

Instationarität von industrieller Ab-
wärme als limitierender Faktor bei der
Nutzung und Integration in Wärme-
verteil- und Wärmenutzungssystemen

M. Theißing

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

34/2009

Impressum:

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

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

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

Instationarität von industrieller Abwärme als limitierender Faktor bei der Nutzung und Integration in Wärmeverteil- und Wärmenutzungssystemen

DI Dr. Matthias Theißing, DI (FH) Alois Kraußler, Michaela
Muster, DI (FH) Martin Schloffer, DI Dr. Manfred Tragner, DI
(FH) Michael Wanek (FH JOANNEUM Gesellschaft, Studien-
gang Infrastrukturwirtschaft/Urban Technologies)

DI Dr. Ingrid Theißing-Brauhart
(Technisches Büro Theißing-Brauhart)

Abwärmeproduzenten:
Voestalpine Stahl Donawitz GmbH Co & KG, Voestalpine Stahl GmbH, Böhler Edel-
stahl GmbH, Treibacher Industrie AG, Marienhütte - Stahl- u. Walzwerk GesmbH

Fernwärmenetzbetreiber:
Stadtwerke Kapfenberg GmbH, FERNWÄRME Wien GmbH, Linz Strom GmbH,
Energie Graz GmbH & Co KG, Steirische Gas-Wärme GmbH

Kapfenberg, März 2009

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT. Sie wurde im Jahr 2000 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie FABRIK DER ZUKUNFT sollen durch Forschung und Technologieentwicklung innovative Technologiesprünge mit hohem Marktpotential initiiert und realisiert werden.

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

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

Dipl. Ing. Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

1 INHALTSVERZEICHNIS

1	INHALTSVERZEICHNIS.....	5
2	KURZFASSUNG.....	7
3	ABSTRACT.....	8
4	PROJEKTABRISS.....	9
5	Einleitung.....	14
5.1	Allgemeine Einführung in die Thematik.....	14
5.2	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	18
5.3	Fokus / Schwerpunkte der Arbeit.....	19
5.4	Einpassung in die Programmlinie.....	21
5.5	Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts.....	22
6	Ziele des Projektes.....	24
7	Inhalte und Ergebnisse des Projektes.....	26
7.1	Verwendete Methoden und Daten.....	26
7.2	Beschreibung des Standes der Technik.....	27
7.3	Beschreibung der Neuerungen sowie der Vorteile gegenüber dem Ist- Stand (Innovationsgehalt des Projektes).....	28
7.4	Beschreibung der Projektergebnisse.....	29
7.4.1	Rahmenbedingungen zur Nutzung industrieller Abwärme.....	29
7.4.2	Typische Eigenschaften von Wärmeverteilnetzen.....	42
7.4.3	Eigenschaften industrieller Abwärme.....	50
7.4.4	Beeinflussungsmöglichkeiten industrieller Abwärme.....	59
7.4.5	Relevante Technologien der Nutzung bzw. Integration von Abwärme.....	67
7.4.6	Bewertungskennzahlen von industrieller Abwärme.....	94
7.4.7	Integration industrieller Abwärme in Wärmeverteilnetze.....	101
7.4.8	Ansätze zur wirtschaftlichen Bewertung industrieller Abwärme.....	107
7.4.9	Beispielvarianten.....	109
7.4.10	Checkliste zur Erstbeurteilung einer Abwärmelieferung.....	116
8	Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie.....	117
8.1	Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung.....	117
8.2	Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt.....	118
8.3	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse.....	119
8.3.1	Marktpotenzial.....	119
8.3.2	Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial.....	120
8.4	Potenzial für Demonstrationsvorhaben.....	120
9	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen.....	122
10	Ausblick / Empfehlungen.....	124
11	Literaturverzeichnis.....	126

12	Abbildungsverzeichnis	132
13	Tabellenverzeichnis	135
14	Formelverzeichnis	136
15	Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis	137
16	Anhang.....	138
16.1	AP1 – Akquirierung weiterer Akteursgruppen.....	138
16.2	Protokoll des 1. Workshops am 7.5.2008	139
16.3	Protokoll des Ergebnisworkshops am 28.9.2009.....	143

2 KURZFASSUNG

Es ist ein erklärtes politisches und ökologisches Ziel auf nationaler, sowie auf EU-Ebene, den Anteil der Fernwärme am Endenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwasser, der derzeit in Österreich ca. 12 [%] beträgt, zu erhöhen. Neben der hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung und dem Einsatz regenerativer Energieträger kann vor allem auch die Nutzung industrieller Abwärme im Bereich der Fernwärmeversorgung einen entscheidenden Beitrag zur Verringerung der CO₂-Emissionen und somit zur Erreichung des Kyoto-Zieles leisten.

Allerdings ist die Einbindung industrieller Abwärme in externe Wärmenutzungssysteme (z.B.: öffentliche Fernwärmenetze) auf Grund ihres stark instationären Charakters äußerst schwierig und wird daher bis dato noch nicht in großem Umfang realisiert.

Im vorliegenden Projekt wurden die Rahmenbedingungen in Hinblick auf eine Nutzung industrieller Abwärme in öffentlichen Wärmeverteilnetzen erhoben, analysiert und unter Beachtung technischer und wirtschaftlicher Aspekte bewertet.

Dazu wurde als Grundlage eine Datenbasis zur qualitativen und quantitativen Beschreibung typischer Abwärmequellen, sowie der Wärmeverteilnetze geschaffen. Während die Lastgänge öffentlicher Fernwärmenetze eine starke jahreszeitliche Abhängigkeit zeigen, ist industrielle Abwärme ein Nebenprodukt bei der Produktion. Die Qualität und Quantität der Abwärme ist abhängig vom jeweiligen Prozess und den Produktionsmengen und kann stark schwanken (instationäres Verhalten). Die Abwärme aus industriellen Produktionsprozessen ist drei großen Kategorien zuordenbar: Abwärme aus Rauchgasen, aus der Struktur-Kühlung und aus Batch-Prozessen. Jede dieser Kategorien ist durch eine eigene Charakteristik, sowie unterschiedliche Grade der Instationarität und der Gradienten gekennzeichnet. Im Rahmen des Projektes wurde daher erhoben, welche Maßnahmen (technologisch, Betriebsführung) zu einem gleichmäßigeren Lieferprofil der Abwärme beitragen können.

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus dem Vergleich der Abwärmelieferungs- und Fernwärmebedarfscharakteristik wurde ein Bewertungsverfahren auf Basis von Kennzahlen entwickelt, mit dem die Kompatibilität des jeweiligen Systems der Abwärmelieferung mit den Anforderungen des Fernwärmenetzes geprüft werden kann. Dazu wurde eine neue Kennzahl, der Konstanzfaktor, erarbeitet, mit dem eine einheitliche Klassifizierung möglich ist.

Das im Rahmen des vorliegenden Projektes entwickelte Kennzahlensystem dient auch als Grundlage zur wirtschaftlichen Bewertung der Integration industrieller Abwärme in Fernwärmenetze. Einerseits kommt es dadurch zu mehr Transparenz an der Schnittstelle Abwärmelieferung – Wärmeverteilnetz, andererseits können Kosteneffekte, die auf Grund von notwendigen zusätzlichen Anlagen (z.B.: Speicher) für eine konstante Abwärmelieferung anfallen, quantitativ erfasst werden. Somit wird ein Instrumentarium zur verbesserten Kosten-Nutzen-Analyse zur Verfügung gestellt. Aus den vorliegenden Projektergebnissen kann somit eine realistische Einschätzung der möglichen Nutzung von industriellen Abwärmequellen für externe Wärmeverteilnetze unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten für konkrete Umsetzungsprojekte getroffen werden.

3 ABSTRACT

It has been a political and ecological aim in Austria and Europe to increase the heat supply in district heating systems. Presently 12 [%] of the final energy demand for heating in Austria are covered by district heating. In addition to highly efficient combined heat and power heat-production and the use of regenerative energy sources like biomass, integration of industrial waste heat into district heating systems can contribute to the reduction of CO₂-emissions.

Industrial waste heat is difficult to integrate into district heating systems because it is transient (fluctuations in mass flow, temperature and pressure). This is the reason for rather few application examples for waste heat integration into district heating systems.

In the project, boundary conditions for waste heat integration were analysed from a technological and an economical point of view. Typical waste heat sources were documented, as well as district heating systems:

- The heat demand in district heating systems is highly influenced by seasonal effects and ambient temperatures.
- However, the load profile of industrial waste heat is not influenced by seasonal effects but is a result of the industrial production process.
- 3 categories of waste heat with typical transient characteristics (load profiles, gradients) can be identified:
 - o Waste heat extracted from flue gases
 - o Waste heat from cooling
 - o Waste heat from batch processes

Additionally, measures (components and operation strategies) that can contribute to a reduction of transients were documented, which makes the load profile more homogenous.

In a second step an assessment method was developed to quantify the compatibility of the load profile of waste heat sources and the heat demand of district heating systems. Therefore a new key figure, the "uniformity factor", was defined. With this uniformity factor a consistent classification of both waste heat and district heat demand can be carried out. In combination with additional key figures, a basis for an economic assessment of waste heat integration is defined. Thus, cost effects at the interface between industrial waste heat and district heating systems can be analysed with high transparency (e.g. cost-benefit calculations for additional storage equipment which leads to a more uniform load profile of the waste heat resulting in higher earnings due to a higher quantity of integrated heat).

As a result, the findings of this project will contribute to a realistic assessment of industrial waste heat integration.

4 PROJEKTABRISS

Es ist ein erklärtes politisches und ökologisches Ziel auf nationaler, sowie auf EU-Ebene, den Anteil der Fernwärme am Endenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwasser, der derzeit in Österreich ca. 12 [%] beträgt, zu erhöhen. Neben der hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplung und dem Einsatz regenerativer Energieträger kann vor allem auch die industrielle Abwärme im Bereich der Fernwärmeversorgung einen entscheidenden Beitrag zur Verringerung der CO₂-Emissionen und somit zur Erreichung des Kyoto-Zieles leisten.

Die Nutzung industrieller Abwärme ist ein sinnvoller Ansatz zur Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz, da diese einen sehr niedrigen Primärenergiefaktor aufweist. Aus diesem Grund finden sich Empfehlungen zur Erhöhung des Abwärmeanteils an der Fernwärme in den nationalen und regionalen Energieplänen.

Die Nutzung von industrieller Abwärme kann das Portfolio der Erzeugung von Fernwärme, die bereits heute durch den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung einen geringen CO₂-Ausstoß aufweist, ideal ergänzen. Durch die Ausweitung von Fernwärme wird der CO₂-Ausstoß reduziert, weil mit fossilen Brennstoffen betriebene Einzelfeuerungen in den Haushalten direkt substituiert werden. Die benötigten CO₂-Zertifikate der Fernwärmeversorger steigen somit auch bei einer Erhöhung der erzeugten und gelieferten Fernwärmemenge nicht. Zusätzlich sinkt die Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern und in weiterer Folge sinkt auch die Importabhängigkeit. Dies wirkt sich förderlich auf die nationale Wertschöpfung aus, da die Kaufkraft verstärkt im Inland erhalten bleibt.

Wegen des stark instationären Charakters industrieller Abwärme ist die Einbindung in externe Wärmenutzungssysteme (Fernwärme, etc.) äußerst schwierig und wurde deshalb noch nicht in großem Umfang realisiert.

Ein wesentlicher Schwerpunkt dieses Projektes war daher die Identifikation von Bedingungen unter denen eine optimale Nutzung instationärer Abwärmequellen mit der Berücksichtigung von wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Anpassung an den Wärmebedarf von externen Fernwärmenetzen möglich ist.

Das Projekt verfolgt dabei den Ansatz, bereits bei Neuplanungen und beim Prozessdesign industrieller Produktion die Nutzbarkeit der Abwärme auch für externe Wärmeverbraucher in Fernwärmenetzen mit einzubeziehen.

Um die tatsächliche Situation der Wärmeeinbindung möglichst genau abbilden zu können, wurde in diesem Projekt nach dem Open-Innovation-Ansatz unter Miteinbindung potenzieller Interessenten untersucht, inwiefern die Nutzung von Abwärme in Wärmeverteil- und Wärmenutzungssystemen durch Instationaritäten limitiert wird. Hierbei wurden die beteiligten Akteursgruppen (im Speziellen mehrere namhafte große Industriebetriebe und große Fernwärmenetzbetreiber) in den Gestaltungsprozess integriert, um eine bestmögliche Nutzung dieses Produkts beschreiben und definieren zu können.

Um diesen Nutzen auch in einem ökonomischen Rahmen darstellen zu können, wurde ein Vergleich unterschiedlicher Technologien auf Basis von externen Kosten vorgenommen. Dazu wurde der spezifische Primärenergieaufwand, sowie die Emissionsfaktoren von CO₂

und NO_x mit den entsprechenden externen Kosten für unterschiedliche Erdgas-betriebene Wärmetechnologien (Kessel – Kraft-Wärme-Kopplung – industrielle Abwärme) dargestellt.

Aufbauend auf den im Rahmen des Projekts erhobenen Daten wurde ein Bewertungsverfahren mittels Kennzahlen entwickelt, mit dem das Projektziel der integrierten Betrachtung bzw. Abstimmung und Optimierung des Gesamtkomplexes Abwärmelieferung und Wärmenutzung mit den dazwischenstehenden Technologien erreicht werden kann. Damit kann das übergeordnete Ziel einer Erhöhung des Anteils der Abwärmenutzung zur Deckung des Nutzenergiebedarfs Raumwärme erreicht werden.

Zur Erreichung der Projektziele wurde nach folgender Methodik vorgegangen:

- Identifikation typischer Eigenschaften von Abwärmequellen
- Identifikation typischer Eigenschaften von Wärmeverteilnetze
- Analyse relevanter Rahmenbedingungen
- Identifikation relevanter Technologien der Abwärmeauskopplung
- Erarbeiten eines universell anwendbaren Bewertungsverfahrens
- Durchführen von Beispielvarianten und Tests
- Dokumentation

Im Rahmen der Recherche wurden Daten über industrielle Abwärmequellen von unterschiedlichen Prozessen sowie Daten über Wärmeverteilnetze (städtische Fernwärmenetze) erhoben. Dabei wurden sowohl technische Aspekte, wie Betriebsbedingungen, Lastgänge, etc. berücksichtigt, als auch wirtschaftliche (z. B. Investitionskosten, Amortisationszeit, etc.) und ökologische (CO₂-Einsparung).

Die Prozess- und Fernwärmedaten wurden von den am Projekt beteiligten Firmen und Netzbetreibern zur Verfügung gestellt.

Auf Basis von Literaturangaben und intern verfügbaren Informationen wurde ein Überblick über Technologien zur Abwärmenutzung erarbeitet und deren Einsatzpotenzial unter technischen und wirtschaftlichen Aspekten betrachtet. Dabei wurden direkte Koppelungskomponenten (Wärmetauscher), Zusatztechnologien (unterschiedliche Speichertechnologien) und spezielle Konfigurationen der Abwärmenutzung (z. B. Nutzung der Abwärme in einem Kraftwerk innerhalb der Industrie, oder Auskopplung der Wärme mit üblicher KWK-Technologie) einer näheren Betrachtung unterzogen.

Die in diesem Projekt untersuchten Abwärmequellen lassen sich drei Gruppen mit jeweils spezifischen Merkmalen unterteilen:

Abwärme aus Rauchgasen: (z.B.: aus Stoßöfen der Stahlindustrie)

Bei dieser Art der Abwärmenutzung aus nachgeschalteten Abhitzekeesseln und Rauchgaswärmetauschern führen produktionsbedingte Änderungen der Energiezufuhr in die Öfen zu einer Änderung der Rauchgastemperatur und der Rauchgasmenge. Der stark

instationäre Charakter der Energiezufuhr bewirkt starke quantitative und qualitative Schwankungen der gelieferten Abwärme.

Abwärme aus Strukturkühlung von Wärmebehandlungsanlagen:

Eine weitere Abwärmequelle ergibt sich aus der Kühlung von Bauteilen in Wärmebehandlungsanlagen (z. B. Hubbalkenofen, Stoßofen in der Stahlindustrie), die z.B. durch Satttdampferzeugung erfolgen kann. Bei dieser Strukturkühlung fallen die Schwankungen zufolge der Energiezufuhr in die Öfen weniger stark aus, als bei einer direkten Nutzung der Rauchgase.

Abwärme aus Batch-Prozessen:

Hier kommt es auf Grund eines diskontinuierlichen Betriebs, in dem einzelne Chargen produziert werden, zu einem ebenso diskontinuierlichen Anfall von Abwärme. Weiters gibt es Phasen, in denen überhaupt keine Abwärme anfällt.

Im Rahmen des Projektes wurde untersucht, welche Maßnahmen zu einem gleichmäßigeren Lieferprofil führen können.

So kann eine Parallelschaltung mehrerer Abwärmequellen den instationären Charakter der Abwärme zwar nicht beseitigen, aber bis zu einem gewissen Grad dämpfen. Eine weitere Möglichkeit ist die Begrenzung der über einen Wärmetauscher geführten Rauchgasmenge durch die Installation von Bypass-Klappen (Kappen nicht benötigter Abwärmelieferungsspitzen). Weitere Beispiele der im vorliegenden Projekt untersuchten Möglichkeiten zur Beeinflussung der Wärmeauskopplung sind die Auskopplung von industrieller Abwärme aus Kühlprozessen, die Installierung von Speichern (Heißwasser- und Dampfspeicher) bzw. die Nutzung des Netzes als Speicher.

Analog zur Analyse der industriellen Abwärme wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes unterschiedliche Fernwärmenetze analysiert, und die in Hinblick auf die Integration industrieller Abwärme charakteristischen Eigenschaften untersucht.

Dadurch konnten Daten über die Schnittstellenkonformitäten zwischen Abwärmelieferant und Wärmenetzbetreiber ausgearbeitet werden.

Abwärme ist, wenn sie außerhalb des Unternehmens verkauft wird, ein weiteres Produkt, mit dem Einkünfte erzielt werden können. Je besser die Liefercharakteristik mit dem Verbrauchsprofil übereinstimmt, desto größer ist die Akzeptanz der Kunden und desto höher werden die damit erzielbaren, zusätzlichen Erlöse.

Hierzu war es nötig, eine Vergleichsbasis für die Abwärmelieferung und den Wärmeverbrauch im Netz zu schaffen. Dabei wurden auf Basis umfassend recherchierter Daten Kennzahlen (Konstanzfaktor, Gradienten, Regelgrad) zur Bewertung der technischen und betrieblichen Eigenschaften des Wärmebedarfs in einem Wärmeverteilnetz und der Wärmelieferung aus Wärmequellen für die technische und ökonomische Bewertung erarbeitet.

An der Schnittstelle (= Wärmeübergabestation) zwischen der Wärmelieferung aus dem Industriebetrieb und dem Fernwärmesystem konnte dadurch ein Abgleich der Liefer- und

Verbrauchscharakteristiken erfolgen, bzw. konnte der Bedarf für allfällige zusätzliche Komponenten zur verbesserten Abstimmung identifiziert und quantifiziert werden.

Damit können erstmals die spezifischen Verbrauchscharakteristiken schon bei der Auslegung der Anlagen zur Abwärmenutzung mit eingeplant und auch kostenmäßig erfasst werden. Dadurch wurde auch die Grundlage für eine einheitliche und nachvollziehbare Kalkulationsbasis für das Produkt "industrielle Abwärme" etabliert.

Sowohl der Wärmeverbrauch in einem Verteilnetz, als auch die Wärmelieferung von industriellen Abwärmequellen sind stark instationär. Zur quantitativen Beurteilung inwieweit (instationäre) Wärmequellen geeignet sind, einen (in einem anderen Maß instationären) Wärmebedarf zu decken, wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes die dimensionslose Kennzahl **Konstanzfaktor "KF"** erarbeitet:

KF Konstanzfaktor [-]

$$KF = \frac{\int P^*(t) dt}{\int P_{\text{mittel}} dt} \quad \text{mit:} \quad P^*(t) = \begin{cases} P(t) & \text{für } P(t) < P_{\text{mittel}} \\ P_{\text{mittel}} & \text{für } P(t) \geq P_{\text{mittel}} \end{cases}$$

Formel 1: Konstanzfaktor

Der Konstanzfaktor beurteilt die reale, instationäre Wärmelieferung im Vergleich zu einer idealen Wärmelieferung derselben Größe mit der konstanten mittleren Leistung. Dabei werden Anteile der Wärmelieferung, die über die mittlere Leistung hinausgehen, nicht berücksichtigt.

Im Leistungs-Zeit-Diagramm, in dem die Wärmemengen als Flächen unter den Leistungskurven erscheinen, lässt sich der Konstanzfaktor als Flächenverhältnis darstellen. (siehe Abbildung 1).

Der Konstanzfaktor ist ein Maß für die "Schiefe" der Dauerlinie. Eine ideale Wärmelieferung mit konstanter Leistung ergibt ein Rechteckprofil. Dementsprechend ergibt sich hierfür ein Konstanzfaktor von $KF=1$. In der Realität werden die Konstanzfaktoren immer kleiner 1 sein. Je größer die Instationarität, desto steiler ist das Gefälle der Dauerlinie. Das manifestiert sich dann in einem niedrigeren Konstanzfaktor.

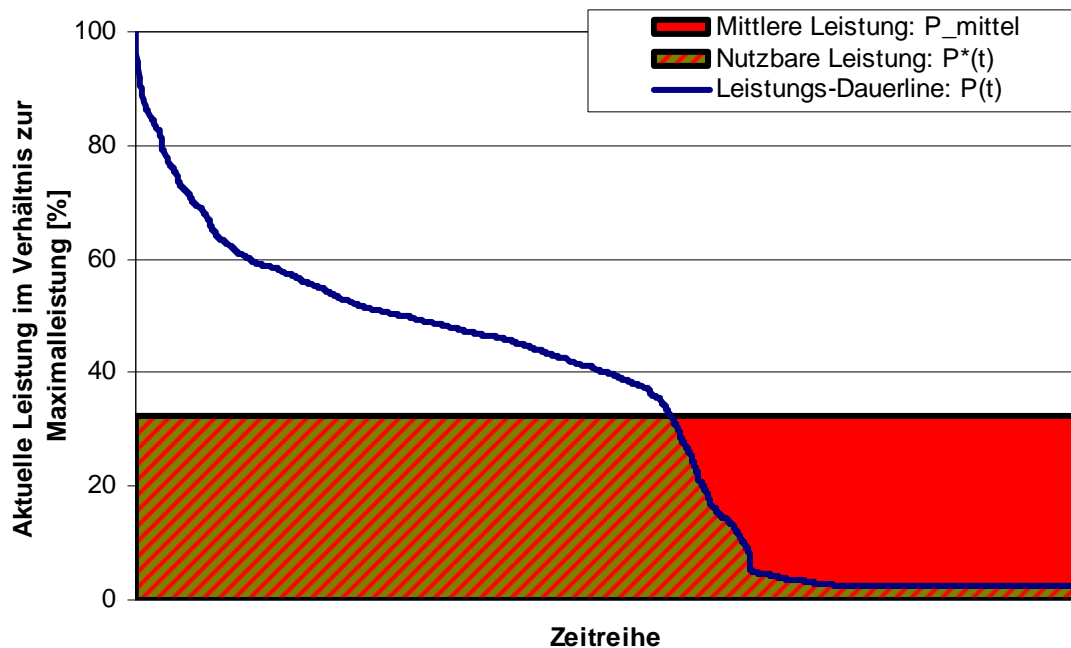


Abbildung 1: Dauerlinie und mittlere Leistung einer Wärmequelle

Erläuterungen: Dauerlinie...blaue Linie, mittlere Leistung...schwarze, horizontale Linie; der Konstanzfaktor ist das Verhältnis des grün schraffierten Flächenanteils zur gesamten, roten Rechteckfläche.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Durch geeignete Auswahl und Kombination der Technologie der Wärmeauskopplung kann eine bewusste, positive Beeinflussung des Charakters der Abwärme (Instationarität, Gradienten, etc.) erreicht werden. Die wesentlichsten Faktoren liegen aber im Prozessdesign der industriellen Produktion begründet. Aus diesem Grund ist es äußerst schwierig allgemeingültige Aussagen bzw. Benchmarks zu Abwärmepotenzialen und –eigenschaften alleine auf Basis von Produktionsmengen der industriellen Produktion zu machen. Nur eine fundierte Analyse der einzelnen Abwärmequellen führt zu signifikanten Aussagen.

Mit dem im Rahmen dieses Projektes entwickelten Kennzahlensystem wird nicht nur die Basis zu einer energetischen Bewertung der Integration von Abwärme in Wärmenetze geschaffen, sondern auch die Basis für eine wirtschaftliche Bewertung. Somit wird einerseits mehr Transparenz an der Schnittstelle Abwärmelieferung – Wärmeverteilnetz geschaffen. Andererseits können die Effekte von Investitionen für zusätzliche Komponenten auf Seiten der Abwärmeauskopplung (z. B. führt der Einsatz eines Speichers zur Reduktion der Instationarität zu einer Erhöhung der in das Netz integrierbaren Abwärme) quantitativ erfasst werden. Somit steht ein Instrumentarium zu einer verbesserten Kosten-Nutzen-Analyse zur Verfügung.

Letztlich kann mit den gewonnenen Ergebnissen eine realistische Einschätzung der Abwärmemengen erfolgen, die z. B. in ein Fernwärmenetz integriert werden können. Das ist wiederum für die Planung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen hilfreich.

5 Einleitung

5.1 Allgemeine Einführung in die Thematik

Der Anteil der Fernwärme am Endenergieeinsatz für Raumwärme und Warmwassererzeugung beträgt in Österreich ca. 12 [%]. Dieser Anteil muss laut politischen und auch ökologischen Zielen erhöht werden. Außerdem bedeutet eine Steigerung des Fernwärmeeinsatzes bei Nutzung von industrieller Abwärme, hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung bzw. regenerativer Energieträger einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung des Kyoto-Zieles. Maßnahmen zur Erhöhung dieses Anteils finden sich z. B. in den Landesenergieplänen der einzelnen Bundesländer wieder. So wird in diesem Zusammenhang die Erhöhung des Anteils von industrieller Abwärme an der Fernwärme verfolgt.

Die Nutzung von industrieller Abwärme eignet sich ganz besonders zur Erreichung des Kyoto-Zieles, da der fossile Primäreinsatz dieser Wärmequelle bzw. dieses (Neben)produktes sehr gering ist. Momentan wird als Primärenergiefaktor für industrielle Abwärme ein Wert von 0,05 [-] angegeben [Ecoheatcool 2006]. Demgegenüber liegen die Primärenergiefaktoren fossiler Brennstoffe bei mindestens 1,1 [-] (das bedeutet, dass zusätzlich zum Energiegehalt der Brennstoffe mindestens 10 [%] als zusätzlicher Energieaufwand für Förderung, Aufbereitung und Transport benötigt werden). Aus den Primärenergiefaktoren lässt sich nach normierten Verfahren der Primärenergieeinsatz für die Bereitstellung der Raumwärme ermitteln [CEN EN 15316-4-5:2007]. Diese Tatsache rechtfertigt eine Schwerpunktsetzung hinsichtlich der verstärkten Integration von industrieller Abwärme in bestehende Wärmenetze.

Die Nutzung von industrieller Abwärme kann das Portfolio der Erzeugung von Fernwärme ideal ergänzen, da Fernwärme bereits heute durch den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung einen geringen CO₂-Ausstoß aufweist. Durch die Ausweitung von Fernwärme wird der CO₂-Ausstoß reduziert, weil mit fossilen Brennstoffen betriebene Einzelfeuerungen in den Haushalten direkt substituiert werden. Zusätzlich sinkt die Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern und in weiterer Folge sinkt auch die Importabhängigkeit. Dies wirkt sich förderlich auf die nationale Wertschöpfung aus, da die Kaufkraft verstärkt im Inland erhalten bleibt.

Abwärme ist grundsätzlich ein Nebenprodukt der normalen betrieblichen Produktion (z. B. aus Wärmebehandlungsprozessen in der Stahlindustrie). Diese betriebliche Produktion steht im Vordergrund und ist gegenüber der Wärmebereitstellung stets prioritär. Die Nutzung von Abwärme ordnet sich daher den normalen Produktionsabläufen unter (z. B. Produktionszyklen oder Instationaritäten durch Chargenbetrieb; siehe hierzu Abbildung 2).

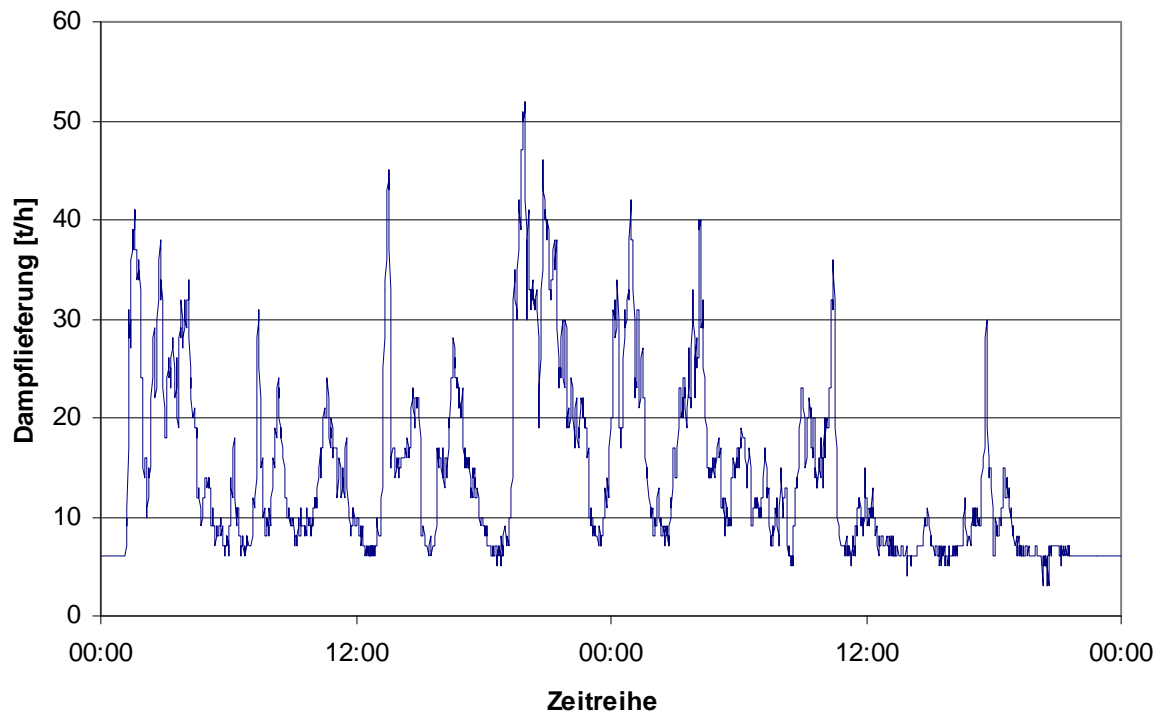


Abbildung 2: Beispiel für eine instationäre Dampferzeugung durch Abwärme
 Literaturquelle: [Interne Daten]

Dieser instationäre Charakter von industrieller Abwärme lässt sich jedoch nur schwer mit dem Fernwärmebedarf (typische Tages-, Wochen- und Jahreslastgänge) vereinbaren. In Abbildung 3 ist ein typischer Verlauf des Wärmebedarfs in einem Fernwärmenetz dargestellt. Darüber hinaus ist die bereitgestellte Abwärme oftmals auch sehr ungleichmäßig in Hinblick auf das Temperatur- und Druckniveau. All dies führt dazu, dass es zu Problemen im Betrieb des Fernwärmenetzes kommen kann, die nur durch Vorhalten entsprechender Reservekapazitäten an konventionellen Wärmeerzeugern (Kesseln) im Fernwärmenetz verhindert werden können.

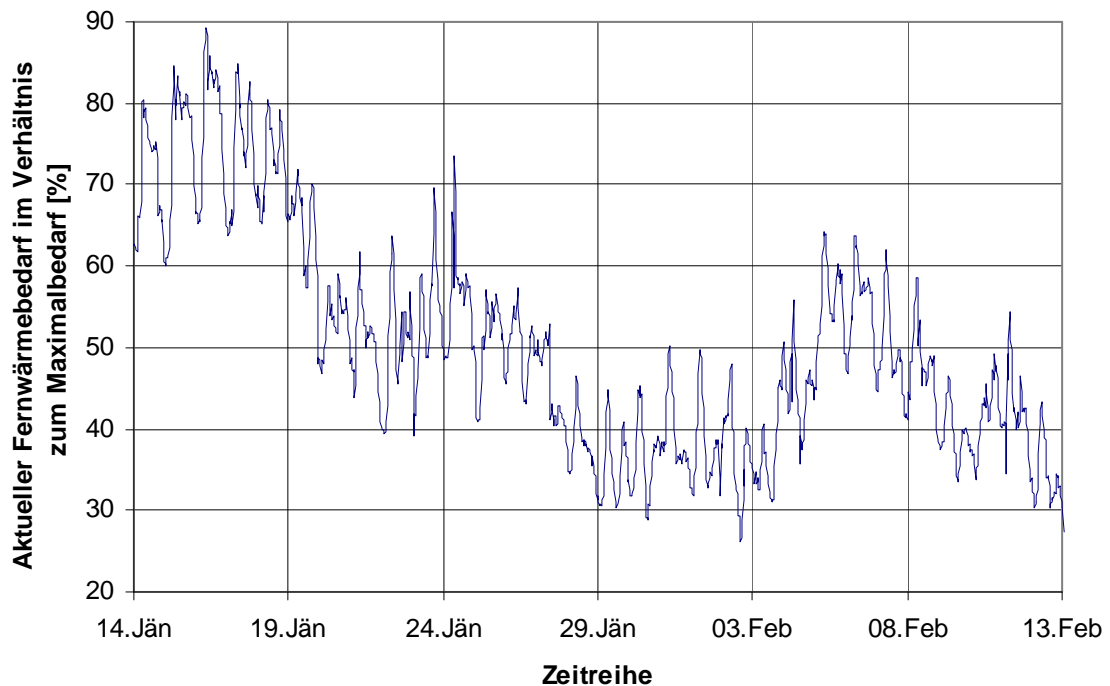


Abbildung 3: Typischer spezifischer Lastgang in einem Fernwärmenetz

Literaturquelle: [Interne Daten]

Darüber hinaus zeigen Fernwärmenetze eine starke Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der Jahreszeit. So sinkt der Wärmebedarf in Fernwärmenetzen mit geringem Prozesswärmeanteil am Verbrauch in den Sommermonaten typischerweise auf 10 [%] der Maximalleistung im Winter ab (Der unterschiedliche Wärmebedarf innerhalb eines Jahres ist in Abbildung 4 dargestellt.) Aus diesem Grund wurde bisher beim Einsatz industrieller Abwärme in Fernwärmenetzen diese nur zur Abdeckung der Mindestleistung im Sommer herangezogen. Die restlichen 90 [%] der Fernwärmemaximalleistung wurden aus anderen (fossilen) Wärmequellen abgedeckt. Hier gibt es noch ein großes Potenzial für den verstärkten Einsatz industrieller Abwärme, dessen Nutzung allerdings erhöhte Anforderungen an die Technologie der Wärmeauskopplung stellt.

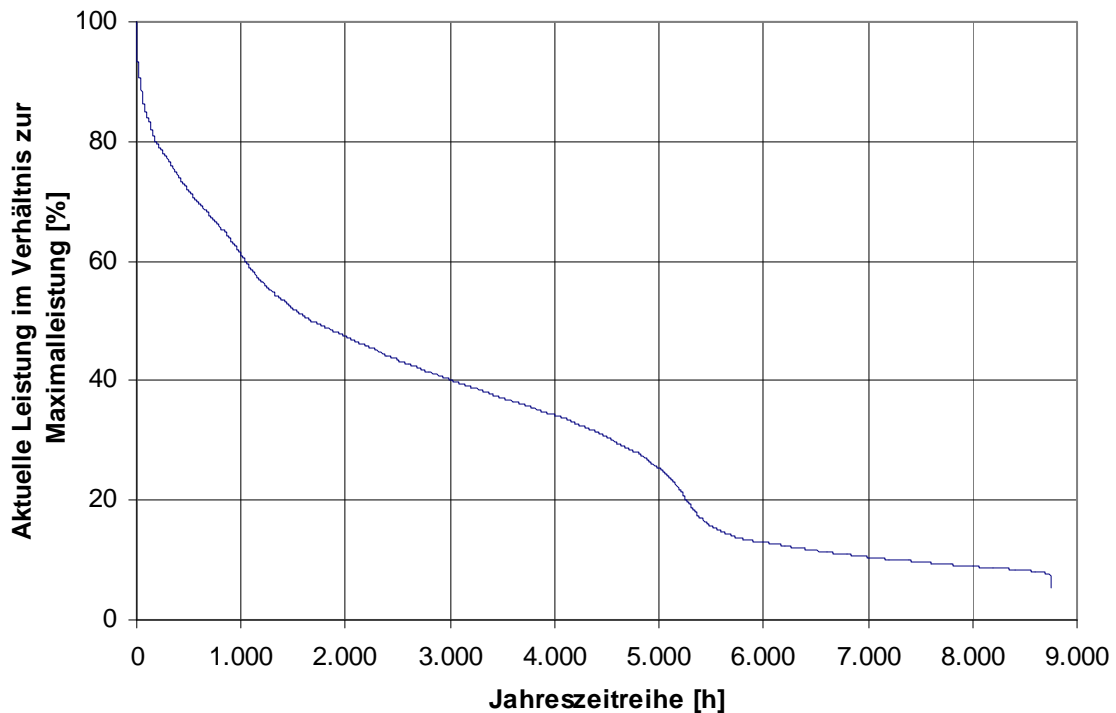


Abbildung 4: Typische spezifische Jahresdauerlinie der Fernwärmeleistung

Literaturquelle: [Smole 2005]

Weiters wird die Festlegung eines angemessenen Preises für die gelieferte Abwärme durch die vorherrschende Marktsituation erschwert. Der Fernwärmeversorger befindet sich derzeit mit seinem Produkt Fernwärme in einem geschlossenen Markt. Der Lieferant von industrieller Abwärme hingegen befindet sich mit seinen Produkten in einem freien Markt, der in der Regel durch starke Schwankungen bei Mengen und Preisen für die gelieferten Produkte gekennzeichnet ist. Die Strategien der Unternehmen in diesen verschiedenen Märkten führen zu stark unterschiedlichen Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Auch sind die Investitionshorizonte verschieden (langfristig in der Energiewirtschaft, eher kurzfristig im produzierenden Sektor). Darüber hinaus können Standorte industrieller Produktion relativ schnell verlagert werden (Investitionssicherheit und Globalisierung).

Die Berücksichtigung einer Nutzung industrieller Abwärme bereits bei der Auslegung von Produktionsprozessen kann den technischen und ökonomischen Nutzen der Abwärme steigern (z. B. durch Reduktion von Instationaritäten und durch Einhaltung verwertbarer Temperatur- und Druckniveaus). Eventuell können für eine verbesserte Abwärmenutzung Umorientierungen im betrieblichen Produktionsprozess vorgenommen werden (z. B. Produktionszyklen, die mit ihrem Abwärmeprofil dem Fernwärmebedarf besser entsprechen). Die hierfür erforderlichen Zusatzinvestitionen (z. B. für Wärmespeicher) bzw. die erhöhten Produktionskosten sind dann natürlich der gelieferten Abwärme zuzuordnen. Sie können aber für den Fernwärmebetreiber immer noch günstiger sein, als eine direkte Wärmeherzeugung in Heiz(kraft)werken.

Industrielle Abwärme lässt sich darüber hinaus auch zur Deckung des Nutzenergiebedarfes für Raumwärme und Niedertemperaturprozesswärme innerhalb der Industriebetriebe nutzen.

Auch für die betriebsinterne Nutzung industrieller Abwärme sind die technologischen Randbedingungen und Erfordernisse vergleichbar mit denen einer Nutzung in externen Fernwärmesystemen.

In der momentanen Situation erfolgt die Realisierung einer Auskopplung von industrieller Abwärme aus Produktionsprozessen zeitlich erst nachgelagert. Somit werden grundsätzlich mögliche Potenziale nicht nutzbar, oder nur zu höheren Kosten realisierbar.

Bislang fehlten Bewertungsansätze für die Integration von industrieller Abwärme in (öffentliche) Fernwärmenetze auf beiden Seiten. Sowohl im Produktionsprozess, als auch hinsichtlich der Wärmenetzintegration gab es weder allgemein anwendbare Instrumente zur Bestimmung der relevanten Kosten noch zur Identifikation geeigneter technologischer Aspekte bzw. Randbedingungen (z. B. Verträglichkeit von Lastschwankungen). Dies wirkte als Hemmnis, wenn eine verstärkte Integration von Abwärme im Sinne eines regionalen nachhaltigen Wirtschaftssystems angestrebt wurde.

5.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Nachfolgend erfolgt eine Auflistung themenrelevanter Projekte / Vorarbeiten, welche im Impulsprogramm „Nachhaltig Wirtschaften“ bereits durchgeführt wurden:

- Abwärmenutzung und Einsatz erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb
- FABRIKregio Weiterentwicklung, Erprobung und Verbreitung von Modellen zur Selbstbewertung betrieblicher Nachhaltigkeitspotenziale
- INABE - Entwicklung einer ganzheitlichen Bewertung der Aktivitäten von Unternehmen auf Nachhaltigkeitsrelevanz und Praxistest in führenden Industriebetrieben
- Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb
- Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung der Filterreinigung mittels Abwärmenutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb
- Ressourceneffizienzsteigerung in der metallverarbeitenden Industrie – Experimentelle Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen
- Sustainability Management System – Kennzahlenbasierter Aufbau eines betrieblichen Nachhaltigkeitsmanagements

Darüber hinaus sind an der Fachhochschule JOANNEUM, Studiengang Infrastrukturwirtschaft bereits zahlreiche Diplomarbeiten mit themenrelevantem Bezug vorhanden (siehe Abschnitt 11).

