wärmepreises.

Im Bereich des Heiz- und Brauchwasserwärmebedarfs der Wohngebäude sind Kennzahlen vorhanden, die es ermöglichen, auf Basis von Bebauungsplänen und/oder Luftbildern einen Überblick über das Wärmenutzungspotenzial zu erhalten. In allen anderen Fällen ist eine direkte Befragung der potenziellen Kunden erforderlich.

Temp. Niveau	Heizwärme (Altanlagen und HT-Heizanlagen)	Brauch-Warm- Wasser und NT- Heizanlagen	Prozesswärme
	$t_{VL} = < 90 \text{ °C}$ $t_{RL} = < 60 \text{ °C}$	$t_{VL} = < 60 \text{ °C}$ $t_{RL} = < 40 \text{ °C}$	$t_{VL} = < 120 \text{ °C}$ $t_{RL} = < 80 \text{ °C}$
Bürogebäude	X	X	
Hotels/Kurhäuser	X	X	
Verwaltungsgebäude	X	(X)	
Veranstaltungsgebäude/Konzerthalle	X	(X)	
Schulen/Kindergärten	X	X	
Schwimmbäder/Eishallen	X	X	
Wohngebäude/Wohngebiete	X	(X)	
Industriebetriebe mit Nieder- temperatur-Wärmebedarf	X	X	X
Industriebetriebe mit Kühlbedarf *	X	X	X

Tabella 2.3_1:
Objektübersicht einiger
potenzieller Abwärmekunden

t_{VL} = Vorlauftemperatur Heizmedium t_{RL} = Rücklauftemperatur Heizmedium
(X) = unter Umständen/in Einzelfällen * = Kühlbedarf über Absorptionskältemaschinen gedeckt

Tabella 2.3_2 enthält Anhaltswerte für die Berechnung des Wärmebedarfs potenzieller Abwärmekunden auf Basis der Nutzflächen und Gebäudetypen.

		FEH	RH	MFH
Standard-Nutzfläche	m ²	125	100	80
Spezifischer Wärmebedarf	W/m ²	120	100	80
Wärmeleistungsbedarf	kW	15	10	6,4
Jährliche Vollbetriebsstunden	h/a	1.600	1.600	1.600
Jährliche Wärmebedarf	kWh/a	24.000	16.000	10.240

Tabella 2.3_2:
Anhaltswerte für die Berechnung
des Wärmebedarfs
potenzieller Wärmekunden

FEH = Freistehendes Einfamilienhaus RH = Reihenhaus
MFH = Wohnung in Mehrfamilienhaus

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter:
	Datum:	Tel.:
		Fax:

Abwärmenutzungsmöglichkeiten Potenzialumfrage

Firma:	Datum:	Bearbeiter:
Straße:		Tel.:
PLZ/Ort:		Fax:

1. Produktionsschwerpunkt/Produkte/Geschäftszweck/Gebäudetyp

- _____

- _____

- _____

<p>2. Eingesetzte Wärmeenergie</p> <p>2.1 Elektrische Wärmeenergie (z.B. Elektrospeicherheizung)</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2 Brennstoffe</p> <p>2.2.1 Erdgas</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.2 Heizöl</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p>	<p>Bemerkungen:</p>
--	---------------------

3. Vorhandene, extern lieferbare Nutzwärmebedarfsmengen

3.1 Heizwasser

- Wärmeleistung _____ kW

- Jahreswärmemenge _____ kWh/a

- erforderliche Vorlauftemperatur _____ °C

- erforderliche Rücklauftemperatur _____ °C

- Heiznetzdruck _____ bar

3.2 Brauch-Warm-Wasser

- Brauchwasserbedarf stündlich _____ m³/h

- Jahres-Brauchwasserbedarf _____ m³/a

3.3 Kühlung

- Kühlleistung _____ kW

- Jahreskühlenergiebedarf _____ kWh/a

- erforderliche Vorlauftemperatur _____ °C

- erforderliche Rücklauftemperatur _____ °C

- Kühlmedium _____

3.4 Sonstiges

- _____

- _____

- _____

Tabelle 2.3_3:
Datenabfragetabelle Wärmenutzer/Wärmekunden

2.4 Ermittlung/Abschätzung der Abwärmegewinnungs- und Wärmetransport-aufwendungen

In diesem Schritt sind die Grundlagen für die Jahreskostenberechnung zu ermitteln. Hierzu zählen die Investitionskosten, die Kapitalkosten, die Betriebskosten und die Verbrauchskosten für die Abwärmenutzungsanlage, einschließlich aller zugehörigen Anlagenteile. Die Arbeiten können in Anlehnung an die Ausführungen in den Kapiteln 3 und 4 durchgeführt werden. Dort sind weitere Details und Grundlagendaten angegeben.

Um die Aufwendungen für Abwärmegewinnung, -transport, -verteilung und -einbindung abschätzen zu können, müssen die Auslegungsdaten, die Technik der Abwärmeauskopplung, die Technik der Abwärmeübertragung und die Technik der Abwärmeeinspeisung bei den Wärmekunden festgelegt werden. Danach sind dann für diese technischen Konzepte die Investitionskosten sowie die Verbrauchs- und Betriebskosten zu ermitteln. Da von diesem und den nachfolgenden Arbeitsschritten die Gesamtwirtschaftlichkeit der Wärmeauskopplung entscheidend abhängt, empfiehlt es sich, gegebenenfalls hierfür ein Fachbüro einzuschalten. Dieses ermittelt dann auf Basis der unter Ziffer 2.1 bis 2.3 ermittelten Daten die optimale Anlagentechnik, die Kosten/Jahreskosten, den potenziellen Abwärmeenergiepreis und vergleicht diesen mit den aktuellen Versorgungspreisen. Aus dem Ergebnis zeigt sich dann die mögliche Wirtschaftlichkeit, wenn die Abwärmeenergie preiswerter zur Verfügung gestellt werden kann als die vorhandene Versorgung.

Einzelarbeitsschritte wie folgt:

- a) Auswertung der Abwärme- und Nutzwärmefragebögen aus den Schritten 2.2 und 2.3. Hierbei wird dann jeweils pro Betrieb zusammengefasst das Gesamt-Abwärmeangebot und das Gesamt-Abwärmenutzungspotenzial getrennt in den Lageplan eingetragen.
- b) Entwicklung/Planung der Abwärmeauskopplungstechnik in den Industriebetrieben,
- c) Entwicklung/Planung der Wärmeübertragungstechnik zwischen den die Abwärme liefernden Industriebetrieben und den Wärmekunden,
- d) Entwicklung/Planung der Wärmeübergabetechnik beim Wärmekunden, einschließlich der Einbindung der neuen Abwärmenutzungsanlagen in die vorhandene Anlagentechnik,
- e) Entwicklung eines Betriebskonzeptes für die Wärmeauskopplungsanlagen,
- f) Ermittlung der erforderlichen Investitionen für die erforderliche Anlagentechnik,
- g) Ermittlung der Verbrauchs- und Betriebskosten für die erforderliche Anlagentechnik,

Die detaillierte Bearbeitung dieser Punkte erfordert umfangreiche Erfahrungen und einen nicht unerheblichen ingenieurtechnischen Aufwand. In den Kapiteln 3 und 4 wird eine vereinfachte Methode zur Lösung dieser Aufgaben erläutert. Darüber hinaus sind in den Kapiteln 3 und 4 Tabellen und Grafiken mit Anhaltswerten enthalten, die verwendet werden können, wenn keine konkreteren Werte im Rahmen der Abstimmungen mit den beteiligten Partnern zu erhalten sind und auf die Einschaltung von externen Fachingenieuren in diesem Projektschritt verzichtet werden soll.

Die Anhaltswerte beziehen sich auf allgemein übliche Projektsituationen und Standard-Anlagen. Bei der Bewertung der so erhaltenen Ergebnisse muss klar bewusst sein, dass hiermit nur eine erste grobe Aussage über die Eckdaten einer Abwärmenutzung möglich ist.

Die Ergebnisse werden in die nachfolgenden Arbeitsschritte übertragen und in die dort verwendeten Tabellen eingetragen.

Für die Ergebniszusammenstellung der unter Schritt f) ermittelten Investitionen kann Tabelle 2.4_1 als Muster verwendet werden. Zur Berechnung der Kapitalkosten wird der Annuitätsfaktor benötigt, der sich aus Zinsen und rechnerischer Nutzungs-/ -abschreibungszeit berechnet. Tabelle 2.4_2 gibt die Werte für typische Zins- und Laufzeitdaten an. Die rechnerische Abschreibungszeit richtet sich nach den üblichen steuerlich zulässigen Abschreibungszeiten (AFA-Sätze, Richtlinien der Finanzämter); Ansätze sind auch den VDI-Richtlinien (z. B. VDI-Richtlinie 2067) zu entnehmen. Bei Contractingmaßnahmen richtet sich die kalkulatorische Nutzungszeit im Regelfall nach der Laufzeit des Contractingvertrages.

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax: Datum:
Abwärmennutzungsvariante:		
Investitionen alle Angaben €, netto		
1 Abwärmennutzungsanlagen		
- Kühlwasser-Abwärmennutzungsanlage	+ _____	€
- Abwasser-Abwärmennutzungsanlage	+ _____	€
- Abgas-Abwärmennutzungsanlage	+ _____	€
- Abluft-Abwärmennutzungsanlage	+ _____	€
Summe Abwärmennutzungsanlagen	=	+ _____ €
2 Abwärmetransportsystem (Wärmetransportleitungsstrasse)		
- Strang 1	+ _____	€
- Strang 2	+ _____	€
- Strang 3	+ _____	€
- Strang 4	+ _____	€
Summe Abwärmetransportsystem	=	+ _____ €
3 Abwärmeverteilungsnetz / Nahwärmenetz		
- Strang 1	+ _____	€
- Strang 2	+ _____	€
- Strang 3	+ _____	€
- Strang ...	+ _____	€
Summe Abwärmeverteilnetz	=	+ _____ €
4 Abwärme-Übergabestationen und Systemeinbindungen in die vorhandenen Systeme der Abwärmennutzer		
- Anschluss 1	+ _____	€
- Anschluss 2	+ _____	€
- Anschluss 3	+ _____	€
- Anschluss ...	+ _____	€
Summe Abwärme-Übergabestationen	=	+ _____ €
5 Summe Investitionen	=	= _____ €
6 Annuitätsfaktor	*	*
7 Kapitalkosten	=	= _____ €/a

Tabelle 2.4_1:
Investitionsübersicht und
Kapitalkostenberechnung

Zinsen %	Laufzeit Abwärmenutzung/Abschreibungszeit in Jahren			
	10	15	20	25
4	0,1233	0,0899	0,0736	0,0640
5	0,1295	0,0963	0,0802	0,0710
6	0,1359	0,1030	0,0872	0,0782
7	0,1424	0,1098	0,0944	0,0858
8	0,1490	0,1168	0,1019	0,0937
9	0,1558	0,1241	0,1095	0,1018
10	0,1627	0,1315	0,1175	0,1102
11	0,1698	0,1391	0,1256	0,1187
12	0,1770	0,1468	0,1339	0,1275
13	0,1843	0,1547	0,1424	0,1364
14	0,1917	0,1628	0,1510	0,1455
15	0,1993	0,1710	0,1598	0,1547

Tabelle 2.4_2:
Annuitätsfaktoren

2.5 Abschätzung der ökonomischen Rahmenbedingungen

In diesem Schritt werden die zu erwartenden Nutzwärmegestehungskosten auf Basis der gemäß Kapitel 2.1 bis 2.4 entwickelten Ergebnisse berechnet und mit den aktuell vorhandenen Nutzwärmegestehungskosten verglichen.

Eine Realisierung der Abwärmenutzungsmaßnahmen ist im Regelfall nur bei einem Kostenvorteil gegenüber der bestehenden Versorgung zu erwarten. Bei der Bewertung der Jahreskosten für die Abwärmenutzung muss berücksichtigt werden, dass sich für die Abwärmenutzung im Regelfall nach der Errichtung der Anlagen nur geringe Kostensteigerungen ergeben, da die Abwärme im Regelfall den Preissteigerungen des Energiemarktes nicht unterliegt. Normalerweise wirkt sich daher nach der Errichtung von Abwärmenutzungsanlagen im Wesentlichen nur die Steigerung der Lohn- und Zinskosten auf die Jahreskosten aus.

Die Berechnungen erfolgen auf Basis der zu erwartenden Jahreskosten. Für die Berechnungen kann die nachfolgende Tabelle 2.5_1 genutzt werden. Hinzuweisen ist an dieser Stelle darauf, dass sowohl Bund wie auch Länder Förderprogramme für rationellen Energieeinsatz aufgelegt haben, über die unter Umständen auch bei schwierigen wirtschaftlichen Ergebnissen eine Projektrealisierung unterstützt werden kann. Informationen dazu erhält man z. B. auf den Internetseiten der betreffenden Behörden.

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax: Datum:
Abwärmennutzungsvariante:		
Jahreskostenberechnung Abwärmennutzungs-system		
1 Kapitalkosten (aus Tabelle 2.4-1)	→	+ _____ €/a
2 Verbrauchsgebundene Kosten		
2.1 Strom-Leistungspreiskosten	+	_____ €/a
2.2 Strom-Arbeitspreiskosten	+	_____ €/a
2.3 Hilfsstoffe	+	_____ €/a
2.4	+	_____ €/a
2.5	+	_____ €/a
2.6	+	_____ €/a
2 Summe Verbrauchsgebundene Kosten	= →	+ _____ €/a
3 Betriebsgebundene Kosten		
3.1 Wartung-/Instandhaltung	+	_____ €/a
3.2 Personalkosten	+	_____ €/a
3.3 Verwaltung/Versicherung	+	_____ €/a
3 Summe Betriebsgebundene Kosten	= →	+ _____ €/a
4 Summe Jahreskosten		
5 jährliche Nutzwärmelieferung (aus Abwärme)	/	_____ kWh/a
6 Spezifische Nutzwärmegestehungskosten		
7 Spezifische Nutzwärmegestehungskosten der vorhandenen Anlagen auf Basis Öl-/Erdgasfeuerung	-	_____ €/kWh
8 Spezifischer Kostenvorteil Abwärmennutzung		
9 Gesamt-Jahreskostenvorteil Abwärmennutzung	=	_____ €/a

Tabelle 2.5_1:
 Jahreskostenberechnung
 Abwärmennutzungs-system

Als Vergleichsgröße für die in Tabelle 2.5_1 ermittelten Nutzenergiekosten der Abwärme können die in nachfolgender Tabelle 2.5_2 enthaltenen Nutzenergiekosten auf Heizölbasis verwendet werden. Tabelle 2.5_2 enthält die Nutzenergiekosten, die sich bei der Verfeuerung von Heizöl in Standardheizungsanlagen ergeben. Die Tabelle ist für verschiedene Kessel-Jahresnutzungsgrade berechnet, so dass entsprechend Alter und Zustand der vorhandenen Kesselanlagen die entsprechenden Werte ausgewählt werden können. Für neuere Kesselanlagen gelten in erster Näherung die höheren Nutzungsgradspalten, für ältere Kesselanlagen die unteren Ansätze.

Betrachtet man zum Beispiel die Tabelle für einen Heizölpreis von 45 €-Ct pro Liter, so ergibt sich unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Kesselwirkungsgrades von 85 % ein tatsächlicher Nutzenergiepreis (ohne Berücksichtigung der sonstigen Kosten wie Schornsteinfegergebühren, Wartung, Instandhaltung usw.) von 53 €-Ct pro kWh oder 53 € pro MWh.

Heizölpreis €/l	Nutzenenergiepreis in €/kWh			
	Kesselnutzungsgrad in %			
	80	85	90	100
0,40	0,050	0,047	0,044	0,040
0,45	0,056	0,053	0,050	0,045
0,50	0,062	0,058	0,055	0,050
0,55	0,068	0,064	0,061	0,055
0,60	0,074	0,070	0,066	0,060
0,80	0,100	0,094	0,088	0,080
1,00	0,124	0,116	0,110	0,100

*Tabelle 2.5_2:
Nutzenenergiekosten
bei unterschiedlichen
Heizölpreisen*

Heizwert von Heizöl = 10,08 kWh/l

2.6 Abschätzung der ökologischen Rahmenbedingungen

Im Falle der Abwärmenutzung wird aus ökologischer Sicht Wärme praktisch ohne Schadstoffausstoß bereitgestellt. Im gleichen Maße wie die Abwärme bereitgestellt wird, werden die vorhandenen Wärmeerzeugungsanlagen substituiert. D. h., die in den vorhandenen Wärmeerzeugungsanlagen der potenziellen Abwärmekunden entstehenden Schadstoffe können als eingesparte Schadstoffe bei der Abwärmenutzungsbetrachtung kalkuliert werden. Als Hauptemittenten sind hier vor allem die Luftschadstoffe zu betrachten, die von den Kesselanlagen bei der Wärmeerzeugung emittiert werden.

Die Berechnung der eingesparten Schadstoffe erfolgt auf Basis der in Kapitel 4 ermittelten Abwärmenutzung. Die nutzbare Abwärmemenge wird anhand der Ausführungen in Kapitel 4 errechnet und dann in das nachfolgende Berechnungsblatt (Tabelle 2.6_1) übernommen.

Anhaltswerte für die Ansätze der Emissionsfaktoren von Gebäudeheizungen und Heizwerken können Tabelle 2.6_2 entnommen werden.

Die Ansätze für das CO₂-Einsparpotenzial sind in erster Näherung brennstoffabhängig. Anhaltswerte für die Abschätzung des Einsparpotenzials können der Tabelle 2.6_3 entnommen werden.

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax:
	Datum:	

**Abwärmepotenzialanalyse
Berechnung Emissions-Einsparpotenzial**

Abwärmenutzungs-Variante:

-

-

-

<p>Berechnungsgrundlagen</p> <p>Jährlich nutzbare Abwärmemenge <input type="text"/> kWh/a</p> <p>Durchschnittlicher Kesselnutzungsgrad der substituierten Heizkessel <input type="text"/> %/100</p> <p>Jährlich substituierbare Brennstoffmenge (z. B. gemäß Bild 2.6_1) <input type="text"/> kWh/a</p>	<p>Bemerkungen:</p>
--	---------------------

Berechnung Emissionseinsparpotenzial

SO ₂	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
NO _x	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
HCl	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
HF	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
Staub	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
CO	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
CO ₂	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a

Tabelle 2.6_1:
Berechnungsblatt
Emissionseinsparpotenzial

Emissionsfaktoren bei Heizwerken und Heizungen						
Anlagenart/Brennstoff	Emissionsfaktor (g/kWh) bezogen auf die Nutzenergiemenge (Heiz- oder Prozesswärme), einschl. der kompletten Prozesskette der Brennstoffbereitstellung und Nutzung					
	SO ₂	NO _x	HCl	HF	Staub	CO
Ölfeuerungen	0,621	0,281	0,001	0,000	0,035	0,218
Erdgasfeuerungen	0,016	0,235	0,001	0,000	0,010	0,166
Steinkohlefeuerungen	3,051	0,380	0,110	0,019	1,253	19,484
Braunkohlbrikett-Feuerungen						
- Rheinische Braunkohle	0,495	0,595	0,120	0,007	0,631	19,368
- Lausitzer Braunkohle	1,619	0,516	0,012	0,003	0,496	22,616

Tabelle 2.6_2:
Berechnungsansätze
Emissionsfaktoren
(Werte nach Gemis)

Emissionsfaktoren für CO ₂ -Äquivalente	
	Emissionsfaktor (g/kWh) bezogen auf die Nutzenergiemenge (Heiz- oder Prozesswärme), einschl. der kompletten Prozesskette der Brennstoffbereitstellung und Nutzung
	Heizöl EL
Erdgas	266,60
Braunkohle	
- Rheinische Braunkohle	669,70
- Lausitzer Braunkohle	587,60
Steinkohle	556,80

Tabelle 2.6_3:
Berechnungsansätze
CO₂-Emissionsfaktoren
(Werte nach Gemis)

Berechnung der Jahres-Brennstoffmenge

$$Q_{BR} = Q_N \times n_K$$

Q_{BR} = Jährliche Brennstoffmenge
 Q_N = Jährliche Nutzwärmemenge
 n_K = Jahres-Kesselnutzungsgrad

Bild 2.6_1:
Berechnungsformel -
Jahres-Brennstoffmenge

2.7 Projektentwicklung zur Umsetzung der ermittelten Abwärmenutzungsmöglichkeiten

Wenn die zuvor beschriebenen Arbeitsschritte der Grobanalyse die wirtschaftliche und ökologische Sinnhaftigkeit einer Abwärmeauskopplung zeigen, müssen zur Umsetzung eines Projektes die kaufmännischen und organisatorischen Randbedingungen erarbeitet werden.