5.3 Fokus / Schwerpunkte der Arbeit

In diesem Projekt wurde nach dem Open-Innovation-Ansatz unter größtmöglicher Integration potenzieller Interessenten untersucht, inwiefern die Nutzung von Abwärme in Wärmeverteil- und Wärmenutzungssystemen durch Instationaritäten limitiert wird. Hierbei wurden die beteiligten Akteursgruppen (im Speziellen mehrere namhafte große Industriebetriebe und große Fernwärmenetzbetreiber) in den Gestaltungsprozess integriert, wie sie dieses Produkt bestmöglich nutzen können. Darüber hinaus bestand ein offener Zugang für jegliche andere potenzielle Zielgruppen.

In diesem Zusammenhang wurde ermittelt, inwieweit es sinnvoll ist, die ungleichmäßige Bereitstellung der Abwärme durch Zusatzinvestitionen (z. B. Wärmespeicher) oder durch Abstimmung der Produktionsprozesse auf den Wärmebedarf zu vergleichmäßigen.

Da die Einspeisung von industrieller Abwärme Probleme im Netzbetrieb mit sich bringen kann, wurde im Rahmen dieses Projektes versucht, entscheidende Lösungsansätze zu finden, damit eine stabile Nutzung von Abwärme möglich ist. Dabei wurde festgestellt welchen Einfluss die Instationarität von Abwärme auf eine sinnvolle Nutzung hat.

Ergebnis dieses Projektes ist daher eine Aussage über die optimale Nutzung instationärer Abwärmequellen unter der Berücksichtigung von wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Anpassung an den Wärmebedarf.

Mit den im Rahmen des Projekts erhobenen Daten und dem Bewertungsverfahren steht erstmals ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dem eine integrierte Betrachtung bzw. Abstimmung und Optimierung des Gesamtkomplexes Abwärmelieferung und Wärmenutzung mit den dazwischenstehenden Technologien möglich ist. Damit kann das übergeordnete Ziel einer Erhöhung des Anteils der Abwärmenutzung zur Deckung des Nutzenergiebedarfs Raumwärme erreicht werden.

Zur Erarbeitung der Schwerpunkte wurden mit Hilfe dieses Projektes folgende Inhalte festgehalten:

1. Identifikation typischer Eigenschaften von Abwärmequellen
2. Identifikation typischer Eigenschaften von Wärmeverteilnetzen
3. Analyse relevanter Rahmenbedingungen
4. Identifikation relevanter Technologien der Abwärmeauskopplung
5. Erarbeiten eines universell anwendbaren Bewertungsverfahrens
6. Durchführen von Beispielvarianten und Tests
7. Dokumentation

1. Identifikation typischer Abwärmequellen

Für die Erarbeitung dieses Inhaltes wurden hierbei typische, industrielle Abwärmequellen identifiziert. Damit wurde eine Datenbasis geschaffen. Die unterschiedlichen Wärmequellen wurden hinsichtlich deren typischer Charakteristika kategorisiert. Durch die Klassifizierung war es möglich, eine einheitliche Grundlage zu schaffen. Für die industrielle

Abwärmenutzung besteht durch die unterschiedlichen Temperatur- und Druckniveaus der Prozesse ein Integrationsproblem in das Fernwärmenetz. Besonders bei instationären Prozessen sind teilweise auch die Temperaturniveaus stark schwankend. Durch die Analyse der Prozesse und der Orte des Abwärmeeinfalls und der verwendeten Technologien konnten typische Eigenschaften industrieller Abwärme identifiziert werden, die in weiterer Folge eine Klassifizierung dieser Wärmequelle erlauben. Somit stehen die notwendigen Daten für eine optimale Integration von industrieller Abwärme schon im Prozessdesign zur Verfügung.

2. Identifikation typischer Eigenschaften von Wärmeverteilnetzen

Nach der Bestimmung typischer Abwärmequellen von industriellen Prozessen war es erforderlich, eine Analyse der Wärmeverteilnetze durchzuführen. Entscheidend war in diesem Zusammenhang u. a. die Eruiierung der unterschiedlichen Lastgänge des Wärmeverbrauches eines Wärmenetzes. Der Verbrauch im Netz und eine Bereitstellung industrieller Abwärme können quantitativ, sowie auch zeitlich weit divergieren. Die Charakteristik von instationär verfügbarer Abwärme erfordert daher eine Leistungsreserve im Wärmenetz für den Ausgleich der nicht aus dem industriellen Prozess bereitgestellten Wärme. Die Reserve muss vom Fernwärmenetz zur Verfügung gestellt werden. Aus diesem Grund war es auch notwendig diverse Reservekapazitäten von Seiten des Wärmeverteilnetzes zu bestimmen. Damit die bereitgestellte Abwärme in ein Netz integriert werden kann, müssen weitere technologische Aspekte beachtet werden (z. B. Druckniveaus, Temperaturniveaus, Medienqualität, Gradienten, Wassermengen).

3. Analyse relevanter Rahmenbedingungen

Nachdem die Wärmequellen und der Wärmebedarf analysiert und charakterisiert waren, wurden die allgemeinen Rahmenbedingungen erhoben. Von entscheidendem Einfluss war in diesem Zusammenhang die Gesetzgebung. Hierbei galt es unterschiedliche Ebenen zu berücksichtigen. Eine internationale Vorgabe besteht durch das Kyoto-Protokoll, eine innereuropäische durch EU-Richtlinien, eine nationale durch Bundesgesetze und eine länderinterne durch die bundesländerspezifischen Energiepläne. Die Bestimmungen dieser gesetzlichen Rahmenbedingungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Forcierung der industriellen Abwärmenutzung und deshalb galt es, diese zu erheben.

Eine weitere Rahmenbedingung ist das betriebliche Umfeld bzw. die Marktsituation. Hierbei trifft der freie Markt, für den der Abwärmelieferant seine Produkte herstellt, auf den geschlossenen Markt des Fernwärmebetreibers. Die Charakteristika dieser Märkte unterscheiden sich von Grund auf.

4. Identifikation relevanter Technologien der Abwärmeauskopplung

Ergänzend wurden geeignete Technologien zur Abwärmeauskopplung erhoben. Dabei wurde versucht, auf der Kostenseite auch den Einfluss verschiedener Werkstoffe mit zu berücksichtigen. Im Zusammenhang mit der Nutzung industrieller Abwärme kann bei Einsatz besserer Werkstoffe teilweise die Energieausbeute und das Temperaturniveau der gelieferten Abwärme erhöht werden (z. B. kann mit einer Reduzierung der

Falschluffansaugung zur Temperaturbegrenzung in den Rauchgaswegen das Temperaturniveau der gelieferten Abwärme angehoben werden. Hierfür ist der Einsatz teurer Werkstoffe nötig). Dabei ist anzumerken, dass die Komponenten immer speziell für den jeweiligen Anwendungsfall ausgelegt werden, und daher allgemeingültige Aussagen zu den Kosten mit Unsicherheiten behaftet sind.

5. Erarbeiten eines universell anwendbaren Bewertungsverfahrens

Damit eine einheitliche Bewertungsbasis für instationär verfügbare Abwärme zur Verfügung steht, wurde ein allgemein gültiges Bewertungsverfahren ausgearbeitet. Die Bewertungsansätze orientieren sich nicht nur am Erzeuger (Abwärmelieferant), sondern beinhalten auch netzseitige Einflüsse (Netzbetreiber).

Durch die Bewertung der Abwärme nach verschiedenen Gesichtspunkten bei gleichzeitiger Berücksichtigung der möglichen Wärmeabnahme kann festgestellt werden, ob eine Verwertung der Abwärme sinnvoll ist, bzw. welche Maßnahmen und Investitionen hierfür erforderlich sind.

Aufgrund gleicher Bewertungsansätze war es nun möglich, unterschiedliche Abwärmeprozesse zu vergleichen. Dadurch werden Entscheidungshilfen für die Abwärmeauskopplung geboten, die bereits in der Phase der Auslegung der Produktionsprozesse mitberücksichtigt werden können.

6. Durchführen von Beispielvarianten und Tests

Damit die erarbeiteten Bewertungsansätze und Methoden auch einer Überprüfung unterzogen werden konnten, waren konkrete Tests erforderlich. Hierbei wurde untersucht, ob die erarbeiteten Kennzahlen aussagekräftig sind, und die ermittelten Daten zu sinnvollen Ergebnissen führen.

7. Dokumentation

Damit die Ergebnisse dieser Grundlagenstudie den einzelnen Akteursgruppen und auch der Öffentlichkeit näher gebracht werden können, erfolgte eine begleitende Dokumentation der Ergebnisse.

Nach Projektdurchführung stehen daher unter höchstmöglicher Integration aller potenzieller Interessensgruppen (Betreiber von Fernwärmenetzen, Fernwärmekunden und Industrieunternehmen, bei denen nutzbare Abwärme anfällt) auch umfassende Informationen im Zusammenhang mit der Instationarität dieses Produktes und deren sinnvolle Integration in Wärmeverteilnetze zur Verfügung.

5.4 Einpassung in die Programmlinie

Das Projekt „Instationarität von industrieller Abwärme als limitierender Faktor bei der Nutzung und Integration in Wärmeverteil- und Wärmenutzungssystemen“ entspricht den Zielsetzungen der Programmlinie „Fabrik der Zukunft“ besonders. Die von der Programmlinie angestrebten Innovationssprünge finden durch dieses Projekt insbesondere im Bereich

„Technologien und Innovationen bei Produktionsprozessen“ statt, welcher auch dem Schwerpunkt der vierten Ausschreibung entspricht. Dabei wird auch das geforderte Ziel verfolgt, erfolgreiche Projekte aus bisher ausgeschriebenen Themenbereichen der Fabrik der Zukunft zu Demonstrationsprojekten weiterzuentwickeln. Dafür wurden begleitende Maßnahmen, wie z.B. eine gezielte Miteinbeziehung der Wirtschaft, über die gesamte Projektlaufzeit durchgeführt.

5.5 Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Endberichts

Der zu Grunde liegende Endbericht über das Projekt mit dem Titel „Instationarität von industrieller Abwärme als limitierender Faktor bei der Nutzung und Integration in Wärmeverteils- und Wärmenutzungssystemen“ entspricht den „Hinweisen zur Berichtslegung und projektbezogenen Öffentlichkeitsarbeit“ im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften und daher ist auch dessen Struktur der vorgegebenen Gliederung entsprechend. Diese wird zur besseren Orientierung nachfolgend beschrieben:

Nach einer Kurzfassung in deutscher (Abschnitt 2) und englischer (Abschnitt 3) Sprache erfolgt ein kurzer Projektabriss (Abschnitt 4), welcher eine überblickartige Darstellung des Projektes bietet und Ausgangssituation/Motivation, Inhalte und Zielsetzungen, methodische Vorgehensweise, Ergebnisse und Schlussfolgerungen sowie einen Ausblick umfasst.

Anschließend folgt das Einleitungskapitel (Abschnitt 5) über das durchgeführte Projekt. Hierbei erfolgt eine kurze Einführung in die Thematik der industriellen Abwärmenutzung und deren Problematik in Bezug auf die Integration in Wärmeverteilnetze (Abschnitt 5.1). Danach werden die bereits erbrachten themenrelevanten Vorarbeiten dargestellt (Abschnitt 5.2). Schließlich erfolgen eine Formulierung des Fokus bzw. der Schwerpunkte der Arbeit (Abschnitt 5.3) sowie eine kurze Erläuterung in Bezug auf die Einpassung in die Programmlinie (Abschnitt 5.4). Das Kapitel wird mit dieser Kurzbeschreibung des Aufbaus des Endberichtes abgerundet (Abschnitt 5.5).

Im darauffolgenden Kapitel werden die Ziele des Projektes dargelegt (Abschnitt 6). Hierbei erfolgen eine konkrete Beschreibung der in dem Projekt verfolgten Zielsetzungen, sowie eine Darstellung, ob und wie diese erreicht wurden.

Das nächste Kapitel beschäftigt sich mit den Inhalten und den Ergebnissen des Projektes (Abschnitt 7). Es beginnt mit einer kurzen Auflistung der verwendeten Methoden und Daten (Abschnitt 7.1). Danach werden der Stand der Technik (Abschnitt 7.2) und Neuerungen sowie die Vorteile gegenüber dem Ist-Stand dargelegt (Abschnitt 7.3). Im nächsten Schritt werden die Projektergebnisse konkret beschrieben und behandelt (Abschnitt 7.4). Dabei werden die relevanten Rahmenbedingungen zur Nutzung industrieller Abwärme (Abschnitt 7.4.1), die Eigenschaften von Wärmeverteilnetzen (Abschnitt 7.4.2) und industrieller

Abwärme (Abschnitt 7.4.3), sowie Beeinflussungsmöglichkeiten einer etwaigen Abwärmenutzung behandelt (Abschnitt 7.4.4). Schließlich werden in diesem Kapitel auch relevante Technologien der Abwärmenutzung bzw. der Integration von Abwärme (Abschnitt 7.4.5) sowie Bewertungskennzahlen von industrieller Abwärme (Abschnitt 7.4.6) dargestellt. Abgerundet wird der Abschnitt durch die Illustration der Lösungsansätze zur Integration industrieller Abwärme in Wärmeverteilnetze (Abschnitt 7.4.7), sowie durch die Präsentation von Ansätzen zur wirtschaftlichen Bewertung industrieller Abwärme (Abschnitt 7.4.8).

Der an das „Ergebnis-Kapitel“ anschließende Abschnitt beschäftigt sich mit den Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie (Abschnitt 8). Hierbei werden der Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung (Abschnitt 8.1), die Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt (Abschnitt 8.2) und auch die Umsetzungspotenziale der Projektergebnisse beschrieben (Abschnitt 8.3), wobei hier sowohl das Marktpotenzial (Abschnitt 8.3.1), als auch das Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial (Abschnitt 8.3.2) behandelt werden. Dieses Kapitel endet mit der Erläuterung des Potenzials für Demonstrationsvorhaben (Abschnitt 8.4).

Die Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen werden im anschließenden Kapitel dargelegt (Abschnitt 9). Hierbei werden die aus fachlicher Einschätzung in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam präsentiert. Auch wird beschrieben, wie das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter arbeitet.

Abschließend werden noch Ausblicke und Empfehlungen abgegeben, wobei beschrieben wird, wo die Chancen / Schwierigkeiten / Risiken bei der Realisierung / Umsetzung in Richtung Demonstrationsprojekt liegen (Abschnitt 10).

Im letzten inhaltlichen Abschnitt des Endberichtes (Anhang, Abschnitt 16) befinden sich ausgewählte Detailstudien der Arbeit.

6 Ziele des Projektes

Das beantragte Projekt, das die verstärkte Integration des (Neben)produktes „Industrielle Abwärme“ in bestehende (öffentliche) Fernwärmenetze fördern soll, weist unter Miteinbeziehung der potenziellen Interessensgruppen (Betreiber von Fernwärmenetzen und Industrieunternehmen als Abwärmelieferanten und Eigenverbraucher von Heizungswärme) in den Gestaltungsprozess des Projektes folgende Zielsetzungen auf, welche auch im Zuge der Projektdurchführung erreicht wurden:

1. Schaffung einer Datenbasis (technisch und wirtschaftlich)
 - a. Umfassendes Datenmaterial zur technologischen Charakterisierung industrieller Abwärme (Wärmemengen, zeitlicher Verlauf der Verfügbarkeit, Temperatur- bzw. Druckniveaus und –verläufe, etc.) und des typischen Bedarfs in Wärmeverteil- und –nutzungssystemen (Prozess- bzw. Fernwärmelastgänge, Temperaturniveaus, etc.) wurde erhoben und steht in aggregierter Form zur Verfügung.
 - b. Umfassende Daten zu typischen Technologien der Abwärmenutzung und –integration stehen in gesammelter Form zur Verfügung (unterschiedliche technologische Möglichkeiten der Wärmeübergabe zwischen Abwärmelieferant und Wärmeverteilnetz, Zusatztechnologien, Speichermedien, etc.).
 - c. Daten zu typischen Kosten (z. B. für Komponenten der Abwärmenutzung) wurden so weit möglich in allgemeingültiger Form (z. B. als spezifische Kosten) erhoben.
 - d. Weiters wurden Daten zu weiteren, externen Effekten (z. B. Emissionsminderungen durch Abwärmenutzung) erhoben.

2. Etablierung eines Verfahrens zur technischen und wirtschaftlichen Bewertung von Abwärmeauskopplung und –nutzung
 - a. Um die Übereinstimmung (Menge, Temperaturniveaus, etc.) der Abwärmelieferung und dem Wärmebedarf im Verteilnetz darstellen zu können, wurde ein Bewertungsverfahren auf Basis von Kennzahlen erarbeitet. Mit diesen Kennzahlen ist eine Klassifizierung von Abwärmelieferung und Wärmebedarf in einem Wärmenetz möglich. Somit besteht eine einheitliche Basis zur Beurteilung der Integration von Abwärme.
 - b. Die Verknüpfung von Kosten mit den gelieferten Wärmemengen ermöglicht eine wirtschaftliche Bewertung und die prinzipielle Kalkulation von spezifischen Kosten der gelieferten Abwärme. Somit kann die Basis für die Ermittlung von Einspeisetarifen für die Wärme geschaffen werden.

3. **Beispielhafte Anwendung und Demonstration des Bewertungsverfahrens**
Die Signifikanz der erhobenen Daten und des erarbeiteten Bewertungsverfahrens wurden durch die beispielhaften Analysen bestehender Abwärmenutzungen mit realen Daten überprüft.

7 Inhalte und Ergebnisse des Projektes

7.1 Verwendete Methoden und Daten

Die verwendete Methodik des Projektes lässt sich in folgende Teile untergliedern:

1. Interaktion mit Akteursgruppen
2. Analyse und Recherche
3. Entwicklung des Bewertungsverfahrens
4. Anwendung und Evaluierung
5. Durchführen des Projektmanagements und der Dokumentation

1. Interaktion mit Akteursgruppen

Zu Beginn des Projektes wurde versucht, neben den bereits beteiligten Interessensgruppen (mehrere namhafte große abwärmeproduzierende Industriebetriebe und große österreichische Fernwärmenetzbetreiber), möglichst viele zusätzliche Akteursgruppen anzusprechen und zu akquirieren (Akquirierung weiterer Akteursgruppen). Dadurch konnte eine Anzahl an Interessenten in die Projektdurchführung miteingebunden werden, und die Aussagekraft eines allgemeingültigen Projektergebnisses verstärkt werden.

Entsprechend der Zielsetzung, sämtliche Akteure bestmöglich im Projekt zu berücksichtigen, wurde eine projektbegleitende Interaktion dieser Gruppen durchgeführt. Diese wurde durch eine Auftaktveranstaltung zu Beginn des Projektes eingeleitet. Hierbei wurden InteressentInnen dazu eingeladen (durch direkte oder indirekte Kontaktaufnahme), am Projekt mitzuwirken. Die Teilnahme wurde offen und unbürokratisch gestaltet. Dies wirkte sich förderlich auf die Qualität der erhobenen Daten und der allgemein gültigen Projektergebnisse aus.

2. Analyse und Recherche (Erstellen der Datenbasis)

Eine fundierte Datenbasis stellt die Grundlage für alle weiteren Arbeitspakete dar. Zur Erstellung der notwendigen Datenbasis wurde eine umfangreiche Analyse und Recherche durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden Literaturrecherchen sowie Erhebungen von relevanten Realdaten (Betriebsdaten) unter Einbeziehung der Akteursgruppen durchgeführt. Auch hier galt, dass im Zuge der Erarbeitung bei Bedarf Rücksprache mit den Involvierten gehalten wurde, und dadurch eine enge Kommunikation erfolgte. Hierdurch konnte sichergestellt werden, dass die erhobenen Daten für den weiteren Projektverlauf auch anwendbar sind.

Im Rahmen der Recherche wurden Daten aus verfügbaren Prozessdaten über industrielle Abwärmequellen und Wärmeverteilnetze erhoben. Dabei wurden nicht nur technische Aspekte (z. B. Betriebsbedingungen, Lastgänge, etc.) berücksichtigt, sondern auch wirtschaftliche (z. B. Investitionskosten, Amortisationszeit, etc.) und ökologische (CO₂-Einsparung). Weiters war es erforderlich, die entsprechenden Rahmenbedingungen zu

erheben. Die Rahmenbedingungen schließen den Bereich der Gesetzgebung und der Marktsituation in die Erhebung mit ein. Ein weiteres Rechercheergebnis war die Identifikation der relevanten Technologien der Abwärmeauskopplung. Auch hier wurden technische und wirtschaftliche Daten erhoben.

Schließlich erfolgte auf Basis der Daten eine grundlegende Aufbereitung, Analyse und Ausarbeitung der Daten, welche für die weitere Vorgehensweise herangezogen wurde.

3. Entwicklung des Bewertungsverfahrens

Nach erfolgter Auswertung der Daten konnte nun mit Hilfe der beteiligten Akteursgruppen (Abwärmelieferanten, Netzbetreiber, etc.) die Erstellung einer geeigneten Methodik inklusive der Generierung von Kennzahlen erfolgen. Die entwickelte Methodik wurde sowohl für eine Anwendung auf Seite der Abwärmelieferanten, als auch auf Seite der Betreiber von Wärmeverteilnetzen konzipiert. Hierbei wurde auf empirische Daten zurückgegriffen, und dadurch eine realistische Aussagekraft dieser Bewertungsergebnisse ermöglicht. In Folge können Strategien und Ansätze für Planung und Kalkulation abgeleitet werden.

4. Anwendung und Evaluierung

Nachdem eine entsprechende Methodik zur Bewertung entwickelt wurde, erfolgte eine Überprüfung des erarbeiteten Bewertungsverfahrens durch entsprechende Testanwendungen. Daraus entstanden Beispielvarianten bzw. Fallstudien für die Integration von industrieller Abwärme in Wärmeverteilnetzen (siehe Anhang - Abschnitt 16).

5. Durchführen des Projektmanagements und der Dokumentation

Die gesamte Projektdurchführung wurde dokumentiert bzw. es wurden Projektpartner-Besprechungen durchgeführt, damit der Projektfortschritt dargelegt werden konnte und die Projektpartner stets die Möglichkeit hatten, sich einzubringen. Auf Basis des erstellten Endberichtes ist es auch möglich, dass nicht involvierte InteressentInnen die Projektergebnisse optimal verwenden können.

7.2 Beschreibung des Standes der Technik

Abwärme aus industriellen Prozessen wird bislang zumeist nur direkt innerhalb der industriellen Produktion genutzt. Weiters wird diese Abwärmenutzung nicht im Hinblick auf einen konkreten Wärmebedarf mit einer charakteristischen Verbrauchsstruktur ausgelegt. Vielmehr steht diese Abwärmenutzung unter dem Motto "möglichst viel Energie, die in Form von Abwärme anfällt, innerhalb der Produktionsprozesse zu halten". Für die industrielle Produktion steht natürlich immer der Momentanenergiebedarf für die Erstellung des Produkts im Vordergrund.

Das bedingt jedoch immer wieder Situationen, dass Abwärme, die im System grundsätzlich in nutzbarer Form vorliegt, nicht genutzt werden kann. Eine Vielzahl von Untersuchungen, in die die Projektbeteiligten involviert waren, stützen diese Beobachtungen.

Es gibt demnach keine Tendenzen, den instationären Anfall der Abwärme zu vergleichmäßigen. In diesem Sinn sind auch die Komponenten für die Abwärmenutzung nicht auf einen möglichst großen Gewinn an Abwärme, sondern lediglich auf die maximal mögliche wieder innerhalb der industriellen Produktion integrierbare Abwärme ausgelegt. Die vorhandenen Potenziale werden somit nicht vollständig genutzt.

Die Nutzung der Abwärme außerhalb der industriellen Produktion z. B. in Fernwärmesystemen fand bislang eher in untergeordnetem Ausmaß statt. Projekte, die bisher realisiert wurden, verfolgen eine Nutzung von Anteilen der Abwärme, die mit konstanter Wärmeleistung zur Verfügung stehen, oder speisen mit instationärem Verlauf in sehr große Fernwärmenetze ein, die durch diese ungleichmäßige Wärmeeinlieferung nicht in ihrer Betriebssicherheit beeinflusst werden.

Eine Ausweitung der Abwärmenutzung außerhalb der Produktionsprozesse zur Fernwärmeversorgung bedeutet einerseits eine zusätzliche Einnahmequelle für die Industriebetriebe, stellt andererseits aber eine Herausforderung hinsichtlich der Wärmelieferung dar, da auch auf die Verbrauchscharakteristik der Wärmekunden außerhalb der industriellen Produktion Rücksicht genommen werden muss. In diesem Zusammenhang gilt, dass eine bessere Übereinstimmung zwischen Wärmelieferung und der tatsächlichen Verbrauchscharakteristik einen positiven Effekt auf die erzielbaren Wärmeerlöse hat.

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

Das Projekt verfolgte den Ansatz, schon bei Neuplanungen und beim Prozessdesign industrieller Produktion die Nutzbarkeit der Abwärme auch für externe Wärmeverbraucher in Fernwärmenetzen mit einzubeziehen. Abwärme ist, wenn sie außerhalb des Unternehmens verkauft wird, ein weiteres Produkt mit dem Einkünfte erzielt werden können. Je besser die Liefercharakteristik mit dem Verbrauchsprofil übereinstimmt, desto größer die Akzeptanz der Kunden und desto höher die damit erzielbaren, zusätzlichen Erlöse.

Hierzu war es nötig, eine Vergleichsbasis für die Abwärmelieferung und den Wärmeverbrauch im Netz zu schaffen. Dabei wurden auf Basis umfassend recherchierter Daten Kennzahlen zur technischen und ökonomischen Bewertung erarbeitet.

An der Schnittstelle (= Wärmeübergabestation) zwischen der Wärmelieferung aus dem Industriebetrieb und dem Fernwärmesystem konnte dadurch ein Abgleich der Liefer- und Verbrauchscharakteristiken erfolgen, bzw. konnte der Bedarf für allfällige zusätzliche Komponenten zur verbesserten Abstimmung identifiziert und quantifiziert werden.

Damit konnten erstmals die spezifischen Verbrauchscharakteristiken schon bei der Auslegung der Anlagen zur Abwärmenutzung mit eingeplant und auch kostenmäßig erfasst werden. Hierdurch wurde auch die Basis für eine einheitliche und nachvollziehbare Kalkulation für das Produkt "industrielle Abwärme" etabliert.

7.4 Beschreibung der Projektergebnisse

7.4.1 Rahmenbedingungen zur Nutzung industrieller Abwärme

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.1:

7.4.1.1	Einleitung.....	29
7.4.1.2	Energierrechtliche und –politische Rahmenbedingungen	30
7.4.1.2.1	International / innereuropäisch.....	30
7.4.1.2.2	National.....	32
7.4.1.2.3	Bundesländerspezifisch	35
7.4.1.2.4	Sonstige nationale Regelungen	38
7.4.1.3	Ökologische Rahmenbedingungen	38
7.4.1.4	Wirtschaftliche und betriebliche Rahmenbedingungen	41

7.4.1.1 Einleitung

Ein entscheidender Einfluss auf die sinnvolle Integration von industrieller Abwärme besteht von externer Seite, sei es durch den Gesetzgeber, den Markt oder die Gesellschaft. Diese Einflussfaktoren müssen daher bei der Abwärmennutzung Berücksichtigung finden.

Von wesentlicher Bedeutung in Bezug auf die Nutzung industrieller Abwärme sind energierechtliche und -politische Rahmenbedingungen. Hierbei gibt es unterschiedliche Ebenen zu berücksichtigen. Eine internationale Ebene besteht durch das Kyoto-Protokoll [Kyoto-Protokoll], eine innereuropäische durch EU-Richtlinien ([EU-Richtlinie 2003/87/EG], [EU-Richtlinie 2006/32/EG]) eine nationale durch Bundesgesetze ([Emissionszertifikategesetz 1], [Emissionszertifikategesetz 2], [Emissionszertifikategesetz 3], [Umweltrechtsanpassungsgesetz], [NAP 2], [Energieeffizienzaktionsplan]) und eine länderinterne durch die bundesländerspezifischen Energiepläne ([Burgenländisches Energiekonzept], [Kärntner Landesenergieleitlinien], [Niederösterreichisches Klimaprogramm], [Oberösterreichisches Energiekonzept], [Energieleitbild Salzburg], [Energieplan Steiermark], [Energieleitbild Tirol], [Energiekonzept Vorarlberg], [Energiekonzept Wien]). Die Bestimmungen dieser gesetzlichen Rahmenbedingungen haben daher einen entscheidenden Einfluss auf die Forcierung der Nutzung industrieller Abwärme. In diesem Zusammenhang werden in folgendem Abschnitt **energierechtliche** und **politische** Rahmenbedingungen auf

- internationaler / innereuropäischer,
- nationaler und
- bundesländerspezifischer

Ebene dargestellt.

Da bei der Nutzung von industrieller Abwärme der fossile Primäreinsatz dieser Wärmequelle bzw. dieses (Neben)produktes sehr gering ist, weist eine Verwertung auch sehr große ökologische Relevanz auf. Diese Tatsache bedingt auch die Berücksichtigung von **ökologischen Rahmenbedingungen** und relevanten Kennzahlen (z. B. fossiler Primärenergiefaktor), welche nachfolgend beschrieben werden.

Eine weitere, nicht außer Acht zu lassende Rahmenbedingung ist das betriebliche Umfeld bzw. die Marktsituation. Hierbei trifft der freie Markt, für den der Abwärmelieferant seine Produkte herstellt, auf den geschlossenen Markt des Fernwämbetreibers. Die Charakteristika dieser Märkte unterscheiden sich von Grund auf. Damit eine sinnvolle Verbindung hergestellt werden kann, müssen Schnittstellen eindeutig definiert werden. Dadurch steigt weiters die Akzeptanz gegenüber der anderen Partei. Auf Basis dieser Tatsache erfolgt daher in diesem Abschnitt auch eine Präsentation **wirtschaftlicher** bzw. betrieblicher **Rahmenbedingungen**.

7.4.1.2 Energierechtliche und –politische Rahmenbedingungen

7.4.1.2.1 *International / innereuropäisch*

International

Auf internationaler Ebene legt das völkerrechtlich verbindliche **Kyoto-Protokoll** einen Grundstein für energierechtliche und -politische Rahmenbedingungen. Das Protokoll stellt eine grundlegende Architektur für alle künftigen internationalen Abkommen im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu Verfügung.

Hauptziel des Protokolls ist letztendlich eine vom Menschen verursachte Klimaänderung durch die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre zu verhindern. Für Industrie- und Transformationsstaaten bestehen verbindliche Ziele zur Beschränkung oder Reduktion der Emissionen von sechs Treibhausgasen, inklusive Kohlendioxid (CO₂), zur Eindämmung des Treibhauseffekts. Es schreibt eine Reduktion der Treibhausgasemissionen innerhalb des Verpflichtungszeitraums 2008 bis 2012 von mindestens 5 [%] unter das Niveau von 1990 vor.

Angewandte Mechanismen für die Reduktion von Treibhausgasemissionen:

- Effizienter Umgang mit Energie und verringerter Einsatz fossiler Energieträger
- Emissionsminderung durch finanzierte Klimaschutzprojekte in anderen Industriestaaten oder in Entwicklungsländern
- Handel mit Emissionsrechten (Zertifikaten) zwischen den Industriestaaten

Industrielle Abwärmenutzung als Beitrag zur Zielerreichung:

Zur Erreichung der angestrebten Reduktionsziele des Kyoto-Protokolls eignet sich die Nutzung industrieller Abwärme in Wärmeverteilnetzen ganz besonders, da sie durch einen

äußerst geringen nicht regenerativen Primärenergiefaktor gekennzeichnet ist. In Fernwärmenetzen kann sie ergänzend zur Wärmelieferung aus KWK-Anlagen, die ihrerseits Primärenergieeinsparungen gegenüber einer getrennten Erzeugung von Strom und Wärme erzielen, die Gesamteffizienz des Systems erhöhen. Durch den Ausbau der Fernwärmeversorgung kann der CO₂-Ausstoß durch die Substitution von Einzelfeuerungen in Haushalten, die fossile Brennstoffe verfeuern, verringert werden. Abwärmennutzung führt also zu besserer Energieeffizienz und verringertem Einsatz fossiler Energieträger und leistet einen entscheidenden Beitrag zur Zielerreichung.

Da in der EU nicht nur der Staat als Vertragspartei des Kyoto-Protokolls am internationalen Emissionshandel teilnehmen kann, sondern auch Unternehmen, können im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems Zertifikate von Unternehmen gehandelt werden. Derzeit betrifft der EU-Emissionshandel die Sektoren Industrie und Energieaufbringung. Allerdings sind nicht alle Betriebe vom Emissionshandel betroffen. An einer Teilnahme am Emissionshandelssystem sind aktuell nur energieintensive Betriebe verpflichtet, wobei diese für ihr großes Aufkommen instationärer Abwärme und dem daraus resultierenden Wärmerückgewinnungspotenzial prädestiniert sind. Das Kyoto-Protokoll lässt jedoch offen, in welcher Form die industrielle Abwärmeauskopplung einem Industriebetrieb in Hinblick auf die CO₂-Zertifikate zu Gute kommt, und gibt den einzelnen Vertragsparteien die Möglichkeit unterschiedliche Wege einzuschlagen.

Auf den Bereich der Abwärmeauskopplung wird im Kyoto-Protokoll also nicht konkret eingegangen. Entsprechende Maßnahmen dazu finden sich erst in untergeordneten Ebenen wieder.

Innereuropäisch / EU

Innereuropäische Rahmenbedingungen in Bezug auf industrielle Abwärmennutzung ergeben sich durch das **Europäische Emissionshandelssystem** (kurz: ETS – „Emission Trading Scheme“) und die **Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (2006/32/EG)**.

Die Europäische Union hat sich auf Basis des Kyoto-Protokolls dazu verpflichtet ihre gemeinsamen anthropogenen Treibhausgasemissionen im Zeitraum von 2008 – 2012 gegenüber dem Stand von 1990 nicht wie vom Protokoll empfohlen um 5 [%], sondern um 8 [%] zu senken [2002/358/EG]. Die Etablierung des **Europäischen Emissionshandelssystems** nimmt dabei eine zentrale Rolle ein, wobei die Zuteilung der Emissionszertifikate auf nationaler Ebene durch die Erstellung eines nationalen Zuteilungsplans geregelt wird. In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass die Mitgliedstaaten bei der Zuteilung von Zertifikaten das Potenzial berücksichtigen sollen, welches sich bei industriellen Prozessen ergibt, um Emissionen zu verringern. Dazu zählen in weiterer Folge die Nutzung industrieller Abwärme und deren Integration in ein Nah- bzw. Fernwärmeverteilnetz. Hat ein Unternehmen die Möglichkeit Wärme auszukoppeln und somit

den Gesamtnutzen der eingesetzten Primärenergie zu erhöhen, so kann sich das auch durchaus positiv auf die Anzahl der zugeteilten Zertifikate auswirken.

In Zukunft wird die Notwendigkeit der Emissionsvermeidung und Effizienzsteigerung noch mehr an Bedeutung gewinnen, da zukünftige wesentliche Änderungsvorhaben der EU eine starke Erhöhung des Anteils der zu versteigernden Zertifikate betreffen (ab 2010 jährlich um 1,74 [%] gegenüber den Emissionen von 2005). Außerdem erfolgt eine Festsetzung der Gesamtmenge der zu versteigernden Emissionen für große Anlagen der Industrie und der Energiewirtschaft auf EU-Ebene. Ziel dabei ist, die bisher unterschiedlichen Handhabungen der Mitgliedstaaten zu unterbinden und die Aufteilung der Zertifikate durch Benchmarking-Ansätze vorzunehmen. Für die Festlegung der Benchmarks werden jeweils die effizientesten 10 [%] der Anlagen einer Branche in der EU betrachtet, welche Gratiszertifikate erhalten (Ausnahme: „Carbon Leakage“-gefährdete Industriesektoren). Unter diesem Hintergrund steigt die Bedeutung verstärkter Nutzung industrieller Abwärme.

Die **Richtlinie 2006/32/EG über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen**, verfolgt den Zweck, die Effizienz der Energienutzung in den Mitgliedsstaaten durch unterschiedliche Maßnahmen zu steigern. In diesem Zusammenhang müssen die Mitgliedsstaaten der Kommission so genannte Energieeffizienz-Aktionspläne (EEAP) und konkrete Energieeffizienzmaßnahmen übermitteln, aus denen hervor gehen soll, wie die Mitgliedsstaaten beabsichtigen, das Ziel einer Energieeinsparung von 9 [%] bis zum Jahr 2016 zu erreichen. Die Richtlinie stellt für die Industrie zwar konkrete Beispiele für Energieeffizienzmaßnahmen zur Verfügung, geht jedoch nicht näher auf den Bereich der industriellen Abwärmenutzung ein, wobei es wiederum den Mitgliedstaaten obliegt, inwiefern industrielle Abwärmenutzung der Effizienz-Zielerreichung beitragen soll.

7.4.1.2.2 National

Im Zusammenhang mit den Rahmenbedingungen auf nationaler Ebene sind

- die österreichischen Verpflichtungen in Bezug auf das zu erreichende Emissionsreduktionsziel im Rahmen des ETS,
- Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen im Rahmen des nationalen EEAP und
- die „Nationale Klimastrategie“ zur Erreichung des Kyoto-Ziels

von Bedeutung.

ETS: Nationaler Zuteilungsplan

Österreich hat sich hierbei verpflichtet, ein Reduktionsziel von 13 [%] der CO₂-Emissionen der anthropogenen Treibhausgase im Zeitraum 2008 bis 2012 gegenüber dem Basisjahr 1990 zu erreichen, wobei dies auf Basis des **nationalen Zuteilungsplans (NAP)** erfolgen soll.

Im Industriebereich werden auf Anlagenebene bei der Verteilung, neben einigen anderen Einflussparametern, die jeweiligen Prozessemissionen berücksichtigt, wobei ein etwaiger **Abwärme-Bonus** einbezogen werden kann:

Der Bonus der Abwärmenutzung ist ein nationales Bonus-Instrument, mit dem das Ziel verfolgt wird, Unternehmen zusätzliche Einsparungsanreizmöglichkeiten zu bieten.

Anlagen, die nicht stromgeführt betrieben werden (z.B.: Industrieprozesse, Industrieanlagen), bei denen der betriebliche Nutzen im Vordergrund liegt und Abwärme in ein öffentliches Fernwärmenetz einspeisen, erhalten den Abwärme-Bonus, wobei für die Festlegung der Berechnungsbasis des Abwärme-Bonus die Annahme getroffen wird, dass die ins Netz eingespeiste Wärmemenge alternativ mit Erdgas erzeugt werden würde. Speisen Prozessanlagen nun Abwärme in ein Wärmeverteilnetz ein, so wird für die anteiligen Emissionen die erforderliche Reduktion (entsprechend der CO₂-Intensität der eingesetzten Brennstoffe) um 4 Prozentpunkte gemildert.

Da es sich beim Abwärme-Bonus um ein nationales Bonus-Instrument handelt, wird dieser im kommenden ETS-Zeitraum (zumindest national) nicht mehr berücksichtigt werden können.

EEAP: Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen

Gemäß der Energieeffizienzrichtlinie 2006/32/EG hat Österreich einen Energieeffizienzaktionsplan (EEAP) erstellt. Dem EEAP wurde ein Maßnahmenkatalog angefügt, in dem neben Maßnahmen, die im Wirkungsbereich des Bundes liegen, auch Maßnahmen aus dem Bereich der Länder (siehe Abschnitt 7.4.1.2.3) aufgelistet sind.

Im Zuge dieser Arbeit sind folgende Maßnahmen von Bedeutung:

- Förderung der Abwärmenutzung
 - o Identifikation und Nutzung von vorhandenen Abwärmepotenzialen.
 - o Verpflichtende Berücksichtigung von industriellen Abwärmepotenzialen in der Raumplanung und Flächenwidmung im Zusammenhang mit Wohnraumwidmung und Betriebsansiedelungen.
 - o Forcierung geringer Distanzen zwischen Abwärmelieferant und Abwärmeabnehmer bei Betriebsansiedelung.
- Förderung der Fernwärmenutzung
 - o Ausbau des Fernwärmenetzes und der Fernwärmeversorgung.
 - o Erhöhung der Abnehmerdichte bei bestehenden Fern- und Nahwärmenetzen.
 - o Ausbau des Fernwärmenetzes in Gebieten mit hoher Wärmedichte.
 - o Anschlussverpflichtung.
 - o Effiziente Fernwärmenutzung.
 - o Systematische Stadtentwicklung entlang des Fernwärmenetzes und entlang des hochrangigen Öffentlichen-Verkehrs-Netzes.
 - o Erhöhung der Produktnachfrage führt in weiterer Folge dazu, dass die Angebotsseite, wobei industrielle Abwärmenutzung einen Beitrag leisten kann, ebenfalls steigt.

- Effiziente Energienutzung im Industriebereich
Industriebetriebe sollen gefördert werden, ihre Anlagen möglichst effizient und für die Produktion optimal zu betreiben.
- Förderung fossiler Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen
Die Forcierung von KWK soll dazu führen, den Primärenergieeinsatz so effizient wie möglich zu nutzen.

Der EEAP bedient sich dabei unterschiedlicher Instrumente, welche nachfolgend beispielhaft aufgelistet werden:

- Betriebliche Umweltförderung
Richtet sich an Unternehmen, die Investitionen im Bereich der effizienten Energienutzung tätigen möchten.
- Wohnbauförderungs-Anreize
Richtet sich an private Haushalte.
- Gemeinsame Erstellung lokaler/ regionaler Wärmekonzepte durch Betriebe und Gebietskörperschaften.

Nationale Klimastrategie

Dieses Dokument soll die Erreichung des österreichischen Kyoto-Ziels (siehe Abschnitt 7.4.1.2.1) unterstützen. Dabei soll durch neue strategische Ansätze die Erreichung der Klimaschutzziele weiter vorangetrieben werden. Ansätze dabei wären z.B. der verstärkte Einsatz vorhandener und marktreifer Technologien in den Bereichen Energieeffizienz und Erneuerbare Energie oder die Förderung der Entwicklung neuer potentieller Technologien, die die Emission von Treibhausgasen deutlich senken, wie z. B. effiziente Technologien der Wärmerückgewinnung.

Im Rahmen der Klimastrategie werden folgende, relevanten Punkte behandelt:

- Raumwärme und Kleinverbraucher
Forcierung der Fernwärme.
- Energieaufbringung (Strom- und Fernwärmeerzeugung)
Analyse / Monitoring der Treibhausgasentwicklung (im Segment der Wärmeerzeugung hatte laut Nationaler Klimastrategie vor allem die starke Nachfrage nach Fernwärme in Ballungsräumen starken Einfluss auf die Emissionssituation).
- Energieverwendung und Energieeffizienz in der Industrie
Trotz teilweiser Produktionssteigerung und Mangel an Substitutionsprodukten war keine Steigerung (jedoch auch keine Reduktion) feststellbar. Durch Abwärmennutzung besteht jedoch noch ein weiteres Reduktionspotenzial.
- Maßnahmenvorschläge im Energiebereich
 - o Umstieg auf effiziente Fernwärme.
 - o Einbeziehung von Wärmekonzepten in die Raum- und Flächenwidmungspläne (um sicher zu stellen, dass Abwärmepotenziale von unterschiedlichen Betrieben durch Integration in bestehende Nah- bzw.

Fernwärmenetze oder durch entsprechende Betriebsansiedelungen optimal genutzt werden). [Nationale Klimastrategie 2007]

7.4.1.2.3 Bundesländerspezifisch

Neben internationalen und nationalen Rahmenbedingungen existieren auch auf Bundeslandebene Ziele und Maßnahmen im Hinblick auf die Nutzung industrieller Abwärme. Diese sind in den Landesenergieplänen bzw. -leitlinien vereint. Hierbei wird jedoch in den unterschiedlichen Plänen bzw. Leitlinien allgemein hingewiesen, dass noch keine Instrumente zu Verfügung stehen, die dem „Produkt“ Abwärme Kosten und Erlöse zuordnen. Nachfolgend erfolgt ein Auszug aus den jeweiligen Landesenergieplänen bzw. -leitlinien, wobei explizit auf die industrielle Abwärme- und Fernwärmenutzung Bezug genommen wird:

Bundesland	Bezeichnung der Landesenergieleitlinie	Ziele	Maßnahmen
Bgld.	Burgenländisches Energiekonzept 2003	Entwicklung neuer Energiesysteme, -träger und relevanter Verfahren, Produkte oder Dienste	1.) Entwicklung von modular aufgebauten Wärmerückgewinnungsanlagen. 2.) Errichtung von Nahwärmanlagen und Mikronetzen auf Basis oder in Kombination mit erneuerbarer Energie.
K	Kärntner Landesenergieleitlinien 2007-2015	1.) Reduktion des Energieverbrauchs der im Jahr 2004 bestehenden Gebäude um 20 [%] 2.) Erhöhung der Fern- und Nahwärmenutzung um 50 [%] gegenüber 2004	Einleitung weiterer Energieinnovationsprozesse, wobei industrielle Abwärme einen Beitrag leisten soll. Der Bereich der Versorgung mit leitungsgebundenen Energien soll durch ein Standort- und Versorgungskonzept verbessert und sicherer gemacht werden. Dabei spielen die Flächenwidmungspläne eine besondere Rolle, die es ermöglichen eine optimale Berücksichtigung von Energieaufkommen und -nutzung zu planen. Das schließt auch die leitungsgebundene Energieplanung mit ein. Dabei sollen folgende Punkte berücksichtigt werden: - Bedarf an Prozesswärme. - Nutzung von vorhandenen Abwärmepotenzialen (z.B. durch Erstellung eines Abwärmekatasters). - Einsatzmöglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung. - Versorgung mit Fernwärme bzw. -kälte z.B. durch Ausweisung von Fernwärme-Vorranggebieten.
NÖ	Niederösterreichisches Klimaprogramm 2009 - 2012	1.) Energieverbrauch und die CO ₂ -Emissionen in neuen Gebäuden soll signifikant verringert werden (z. B. durch den verstärkten Einsatz von Fernwärme bzw. KWK oder Abwärme). 2.) Verbesserung des Wirkungsgrades von Stromerzeugungsanlagen	1.) Prüfung: vorbereitende Prüfungsphase (z.B. Prüfung regionaler Abwärmepotenziale). 2.) Unterstützung von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und Erschließung der Potenziale für Abwärmenutzung. 3.) Weiterentwicklung des Konzepts für die Erschließung der regionalen, wirtschaftlichen Abwärmepotenziale inkl. verstärkte Abwärmenutzung aus Kraftwerken. 4.) Unterstützung von Initiativen zur Nutzung von betrieblicher Abwärme.
OÖ	Energy 21, 2. Phase des oberösterreichischen Energiekonzeptes (inkl. Umsetzungsberichte)	Nutzung industrieller bzw. betrieblicher Abwärme fördern (Minimierung fossiler Energieträger und Erhöhung der Energieeffizienz)	- Potenzialstudie „Betriebliche Abwärme“. - Erarbeitung betrieblicher Abwärmenutzungskonzepte (Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte). - Verankerung der Prüfung betrieblicher Abwärme-Nutzung („Abwärmenutzungsgebot“). - Verpflichtende Abwärmenutzung bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und Unterstützung der Gemeinschaftsstrategie zur Nutzung von KWK. - Bei der Planung von Wärmeversorgungssystemen sollen bestehende Abwärmepotenziale identifiziert und nach Möglichkeit berücksichtigt werden.

Tabelle 1: Energieleitlinien von Burgenland, Kärnten, Nieder- und Oberösterreich im Überblick

Bundesland	Bezeichnung der Landesenergieleitlinie	Ziele	Maßnahmen
S	Energieleitbild Salzburg	<ul style="list-style-type: none"> - Reduktion des Energieverbrauchs - Effizienzsteigerung - Ausbau der Fernwärmenetze und der Erdgasversorgung - Forcierung der betrieblichen Abwärmennutzung 	<ul style="list-style-type: none"> - Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, der Abwärmennutzung und die dadurch mögliche Substitution von alten Kohle- und Ölheizungen. - Koordinierung der Energieverteilung (für den effizienten Ausbau der leistungsgebundenen Energie und zur Vermeidung dreischichtiger Energieversorgung). - Ermittlung der betrieblichen Abwärmepotenziale und deren Darstellung in Form eines Katasters (Energieleitbild 1985), vor allem für die Nutzung als Fernwärme (Salzburger Abwärmennutzungsstudie). - Aktualisierung der Fernwärmevorranggebiete (Berücksichtigung bestehender Anlagen bzw. Ausbau- und Abwärmepotenziale und Identifikation der erzielbaren Energieanschlusssdichte). - Fernwärmenetzausbau (Graz, Hartberg, Voitsberg/Bämbach/Köflach, Bruck a.d. Mur und Kapfenberg). - Überarbeitung des Abwärmekatasters der steirischer Industrien von 1995 (Aktualisierung und Berücksichtigung der in der vergangenen Zeit aufgetretenen betrieblichen Änderungen).
Stmk.	Energieplan Steiermark 2005-2015	Förderung und Forcierung der Fernwärme-, KWK- und Abwärmennutzung	
Tirol	Energieleitbild Tirol	Ausschöpfung kurz- und mittelfristig verfügbarer Energiesparpotenziale (z. B. Wärme)	k. A.
Vorarl.	Energiekonzept Vorarlberg 2010	<p>Im Bereich Industrie und Großverbraucher:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verstärkter Einsatz von Wärme-Kraft-Kopplung und Abwärmennutzung - Verringerung des Energieverbrauchs - Schaffung von Anreizsystemen - Etablierung unterstützender Begleitmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> - Mobilisierung der Potenziale zur Wärme-Kraft-Kopplung und zur Abwärmennutzung. - Verbesserung der Energieeffizienz durch freiwillige Vereinbarungen. - Energetische Kriterien bei Wirtschaftsförderungen. - Aus- und Weiterbildung, Information und Beratung, speziell im gewerblich-industriellen Bereich.
Wien	Energiekonzept der Stadt Wien (inkl. diverser Nebendokumente)	<ul style="list-style-type: none"> - Intensivierung der Abwärmennutzung, um signifikante Energieeinsparung zu erreichen und die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe zu steigern - Unterstützung der Industrie und des produzierenden Gewerbes in Bezug auf die Ausnützung der Abwärmepotenziale. - Heizen: Vorrang für Fernwärme 	<p>Förderungsmaßnahmen zur verstärkten Nutzung der Abwärmepotenziale v. a. für KMU's:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intensivierung von Vernetzungsaktivitäten. - Beratungen im Rahmen des ÖkoBusinessPlan Wien. - Verbreiten von Best Practice-Beispielen.

Tabelle 2: Energieleitlinien von Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg und Wien im Überblick

7.4.1.2.4 Sonstige nationale Regelungen

In Österreich existiert für die Errichtung und den Betrieb von Fernwärmenetzen kein einheitliches Regelwerk. In der Regel fällt der Betrieb nicht unter das Gewerberecht. Anforderungen an Fernwärmenetze finden sich z.B. in der Freistellungsverordnung. Teilweise werden Regelungen aus dem Regelwerk der [AGFW] inhaltlich in die Richtlinien der Fernwärmeversorger aufgenommen.

7.4.1.3 Ökologische Rahmenbedingungen

Industrielle Abwärme zeichnet sich durch einen äußerst niedrigen Primärenergiefaktor aus. Der nicht regenerative Anteil wird zurzeit im Rahmen der Anwendung der [CEN EN 15316-4-5:2007] mit 0,05 [-] angesetzt.

Die Nutzung von industrieller Abwärme ist demnach aus ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll. Um diesen Aspekt auch in einem ökonomischen Rahmen darstellen zu können, wird ein Vergleich unterschiedlicher Technologien der Wärmebereitstellung auf Basis von externen Kosten vorgenommen. In Tabelle 3 und Tabelle 4 werden die Emissionsfaktoren und die entsprechenden externen Kosten für unterschiedliche, mit Erdgas betriebene Wärmetechnologien von CO₂ und NO_x im Vergleich zu industrieller Abwärme dargestellt. Hierbei werden eine „Kessel“-Referenztechnologie für die Bereitstellung netzgekoppelter Wärme, Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), sowie die Nutzung industrieller Abwärme gegenübergestellt. Zum einen werden hierbei die mit der Wärmebereitstellung direkt erzeugten Emissionen (direkter, spezifischer Brennstoffeinsatz), sowie zum anderen die indirekt erzeugten Emissionen, die durch den Energieaufwand für den Transport und die Integration der Abwärme in das Wärmenetz (z. B. Pumpaufwand) verursacht werden (Faktor zusätzlicher Emissionen), herangezogen. Auf Basis des kumulierten Emissionsfaktors erfolgt dann die Berechnung der spezifischen externen Kosten sowohl in Bezug auf die korrespondierende Emissionsmenge, als auch in Bezug auf die erzeugte Wärmemenge.

Wärmetechnologie	Direkter, spezifischer Brennstoffeinsatz	Faktor zusätzlicher Emissionen (indirekt)	Summe	Emissionsfaktor	Wärmespezifischen Emissionen	Emissions-spezifische externe Kosten	Wärmespezifische externe Kosten
	[kWh _{Br} /kWh _{th}]	[-]	[kWh _{Br} /kWh _{th}]	[tCO ₂ /GWh _{Br}]	[tCO ₂ /GWh _{th}]	[€/tCO ₂]	[€/GWh _{th}]
Kessel	1,1	0	1,1	199,44	219,38	70	15.357
KWK	0 - 0,45	0	0 - 0,45		0 - 89,75		0 - 6.282
Abwärme	0	0,05	0,05		9,97		698

Tabelle 3: CO₂-Emissionsfaktoren und korrespondierende spezifische Kosten unterschiedlicher erdgas-basierender Wärmetechnologien

Erläuterungen: Die zugrunde liegenden Emissionen beziehen sich auf Erdgas. Die netzgekoppelte Wärmebereitstellung wird über „Kessel“ gewährleistet. Der direkte, spezifische Brennstoffeinsatz für Kessel berücksichtigt den Kesselwirkungsgrad. Für netzgekoppelte Wärme- und Abwärme-Emissionen wurden Durchschnittswerte herangezogen. Die Emissionen von KWK sind keine Durchschnittswerte, sondern geben die Bandbreite wieder (beginnend mit keinen Emissionen).

Literaturquelle: [Krewitt 2006], [Umweltbundesamt 2007]

Die wärmespezifischen externen Kosten, welche durch CO₂ verursacht werden betragen 15.357 [€/GWh_{th}] für die netzgekoppelte Wärmebereitstellung. Für KWK-Technologien ergibt sich eine Bandbreite der externen Kosten von maximal 45 [%] der netzgekoppelten Wärmebereitstellung. Von besonderem Unterschied sind jedoch die durch eine industrielle Abwärmenutzung generierten wärmespezifischen Kosten, welche im Vergleich dazu nur ein Zehntel betragen (698 [€/GWh_{th}])

Wärmetechnologie	Direkter, spezifischer Brennstoffeinsatz	Faktor zusätzlicher Emissionen (indirekt)	Summe	Emissionsfaktor	Wärmespezifischen Emissionen	Emissions-spezifische externe Kosten	Wärmespezifische externe Kosten
	[kWh _{Br} /kWh _{th}]	[-]	[kWh _{Br} /kWh _{th}]	[tNO _x /GWh _{Br}]	[tNO _x /GWh _{th}]	[€/tNO _x]	[€/GWh _{th}]
Kessel	1,1	0	1,1	0,108	0,119	8.700	1.034
KWK	0 - 0,45	0	0 - 0,45		0 - 0,049		0 - 423
Abwärme	0	0,05	0,05		0,005		47

Tabelle 4: NO_x-Emissionsfaktoren und korrespondierende spezifische Kosten unterschiedlicher erdgas-basierender Wärmetechnologien

Erläuterungen: Die zugrunde liegenden Emissionen beziehen sich auf Erdgas. Die netzgekoppelte Wärmebereitstellung wird über „Kessel“ gewährleistet. Der direkte, spezifische Brennstoffeinsatz für Kessel berücksichtigt den Kesselwirkungsgrad. Für netzgekoppelte Wärme- und Abwärme-Emissionen wurden Durchschnittswerte herangezogen. Die Emissionen von KWK sind keine Durchschnittswerte, sondern geben die Bandbreite wieder (beginnend mit keinen Emissionen).

Literaturquelle: [Umweltbundesamt 2007], [BVT-Merkblatt 2005]

Ein ähnliches Bild wie in Tabelle 3 ergibt sich durch Betrachtung von Tabelle 4. Auch hierbei verursachen die netzgekoppelten Wärmebereitstellungs-Technologien signifikant höhere

spezifische Kosten (1.034 [€/GWh_{th}]), als KWK (0 - 423 [€/GWh_{th}]) oder industrielle Abwärmenutzung (47 [€/GWh_{th}]).

Korrespondierend zu Tabelle 3 und Tabelle 4 erfolgt nachfolgend in Abbildung 5 eine grafische Darstellung der CO₂- und NO_x-Emissionen.

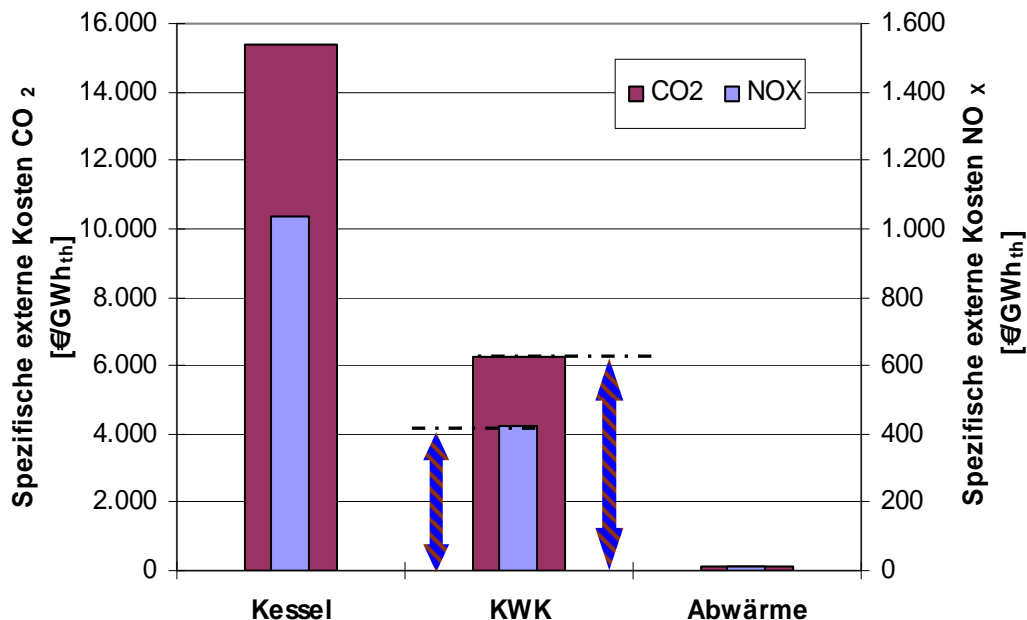


Abbildung 5: Wärmespezifische externe Kosten ausgewählter Wärmetechnologien basierend auf Erdgas

Erläuterungen: Die zugrunde liegenden Emissionen beziehen sich auf Erdgas. SO₂-Emissionen sind daher für Österreich nicht relevant. Die netzgekoppelte Wärmebereitstellung wird über „Kessel“ gewährleistet. Für netzgekoppelte Wärme- und Abwärme-Emissionen wurden Durchschnittswerte herangezogen. Die Emissionen von KWK sind keine Durchschnittswerte, sondern geben die Bandbreite wieder (beginnend mit keinen Emissionen).

Literaturquelle: [Krewitt 2006], [Umweltbundesamt 2007], [BVT-Merkblatt 2005]

Die in Abbildung 5 dargestellten spezifischen externen Kosten für ausgewählte Technologien der Wärmebereitstellung zeigen eine eindeutige Aussage. Im Vergleich zu konventionellen netzgekoppelten Wärmebereitstellungstechnologien sind KWK-Technologien sehr viel umweltschonender und verursachen geringe externe Kosten. Betrachtet man jedoch die industrielle Abwärmenutzung, dann sind die spezifischen Kosten vernachlässigbar gering und mit sämtlichen verursachten Kosten, welche durch Technologien im Zusammenhang mit Erneuerbaren stehen, vergleichbar, konkurrenzfähig und umweltökonomisch sinnvoll.

7.4.1.4 Wirtschaftliche und betriebliche Rahmenbedingungen

Die Wärmelieferung an Verbraucher über Wärmeverteilnetze findet in einem Umfeld statt, das aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten heraus als besonders bezeichnet werden kann.

Als erste Rahmenbedingung muss erfüllt sein, dass die Wärmelieferung an den Verbraucher zu konkurrenzfähigen Bedingungen erfolgt [Theissing 2008]. Hier darf die Fernwärme beim Endkunden nicht teurer sein, als eine Eigenerzeugung der Raumwärme durch die Verbraucher selbst. Diese Eigenerzeugung durch die Verbraucher muss mit dem gleichen Komfort erfolgen, wie ein Wärmebezug über ein Fernwärmenetz. Aus diesem Grund ist der direkte Konkurrent der Fernwärme beim Verbraucher das Erdgas. Durch die nötigen Aufwendungen für den Betrieb des Systems "Fernwärme" (Abschreibung, Wartung und Instandhaltung des Rohrleitungsnetzes, Pumpaufwand, Wärmeverluste etc.) muss die Wärmelieferung in ein Wärmeverteilnetz zu niedrigen Kosten erfolgen. Eine alleinige, direkte Erzeugung der Wärme für Fernwärmenetze in Kesseln mit dem Brennstoff Erdgas ist deshalb auszuschließen. Aus diesem Grund kommt in Fernwärmenetzen vor allem billige Wärme aus KWK-Anlagen zum Einsatz. Aus diesem Gesichtspunkt heraus ist jede kostengünstig verfügbare Wärme sinnvoll und notwendig für den Einsatz in Wärmeverteilnetzen.

Als zweite Rahmenbedingung ist anzuführen, dass die Wärmelieferung in Fernwärmenetzen in gebundenen Märkten erfolgt [Gochenour 2003]. Im Gegensatz zu den Energiemärkten für Elektrizität und für Erdgas ist der Wärmemarkt nicht liberalisiert. Das führt dazu, dass die Tarife für die Wärmelieferung an die Verbraucher einer Kontrolle durch die Preisbehörde unterliegen und somit nicht beliebig anpassbar sind. Auf der anderen Seite erfolgt der Einsatz der Thermischen Kraftwerke, aus denen die Auskopplung der KWK-Wärme und somit die Hauptaufbringung der Wärme für die Wärmenetze erfolgt, nach den Gegebenheiten des vollständig liberalisierten Marktes für Elektrizität. Vor allem in der Übergangszeit (Frühjahr und Herbst), die durch stark schwankende Marktpreise für Elektrizität und einen ebenfalls stark variablen Wärmebedarf in den Wärmenetzen gekennzeichnet ist, ist eine kostengünstige Wärmeaufbringung durch KWK-Anlagen nicht immer in vollem Umfang möglich. Daher müssen für diese Perioden im Wärmenetz unabhängige und ungekoppelte, dafür aber auch teure Reservekapazitäten (Kessel) bereitgehalten werden.

Eine dritte Rahmenbedingung sind die Produktionsmengen der Industriebetriebe aufgrund der Nachfrage am freien Markt. Die Abwärme aus der industriellen Produktion stellt ein Nebenprodukt dar, das abhängig von der normalen Güterproduktion anfällt. Führen Veränderungen am Markt zu einem geänderten Einsatz der Produktionsmittel, ist ein direkter Einfluss auf die Abwärmelieferung nicht zu vermeiden. Erfolgt nun eine Integration von Abwärme in ein Wärmenetz, so kommt dieser Effekt als zusätzlicher Aspekt noch zum Tragen. Dementsprechend müssen im Netz zusätzliche Reservekapazitäten vorgehalten werden.

7.4.2 Typische Eigenschaften von Wärmeverteilnetzen

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.2:

7.4.2.1	Relevante Parameter von Fernwärmenetzen.....	43
7.4.2.2	Zusammenhang zwischen Wärmelieferung und Bedarfsanforderung eines Fernwärmenetzes	44
7.4.2.3	Lastgänge von Fernwärmenetzen	44
7.4.2.4	Gradienten in Fernwärmenetzen	48
7.4.2.5	Fernheizwasser	48

Analog zur Analyse der industriellen Abwärme (siehe Abschnitt 7.4.3) wurden im Rahmen des vorliegenden Projektes auch unterschiedliche Fernwärmenetze analysiert, und die für die Integration industrieller Abwärme charakteristischen Eigenschaften untersucht. Dies ergibt sich aus der Notwendigkeit, dass sowohl Abwärmelieferant, als auch Wärmenetzbetreiber eine Schnittstellenübereinkunft benötigen. Dadurch konnten auch Daten über die Schnittstellenkonformitäten zwischen Abwärmelieferant und Wärmenetzbetreiber ausgearbeitet werden.

Hinsichtlich der Identifikation typischer Eigenschaften von Wärmeverteilnetzen wurden von österreichischen Fernwärmenetzbetreibern folgende Punkte erhoben:

- Dimension des Wärmeverteilnetzes (Fernwärmesystem, Nahwärme)
- Um welchen Netztyp handelt es sich?
 - o Primär- Sekundärnetz
 - o Vermaschtes Netz – Strahlennetz
- Welche Höchst- und Mindestwerte bei Temperatur und Druck treten im Fernwärmenetz auf? (T_{\min} , T_{\max} , p_{\min} , p_{\max})
- Bandbreite des Massenstroms
- Bis zu welchem Grad können Massenstromschwankungen im Netz toleriert werden?
- Bis zu welchem Grad können Temperaturschwankungen im Netz toleriert werden?
- Leistung, T_{VL} , T_{RL} , T_u als Stundenwerte für ein Jahr (falls vorhanden)
- Heizkurve: T_{VL} in Abhängigkeit von T_u (falls vorhanden)

7.4.2.1 Relevante Parameter von Fernwärmenetzen

In nachfolgender Tabelle 5 werden relevante Parameter von drei ausgewählten österreichischen Fernwärmenetzen dargestellt:

Netz	1	2	3
Maximalleistung	396 [MW]	350 [MW]	4 [MW]
Vorlauf:			
T	80 – 130 [°C]	(65)70 – 120 [°C]	95 – 110 [°C]
p	bis 24,6 [bar(ü)]	8,5 – 12 [bar(ü)]	8,5 – 10 [bar(ü)]
Rücklauf:			
T	58 – 63 [°C]	50 – 66 [°C]	50 [°C]
p	6 [bar(ü)]	6 [bar(ü)]	1,25 [bar(ü)]
Massenstrom:			
max. Heizbetrieb	5.300 [t/h]	5.760 [t/h]	180 [t/h]
Minimalbetrieb	1.100 [t/h]	504 [t/h]	0 [t/h]
Sommerbetrieb	T_{VL} : konstant 80 [°C]	k. A.	k. A.
Netzbeschreibung	Überwiegend vermaschtes Netz mit Strahlennetzanteilen, Sekundärnetz mit 4 [%] Anteil	Vermaschtes Netz	Vermaschtes Netz
Temperatur-Schwankung	2 – 4 [K] bei Geringlast	ca. 3 [K]	+/- 2-5 [K]
Massenstrom-Schwankung		180 – 360 [t/h] sind bereits problematisch (bei Hochlast)	

Tabelle 5: Relevante Parameter ausgewählter österreichischer Fernwärmenetze

Literaturquelle: [Interne Daten]

Fernwärmenetze werden mit einer fixen Kopplung zwischen Vorlauftemperatur und Außentemperatur betrieben. Die jeweilige Heizkurve stellt dabei die Vorlauftemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur dar (siehe Abbildung 6).

Die umgewälzte Wasserdurchflussmenge im Leitungsnetz ist bei gleicher Heizleistung von der Temperaturspreizung (Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf) abhängig. Eine größere Spreizung bewirkt eine geringere umlaufende Wassermenge (geringere Kosten für das Netz) [Recknagel, Sprenger].

Die Regelung der Umwälzmengen im Netz erfolgt nach den momentanen Druckverhältnissen an den Übergabestationen der Netzen (Differenzdrücke der entferntesten Verbraucher), die ausschließlich von der momentanen Abnahmesituation abhängen. Dabei muss eine Mindestdruckdifferenz eingehalten werden.

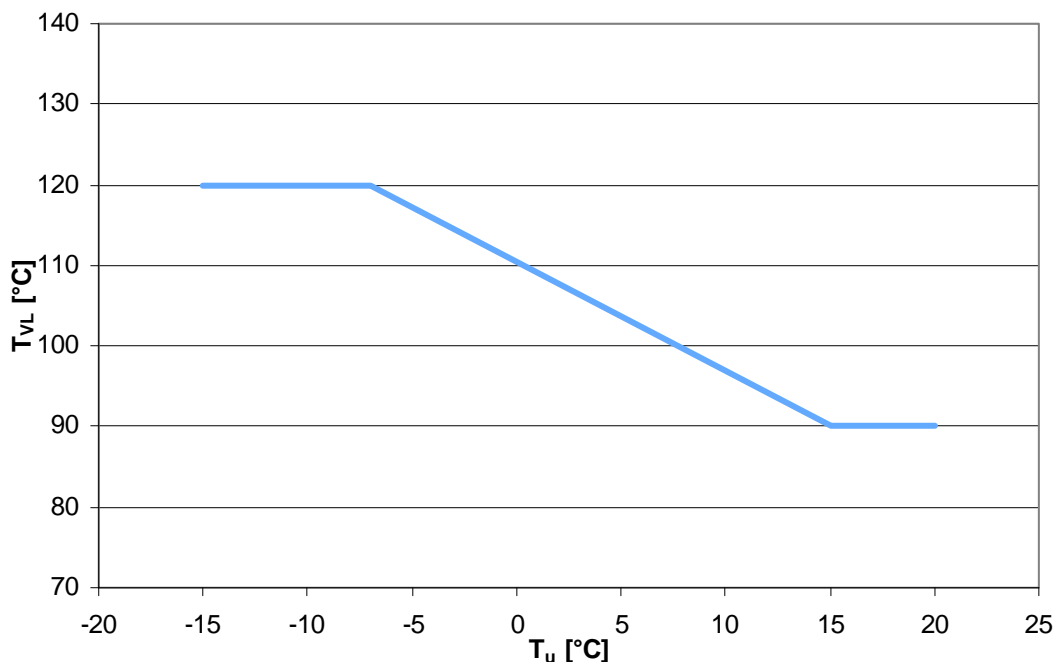


Abbildung 6: Beispiel für eine Heizkurve eines Fernwärmenetzes einer größeren Stadt

Erläuterungen: T_{vL} ...Vorlauftemperatur, T_u ...Außentemperatur

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.2.2 Zusammenhang zwischen Wärmelieferung und Bedarfsanforderung eines Fernwärmenetzes

An die Wärmelieferung werden für spezifische Nutzzwecke unterschiedliche Bedarfsanforderungen gestellt. Während der Raumwärmebedarf primär von der Umgebungstemperatur abhängt (Winter – Sommer), ist der Wärmebedarf für die Warmwassererzeugung übers Jahr in etwa konstant. Der Wärmebedarf für Prozesswärme hängt vom jeweiligen Prozess ab, ist aber in den überwiegenden Fällen (kontinuierliche Produktion) relativ konstant. Im Gegensatz dazu haben Batch-Prozesse (siehe Abschnitt 7.4.3.1.3) natürlich auch einen diskontinuierlichen Wärmebedarf.

Derzeit nicht nutzbare Wärme im Sommer könnte in Zukunft in Absorptionskälteanlagen für Fernkältenetze oder dezentrale Kältenutzung eingesetzt werden.

7.4.2.3 Lastgänge von Fernwärmenetzen

Durch den Wärmebedarf der Verbraucher ergibt sich in Abhängigkeit von der Außentemperatur ein charakteristischer Jahreslastgang (siehe Abbildung 7), wobei der Haupteinfluss auf den Fernwärmeverbrauch die Außentemperatur darstellt. Der Wärmebedarf im Sommer (Wärmebedarf für Warmwasser und gegebenenfalls Prozesswärme) sinkt typischerweise auf 10 [%] der Maximalleistung im Winter ab. Demgegenüber zeigt sich das Tageslastprofil von der Umgebungstemperatur deutlich

unabhängiger, was auf das Verbrauchs- und Regelungsverhalten der Kunden zurückzuführen ist (z.B.: Nachtabenkung).

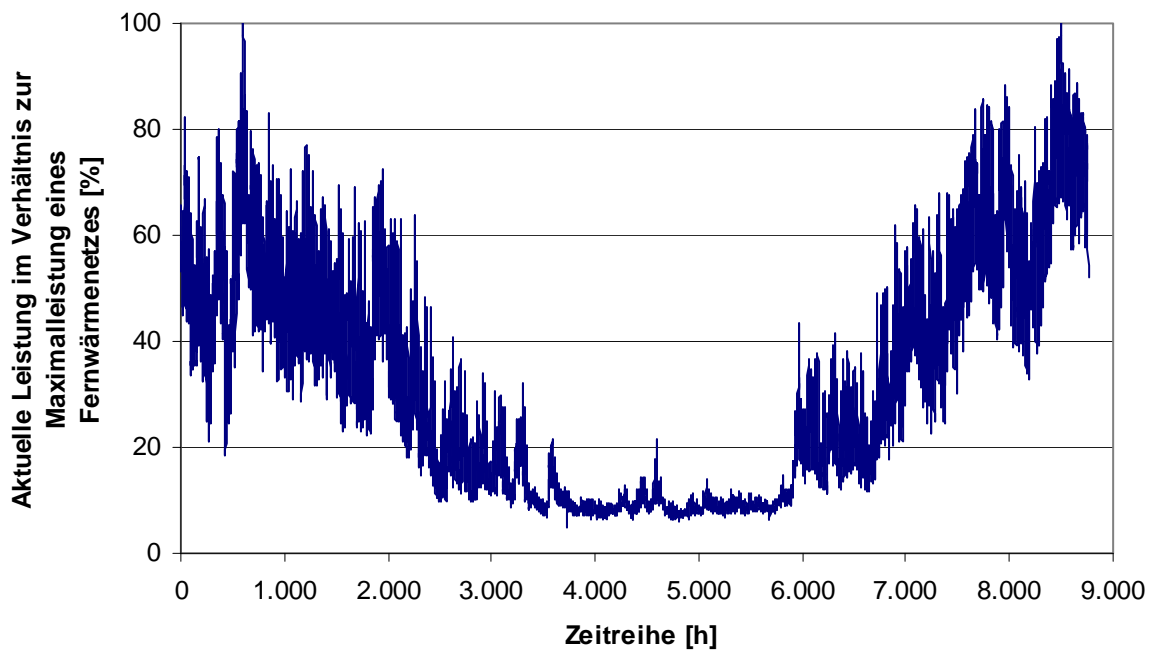


Abbildung 7: Typischer Jahreslastgang eines städtischen Fernwärmenetzes

Literaturquelle: [Interne Daten]

Aus dem Jahreslastgang wird die Jahresdauerlinie ermittelt, die eine Häufigkeitsverteilung der (spezifischen) Leistung darstellt.

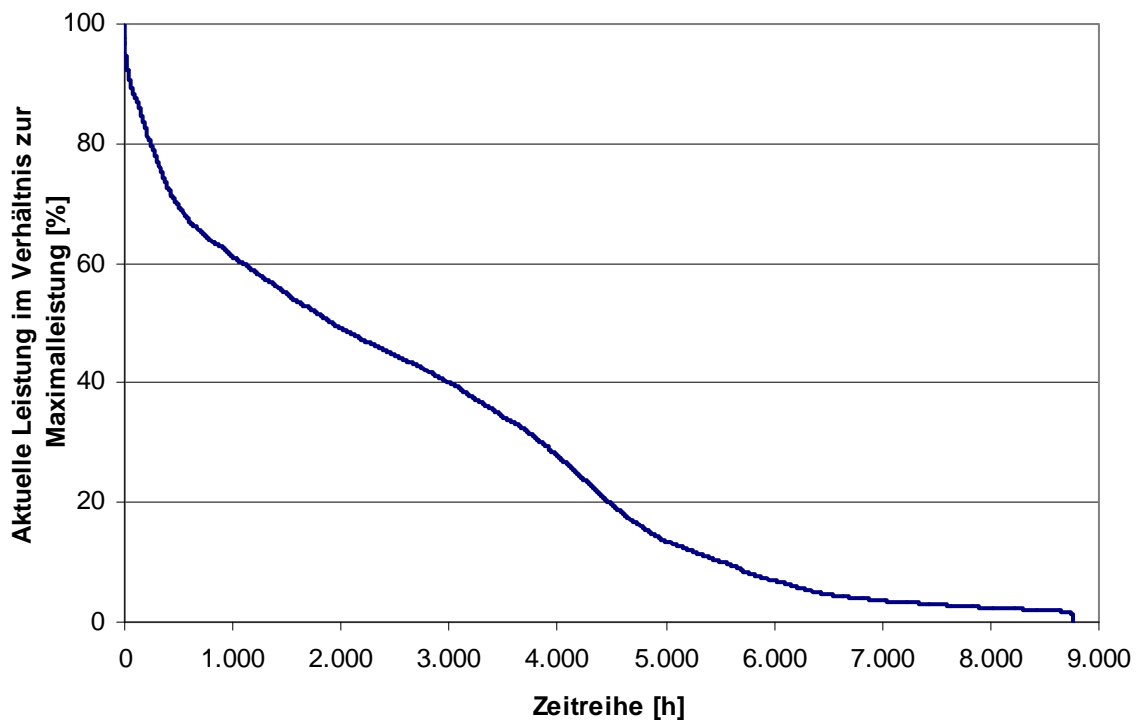


Abbildung 8: Spezifische Jahresdauerlinie eines städtischen Fernwärmenetzes

Literaturquelle: [Interne Daten]

Bei Betrachtung der Jahreszeiten ergibt sich ein differenziertes Bild der jeweiligen spezifischen Dauerlinien:

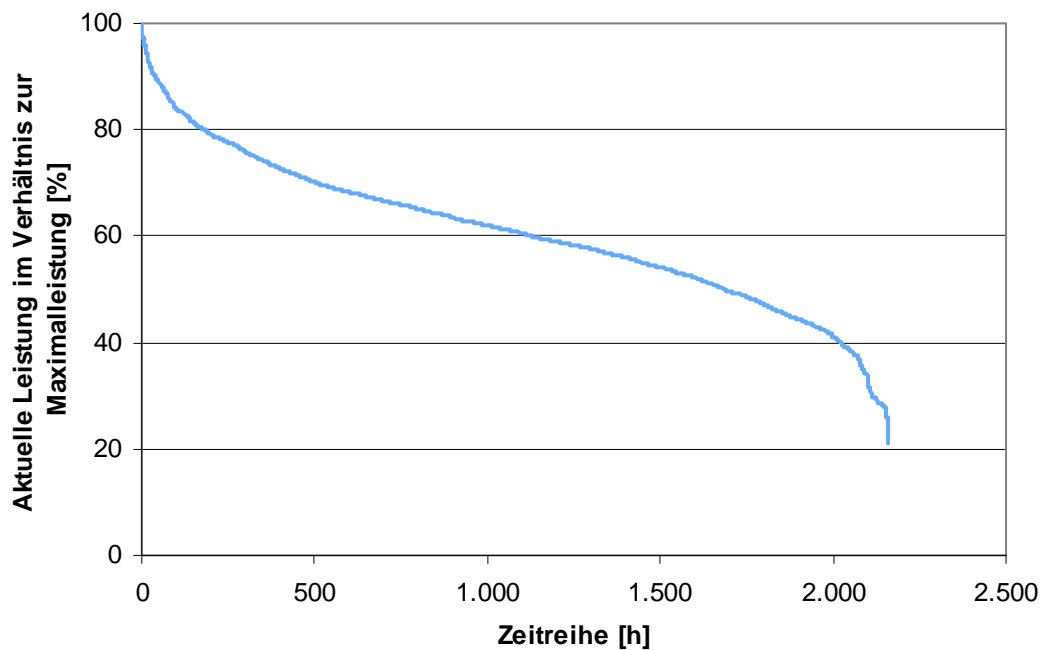


Abbildung 9: Spezifische Dauerlinie für die Wintermonate (Dezember bis Februar) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate)
Literaturquelle: [Interne Daten]

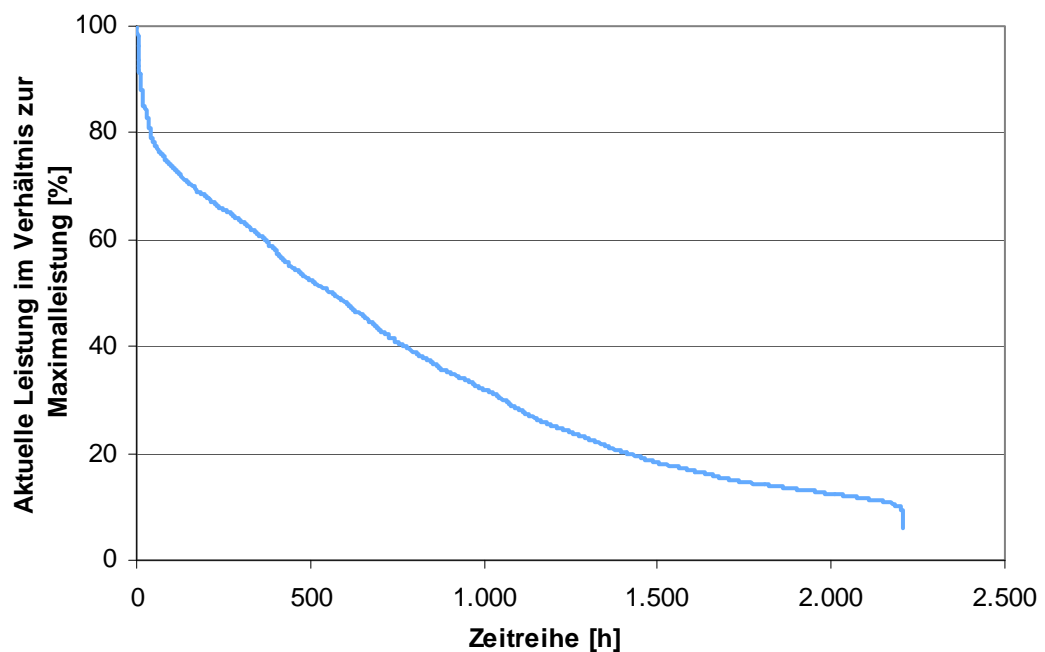


Abbildung 10: Spezifische Dauerlinie für das Frühjahr (März bis Mai) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate)
Literaturquelle: [Interne Daten]

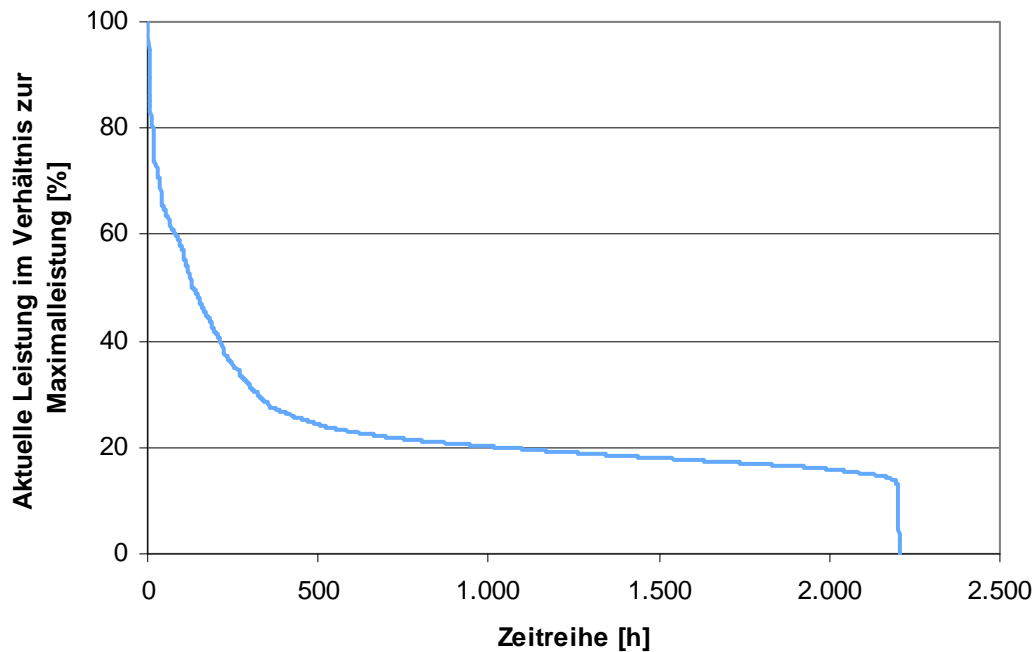


Abbildung 11: Spezifische Dauerlinie für die Sommermonate (Juni bis August) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate)
Literaturquelle: [Interne Daten]

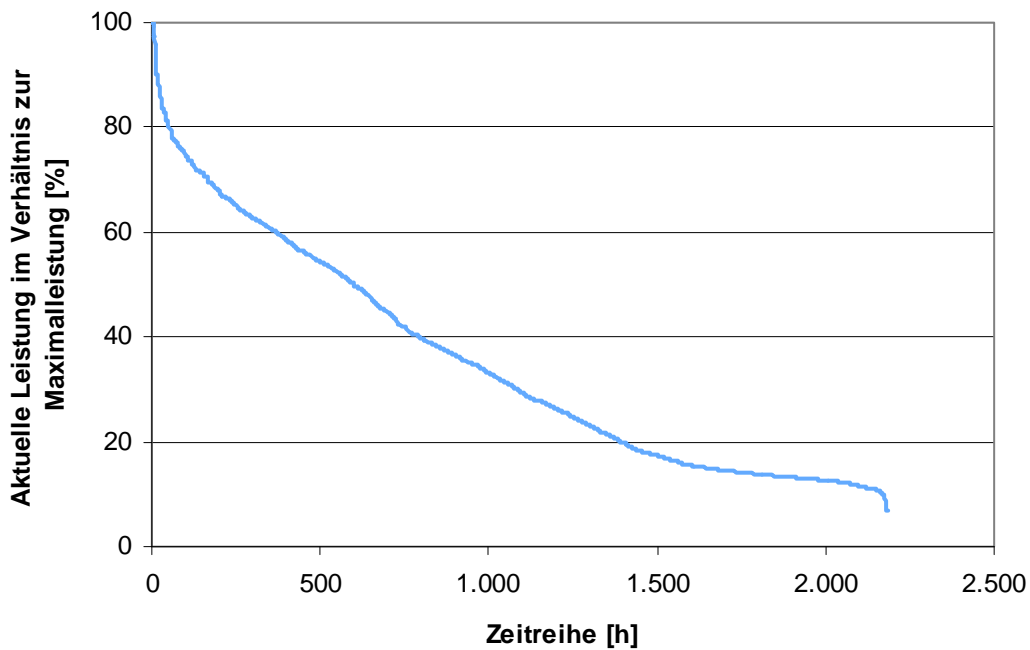


Abbildung 12: Spezifische Dauerlinie für den Herbst (September bis November) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate)
Literaturquelle: [Interne Daten]

Die spezifischen Dauerlinien der Übergangszeiten Frühjahr und Herbst zeigen einen vergleichbaren Verlauf und sind deutlich steiler als die spezifische Dauerlinie für den Winter. Über die Sommermonate zeigt die Dauerlinie eine betragsmäßig in etwa konstante Lieferung (Warmwasser bzw. Prozesswärme).