Im Regelfall konzentrieren sich die Industriebetriebe auf ihr Kerngeschäft. D. h., auch wenn der jeweilige Betrieb die Abwärmequellen zur Verfügung stellt, muss ein zweites Unternehmen die Errichtung der Abwärmeanlagen und den Betrieb der Abwärmeauskopplung, einschließlich der Vermarktung der Energiemengen übernehmen. Häufig übernehmen die örtlichen Stadtwerke oder entsprechende Abteilungen/Bereiche der Stadtverwaltungen diese Rolle. In Einzelfällen sind auch neue Energieversorgungsgesellschaften gegründet worden, an denen sich alle vom Abwärmeagesamtsystem tangierten Unternehmen beteiligen.

Nach Vorliegen der Grobstudienergebnisse ist diese organisatorische Fragestellung als erstes zu lösen. Herrscht hier Einvernehmen, müssen die finanziellen Mittel für die nächsten Arbeitsschritte bereitgestellt werden.

Übersicht über die Arbeitsschritte zur Projektentwicklung wie nachfolgend dargestellt. Die Reihenfolge der Einzelschritte kann dabei durchaus je nach Projektsituation unterschiedlich sein.

- a) Erstellung einer detaillierten und belastbaren Machbarkeitsstudie durch entsprechende Fachfirmen.
- b) Festlegung/Findung des Investors und des Betreibers.
- c) Klären der Finanzierung.
- d) Abschließen der Vorverträge für Abwärmeauskopplung.
- e) Abschließen der Vorverträge mit den Wärmekunden.
- f) Erstellung einer Ausführungsplanung und Beauftragung der entsprechenden Fachfirmen zur Realisierung der Maßnahmen.
- g) Übernahme und Betrieb der Anlagen durch den Betreiber.

3. Abwärmequellen

Unter industrieller Abwärme im Sinne dieser Ausarbeitung wird die Energie verstanden, die bei der Herstellung von Produkten in Industriebetrieben erzeugt wird, dort aber nicht weiter genutzt werden kann.

Oft kann eine technische Anlage nicht betrieben werden, ohne dass Abwärme erzeugt wird. Üblicherweise wird diese Abwärmeenergie an die Umgebung abgegeben (z. B. über Abluft, Kühlwasser, Abwasser usw.).

Grundsätzlich wird hier davon ausgegangen, dass die Industriebetriebe aus eigenem Interesse alle für sie wirtschaftlich nutzbaren Energiemengen innerhalb der Produktionsketten nutzen und verwerten. Oft bleibt hier aber ein Energiepotenzial übrig, welches z. B. aufgrund seines Temperaturniveaus oder seines Trägermediums (z. B. Luft, Abwasser, Abgas, Kühlwasser usw.) in der Produktion nicht weiter genutzt werden kann.

Beispiele:

1. Verbrennungsmotor

Ein Verbrennungsmotor erzeugt Abwärme, die durch den Luftkühler unter der Motorhaube und über das Abgas an die Umgebungsluft abgegeben wird. In Blockheizkraftwerken werden Verbrennungsmotoren zur Stromerzeugung eingesetzt und die Abwärme zu Heizzwecken genutzt.

2. Kühlanlagen

Ein Kühlschrank erzeugt Abwärme, die durch das Kühlgitter hinter dem Kühlschrank an die Umgebungsluft abgegeben wird. In gleicher Weise arbeiten im Grunde alle Anlagen, die Kälteenergie produzieren, wenngleich auch die technischen Einrichtungen hierzu andere Abmessungen und Formen haben. Die Abwärme der Kälteanlagen kann zu Heizzwecken genutzt werden.

3. Wärmekraftwerk

Ein Wärmekraftwerk erzeugt Abwärme im Abgas der Kesselanlagen und/oder den Stromerzeugungsaggregaten, die über das Abgas, die Abluft und/oder über das Kühlwasser an die Umgebung abgegeben wird.

4. Produktionsmaschine/-anlage

Eine Produktionsmaschine/-anlage erwärmt mit ihrer Wärmeabstrahlung die Umgebungsluft in der Produktionshalle. Um die Funktion der Maschinen aufrechterhalten und um die Arbeitsstättenrichtlinien für das Bedienungspersonal einhalten zu können, wird die erwärmte Hallenluft über Lüftungseinrichtungen an die Umgebung abgeführt (Abluft).

5. Produktionsöfen

Produktionsöfen geben die im Prozess nicht nutzbare Energie (Abwärme) über das Abgas an die Umgebung ab. Darüber hinaus strahlen die Öfen auch Wärme an die Umgebung ab, die über Lüftungsanlagen abgeführt werden muss (Abluft).

6. Prozessbedingt sind z. B. bei chemischen Produktionen oder Raffinerien oft flüssige oder gasförmige Produkte abzukühlen. Anstelle von Kühlwasser oder Luft kann hierfür auch Nahwärmewasser in Produktwärmetauschern eingesetzt werden, um die Abwärme zu nutzen.

Diese Energiemengen und Energieformen gilt es jeweils in den Betrieben zu finden und möglichst einer Nutzung zu zuführen. Näherungsweise kann angesetzt werden, dass etwa 20 bis 30 % der in Produktionseinrichtungen insgesamt eingesetzten Strom- und Brennstoffenergie in Form von Abwärmeenergie unterschiedlichster Form zur Nutzung bei Wärmeverbrauchern wieder gewonnen werden kann.

Die Nutzung von Abwärme kann auf vielfältige Weise erfolgen. Außer zur Heizwärmeversorgung kann Abwärme auch zur Kälteerzeugung mittels Absorptionskältemaschinen genutzt werden. Eine Kälteenergieverteilung über so genannte Nahkältenetze ist dabei ebenfalls möglich. Hierbei wird dann zum Beispiel Kaltwasser mit einer Vorlauftemperatur von 6 °C erzeugt und über Rohrleitungen den Verbrauchern zugeführt.

Im Sinne dieses Leitfadens werden nur Abwärmenutzer außerhalb der Abwärme produzierenden Industriebetriebe betrachtet. In diesem Fall ist immer ein Energietransport erforderlich. Dieser Energietransport kann mittels Rohrleitungen (leitungsgebundener Transport) oder über Wärmecontainer (bzw. Kältecontainer) z. B. per LKW erfolgen (mobiler Wärmetransport).

Um einen wirtschaftlich sinnvollen Wärmetransport zu gewährleisten, ist im Regelfall ein entsprechendes Vorlauf-Temperaturniveau von 70 °C bis 90 °C erforderlich. Sofern die Abwärmetemperatur niedrigere Werte aufweist, muss die Temperatur z. B. mittels Wärmepumpen auf das erforderliche Niveau angehoben werden. Zur Verfügung stehen hierfür:

- elektrisch betriebene Wärmepumpen (Kompressionsaggregate)
- thermisch betriebene Wärmepumpen (Absorptionsaggregate)
- erdgasbetriebene Wärmepumpen (Gasmotor-Wärmepumpenaggregate)

Für den Betrieb dieser Wärmepumpen wird wiederum Energie benötigt, die in der Kalkulation berücksichtigt werden muss.

Unabhängig von dem technischen System, aus dem die Abwärme ausgekoppelt wird, bestehen die Abwärmeauskopplungseinrichtungen im Regelfall aus den im Folgenden beschriebenen Systemen:

1. Abluft-Abwärmenutzung
2. Kühl-/Abwasser-Abwärmenutzung
3. Abgas-Abwärmenutzung

Die Abwärmeauskopplungsanlagen selbst bestehen in den Standardanwendungsfällen aus den in den folgenden Kapiteln 3.1 bis 3.3 beschriebenen Komponenten.

Die Nutzung flüssiger oder gasförmiger Produktströme erfolgt ähnlich wie für die Standardanwendungsfälle beschrieben. Aufgrund der Vielfalt der dabei denkbaren Varianten und der produktspezifischen Besonderheiten können hier keine Anhaltswerte angegeben werden. Bewertungen dieser Abwärmenutzungsfälle müssen mit den betroffenen Betrieben gemeinsam durchgeführt werden.

Sind mehrere verschiedene Abwärmequellen (z. B. Abluft, Abgas und Abwasser) in einem Betrieb vorhanden, so können die jeweiligen Einzelanlagen auch nahwärmeseitig gekoppelt werden.

Grundsätzlich sollten die Abwärmekonzepte gemeinsam mit den betroffenen Betrieben ausgearbeitet werden, da nur diese selbst im Regelfall die konkreten Anforderungen und Leistungsdaten kennen. Um dem Anwender dieser Unterlagen hier eigene Kalkulationen, Übersichts- und Plausibilitätsrechnungen zu ermöglichen, sind für die Standardfälle nachfolgend die wichtigsten Anhaltswerte in vereinfachter Form angegeben.

Die Investitionskosten zur Errichtung eines Abgas-Wärmenutzungssystems hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab und können nur nach sorgfältiger Planung und Kalkulation belastbar angegeben werden. Um aber für das Durchführen einer ersten Grobanalyse Anhaltswerte zu bieten, wurden in den nachfolgenden Kapiteln anhand von Erfahrungswerten und Kosten ausgeführter Anlagen erste Anhaltswerte angegeben.

3.1 Abluftwärmenutzung

Hier sind Wärmerückgewinnungs-Wärmetauscher in die Abluftkanäle der Produktionshallenlüftung oder der Produktionsmaschinenlüftung zu installieren. Ggf. sind unter Umständen auch neue Abluftkanäle zu installieren.

Diese Abluftanlagen bestehen im einfachsten Regelfall aus:

- Ansaug-/Einströmkasten
- Abluftkanal
- Staubfilter
- Ventilator
- Wärmerückgewinnungs-Wärmetauscher
- Abluftkanal (bis ins Freie).

Auf der Wasserseite des Wärmetauschers wird dann noch benötigt:

- Umwälzpumpe mit Armaturen
- Druckhalteanlage
- Steuerung
- Anschluss an das Wärmetransportsystem.

Die warme Abluft wird in der Produktionshalle oder an der die Abwärme abgebenden Maschine in den Abluftkanal eingesaugt und über den Filter vom Ventilator durch den Abluftwärmetauscher und das anschließende Kanalsystem ins Freie gefördert. Im Abluftwärmetauscher gibt die Abluft ihre Wärmeenergie an das sekundärseitig durch den Abluftwärmetauscher fließende Heizwasser ab, wodurch dieses erwärmt und die Abluft abgekühlt wird.

Auf der Heizwasserseite des Wärmetauschers wird ein Rohrsystem angeschlossen, welches mittels einer Umwälzpumpe das von den Verbrauchern zurückfließende Heizwasser durch den Abluftwärmetauscher und dann zu den Wärmeverbrauchern zurück fördert. Eine schematische Übersicht über das Gesamtsystem ist im nachfolgenden Bild 3.1_1 enthalten. Je nach Temperaturniveau und den sonstigen Randbedingungen können die Schaltungen der Wärmeauskopplung gegenüber dem hier dargestellten Beispiel (einer Parallelschaltung von Abwärmenutzungs-Wärmetauscher und Reserveheizkessel) unterschiedlich gewählt werden. Zum Beispiel kann die Reservekesselanlage in Reihe mit dem Wärmetauscher geschaltet werden. Damit arbeitet der Wärmetauscher wie ein Vorwärmer und die Nacherhitzung erfolgt dann durch den Heizkessel. Auch ist die Einbindung eines Wärmespeichers im Nahwärmenetz denkbar, wenn Abwärmeangebot und Nutzwärmenachfrage zeitlich unterschiedlich sind. Weitere Beispiele für die vielfältigen technischen Möglichkeiten bei der Auskopplung und Nutzung von Abwärme können den Literaturstellen in den Kapiteln 7 und 8 entnommen werden.

Berechnungsgrundlage der Angaben in den nachfolgenden Bildern 3.1_2a und 3.1_2b ist die direkte Nutzung der Abwärme mittels Abluftwärmetauscher wie im Bild 3.1_1 dargestellt. Die in den Grafiken angegebenen Mengenangaben für Abluft beziehen sich auf Betriebs-m³.

Um eine bessere Ablesung zu ermöglichen, wurde das Diagramm für kleinere und größere Abluftmengen getrennt dargestellt.

Bei den für Nahwärmenetze üblichen Vorlauftemperaturen lassen sich mit dem in Bild 3.1_1 dargestellten einfachen System keine Abwärmeströme mit Temperaturen unter 100 °C wirtschaftlich sinnvoll nutzen.

Für Einsatzfälle, in denen Ablufttemperaturen unter 100 °C genutzt werden sollen, ist der Einsatz von Wärmepumpen oder Niedertemperatursystemen erforderlich. Diese müssen jeweils Einzelfallabhängig ausgelegt und kalkuliert werden.

Investitionen für die Nachrüstung von Abluftwärmenutzungsanlagen:

Hinsichtlich der zu erwartenden Investitionen liegen Erfahrungswerte im Bereich zwischen 80 €/kW und 315 €/kW.

Die Angaben beziehen sich auf die Abwärmeleistung. Ansätze für das Nahwärmesystem sind darin nicht enthalten.

Die kleineren Ansätze gelten bei großen Anlagen z. B. im Leistungsbereich von Tabelle 3.1_2b und höher sowie für einfachere Anwendungsfälle mit geringen technischen Anforderungen bei denen z. B. vorhandene Abluftanlagen mitbenutzt werden können. Die höheren Ansätze gelten für kleinere Anlagen oder auch für größere Anlagen mit hohem technischem Aufwand.

Für die Bewertung eines Abwärmenutzungssystems müssen auch die zu erwartenden Betriebskosten ermittelt werden. Bei der Nutzung von Abluft-Abwärme sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- a) Stromaufnahme des Ventilators der Abluftanlage.
Anhaltswerte für übliche Anlagenkonzepte sind Bild 3.1_3 zu entnehmen.
- b) Wartungs- und Instandhaltungskosten
Hier muss jährlich mit Aufwendungen von etwa 1,5 bis 2,5 % der Investitionen für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gerechnet werden.
- c) Personalkosten
Die Abschätzung hier hängt vor allem von den örtlichen Verhältnissen und dem dort vorhandenen Personal ab. Da im Regelfall die Anlagen bereits von Bedienungspersonal betrieben werden, ergibt sich hier eventuell nur eine geringe Mehrbelastung der vorhandenen Personen.
- d) Verwaltungs- und Versicherungskosten
Hier werden üblicherweise bei Grobanalysen 1 bis 1,5 % der Investitionen als jährliche Kosten angesetzt.

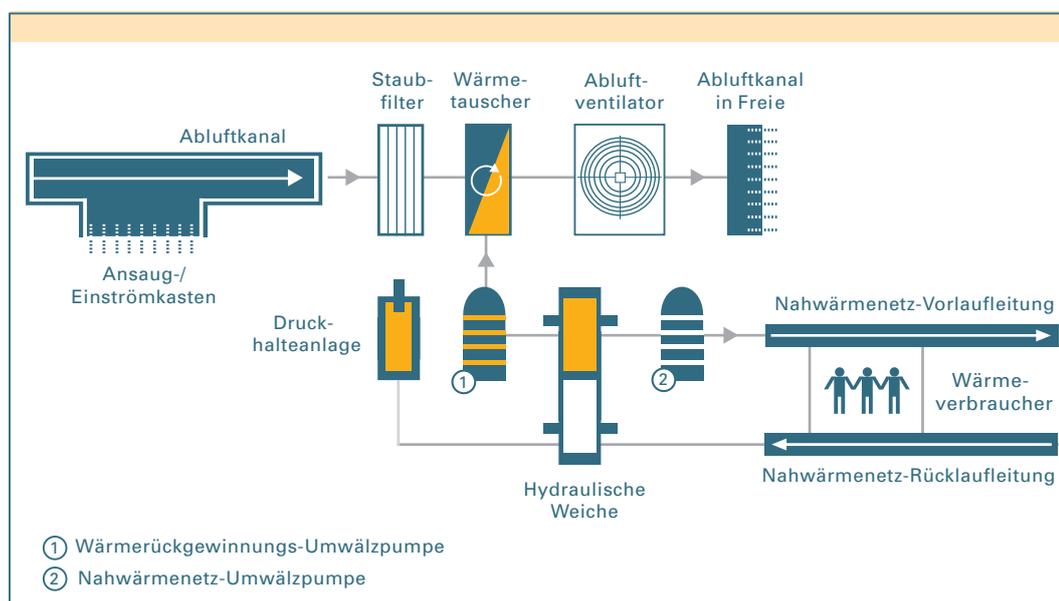


Bild 3.1_1:
Übersichtsschema
Abluftwärmenutzung

Anhaltswerte für die nutzbare Abluftwärmeleistung bei Abkühlung von Abluft in Wärmetauschern zur Nahwärmeerzeugung

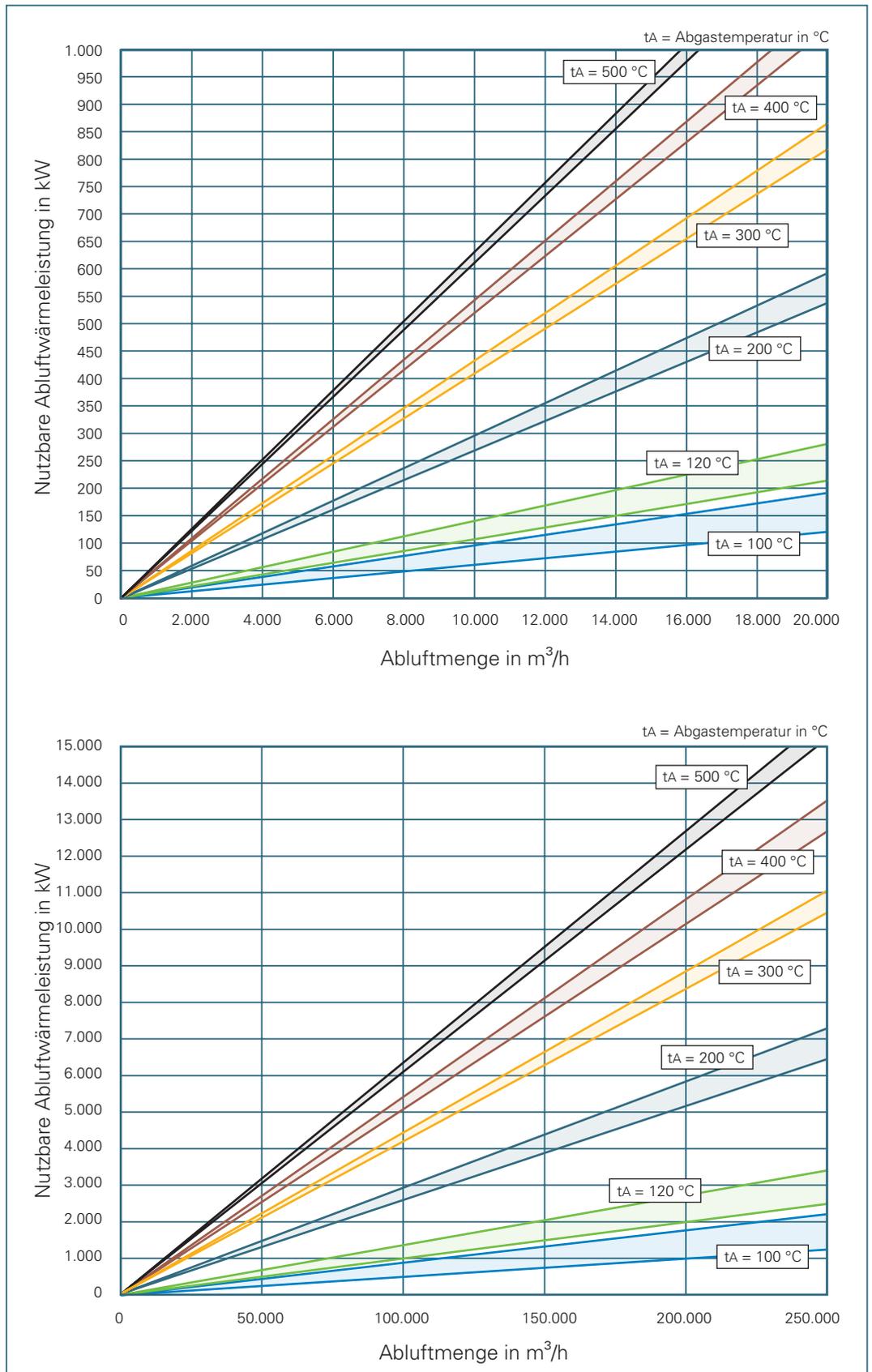


Bild 3.1_2a:
Anhaltswerte (jeweils Ober- und Untergrenze) zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Abluft-Abwärmenutzungsanlagen, Abluft-Temperaturniveau 100 bis 500 °C – Darstellung für kleinere Abluftmengen –