7.4.2.4 Gradienten in Fernwärmenetzen

Die Laständerung in Wärmenetzen ist entsprechend den Einflussfaktoren vor allem abhängig von der Umgebungstemperatur. Somit sind die Gradienten der Laständerungen eher moderat. Darüber hinaus ist eine starke Abhängigkeit von der Jahreszeit zu erkennen. In den Monaten mit einer hohen Wärmelieferung (v. a. im Winter) sind die Gradienten deutlich größer als in der Schwachlastzeit im Sommer (siehe Abbildung 13).

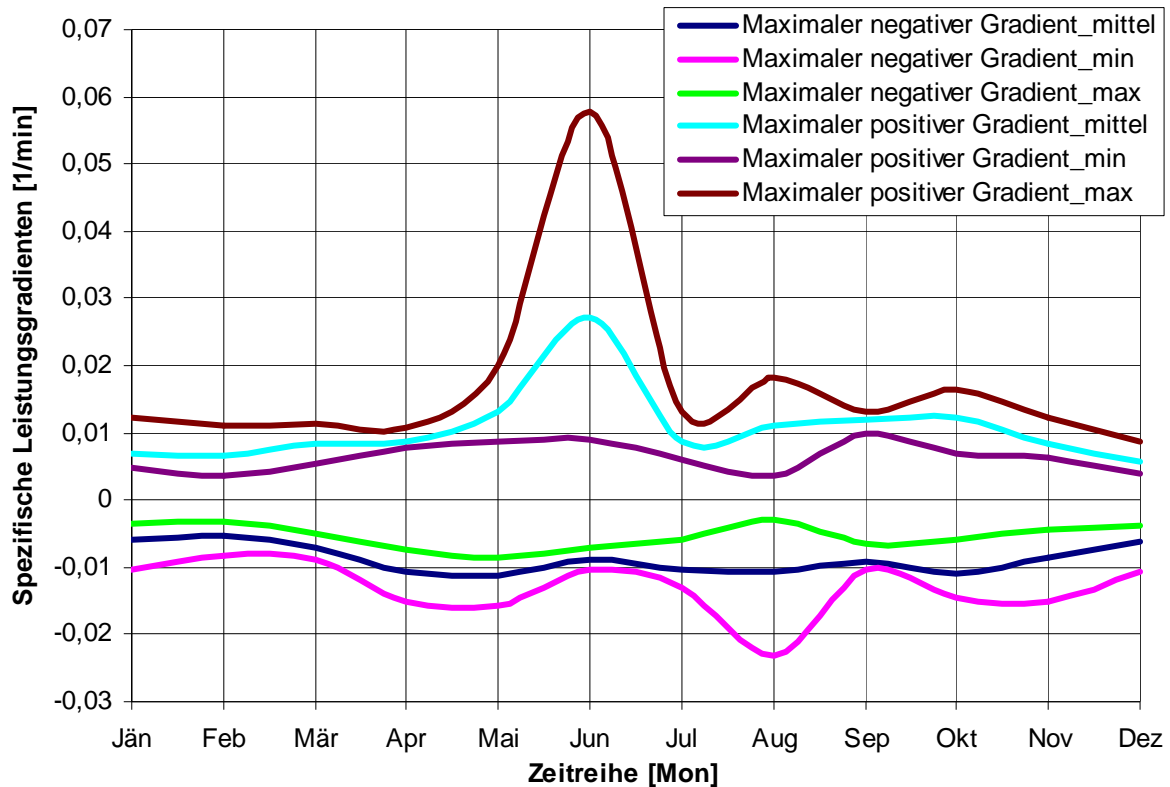


Abbildung 13: Maximale negative und positive Leistungsgradienten in einem typischen Fernwärmenetz (bezogen auf die Maximalleistung im jeweiligen Monat)

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.2.5 Fernheizwasser

Kreislaufwasser in Fernwärmenetzen weist abhängig von der Qualität des eingespeisten Wassers unterschiedliche Stoffe (z.B.: Salze, Sauerstoff, Kieselsäure) auf, die zur Ablagerung von Feststoffen bzw. zur Korrosion im Rohrleitungsnetz, das in der Regel aus Stahl besteht, führen können.

Fernheizwässer unterschiedlicher Fernwärmenetze weisen unterschiedliche Qualitäten auf. Das Kreislaufwasser kann voll- oder teilentsalzt sein. In manchen Netzen wird aber auch Trinkwasser eingesetzt. Die Wahl der geeigneten Konditionierung ist abhängig vom Netz:

- Industrieeigenes Netz oder städtisches Fernwärmenetz
- Primär- oder Sekundärnetz

In Bezug auf die einzelnen Fernheizwasserparameter beim Betrieb eines Fernwärmenetzes existieren entsprechende Richtwerte, wobei empfohlen wird entgastes, salzfreies Füll- und Ergänzungswasser einzusetzen [VGB].

Da städtische Fernwärmenetze häufig bereits über einen langen Zeitraum betrieben werden, kann sich deren Betriebsweise vor allem im Hinblick auf die Kreislaufwasserkonditionierung von den Anforderungen der o. a. Richtlinie deutlich unterscheiden.

Dampf gespeiste öffentliche Fernwärmenetze sind relativ selten anzutreffen und werden derzeit eher zugunsten von Heißwasser gespeisten Netzen reduziert.

Für salzarmes Kreislaufwasser werden Richtwerte und Normal-Betriebswerte für folgende ausgewählte Parameter angeführt:

Parameter	Einheit	Richtwert	Normal-Betriebswert
Elektrische Leitfähigkeit bei 25 [°C]	[µS/cm]	<100	<30
pH-Wert bei 25 [°C]	[-]	9 - 10	9,5 - 10
Sauerstoffgehalt	[mg/l]	<0,02	<0,01
Chloridgehalt	[mg/l]		<1
Gesamt-Eisengehalt	[mg/l]		<0,03

Tabelle 6: Richtwerte für ausgewählte Parameter von salzarmen Kreislaufwasser

Literaturquelle: [VGB]

Elektrische Leitfähigkeit:

Die elektrische Leitfähigkeit ist als Summenparameter ein Indikator für das Vorhandensein gelöster Salze. Vor allem sprunghafte Änderungen, die bei einer kontinuierlichen Leitfähigkeitsmessung im Fernheizwasser erfasst werden, sind ein Hinweis auf eine Erhöhung der Salzkonzentration. Diese kann durch Elektrolyteinbrüche bei Undichtigkeiten z.B. an der Schnittstelle zu den Verbrauchern verursacht sein (undichte Wärmetauscher, Druckproben der Netzabschnitte mit Trinkwasser, Eindringen von Frostschutzmittel durch parallel geschaltete Solaranlagen der Verbraucher).

pH-Wert:

Der pH-Wert des Fernheizwassers sollte aus Korrosionsschutzgründen zwischen 9 und 10 liegen. Ab einem pH-Wert von 9 ist die Löslichkeit von Eisenhydroxid stark verringert, zudem bildet sich an der Rohroberfläche eine Magnetitschutzschicht (Fe_3O_4). Die pH-Wert Einstellung erfolgt in der Regel mit Trinatriumphosphat (Na_3PO_4) und Natronlauge (NaOH). In dampfgespeisten Netzen wird statt Natronlauge (Gefahr der Spannungsrissskorrosion) auch Ammoniak (NH_3) verwendet.

Sauerstoffgehalt:

Da freier Sauerstoff zur Korrosion der Leitungsrohre führt, muss das Eindringen von Luft bzw. lufthaltigem Wasser verhindert werden. Neben der sofortigen Beseitigung von Leckagen auf Grund von Korrosionsstellen bzw. undichten Verbindungsstellen und Anschlüssen, sollte nur entgastes Füll- und Ergänzungswasser verwendet werden. Es wird dabei empfohlen, das Füll- und Ergänzungswasser thermisch zu entgasen. Von einer chemischen Bindung des Sauerstoffs z. B. mittels Hydrazin wird auf Grund der Giftigkeit des

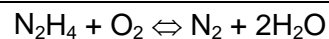
Stoffes abgeraten (vgl. [VGB]). Weitere Sauerstoffbindemittel sind Natriumsulfit oder Natriumascorbat.

Beispiele für Korrosionsinhibitoren:

An der Innenoberfläche von Fernwärmeleitungen bildet sich bei pH-Werten zwischen 9 und 10 eine Magnetitschutzschicht durch Oxidation des Eisens mit dem im Wasser vorhandenen Sauerstoff.

Als zusätzliche Maßnahme zur Inhibierung von Korrosion können Sauerstoffbindemittel eingesetzt werden. Hydrazin ist von der Funktionsfähigkeit ein bewährter Sauerstoffbinder, sollte aber auf Grund der Giftigkeit des Stoffes zur Konditionierung des Fernheizwassers nicht mehr eingesetzt werden. In der Praxis wird Hydrazin zur Aufbereitung von Kesselspeisewasser, aber auch in industrieeigenen und städtischen Fernwärmenetzen, wo es zu keinem Austausch mit dem Kreislaufwasser des Verbrauchers kommt, eingesetzt.

Hydrazin reagiert nach folgender Gleichung zu Stickstoff und Wasser:



Formel 2: Reaktionsgleichung Hydrazin - Sauerstoff

Eine andere Möglichkeiten zur Vermeidung von Korrosion ist der Einsatz von Chemikalien, die zusätzlich zur Magnetitschicht eine Schutzschicht (Film) bilden, wie z.B.: Helamin (toxikologisch unbedenklich), das in Fernwärmenetzen eingesetzt wird. Es gibt für unterschiedliche Anwendungen verschiedene Helamin – Typen. Der für die Konditionierung von Fernheizwasser verwendete Helamin-Typ ist eine wässrige Lösung von film-bildenden Polyaminen und Polycarboxylat mit einem pH-Wert von 12,5. Laut Herstellerangaben bildet Helamin durch die Polyamine einen Schutzfilm an der Magnetitschicht und wirkt auf Grund der Polycarboxylate dispergierend und erschwert somit die Bildung von Ablagerungen (Kesselsteingemittel).

7.4.3 Eigenschaften industrieller Abwärme

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.3:

7.4.3.1	Abwärmequellen.....	51
7.4.3.1.1	Abwärme aus Rauchgasen.....	51
7.4.3.1.2	Abwärme aus Strukturkühlung von Wärmebehandlungsanlagen	52
7.4.3.1.3	Abwärme aus Batch-Prozessen.....	54
7.4.3.1.4	Abwärme aus Produkt- und Aggregatkühlungen	56
7.4.3.2	Leistungsgradienten zur Charakterisierung industrieller Abwärme	57

Industrielle Abwärme ist in aller Regel instationär, da sie nur als Folge von Produktionsprozessen auftritt. Innerhalb der industriellen Produktion stehen die jeweiligen momentanen Erfordernisse der Produkte im Vordergrund, woraus sich das instationäre Profil

der Abwärme ergibt. In diesem Abschnitt werden typische Abwärmeprofile dargestellt. Die zugrunde liegenden Daten wurden von den am Projekt teilnehmenden Firmen zur Verfügung gestellt.

7.4.3.1 Abwärmequellen

7.4.3.1.1 Abwärme aus Rauchgasen

Diese Abwärme wird in Abhitzekesseln und Rauchgaswärmetauschern gewonnen, die den Abgasen aus den Produktionsprozessen die Wärme entziehen. Je nach den Erfordernissen der Produktion wird die Energiezufuhr z. B. in Öfen variiert, was zu einer Änderung der Rauchgastemperatur und der Rauchgasmenge führt (siehe Abbildung 14).

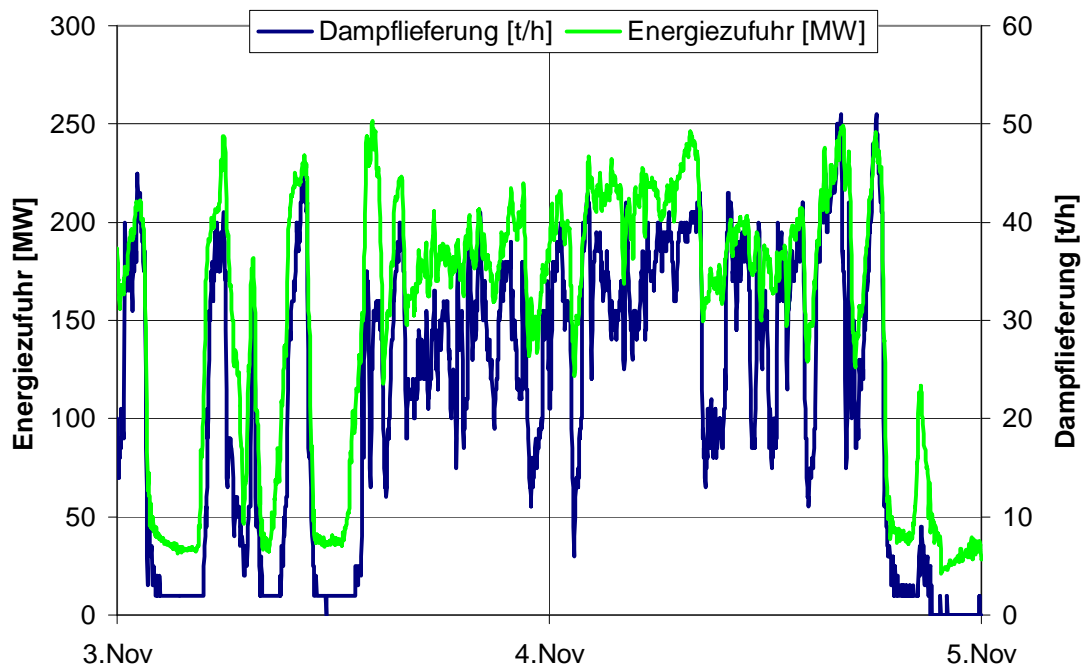


Abbildung 14: Stoßöfen in der Stahlindustrie

Erläuterung: Abwärmedampflieferung von nach geschalteten Abhitzekesseln und Energiezufuhr in die Stoßöfen.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Man erkennt in diesem Diagramm den stark instationären Charakter von Energiezufuhr und Dampflieferung. Weiters ist eine Korrelation zwischen Energiezufuhr und Abwärmedampflieferung erkennbar.

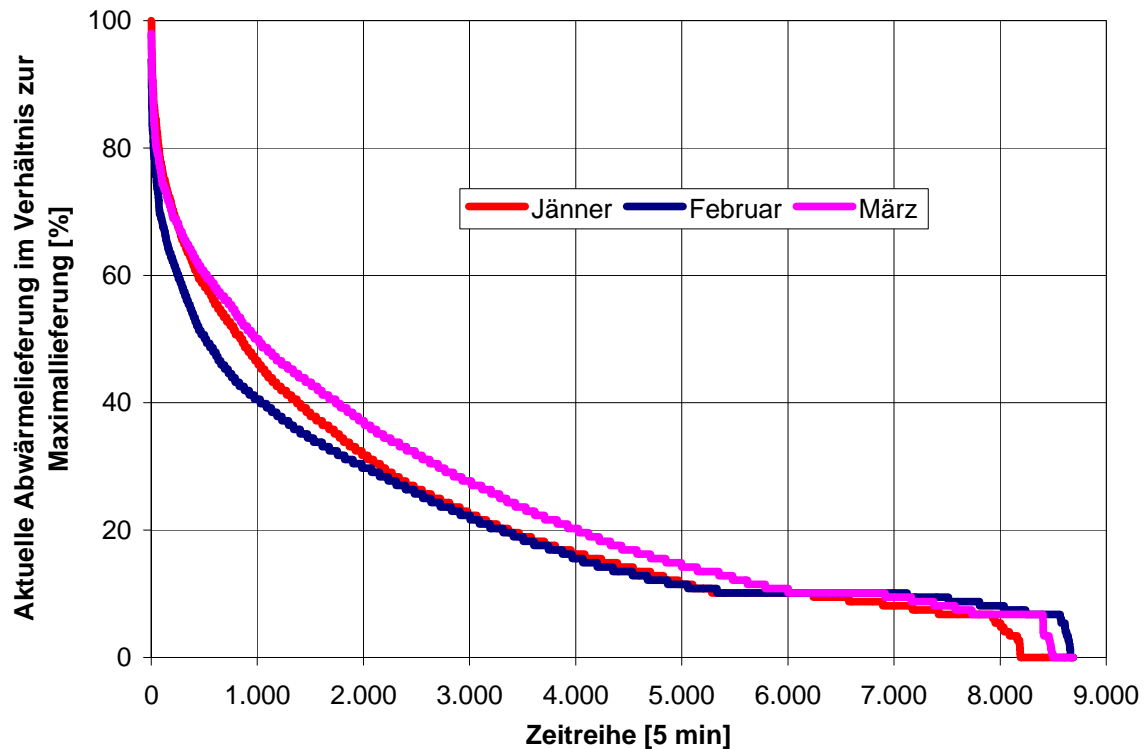


Abbildung 15: Dauerlinie der Abwärmelieferung ausgewählter Monate eines Stoßofens in der Stahlindustrie

Erläuterungen: Der Darstellungszeitraum beträgt 1 Monat auf Basis von 5-Minuten-Mittelwerten. Die spezifischen Werte sind auf die Maximalleistung bezogen.
Literaturquelle: [Interne Daten]

In Abbildung 15 ist die Dauerlinie der Abwärme aus einem Stoßofen dargestellt. Es ist erkennbar, dass es einen starken Abfall der Leistung auf ca. 10 [%] des Maximalwertes gibt. Weiters ist ein Einfluss der verschiedenen Produktionsabläufe in den einzelnen Monaten erkennbar.

7.4.3.1.2 Abwärme aus Strukturkühlung von Wärmebehandlungsanlagen

In der Stahlindustrie wird das in der Walzstraße zu bearbeitende Gut (Brammen, Knüppel, Blöcke) zuvor in Öfen (Stoßofen, Hubbalkenöfen, Drehherdöfen) auf 1.050 bis 1.300 [°C] aufgeheizt. Die in der Regel kontinuierlich betriebenen Öfen unterscheiden sich in der Bauart wie folgt:

- Stoßofen:
Transport des zu walzenden Gutes durch direktes Aneinanderstoßen.
- Hubbalkenöfen:
Transport durch bewegliche Balken, die eine Hubbewegung vornehmen.

Um Bauteile in Wärmebehandlungsöfen nicht zu beschädigen, müssen diese kontinuierlich gekühlt werden. So erfolgt die Kühlung der Schienen in Hubbalkenöfen typischerweise durch Satttdampferzeugung innerhalb der Schienen. Auch bei dieser Abwärmennutzung kommt es zu Schwankungen zufolge der nicht konstanten Energiezufuhr in den Öfen. Diese

Schwankungen fallen aber nicht so stark aus wie bei einer direkten Nutzung der Rauchgase (vgl. Abschnitt 7.4.3.1.1).



Abbildung 16: Dampflieferung aus der Schienenkühlung eines Hubbalkenofens in der Stahlindustrie

Literaturquelle: [Interne Daten]

In Abbildung 16 ist zu erkennen, dass die instationären Schwankungen gedämpft sind im Vergleich zu Abbildung 14. Die in Abbildung 17 wiedergegebene Dauerlinie zeigt somit auch einen flacheren Verlauf.

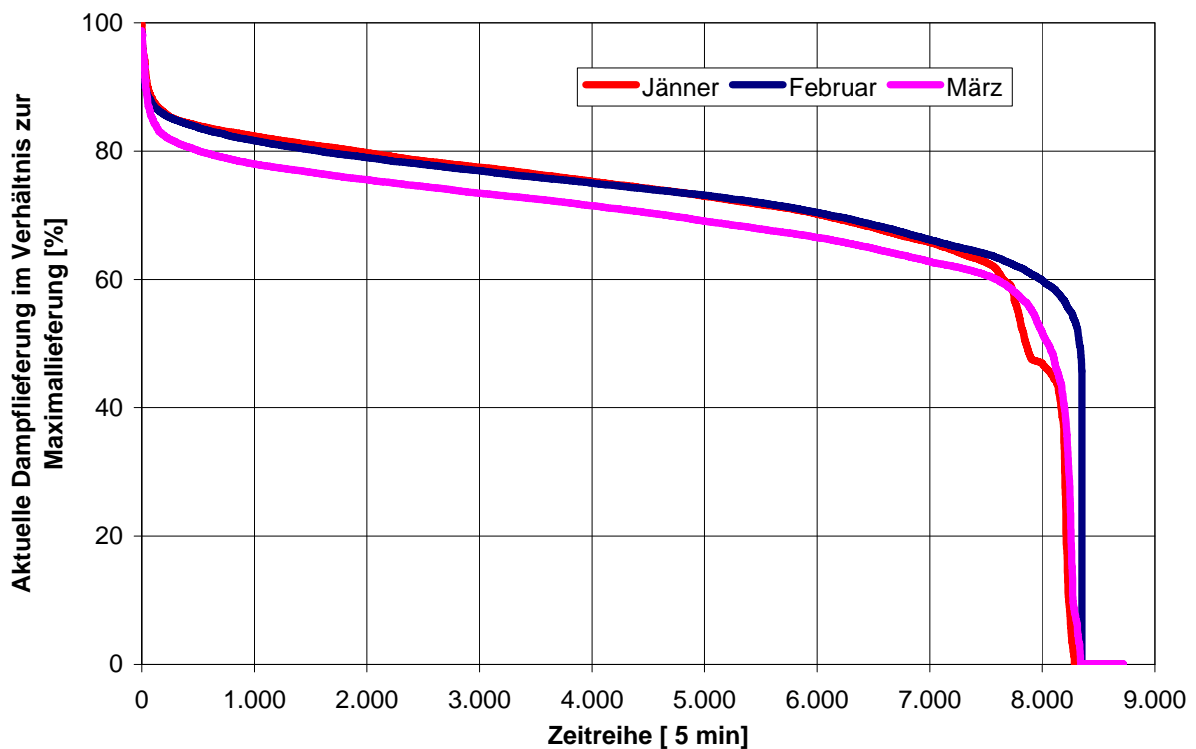


Abbildung 17: Dauerlinie einer Sattdampflieferung ausgewählter Monate aus der Schienenkühlung eines Hubbalkenofens in der Stahlindustrie

Erläuterungen: Der Darstellungszeitraum beträgt 1 Monat auf Basis von 5-Minuten-Mittelwerten. Die spezifischen Werte sind auf die Maximalleistung bezogen.

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.3.1.3 Abwärme aus Batch-Prozessen

Ein diskontinuierlicher Betrieb, in dem einzelnen Chargen produziert werden, führt zu einem ebenso diskontinuierlichen Anfall von Abwärme (siehe Abbildung 18).

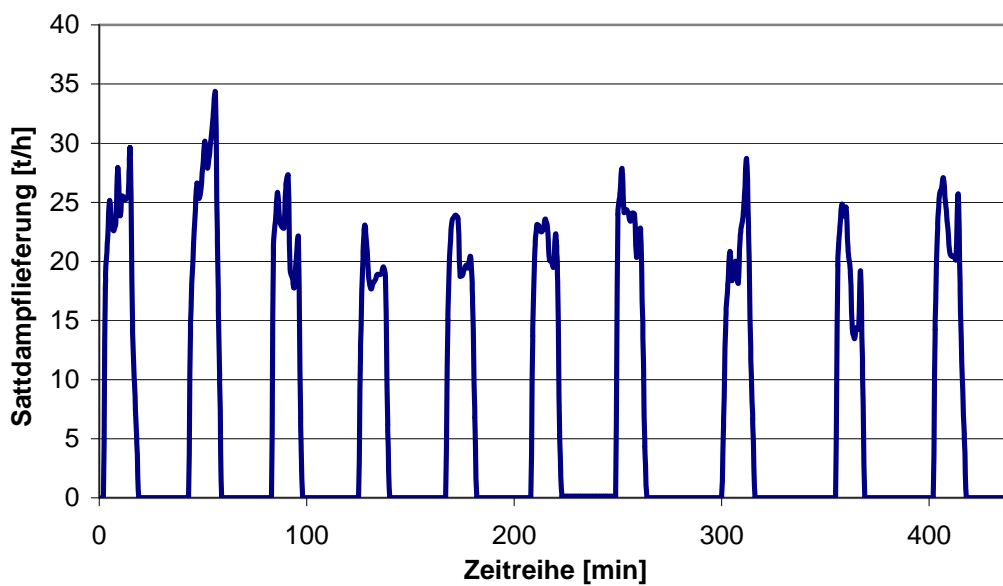


Abbildung 18: Sattdampflieferung eines Batch-Prozesses in einem Stahlwerk

Literaturquelle: [Interne Daten]

Dementsprechend zeigt die Dauerlinie einen steileren Abfall und einen längeren Bereich, in dem überhaupt keine Dampflieferung erfolgt (siehe Abbildung 19).

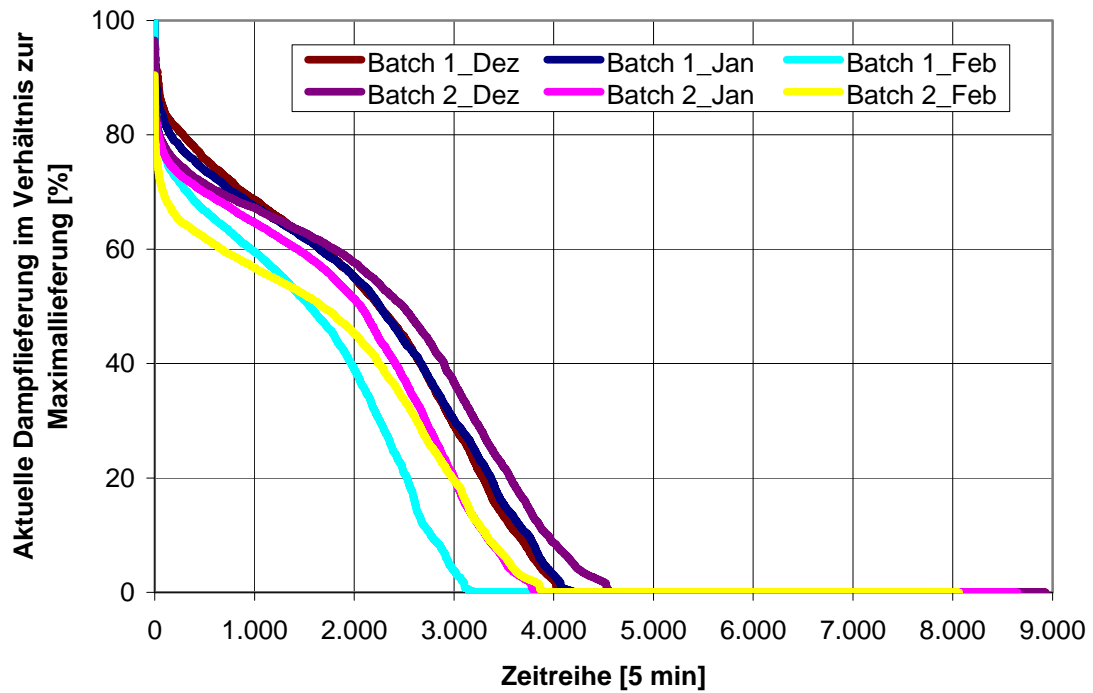


Abbildung 19: Dauerlinie der Sattdampflieferung aus Batch-Prozessen ausgewählter Monate in der Stahlindustrie

Erläuterungen: Der Darstellungszeitraum beträgt 1 Monat auf Basis von 5-Minuten-Mittelwerten. Die spezifischen Werte sind auf die Maximalleistung bezogen.
Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.3.1.4 Abwärme aus Produkt- und Aggregatkühlungen

Teilweise ist es erforderlich, dass die unter starkem Wärmeeinsatz erzeugten Produkte und diverse weitere Aggregate gekühlt werden. Die Nutzung dieser Kühlwärme im Fertigungsprozess (Kompressorabwärme, Spulenkühlung, etc.) ist dann möglich, wenn geeignete Temperaturniveaus erreicht werden. Der Wärmeeinfall ergibt sich dann direkt aus dem Betriebsprofil dieser Aggregate. Die Nutzung dieser Abwärme ist jedoch meist mit erschwerenden Randbedingungen verbunden.

Folgende relevanten industriellen Abwärmequellen können im Zusammenhang mit der Produkt- und Aggregatkühlung identifiziert werden:

- Klinkerkühlung in der Zementindustrie
- Kühlung größerer Teile
- Kompressorkühlung

Diese werden nachfolgend näher behandelt:

Klinkerkühlung in der Zementindustrie

Frisch gebrannter Klinker verlässt den Drehrohrofen mit Temperaturen von 1.200 – 1.250 [°C] und muss für die weiteren Schritte auf etwa 100 – 300 [°C] gekühlt werden, wobei die Abkühlung relativ rasch erfolgen muss, um chemische Umwandlungsprozesse bestimmter Klinkerphasen zu vermeiden. Die Kühlung erfolgt über einen künstlich induzierten Luft- bzw. Rauchgasstrom. Dabei erwärmt sich die Luft auf über 200 [°C].

Bei der Klinkerkühlung kommt der Wärmerückgewinnung eine wichtige Aufgabe zu, bei der die Kühlluft die Wärme des heißen Klinkers aufnimmt. Gleichzeitig wird Staub mitgerissen, wodurch eine Abwärmenutzung in nach geschalteten Heizflächen unter gleichzeitiger Berücksichtigung eines raschen Kühleffektes technologisch schwierig ist. Diese Abwärme wird deshalb in den meisten Fällen zur Vorwärmung der Verbrennungsluft des Drehrohrofens oder als Trockenluft in der Zementmühle eingesetzt. Hierbei wird die Kühlluft direkt genutzt.

Kühlung größerer Teile

Die Abkühlung von größeren Teilen wie z. B. Schmiedestücken oder gebrannten Steinen muss langsam erfolgen, um Wärmespannungen und somit Rissbildungen in den Werkstücken zu vermeiden. Somit kommt nur ein langsames Auskühlenlassen in Frage. Eine Nutzung dieser Abwärme ist grundsätzlich problematisch, zumal auch nur niedrige Temperaturniveaus erreicht werden. Teilweise werden die auskühlenden Produkte zu Heizzwecken der Produktionshallen im Winter genutzt.

Kompressorkühlung

Bei jeder Druckluftanlage muss sichergestellt werden, dass immer eine ausreichende Kühlung zur Verfügung steht, um die bei der Verdichtung von Luft entstehende Wärme abführen zu können.

In den meisten Fällen reicht die nutzbare Abwärmeleistung dazu aus, innerbetriebliche Verbräuche abzudecken. Kompressorabwärme könnte beispielsweise Verbrauchern in unmittelbarer Nähe zu Verfügung gestellt werden. An eine weitere Auskopplung in Wärmeverteilnetze ist dabei aber nicht zu denken. In den meisten Fällen wird diese Wärme für die Beheizung betriebsinterner Objekte oder in einzelnen Fällen zur Kühlung mit Hilfe von Adsorptionskältemaschinen im Sommer genutzt.

7.4.3.2 Leistungsgradienten zur Charakterisierung industrieller Abwärme

Auf unterschiedliche Abwärmequellen wurde bereits in Abschnitt 7.4.3.1 näher eingegangen. Um einen Überblick zu bekommen, inwiefern sich die verschiedenen Technologien unterscheiden, muss ein weiterer Blick auf deren Leistungsgradienten geworfen werden (siehe Abbildung 20).

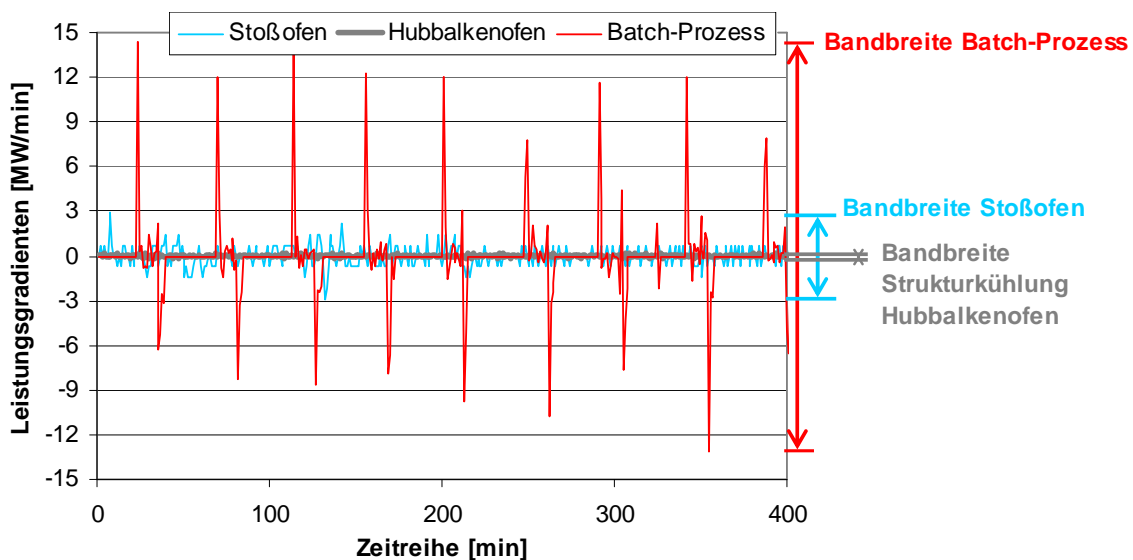


Abbildung 20: Leistungsgradienten unterschiedlicher Abwärmequellen

Literaturquelle: [Interne Daten]

In der Abbildung 20 sind die Bandbreiten der Leistungsgradienten unterschiedlicher Abwärmequellen dargestellt. Es ist ersichtlich, dass vor allem der Batch-Prozess eine besonders starke Abweichung aufweist. Dies ist auf den diskontinuierlich ablaufenden Produktionsprozess zurückzuführen, der innerhalb kurzer Zeit zu großen Änderungen im Bereich der Abwärmelieferung führt. Vor allem bei solchen Chargenprozessen muss eine Puffermöglichkeit zu Verfügung stehen, um die schnell auftretenden Spitzen auszugleichen, und eine Vergleichmäßigung der Wärmelieferung zu erzielen. Dabei kann auf die im Abschnitt 7.4.5 behandelten Technologien zurückgegriffen werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Spitzen im industrieeigenen Kühlkreislauf unterzubringen.

Die Bandbreite eines Stoßofens (Abwärme aus Rauchgasen) macht im Gegensatz dazu gerade circa 1/5 der Bandbreite eines Batch-Prozesses aus. Im Vergleich dazu ist jedoch

auch zu erkennen, dass der Produktionsablauf bei Stoßöfen einer dauerhaften starken Schwankung unterliegt, wohingegen der Leistungsgradient des Batch-Prozesses einen zeitlich konstanteren Ablauf aufweist. Dabei kommt es in diesem Beispiel im Schnitt alle 15 Minuten zu einer Dampflieferung.

Den geringsten Leistungsgradienten weist der Hubbalkenofen (Abwärme aus Strukturkühlung) auf. Dies ist auf die verwendete Technologie der Schienenkühlung zurückzuführen.

In Abbildung 21 ist die Verteilung der relativen Häufigkeiten der Gradienten in einem Hubbalkenofen dargestellt. Man erkennt, dass in ca. 55 [%] der Zeit ein Gradient der Abwärmelieferung im Bereich von $-0,075$ bis $+0,075$ [MW/min] zu erwarten ist. Für einen Stoßofen ist für 60 [%] der Zeit mit einem Gradienten von $-0,5$ bis $+0,5$ [MW/min] zu rechnen.

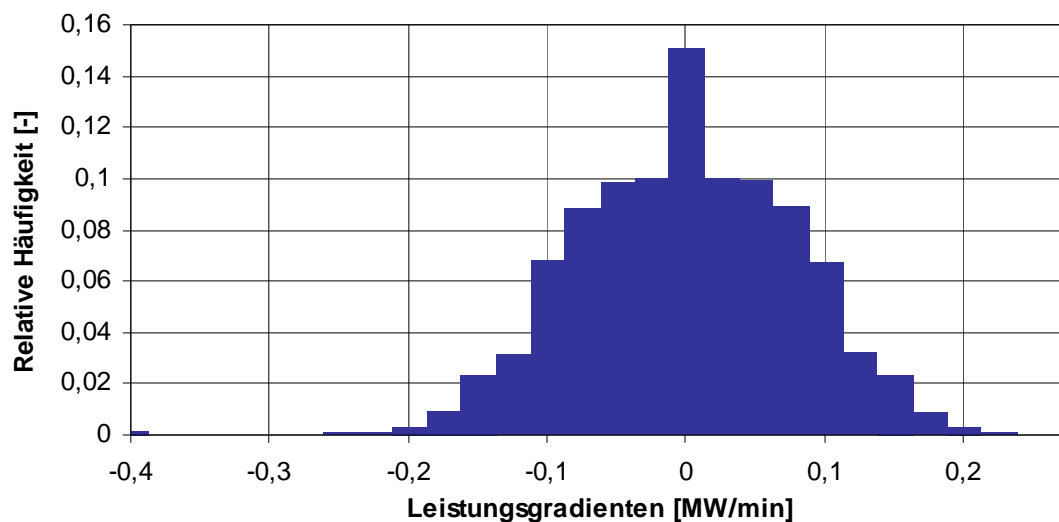


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Leistungsgradienten einer Abwärmelieferung aus einem Hubbalkenofen

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.4 Beeinflussungsmöglichkeiten industrieller Abwärme

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.4:

7.4.4.1	Passive Beeinflussung industrieller Abwärme	59
7.4.4.1.1	Passive Beeinflussung durch die Produktionsmenge	59
7.4.4.1.2	Passive Beeinflussung durch Parallelschaltung mehrerer, gleichartiger Abwärmequellen	62
7.4.4.1.3	Passive Beeinflussung durch Komponentenschutz in den Produktionsanlagen	63
7.4.4.2	Aktive Beeinflussung industrieller Abwärme.....	64
7.4.4.2.1	Aktive Beeinflussung durch Rauchgasstromveränderungen	64
7.4.4.2.2	Aktive Beeinflussung durch Wärmeauskopplung aus Kühlprozessen	65
7.4.4.2.3	Aktive Beeinflussung des Abwärmeprofils durch Verwendung des Netzes als Speicher	65
7.4.4.2.4	Aktive Beeinflussung des Abwärmeprofils durch Einsatz eines Speichers.....	65
7.4.4.2.5	Aktive Beeinflussung des Abwärmeprofils durch Parallelschaltung eines Heizkessels.....	67

Die Lieferung von Abwärme kann durch verschiedene Faktoren, die vom Produktionsprozess bzw. der Konfiguration der Abwärmenutzungseinrichtung abhängen, beeinflusst werden.

7.4.4.1 Passive Beeinflussung industrieller Abwärme

7.4.4.1.1 Passive Beeinflussung durch die Produktionsmenge

Erfolgt der Betrieb der Produktion unter Volllastung der Kapazitäten, wird in den nachgeschalteten Abwärmenutzungsanlagen ein verändertes Lieferprofil gegenüber reduzierter Produktion vorliegen.

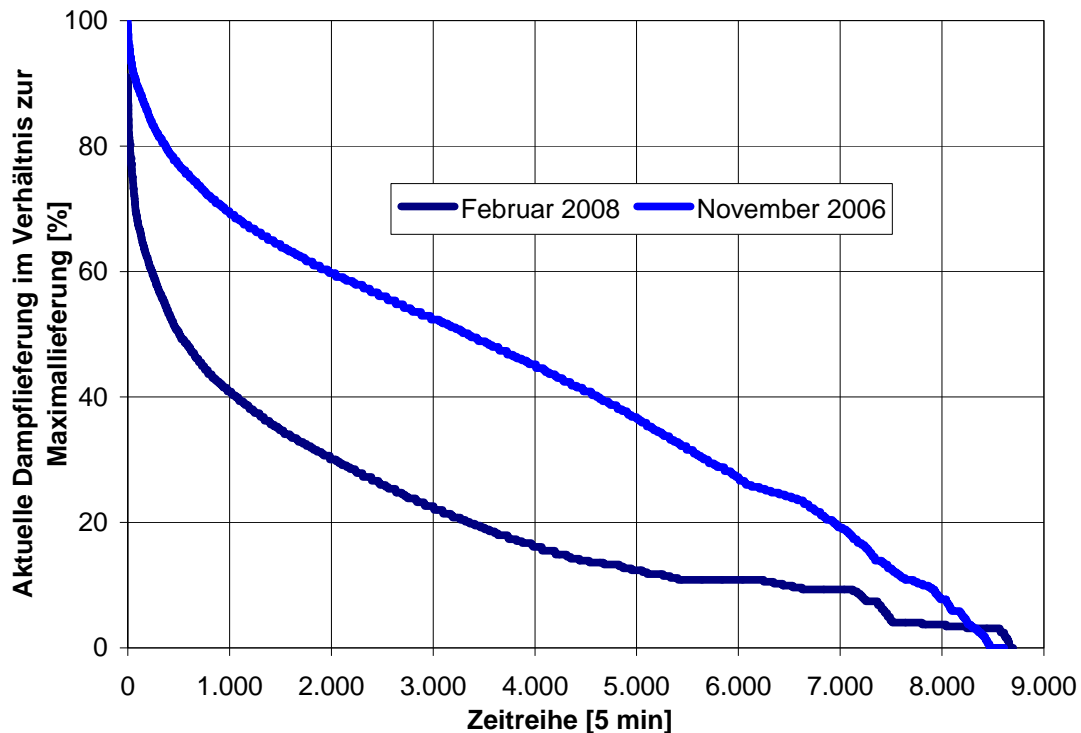


Abbildung 22: Dauerlinie der Dampflieferung eines Stoßofens ausgewählter Monate in der Stahlindustrie bei unterschiedlicher Produktionsauslastung

Literaturquelle: [Interne Daten]

In Abbildung 22 ist eine typische Dampflieferung aus Stoßöfen in der Stahlindustrie bei unterschiedlicher Produktionsauslastung dargestellt. Die Produktionsmenge im Februar 2008 betrug ca. zwei Drittel der Produktionsmenge im November 2006. Bei einer niedrigeren Produktionsauslastung gibt es längere Phasen mit einer niedrigeren Wärmelieferung (bedingt durch den geringeren Energieinput). Die Leistungsspitze hingegen bleibt unverändert, da diese nur kurzzeitig erreicht wird und dem momentanen Bedarf folgt, der auch bei einer mittleren, reduzierten Produktionsmenge gleich hohe Werte erreichen kann, wie bei Volllastung.

Um den Einfluss der Produktionsmenge auf die Dampflieferung näher aufzuzeigen, kann die spezifische Dampferzeugung pro Tonne Stahl ermittelt werden. Aus der nächsten Tabelle kann die ermittelte Kennzahl für die spezifische Dampflieferungen für zwei Stoßöfen im Parallelbetrieb und die Wärmemenge je Tonne bearbeiteten Stahl entnommen werden. Im Mittel kann man bei zwei Stoßöfen in diesem Leistungsbereich bei einer Tonne bearbeiteten Stahl von circa 2,38 Tonnen erzeugtem Dampf ausgehen.

Monate [-]	Spezifische Dampflieferung [t _{Dampf} / t _{Stahl}]	Wärmemenge je Tonne Stahl [MWh / t _{Stahl}]
Jän	2,34	1,70
Feb	2,29	1,66
Mär	2,40	1,74
Apr	2,27	1,64
Mai	2,46	1,78
Jun	2,53	1,83
Jul	2,44	1,77
Aug	2,23	1,61
Sep	2,49	1,81

Tabelle 7: Spezifische Dampf- und Wärmelieferung ausgewählter Monate zweier Stoßöfen
Literaturquelle: [Interne Daten]

Im Allgemeinen ist natürlich davon auszugehen, dass eine verminderte Produktionsmenge auch zu einer geringeren Dampflieferung führt. Dieser Zusammenhang wird hierbei aber teilweise durch den Einsatz einer Bypassklappe beeinflusst. Dabei sei auf die Werte für den Monat August hingewiesen, in dem es trotz einer ähnlichen Produktionsmenge wie im Monat September zu der geringsten Dampfproduktion kam.

Neben den Stoßöfen zeigt der Hubbalkenofen ein etwas gleichmäßigeres Profil, was einerseits an der verwendeten Technologie und andererseits an der nicht vorhandenen Bypassklappe liegt. Aus Tabelle 8 können die relevanten Werte für den Hubbalkenofen abgelesen werden.

Monate [-]	Spezifische Dampflieferung [t _{Dampf} / t _{Stahl}]	Wärmemenge je Tonne Stahl [MWh / t _{Stahl}]
Jän	2,00	1,31
Feb	1,79	1,18
Mär	1,81	1,19
Apr	1,86	1,22
Mai	1,91	1,25
Jun	1,96	1,29
Jul	1,74	1,14
Aug	1,79	1,17
Sep	1,93	1,27

Tabelle 8: Spezifische Dampf- und Wärmelieferung ausgewählter Monate eines Hubbalkenofens

Literaturquelle: [Interne Daten]

Im Mittel produziert ein Hubbalkenofen beim Einsatz einer Tonne Stahl eine Dampfmenge von circa 1,87 Tonnen. Dies liegt unter dem Wert der betrachteten Stoßöfen.

Die nächste Abbildung 23 zeigt den Verlauf der ausgekoppelten Wärmemenge je Tonne Stahl zweier parallel geschalteter Stoßöfen und eines Hubbalkenofens. Ersichtlich ist der etwas regelmäßigeren Verlauf des Hubbalkenofens im Vergleich zu den Stoßöfen.

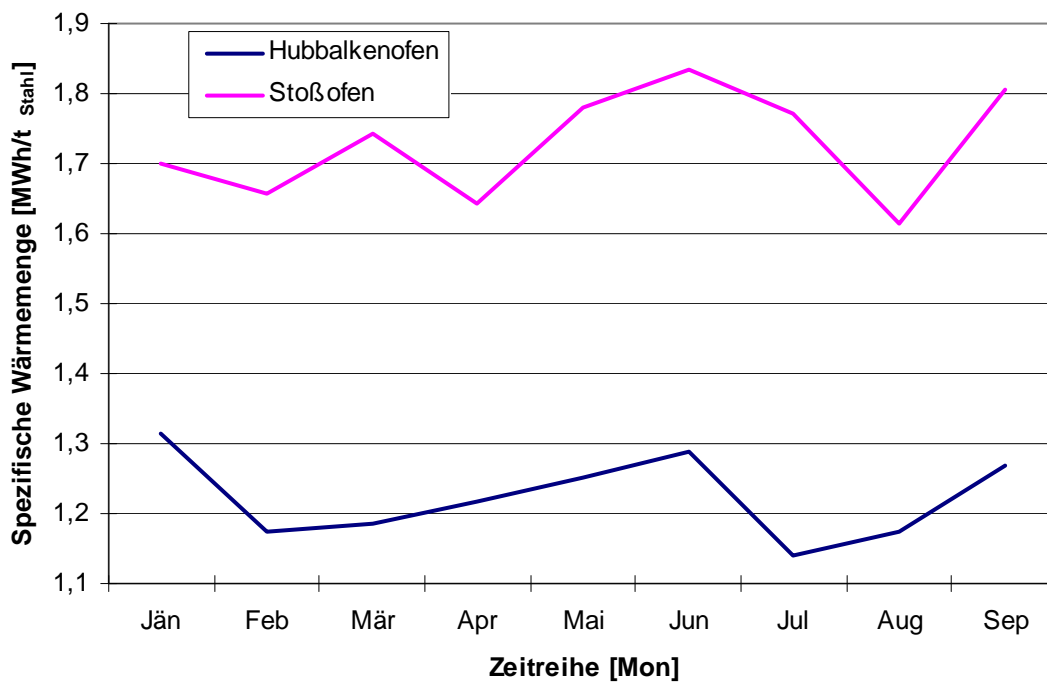


Abbildung 23: Verlauf der spezifischen Dampflieferung bei Stoßöfen und einem Hubbalkenofen
 Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.4.1.2 Passive Beeinflussung durch Parallelschaltung mehrerer, gleichartiger Abwärmequellen

Eine Parallelschaltung mehrerer Abwärmequellen kann den instationären Charakter der Abwärme zwar nicht beseitigen, jedoch kommt es durch die stochastisch auftretenden Schwankungen zu einem leichten Ausgleich und somit zu einer Verflachung der Dauerlinien. Die Leistungsspitze erhöht sich, wobei in der Regel nicht von einer Addition der Leistungen der parallel geschalteten Abwärmequellen ausgegangen werden kann.

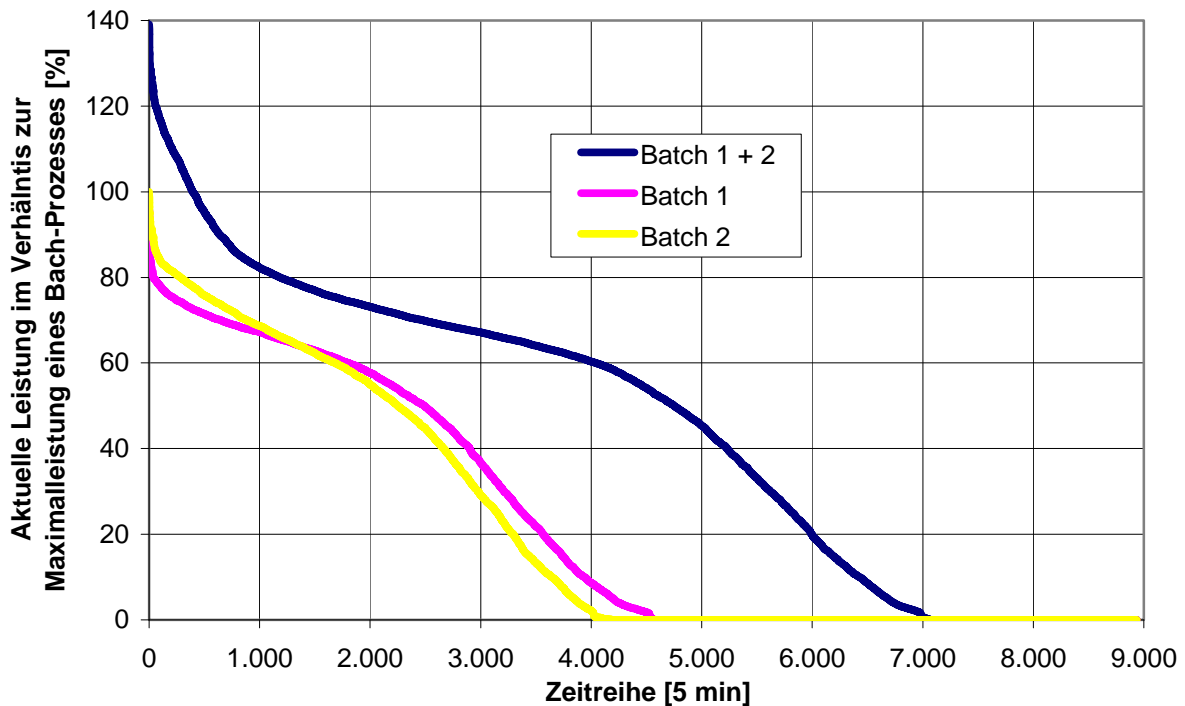


Abbildung 24: Effekt der Parallelschaltung von 2 Batch-Prozessen eines ausgewählten Monates in der Stahlindustrie in Bezug auf die Leistungsabgabe

Erläuterung: Der Referenzmonat ist der Dezember.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Abbildung 24 illustriert den Effekt einer Parallelschaltung von 2 Batch-Prozessen in der Stahlindustrie. Man erkennt deutlich die Verflachung der Dauerlinie und die Steigerung der Leistung der Wärmelieferung. Dieser Effekt ist vor allem bei Abwärmequellen mit extrem starken Schwankungen im Profil, wie z. B. bei Batch-Prozessen, zu beobachten.

7.4.4.1.3 Passive Beeinflussung durch Komponentenschutz in den Produktionsanlagen

Zum Schutz einzelner Komponenten in den Produktionsanlagen wird vielfach bewusst Falschluff angesaugt, um somit die Rauchgastemperaturen künstlich auf "vertretbare" Werte für die eingebauten Komponenten zu begrenzen (Beispiel: Schutz der Heizflächen eines Rekuperators für die Luftvorwärmung durch eigene Luftansaugung). Durch diese Reduktion der Rauchgastemperaturen kommt es zu einer Verminderung der nutzbaren Abwärme, da die für den Wärmeübergang maßgeblichen Temperaturdifferenzen sinken. Dem wirkt jedoch der Effekt eines größeren Rauchgasmassenstromes entgegen, der zu einer Erhöhung der Rauchgasgeschwindigkeiten führt.

In der Praxis führt also eine Reduktion der Temperaturen durch Zusatzluft zu einer Verminderung der Abwärmeauskopplung. Diese Reduktion der Wärme fällt aber nicht so stark aus, wie es die Absenkung der Rauchgastemperaturen nahe legen würde. Abhängig vom jeweiligen Anwendungsfall ergeben sich individuelle Werte. Als Abschätzung kann in einem ersten Schritt aber davon ausgegangen werden, dass die Reduktion der

Wärmeauskopplung um ca. 2 [%] niedriger ausfällt, als die Verminderung der Rauchgastemperatur (jeweils in Bezug zum Ursprungszustand).

7.4.4.2 Aktive Beeinflussung industrieller Abwärme

7.4.4.2.1 Aktive Beeinflussung durch Rauchgasstromveränderungen

Durch aktive Beeinflussung des Rauchgasstromes (siehe Abschnitt 7.4.3.1.1) kann ein Teil der Rauchgase an Abhitzeesseln und Rauchgaswärmetauschern vorbeigeleitet werden. Dadurch können Spitzen der Abwärmelieferung gekappt werden. Durch diese Einrichtungen kann bei ausreichenden Reglereingriffszeiten auch das Profil der Abwärmelieferung mit einem Wärmebedarfsprofil abgestimmt werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die momentane Leistung der lieferbaren Abwärme größer ist als die Leistung des Wärmeverbrauchs. Abbildung 25 zeigt den Betrieb eines Stoßofens mit und ohne Bypassklappe.

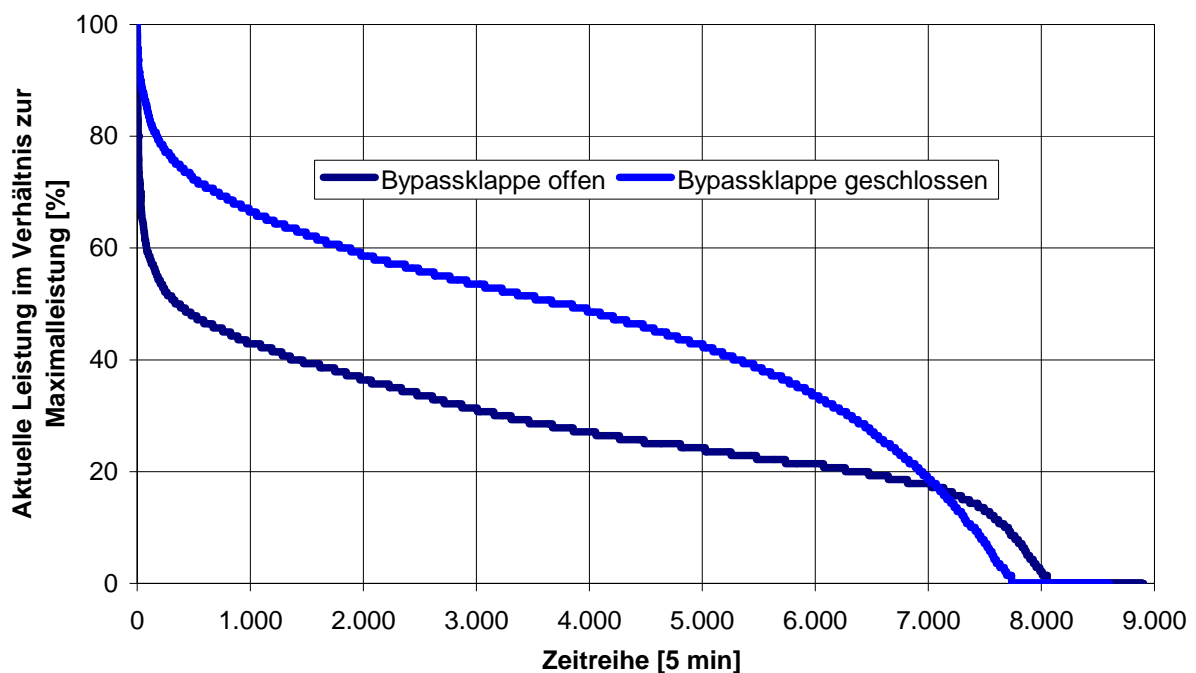


Abbildung 25: Dauerlinie der Abwärmelieferung eines Stoßofens mit und ohne Betrieb der Bypassklappe in der Stahlindustrie

Erläuterungen: Der Darstellungszeitraum beträgt 1 Monat auf Basis von 5-Minuten-Mittelwerten. Die spezifischen Werte sind auf die Maximalleistung bezogen. Bei geöffneter Bypassklappe wird ein Teil des Rauchgases am Abhitzeessel vorbei geleitet. Somit wird die Abwärmeauskopplung reduziert.

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.4.2.2 Aktive Beeinflussung durch Wärmeauskopplung aus Kühlprozessen

Die Spitzen der Abwärmelieferung können auch dadurch gekappt werden, indem die Auskopplung der Wärme aus einem Kühlsystem der Produktionsprozesse erfolgt. Diese Kühlsysteme dienen zur Gewährleistung eines kontinuierlichen Betriebs der Produktion. Eine Auskopplung von Wärme z. B. in externe Heiznetze reduziert dabei die Wärmemenge, die ungenutzt an die Umgebung abgegeben werden muss. Das Kühlsystem wirkt in diesem Fall als Zwischenkreis und Dämpfer zwischen produktionsabhängiger Wärmequelle und der davon komplett unabhängigen Wärmesenke. Damit lässt sich z. B. durch eine zeitlich träge Regelung der für die Auskopplung notwendigen Pumpen vermeiden, dass instationäre Lastspitzen in vollem Umfang in das Wärmenutzungssystem durchschlagen.

Ein Nachteil dieser Konfiguration ist allerdings, dass das Temperaturniveau der ausgekoppelten Wärme niedriger ist, als die Maximaltemperaturen des Kühlkreises, die ihrerseits aus betrieblichen Gründen oftmals unter dem Temperaturniveau des Vorlaufs in konventionellen Fernwärmenetzen liegen.

7.4.4.2.3 Aktive Beeinflussung des Abwärmeprofils durch Verwendung des Netzes als Speicher

Generell besteht in Fernwärmenetzen die Möglichkeit, einen Speichereffekt durch zwischenzeitliche Anhebung der Vorlauftemperaturen zu erreichen [Kugeler, Philippen]. Dies setzt allerdings voraus, dass eine aktive Anhebung der Vorlauftemperaturen an der Wärmequelle möglich ist, und im Fernwärmenetz keine Komplikationen durch Temperaturschwankungen entstehen. Bei der Nutzung industrieller Abwärme ist allerdings eine aktive Erhöhung der Temperatur normalerweise nicht möglich. Darüber hinaus sind die Leitungslängen bis zur Integration in das Wärmeverteilnetz üblicherweise nicht so groß, dass ein Speichereffekt in diesen Leitungsabschnitten genutzt werden könnte.

7.4.4.2.4 Aktive Beeinflussung des Abwärmeprofils durch Einsatz eines Speichers

Die Technologie der Wärmespeicher ist in Abschnitt 7.4.5 ausführlich beschrieben.

Der Wärmespeicher, der sinnvoller Weise zwischen die instationäre Abwärmequelle und das Wärmenutzungssystem geschaltet wird, wirkt als Dämpfer. Ein idealer Speicher würde somit zu einer vollständigen Vergleichmäßigung der Wärmelieferung führen. In der Praxis sind hierfür die Art und die Menge des Speichermediums und die Bauart des Speichers maßgeblich.

Sattdampfspeicher erlauben z. B. einen optimalen Speicherbetrieb auch bei stark instationären Wärmelieferprofilen. In diesen Speichern erfolgt die Energieaufnahme im Speichermedium nicht primär durch einen Anstieg der Temperatur des Speichermediums, sondern v. a. durch eine Anpassung des Speicherdrucks, die sehr schnell erfolgt (siehe Abbildung 26).

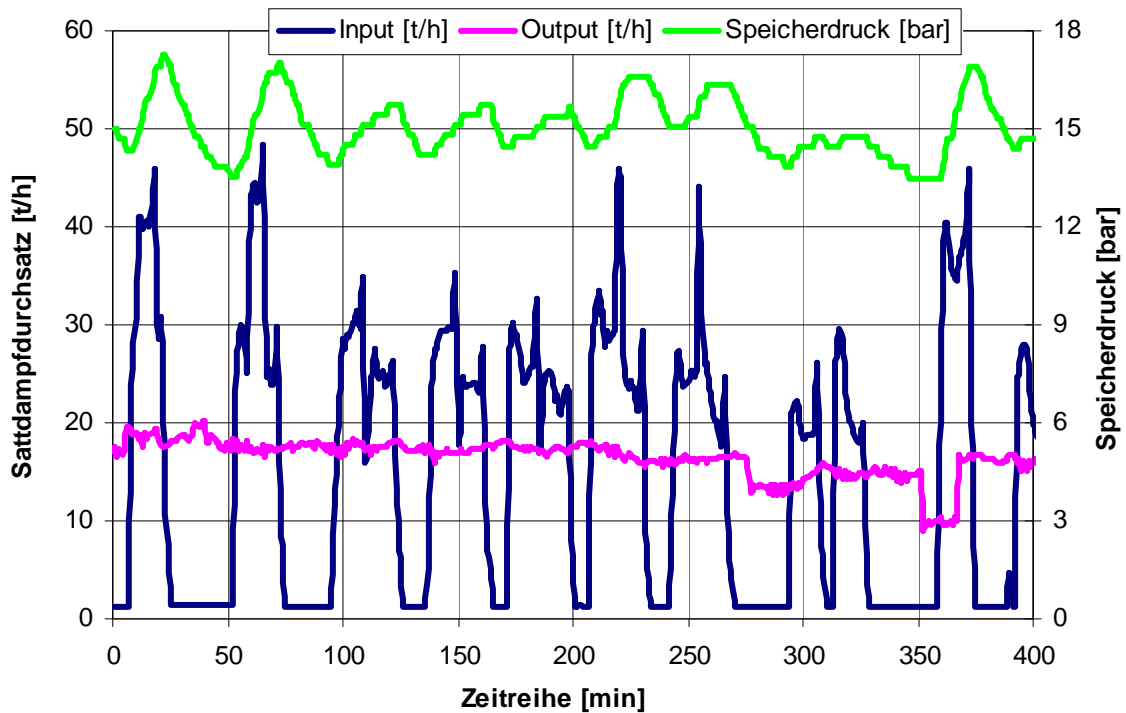


Abbildung 26: Input- und outputseitiger Sattdampfdurchsatz sowie Druckverhältnisse im Betrieb eines Sattdampfspeichers

Literaturquelle: [Interne Daten]

Umgelegt auf Dauerlinien ergibt sich folgendes Bild (siehe Abbildung 27):

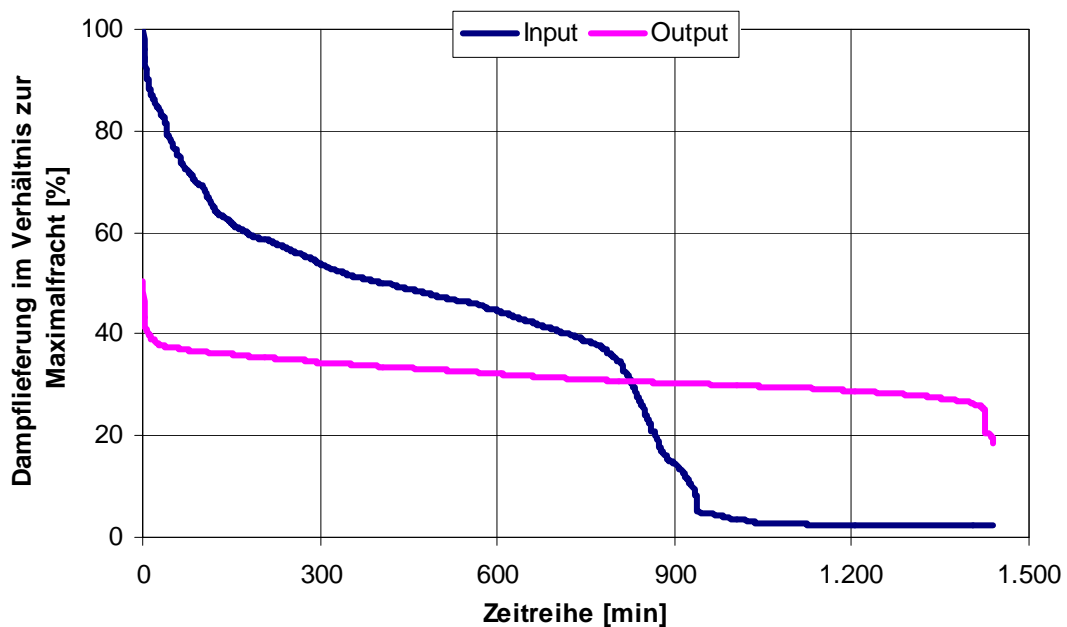


Abbildung 27: Dauerlinien des Inputs und des Outputs eines Sattdampfspeichers

Literaturquelle: [Interne Daten]

Es ist erkennbar, dass die Anforderungen an einen "idealen" Speicher von einem geeignet dimensionierten Sattdampfspeicher praktisch zur Gänze erfüllt werden.

Wärmespeicher, die mit einer Temperaturschichtung des Speichermediums arbeiten (z. B. klassische Heißwasserspeicher), können vor allem nicht in gleichem Umfang den starken Leistungsgradienten folgen (vgl. hierzu auch Abschnitt 7.4.5).

7.4.4.2.5 Aktive Beeinflussung des Abwärmeprofiles durch Parallelschaltung eines Heizkessels

Um eine gleichmäßige Wärmelieferung gewährleisten zu können, kann das instationäre Wärmeprofil der Abwärmequelle grundsätzlich auch durch eine Parallelschaltung einer direkten, ungekoppelten Wärmezeugung z. B. in einem konventionellen Heizkessel erfolgen. Voraussetzung für diese Konfiguration ist, dass der Wärmekessel dem Gradienten der Abwärmelieferung zur Gänze folgen kann. Diese Anordnung ist jedoch mit zusätzlichem Brennstoffeinsatz verbunden und ist aus diesem Grund sicherlich nicht als erste Wahl der möglichen Maßnahmen zu werten.

7.4.5 Relevante Technologien der Nutzung bzw. Integration von Abwärme

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.5:

7.4.5.1	Technologien zur Abwärmenutzung aus Fluiden	68
7.4.5.1.1	Rekuperatoren	69
7.4.5.1.2	Regeneratoren	80
7.4.5.1.3	Einfluss der Werkstoffauswahl auf Kosten und Anwendungsbereich von Wärmetauschern	84
7.4.5.2	Technologien zur Abwärmenutzung aus Festkörpern	85
7.4.5.2.1	Technologien zur Abwärmenutzung aus Strukturkühlung	86
7.4.5.2.2	Technologien zur Abwärmenutzung aus Produkt- und Aggregatkühlung.....	86
7.4.5.3	Ergänzende Einrichtungen bzw. Technologien zur Abwärmenutzung	87
7.4.5.3.1	Technologien zur passiven Beeinflussung.....	87
7.4.5.3.2	Technologien zur aktiven Beeinflussung	87
7.4.5.3.3	Speichertechnologien zur Abwärmenutzung	88

So vielfältig das Erscheinungsbild von industrieller Abwärme sein kann, so vielfältig sind die technologischen Möglichkeiten zur Nutzung. Um das vorliegende Potenzial einer Nutzung zugänglich zu machen, müssen daher unterschiedliche Technologien herangezogen werden. In diesem Zusammenhang werden nachfolgend neben

- **direkten Koppelungskomponenten** (z. B. Wärmetauscher) auch
- **Zusatztechnologien** (z. B. Speichertechnologien)

mitberücksichtigt.

Nachfolgend werden die relevanten Technologien der Abwärmenutzung wie folgt behandelt:

- Technologien zur Abwärmenutzung aus Medien unterschiedlichen Zustands
- Technologien zur Abwärmenutzung aus unterschiedlichen Prozessen
- Ergänzende Einrichtungen bzw. Technologien zur Abwärmenutzung

7.4.5.1 Technologien zur Abwärmenutzung aus Fluiden

Bei der Abwärmenutzung aus Fluiden (flüssig und gasförmig) wird im Allgemeinen die indirekte Wärmeübertragung (d.h. das Wärme abgebende Medium ist durch Zwischenwände vom Wärme aufnehmenden Medium getrennt) angewandt, welche in der Industrie stark verbreitet ist.

Um Abwärme aus Fluiden (z. B. Rauchgasen, anderen heißen Gasströmen oder Flüssigkeiten) auf andere Stoffströme zu übertragen, werden Wärmetauscher eingesetzt. Je nach Anwendung unterscheidet man hierbei folgende Technologien:

- Rekuperatoren
- Regeneratoren

Die sehr unterschiedlichen Aufgaben dieser Wärmetauscher ergeben sich einerseits aus den betrieblichen Erfordernissen, und andererseits aus den Eigenschaften der Wärme abgebenden und aufnehmenden Stoffe. Diese können sowohl in Bezug auf den Aggregatzustand, als auch in Bezug auf den Stoff sehr unterschiedlich sein, und somit auch einen erheblichen Einfluss in Bezug auf den Betrieb und die Kosten eines Wärmetauschers haben, da die sich daraus ableitenden Aufgaben durch die Verwendung geeigneter Bauformen gelöst werden müssen. In Hinblick auf die Anwendung müssen Technologien eingesetzt werden, welche üblicherweise folgende Wärmeübertragungsarten unterstützen:

- Wärmeübertragung von einem Gas auf ein anderes,
- Wärmeübertragung von Gas auf Flüssigkeit und umgekehrt,
- Wärmeübertragung von einer Flüssigkeit auf eine andere,
- Kondensation von Dampf mittels einer Kühlflüssigkeit,
- Kondensation von Dampf durch Kühlluft,
- Erwärmung von Gas durch kondensierenden Dampf und
- Verdampfung von Flüssigkeiten durch kondensierenden Dampf.

Übliche Wärmeträger-Medien im Industriebereich sind daher

- Wasser,
- Thermoöle,
- Dampf,
- Rauchgas / Abgas,
- Ab- und Kühlluft sowie
- ein Gemisch aus diesen Medien.

Die unterschiedlichen Wärmetauscher-Bauformen sind daher auf die jeweiligen Aufgabengebiete abzustimmen. Nicht alle Wärmetauscherarten können für alle Wärmeübertragungsarten und Medien (sinnvoll) eingesetzt werden. Nachfolgend wird auf die einzelnen Technologien näher eingegangen.

7.4.5.1.1 Rekuperatoren

Als Rekuperatoren bezeichnet man Wärmetauscher aus zwei parallel laufenden, stofflich getrennten Systemen von möglichst dünnwandigen Kanälen, Rohren oder Lamellen (siehe Abbildung 28).



Abbildung 28: Stoffströme eines Rekuperators

Literaturquelle: [Rekuperator 2009]

Rekuperatoren finden vor allem bei der Wärmerückgewinnung aus Rauchgasen Anwendung. Das heiße Abgas und das Wärme aufnehmende Medium durchströmen den Wärmetauscher zur selben Zeit wobei die Wärmeübertragung direkt durch die Rohr bzw. Plattenwand erfolgt. Durch den leichten Aufbau und die unkomplizierte stationäre Betriebsweise von Rekuperatoren, findet diese Technologie auch breite Anwendung in allen möglichen Bereichen der Wärmerückgewinnung. [VDI-Wärmeatlas]

Bauarten von Rekuperatoren

In Bezug auf die Bauart unterscheidet man Rekuperatoren, die nach dem Gegen-, Gleich- oder Kreuzstromprinzip arbeiten (siehe Abbildung 29).



Abbildung 29: Schematische Darstellung der verschiedenen Fluidführungen bei Wärmetauschern

Literaturquelle: [Baunetz 2009]

Gegenstromprinzip

Die Gegenstromführung ist der Gleichstromführung überlegen, da die Austrittstemperatur des Wärme aufnehmenden Mediums bei Gegenstrom über der Austrittstemperatur des Wärme abgebenden Mediums liegen kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die beiden Medien an verschiedenen Enden des Wärmetauschers austreten. Selbst bei beliebiger Verlängerung des Apparates bei Gleichstromführung kann eine derartige Erwärmung des Fluids nicht realisiert werden. Zusätzlich dazu benötigt ein Wärmetauscher in Gegenstrombauweise bei gleicher übertragener Wärmeleistung stets eine kleinere Fläche als ein Gleichstrom-Wärmetauscher. Dies reduziert zum einen die Materialkosten, und zum anderen den Platzbedarf, der vor allem in gewachsenen Industriebetrieben eine wichtige Rolle spielt.

Gleichstromprinzip

Führt man zwei Fluide im Gleichstrom, so muss die Austrittstemperatur des kalten Stromes immer unter der Austrittstemperatur des warmen Stromes liegen. Wie schon zuvor erwähnt ist die Gleichstromführung daher ungünstiger als die Gegenstromführung und wird daher in der Praxis nur in Sonderfällen und eher selten angewandt.

Kreuzstromprinzip

Hierbei ändern sich die Temperaturen der beiden Medien quer zur jeweiligen Strömungsrichtung. Jedes Fluidteilchen, das den Wärmetauscher kreuzförmig durchströmt, erfährt eine eigene Temperaturänderung. Somit ist die Temperatur bei Kreuzstrom räumlich unterschiedlich verteilt.

Weiters werden Rekuperatoren wie folgt unterschieden:

- Rohrbündel-Wärmetauscher und
- Platten-Wärmetauscher

Rohrbündel-Wärmetauscher

Die in der Praxis am häufigsten angewandte Bauform ist der Rohrbündelwärmetauscher nach Abbildung 30. Die Apparate bestehen aus einem Gehäuse (Mantel) mit einem darin befindlichen geraden oder U-förmig gebogenen Bündel aus Stahl- oder Kupferrohren. Diese Wärmetauscher werden wegen ihrer verhältnismäßig einfachen Herstellungsweise und vielseitigen Verwendbarkeit für flüssige und gasförmige Stoffe innerhalb eines sehr großen Temperatur- und Druckbereichs sowie bei Phasenänderung in unzähligen Industriezweigen, vor allem in der chemischen Industrie und in Energiebetrieben, verwendet.

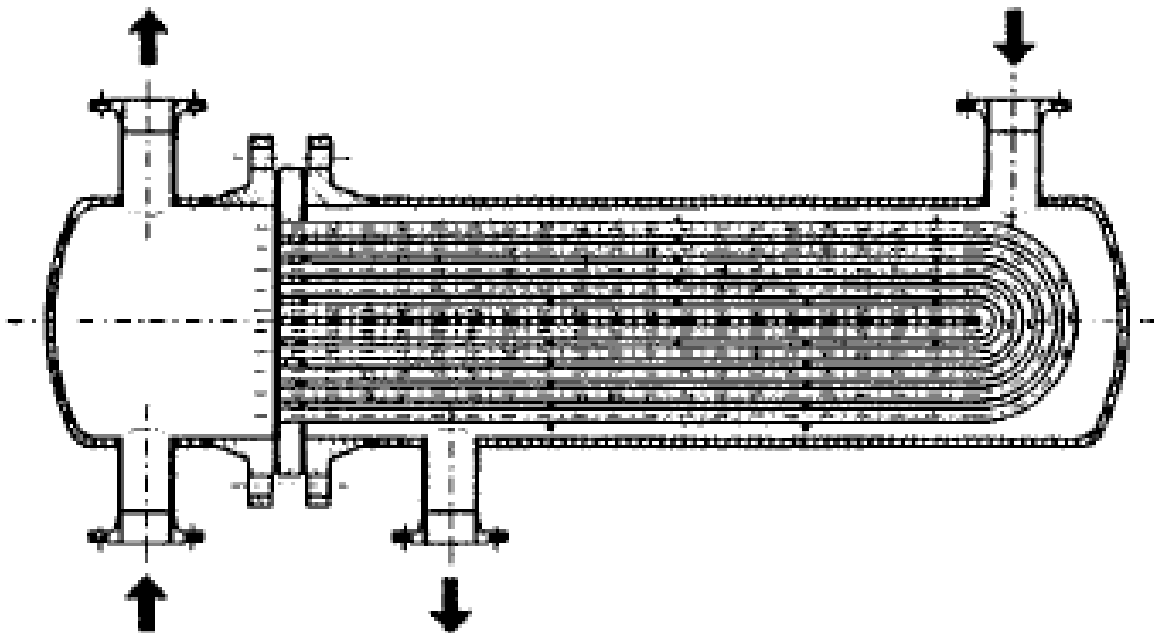


Abbildung 30: Rohrbündel-Wärmetauscher mit U-Rohren

Literaturquelle: [VDI-Wärmeatlas]

Bei der Auslegung eines Rohrbündel-Wärmetauschers muss in erster Linie festgelegt werden, welcher Stoff durch die Rohre und welcher um die Rohre (im Mantelraum) strömen soll. Die Stromführung richtet sich vorrangig nach thermodynamischen und fluiddynamischen Gesichtspunkten, sowie zulässigen Druckverlusten. Auch hier lässt sich ein Gegenstrombetrieb verwirklichen, wobei lediglich beim Ein- und Austritt des im Außenraum strömenden Fluids kurzzeitig eine Kreuzstromführung auftritt. Ein niedriger Wärmeübergang kann durch Berippung der Rohre (Vergrößerung der Wärmeübergangsfläche) kompensiert werden. Die Wärmetauscher bestehen im Allgemeinen durch ihre Langlebigkeit, den robusten Aufbau, die relativ gute Reinigungs- und Wartungsmöglichkeit und die einfache Installation. Die Ausführung mit U-förmigen Rohren ist die billigste Variante, jedoch ist dabei eine schlechtere Reinigungsmöglichkeit und Auswechselbarkeit der Rohre gegeben.

Platten-Wärmetauscher

Hierbei werden profilgeprägte dünne Platten zu einem Paket zusammengepresst und bilden dadurch ein System von engen Fließspalten. Platten-Wärmetauscher werden im großen Stil mit reiner Kreuzstromführung verwirklicht und von vielen Herstellern als Serienapparate wie in der in Abbildung 31 gezeigten Bauform angeboten.