Bild 3.1_2b:
Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Abluft-Abwärmenutzungsanlagen, Abluft-Temperaturniveau 100 bis 500 °C – Darstellung für größere Abluftmengen –

Anhaltswerte für die erforderliche Ventilatorleistung bei Abluft-Abwärmenutzung in Wärmetauschern zur Nahwärmeerzeugung

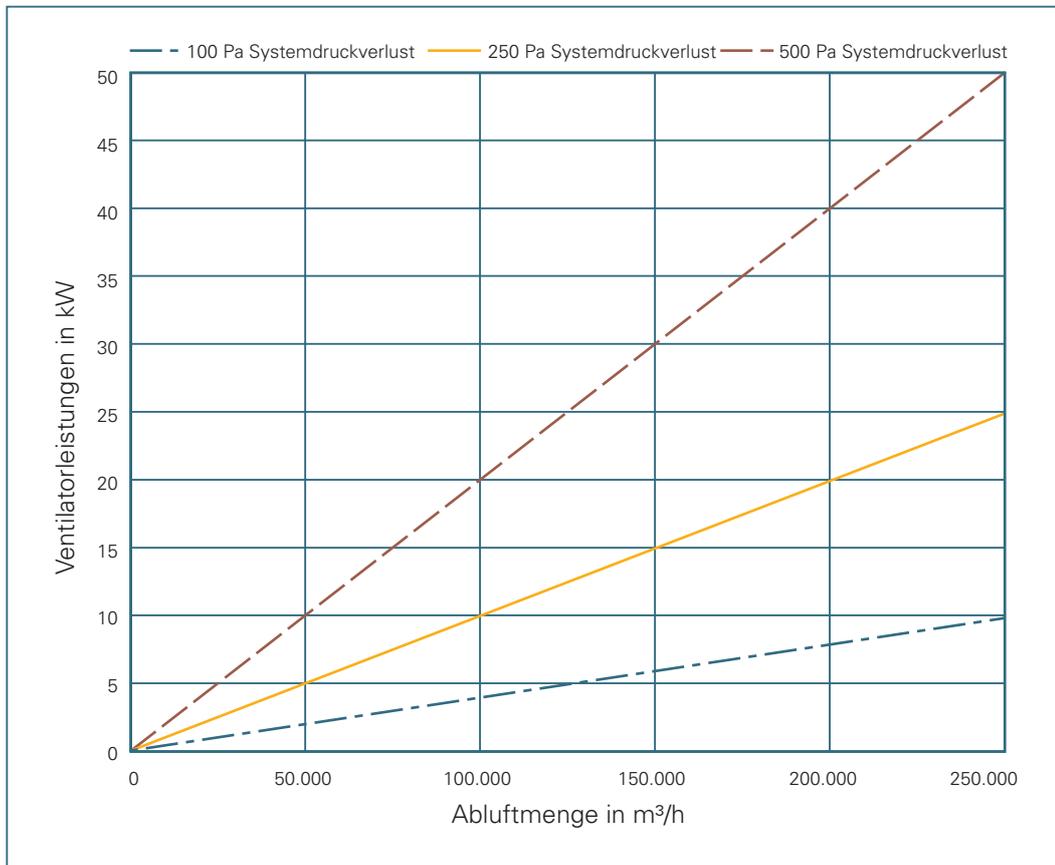


Bild 3.1_3:
Anhaltswerte zur Abschätzung
der Ventilatorleistung von
Abluft-Abwärmenutzungs-
anlagen

3.2 Kühlwasser-/Abwasser-Wärmenutzung

Hier ist ein Wärmetauscher in das vorhandene Kühl- oder Abwasser-Rohrsystem einzubauen. Der Wärmetauscher überträgt die Abwärme an das Wärmenutzungssystem. Die Abwärmeauskopplungsanlagen hierzu bestehen im Standardfall aus folgenden Komponenten:

- Abwärme-Wärmetauscher
- Abwärmepumpe mit Armaturen
- Nutzwärmepumpe mit Armaturen
- Druckhalteanlage
- Optional: Wärmepumpe zur Temperaturerhöhung
- Anschluss an das Netzwärmetransportsystem

Das abwärmehaltige Wasser wird mittels einer Pumpe durch einen neu zu installierenden Wärmetauscher gefördert und gibt dabei seine Energie an das Nutzwärmedmedium ab. Danach wird das abgekühlte Kühl-/Abwasser wieder in den vorhandenen Rohrstrang zurückgefördert.

Im Prinzip gelten für die Nahwärmenutzung die Ausführungen in Kapitel 3.1, lediglich die Anordnung und Ausführung des Abwärme-Wärmetauschers wird an das unterschiedliche Medium angepasst. Eine schematische Übersicht über das Gesamtsystem ist im nachfolgenden Bild 3.2_1 enthalten. Weitere Beispiele für die vielfältigen technischen Möglichkeiten bei der Auskopplung und Nutzung von Abwärme können den Literaturstellen in den Kapiteln 7 und 8 entnommen werden.

Für die Erstabschätzung von möglichen Abwärmenutzungskonzepten sind in Bild 3.2_2 die Abwärmeleistungen für typische Abwasser-/Kühlwassertemperaturen in Abhängigkeit der Wassermengen angegeben. Sofern die Ab-/Kühlwassermenge und die Ab-/Kühlwassertemperatur bekannt ist, kann anhand dieses Diagramms die Abwärme-Einspeiseleistung für typische Nahwärmevarianten abgelesen werden.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen technischen Möglichkeiten kann dieses Diagramm nicht die Leistungsdaten für alle denkbaren Nahwärmevarianten darstellen. Eine konkrete Berechnung der im jeweiligen Einsatzfall tatsächlich vorhandenen Leistungsdaten ist daher zu empfehlen, vor allem wenn die Erstabschätzung anhand dieser Unterlage eine wirtschaftlich ausreichende Wärmeleistung erkennen lässt.

Investitionen für die Nachrüstung von Kühl-/Abwasserwärmenutzungsanlagen: Hinsichtlich der zu erwartenden Investitionen liegen Erfahrungswerte im Bereich zwischen 90 €/kW und 560 €/kW. Die Angaben beziehen sich auf die Abwärmeleistung. Ansätze für das Nahwärmesystem sind darin nicht enthalten.

Die kleineren Ansätze gelten bei großen Anlagen sowie bei einfacheren Anwendungsfällen mit geringen technischen Anforderungen und für Anlagen mit hoher Temperaturdifferenz zwischen Abwärmetemperatur und Nahwärmeverlauftemperatur. Die höheren Ansätze gelten für kleinere Anlagen oder auch für größere Anlagen mit hohem technischem Aufwand und für Anlagen mit kleiner Temperaturdifferenz zwischen den Medien.

Zur Bewertung eines Abwärmenutzungssystems müssen auch die zu erwartenden Betriebskosten ermittelt werden. Bei der Nutzung von Kühl-/ Abwasser-Abwärme sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- a) Stromaufnahme der Pumpen, die sich durch die zusätzlichen Wärmetauscherwiderstände erhöht. Im Regelfall kann dieser Ansatz im Rahmen der Grobkalkulation meist unberücksichtigt bleiben.
- b) Wartungs- und Instandhaltungskosten
Hier muss jährlich mit Aufwendungen von etwa 1,5 bis 2,5 % der Investitionen für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gerechnet werden.
- c) Personalkosten
Die Abschätzung hier hängt vor allem von den örtlichen Verhältnissen und dem dort vorhandenen Personal ab. Da im Regelfall die Anlagen bereits von Bedienungspersonal betrieben werden, ergibt sich hier eventuell nur eine geringe Mehrbelastung der vorhandenen Personen.
- d) Verwaltungs- und Versicherungskosten
Hier werden üblicherweise bei Grobanalysen 1 bis 1,5 % der Investitionen als jährliche Kosten angesetzt.

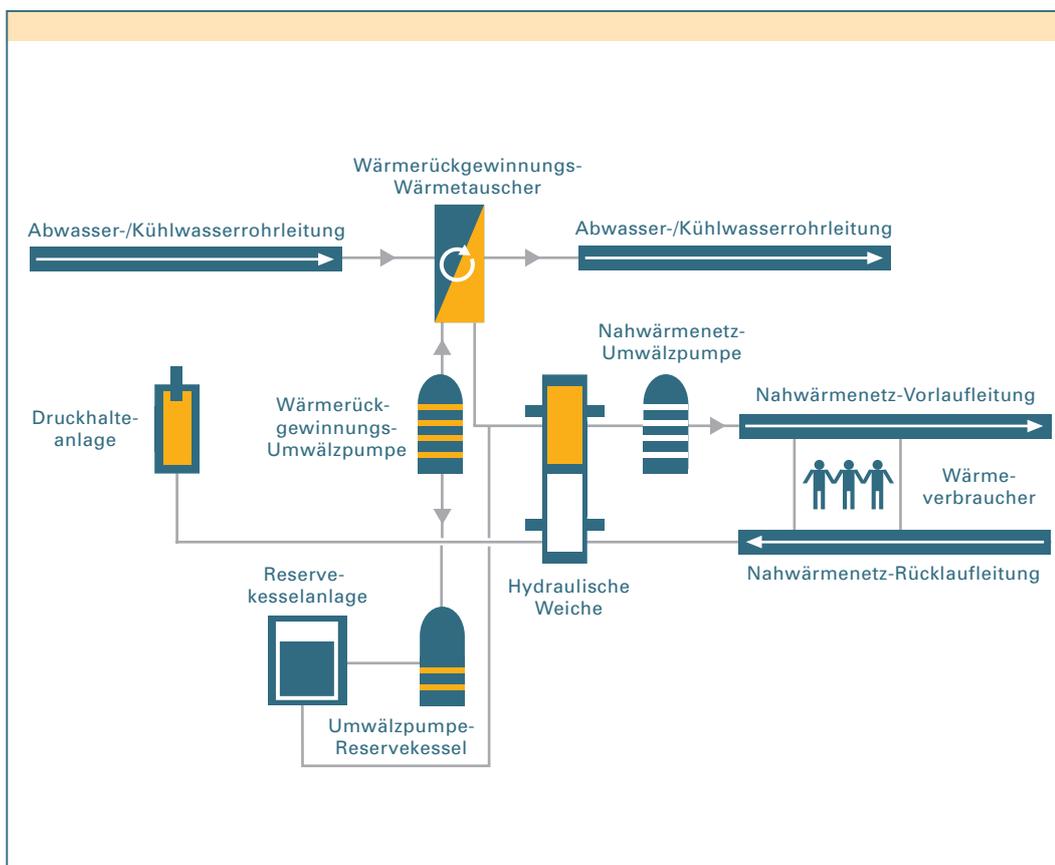


Bild 3.2_1:
Übersichtsschema Kühl-/
Abwasser-Abwärmenutzung

Anhaltswerte für die nutzbare Abwasser-/Kühlwasser-Wärmeleistung bei Abkühlung in Wärmetauschern zur Nahwärmeerzeugung

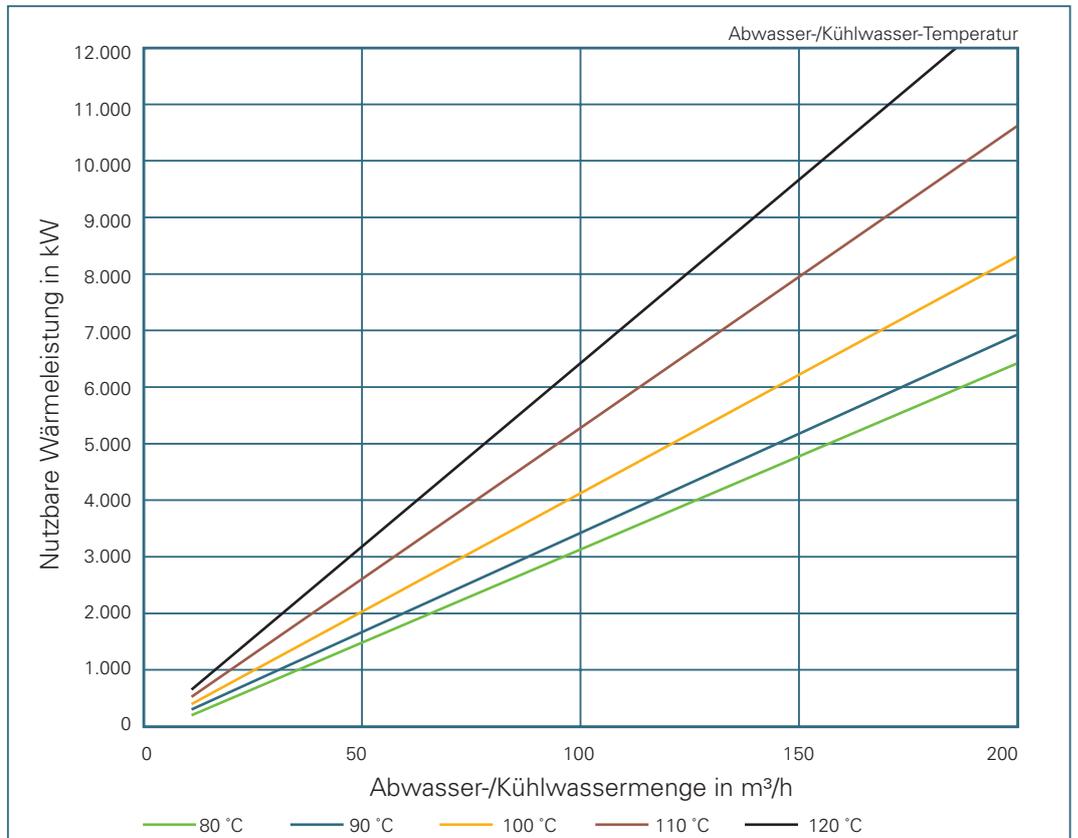


Bild 3.2_2:
Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Kühl-/Abwasser-Abwärmenutzungsanlagen
Abwasser-/Kühlwasser-Temperaturniveau 80 bis 120 °C

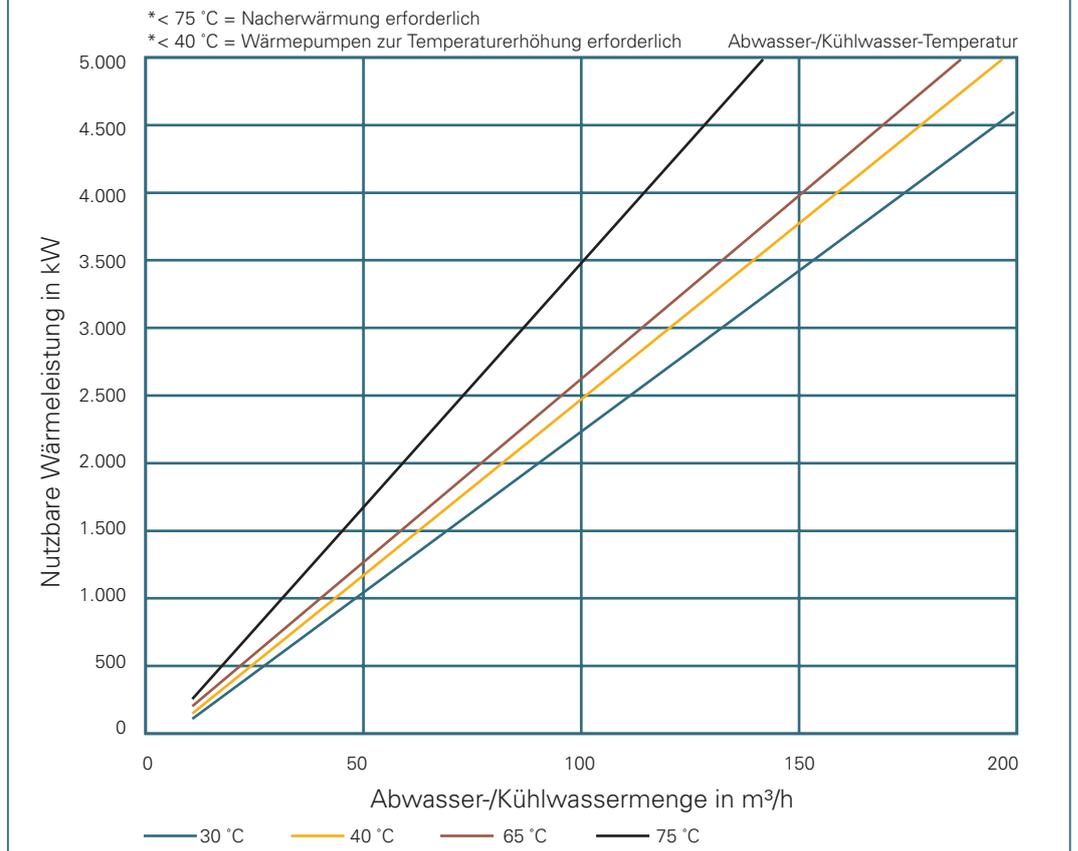


Bild 3.2_3:
Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Kühl-/Abwasser-Abwärmenutzungsanlagen
Abwasser-/Kühlwasser-Temperaturniveau 30 bis 75 °C

3.3 Abgas-Wärmenutzung

In diesem Fall wird üblicherweise ein Abwärmenutzungs-Wärmetauscher in die Abgasleitung zwischen den Abgaserzeuger und den Kamin eingebaut. Die Anlagentechnik dieser Wärmetauscher orientiert sich an den Anforderungen für Dampferzeuger. Im Falle von Feststofffeuerungen oder erhöhtem Staubanfall im Abgas sind konstruktive Maßnahmen am Abwärmetauscher und/oder Filter und Abscheider im Abgasweg vor dem Wärmetauscher vorzusehen. Je nach Ausbildung der Kaminanlage und je nach Abgasbestandteilen darf die Abgasauskühlung eine Mindesttemperatur nicht unterschreiten, um Korrosionen in der Kaminanlage auszuschließen. Will man bewusst dieses Temperaturniveau noch nutzen, z. B. bei so genannten Abgaskondensationsanlagen (ähnlich der Brennwerttechnik bei Kesselanlagen), dann ist meist die Errichtung der Abgasanlagen in Edelstahl mit Kondensatabscheidern erforderlich.

Das primärseitig durch den Abgaswärmetauscher strömende Abgas gibt seine Energie an das sekundärseitig hindurchfließende Heizwasser ab, wodurch dieses erwärmt und das Abgas abgekühlt wird. Mittels der Heiznetzpumpen wird das von den Abwärmenutzern zurückfließende Heizwasser durch den Abgaswärmetauscher gepumpt, dort erwärmt und dann den Verbrauchern wieder zugeführt. Bild 3.3_1 zeigt eine schematische Übersicht über die Funktion eines Abgas-Abwärmenutzungssystems.

Zur überschlägigen Ermittlung der möglichen Abgaswärmeleistung wurden für verschiedene Abgastemperaturen und Abgasmengen die theoretisch nutzbaren Abgaswärmeleistungen in Bild 3.3_2a/b angegeben. Die Berechnungen gehen auf der Abwärmenutzungsseite davon aus, dass ein Nahwärmenetz im Temperaturbereich VL/RL = 90/60 °C errichtet wird und die Abgastemperaturen bis auf < 100 °C abgekühlt werden können. Dies erfordert je nach Abgaszusammensetzung ggf. Abgasanlagen aus Edelstahl. Da die technischen Randbedingungen sehr unterschiedlich sind und damit auch die Leistungswerte voneinander abweichen, enthalten die Bilder 3.3_2 und 3.3_3 jeweils die oberen und unteren Grenzkurven je Abgastemperatur in gleicher Farbe. Damit kann der Anwender hier entsprechend seinen vorhandenen Daten eine entsprechende Auswahl zwischen den beiden Grenzkurven vornehmen. Zwischentemperaturen zwischen den angegebenen Werten lassen sich linear interpolieren. Die obere Grenzkurve gibt hierbei die Abwärmeleistung an für hohen technischen Aufwand und niedrige Wärmenetz-Rücklauftemperaturen und damit kleine Abgasenergieverluste aber hohe Anlagenkosten. Die untere Grenzkurve gibt die Abwärmeleistung an für Anlagen mit geringem technischen Aufwand, hohen Wärmenetzrücklauftemperaturen dafür aber niedrigeren Anlagenkosten.

Zur Berücksichtigung der elektrischen Energieaufwendungen für die Mehrleistung der Abgasventilatoren durch den höheren Druckverlust der Abgas-Wärmenutzungswärmetauscher gibt Bild 3.3_4 Anhaltswerte für den Mehrleistungsbedarf. Bei der Auswahl der Druckverlustkurve ist zu berücksichtigen, dass geringerer Druckverlust bei gleicher Leistung zu deutlich höheren Investitionen führt.

Investitionen für die Nachrüstung von Abgaswärmenutzungsanlagen:

Hinsichtlich der zu erwartenden Investitionen liegen Erfahrungswerte im Bereich zwischen 70 €/kW und 450 €/kW.

Die Angaben beziehen sich auf die Abwärmeleistung. Ansätze für das Nahwärmesystem sind darin nicht enthalten.

Die kleineren Ansätze gelten bei großen Anlagen z. B. im Leistungsbereich von Tabelle 3.3_2b und Tabelle 3.3_3b und höheren Leistungen sowie für einfachere Anwendungsfälle mit geringen technischen Anforderungen, bei denen z. B. vorhandene Abgasventilatoren mit benutzt werden können. Die höheren Ansätze gelten für kleinere Anlagen oder auch für größere Anlagen mit hohem technischem Aufwand.

Zur Bewertung eines Abwärmenutzungssystems müssen auch die zu erwartenden Betriebskosten ermittelt werden. Bei der Nutzung von Abgas-Abwärme sind in diesem Zusammenhang zu nennen:

- a) Erhöhung der Stromaufnahme des Abgasventilators der Abgasanlage, bedingt durch den höheren Abgaswiderstand, ausgelöst durch den Abgas-Wärmetauscher. Anhaltswerte sind Bild 3.3_4 zu entnehmen.
- b) Wartungs- und Instandhaltungskosten
Hier muss jährlich mit Aufwendungen von etwa 2 bis 3 % der Investitionen für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten gerechnet werden.
- c) Personalkosten
Die Abschätzung hier hängt vor allem von den örtlichen Verhältnissen und dem dort vorhandenen Personal ab. Da im Regelfall die Anlagen bereits von vorhandenem Bedienungspersonal betrieben werden, ergibt sich hier eventuell nur eine Mehrbelastung der vorhandenen Personen.
- d) Verwaltungs- und Versicherungskosten
Hier werden üblicherweise bei Grobanalysen 1 bis 1,5 % der Investitionen als jährliche Kosten angesetzt.

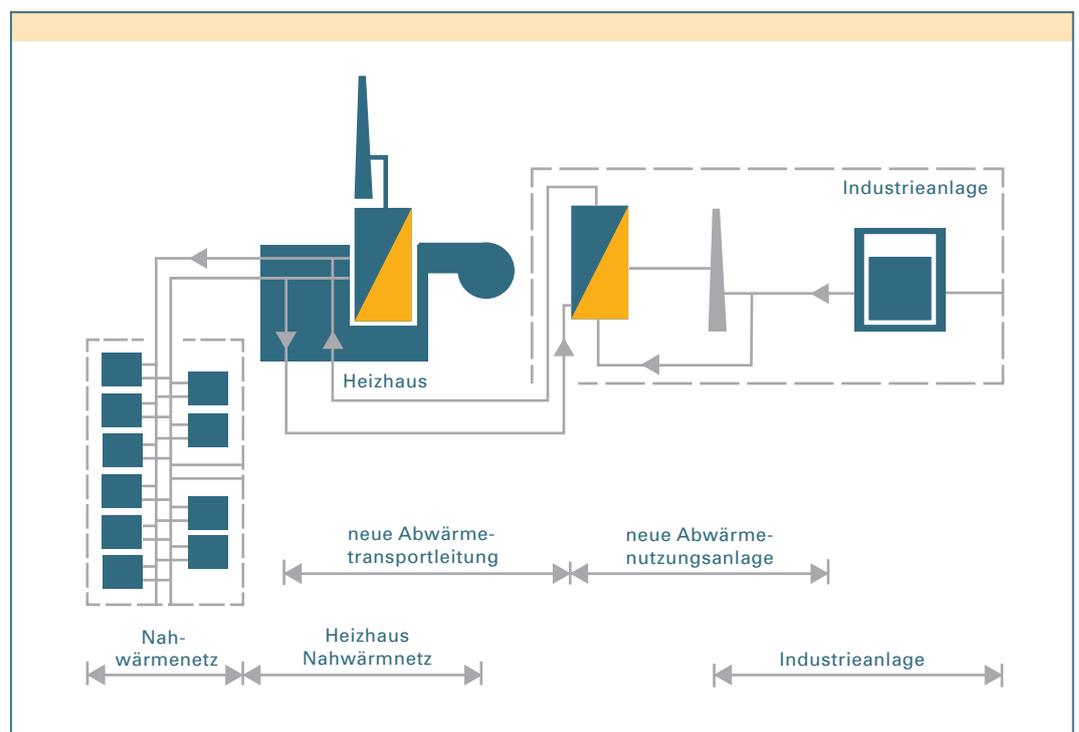


Bild 3.3_1:
Übersichtsschema
Abgas-Abwärmenutzung

Anhaltswerte für die nutzbare Abgaswärmeleistung bei Abkühlung der Feuerungsabgase in Wärmetauschern zur Nahwärmeerzeugung

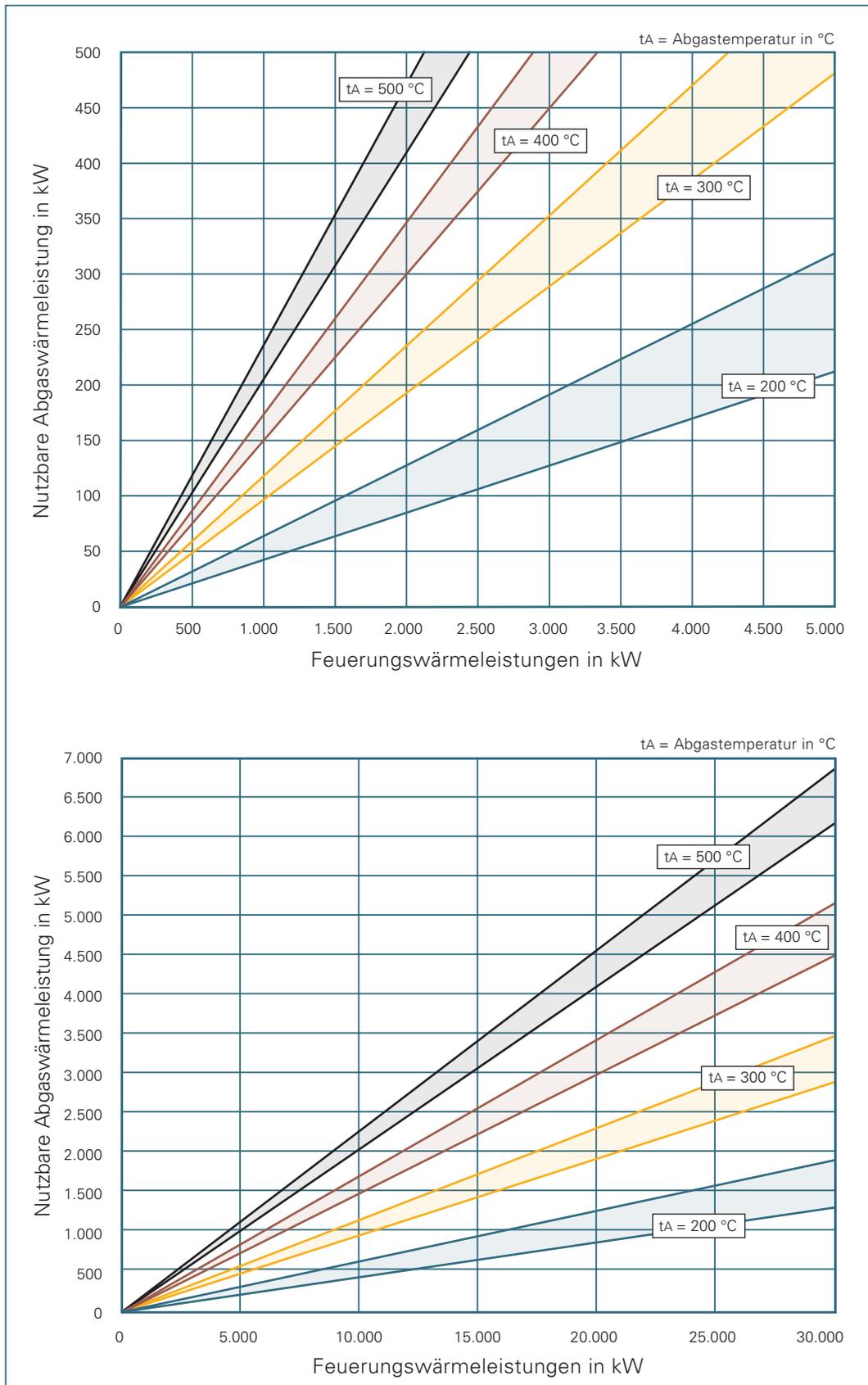


Bild 3.3_2a:
Mögliche Wärmeleistungen
bei Abgas-Abwärmennutzung
als Anhaltswerte für Grob-
analysen – unterer Lastbereich –

Bild 3.3_2b:
Mögliche Wärmeleistungen
bei Abgas-Abwärmennutzung
als Anhaltswerte für Grob-
analysen – oberer Lastbereich –

Anhaltswerte für die nutzbare Abgaswärmeleistung bei Abkühlung der Feuerungsabgase in Wärmetauschern zur Nahwärmeerzeugung

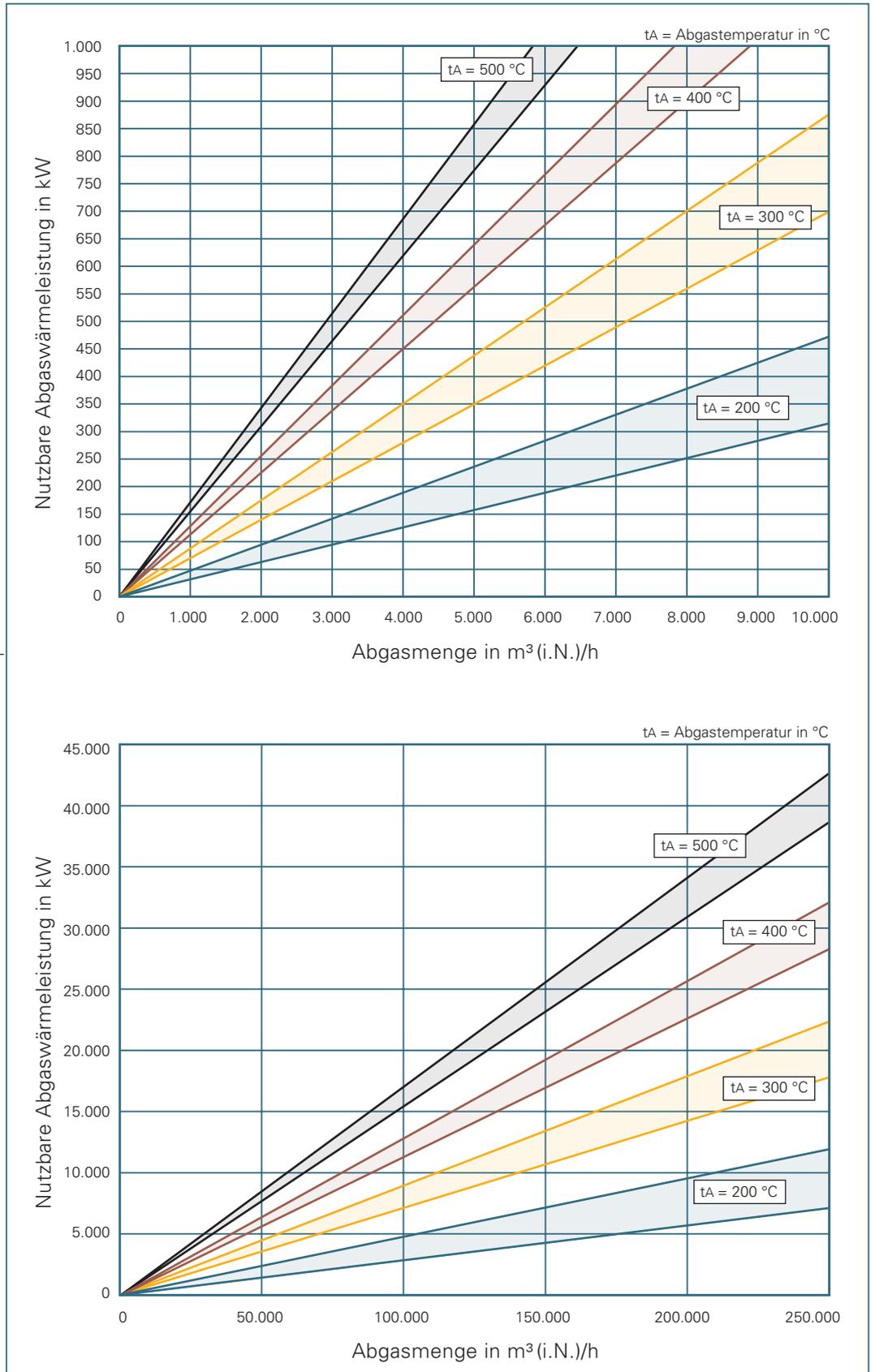


Bild 3.3_3a:
Mögliche Wärmeleistungen bei Abgas-Abwärmennutzung als Anhaltswerte für Grob-
analysen – unterer Lastbereich –

Bild 3.3_3b:
Mögliche Wärmeleistungen bei Abgas-Abwärmennutzung als Anhaltswerte für Grob-
analysen – oberer Lastbereich –

Anhaltswerte für die erforderliche Ventilatorleistung bei Abgas-Abwärmenutzung in Wärmetauschern zur Nahwärmeerzeugung

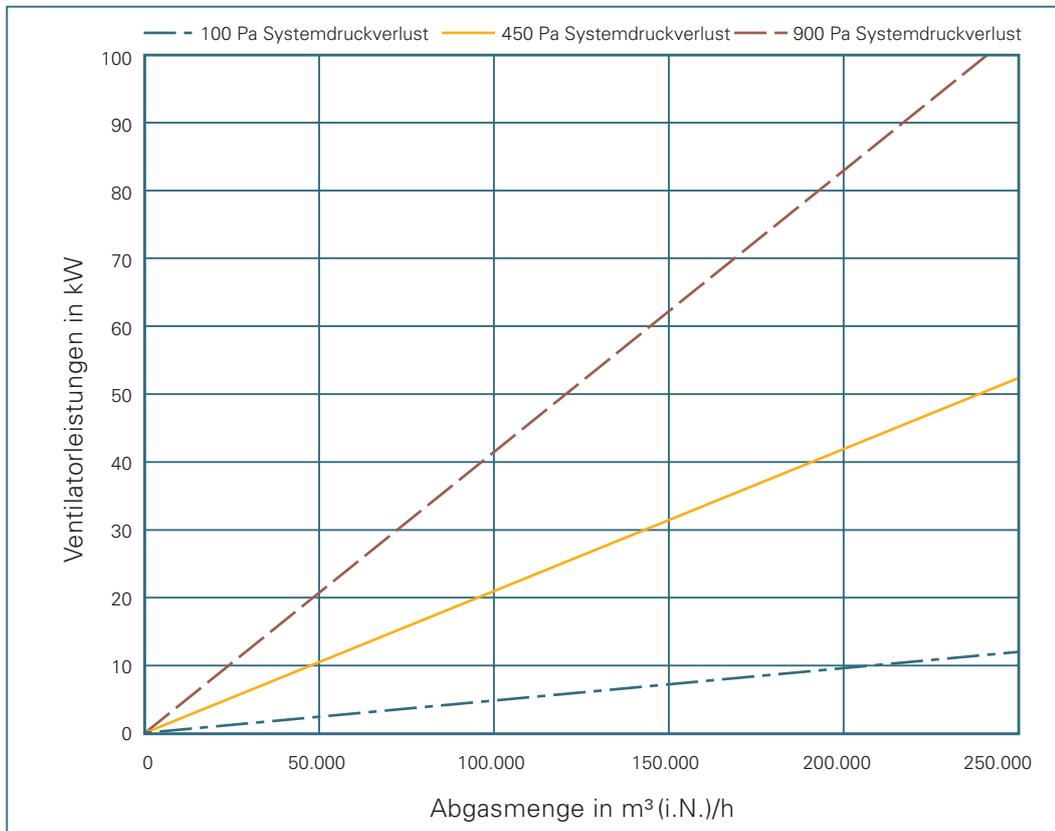


Bild 3.3_4:
Ventilatorleistung von Abgas-
Abwärmenutzungssystemen
als Anhaltswerte für Grob-
analysen

4. Abwärmenutzung

Eine Nutzung von Niedertemperaturabwärme ist im Regelfall in Heizsystemen, Brauchwassererwärmungsanlagen, Lüftungs- und Klimaanlage, Schwimmbädern und ähnlichen Anlagen möglich.

Um Abwärme zu nutzen, muss zunächst eine Abwärmeauskopplungsanlage errichtet werden. Diese Anlagentechnik ist in Kapitel 3 beschrieben.

Die in der Abwärmeauskopplungsanlage gewonnene Abwärme wird üblicherweise über Rohrsysteme (leitungsgebundener Wärmetransport) oder über mobile Wärmecontainer (mobiler LKW-gestützter Wärmetransport) zu den Verbrauchern geleitet.

Wärmeverbraucher sind zum Beispiel:

- Wohngebäude
- Verwaltungsgebäude
- Hotelanlagen, Kurhäuser
- Schwimmbäder
- Kaufhäuser usw.

Oft wird dort auch Kälteenergie zur Klimatisierung benötigt, die mit Absorptionskälteanlagen aus der Abwärme gewonnen werden kann. Hierbei können die Kälteanlagen sowohl zentral (Kälteverteilnetz erforderlich) oder auch dezentral bei den Kälteverbrauchern angeordnet werden.

Die Abwärmenutzungsanlagen bestehen im Regelfall aus den Komponenten:

- Abwärmeauskopplungsanlage (siehe Kapitel 3)
- Wärmetransport- und Verteilsystem einschließlich Übergabestationen.

Die Abwärmeauskopplungsanlagen sind in den Kapiteln 3.1 bis 3.3 erläutert. Dort ist auch die Einspeisung in die Nahwärme-/kältenetze dargestellt.

Bei der Auslegung der Systemkomponenten und bei der Bewertung der nutzbaren Abwärmemengen ist insbesondere der zeitliche Unterschied in Abwärmeangebot und Nutzwärmebedarf über den gesamten Jahreszyklus zu beachten. Insbesondere sind regelmäßige Betriebsstillstände, Wartungs- und Produktionszeiten usw. zu beachten. Bei Abwärmenutzung mittels Absorptionskälteanlagen müssen vor allem die Nahwärme-Leitungsnetze für den Sommerlast- und für den Winterlastfall berechnet werden. Absorptionskälteanlagen haben gegenüber Heizungsanlagen oft bei gleicher Leistung eine kleinere Temperaturspreizung und damit einen höheren Heizwasserbedarf.