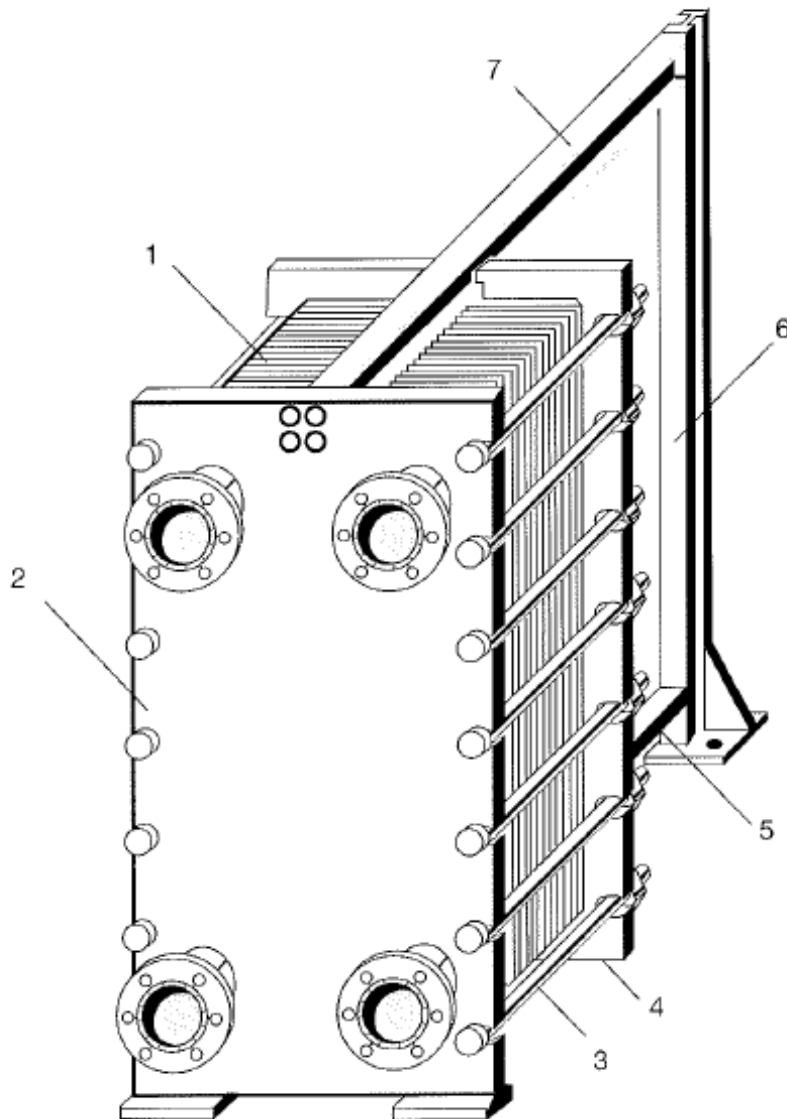


Abbildung 31: Plattenwärmetauscher

Literaturquelle: [VDI-Wärmeatlas]

Erläuterungen: 1...Plattenpaket, 2...Stativplatte, 3...Zuganker, 4...Spannplatte,
5...Führungsstange, 6...Stütze, 7...Träger

Diese Wärmetauscher sind äußerst kompakte, wartungsfreundliche und korrosionsbeständige Aggregate. Die kompakte Bauweise und kurze Baulänge geben dem Platten-Wärmetauscher Vorteile gegenüber einem Wärmetauscher in Rohrbündelbauweise, da dabei zusätzlicher Platz zum Ausziehen des Bündels vorgesehen werden muss. Trotz der Plattendicke von nur 0,5 bis 0,7 [mm] können durch die gegenseitige Abstützung der Platten Betriebsdrücke von bis zu 25 [bar(ü)] realisiert werden. [Baehr, Stephan]

Auf Grund der kleinen Abstände zwischen den Platten und der starken Verwirbelung der Strömung werden große Werte von Wärmedurchgangskoeffizienten erreicht. Zu den schon erwähnten Vorteilen zählt bei Plattenwärmetauschern noch die Möglichkeit der nachträglichen Anpassung an veränderte Betriebsbedingungen durch Austausch oder Hinzufügen von Platten. In den letzten Jahren wurden diese Wärmetauscher weiterentwickelt, und die zulässigen Betriebsbedingungen bezüglich Druck und Temperatur haben sich erhöht. Dadurch konnten die Einsatzmöglichkeiten vor allem in der Prozessindustrie deutlich erweitert werden. Durch den Einsatz geschweißter Konstruktionen und den teilweise bzw. vollständigen Entfall der Elastomerdichtungen konnte die Beständigkeit der Wärmetauscher erhöht werden. Dennoch bleibt zu sagen, dass sehr hohe Anforderungen an Druck- und Temperaturbelastbarkeit, an Dichtheit und Verfügbarkeit nicht in gleichem Maße wie bei Rohrbündel- Wärmetauscher zu erfüllen sind. [VDI-Wärmeatlas]

Kosten von Rekuperatoren

Bei einer Beurteilung der Preise für Wärme aus einer industriellen Auskopplung, müssen natürlich auch die Kosten der eingesetzten Wärmetauscher näher betrachtet werden. Auf Grund des großen Einsatzbereichs und der unterschiedlichsten Anforderungen von Wärmetauschern können jedoch keine allgemein gültigen Aussagen über die Kosten getroffen werden. Die einzelnen kontaktierten Hersteller verweisen hierbei im Industriebereich auf den Umstand, dass bei industriellen Anlagen grundsätzlich kaum standardisierte Technologien eingesetzt werden, sondern meist Individuallösungen angefertigt werden müssen.

Die bereits beschriebene Vielfalt an Anwendungsmöglichkeiten von rekuperativen Wärmetauschern trägt daher dazu bei, dass die Kostenbetrachtung nur in Hinblick auf bestimmte Faktoren aussagekräftige Ergebnisse liefern kann. In Hinblick auf die großen Unterschiede hinsichtlich

- Leistung des Wärmetauschers,
- Materialien / Werkstoff,
- Wärmeträger-Medien,
- Druck- und Temperaturanforderungen und
- Einsatzbereich (z. B. notwendige Korrosionsbeständigkeit),

können daher nur Beispielswerte für die weitere Betrachtung der Kosten herangezogen werden. Folgend wird daher nur allgemein auf die Kosten von Wärmetauschern eingegangen.

Grundsätzlich stellt die Leistung ein entscheidendes Kriterium für die anfallenden Kosten dar. Daher werden nachfolgend die Kosten unterschiedlicher Rekuperatoren auf deren Leistung bezogen und die spezifischen Kosten errechnet.

In Abbildung 32 werden die spezifischen Kosten von Platten- und Rohrbündelwärmetauschern dargestellt, welche sowohl auf der Primärseite, als auch auf der Sekundärseite Wasser (Kondensat, Kühlwasser) als Arbeitsmedium führen.

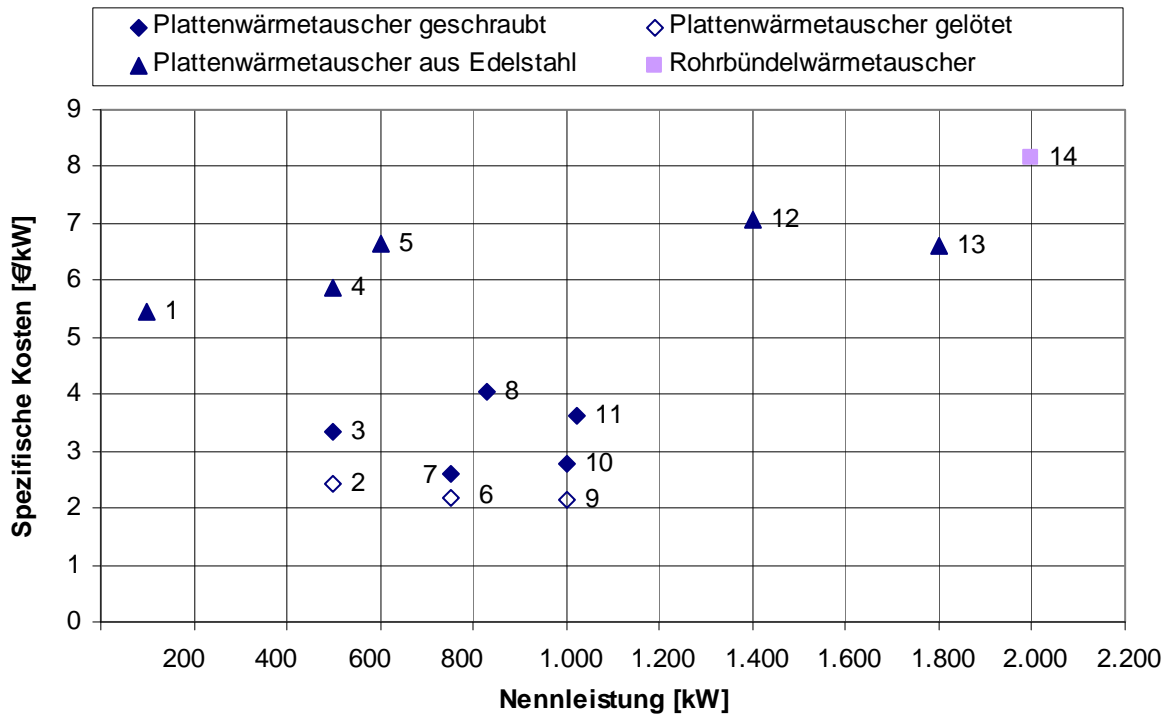


Abbildung 32: Spezifische Kosten von ausgewählten Wasser/Wasser-Wärmetauschern

Erläuterungen: Die mit Indizes versehenen Datenpunkte vertreten ganz bestimmte Wärmetauscher, welche in Tabelle 9 näher spezifiziert werden.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Index [-]	Leistung [kW]	Wärmequelle EIN/AUS [°C]	Wärmesenke EIN/AUS [°C]	Spez. Kosten [€/kW]	Ausführung bzw. Material	Referenzdatum
1	100	125 / 65	60 / 80	5,5	Platten Edelstahl En 1.4404	Aug.07
2	500	95 / 73	13 / 65	2,4	Platten gelötet	Jun.08
3	500	95 / 73	13 / 65	3,4	Platten geschraubt	Jun.08
4	500	125 / 65	60 / 80	5,9	Platten Edelstahl En 1.4404	Aug.07
5	600	125 / 65	60 / 80	6,6	Platten Edelstahl En 1.4404	Aug.07
6	750	95 / 73	13 / 65	2,2	Platten gelötet	Jun.08
7	750	95 / 73	13 / 65	2,6	Platten geschraubt	Jun.08
8	828	105 / 95	60 / 90	4,0	Platten geschraubt	Nov.08
9	1.000	95 / 73	13 / 65	2,1	Platten gelötet	Jun.08
10	1.000	95 / 73	13 / 65	2,8	Platten geschraubt	Jun.08
11	1.023	105 / 95	60 / 90	3,6	Platten geschraubt	Nov.08
12	1.400	125 / 65	60 / 80	7,0	Platten Edelstahl En 1.4404	Aug.07
13	1.800	125 / 65	60 / 80	6,6	Platten Edelstahl En 1.4404	Aug.07
14	2.000	150 / 55	50 / 60,7	8,2	Rohrbündel Stahlglatrohr	Nov.06

Tabelle 9: Ausgewählte Daten von Wasser/Wasser-Wärmetauschern in Platten- und Rohrbündelausführung

Literaturquelle: [Interne Daten]

Aus Tabelle 9 können nun die Daten für Wasser/Wasser-Wärmetauscher (unterschiedliche Ausführungen, Temperaturbereiche, etc.) entnommen werden. Zu erkennen ist, dass in Abbildung 32 in diesem bestimmten Leistungsbereich von Wasser/Wasser-Wärmetauschern nur ein Rohrbündelwärmetauscher in die Betrachtung mit aufgenommen wurde. Andere

Rohrbündelwärmetauscher hätten durch ihren großen Leistungsbereich das Bild zu sehr verzerrt.

Ansonsten können in diesem Bereich nur schwer Vergleiche angestellt werden. Dabei sei auf die unterschiedlichen Parameter in Tabelle 9 verwiesen. Zu erkennen ist lediglich, dass die Kosten für Plattenwärmetauscher einerseits vom auftretenden Temperaturniveau aber vor allem auch von der Ausführung (geschraubt bzw. gelötet) und dem eingesetzten Material abhängen. Vergleicht man hierzu die Datenpunkte 2 und 3, so erkennt man den Kostenanstieg in Bezug auf gelötete bzw. geschraubte Platten (Selber Effekt bei Datenpunkten 6 u. 7, bzw. 9 u. 10). Der höhere Wert für die spezifischen Kosten bei den Datenpunkten 8 und 11 lässt sich wiederum auf das höhere Temperaturniveau zurückführen. Den Effekt des eingesetzten Materials auf die Kosten zeigen die Datenpunkte 4 und 5. Hierbei wird Edelstahl EN 1.4404, der eine gute Rost- und Säurebeständigkeit aufweist, eingesetzt und trägt zu den höheren spezifischen Kosten bei. Über Zusammenhänge zwischen Leistungsgröße und Kosten der Wärmeüberträger kann hier keine Aussage getroffen werden, da sich die Anforderungen und Parameter zu stark unterscheiden.

Hersteller von Platten-Wärmetauschern produzieren nur eine beschränkte Anzahl an unterschiedlichen Platten. Durch eine geschickte Wahl von Plattengröße, Turbulenzgrad und Schaltung der Platten kann praktisch jede beliebige Leistung innerhalb gegebener Grenzen übertragen werden. Sowohl im kleineren, als auch im größeren Leistungsbereich werden daher ähnliche Platten eingesetzt, wobei diese nach den entsprechenden Erfordernissen anders geschaltet werden. Mit zunehmender Leistung ist daher eine zunehmende Anzahl an Platten notwendig. Diese korrespondieren direkt mit den Kosten, welche daher direkt proportional von der Anzahl der verbauten Platten abhängen. Aus diesem Grund gibt es auch keine nennenswerten Unterschiede innerhalb eines Herstellers in Bezug auf die spezifischen Kosten.

Neben der Plattenanzahl haben aber auch die Plattengröße und die damit verbundene Fertigungstechnik einen entscheidenden Einfluss auf die Kosten. Die Plattenproduktion erfolgt durch Verwendung unterschiedlich großer Presswerkzeuge und hoher Pressdrücke. Aufgrund des unterschiedlichen Plattenherstellungsverfahrens begründen sich daher die Kostenunterschiede zwischen den Herstellern.

Die nächste Abbildung geht nun auf weitere Anwendungsbereiche von Platten- und Rohrbündel-Wärmetauschern ein. Um eine übersichtliche Darstellung zu gewährleisten wurden Datenpunkte mit einer Leistung größer 1000 [kW] nicht in diese Abbildung aufgenommen.

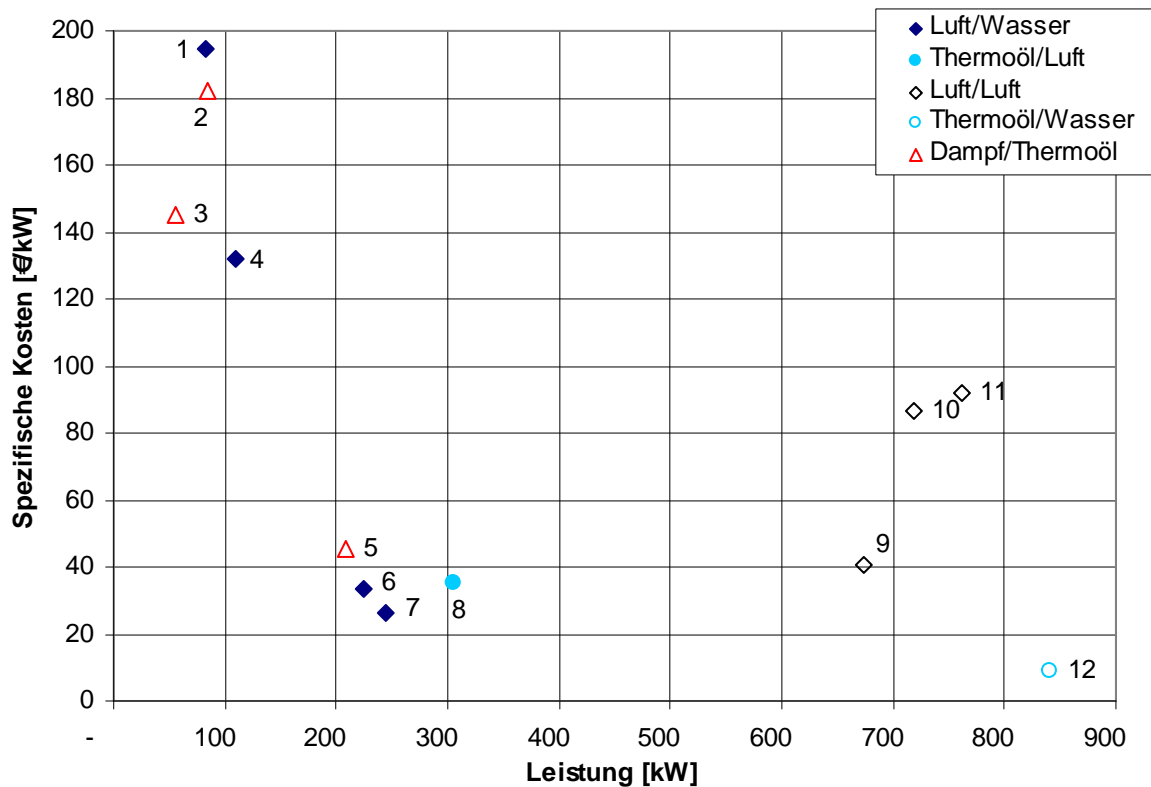


Abbildung 33: Spezifische Kosten unterschiedlicher Wärmetauscher

Literaturquelle: [Interne Daten]

Aus Abbildung 33 wird wieder ein breit gestreutes Bild von Leistung und spezifischen Kosten sichtbar. Um nähere Aussagen treffen zu können dient Tabelle 10. Daraus können wiederum alle Parameter die Wärmetauscher betreffend entnommen werden. Hier bleibt zu sagen, dass nicht nur mehr ein Wärmeträgermedium, wie in Abbildung 32 Wasser, betrachtet wird, sondern unterschiedlichste Anwendungen. Dabei wird vor allem der Bereich der Thermoöl Wärmetauscher näher betrachtet.

Betrachtet man die Datenpunkte 1, 4, 6 und 7 so zeigt sich für Luft/Wasser-Wärmetauscher eine Kostendegression bei steigender Leistung. Mit Ausnahme des ersten Wärmetauschers bestehen alle weiteren Rohrbündelwärmetauscher aus stahlverzinkten Rippenrohren. Die hohen spezifischen Kosten von Nummer 1 können daher auch auf den Einsatz von Edelstahlglattrohren und den höheren Temperaturbereich zurückgeführt werden.

Index [-]	Typ	Leistung [kW]	Wärmequelle EIN/AUS [°C]	Wärmesenke EIN/AUS [°C]	Spez. Kosten [€/kW]	Ausführung bzw. Material	Referenzdatum
1	Luft/Wasser	82	130 / 80	60 / 70	194,6	Edelstahlglattrohr	Nov.08
2	Dampf/Thermoöl	109	152 / 152	140 / 145	181,9	Platten geschraubt	Okt.08
3	Dampf/Thermoöl	224	152 / 152	140 / 145	145,0	Platten geschraubt	Okt.08
4	Luft/Wasser	244	60 / 50	35 / 55	132,2	Rippenrohr stahlverzinkt	Nov.08
5	Dampf/Thermoöl	273	152 / 152	140 / 145	45,1	Platten geschraubt	Okt.08
6	Luft/Wasser	305	67 / 65	13 / 52	33,3	Rippenrohr stahlverzinkt	Jul.08
7	Luft/Wasser	304	82 / 68	20 / 55	26,4	Rippenrohr stahlverzinkt	Jul.08
8	Thermoöl/Luft	456	125 / 85	20 / 70	35,0	Rippenrohr stahlverzinkt	Nov.08
9	Luft / Luft	674	130 / 82	20 / 82	40,8	Glasrohr	Nov.08
10	Luft / Luft	718	380-220 / 253 - 162	20 / 160 - 281	86,7	Platten	Jän.09
11	Luft / Luft	762	380-220 / 254 - 158	21 / 170 - 296	92,0	Platten	Feb.09
12	Thermoöl/Wasser	840	110 / 92	85 / 91	8,7	Platten geschraubt	Jän.09

Tabelle 10: Ausgewählte Daten unterschiedlicher Wärmetauscher

Literaturquelle: [Interne Daten]

Dazwischen liegen Plattenwärmetauscher, die primärseitig Dampf führen, der die Wärme an Thermoöl auf der sekundären Seite abgibt. Die Wärmetauscher sind geschraubt und unterscheiden sich nur durch das angegebene Temperaturintervall, in dem sie zum Einsatz kommen. Da zu wenige Datenpunkte zur Verfügung stehen, kann hier aber keine klare Aussage über eine Kostendegression in Hinblick auf die Leistung abgegeben werden. Ein Trend ist zu erkennen, kann in diesem Punkt aber nicht konkretisiert werden. Zusätzlich sind noch Referenzwerte für einen Thermoöl/Luft (Datenpunkt 8) und einen Thermoöl/Wasser (Datenpunkt 12) – Wärmetauscher dargestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass Nr. 8 ein Rohrbündelwärmetauscher und Nr. 12 ein Plattenwärmetauscher ist und somit nur schwer Aussagen getroffen werden können.

Zuletzt gibt Abbildung 33 noch drei Datenpunkte für Luft/Luft – Wärmetauscher wieder, die eine Zunahme der spezifischen Kosten mit der Leistung zeigen. Dazu sei auf die in Tabelle 10 dargelegten Werte für die Temperaturbereiche hingewiesen. Daraus wird ersichtlich, dass die angegebenen Wärmetauscher aus Datenpunkt 10 und 11 Sonderanfertigungen sind, die auf unterschiedliche Temperaturbereiche eingestellt werden können.

Da bei der Nutzung industrieller Abwärme vor allem Abgase aus unterschiedlichen Prozessen genutzt werden, werden dazu ebenfalls Referenzpunkte dargestellt (siehe Abbildung 34). Dabei werden Abgas/Wasser- und Abgas/Thermoöl-Wärmetauscher betrachtet.

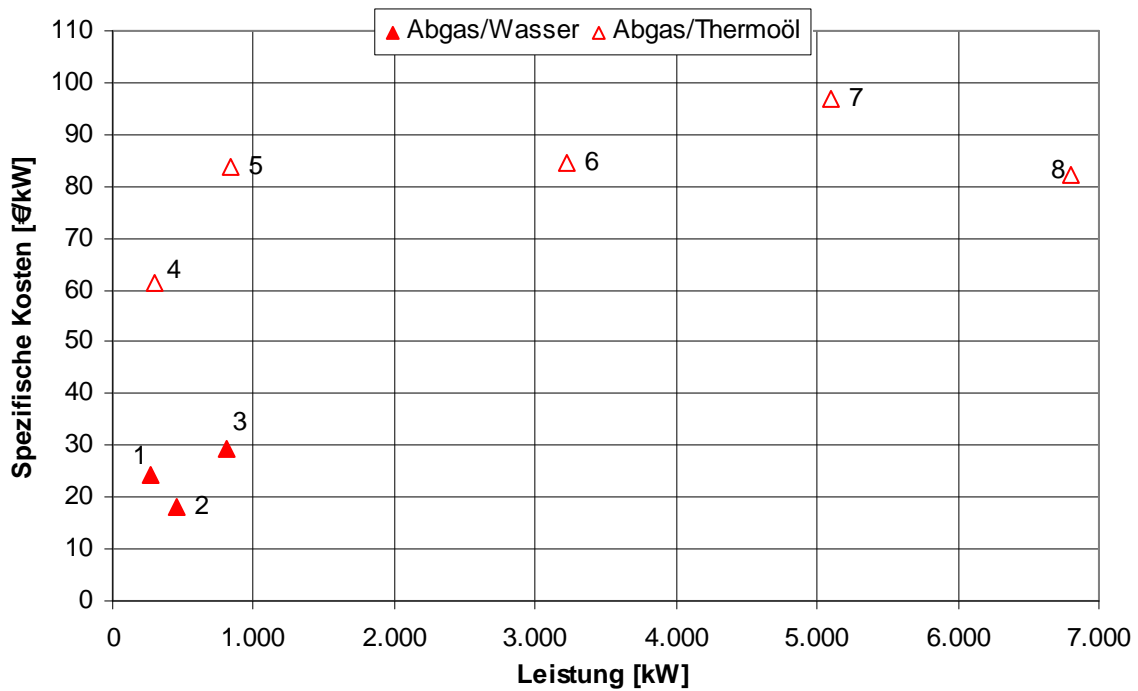


Abbildung 34: Spezifische Kosten von ausgewählten Abgaswärmetauschern

Literaturquelle: [Interne Daten]

Index [-]	Typ	Leistung [kW]	Wärmequelle EIN/AUS [°C]	Wärmesenke EIN/AUS [°C]	Spez. Kosten [€/kW]	Ausführung bzw. Material	Referenzdatum
1	Abgas/Wasser	273	300 / 120	96 / 105	24,3	Rippenrohr stahlverzinkt	Nov.08
2	Abgas/Wasser	456	320 / 120	95 / 105	18,3	Rippenrohr stahlverzinkt	Nov.08
3	Abgas/Wasser	810	420 / 120	95 / 105	29,3	Stahlglattrohr	Nov.08
4	Abgas/Thermoöl	304	350 / 150	85 / 125	61,3	Edelstahlglattrohr	Nov.08
5	Abgas/Thermoöl	840	138 / 106	92 / 110	83,7	Rippenrohr stahlverzinkt	Jän.09
6	Abgas/Thermoöl	3220	275 / 140	100 / 230	84,6	Stahlglattrohr	Nov.08
7	Abgas/Thermoöl	5102	300 / 180	140 / 260	97,0	Stahlglattrohr	Nov.08
8	Abgas/Thermoöl	6800	300 / 180	140 / 260	82,4	Stahlglattrohr	Jän.09

Tabelle 11: Ausgewählte Daten von unterschiedlichen Abgaswärmetauschern

Literaturquelle: [Interne Daten]

Aus Tabelle 11 können wieder die wichtigsten Informationen der unterschiedlichen Datenpunkte entnommen werden. Dabei ist zu erwähnen, dass sich keine Aussagen für Wärmetauscher ablesen lassen, die primärseitig Abgas führen und die sekundär von Wasser durchströmt werden. Betrachtet man die Datenpunkte mit den Nummern 1 bis 3, so erkennt man keine Abnahme bzw. Zunahme der spezifischen Kosten. Auch die auftretenden Temperaturen und eingesetzten Werkstoffe lassen keine weiteren Aussagen zu.

In Hinblick auf das Wärmeträgermedium auf der Sekundärseite kann man aber darauf schließen, dass Thermoöl in der Anschaffung einen höheren Kostenfaktor darstellt. Vergleicht man hierzu die Datenpunkte 1 und 4 bzw. 3 und 5 so zeigt sich, dass die spezifischen Kosten für Thermoöl Wärmetauscher um das circa 2,5 fache höher liegen als jene die sekundär Wasser führen. Der Leistungsbereich der Wärmetauscher ist dabei ähnlich, nur bei den verwendeten Werkstoffen zeigen sich Unterschiede. Im Allgemeinen ist für Thermoölwärmetauscher zu sagen, dass sie höhere Temperaturen erreichen.

Ein Grund für die im Vergleich zu den Dampf/Wasser- bzw. Wasser/Wasser-Wärmetauschern nicht auftretende Kostendegression kann die bei der Wärmerückgewinnung aus Abgasen auftretende Staubbelastung sein, die nur durch weitere Konstruktionsmaßnahmen verringert werden kann.

Die nächste Abbildung dient dazu, den großen Leistungsbereich darzustellen, den die unterschiedlichen Wärmetauscheranwendungen abdecken. Hier soll besonders auf die Dampf/Wasser-Wärmetauscher hingewiesen werden, die einen Bereich von bis zu 52 [MW] abdecken. In Hinblick auf die wenigen Datenpunkte kann die in dieser Abbildung auftretende Kostendegression bei zunehmendem Leistungsbereich nicht wirklich bestätigt werden. Vor allem im hohen Leistungssegment, also bei Datenpunkt 4 und 5, sind die Kosten eher konstant. Die eingesetzten Werkstoffe sind die gleichen und auch das Temperaturniveau liegt in ähnlichen Bereichen.

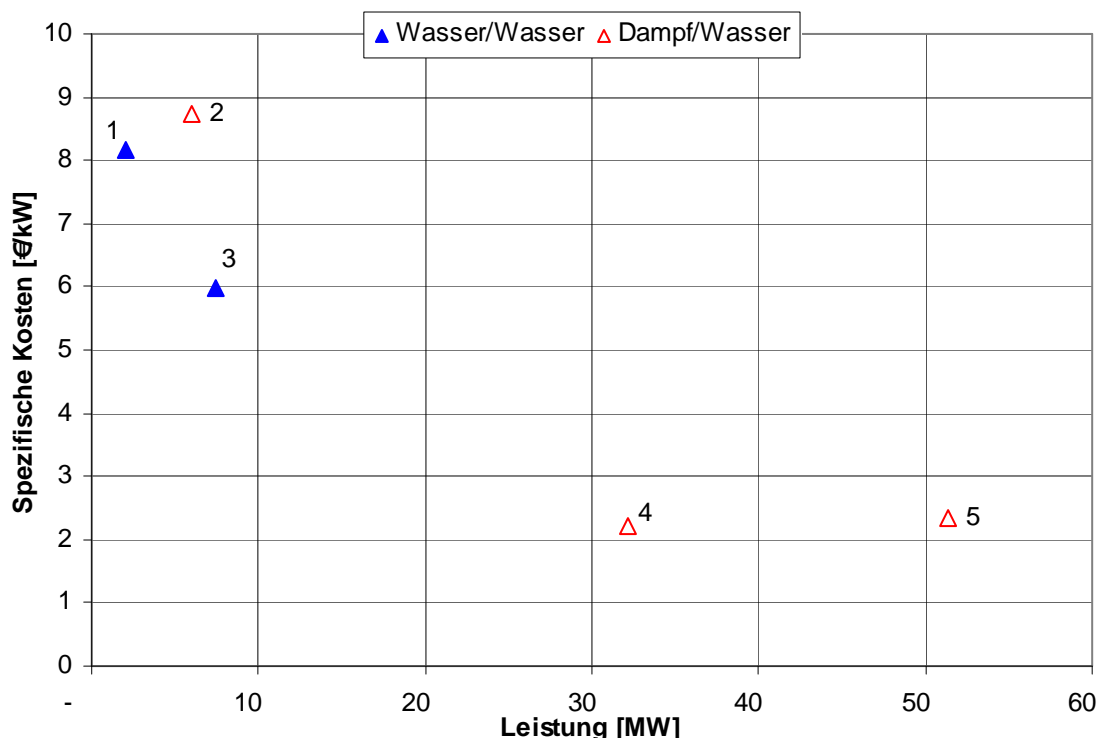


Abbildung 35: Spezifische Kosten von ausgewählten Wasser/Wasser- und Dampf/Wasser-Wärmetauschern

Literaturquelle: [Interne Daten]

Index [-]	Typ	Leistung [kW]	Wärmequelle EIN/AUS [°C]	Wärmesenke EIN/AUS [°C]	Spez. Kosten [€/kW]	Ausführung bzw. Material	Referenzdatum
1	Wasser/Wasser	2.000	150 / 55	50 / 60,7	8,2	Rohrbündel Stahlglattrohr	Nov.06
2	Dampf/Wasser	6.000	180 / 110	65 / 130	8,8	Rohrbündel Stahlglattrohr	Aug 07
3	Wasser/Wasser	7.455	95 / 75	50 / 90	6,0	Rohrbündel Stahlglattrohr	Nov.06
4	Dampf/Wasser	32.100	300 / 80	60 / 115	2,2	Rohrbündel Stahlglattrohr	Nov.06
5	Dampf/Wasser	51.340	122 / 121	60 / 115	2,3	Rohrbündel Stahlglattrohr	Nov.06

Tabelle 12: Ausgewählte Daten von Dampf/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmetauschern
Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.5.1.2 Regeneratoren

Unter Regeneratoren versteht man einen Wärmetauscher, der abwechselnd von zwei fluiden Medien unterschiedlicher Temperatur durchströmt, und die Wärme dabei mit einer Feststoffmasse vorübergehend gespeichert wird. Während der „Warmperiode“ nimmt die Speichermasse Wärme auf und gibt diese in der „Kaltperiode“ an das kältere Medium wieder ab. Die regenerative Wärmeübertragung ist somit durch einen örtlich alternierenden, instationären Wärmeaustausch zunächst zwischen dem Medium 1 und der Feststoffmasse und daran anschließend zwischen der Feststoffmasse und dem Medium 2 gekennzeichnet. Die Abbildung 36 zeigt die Wirkungsweise eines Regeneratorpaars, welches eine ununterbrochene Wärmeübertragung zwischen zwei Gasströmen ermöglicht.

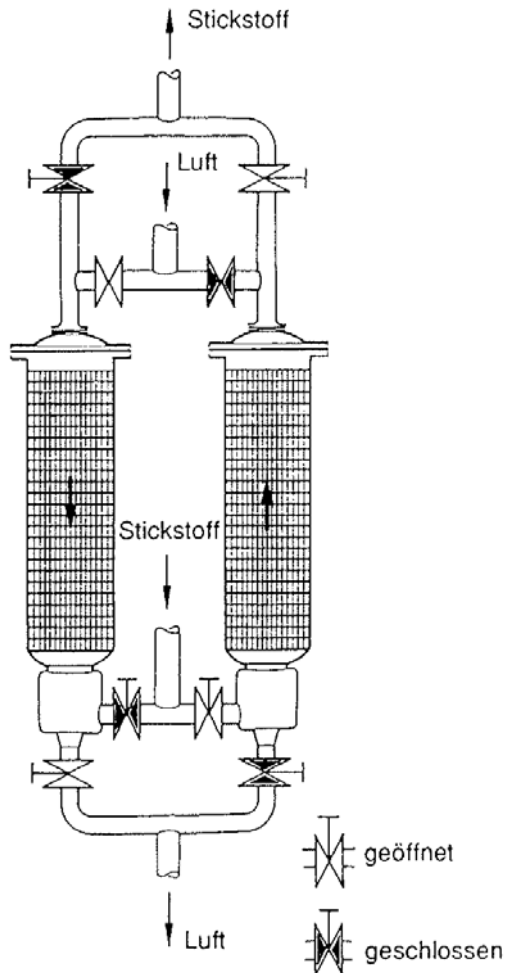


Abbildung 36: Wirkungsweise eines Regeneratorpaars

Literaturquelle: [VDI Wärmeatlas]

Regeneratoren werden vor allem bei der Wärmeübertragung gasförmiger Medien verwendet. In Abhängigkeit von der Werkstoffauswahl der Speichermassen, ergeben sich für Regeneratoren unterschiedliche Anwendungsgebiete:

- Im **Hochtemperaturbereich**, z.B. Glasschmelzofen, Winderhitzer oder Regeneratoren am Koksofen, bestehen diese aus feuerfesten Steinen.
- Regeneratoren werden auch in **Tieftemperaturanlagen** (z. B. zur Gasverflüssigung) eingesetzt. Bei tiefer oder nur mäßig hoher Temperatur wird vor allem Metall (z.B. Stahl oder Aluminium) verwendet. Dabei können die Profile so hergestellt werden, dass engere Kanäle für die Gasdurchströmung entstehen.

Im Bereich der Abwärmeauskopplung werden Regeneratoren vor allem für innerbetriebliche Zwecke angewandt. So dient der sogenannte Ljungström-Vorwärmer als Luftvorwärmer für Feuerungen und in Gasturbinenanlagen. Dabei wird die Abwärme aus dem heißen Verbrennungsgas zurück gewonnen.

Für die Auskopplung von Abwärme zur weiteren Nutzung in Wärmeverteilnetzen ist diese Technologie aber nicht bevorzugt anzuwenden. Hierbei wird bevorzugt auf die Technologie der Rekuperatoren zurückgegriffen. [VDI-Wärmeatlas]

Bauarten

Regeneratoren lassen sich apparatetechnisch in zwei Gruppen einteilen:

- Feststehendes Regeneratorsystem
- Bewegtes Regeneratorsystem

Feststehendes Regeneratorsystem

Feststehende Regeneratorsysteme sind umschaltbare Wärmetauscher, welche diskontinuierlich zwischen Wärmen und Kühlen umgeschaltet werden. Für eine ununterbrochene Wärmeübertragung werden mindestens zwei einzelne Regeneratoren benötigt, damit gleichzeitig ein Gasstrom gekühlt und der andere erwärmt werden kann. Die austretenden Gastemperaturen sind hierbei nicht konstant.

In Abbildung 37 ist ein Winderhitzer dargestellt. Dabei ist der größte Teil des Raums vom wärmespeichernden Gitterwerk ausgefüllt, welches aus den bereits erwähnten feuerfesten Steinen besteht. Links angeordnet befindet sich der sogenannte Brennschacht, in dem beispielsweise Gichtgas verbrannt, und so ein heißes Verbrennungsgas erzeugt wird, welches seine Wärme bei der Durchströmung des Gitterwerks abgibt. Nach Umschalten der Strömung wird Luft von unten nach oben durch das Gitterwerk geleitet, dadurch erwärmt und als „Heißwind“ in den Hochofen geblasen.

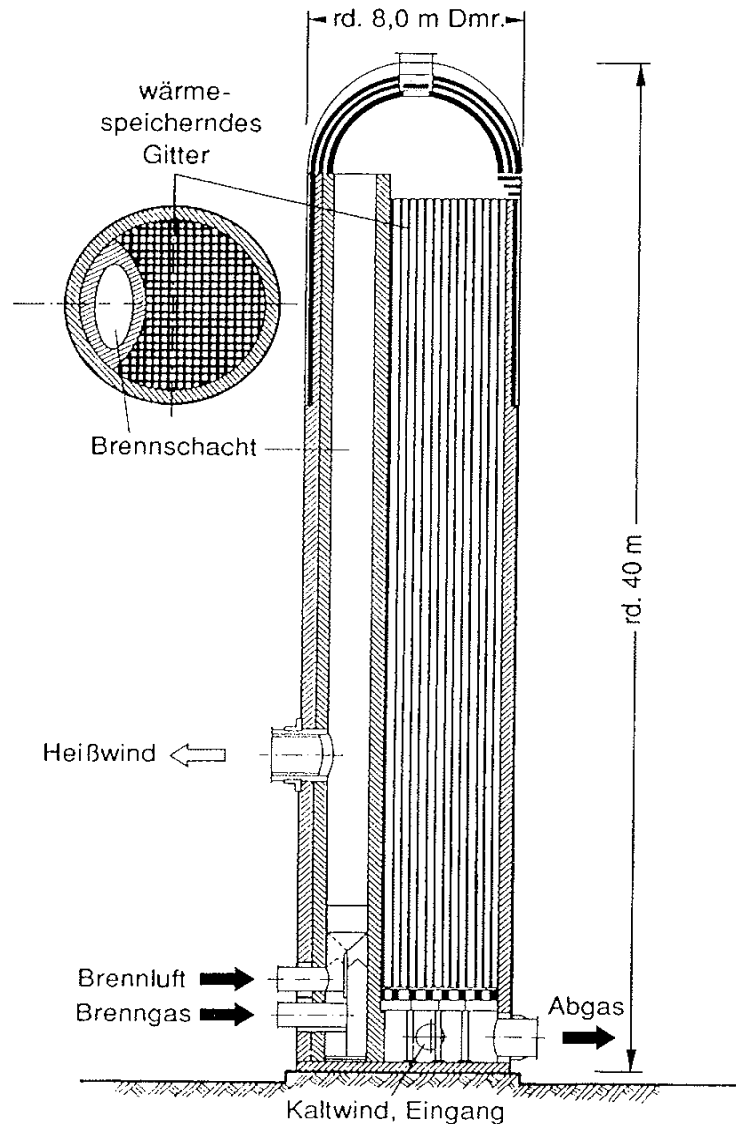


Abbildung 37: Längs- und Querschnitt eines Winderhitzers nach Cowper
 Literaturquelle: [VDI Wärmeatlas]

Bewegtes Regeneratorsystem

Dieser Wärmetauscher wechselt kontinuierlich zwischen Wärmen und Kühlen, wobei hierbei nur eine einzige Speichermasse für eine ununterbrochene Wärmeübertragung von einem Gasstrom auf den anderen zu Verfügung steht. Die Feststoffmasse wird entweder drehend angebracht, um mit den beiden Gasströmen in Verbindung gebracht zu werden, oder umlaufende Flügelhauben führen die Gasströme abwechselnd zu. Die Austrittstemperatur der Gasströme kann in diesem Fall konstant gehalten werden.

Die nächste Abbildung zeigt die schematische Darstellung eines Regenerators mit drehender Speichermasse für die Klimatechnik.

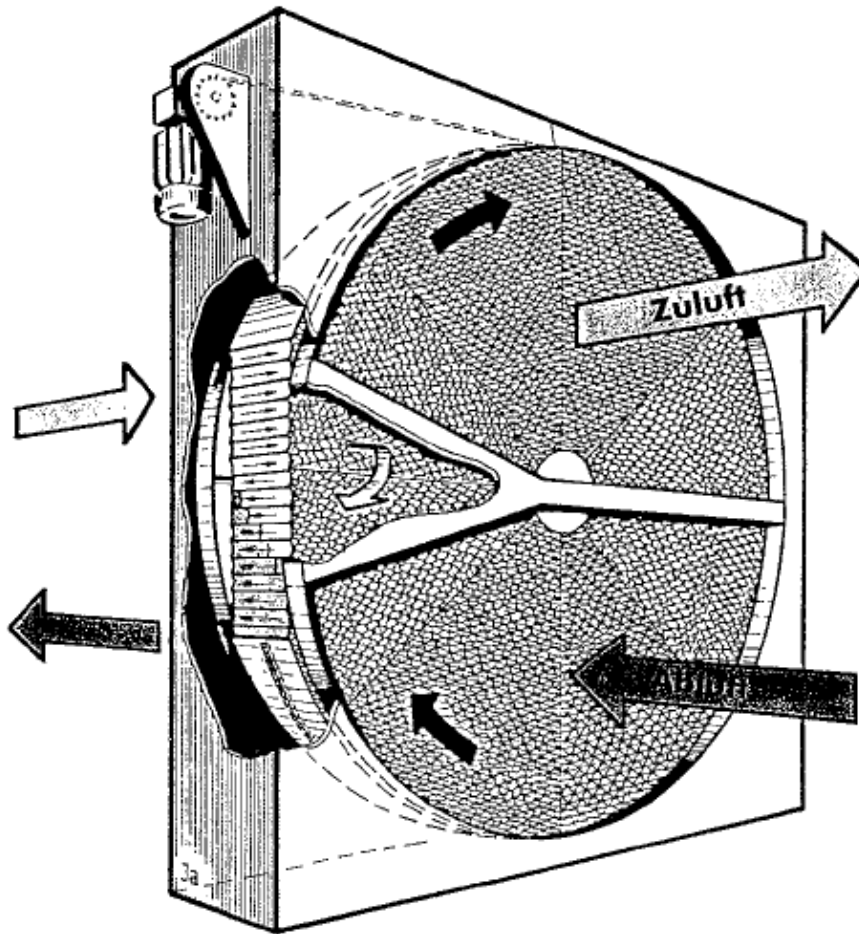


Abbildung 38: Regenerator mit drehender Speichermasse
 Literaturquelle: [VDI Wärmeatlas]

Kosten

Die Kosten eines Regenerators hängen von folgenden relevanten Faktoren ab:

- Auslegungsparameter (Druck und Temperatur)
- Leistung bzw. Größe der Wärme- und Stoffübertragungsflächen
- Werkstoffauswahl
- Festigkeitseigenschaften

Da, wie bereits erwähnt wurde, Regeneratoren bei der Auskopplung industrieller Abwärme nur in kleinen Leistungsbereichen Anwendung finden, wurde hierzu keine nähere Betrachtung der Kosten durchgeführt.

7.4.5.1.3 Einfluss der Werkstoffauswahl auf Kosten und Anwendungsbereich von Wärmetauschern

Die Werkstoffauswahl von Wärmetauschern hat wesentlichen Einfluss auf die Einsatzbedingungen sowie die jeweiligen Konstruktions- und Funktionsgruppen und in weiterer Folge auf die Kosten, welche mit zunehmenden Werkstoffanforderungen signifikant

ansteigen. In Tabelle 13 werden zwei Plattenwärmetauscher miteinander verglichen. Hierbei wird ersichtlich, dass beide denselben Leistungsbereich abdecken, lediglich das Temperaturniveau der Wärmequelle bzw. -senke und das eingesetzte Material sind unterschiedlich. Bei Wärmetauscher 2 wird Edelstahl EN 1.4404 verwendet, und dadurch steigen auch die spezifischen Kosten deutlich an.

Index [-]	Leistung [kW]	Wärmequelle EIN/AUS [°C]	Wärmesenke EIN/AUS [°C]	Spez. Kosten [€/kW]	Ausführung bzw. Material	Referenzdatum
1	500	95 / 73	13 / 65	2,4	Platten gelötet	Jun.08
2	500	125 / 65	60 / 80	5,9	Platten Edelstahl En 1.4404	Aug.07

Tabelle 13: Einfluss der Werkstoffe auf die spezifischen Kosten von Wärmetauschern
Literaturquelle: [Interne Daten]

Hauptinflussgrößen bei der Werkstoffauswahl sind zum einen das Verhalten der im Wärmetauscher thermisch aufzubereitenden Fluidströme sowie Prozess- und Betriebsbedingungen (z.B.: Wärmeübertragung mit oder ohne Phasenwechsel), und zum anderen der herrschende Betriebsdruck und das jeweilige Temperaturniveau. Bei der Auswahl dieser Werkstoffe spielen daher die mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen eine erhebliche Rolle. Man unterscheidet:

- **Werkstoffe**, die **der mechanischen Festigkeit** der Wärmetauscher dienen und von denen eine hohe Warmfestigkeit bzw. thermische Formbeständigkeit erwartet wird. Im Bereich der Abwärmenutzung übersteigen die Temperaturen der unterschiedlichen Fluide 600 [°C] meist nicht. [Schnell]
- **Werkstoffe für die Wärmeübertragungselemente** (z. B. die Platten der Plattenwärmetauscher, Innenrohre für Rohrbündelwärmetauscher oder Schüttgüter für Regeneratoren).
- **Werkstoffe für beide Funktionen** (z.B. Mantelrohre für Rohrbündel-Wärmetauscher, Kanäle der Spiralwärmetauscher).
- **Werkstoffe für chemische Beanspruchungen**. Durch die Auswahl unterschiedlicher Legierungselemente kann nicht nur die Warmfestigkeit, sondern auch die chemische Beständigkeit, z. B. gegen Korrosion von Stahl und Stahlguss erhöht werden. Dabei müssen die unterschiedlichen Eigenschaften aber genau auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt werden. Nickel beispielsweise verbessert die Korrosions- und Säurebeständigkeit, jedoch verringert der Nickelzusatz wiederum die Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes.

7.4.5.2 Technologien zur Abwärmenutzung aus Festkörpern

In diesem Abschnitt werden Technologien behandelt, welche der Abwärmenutzung aus Festkörpern dienen. Die für die industrielle Anwendung relevanten Abwärmequellen sind hierbei:

- Abwärme aus Strukturkühlung von Wärmebehandlungsanlagen

- Abwärme aus Produkt- und Aggregatkühlung

Nachfolgend werden die unterschiedlichen Technologien zur Abwärmenutzung aus besagten Quellen näher behandelt.

7.4.5.2.1 Technologien zur Abwärmenutzung aus Strukturkühlung

Die Wärmelieferung aus der Strukturkühlung (siehe Abschnitt 7.4.3.1.2) von Wärmebehandlungsanlagen erfolgt aus Wärmetauschern, die in diesen Anlagen integriert sind. Die Art der Wärmeauskopplung und die Zustände des Wärmeträgermediums müssen demnach bereits bei der Planung und Errichtung dieser Produktionsanlagen fixiert werden. Eine nachträgliche Änderung und Anpassung ist kaum möglich.

7.4.5.2.2 Technologien zur Abwärmenutzung aus Produkt- und Aggregatkühlung

Nachfolgend werden die in Abschnitt 7.4.3.1.4 identifizierten Abwärmequellen der Produkt- und Aggregatkühlung näher behandelt.

Klinkerkühlung in der Zementindustrie

Im Allgemeinen werden zur Kühlung folgende zwei Arten von Klinkerkühlern verwendet:

- Planetenkühler

Der Planetenkühler besteht aus bis zu 11 Kühlrohren die am Ende des Drehrohrofens angebracht sind, und auf die der Klinkerstrom aufgeteilt wird. Nachteilig ist bei dieser Technologie, dass die gesamte Verbrennungsluft durch den Drehrohrofen geschleust werden muss und die einsetzbare Kühlluftmenge begrenzt ist.

- Rostkühler

Eine höhere Wärmerückgewinnung ermöglicht eine Rostkühlung, die meist in modernen Anlagen Anwendung findet. Dabei wird der Klinker auf beweglichen Rosten, die von Luft durchströmt werden, abgekühlt. Hier kann aus der heißen Zone Verbrennungsluft für die Primärfeuerung und aus der zweiten Zone Tertiärluft für die Sekundärfeuerung entnommen werden.

Aus den beschriebenen Punkten wird ersichtlich, dass diese Form der Abwärme meist intern wiederverwendet wird, und somit kein Potenzial zu Verfügung steht, diese Abwärme in externe Wärmeverteilnetze auszukoppeln. Zusätzlich ist diese Abwärmenutzung mit erheblichen Problemen verbunden, da nachgeschaltete Wärmetauscher oft mit starker Staubbelastung zu kämpfen haben (vgl. Abschnitt 7.4.3.1.4).

Kompressorkühlung

Die Kompressorkühlung kann entweder mit Umgebungsluft oder mit einem Kühlwassersystem geschehen. Bis zu 90 [%] der dem Kompressor zugeführten Leistung kann durch eine Wärmerückgewinnung, in Form von bis zu 90 [°C] heißem Wasser, zurück gewonnen werden.

Die Wärmerückgewinnung aus diesem geschlossenen System stellt mit einem Plattenwärmetauscher kein Problem dar, und auch der Großteil der Kompressoren ist bereits ab Werk für den Anschluss an eine Wärmerückgewinnung vorbereitet.

Wassergekühlte Kompressoren mit einem Leistungsbedarf von circa 560 [kW] bei einem Volumenstrom von ungefähr 100 [m³/min], sind in der Lage, eine Wärmemenge von bis zu 500 [kW] bereitzustellen.

Die Amortisationszeit dieser Investition beträgt meist nur 1 bis 3 Jahre, dabei sind nur die Einsparungen der Energiekosten und noch keine weiteren Erlöse durch eine Auskopplung der Wärme in ein Wärmeverteilnetz berücksichtigt. Dies würde zu einer weiteren Verringerung der Amortisationszeit führen. [Atlas Copco]

7.4.5.3 Ergänzende Einrichtungen bzw. Technologien zur Abwärmenutzung

7.4.5.3.1 *Technologien zur passiven Beeinflussung*

- durch die Produktionsmenge
- durch Parallelschaltung mehrerer, gleichartiger Abwärmequellen
- durch Komponentenschutz in den Produktionsanlagen

Durch die oben beschriebenen Faktoren wird die Abwärmelieferung beeinflusst. Die nutzbare Abwärme ist allerdings nicht direkt und aktiv regelbar:

- Die Markt-Rahmenbedingungen für Industrieprodukte beeinflussen die Produktionsmengen. Industrielle Abwärme ist nicht das primäre Produkt. Somit fällt eine gezielte Beeinflussung der Abwärme aus.
- Die Parallelschaltung von Abwärmequellen und Einrichtungen zum Komponentenschutz werden im Zuge der Planung und Konfiguration der Produktionsanlagen festgelegt. Eine Beeinflussung ist nur bei Neubau bzw. bei größeren Umbaumaßnahmen möglich.

7.4.5.3.2 *Technologien zur aktiven Beeinflussung*

- des Rauchgasstromes
- durch Wärmeauskopplung aus Kühlkreisläufen

Eine aktive Beeinflussung der Abwärmeauskopplung kann erfolgen, wenn beispielsweise ein Teilstrom des Rauchgases an den Wärmetauschern vorbeigeleitet werden kann. Dies erfolgt üblicherweise durch Anordnung einer Bypassklappe. Mit einer geeigneten Konfiguration kann die Abwärmeauskopplung auf 0 reduziert werden.

Wird die Abwärme aus Kühlkreisläufen ausgekoppelt, ist eine volle Regelbarkeit gewährleistet. Das Kühlmedium fungiert in diesem Fall als Zwischenüberträger für die Abwärme. Abwärme, die momentan nicht in einem angeschlossenen Wärmenetz verwendet werden kann, verbleibt im Kühlkreislauf und wird von dort über die Kühler (ungenutzt) an die Umgebung abgegeben.

7.4.5.3.3 Speichertechnologien zur Abwärmenutzung

Im Allgemeinen kann thermische Energie in Form von fühlbarer Wärme, latenter Wärme oder mit Hilfe reversibler chemischer Reaktionen gespeichert werden.

Speicher dienen dazu, um Diskrepanzen zwischen Energieaufbringung und Verbrauch zu überwinden, und stellen somit eine Möglichkeit zur rationellen Energienutzung dar. Dem Einsatz von Speichern kommt daher erhebliche Bedeutung zu, Schwankungen der Energielieferung auszugleichen.

Speicher können Diskontinuitäten in Wärmeströmen ausgleichen und vermeiden dadurch die Überdimensionierung von nachgeschalteten Komponenten. Verluste durch Teillast und Anfahrvorgänge werden reduziert. Das bedeutet, die Aufgabe eines Speichers im Bereich industrieller Abwärmenutzung besteht darin, Instationaritäten zu minimieren. [Beckmann, Gilli]

Nachfolgend werden die für eine Abwärmenutzung relevanten Speichertechnologien näher behandelt:

- Speicher für fühlbare Wärme
 - o Heißwasserspeicher
 - o Dampfspeicher
 - o Gleitdruck-Speicher
- Latentwärmespeicher
 - o PCM-Phasenwechselspeicher

Heißwasserspeicher

Allgemein

Eine einfache Möglichkeit thermische Energie zu speichern bieten Heißwasserspeicher, die auch als direkte Speicher bezeichnet werden. Dabei wird das Heißwasser, welches zugleich als Arbeitsmedium eines Prozesses fungiert, direkt für die Energiespeicherung genutzt, indem eine zusätzliche Menge dieses Mediums in einem Behälter zwischengespeichert wird und bei Bedarf abrufbar ist.

Verwendung im Ab- und Fernwärmebereich

Um Lastspitzen in Fernwärmenetzen ausgleichen zu können, werden beispielsweise Heißwasserspeicher in Form von Verdrängungsspeichern eingeschaltet. Dabei verschiebt sich die Trennschicht zwischen dem Speicherwasser aus Vor- und Rücklauf innerhalb des Speichers je nach Wärmeaufnahme im angeschlossenen Fernwärmenetz. Eine grundlegende Voraussetzung für die Funktion eines Verdrängungsspeichers ist die Eigenschaft des Wassers, sich nur sehr langsam zu vermischen. Große Warmwasserspeicher, die auch als Wasserreservoir und Puffer in Wärmeverteilnetzen große Bedeutung haben, lassen sich relativ einfach in großen Dimensionen und mit hohem Fassungsvermögen ausführen. Um jedoch einen großen Energiebereich abdecken zu können, nehmen diese Speicher großen Platz ein. Daher können diese Speicher auch nur dann eingesetzt werden, wenn der nötige Platz zu Verfügung steht.

Durch einen drucklosen Betrieb fällt der Speicher nicht in die Druckbehälterrichtlinie. Dadurch können Kosten minimiert werden und der Betrieb ist einfacher bzw. mit weniger Wartungsaufwand verbunden. Abbildung 39a zeigt einen in Nebenschluss angeordneten Verdrängungsspeicher, der zum Ausgleich von Belastungsspitzen dient. Teil b zeigt einen Druckspeicher, dessen Auslegung auf Druck natürlich einen höheren Aufwand mit sich bringt. Die zuvor erwähnten großen Warmwasserspeicher lassen sich vergleichsweise einfach und mit hohem Fassungsvermögen ausführen. [Kugeler, Philippen]

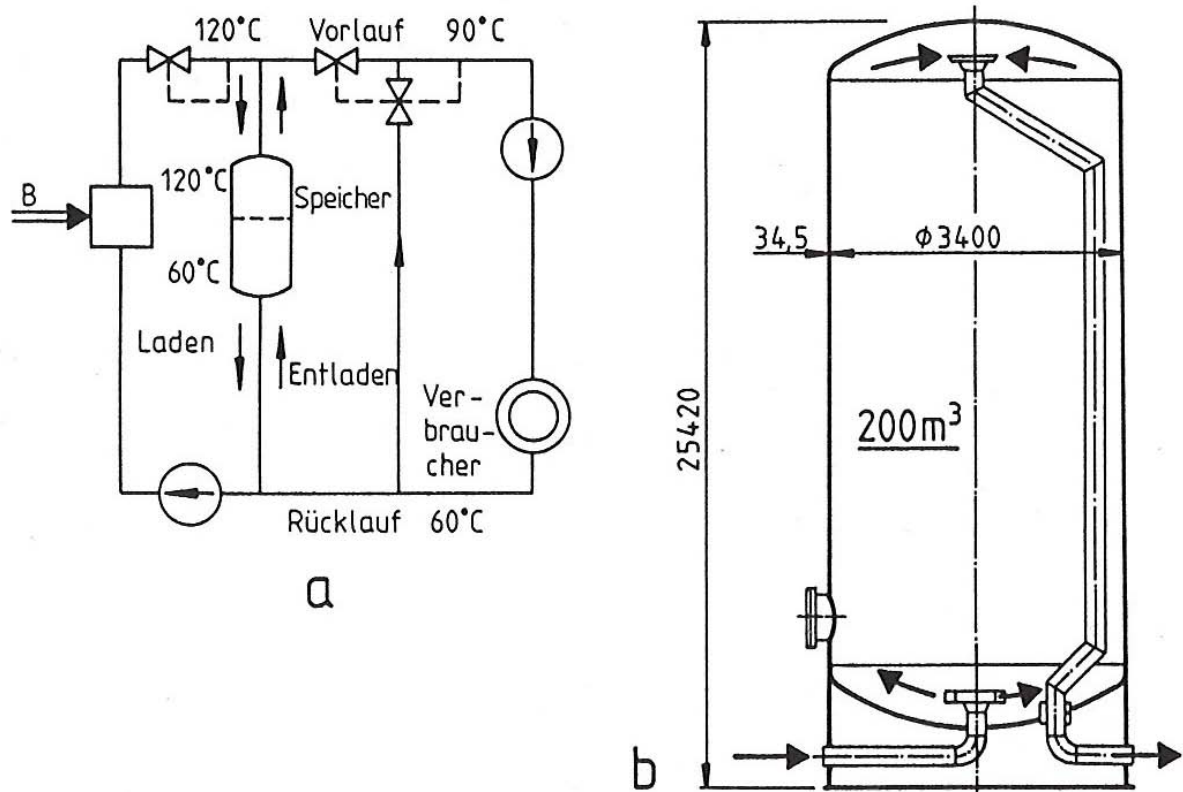


Abbildung 39: Schematische Darstellung von Heißwasserspeichern

Erläuterungen: a) Prinzip eines Verdrängungsspeicher b) Druckspeicher (180 [°C] / 32 [bar(ü)], 27 [MWh] bei $\Delta T = 120$ [K])

Literaturquelle: [Kugeler, Philippen]

Das Volumen des Speichers und die auftretenden Temperaturen, die meist im Bereich von 60 bis 90 [°C] liegen, bestimmen maßgeblich die maximale Speicherkapazität.

Dampfspeicher

Allgemein

Speicher dieser Art sind zum Teil mit Wasser gefüllt, welches sich im unteren Teil befindet, wohingegen sich im oberen Bereich Wasserdampf befindet. Die Flüssigkeit und das Gas befinden sich im thermodynamischen Gleichgewicht, wodurch sich die jeweilige Sättigungstemperatur einstellt. Die Speicher müssen für den der Temperatur entsprechenden Siededruck geeignet sein, um ein Sieden der Flüssigkeit zu verhindern. Die Beladung bzw. Entladung kann entweder durch einen Stoffstrom oder über Wärmeübertragungsflächen, die im Behälter angeordnet sind, erfolgen. Dabei wird Energie in Form von fühlbarer Wärme im Wasser gespeichert bzw. ausgekoppelt.

Verwendung im Ab- und Fernwärmebereich

Bei Verwendung dieser Speichertechnologie im Ab- bzw. Fernwärmebereich kann der Vorteil dieses Speichers bestmöglich ausgenutzt werden. Dieser Speicher kann innerhalb kurzer Zeit eine hohe Leistungsreserve bereitstellen, und daher werden sie oft zum Ausgleich von Schwankungen im Dampfbedarf bzw. Anfall und zur Deckung von Lastspitzen eingesetzt. Bei der Entladung liefert der Speicher in der Regel Sattdampf, der wenn es gewünscht wird, durch Drosseln überhitzt werden kann.

Gleitdruck-Speicher

Allgemein

Bei dieser Speicherart handelt es sich um Druckbehälter, die normalerweise thermisch isoliert werden. Der Behälter ist zwischen circa 75 [%] und 95 [%] mit Wasser gefüllt, der Rest des freien Behältervolumens wird vom sogenannten Dampfpolster eingenommen.

Beim Laden wird Satt- oder überhitzter Dampf mit einem höheren Druck eingeblasen und durch geeignete Vorrichtungen intensiv mit dem Druckwasser in Verbindung gebracht. Der zugeführte Dampf kondensiert und erwärmt das Wasser und der Druck steigt entsprechend an. Auch die Menge des Wassers steigt durch den kondensierten Dampf an. Die Ladung kann zum einen ohne direkte Berührung mit dem Speichermedium durch Wärmetauscher, die im Behälter angeordnet sind erfolgen, oder zum andern durch Mischung des Dampfs mit dem Speicherwasser in speziellen Vorwärmern außerhalb des Speichers ermöglicht werden.

Die Entladung des Speichers geht immer mit einer Verringerung des Drucks einher. Dadurch kommt es zum Absinken der Siedetemperatur, was zu einer zusätzlichen Verdampfung im Speicherraum führt. Wegen der hohen Enthalpie des Dampfs, verdampft ein relativ kleiner Teil des Wassers, bis die entsprechende Siedetemperatur erreicht wird, welche sich aufgrund des Speicherdrucks einstellt. Die Differenz zwischen dem Druck am Anfang der

Entladung und dem minimalen Druck am Ende bestimmt maßgeblich die volumenspezifische Speicherkapazität des Systems.

Verwendung im Ab- und Fernwärmebereich

Die Vorteile dieser Gleitdruckspeicher liegen in der sofortigen Verfügbarkeit des Systems, den relativ niedrigen Investitionskosten (geringeres Druckniveau als beim Dampfspeicher, geringe Größe), der direkten Bereitstellung von Dampf und der Möglichkeit der Aufladung mit Dampf. Der Aufwand bei der Auslegung des Speichers auf Druck ist natürlich höher als bei einem reinen Wasserspeicher. Dafür kann bei kleinerem Volumen auch eine größere Menge an Energie gespeichert werden. Diese Speicher (siehe Abbildung 40) werden mit Volumina von mehreren 100 [m³] in Druckbereichen um 20 [bar(a)] realisiert und in Fernwärmenetzen oder als Momentanreserven in unterschiedlichen Produktionsprozessen eingesetzt. [Kugeler, Phlippen]

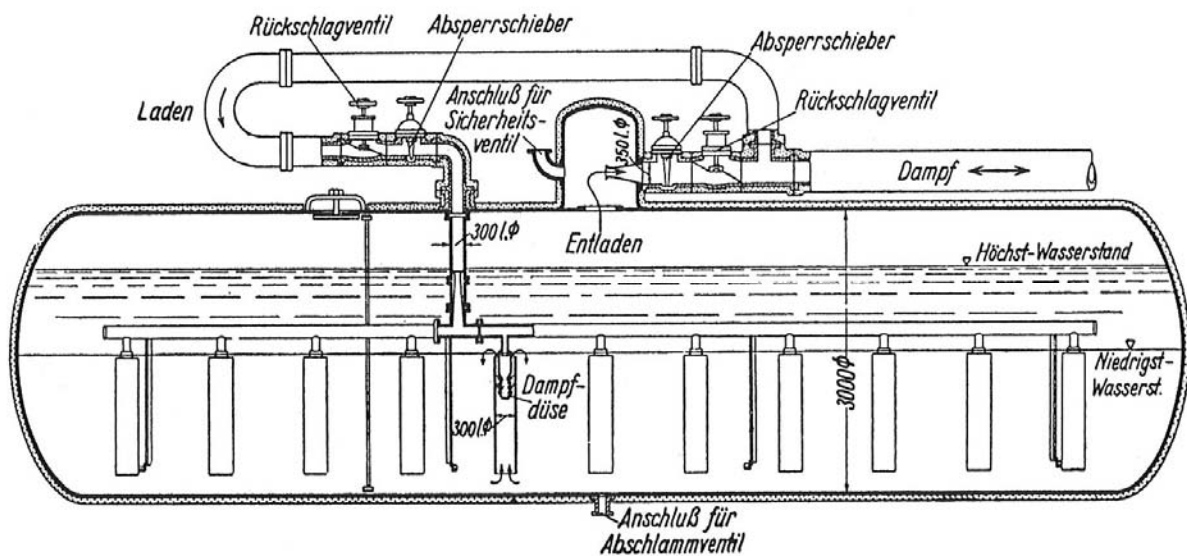


Abbildung 40: Schematische Darstellung eines Gleitdruckspeichers

Literaturquelle: [Kugeler, Phlippen]

Kosten von Wärmespeichern

Aufgrund der aktuell geringen Anzahl an ausgeführten Fernwärmespeichern in Österreich, lässt sich keine fundierte Kosten-Korrelation erkennen, wodurch nachfolgend in Abbildung 41 nur Verhältniszahlen angegeben werden.

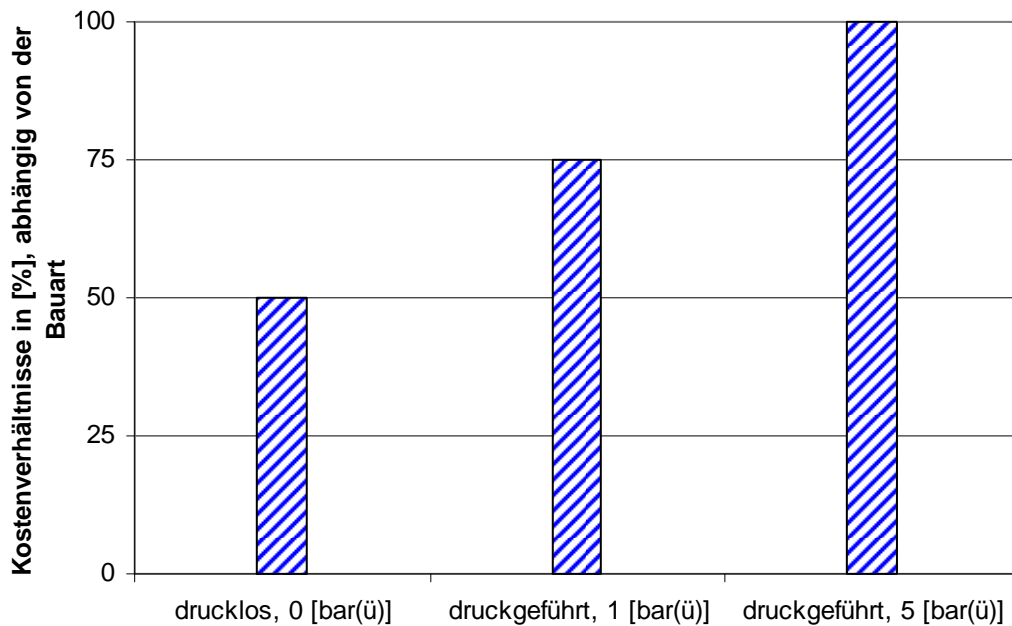


Abbildung 41: Spezifische Kostenverhältnisse unterschiedlicher Fernwärmespeichertechnologien

Literaturquelle: [Interne Daten]

Die spezifischen Kosten von Heißwasserspeichern in Fernwärmenetzen sind abhängig von der Bauart sehr unterschiedlich (Abbildung 41). Als Anhaltswert werden die Investitionskosten für einen drucklosen Heißwasserspeicher (0 [bar(ü)], ca. 97 [°C]) mit einer Kapazität von 1400 [MWh] mit 4,5 Mio [€] angegeben [Pauli 2009]. Somit liegen die spezifischen Investitionskosten bei ca. 3200 [€/MWh]. Ein druckgeführter Fernwärmespeicher (5 [bar(ü)], 160 [°C]) weist demgegenüber ca. die doppelten spezifischen Investitionskosten auf. Dazwischen gibt es dann noch eine „Mischformen“ an Speichertechnologien, welche mit 1 [bar(ü)] und ca. 120 [°C] betrieben werden, und auch in Bezug auf die Kosten zwischen einem überdruckgeführten und einem drucklosen Speicher liegen. Der Grund für die höheren Kosten eines mit 5 [bar(ü)] geführten Speichers besteht in Zusammenhang mit der Berücksichtigung der Druckbehälterrichtlinie, welche bei dieser Ausführung verpflichtend einzuhalten ist. Damit verbunden sind entsprechende behördliche Auflagen, Zertifikate und höhere Investitionskosten. Bei der „Speichermischform“ kommt diese Richtlinie nicht in vollem Umfang zum Tragen, wodurch die Kosten auch im Mittelfeld liegen.

Überdruckgeführte Speicher weisen eine höhere Energiedichte auf und werden vermehrt dort eingesetzt, wo Platzmangel besteht, wie z. B. in urbanen Arealen. Drucklose Speicher benötigen jedoch eine größere Fläche und haben auch eine geringere Energiedichte. Meist werden für die Errichtung dieser Speicher bereits bestehende, alte Öltanks umgebaut, wodurch erhebliche Investitionskosten eingespart werden können.

PCM- Phasenwechselspeicher

Allgemein

Bei der Speicherung von Latentwärme werden Speichermedien eingesetzt, bei denen reversible Änderungen des Phasenwechsels oder Aggregatzustands erfolgen. Dabei wird die beim Phasenwechsel auftretende Phasenübergangswärme für einen Energieaustausch bei nahezu keiner Temperaturänderung ausgenutzt. Bei latenten Wärmespeichern kommt in technischen Anwendungen fast ausschließlich der Phasenübergang fest/flüssig zur Anwendung.

In der Regel sind die Latentspeichermaterialien durch sehr niedrige Wärmeleitfähigkeiten charakterisiert, im festen Zustand können sie als thermische Isolatoren mit Wärmeleitfähigkeiten $< 0.5 \text{ [W/(Km)]}$ betrachtet werden. Daher ist die Gewährleistung ausreichender Leistungsdichten beim Be- und Entladen für ein Latentspeichersystem wesentlich. Da ein direkter Kontakt zwischen PCM und Arbeitsmedium häufig nicht zulässig ist, ist das Einbringen eines Wärmetauschers in das Speichermaterial erforderlich. Insbesondere beim Entladen treten Probleme auf, da das PCM zunächst an den Wärmeübertragungsflächen erstarrt und damit den weiteren Wärmetransport behindert. Eine Verringerung der PCM-Schichtdicke führt zu keinen befriedigenden Lösungen, da die erforderlichen Wärmeübertragungsflächen so anwachsen, dass der Vorteil der hohen Speicherdichte von Latentspeichersystemen verloren geht.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, einen PCM-Speicher mit unterschiedlicher Be- und Entladeleistung zu realisieren. Prinzipiell kann ein Speicher durch Kombination von Einzelmodulen für eine beliebige Leistung ausgelegt werden, es bleibt natürlich die Frage der Wirtschaftlichkeit. Durch eine entsprechende Größe der wärmeübertragenden Fläche kann die volumenspezifische Leistung angepasst werden, auch hier steht das Kosten/Nutzen-Verhältnis im Vordergrund. Die Kosten für ein Speichersystem hängen von Kapazität und geforderter Leistung ab.

Verwendung im Ab- und Fernwärmebereich

Die Beurteilung der Einsatzmöglichkeit eines Speichers erfordert immer die Definition einer konkreten Anwendung. Wichtig ist insbesondere die Häufigkeit der Lade-/ Entladezyklen. Ist die Zahl der Zyklen hoch, amortisiert sich der Speicher durch die eingesparte Energie schneller. Ein Speicher in der Industrie, der unter Umständen mehrfach täglich entladen wird, ist wirtschaftlicher als z.B. ein saisonaler Speicher, der vielleicht nur ein- bis zweimal im Jahr entladen wird.

Eine Beurteilung der Verwendungsmöglichkeit und auch der Wirtschaftlichkeit dieses Speichers im Ab- und Fernwärmebereich erfordert die Betrachtung des Gesamtsystems. Diese Speicher können so eingesetzt werden, dass die Auslastung der übrigen Systemkomponenten verbessert wird.

Der Nutzen dieses Speichers muss daher gegen vermiedene Kosten bei anderen Komponenten bzw. eine gesteigerte Effizienz gerechnet werden. Die Beurteilung der

Sinnhaftigkeit dieser Technologie im behandelten Bereich ist daher relativ komplex und basiert hauptsächlich auf Individualbetrachtungen. [Steinmann]

Gegenwärtig gibt es noch keine kommerziellen Installationen von PCM-Speichern im Fernwärmebereich. Dementsprechend sind keine Kosten für derartige Applikationen verfügbar.

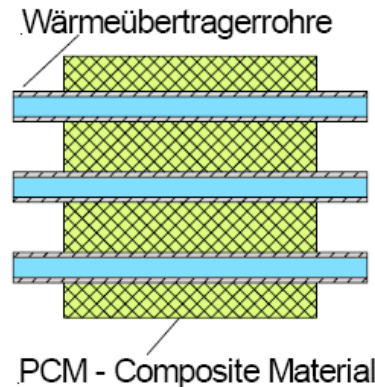


Abbildung 42: Prinzipdarstellung eines PCM-Speichers
Literaturquelle: [Steinmann]

7.4.6 Bewertungskennzahlen von industrieller Abwärme

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.6:

7.4.6.1	Nötige Informationen zur Beurteilung von Wärmebedarf und Wärmequellen	95
7.4.6.2	Physikalische Kennzahlen.....	95
7.4.6.2.1	Vorlauftemperatur	95
7.4.6.2.2	Rücklauftemperatur.....	95
7.4.6.2.3	Spreizung.....	96
7.4.6.2.4	Druck.....	96
7.4.6.2.5	Durchflussmengen.....	96
7.4.6.3	Energetische und betriebliche Kennzahlen	96
7.4.6.3.1	Leistungen	96
7.4.6.3.2	Konstanzfaktor.....	97
7.4.6.3.3	Gradienten	98
7.4.6.3.4	Regelbarkeit.....	99

Kennzahlen dienen zur Bewertung der technischen und betrieblichen Eigenschaften des Wärmebedarfs in einem Wärmeverteilnetz und von Wärmequellen, aus denen dieser Wärmebedarf gedeckt wird. Grundsätzlich können Kennzahlen sowohl zur Bewertung quantitativer Eigenschaften, als auch zur Darstellung qualitativer Zusammenhänge definiert und genutzt werden.

7.4.6.1 Nötige Informationen zur Beurteilung von Wärmebedarf und Wärmequellen

- Physikalische Eigenschaften des Wärmeträgermediums:

Das Wärmeträgermedium muss hinsichtlich seiner thermodynamischen Charakteristik eindeutig definiert sein. Hier kommen auch die Betriebstemperaturen (Vorlauf und Rücklauf), das Druckniveau und die im System umgewälzten bzw. umwälzbaren Mengen (Massenströme) als wesentliche Informationen hinzu.

- Energetische und betriebliche Eigenschaften des Systems:

Informationen bzgl. der thermischen Leistungen (maximal, minimal, Mittelwerte), der Instationaritäten, der Lastgradienten und der Regelbarkeit.

7.4.6.2 Physikalische Kennzahlen

7.4.6.2.1 Vorlauftemperatur

Als Vorlauftemperatur wird jene Temperatur des Wärmeträgermediums bezeichnet, welches sich im Vorlauf des Systems befindet.

$T_{VL\ max}$ maximale Vorlauftemperatur [°C]

$T_{VL\ min}$ minimale Vorlauftemperatur [°C]

Die Vorlauftemperatur ist zumeist als Regelgröße abhängig von der Umgebungstemperatur und legt das Mindestdruckniveau im Netz fest. (Eine Vorlauftemperatur > 100 [°C] bedingt z. B. für das Wärmeträgermedium Wasser einen notwendigen Druck > 1 [bar(a)], da es ansonsten zu Verdampfungseffekten im Wärmeverteilnetz kommt.). Mit steigender Vorlauftemperatur steigen auch die Wärmeverluste im Netz direkt proportional.

7.4.6.2.2 Rücklauftemperatur

Als Rücklauftemperatur wird jene Temperatur des Wärmeträgermediums bezeichnet, welche sich im Rücklauf des Systems befindet.

$T_{RL\ max}$ maximale Rücklauftemperatur [°C]

$T_{RL\ min}$ minimale Rücklauftemperatur [°C]

Die Rücklauftemperatur ergibt sich als "Antwort" des Systems auf die Parameter Wärmeleistung, Vorlauftemperatur und Durchflussmenge des Wärmeträgermediums.

7.4.6.2.3 Spreizung

Die Spreizung ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Vorlauf und dem Rücklauf. Je größer die Spreizung, desto mehr Wärme kann bei einer gegebenen Durchflussmenge des Wärmeträgermediums im System transportiert und verteilt werden.

ΔT_{\max} maximale Spreizung [K]
--

7.4.6.2.4 Druck

Die Druckniveaus sind direkt beeinflusst durch die Durchflussmengen im Verteilnetz. Je größer die Durchflussmenge, desto größer sind auch die Druckverluste im System. Die Druckhaltung fixiert das Druckniveau an einem bestimmten Punkt im Netz. Daraus ergeben sich dann die Drücke an allen übrigen Stellen des Systems.

p_{\max} Maximaldruck [bar(a)] oder [bar(ü)]
p_{\min} Minimaldruck [bar(a)] oder [bar(ü)]

Die Druckniveaus sind maßgeblich für die Dimensionierung der Leitungen, Armaturen und sonstigen Komponenten im System.

7.4.6.2.5 Durchflussmengen

q_{\max} maximale Durchflussmenge [m ³ /h] oder [t/h]
q_{\min} minimale Durchflussmenge [m ³ /h] oder [t/h]

Die maximalen Durchflussmengen ergeben sich aus der Dimensionierung der Rohrleitungen. Maximale Strömungsgeschwindigkeiten dürfen zum Schutz der Komponenten nicht überschritten werden.

7.4.6.3 Energetische und betriebliche Kennzahlen

7.4.6.3.1 Leistungen

P_{\max} maximale (thermische) Leistung [MW]
P_{\min} minimale (thermische) Leistung [MW]
P_{mittel} mittlere (thermische) Leistung [MW] (gewichteter Mittelwert)

Definition:

Maximal- und Minimalleistung geben die Bandbreite der thermischen Leistungen in einem Wärmeverteilnetz oder einer Wärmequelle an. Die mittlere Leistung ist das gewichtete arithmetische Mittel der thermischen Leistungen in einem Zeitraum.

Aussage:

Maximal- und Minimalleistung in einem Verteilnetz müssen durch Wärmequellen bereitgestellt werden. Sie dienen zur Dimensionierung von Netz und Wärmequellen.

7.4.6.3.2 Konstanzfaktor

Der Wärmeverbrauch in einem Verteilnetz ist stark instationär. Dasselbe gilt auch für die Wärmelieferung von industriellen Abwärmequellen (vgl. Abschnitte 7.4.2 und 7.4.3). Am deutlichsten sind diese Zusammenhänge in den Dauerlinien der thermischen Leistungen erkennbar. Je flacher die Dauerlinien sind, desto gleichmäßiger ist der Wärmebedarf bzw. die Wärmelieferung. Ein idealer (konstanter) Wärmebedarf würde eine horizontale Dauerlinie ergeben. Dementsprechend würde sich die gelieferte (bzw. verbrauchte) Wärmemenge als Rechteckfläche ergeben.

Als Maß für die Instationarität wird als Kennzahl der dimensionslose **Konstanzfaktor "KF"** definiert:

KF Konstanzfaktor [-]

$$KF = \frac{\int P^*(t) dt}{\int P_{\text{mittel}} dt} \quad \text{mit:} \quad P^*(t) = \begin{cases} P(t) & \text{für } P(t) < P_{\text{mittel}} \\ P_{\text{mittel}} & \text{für } P(t) \geq P_{\text{mittel}} \end{cases}$$

Formel 3: Konstanzfaktor

Definition:

Der Konstanzfaktor beurteilt die reale, instationäre Wärmelieferung im Vergleich zu einer idealen Wärmelieferung derselben Größe mit der konstanten mittleren Leistung. Dabei werden Anteile der Wärmelieferung, die über die mittlere Leistung hinausgehen, nicht berücksichtigt.

Im Leistungs-Zeit-Diagramm, in dem die Wärmemengen als Flächen unter den Leistungskurven erscheinen, lässt sich der Konstanzfaktor als Flächenverhältnis darstellen (siehe Abbildung 43).

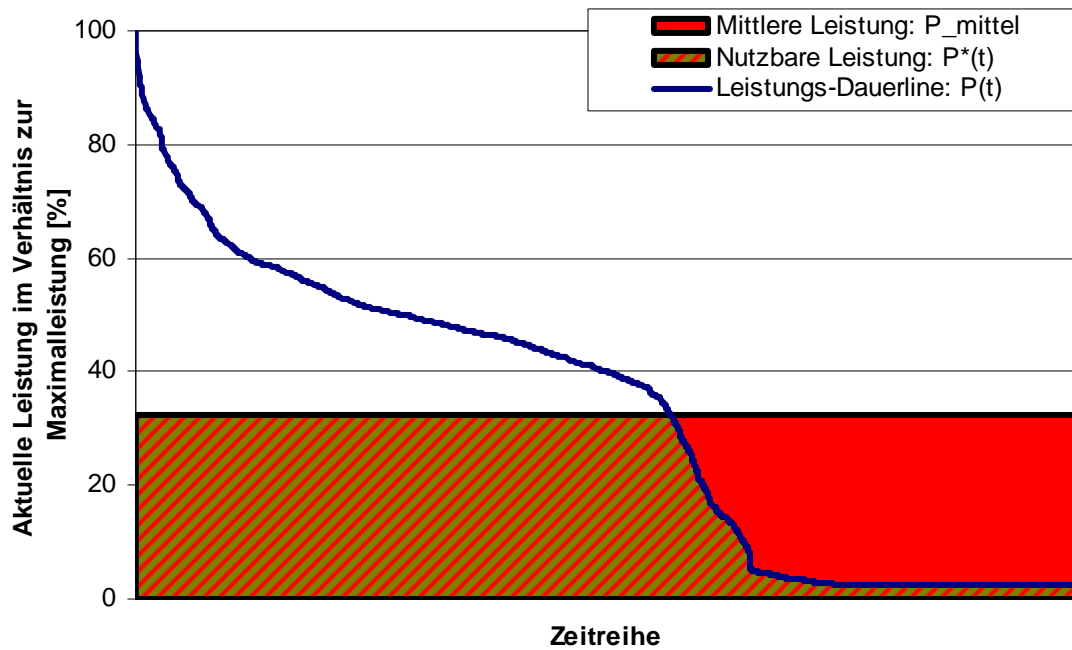


Abbildung 43: Dauerlinie und mittlere Leistung einer Wärmequelle

Erläuterungen: Dauerlinie...blaue Linie, mittlere Leistung...schwarze, horizontale Linie; der Konstanzfaktor ist das Verhältnis des grün schraffierten Flächenanteils zur gesamten, roten Rechteckfläche.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Aussage:

Der Konstanzfaktor ist ein Maß für die "Schiefe" der Dauerlinie. Eine ideale Wärmelieferung mit konstanter Leistung ergibt ein Rechteckprofil. Dementsprechend ergibt sich hierfür ein Konstanzfaktor von $KF=1$ [-]. In der Realität werden die Konstanzfaktoren immer kleiner 1 [-] sein. Je größer die Instationarität, desto steiler ist das Gefälle der Dauerlinie. Dies manifestiert sich in einem niedrigeren Konstanzfaktor.