4.1 Leitungsgebundener Wärmetransport

Dies sind im Normalfall Fernwärme- oder Nahwärmerohrleitungen (jeweils Vorlauf- und Rücklaufleitung). Diese Leitungen stellen die Verbindung zwischen Abwärmeauskopplungsanlage und Wärmeverbraucher her.

Unter **Fernwärmenetzen** versteht man üblicherweise Wärmetransportleitungssysteme, die größere Entfernungen wirtschaftlich überbrücken können, wozu ein entsprechend hohes Druckniveau (16 bis 25 bar) und ein entsprechend hohes Temperaturniveau (Vorlauftemperatur bis 130 °C, Rücklauftemperatur bei 60 bis 70 °C) erforderlich ist. Von **Nahwärmenetzen** spricht man bei Systemdrücken um 6 bar und einem Temperaturniveau unter 90 °C (Vorlauftemperatur max. 90 °C, Rücklauftemperatur zwischen 40 und 60 °C).

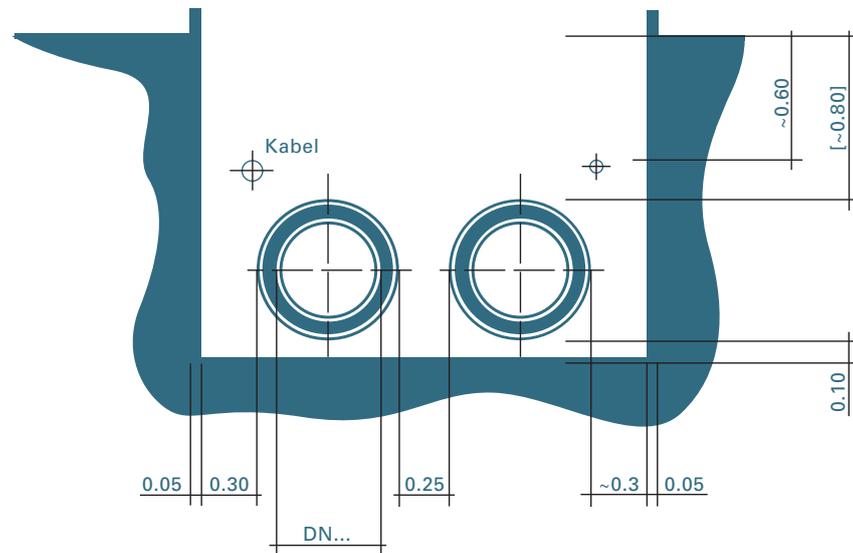
Über diese Leitungssysteme wird mittels Umwälzpumpen das in der Abwärmeauskopplungsanlage erwärmte Heizwasser zu den Wärmeverbrauchern transportiert. Dort wird das Heizwasser abgekühlt und fließt dann über die Rücklaufleitung der Abwärmeauskopplungsanlage wieder zu. Der Kreislauf beginnt dann erneut. An ein derartiges Fern- oder Nahwärmenetz können eine Vielzahl einzelner Verbraucher angeschlossen werden. Hierbei erhält jede Abnahmestelle eine so genannte Übergabestation, in der außer den Wärmemengenzählern (zur Wärmeabrechnung) auch die Druck- und Mengenregelanlagen zur Gewährleistung der Netzfunktionen enthalten sind.

Je nach den Gebäudeverhältnissen und Erfordernissen können Fern- und Nahwärmeleitungen sowohl oberirdisch als auch unterirdisch verlegt werden. Hierbei ist die oberirdische Verlegung im Regelfall kostengünstiger. Fernwärmeleitungen bestehen heute üblicherweise aus einem Mediumrohr aus Stahl und einer werkseitig aufgebrauchten Isolierung aus Polyurethanschaum mit einer Schutzhülle aus Polyethylenrohr. Bei Nahwärmeleitungen ist das Mediumrohr im Nennwertbereich unter DN 100 (Mediumrohrdurchmesser 100 mm) oft aus Kunststoff (PEX-Rohr). Die Nahtstellen werden auf der Baustelle verbunden und dann nachisoliert.

Bild 4.1_1 zeigt ein typisches Grabenprofil für eine erdverlegte Wärmeleitungstrasse. Die Verlegung erfolgt innerorts im Straßen- oder Gehwegbereich unterhalb der dort verlegten Versorgungsleitungen (Kabel, Wasserhausanschlüsse usw.); im Regelfall mit einer Überdeckung von 0,6 bis 0,8 m.

Bei der Auswahl der Leitungstrassen muss berücksichtigt werden, dass neben der Leitungstrasse mindestens eine Fahrspur für die Baufahrzeuge von ca. 2 bis 2,5 m frei bleiben muss. Im Straßenbereich sind auch die Wasser-, Gas- und Abwasserleitungen verlegt. Verfügbare Straßen-Freiräume für die Verlegung der Nahwärmeleitungen können nur in Abstimmung mit den Versorgungsträgern dieser Sparten ermittelt werden.

Mit den Informationen in Bild 4.1_1 können der Wärmetransport und das Wärmeverteilnetz aufgrund von Grundkarten, Stadtplänen usw. für die Grobanalyse konzipiert werden.



DN mm	messer mm
50	140
65	160
80	180
100	225
150	280
200	355
250	450
300	500

Bild 4.1_1:
Grabenprofil Nahwärme-
leitungstrasse

Zur überschlägigen Ermittlung der notwendigen Investitionen in die Leitungssysteme werden für das typische Temperaturniveau der Fern- und Nahwärmesysteme die Investitionskosten je Trassenmeter (VL + RL) in Abhängigkeit der zu übertragenden Wärmeleistung in Bild 4.1_2 angegeben. Diese Kostenangaben sind nur als Anhaltspunkte für erste Grobanalysen gedacht. Bei Verwendung der Zahlen muss berücksichtigt werden, dass die Verlegekosten von einer Vielzahl von Faktoren abhängig sind und nur nach sorgfältiger Planung und Kalkulation belastbar ermittelt werden können. Insofern gelten die Angaben in Bild 4.1_2 nur als erste Anhaltswerte für Grobanalysen. Braun eingetragen sind in Bild 4.1_2 die obere und untere Grenzkurve.

Die obere Kurve gilt für Verlegung in öffentlichen Straßenflächen mit bituminierten Fahrbahndecken, sonstige erschwerte Baubedingungen wie z. B. Querung von Wasserläufen, Bahnstrecken usw. und kurze Trassenlängen. Die untere Kurve gilt für einfache Verlegebedingungen wie z. B. bei Verlegung in Trassen mit unbefestigter Oberfläche oder für oberirdische Verlegung (Freileitungen) und für lange Trassenabschnitte. Zwischen oberer und unterer Kurve ist je nach Einschätzung der örtlichen Verhältnisse im konkreten Anwendungsfall zu interpolieren. In den Kostenangaben sind auch die Aufwendungen für die Übergabestationen beim jeweiligen Wärmekunden enthalten. Den Berechnungen liegt die übliche Anschlussdichte in Stadtgebieten zugrunde.

In Bild 4.1_2 sind auch für überschlägige Kalkulationen die Leitungsnennweiten (Mediumrohr-Leitungsdurchmesser) in Abhängigkeit der zu übertragenden Wärmeleistung angegeben. Zu berücksichtigen ist, dass nennweitenabhängig unterschiedliche Dämmstärken auf die Rohrleitungen aufgebracht werden, so dass der tatsächliche Außendurchmesser deutlich stärker ist als die Nennweite des Mediumrohres. Dies ist bei der Trassenwahl zu berücksichtigen.

Die Auswahl der Nennweite erfolgt anhand der dem aktuellen Betriebspunkt am nächsten liegenden Nennweitenzahl.

Die Tabelle in Bild 4.1_1 zeigt für typische Mediumrohrdurchmesser die Außendurchmesser und die Grabenbreiten.

Die Wärmeversorgung erfolgt üblicherweise durch Einbinden der Fern- oder Nahwärmeleitungen an die Vor- und Rücklaufverteiler der Heizungs- und Brauchwassererwärmungsanlagen der anzuschließenden Objekte. Da die Zentralheizungsanlagen meist vorhanden sind, entstehen somit in der Regel keine Kosten, da der Aufwand für die Rohrleitungseinbindungen in den Kostenangaben in Bild 4.1_2 enthalten ist.

Selbstverständlich muss im Einzelfall geprüft werden, ob diese vereinfachende Betrachtung für die Grobanalyse ausreicht. Detaillierte Angaben sind nur nach einer Ausführungsplanung und Kostenkalkulation möglich.

Nahwärmetrassen Spezifische Baukosten und Rohrnenweiten

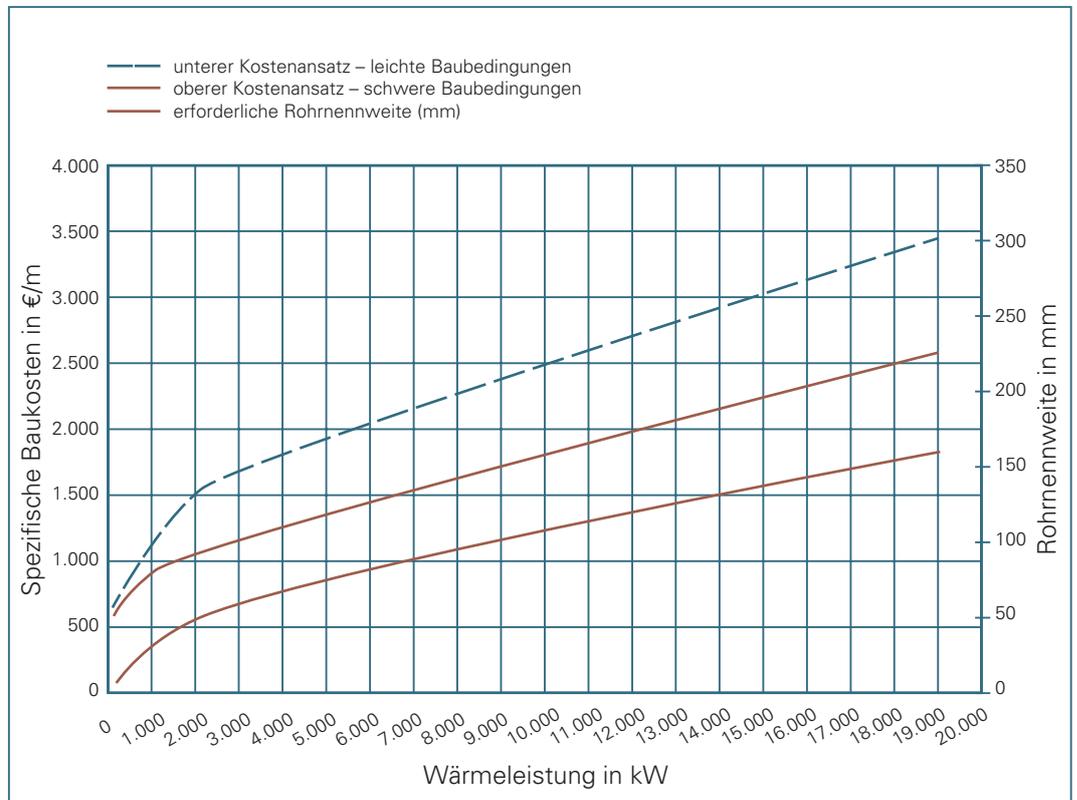


Bild 4.1_2:
Kostenübersicht
Nahwärmeleitungstrassen

4.2 LKW/Bahn – gestütztes Wärmetransportsystem (mobiles Wärmetransportsystem)

Randbedingungen:

- Auskopplung von Abwärme aus den Produktionsprozessen und Wärmeeinspeisung in eine Wärmecontainer-Beladestation auf dem Werksgelände. Hierbei ist sowohl Wärme- wie auch Kältebereitstellung möglich.
- Installation von Wärme-Entladestationen jeweils in Verbrauchernähe zur Entladung der Wärmecontainer und Bereitstellung von Heiz-/ oder Kälteenergie.

Kurzbeschreibung der Anlagen:

Die Abwärmeauskopplungsanlagen werden wie in Kapitel 3 dargestellt installiert.

Anstelle eines Nahwärme- oder Nahkälteverteilnetzes wird aber eine Wärmebeladestation errichtet. Die anfallenden Abwärmemengen werden entsprechend Verfügbarkeit in die Wärmespeichercontainer eingespeist.

Entsprechend dem Wärmebedarf der Wärmekunden werden die Container zu den Entladestationen transportiert (je nach Anforderung LKW- oder Bahntransport).

Beim Wärmekunden wird eine Entladestation installiert. Diese besteht aus dem flexiblen Anschlussystem an die Container, einer Umwälzpumpe, dem Anschluss an das Heiznetzsystem des Kunden und der zugehörigen E-/MSR-Technik. Der Abruf der Transportleistungen erfolgt vollautomatisch über Modem-Anschluss und Datenleitung zum Zentralrechner in der Beladestation.

Die Wärmecontainer sind mobile Latentwärmespeicher, im Regelfall auf Basis von Wärmeträgerölen oder Speichersalzen.

Der gespeicherte Wärmeinhalt je Container beträgt ca. 3 MWh im Heizwärmebereich.

Zur Speicherung wird Heizwasser oder ein technisches Wärmeträgeröl über einen Wärmetauscher an der Beladestation mit Abwärme aufgeheizt und dann durch den mit Speichersalz gefüllten Wärmecontainer gepumpt. Hierbei gibt das Wärmeträgeröl seine Energie an das Salz ab und heizt dieses auf. Speicherung und Entladung der Wärme erfolgt durch das Ausnutzen des physikalischen Effekts beim Schmelzprozess (Zustandsänderung) des Speichersalzes.

Ladeleistung: ca. 1 MW (je Container), d.h. Beladezeit je Container ca. 3 Stunden.

Beim Entladen des Speichers bei Wärmekunden läuft der Prozess umgekehrt ab.

Sofern Kältekunden akquiriert werden können, wird an der Beladestation eine abwärmebeheizte Absorptionskälteanlage errichtet. Die Container werden dann mit kalter Kühlsole befüllt. Die Systemfunktion entspricht ansonsten der vorstehenden Beschreibung der Wärmeversorgungs-Containersysteme. Für Spezialfälle, zum Beispiel zur Luftentfeuchtung, sind auch Sorptionskältecontainer verfügbar, die an Luftkanäle angeschlossen werden können und die dann die durchströmende Luft direkt entfeuchten können.

Die Container sind weitestgehend wartungsfrei, bei einer erwarteten Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren.

Setzt man den Abwärmepreis mit 0 €/MWh an, so ergibt sich für Errichtung und Betrieb des Systems einschl. Transport der Container ein spezifischer Nutzwärmepreis beim Wärmekunden zwischen ca. 35 bis 45 €/MWh bei Entfernung zwischen Beladestation und Endkunden von max. 25 km.

Typische Wärmekunden für ein solches System sind öffentliche Gebäude (Rathäuser, Schulen, Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser usw.) mit einem Wärmeanschlusswert bis ca. $1,5 \text{ MW}_{\text{th}}$. Diese Gebäude können z. B. im Rahmen von Wärmecontractingmaßnahmen an ein solches System angeschlossen werden. Die Voraussetzung für den Aufbau eines wirtschaftlichen Versorgungssystems ist ein im Jahresverlauf möglichst langer und gleichmäßiger Wärmebedarf.

5. Anwendungsbeispiel Mitterteich

Anhand des nachfolgenden Anwendungsbeispiels soll die Vorgehensweise bei der Ermittlung von Abwärmenutzungspotenzialen nach diesem Leitfaden erläutert werden. Die Vorgehensweise entspricht den Ausführungen in Kapitel 2, wobei die Daten für die Berechnungen den Kapiteln 3 und 4 entnommen sind.

Für das Beispiel wurde die Gemeinde Mitterteich ausgewählt. Mitterteich ist eine Industriestadt mit ca. 7.300 Einwohnern und bekannt für seine Porzellan- und Glasproduktion mit ca. 3.000 Arbeitsplätzen im Ort. Mitterteich liegt im Landkreis Tirschenreuth in der Mitte des Stiftlandes, umgeben vom Oberpfälzer Wald, dem Steinwald und dem Fichtelgebirge. Als Sport- und Freizeitstandort verfügt Mitterteich über ein Hallen- und Freibad sowie eine Eissporthalle. Durch die Erschließung zahlreicher neuer Wohngebiete, die Fortführung der Altstadtsanierung und die weitere Verbesserung der Infrastruktur hat sich Mitterteich zu einem Gewerbestandort mit hervorragender Wohnqualität entwickelt. Die mehrgeschossige Bebauung im Stadtzentrum bietet gute Möglichkeiten für den Aufbau eines langfristig wirtschaftlichen Fern-/Nahwärmeversorgungssystems auf Basis von Produktionsabwärme. Die geringere Bebauungsdichte zu den Randbereichen hin erfordert besonders kostengünstige Anlagentechniken, um hier noch einen für die Wärmekunden attraktiven Energiepreis anbieten zu können.

Die Durchführung der Arbeiten zur Analyse des Abwärmenutzungspotenzials erfolgt in Anlehnung an den „Leitfaden Abwärmenutzung“ wie folgt:

5.1 Ermitteln der Standorte von Industriebetrieben im Untersuchungsgebiet (gemäß Ziffer 2.1)

- a) Arbeitsgrundlage:
Stadtübersicht aus Goggle-earth, den topografischen Karten der Landesvermessungsämter (TK 50) bzw. Stadtgrundkarten der Stadtverwaltung.
- b) Feststellen aller Industriebetriebe im Stadtgebiet über Wirtschaftsförderung/IHK usw. und Eintragen in den unter Ziffer a) erstellten Lageplan.

Das Ergebnis ist in Bild 5.1_1 dargestellt (ausschnittsweise).



- Wärmeverbraucher im Stadtzentrum
- Brauerei Hösl
- geschätztes Wärmebedarfs-potenzial:
ca. 1,0 MW
- Fa. Schott
- Abwärmepotenzial:
ca. 15 MW

Bild 5.1_1:
Übersicht industrielle Abwärmequellen und Wärmekunden für das Beispiel Mitterteich „Nutzung der Geobasisdaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung; Geobasisdaten: ©Bayerische Vermessungsverwaltung“

5.2 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmepotenzials

Die ortsansässigen Industriebetriebe müssen angesprochen und hinsichtlich des möglichen Abwärmepotenzials und des möglichen Wärmebezugspotenzials befragt werden. Die Ergebnisse werden anhand von Tabelle 2.2_1 dokumentiert.

Als Beispiel für das gewählte Vorgehen wurde das Ergebnis der befragten Industriebetriebe (auszugsweise) in Tabelle 5.2_1 festgehalten. In gleicher Weise wird bei allen Unternehmen im Untersuchungsgebiet vorgegangen.

Das Ergebnis wird mit Hilfe der Tabellen in Kapitel 3 ausgewertet.

Für das Beispiel wurden die Daten der Firma SCHOTT-Rohrglas GmbH in Mitterteich verwendet.

Die SCHOTT AG ist ein internationaler Technologiekonzern. Hauptmärkte von SCHOTT sind die Branchen Hausgeräteindustrie, Pharmazie, Solarenergie, Elektronik und Optik. Am Standort Mitterteich stellt Schott-Rohrglas u.a. Glasprodukte für die Pharmazie, Solarenergie und Elektronik her. Hauptabwärmelieferant sind diverse in den Produktionshallen vorhandene Glasschmelzwannen, die zugehörigen Nebenaggregate und sonstige Produktionsanlagen. Für eine erste grobe Abschätzung wurden nur die Abwärmemengen aus

- Hallenabluft und
- Abgas der Öfen/Glaswannen usw.

ausgewählt. Die Ansätze wurden anhand erster Vorgespräche mit dem betroffenen Unternehmen für einige Beispielobjekte abgeschätzt, um eine erste Überschlagsrechnung zu ermöglichen.

Ermittlung des Abwärmepotenzials:

Gemäß Tabelle 5.2_1 und 5.2_2 sowie unter Anwendung von Bild 3.1_2b ergibt sich für 250.000 m³/h Abluft bei 100 °C Ablufttemperatur eine Abwärmeleistung von ca. 2 MW_{th}. Für die gesamte Bandbreite der Abluftdaten in Tabelle 5.2_2 ergeben sich je Abwärmequelle die Werte kontinuierlich, im Jahresverlauf wie in Tabelle 5.2_1 dargestellt. D. h., das gesamte Abwärmepotenzial der Abluft beträgt je Abwärmequelle zwischen 1,5 und 7,2 MW_{th} je nach Betriebsbedingungen und installierter Anlagentechnik.

Zusätzlich ist noch die Abgas-Abwärme zu berücksichtigen. Hier ergibt sich gemäß Tabelle 3.3_3b für 60.000 m³/h bei 500 °C eine potenzielle Abwärmeleistung von ca. 10 MW_{th}.

Als Gesamtabwärmeleistung werden als Mittelwert 12,5 MW_{th} abgeschätzt. Diese Leistung steht ganzjährig zur Verfügung, da im Tagesverlauf immer eine ausreichende Anzahl an Produktionsanlagen gleichzeitig betrieben wird.

Ablufttemperatur	100 °C	200 °C
Abluftmenge	potenzielle Abwärmeleistung	
150.000 m ³ /h	1,5 MW _{th}	4,2 MW _{th}
250.000 m ³ /h	1,7 MW _{th}	7,2 MW _{th}

*Tabelle 5.2_1:
Auswertung der Abluft-
Abwärmeleistungen zur
Datenerfassungstabelle
5.2_2 (SCHOTT-Rohrglas)*

Kommune: <i>Verbandsgemeinde Mitterteich</i>	Amt für:	Bearbeiter:
	Datum:	Tel.:
		Fax:

Abwärmepotenzialumfrage

Firma: <i>SCHOTT-Rohrglas GmbH</i>	Datum: <i>17.11.2006</i>	Ansprechpartner: <i>Dr. Seeliger</i>
Straße: <i>Erich Schott Str. 14</i>		Tel.:
PLZ/Ort: <i>95666 Mitterteich</i>		Fax:

1. Produktionsschwerpunkt/Produkte:

- *Glasherstellung*

-

-

<p>2. Eingesetzte Energie</p> <p>2.1 Elektrischer Strom</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2 Brennstoffe</p> <p>2.2.1 Erdgas</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.2 Heizöl</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.4 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p>	<p>Bemerkungen:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>Da die Abwärmequellen einzeln angegeben werden, erübrigen sich die Angaben zu den eingesetzten Energiemengen</p> </div>
---	---

3. Vorhandene, extern nutzbare Abwärmemengen

<p>3.1 Abluft</p> <p>- Abluftmenge <u>150.000 bis 250.000</u> m³/h</p> <p>- Ablufttemperatur <u>80 bis 150</u> °C</p>	<p>6 verschiedene Abluftquellen mit je den angegebenen Daten</p>
<p>3.2 Abwasser</p> <p>- Abwassermenge _____ m³/h</p> <p>- Abwassertemperatur <u>25</u> °C</p>	<p>entfällt, Abwassertemperatur zu niedrig</p>
<p>3.3 Abgas</p> <p>- Abgasmenge <u>60.000</u> m³/h</p> <p>- Abgastemperatur <u><1.000</u> °C</p>	<p>6 verschiedene Abgasquellen mit je den angegebenen Daten</p>
<p>3.4 Kühlwasser</p> <p>- Kühlwassermenge _____ m³/h</p> <p>- Kühlwasser-VL-Temperatur _____ °C</p> <p>- Kühlwasser-RL-Temperatur _____ °C</p>	<p>nur nach Anlagenumstellung nutzbar, daher hier zunächst ohne Betrachtung</p>
<p>3.5 Sonstige Abwärmemengen</p> <p>- Medium _____</p> <p>- Menge/Leistung _____</p> <p>- Temperatur _____</p> <p>- _____</p>	<p>nur nach Anlagenumstellung nutzbar, daher hier zunächst ohne Betrachtung</p>

Tabelle 5.2_2: Ergebnis Abwärmequellen-Umfrage – Beispiel Mitterteich (auszugsweise)

5.3 Ermittlung/Abschätzung des Abwärmenutzungspotenzials

Vorgehen wie unter Ziffer 2.3 beschrieben.

Anhand der Befragung ist das Potenzial der größeren Heizwärmeverbraucher (Abwärmekunden) im Stadtgebiet zu ermitteln. Eine Übersicht über die räumliche Lage der Abwärmekunden wurde in Bild 5.1_1 eingetragen (auszugsweise für Beispiel).

Ein Beispiel (auszugsweise) für die Dokumentation der Umfrageergebnisse ist in Tabelle 5.3_1 dargestellt. Die Tabelle wurde auf Basis der Tabelle 2.3_2 anhand einer Umfrage bei den potenziellen Wärmekunden erstellt. Für das Beispiel ausgewählt wurden die Angaben der Brauerei Hösl.

In der 1906 gegründeten Brauerei Hösl werden jährlich - mit 18 Mitarbeitern - 6.000 hl unter- und obergärige Bierspezialitäten unterschiedlicher Sorten hergestellt. Das Liefergebiet der Brauerei erstreckt sich über die Oberpfalz, Oberfranken, Sachsen und Thüringen. Der zur Bierproduktion erforderliche Energieaufwand beträgt anhand einer ersten groben Abschätzung:

- Jahres-Wärmebedarf: 2.113.000 kWh/a
- Wärmeleistungsbedarf
 - a) Montag bis Freitag: Chargenverlauf, Spitzenlast bis 1.000 kW
 - b) Wochenende: Kleinlastbetrieb zwischen 50 und 450 kW Wärmebedarf, je nach Jahreszeit, bei Produktion am Wochenende bis 1.000 kW

Die Wärme wird als Dampf mit einem Dampfdruck von 1,0 bar (120 °C) und als Heißwasser bis 95 °C benötigt.

- Kältebedarf: 100 kW
- Kältemitteltemperatur: -5 °C

Als Kältemittel wird Ammoniak verwendet.

Bei Umstellung auf Absorptionskälteerzeugung ergibt sich hierfür ein Wärmeanschlusswert von ca. 238 kW.

Tabelle 5.3_1 enthält als Beispiel für die Ergebnisdokumentation der Umfragen die Angaben der Firma Hösl in der hier benötigten Form.

Kommune: Verbandsgemeinde Mitterteich	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax:
	Datum:	

Abwärmenutzungsmöglichkeiten Potenzialumfrage

Firma: Hösl Brauhaus GmbH	Datum:	Ansprechpartner: H. Hösl
Straße: Bahnhofstr. 1		Tel.:
PLZ/Ort: 95666 Mitterteich		Fax:

1. Produktionsschwerpunkt/Produkte/Geschäftszweck/Gebäudetyp:

- Getränkeherstellungsbetrieb/Brauerei

-

-

<p>2. Eingesetzte Wärmeenergie</p> <p>2.1 Elektrische Wärmeenergie (z.B. Elektrospeicherheizung)</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2 Brennstoffe</p> <p>2.2.1 Erdgas</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.2 Heizöl</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p>	<p>Bemerkungen:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Da die extern lieferbare Nutzwärmebedarfsmengen angegeben wurden, erübrigen sich die Angaben zu den eingesetzten Energiemengen</p> </div>
--	---

<p>3. Vorhandene, extern lieferbare Nutzwärmebedarfsmengen</p> <p>3.1 Heizwasser</p> <p>- Wärmeleistung _____ kW</p> <p>- Jahreswärmemenge _____ kWh/a</p> <p>- erforderliche Vorlauftemperatur _____ °C</p> <p>- erforderliche Rücklauftemperatur _____ °C</p> <p>- Heiznetzdruck _____ bar</p> <p>3.2 Brauch-Warm-Wasser</p> <p>- Brauchwasserbedarf stündlich _____ m³/h</p> <p>- Jahres-Brauchwasserbedarf _____ m³/a</p> <p>3.3 Kühlung</p> <p>- Kühlleistung <u>100</u> kW</p> <p>- Jahreskühlenergiebedarf <u>300.000</u> kWh/a</p> <p>- erforderliche Vorlauftemperatur <u>-5</u> °C</p> <p>- erforderliche Rücklauftemperatur _____ °C</p> <p>- Kühlmedium <u>Ammoniak</u></p> <p>3.4 Sonstiges</p> <p>- Heißdampf <u>2.113.000</u> kWh/a</p> <p>- erforderliche Temperatur <u>120</u> °C</p> <p>- erforderlicher Druck <u>1</u> bar</p> <p>- Wärmeleistung <u>1.000</u> kW</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>in Ziff. 3.4 enthalten</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>in Ziff. 3.4 enthalten</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>Kompressionskältemaschinen im Einsatz, Alternativerzeugung der Kälte bei Absorptionskältemaschinen möglich</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 20px;"> <p>Dampferzeugung über bivalent erdgas-/heizölbefeuerten Dampfkessel</p> </div>
---	--

Tabelle 5.3_1:
Ergebnis der Wärmekunden-Umfrage – Beispiel Mitterteich (auszugsweise)

Im Zusammenhang mit den Arbeiten im Kapitel 5.4 sind im Trassenverlauf der potenziellen Fernwärmetrasse zur Abwärmenutzung noch die Gebäudeobjekte mit erfasst worden, die im Trassenverlauf potenziell mit angeschlossen werden können. Anhand einer Ortsbegehung und anhand der Darstellungen im Stadtplan werden hier 15 Wohn-/Bürogebäude mit erfasst. Die Gebäude sind jeweils mit 2 bis 5 Etagen errichtet; je Geschoss zwischen 2 und 4 Einheiten mit je ca. 80 bis 100 m² Nutzfläche. Gemäß Tabelle 2.3_2 ergeben sich dafür überschlägig folgende Heizwärmeansätze.

Tabelle 5.3_2:
Leistungsdaten der potenziellen Wärmekunden im Trassenverlauf

Anzahl der Objekte	Anzahl der Etagen	Nutzfläche je Einheit	spezifischer Wärmebedarf	Gesamt-Wärmeleistungsbedarf	Vollbetriebsstunden per anno	Jahres-Wärmebedarf
Stück	Stück	m ²	W/m ²	kW	h/a	kWh/a
15	4	85	80	408	1.600	652.800

Damit ergeben sich die überschlägigen Nutzwärmeanschlussdaten an dem konzipierten Fernwärmestrang zwischen SCHOTT-Rohrglas und der Brauerei Hösl einschließlich der im Trassenverlauf potenziell anschließbaren Wohnbebauung zu:

	1.000	kW	(Tabelle 5.3-1, Ziff. 3.4)
	408	kW	(Tabelle 5.3-2)
	238	kW	(S. 46 – Wärmebedarf Absorptionskälteanlage)
<hr/>			
■ Summe Wärmeanschlussleistung:	1.646	kW	
■ Jahres-Nutzwärmearbeit:			
Produktionswärme:	2.113.000	kWh/a	
Wärme zur Kälteproduktion:	714.000	kWh/a	
Heizwärmeversorgung:	652.800	kWh/a	
<hr/>			
Summe Nutzwärmearbeit:	3.479.800	kWh/a	

Bedingt durch den ganzjährigen Kältebedarf der Brauerei muss der Wärmebedarf zur Kälteproduktion hier bei der Auslegung der Nahwärmeleitungstrasse mit berücksichtigt werden. Ebenso sind in diesem Sonderfall keine Aufwendungen für Reservekesselanlagen erforderlich, da durch die speziellen Randbedingungen der Abwärmenutzungsanlagen und vorhandene Heizkesselanlagen eine ausreichende Reserve vorhanden ist.

5.4 Ermittlung/Abschätzung der Abwärmegewinnungs- und Wärmetransport-aufwendungen

Die Bestimmung der Daten erfolgt in Anlehnung an Kapitel 2.4:

- a) Auswertung der Abwärmebereitstellungs- und Wärmenutzungsfragebögen
Im ersten Schritt werden die unter den Ziffern 5.2 und 5.3 ermittelten Daten in den unter Ziffer 5.1 erstellten Lageplan eingetragen.
- b) Entwicklung/Planung der Abwärmeauskopplungstechnik in den Industriebetrieben
Im vorliegenden Fall würde die Abwärme überwiegend aus Abgas von Produktionsanlagen und aus Hallenabluft gewonnen werden. Die Vorgaben für die Auskopplungstechnik werden in diesem Schritt mit den Industriebetrieben abgestimmt bzw. von diesen vorgegeben. Das grundsätzliche Funktionsschema der Abwärmeauskopplung entspricht den Bildern 3.1_1 und 3.3_1.
- c) In diesem Schritt wird entschieden, wie die Abwärmeenergie zu den Abwärmekunden gelangen soll.
 - Nahegelegene Abwärmekunden werden leitungsgebunden angeschlossen. Wenn an der Leitungstrasse viele Abnehmer (z. B. Wohngebäude) potenziell anschließbar sind und am Leitungsende ein großer potenzieller Abwärmekunde anschließbar ist, kann eine solche Leitungstrasse auch über mehrere Kilometer Länge wirtschaftlich verlegt werden oder
 - entfernt liegende Abwärmekunden bis 25 km (Radius) werden über mobile Wärmecontainer angeschlossen.

Im vorliegenden Beispiel wird ein Fernwärmeleitungsstrang auf Basis

- VL-Temperatur: 160 °C
- RL-Temperatur: 50 °C

ausgewählt. Als Leitungsnennweite wird in Anlehnung an Bild 4.1_2 die Nennweite DN 100 gewählt, da bei der hier vorliegenden höheren Temperaturdifferenz auch etwas kleinere Leitungsnennweiten möglich sind. Damit ergibt sich gemäß Bild 4.1_1 eine Grabenbreite von 1,4 m.

Die in den Lageplan (Bild 5.1_1) eingetragenen Abwärmequellen und Abwärmekunden werden mit Leitungstrassen verbunden, die so gewählt werden, dass zum einen ein möglichst kurzer Weg gefunden wird, zum anderen aber möglichst viele Wärmekunden über diese Trasse versorgt werden können. Dieser Schritt erfordert eine gewisse Erfahrung und muss unter Umständen mehrmals wiederholt werden, bis die wirtschaftlichste Trassenführung gefunden wurde. Hierbei kann sich bei größeren Gebieten ein strahlenförmiges oder auch ein vermaschtes Netz von Leitungstrassen ergeben. Die weiteren Arbeitsschritte werden für jeden Netzzweig getrennt durchgeführt. Bei vermaschten Leitungsnetzen ist eine EDV-gestützte Berechnung erforderlich. Da von diesem und den nachfolgenden Arbeitsschritten die Gesamtwirtschaftlichkeit der Wärmeauskopplung entscheidend abhängt, empfiehlt es sich gegebenenfalls, hierfür ein Fachbüro einzuschalten. Dieses ermittelt dann auf Basis der unter den Ziffern 5.1 bis 5.3 ermittelten Daten die optimale Anlagentechnik, die Kosten/Jahreskosten, den potenziellen Abwärmeenergiepreis und vergleicht diesen mit den aktuellen Versorgungspreisen. Aus dem Ergebnis zeigt sich dann die mögliche Wirtschaftlichkeit, wenn die Abwärmekundenenergie preiswerter zu Verfügung gestellt werden kann als die Nutzenergie mit den vorhandenen Anlagen bereitgestellt wird.

- d) Entwicklung/Planung der Wärmeübergabetechnik beim Wärmekunden
Jeder Wärmekunde erhält einen Anschluss an Vor- und Rücklaufleitung der Fernwärmetrasse. In jedem Objekt wird (z. B. in einem zugänglichen Kellerraum) eine Übergabestation installiert, an die sekundärseitig die Vor- und Rücklaufverteiler der vorhandenen Heizungsanlage angeschlossen werden. Die vorhandenen Heizkessel werden abgeschaltet. Die Kosten für diese Anschlüsse sind in den spezifischen Trassenkostangaben für durchschnittliche Anschlussdichten in Bild 4.1_2 enthalten.
- e) Entwicklung eines Betriebskonzeptes für die Wärmeauskopplungsanlagen
Für die hier durchzuführenden Kalkulationen wird davon ausgegangen, dass Installation und Betrieb der Wärmeauskopplungsanlagen vom abwärmebereitstellenden Industriebetrieb (hier: Schott) durchgeführt und betrieben wird. Das Fernwärmenetz würde im Realisierungsfall des hier als Beispiel gewählten Wärmenetzteils durch die Verbandsgemeinde Mitterteich errichtet und betrieben, die den Bürgern auch andere Medien (z. B. Wasserversorgung, Abwasserentsorgung) zur Verfügung stellt. Auf der Wärmenutzerseite ergeben sich im Realisierungsfall eher Aufwandsreduzierungen bei der Betriebsführung, da die vorhandenen Wärmeerzeuger nicht mehr genutzt werden müssen. Die Abrechnung mit den Wärmekunden und den Abwärmelieferanten erfolgt anhand von Wärmemengengeräten durch die Verbandsgemeinde. Ansätze für eine eigene Betriebsgesellschaft und zusätzliches Personal sind auf Basis dieses organisatorischen Konzeptes in den nachfolgenden Berechnungen nicht erforderlich.
- f) Abschätzung der erforderlichen Investitionen für die benötigte Anlagentechnik
Für die Vertragslaufzeit wird davon ausgegangen, dass zwischen den Beteiligten ein Mindestvertragszeitraum von 15 Jahren vereinbart wird. Unabhängig von der tatsächlichen Abschreibungszeit der Komponenten (die meist länger ist, siehe hierzu AFA-Sätze des Bundesfinanzministeriums) wird für die Berechnung der Annuität die vorgesehene Vertragslaufzeit zugrunde gelegt.

Abschätzung der Investitionen wie folgt:

- Investitionen für die Abluftwärmenutzungsanlagen:
Abschätzung gemäß Kapitel 3.1. Da genügend Abgasabwärme zur Verfügung steht, wird die Abluftabwärme im vorliegenden Fall noch nicht zur Nutzung angesetzt. Dies erfolgt dann erst bei Erweiterungen der Abwärmeeinlagenleistung.
- Investitionen für die Abgaswärmenutzungsanlagen:
Abschätzung gemäß Kapitel 3.3; spezifischer Ansatz für geringeren Schwierigkeitsgrad und hohe Temperaturdifferenz, für eine Einzelanlage ohne zusätzliche Abgasventilatoren für die Abwärmesysteme: 150 €/kW, Anlagenleistung 1.500 kW. Damit ergibt sich ein Gesamtinvestitionsvolumen für die Abgaswärmenutzungsanlagen in Höhe von 225.000 €. Hier hinzu kommt noch ein Verrohrungsaufwand auf dem Werksgelände für die Heizleitungen mit ca. 200 Trassenmetern Freileitung mit einem spezifischen Verlegpreis von ca. 500 €/m in Höhe von 100.000 €.

- Investitionen für das Fernwärmesystem:
Gemäß Kapitel 4.1, Bild 4.1_2 wird für die hier zu übertragende Wärmeleistung von 1.646 kW und für Verlegung im Stadtgebiet für die hier erforderlichen vorisolierten Hochtemperatur-FW-Rohre (HTA-KMR) ein spezifischer Verlegepreis von ca. 750 €/m abgeschätzt. Die Trassenlänge beträgt einschließlich der werksinternen Verbindungsleitungen der Abwärmequellen ca. 821 m.
Damit ergibt sich ein Gesamtinvestitionsvolumen für das Fernwärmesystem von 615.750 €.
- Investitionen für Reservekesselanlagen ergeben sich in diesem Beispiel aufgrund der vorhandenen Situation (siehe S. 48) nicht.
- Annuitätsfaktor gemäß Tabelle 2.4_2 für 15 Jahre Abschreibungszeit und 6 % Zinsen = 0,1030.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.4_1 nachfolgend eingetragen.