Der Konstanzfaktor erlaubt eine quantitative Beurteilung inwieweit (instationäre) Wärmequellen geeignet sind, einen Wärmebedarf mit einer eigenen Instationarität zu decken.

7.4.6.3.3 Gradienten

Bei instationärer Wärmelieferung oder instationärem Wärmebedarf kommt es zu einer Änderung der thermischen Leistungen über die Zeit. Je nach Wärmequelle oder Verteilnetz sind diese Änderungen der Last pro Zeit (= Gradienten) unterschiedlich groß.

G1	maximaler positiver Gradient [MW/min]	$(G1 > 0)$
G2	maximaler negativer Gradient [MW/min]	$(G2 < 0)$

$$G1 = \text{Maximum} \left[\frac{dP(t)}{dt} \right]$$

$$G2 = \text{Minimum} \left[\frac{dP(t)}{dt} \right]$$

Formel 4: Maximaler und minimaler Leistungsgradient

Definition:

Der maximale positive Gradient ist die maximale Leistungszunahme pro Zeit eines Verteilnetzes oder einer Wärmequelle. Der maximale negative Gradient ist die maximale Leistungsabnahme pro Zeit eines Verteilnetzes oder einer Wärmequelle. Diese beiden Gradienten sind durch Trägheiten innerhalb der Systeme (z. B. Speicherfunktion des Wärmeträgermediums) betragsmäßig nicht notwendigerweise gleich.

Aussage:

Die maximalen positiven und negativen Gradienten in einem Verteilnetz müssen durch Wärmequellen abgedeckt werden, um eine Unter- bzw. Überversorgung zu vermeiden. Die Kennzahlen G1 und G2 dienen zur Dimensionierung von Netz und Wärmequellen.

7.4.6.3.4 Regelbarkeit

Zur Abdeckung eines zeitlich variablen Wärmebedarfes eines Verteilnetzes müssen die Wärmequellen, aus denen die Versorgung erfolgt, regelbar sein. Je nach Lastgang sind die Anforderungen an die Regelbarkeit unterschiedlich. Eine Wärmelieferung aus einer Abwärmenutzung ist bzgl. ihrer Regelbarkeit jeweils für sich zu analysieren, da der Anfall von Abwärme durch Prozesse der industriellen Produktion abhängt, die nicht nach dem Wärmebedarf eines Verteilnetzes gesteuert werden.

Die Regelbarkeit einer Wärmequelle kann in zwei Richtungen definiert werden:

- Positiv, im Sinne einer gewollten Vergrößerung der Lieferleistung
- Negativ, im Sinne einer gewollten Verminderung der Lieferleistung

RG1 positiv regelbarer Anteil des Leistungsbereiches [-] (RG1 ≥ 0)
RG2 negativ regelbarer Anteil des Leistungsbereiches [-] (RG2 ≤ 0)

$$RG1 = \frac{P' - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} \quad \text{mit: } P' \dots \text{ nach Reglereingriff mögliche Leistung}$$

$$RG2 = \frac{P' - P_{\max}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

Formel 5: „Positiver“ und „negativer“ Regelgrad

Definition:

Die Regelgrade sind als das Verhältnis der möglichen Leistungsänderung durch Reglereingriff zur gesamten Bandbreite der Wärmelieferung definiert.

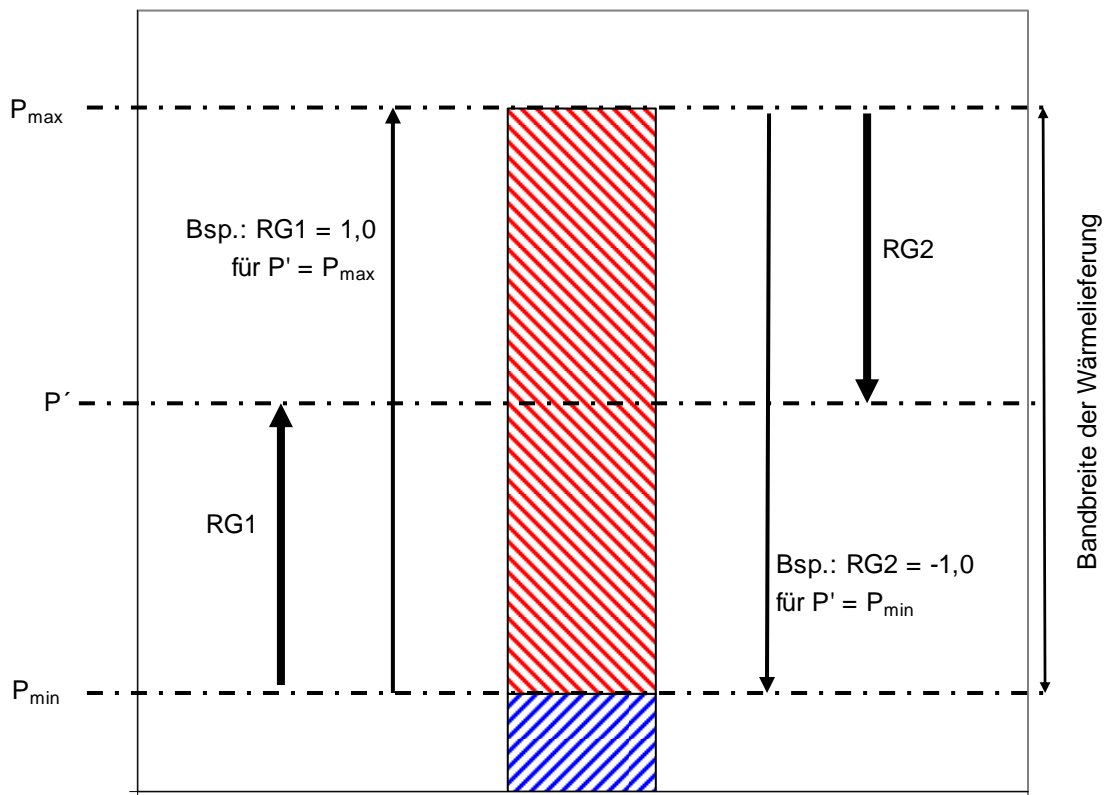


Abbildung 44: Schematische Darstellung der Regelgrade

Erläuterungen: RG1...Regelgrad 1; RG2...Regelgrad 2; Beispielhaft sind die Regelgrade für eine voll regelbare Wärmequelle (RG1 = 1,0 u. RG2 = -1,0) dargestellt.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Aussage:

Der Regelgrad RG1 gibt die Möglichkeit zur aktiven Steigerung der Wärmelieferung in Bezug auf die gesamte leistungsmäßige Bandbreite an. Der Regelgrad RG2 beschreibt die Möglichkeit zur aktiven Begrenzung bzw. Reduktion der Wärmelieferung. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 44 dargestellt.

7.4.7 Integration industrieller Abwärme in Wärmeverteilnetze

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.7:

7.4.7.1	Energetische Integration.....	101
7.4.7.1.1	Wärmebedarf in Wärmeverteilnetzen	101
7.4.7.1.2	Deckung des Wärmebedarfs	102
7.4.7.1.3	Industrielle Abwärme als Wärmequelle in einem Wärmeverteilnetz.....	102
7.4.7.2	Strömungstechnische Integration.....	105
7.4.7.3	Temperatureffekte	106
7.4.7.4	Eigenschaften der Medien.....	106

7.4.7.1 Energetische Integration

7.4.7.1.1 Wärmebedarf in Wärmeverteilnetzen

Der Wärmebedarf in einem Wärmeverteilnetz ist durch eine instationäre Leistung gekennzeichnet (siehe hierzu die Ausführungen in Abschnitt 7.4.2). In Abbildung 45 ist eine Dauerlinie eines Wärmeverteilnetzes dargestellt. Zur Deckung des gesamten Wärmebedarfs (die blaue Fläche in Abbildung 45) aus einer Wärmequelle, muss diese in ihrer Leistung regelbar sein.

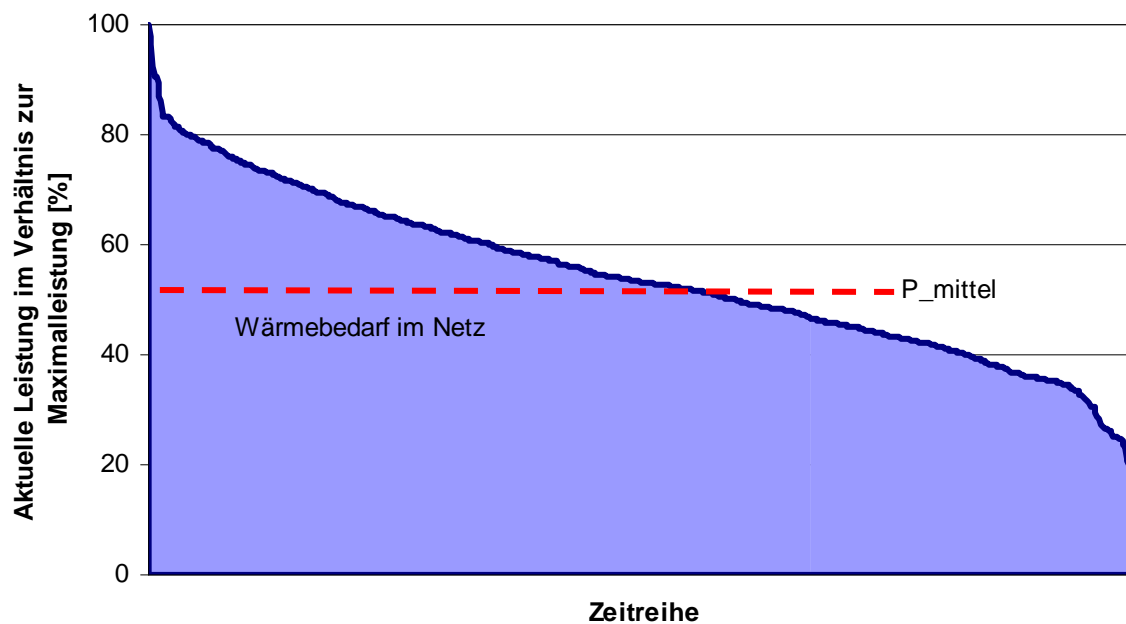


Abbildung 45: Spezifische Dauerlinie der Leistung und Wärmebedarf eines Wärmeverteilnetzes
Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.7.1.2 Deckung des Wärmebedarfs

Wärmequellen, die zur Deckung des Wärmebedarfs in Netzen herangezogen werden, müssen in Summe den momentanen Leistungsbedarf des Netzes abdecken können. Ist die Mindestleistung des Netzes im betrachteten Zeitraum größer 0, so kann ein Teil der Wärmequellen mit konstanter Wärmelieferung (nicht regelbar) betrieben werden. Ein Teil der Wärmelieferung muss in jedem Fall voll regelbar sein. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 46 dargestellt.

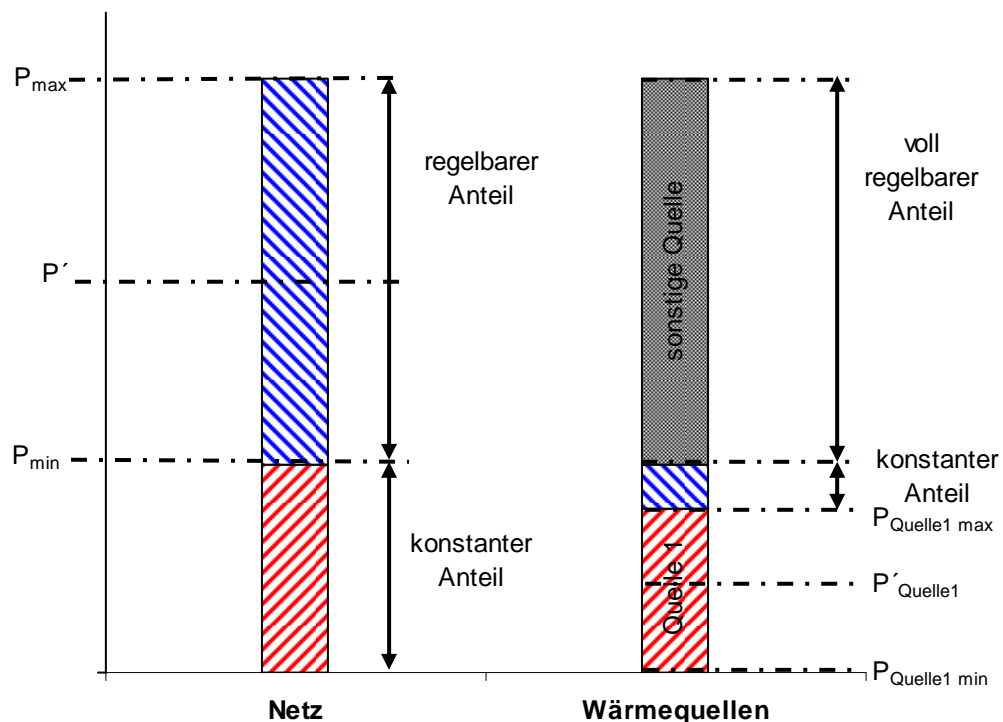


Abbildung 46: Abdeckung des momentanen thermischen Leistungsbedarfs eines Verteilnetzes durch verschiedene Wärmequellen.

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.7.1.3 Industrielle Abwärme als Wärmequelle in einem Wärmeverteilnetz

Industrielle Abwärme ist durch eine eigene, instationäre Leistungscharakteristik gekennzeichnet (siehe hierzu Abschnitt 7.4.3). Diese Instationarität der Abwärme ist unabhängig vom Wärmebedarf des Netzes. Weiters ist in den meisten Fällen davon auszugehen, dass die Abwärmelieferung nicht regelbar ist ($RG1 = 0$ und $RG2 = 0$, Erläuterungen hierzu siehe Abschnitt 7.4.6.3.4).

Vollständige Integration der Abwärme in das Netz:

Eine vollständige Integration der Abwärme in ein Wärmeverteilnetz gelingt nur dann, wenn die Maximalleistung der Abwärmelieferung nicht größer ist, als die Minimalleistung des Netzes (siehe Abbildung 47).

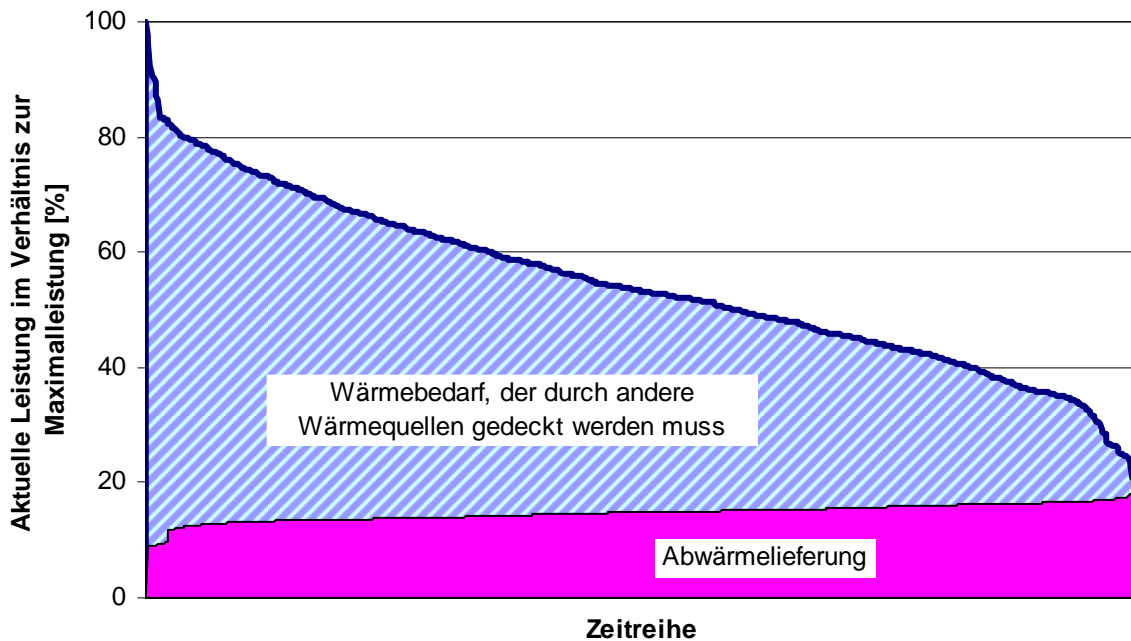


Abbildung 47: Vollständige Integration einer instationären, nicht regelbaren Abwärmequelle in ein Wärmenetz.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Die Restriktion hinsichtlich der Lieferleistung der Abwärme ($P_{AW \max} \leq P_{FW \min}$) führt dazu, dass die Abwärmelieferung nur einen kleinen Anteil des gesamten Wärmebedarfes des Netzes übernehmen kann (bei dem in Abbildung 47 dargestellten Beispiel sind es nur 27 [%]).

Wärme, die durch andere, voll regelbare Wärmequellen abgedeckt werden muss:

$$\Delta Q_{\text{Zusatz}} = Q_{\text{Netz}} - Q_{\text{Abwärme}}$$

Formel 6: Regelbare Restwärmemenge im Netz bei vollständiger Abwärmeintegration

Fazit:

Bei einer vollständigen Integration der gesamten Abwärme aus einer Quelle in ein Wärmeverteilnetz kann nur ein kleiner Anteil des gesamten Wärmebedarfes durch Abwärme gedeckt werden. Der Großteil der Wärmearaufbringung muss aus anderen, voll regelbaren Quellen (Heizkessel, KWK-Anlagen etc.) erfolgen.

Integration auf Grundlage der mittleren Leistungen:

Die Abwärmelieferung in ein Wärmeverteilnetz kann gesteigert werden, wenn die mittlere Leistung der Abwärmelieferung gleich der mittleren Leistung des Wärmenetzes ist:

$$P_{\text{Netz mittel}} = P_{\text{Abwärme mittel}}$$

Formel 7: Äquivalenzpunkt

(Das bedeutet weiters, dass die von der Abwärmequelle lieferbare Wärmemenge gleich dem Wärmebedarf des Netzes ist.)

In dieser Konfiguration wird der Wärmeanteil, der nicht von der Abwärme gedeckt werden kann verkleinert, wird aber im Allgemeinen nicht gleich 0 werden. Weiters setzt diese Konfiguration voraus, dass Einrichtungen zur Begrenzung der Abwärmelieferung ins Netz oder regelbare Kühler im Netz vorgesehen werden (Regelgrad $RG2 < 0$). In Abbildung 48 ist dieser Sachverhalt dargestellt.

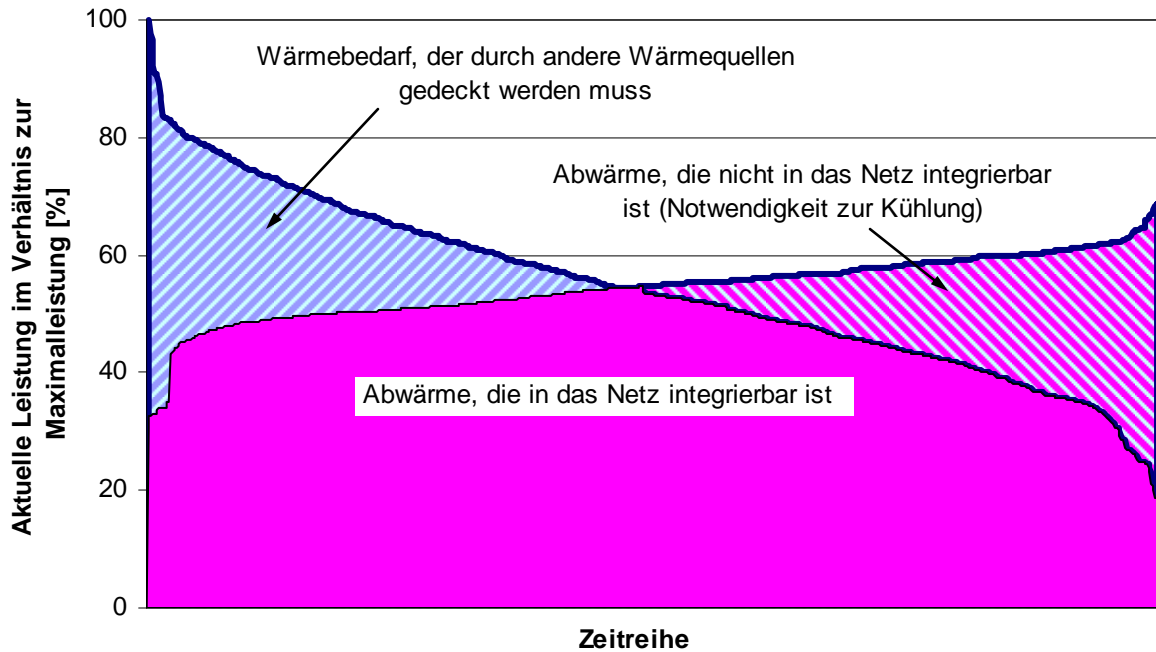


Abbildung 48: Integration einer instationären Abwärmequelle in ein Wärmenetz auf Basis gleicher mittlerer Leistungen.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Durch diese Art der Integration kann durch die Abwärme ein wesentlich größerer Anteil des Wärmebedarfs im Netz übernommen werden. (In Abbildung 48 ist derselbe Wärmebedarf im Netz dargestellt wie in Abbildung 47. Nun können jedoch 85 [%] davon durch Abwärme gedeckt werden.

Die zusätzliche Wärme, die durch andere, voll regelbare Wärmequellen abgedeckt werden muss, ergibt sich folgendermaßen:

$$\Delta Q_{\text{Zusatz}} = Q_{\text{Netz}} \cdot (2 - KF_{\text{Netz}} - KF_{\text{Abwärme}})$$

Formel 8: Zu ergänzende Restwärmemenge bei Abwärmeintegration mit äquivalenter mittlerer Leistung

Je größer die Konstanzfaktoren des Netzes und der Abwärmequelle sind, desto kleiner wird die notwendige Zusatzwärme.

Die Abwärme, die nicht in das Netz integriert werden kann und weggekühlt werden muss ist betragsmäßig gleich der Zusatzwärme ΔQ_{Zusatz} .

$$\Delta Q_{\text{kühl}} = \Delta Q_{\text{Zusatz}}$$

Formel 9: Wärmebilanz

Sollten die mittleren Leistungen des Wärmeverteilnetzes und der Abwärmequelle nicht gleich sein, so lassen sich die Zusatzwärmemenge und die Kühlmenge **näherungsweise** nach den folgenden Formeln berechnen:

$$\Delta Q_{\text{Zusatz}} = Q_{\text{Netz}} \cdot \left[2 - KF_{\text{Netz}} - KF_{\text{Abwärme}} - \left(\frac{P_{\text{Abwärme mittel}}}{P_{\text{Netz mittel}}} - 1 \right) \cdot KF_{\text{Netz}} \cdot KF_{\text{Abwärme}} \right]$$

für $P_{\text{Netz mittel}} \neq P_{\text{Abwärme mittel}}$

Formel 10: Bestimmung der Zusatzwärme für Abwärmeintegration außerhalb des Äquivalenzpunktes

$$\Delta Q_{\text{kühl}} = Q_{\text{Netz}} \cdot \left[2 - KF_{\text{Netz}} - KF_{\text{Abwärme}} + \left(\frac{P_{\text{Abwärme mittel}}}{P_{\text{Netz mittel}}} - 1 \right) \cdot KF_{\text{Netz}} \cdot KF_{\text{Abwärme}} \right]$$

für $P_{\text{Netz mittel}} \neq P_{\text{Abwärme mittel}}$

Formel 11: Bestimmung des Kühlbedarfes für Abwärmeintegration außerhalb des Äquivalenzpunktes

7.4.7.2 Strömungstechnische Integration

Die Einbindung von Abwärmequellen wird üblicherweise nicht in unmittelbarer Nähe der Hauptwärmequellen eines Wärmeverteilnetzes (Heizkraftwerk und Pumpenstation) erfolgen. Diese dezentrale Einbindung wirkt allerdings auf die Betriebsweise der Netzpumpen in mehrfacher Weise zurück.

Durch die Einbindung der zusätzlichen Wärmelieferung werden Teilbereiche des Netzes nun dezentral versorgt. Die gesamte Durchflussmenge, die von den Netzpumpen aufgebracht werden muss, wird dadurch reduziert. Darüber hinaus ist jedoch auch noch eine Veränderung der Anlagenkennlinie in Abhängigkeit von der dezentralen Einspeisemenge zu beobachten. Erfolgt die dezentrale Einspeisung auf einer im Vergleich zu den Netzpumpen größeren geodätischen Höhe, kann dieser Effekt noch (unstetig) verstärkt auftreten.

Die dezentrale Einbindung von (Ab-) Wärmequellen setzt somit voll regelbare Netzpumpen voraus. Diese Pumpen müssen darüber hinaus schnell regelbar sein, um die Gradienten der instationären Abwärmelieferung in geeignetem Umfang auszugleichen.

7.4.7.3 Temperatureffekte

Industrielle Abwärme steht oftmals nicht mit derselben Temperatur zur Verfügung, mit der der Vorlauf eines Wärmeverteilnetzes betrieben wird. Das gilt vor allem für Abwärme aus Kühlkreisläufen.

In diesen Fällen führt die Abwärmelieferung zu einer Veränderung der Vorlauftemperatur im Netz. Diese Beeinflussung der Vorlauftemperatur wird auf einzelne Netzbereiche, in denen die Einspeisung zum Tragen kommt, beschränkt sein. Um eine störungsfreie Abnahme auf Kundenseite zu gewährleisten, können folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Beschränkung der Abwärmelieferung in das Netz auf Perioden, in denen die Vorlauftemperatur gleich oder kleiner ist, als die Temperatur der gelieferten Abwärme:
 - Diese Maßnahme reduziert allerdings die Wärmelieferung in das Netz vor allem in den kalten Wintermonaten.
- Zulassen einer lokal reduzierten Vorlauftemperatur im Netz:
 - Um die Versorgungssituation der Verbraucher in dem hiervon betroffenen Netzteil nicht zu verschlechtern, müssen die Wärmeübergabestationen entsprechend adaptiert werden (Vergrößerung der Wärmetauscherfläche).
- Nachträgliche Aufheizung der Abwärme:
 - Durch Einsatz eines konventionellen Heizkessels kann die nötige Anhebung der Vorlauftemperatur der Abwärme auf das Temperaturniveau im Wärmenetz bewerkstelligt werden. Bei einer größeren Dimensionierung des Kessels kann darüber hinaus noch ein (teilweiser) Ausgleich der Instationarität der Abwärme erreicht werden. Hierfür ist allerdings der Einsatz von Brennstoff nötig, was sich auf der Kostenseite negativ zu Buche schlägt.

7.4.7.4 Eigenschaften der Medien

Bei der Einbindung industrieller Abwärme in Wärmenetze ist auch darauf zu achten, inwieweit eine Vermischung der Medien (Wasser im Fernwärmenetz, Wasser in der industriellen Auskopplungsanlage) zulässig oder gewünscht ist. Vor allem hinsichtlich von Zusatzstoffen zum Korrosionsschutz (vgl. Abschnitt 7.4.2.5) können die Anforderungen unterschiedlich sein.

7.4.8 Ansätze zur wirtschaftlichen Bewertung industrieller Abwärme

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.8:

7.4.8.1	Kosten für die Abwärmeauskopplung.....	107
7.4.8.2	Kosten für die Integration in das Wärmenetz	107
7.4.8.3	Spezifische Kosten der Abwärme.....	107

Für eine wirtschaftliche Bewertung industrieller Abwärme müssen die Aufwendungen für die Investition und den Betrieb der zur Abwärmeauskopplung und zur Integration in das Wärmeverteilnetz notwendigen Komponenten erhoben werden.

7.4.8.1 Kosten für die Abwärmeauskopplung

Hierunter fallen sämtliche Kosten für Investition bzw. Abschreibung und Betrieb für

- Wärmetauscher, die in die Produktionsanlagen integriert werden.
- Zusatzkomponenten, die zur Regelbarkeit der Abwärme beitragen bzw. die Instationarität der ausgekoppelten Abwärme reduzieren (z. B. Bypass-Klappen, Hilfskühler, Wärmespeicher).
- Pumpen zum Transport des Wärmeträgermediums.
- Leitungen bis zum Einspeisepunkt des Wärmeverteilnetzes.

Weiters können hier auch noch die Wärmeverluste berücksichtigt werden, die in den Leitungen zum Einspeisepunkt auftreten. Diese Wärmeverluste sind abhängig von der Leitungslänge und dem Temperaturniveau, mit dem die Wärmelieferung erfolgt.

7.4.8.2 Kosten für die Integration in das Wärmenetz

Hierunter fallen sämtliche Kosten für Investition bzw. Abschreibung und Betrieb für

- Wärmeübergabestationen zur Netzintegration.
- Ergänzungsmaßnahmen im Netz, die durch die Abwärmeeinbindung notwendig werden (z. B. Installation zusätzlicher Reservekapazitäten und Regeleinrichtungen, Umrüstung von Wärmeübergabestationen bei den Verbrauchern wegen lokal geänderter Vorlauftemperaturen).

7.4.8.3 Spezifische Kosten der Abwärme

Werden in einer Periode die Gesamtkosten für die Abwärmeauskopplung und die Netzintegration durch die in dieser Periode eingespeiste Abwärme dividiert, ergeben sich die spezifischen Kosten der Abwärme. Entsprechend der jeweiligen Schnittstelle (sämtliche Anlagen zur Wärmeauskopplung im Eigentum und im Verantwortungsbereich des Industriebetriebes oder als Alternative im Eigentum und Verantwortungsbereich des

Wärmeversorgungsunternehmens) werden sich für jedes Projekt der Abwärmenutzung individuelle, spezifische Kosten ergeben.

Um eine Größenordnung der möglichen, spezifischen Kosten für industrielle Abwärme zu gewinnen, wird ein Vergleich mit den spezifischen Kosten einer Wärmelieferung aus Kraft-Wärme-Kopplung durchgeführt. Die spezifischen Kosten für KWK-Wärme bewegen sich in einer Bandbreite von 4 [€/MWh] bis 17 [€/MWh] (Vollkosten, siehe Abbildung 49).

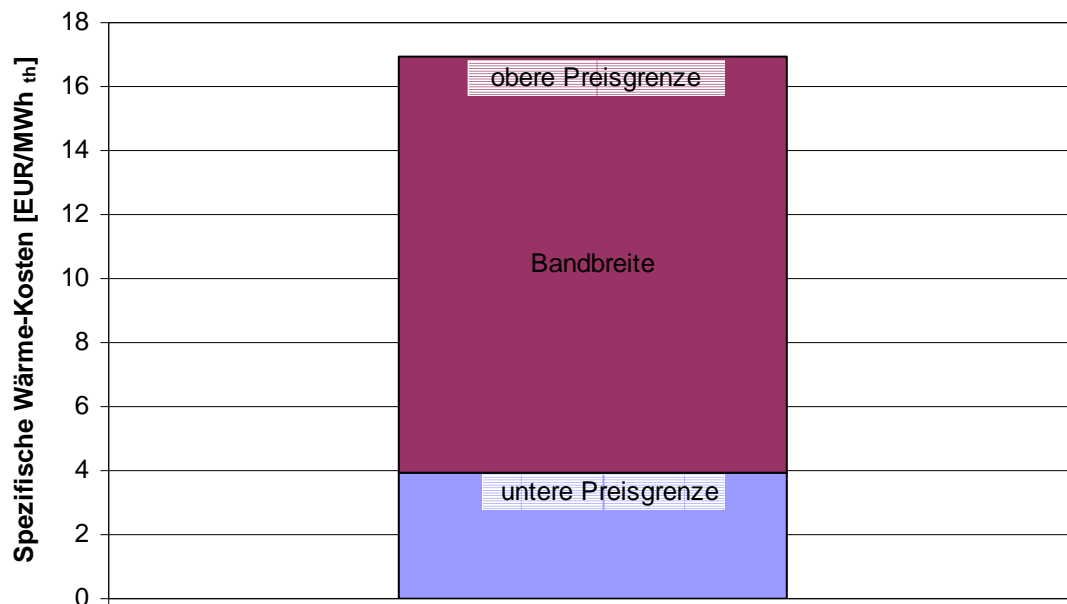


Abbildung 49: Kostenbandbreite für Wärme in KWK-Anlagen

Literaturquelle: [Theissing 2007]

Die in Abbildung 49 dargestellte Bandbreite ergibt sich primär aus dem zusätzlichen Brennstoffeinsatz, der der ausgekoppelten Wärme zuzuordnen ist. Ein Brennstoffeinsatz für das Koppelprodukt Wärme ergibt sich nur in KWK-Anlagen mit Stromverlust [CEN/CENELEC]. Die in der Abbildung 49 angeführte untere Preisgrenze tritt in KWK-Anlagen auf, in denen die Wärmeauskopplung ausschließlich durch Nutzung von Abwärme aus der Stromerzeugung erfolgt (z. B. Wärmeauskopplung in einem Abhitzekegel nach einer Gasturbine). Die angeführten Kosten beinhalten einen Fixkostenanteil (z. B. Abschreibungen für Abhitzekegel, Wärmetauscher, Pumpen) und als variablen Kostenanteil z. B. anteilige Personal- und Wartungskosten. Die Wärmeauskopplung aus KWK-Anlagen ist technologisch einfacher als die Nutzung industrieller Abwärme (geringe Instationarität, moderate Gradienten, Medienströme ohne Verunreinigungen oder Staubanteile etc.). Für die Nutzung industrieller Abwärme ist darüber hinaus oft noch die Installation zusätzlicher Komponenten zum Ausgleich oder zur Minderung der Instationarität und der Gradienten erforderlich (z. B. Speicher oder Regeleinrichtungen/Bypassklappen), die in KWK-Anlagen nicht realisiert werden.

Aus diesem Grund werden die Wärmegestehungskosten für industrielle Abwärme über der in Abbildung 49 angegebenen unteren Preisgrenze, jedoch unter der oberen Preisgrenze zu

erwarten sein (Anmerkung: Die obere Preisgrenze ergibt sich für KWK-Anlagen mit Stromverlust, in denen auch ein Teil des Brennstoffs der Wärme zuzuordnen ist. Somit stellt sie eine andere Situation dar, als eine Abwärmenutzung.). Dieser Abschätzung liegt allerdings die Randbedingung zu Grunde, dass eine Abwärmenutzung ganzjährig möglich ist. Sollte eine zeitliche Einschränkung der Nutzung (ausgehend vom Fernwärmenetz) vorliegen, kommt es zwangsläufig zu einer Erhöhung der spezifischen Kosten der Abwärme.

7.4.9 Beispielvarianten

SUBVERZEICHNIS ABSCHNITT 7.4.9:

7.4.9.1	Konstanzfaktoren.....	109
7.4.9.2	Konstanzfaktoren eines Fernwärmenetzes	113
7.4.9.3	Fallbeispiel Beeinflussung der Abwärmelieferung an ein Wärmenetz.....	114

7.4.9.1 Konstanzfaktoren

Wie in Kapitel 7.4.6.3.2 Konstanzfaktor bereits beschrieben, stellt diese Kennzahl ein Maß für die Instationarität von Wärmequellen und -netzen dar. Der Konstanzfaktor erlaubt somit eine quantitative Beurteilung, inwieweit (instationäre) Wärmequellen geeignet sind, einen variablen Wärmebedarf zu decken. In diesem Abschnitt werden typische Konstanzfaktoren wichtiger Abwärmequellen dargestellt.

Konstanzfaktoren eines Stoßofens:

Die Wärmeauskopplung erfolgt aus den Rauchgasen und folgt damit direkt den instationären Gesetzmäßigkeiten der Energiezufuhr im Ofen.

Der Konstanzfaktor liegt bei Stoßöfen im Bereich von 0,6 bis 0,7 [-]. In Abbildung 50 ist die Dauerlinie und der Konstanzfaktor eines Stoßofens grafisch dargestellt. Der KF beträgt in diesem Fall 0,67 [-].

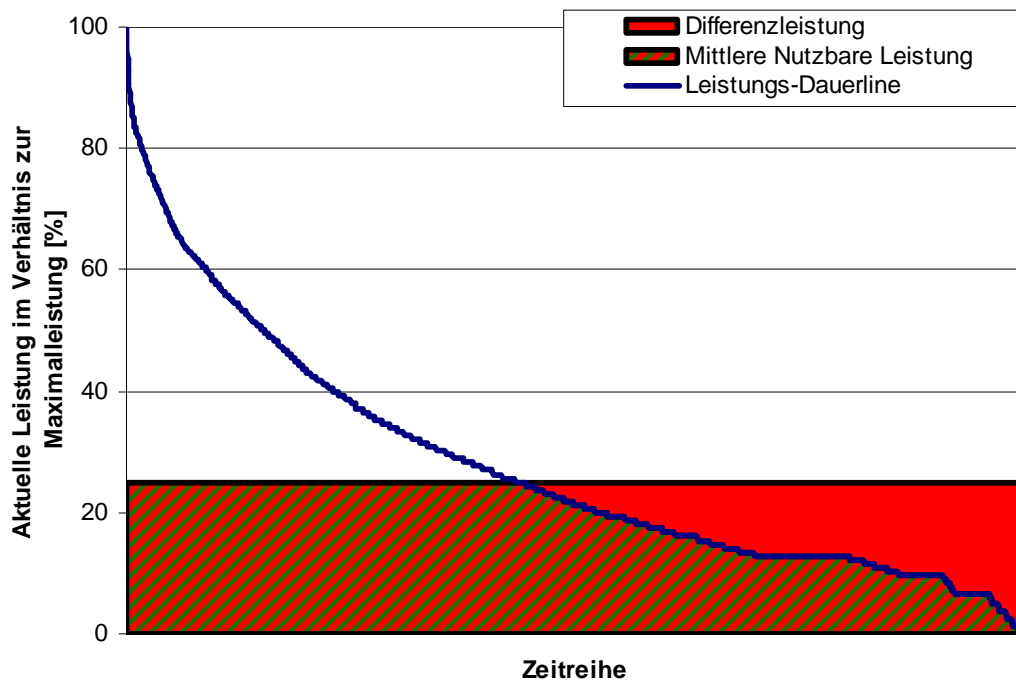


Abbildung 50: Konstanzfaktor eines Stoßofens

Literaturquelle: [Interne Daten]

Um den Einfluss auf die Abwärmelieferung aus zwei parallel betriebenen Stoßöfen aufzuzeigen, wurde auch dafür der Konstanzfaktor ermittelt. Mit einem Wert von 0,69 [-] liegt er etwas höher als beim Betrieb von einem Stoßofen alleine. Der Unterschied ist jedoch sehr gering, was auch die Analyse der Dauerlinien zeigt.

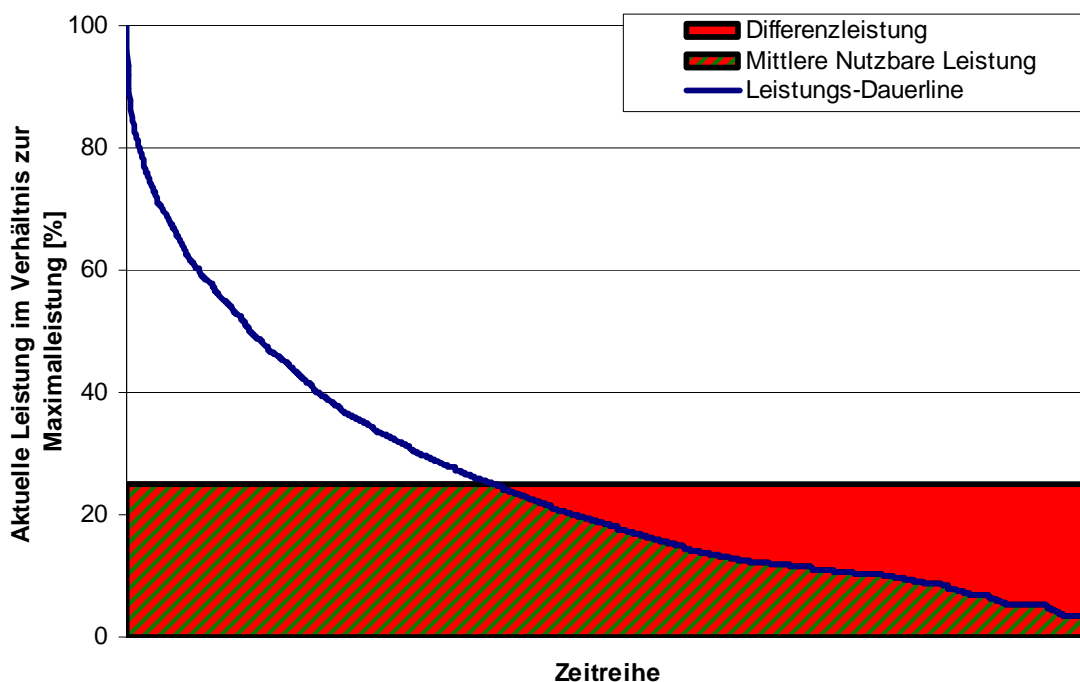


Abbildung 51: Konstanzfaktor zweier Stoßöfen bei Parallelbetrieb

Literaturquelle: [Interne Daten]

Konstanzfaktor eines Hubbalkenofens:

Die Wärmeauskopplung erfolgt aus der Schienenkühlung (Strukturkühlung). Durch das gleich bleibende Temperaturniveau im Ofen sind die Instationaritäten nicht so stark ausgeprägt.

Im nächsten Punkt soll den oben gezeigten Konstanzfaktoren jener für einen Hubbalkenofen gegenübergestellt werden. Durch die verwendete Technologie zeigt sich für einen