Kommune: <i>Verbandsgemeinde Mitterteich</i>	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax: Datum:
Abwärmennutzungsvariante: <i>Abwärmennutzung: SCHOTT-Rohrglas, Variante I, Strang 1</i>		
Investitionen alle Angaben €, netto		
1 Abwärmennutzungsanlagen		
- Kühlwasser-Abwärmennutzungsanlage	+ _____ €	
- Abwasser-Abwärmennutzungsanlage	+ _____ €	
- Abgas-Abwärmennutzungsanlage	+ <u>325.000</u> €	
- Abluft-Abwärmennutzungsanlage	+ <u>0</u> €	
Summe Abwärmennutzungsanlagen	= \longrightarrow	+ <u>325.000</u> €
2 Abwärmetransportsystem (Wärmetransportleitungsstrasse)		
- Strang 1	+ <u>615.750</u> €	
- Strang 2	+ _____ €	
- Strang 3	+ _____ €	
- Strang 4	+ _____ €	
Summe Abwärmetransportsystem	= \longrightarrow	+ <u>615.750</u> €
3 Abwärmeverteilungsnetz / Nahwärmennetz		
- Strang 1	+ _____ €	
- Strang 2	+ _____ €	
- Strang 3	+ _____ €	
- Strang ...	+ _____ €	
Summe Abwärmeverteilnetz	= \longrightarrow	+ <u>enthalten</u> €
4 Abwärme-Übergabestationen und Systemeinbindungen in die vorhandenen Systeme der Abwärmennutzer		
- Anschluss 1	+ _____ €	
- Anschluss 2	+ _____ €	
- Anschluss 3	+ _____ €	
- Anschluss ...	+ _____ €	
Summe Abwärme-Übergabestationen	= \longrightarrow	+ <u>enthalten</u> €
5 Summe Investitionen	=	= <u>940.750</u> €
6 Annuitätsfaktor	*	* <u>0,103</u>
7 Kapitalkosten	=	= <u>96.897</u> €/a

Tabelle 5.4_1:
Investitionen und Kapitalkosten – Beispiel Mitterteich (auszugsweise)

5.5 Abschätzung der ökonomischen Rahmenbedingungen – Beispiel Mitterteich

Gemäß Kapitel 2.5 erfolgt hier die überschlägige Überprüfung der Wirtschaftlichkeit des im Beispiel konzipierten Abwärmenutzungsprojektes. Auf Basis des Ergebnisses dieser Überschlagsrechnung soll geprüft werden, ob ein grundsätzlicher Vorteil durch diese Abwärmenutzungsmaßnahme für die Beteiligten zu erwarten ist. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.5_1 nachfolgend festgehalten.

Daraus ergibt sich die Berechnung der einzelnen Werte wie folgt:

1. Kapitalkosten

Übernommen aus Tabelle 5.4_1: Investitionen und Kapitalkosten für das angenommene Beispiel

2. Verbrauchsgebundene Kosten

2.1 Strom-Leistungspreiskosten:

Entfallen in diesem Fall, da davon ausgegangen wird, dass für den aktuellen im Beispiel berechneten Fall vom Energieversorgungsunternehmen kein separater Leistungspreis erhoben wird.

2.2 Strom-Arbeitspreiskosten:

a) Abluftventilatoren:

entfällt, da Abluftabwärme erst zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden soll.

b) Abgasventilatoren:

Der Mehrstrombedarf der vorhandenen Abgasventilatoren kann für diese Grobuntersuchung vernachlässigt werden, da bei der vorhandenen Abgasmenge von ca. 60.000 m³/h und der hohen Abgastemperatur von ca. 1.000 °C nur ein kleiner Wärmetauscher mit geringem Druckverlust für die Auskopplung von 1.500 kW Abwärmeleistung benötigt wird.

c) Pumpstrom für das Nahwärmenetz:

Kann hier vor dem Hintergrund der Gesamtgenauigkeit der Abschätzung vernachlässigt werden.

3. Betriebsgebundene Kosten

3.1 Wartung-/Instandhaltung:

Gemäß Kapitel 3.1 und 3.3 werden 2,5 % der Investitionen (Tabelle 5.4_1) für die jährlichen Wartungs- und Instandhaltungskosten angesetzt.

3.2 Personalkosten:

Es fallen keine zusätzlichen Personalkosten an.

3.3 Verwaltung/Versicherung:

Gemäß Kapitel 3.1 und 3.3 werden 1 % der Investitionen für die jährlichen Verwaltungs- und Versicherungskosten angesetzt. Da die vorhandenen Ressourcen der beteiligten Unternehmen genutzt werden, reicht hier ein Ansatz im unteren Bereich der möglichen Spanne.

Kommune: <i>Verbandsgemeinde Mitterteich</i>	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax: Datum:
Abwärmennutzungsvariante: <i>Abwärmennutzung: Schott Rohrglas, Variante I, Strang 1</i>		
Jahreskostenberechnung Abwärmennutzungssystem		
1 Kapitalkosten (aus Tabelle 2.4-1)	→	+ <u>96.897</u> €/a
2 Verbrauchsgebundene Kosten		
2.1 Strom-Leistungspriestkosten	+	<u>0</u> €/a
2.2 Strom-Arbeitspreiskosten	+	<u>0</u> €/a
2.3 Hilfsstoffe	+	<u> </u> €/a
2.4	+	<u> </u> €/a
2.5	+	<u> </u> €/a
2.6	+	<u> </u> €/a
2 Summe Verbrauchsgebundene Kosten	= →	+ <u>0</u> €/a
3 Betriebsgebundene Kosten		
3.1 Wartung-/Instandhaltung	+	<u>23.519</u> €/a
3.2 Personalkosten	+	<u>0</u> €/a
3.3 Verwaltung/Versicherung	+	<u>9.408</u> €/a
3 Summe Betriebsgebundene Kosten	= →	+ <u>32.926</u> €/a
4 Summe Jahreskosten	=	<u>129.824</u> €/a
5 jährliche Nutzwärmelieferung (aus Abwärme)	/	<u>3.479.800</u> kWh/a
6 Spezifische Nutzwärmegestehungskosten	=	<u>0,037</u> €/kWh
7 Spezifische Nutzwärmegestehungskosten der vorhandenen Anlagen auf Basis Öl-/Erdgasfeuerung	-	<u>0,053</u> €/kWh
8 Spezifischer Kostenvorteil Abwärmennutzung	=	<u>0,016</u> €/kWh
9 Gesamt-Jahreskostenvorteil Abwärmennutzung	=	<u>54.606</u> €/a

Tabelle 5.5_1:
Jahreskostenberechnung
des Abwärmennutzungs-
systems – Beispiel Mitterteich

Das in Tabelle 5.5_1 festgehaltene Ergebnis der überschlägigen Jahreskostenberechnung und der Vergleich mit den aktuellen Wärmegestehungskosten auf Heizölbasis zeigt einen möglichen Jahresüberschuss gegenüber der aktuellen Versorgungssituation von 54.606 €/a. Die gesamten ersparten Aufwendungen betragen 184.429 €/a ($3.479.800 \text{ kWh/a} \times 0,053 \text{ €/kWh}$). Werden von diesem Betrag die betriebsgebundenen Kosten subtrahiert, resultiert ein Erlös von 151.503 €/a. Das Investitionsvolumen für die Realisierung des Projektes beträgt gemäß den hier durchgeführten Abschätzungen ca. 940.750 €. Es ergibt sich damit für die hier gewählten Daten eine statische Amortisationszeit von ca. 6 Jahren ($940.750 \text{ €} / 151.503 \text{ €/a}$). Diese Amortisationszeit kann durch Anschluss weiterer Wärmekunden im Trassenbereich und z. B. durch den Anschluss der großen Wärmekunden im Stadtzentrum weiter reduziert werden.

Eine Weiterverfolgung des Projektes erscheint im vorliegenden Beispiel lohnenswert, wobei im nächsten Arbeitsschritt die hier getroffenen Pauschalansätze und Schätzungen durch genaue Planungen und Kostenberechnungen konkretisiert werden müssen, um zu belastbaren Kosten- und Wirtschaftlichkeitsprognosen zu kommen. Das hier ermittelte Überschlagergebnis zeigt aber, dass dieser weitere Aufwand gerechtfertigt ist.

5.6 Abschätzung der ökologischen Rahmenbedingungen - Beispiel Mitterteich

Die Berechnung des Emissionseinsparpotenzials erfolgt gemäß Kapitel 2.6. Die Ergebnisse für das Beispiel sind in Tabelle 5.6_1 festgehalten. Die Emissionsfaktoren wurden gemäß den Tabellen 2.6_2 und 2.6_3 für das Beispiel für die Substitution von heizölbefeuerten Heizkesseln gewählt. Die jährlich nutzbare Abwärmemenge wurde für das Beispiel gemäß Tabelle 5.5_1, Ziffer 5 eingesetzt, es entspricht den Berechnungsergebnissen in Kapitel 5.3. Das Ergebnis zeigt, dass gerade bei den Haupt-Luftschadstoffen ein hohes Emissionseinsparpotenzial bei Realisierung des hier vorgeschlagenen Abwärmennutzungsprojektes besteht.

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax:
	Datum:	

Abwärmepotenzialanalyse Berechnung Emissions-Einsparpotenzial

Abwärmennutzungs-Variante:

- Abwärmennutzung: SCHOTT-Rohrglas, Variante I, Strang 1
- Substitution erdgasbefuerter Heizkessel
-

<p>Berechnungsgrundlagen</p> <p>Jährlich nutzbare Abwärmemenge 3.479.800 kWh/a</p> <p>Durchschnittlicher Kesselnutzungsgrad der substituierten Heizkessel 85 %/100</p> <p>Jährlich substituierbare Brennstoffmenge (z. B. gemäß Bild 2.6-1) 4.093.882 kWh/a</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> $3.479.800 \times \frac{85}{100} = 4.093.882$ </div>	<p>Bemerkungen:</p>
---	---------------------

Berechnung Emissionseinsparpotenzial			
SO ₂	0,621	g/kWh	→ = 2.160.956 g/a
NO _x	0,281	g/kWh	→ = 977.824 g/a
HCl	0,001	g/kWh	→ = 3.480 g/a
HF	0	g/kWh	→ = 0 g/a
Staub	0,035	g/kWh	→ = 121.793 g/a
CO	0,218	g/kWh	→ = 758.596 g/a
CO ₂	375,2	g/kWh	→ = 1.305.620.960 g/a

Tabelle 5.6_1:
Jährliches Emissionseinsparpotenzial – Beispiel Mitterteich

6. Muster und Vordrucke

Die in dieser Unterlage in den Kapiteln 2 bis 4 verwendeten Formulare sind nachfolgend noch einmal als Leerformulare eingefügt.

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax:
	Datum:	

Abwärmepotenzialumfrage

Firma:	Datum:	Ansprechpartner:
Straße:		Tel.:
PLZ/Ort:		Fax:

1. Produktionsschwerpunkt/Produkte:

- _____
- _____
- _____

2. Eingesetzte Energie

2.1 Elektrischer Strom

- Max. Leistungsbedarf _____ kW
- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a

2.2 Brennstoffe

2.2.1 Erdgas

- Max. Leistung der Feuerung _____ kW
- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a

2.2.2 Heizöl

- Max. Leistung der Feuerung _____ kW
- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a

2.2.3 Sonstige: _____

- Max. Leistung _____ kW
- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a

Bemerkungen:

(1 l Heizöl = 10 kWh)

3. Vorhandene, extern nutzbare Abwärmemengen

3.1 Abluft

- Abluftmenge _____ m³/h
- Ablufttemperatur _____ °C
- Betriebszeiten _____ h/d - h/mon - h/a

3.2 Abwasser

- Abwassermenge _____ m³/h
- Abwassertemperatur _____ °C

3.3 Abgas

- Abgasmenge _____ m³/h
- Abgastemperatur _____ °C
- Betriebszeiten _____ h/d - h/mon - h/a

3.4 Kühlwasser

- Kühlwassermenge _____ m³/h
- Kühlwasser-VL-Temperatur _____ °C
- Kühlwasser-RL-Temperatur _____ °C
- Betriebszeiten _____ h/d - h/mon - h/a

3.5 Sonstige Abwärmemengen

- Medium _____
- Menge/Leistung _____
- Temperatur _____
- Betriebszeiten _____ h/d - h/mon - h/a
- _____

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax:
	Datum:	

Abwärmenutzungsmöglichkeiten Potenzialumfrage

Firma:	Datum:	Bearbeiter:
Straße:		Tel.:
PLZ/Ort:		Fax:

1. Produktionsschwerpunkt/Produkte/Geschäftszweck/Gebäudetyp

- _____

- _____

- _____

<p>2. Eingesetzte Wärmeenergie</p> <p>2.1 Elektrische Wärmeenergie (z.B. Elektrospeicherheizung)</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2 Brennstoffe</p> <p>2.2.1 Erdgas</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.2 Heizöl</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p> <p>2.2.3 Sonstige: _____</p> <p>- Leistung _____ kW</p> <p>- Jahresverbrauchsmenge _____ kWh/a</p>	<p>Bemerkungen:</p>
--	---------------------

3. Vorhandene, extern lieferbare Nutzwärmebedarfsmengen

3.1 Heizwasser

- Wärmeleistung _____ kW

- Jahreswärmemenge _____ kWh/a

- erforderliche Vorlauftemperatur _____ °C

- erforderliche Rücklauftemperatur _____ °C

- Heiznetzdruck _____ bar

3.2 Brauch-Warm-Wasser

- Brauchwasserbedarf stündlich _____ m³/h

- Jahres-Brauchwasserbedarf _____ m³/a

3.3 Kühlung

- Kühlleistung _____ kW

- Jahreskühlenenergiebedarf _____ kWh/a

- erforderliche Vorlauftemperatur _____ °C

- erforderliche Rücklauftemperatur _____ °C

- Kühlmedium _____

3.4 Sonstiges

- _____

- _____

- _____

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax: Datum:
Abwärmenutzungsvariante:		
Investitionen alle Angaben €, netto		
1 Abwärmenutzungsanlagen		
- Kühlwasser-Abwärmenutzungsanlage	+ _____	€
- Abwasser-Abwärmenutzungsanlage	+ _____	€
- Abgas-Abwärmenutzungsanlage	+ _____	€
- Abluft-Abwärmenutzungsanlage	+ _____	€
Summe Abwärmenutzungsanlagen	= + _____	€
2 Abwärmemtransportsystem (Wärmemtransportsstrasse)		
- Strang 1	+ _____	€
- Strang 2	+ _____	€
- Strang 3	+ _____	€
- Strang 4	+ _____	€
Summe Abwärmemtransportsystem	= + _____	€
3 Abwärmeverteilungsnetz / Nahwärmenetz		
- Strang 1	+ _____	€
- Strang 2	+ _____	€
- Strang 3	+ _____	€
- Strang ...	+ _____	€
Summe Abwärmeverteilnetz =	= + _____	€
4 Abwärme-Übergabestationen und Systemeinbindungen in die vorhandenen Systeme der Abwärmenutzer		
- Anschluss 1	+ _____	€
- Anschluss 2	+ _____	€
- Anschluss 3	+ _____	€
- Anschluss ...	+ _____	€
Summe Abwärme-Übergabestationen	= + _____	€
5 Summe Investitionen	=	= _____ €
6 Annuitätsfaktor	*	*
7 Kapitalkosten	=	= _____ €/a

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter: Tel.: Fax: Datum:
Abwärmenutzungsvariante:		
Jahreskostenberechnung Abwärmenutzungssystem		
1 Kapitalkosten (aus Tabelle 2.4-1)	→	+ _____ €/a
2 Verbrauchsgebundene Kosten		
2.1 Strom-Leistungspreiskosten	+ _____	€/a
2.2 Strom-Arbeitspreiskosten	+ _____	€/a
2.3 Hilfsstoffe	+ _____	€/a
2.4	+ _____	€/a
2.5	+ _____	€/a
2.6	+ _____	€/a
2 Summe Verbrauchsgebundene Kosten	= →	+ _____ €/a
3 Betriebsgebundene Kosten		
3.1 Wartung-/Instandhaltung	+ _____	€/a
3.2 Personalkosten	+ _____	€/a
3.3 Verwaltung/Versicherung	+ _____	€/a
3 Summe Betriebsgebundene Kosten	= →	+ _____ €/a
4 Summe Jahreskosten		= _____ €/a
5 jährliche Nutzwärmelieferung (aus Abwärme)		/ _____ kWh/a
6 Spezifische Nutzwärmegestehungskosten		= _____ €/kWh
7 Spezifische Nutzwärmegestehungskosten der vorhandenen Anlagen auf Basis Öl-/Erdgasfeuerung		- _____ €/kWh
8 Spezifischer Kostenvorteil Abwärmenutzung		= _____ €/kWh
9 Gesamt-Jahreskostenvorteil Abwärmenutzung		= _____ €/a

Kommune:	Amt für:	Bearbeiter:
	Datum:	
		Fax:

**Abwärmepotenzialanalyse
Berechnung Emissions-Einsparpotenzial**

Abwärmennutzungs-Variante:

- _____

- _____

- _____

<p>Berechnungsgrundlagen</p> <p>Jährlich nutzbare Abwärmemenge <input type="text"/> kWh/a</p> <p>Durchschnittlicher Kesselnutzungsgrad der substituierten Heizkessel <input type="text"/> %/100</p> <p>Jährlich substituierbare Brennstoffmenge (z. B. gemäß Bild 2.6-1) <input type="text"/> kWh/a</p>	<p>Bemerkungen:</p>
--	---------------------

Berechnung Emissionseinsparpotenzial

SO ₂	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
NO _x	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
HCl	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
HF	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
Staub	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
CO	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a
CO ₂	<input type="text"/>	g/kWh	→	=	<input type="text"/>	g/a

7. Literaturhinweise

Um den Nutzern dieser Unterlage einen tieferen Einstieg in die Gesamtthematik zu ermöglichen, werden nachfolgend einige erste Hinweise zu aktuellen Veröffentlichungen und Internetseiten gegeben.

Internetquellen:

- www.bayern.de/lfu/startseite/index.html Aktuelle Informationen
Publikationen
- www.tsb-energie.de Projektbeispiele
Veranstaltungshinweise
Schulungen
- www.kwk-buch.de Projektbeispiele
Weiterführende Literatur
Herstellerverzeichnisse

Literaturquellen:

Bauer, Michael
Methode zur Berechnung und Bewertung des Energieaufwandes für die Nutzenübergabe bei Warmwasserheizungen
(Institut für Gebäudeenergetik), 1999, ISBN 3-9805218-2-6

Belaschk, Hendrik
Quick-EnEV expert 1.0
Berechnung des Energiebedarfs für baulichen Wärmeschutz und Anlagentechnik und Nachweis des Feuchteschutzes
Verlag Ernst, Wilhelm & Sohn, 2002, ISBN 3-433-01657-7

Burkhardt, Wolfgang; Kraus, Roland; Ziegler, Franz J.
Projektierung von Warmwasserheizungen
Oldenbourg Industrieverlag, 2006, ISBN 3-8356-3092-5

Friedemann, Zacharias
Entwicklung eines modularen Nahwärmesystems auf der Basis verbrennungsmotorangetriebener Großwärmepumpen. Schlussbericht.
Fraunhofer IRB Verlag, 1988

Hakansson, Knut; Meyer-Clasen, Bernd
Handbuch der Fernwärmepraxis
Vulkan Verlag, Neuaufl. 1995, ISBN 978-3-8027-2514-2

Koengeter, Bernd
Fernwärmekonzepte
Fraunhofer IRB Verlag, 1998, ISBN 3-8167-3096-5

Kreuzberg, Joachim; Wien, Joachim
Handbuch der Heizkostenabrechnung
Abrechnung nach Heizkostenverordnung und im Contracting nach AVB Fernwärme, Mes-
sung von Wasser- und Kältelieferung
Werner Verlag, 2005, ISBN: 3-8041-5160-4

Kugeler, Kurt; Phlippen, Peter W.
Energietechnik. Technische, ökonomische und ökologische Grundlagen.
Springer Verlag GmbH, 2006, ISBN 3-540-43438-0

Middel, Matthias M.; Pickhardt, Roland; Eifert, Helmut
Bauphysik nach Maß
Wärmeschutz und Energieeinsparung - Feuchteschutz
Vbt Verlag Bau + Technik, 2003, ISBN 3-7640-0434-7

Recknagel, Sprenger, Schramek
Taschenbuch für Heizung- und Klimatechnik 2007/2008
Oldenbourg Industieverlag, 2006, ISBN 3-8356-3104-5

Richter, Wolfgang
Bewertung von kostengünstigen anlagentechnischen Energiesparmaßnahmen im
Gebäudebestand. Abschlussbericht.
Fraunhofer IRB Verlag, 1999, ISBN 3-8167-4825-2

Schäfer, Norbert
Fernwärmeversorgung. Hausanlagentechnik in Theorie und Praxis.
Springer Verlag, 2007, ISBN 3-540-67755-0

Schmitz, Karl W.; Schaumann, Gunter
Kraft-Wärme-Kopplung
Springer Verlag, 2004, ISBN 3-540-20903-4

Tech, Thomas; Bodden, Peter; Albert, Jörg
Rationelle Energienutzung im Holzbe- und verarbeitenden Gewerbe
Leitfaden für die betriebliche Praxis
Vieweg und Teubner Verlag, 2003, ISBN 3-528-05862-5

Tippkötter, Rainer; Schüwer, Dietmar
Rationelle Energienutzung in Krankenhäusern
Leitfaden für Verwaltung und Betriebstechnik
Vieweg Verlag, 2003, ISBN 3-528-05871-4

Transferstelle Bingen (Hrsg.)
Rationelle und Regenerative Energienutzung – Energiemanagement von der Konzeption
bis zur Umsetzung
Verlag C. F. Müller, 2006, ISBN 3-7880-7794-5

Volland, Karlheinz; Volland, Johannes
Wärmeschutz und Energiebedarf nach EnEV 2006
Müller Rudolf Verlag, 2006, ISBN 3-4810-2243-3

Wagner, Ulrich
Wettbewerbsfähig durch effizienten Energieeinsatz
Tagungsband zum Fachseminar am 2./3. Mai 1996 im Kurzentrum Schliersee
Verlag Energie & Management, 1997, ISBN 3-9804559-9-8

Weber, Lukas
Energie in Bürogebäuden
Verbrauch und energierelevante Entscheidungen
vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2002, ISBN 3-7281-2819-8

Weeber, Hannes; Rees, Michael
Kostenfaktor Erschließungsanlagen.
Bauforschung für die Praxis
Fraunhofer IRB Verlag, 1999, ISBN 3-8167-4249-4

Wehnert, Timon; Jörss, Wolfram; Kreibich, Rolf
Telematik im kommunalen Energiemanagement. Strategien zur Erschließung von Energie- und Kostenreduktionspotenzialen
Peter Lang Verlag, 2004, ISBN 3-631-51847-1

Werner, Hans
Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs. Kommentar zu
DIN V 4108-6:2003-06
Beuth Verlag, 2004, ISBN 3-410-15653-4

Werner, Hans
Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Kommentar zu DIN 4108-2:2003-07
Beuth Verlag, 2004, ISBN 3-410-15763-8

Zehentmayer Software
Trendanalyse 1994-1997: Salzburger WBF-Energiepunkteförderung
Energieverwertungsagentur, 1997, ISBN 3-901381-47-3

8. Veröffentlichungen und Beispielprojekte

Die nachfolgenden Beispiele geben einen Einblick in das Gebiet der regenerativen Energienutzung. Im vorliegenden Fall sollen damit erste Hinweise und Ideen zum Themenkreis Wärmerückgewinnung und Abwärmennutzung vermittelt werden. Weitere Beispiele sind enthalten in: „Rationelle und Regenerative Energienutzung – Energiemanagement von der Konzeption bis zur Umsetzung“; Transferstelle Bingen (Hrsg.); Verlag C. F. Müller, 2006.

In vielen Unternehmen fällt Abwärme an, die noch genutzt werden kann. Beispielsweise kann hier die warme Abluft aus Lüftungsanlagen oder Feuerungsanlagen genannt werden. Auch die Wärme von zu warmem Abwasser kann eventuell wirtschaftlich zurückgewonnen werden. Besteht im Betrieb gleichzeitig ein hoher Wärme- und Kältebedarf, sollte die Nutzung der Abwärme von Kälteanlagen auf jeden Fall untersucht werden. Die folgenden Beispiele zeigen, wo Potenziale bestehen:

8.1 Beispiel 1: Wärmerückgewinnung bei den Thermoöfen einer Bäckerei

Durch die Backöfen fällt viel Abwärme an, die durch eine Wärmerückgewinnung thermisch genutzt werden kann. Angegliederte Räume können damit beheizt sowie Warmwasser für die Produktion bereitgestellt werden. Der vorhandene Zusatzkessel würde dann nur noch betrieben, wenn die Abwärme nicht mehr ausreicht, um den Wärmebedarf zu decken.

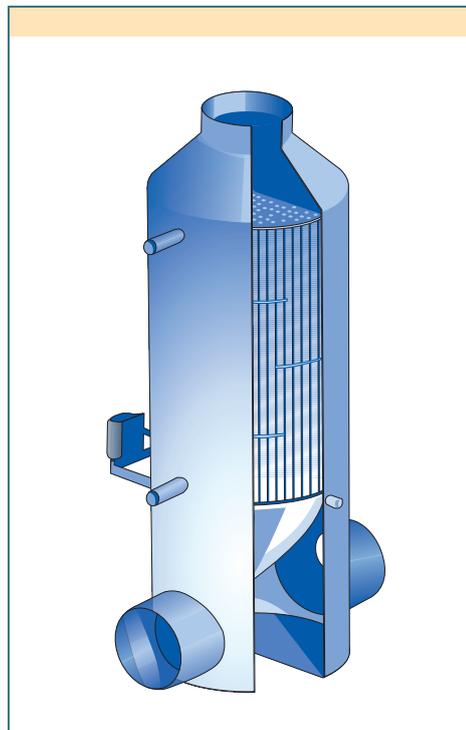


Bild 8.1_1:
Abgaswärmetauscher
für Bäckerei
(Quelle: Industrie Service Knab)

Die beiden Thermoölkessel verfügen über eine Heizleistung von ca. 280 kW_{th}. Ausgehend von einem Abgasverlust von ca. 10 % ergibt sich eine Leistung von 28 kW_{th}, die über das Abgas verloren geht. Durch einen Wärmetauscher gleicher Größenordnung, der in den Rauchgasweg eingebaut wird, kann der Großteil der Wärme zurückgewonnen und in einen zu installierenden Pufferspeicher übertragen werden. Von dort aus können der Warmwasserspeicher geladen werden und die Raumheizung und Warmwasserbereitung erfolgen.

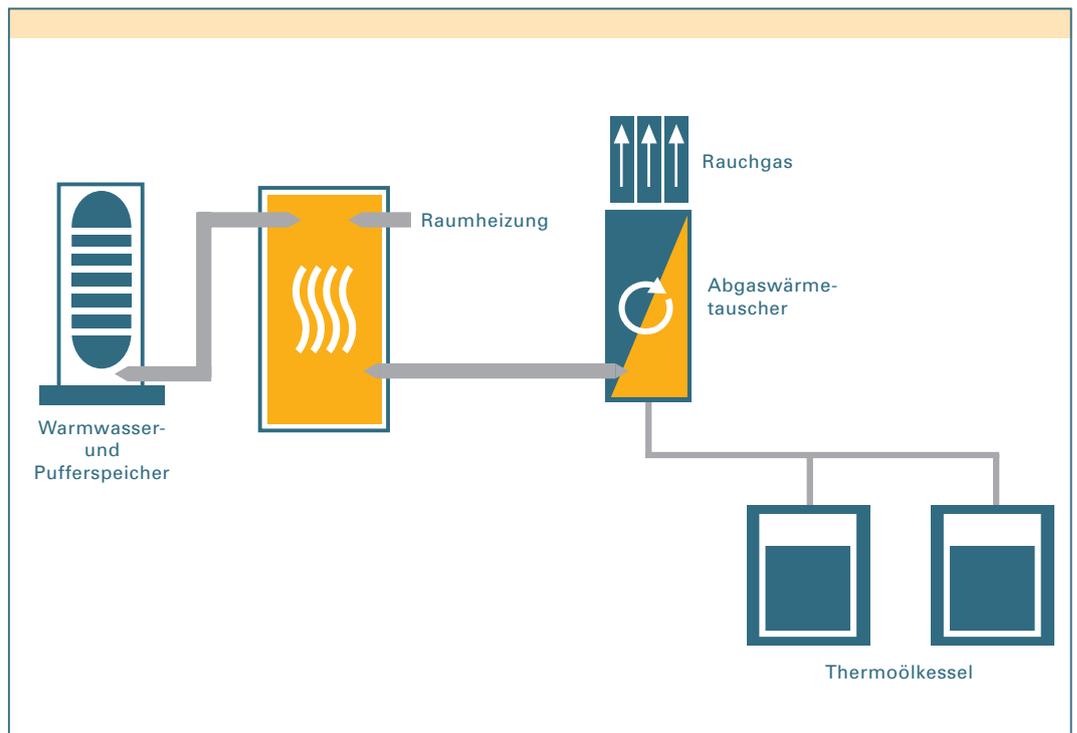


Bild 8.1_2:
Einbindung der Wärmerückgewinnung (Quelle: TSB)

Energiebilanz: Der Abgaswärmetauscher mit einer Leistung von 28 kW_{th} wird in den Abgaskanal eingebaut. Er kann eine Wärmemenge von 42.000 kWh_{th}/a liefern:

Leistung: 28 kW_{th}
 Mittlere Stillstandszeit der Brenner (Erfahrungswert): 50 %
 Nutzbare Leistung: 14 kW_{th}
 Betriebszeit Thermoölkessel: 10 h/d, 300 d/a
 Nutzbare Wärmemenge: 42.000 kWh_{th}/a

Der Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser liegt bei 57.900 kWh_{th}/a, die zurückgewinnbare Wärmemenge bei 42.000 kWh_{th}/a. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass der Raumwärmebedarf nur während der Heizperiode besteht, während die zurückgewonnene Wärme bedingt durch die Produktion keinen größeren Schwankungen unterliegt.

Wirtschaftlichkeit: Für den Abgaswärmetauscher und einen zu installierenden Pufferspeicher ist inklusive Montage eine Investition von ca. 6.000 zu veranschlagen. Der Investition stehen jährliche Einsparungen von 1.540 €/a entgegen, so dass sich die Wärmerückgewinnung statisch gesehen innerhalb von 3,9 Jahren amortisiert.

8.2 Beispiel 2: Wärmerückgewinnung bei der Flaschenspülanlage

Da das Abwasser aus einer Flaschenspülanlage mit einer Temperatur von 55 °C direkt in die Kanalisation geführt wird und damit erhebliche Wärmeverluste auftreten, wurden die Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung untersucht. Über einen Wärmetauscher kann Wärme aus dem Abwasser zur Vorwärmung des Frischwassers verwendet werden. Dadurch muss weniger Energie zur Erwärmung des Spülwassers und zur Speisewasservorwärmung (für den Dampfkessel) eingesetzt werden. Es lassen sich erhebliche Brennstoffeinsparungen erzielen.

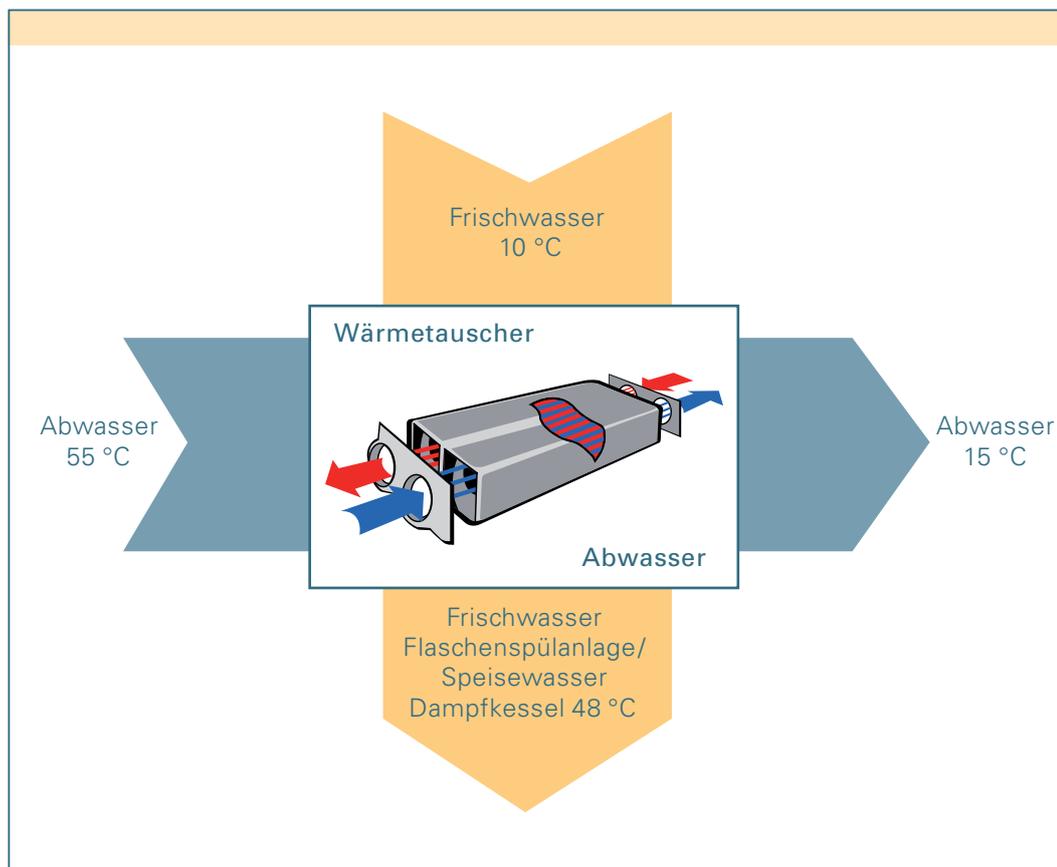


Bild 8.2_1:
Übersichtsschema Abwasser-
Wärmerückgewinnung
(Quelle: www.s-i-z.de, leicht
angepasst)

Die Abwasser- bzw. Frischwassermenge beläuft sich auf 1.835.000 l/a. Das Abwasser wird von 55 °C auf 15 °C abgekühlt, während das Frischwasser von 10 °C auf 48 °C erwärmt wird. Durch die Wärmerückgewinnung lassen sich ca. 809.500 kWh_{th}/a an Wärme einsparen. Bei einem Jahresnutzungsgrad des Dampfkessels von 90 % ergibt sich eine Brennstoffeinsparung von knapp 900.000 kWh/a bzw. 128.500 Liter Flüssiggas pro Jahr.

Investition	15.700 €
Jahreskosten	
■ Kapitalkosten	1.600 €/a
■ Betriebskosten	200 €/a
Einsparung an Verbrauchskosten	22.850 €/a
Einsparung an Jahreskosten	21.050 €/a
Statische Amortisationszeit	0,75 Jahre

Durch die Wärmerückgewinnung ergeben sich Brennstoffeinsparungen von 21.050 €/a. Die Investition amortisiert sich nach weniger als einem Jahr.

8.3 Beispiel 3: Wärmerückgewinnung aus Druckluftherzeugungsanlagen

Ca. 90 % der einem voll gekapselten Schraubenkompressor zur Druckluftherzeugung zugeführten elektrischen Leistung lässt sich als Wärme zurückgewinnen. Als Übertragungsmedium kann Luft oder Wasser dienen. Mit der Wärme können z. B. Brauchwasser erwärmt oder in der Nähe gelegene Räume im Winter geheizt werden. Bei größeren Kompressorstationen lassen sich auch kleine Nahwärmenetze betreiben.

Warmfluftheizung: Die einfachste Möglichkeit der Wärmerückgewinnung bei luft-, öl- bzw. fluidgekühlten Schraubenkompressoren ist die direkte Nutzung der vom Kompressor erwärmten Kühlluft.

Warmwasserheizung: Durch Einbau eines Wärmetauschers in den Fluidkreislauf ist es sowohl mit luft- als auch mit wassergekühlten Schraubenkompressoren möglich, Warmwasser für verschiedene Zwecke zu erzeugen. Hierfür kommen z. B. Plattenwärmetauscher in Frage. Die erzielbaren Wassertemperaturen liegen im Bereich 60 – 70 °C und eignen sich somit hervorragend für die Wärmeversorgung im Winter.

9. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Bild	Seite	
2.3_1:	Übersichtsschema Abwärmennutzungssystem	9
2.6_4:	Berechnungsformel – Jahres-Brennstoffmenge	19
3.1_1:	Übersichtsschema Abluftwärmennutzung	26
3.1_2a:	Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Abluft-Abwärmennutzungsanlagen Abluft-Temperaturniveau 100 bis 500 °C – Darstellung für kleinere Abluftmengen –	26
3.1_2b:	Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Abluft-Abwärmennutzungsanlagen Abluft-Temperaturniveau 100 bis 500 °C – Darstellung für größere Abluftmengen –	27
3.1_3:	Anhaltswerte zur Abschätzung der Ventilatorleistung von Abluft-Abwärmennutzungsanlagen	27
3.2_1:	Übersichtsschema Kühl-/Abwasser-Abwärmennutzung	29
3.2_2:	Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Kühl-/Abwasser-Abwärmennutzungsanlagen Abwasser-/Kühlwasser-Temperaturniveau 80 bis 120 °C	30
3.2_3:	Anhaltswerte zur Abschätzung der nutzbaren Wärmeleistung von Kühl-/Abwasser-Abwärmennutzungsanlagen Abwasser-/Kühlwasser-Temperaturniveau 30 bis 75 °C	30
3.3_1:	Übersichtsschema Abgas-Abwärmennutzung	32
3.3_2a:	Mögliche Wärmeleistungen bei Abgas-Abwärmennutzung als Anhaltswerte für Grobanalysen – unterer Lastbereich –	33
3.3_2b:	Mögliche Wärmeleistungen bei Abgas-Abwärmennutzung als Anhaltswerte für Grobanalysen – oberer Lastbereich –	33
3.3_3a:	Mögliche Wärmeleistungen bei Abgas-Abwärmennutzung als Anhaltswerte für Grobanalysen – unterer Lastbereich –	34
3.3_3b:	Mögliche Wärmeleistungen bei Abgas-Abwärmennutzung als Anhaltswerte für Grobanalysen – oberer Lastbereich –	34
3.3_4:	Ventilatorleistung von Abgas-Abwärmennutzungssystemen als Anhaltswerte für Grobanalysen	35

Bild	Seite	
4.1_1:	Grabenprofil Nahwärmeleitungstrasse	38
4.1_2:	Kostenübersicht Nahwärmeörozimhdtrassen	40
5.1_1:	Übersicht industrielle Abwärmequellen und Wärmekunden für das Beispiel Mitterteich	42
8.1_1:	Abgaswärmetauscher für Bäckerei	65
8.1_2:	Einbindung der Wärmerückgewinnung	66
8.2_1:	Übersichtsschema Abwasser-Wärmerückgewinnung	67
Tabelle	Seite	
2.2_1:	Datenabfragetabelle Abwärmequellen	7
2.2_2:	Anhaltswerte über den spezifischen Energiebedarf ausgewählter Industriebetriebe	8
2.2_3:	Anhaltswerte über die Abgastemperaturen von typischen industriell eingesetzten Öfen und Feuerungen	8
2.3_1:	Objektübersicht einiger potenzieller Abwärmekunden	10
2.3_2:	Anhaltswerte für die Berechnung des Wärmebedarfs potenzieller Wärmekunden	10
2.3_3:	Datenabfragetabelle Wärmenutzer/Wärmekunden	11
2.4_1:	Investitionsübersicht und Kapitalkostenberechnung	14
2.4_2:	Annuitätsfaktoren	15
2.5_1:	Jahreskostenberechnung Abwärmennutzungssystem	16
2.5_2:	Nutzenergiekosten bei unterschiedlichen Heizölpreisen	17
2.6_1:	Berechnungsblatt Emissionseinsparpotenzial	18
2.6_2:	Berechnungsansätze Emissionsfaktoren	19
2.6_3:	Berechnungsansätze CO ₂ -Emissionsfaktoren	19
5.2_1:	Auswertung der Abluft-Abwärmeleistungen zur Datenerfassungstabelle 5.2-2 (SCHOTT-Rohrglas)	44
5.2_2:	Ergebnis Abwärmequellen-Umfrage – Beispiel Mitterteich	45
5.3_1:	Ergebnis der Wärmekunden-Umfrage – Beispiel Mitterteich	47
5.3_2:	Leistungsdaten der potenziellen Wärmekunden im Trassenverlauf	48
5.4_1:	Investitionen und Kapitalkosten – Beispiel Mitterteich	52
5.5_1:	Jahreskostenberechnung Abwärmennutzungssystem – Beispiel Mitterteich	54
5.6_1:	Jährliches Emissionseinsparpotenzial – Beispiel Mitterteich	56

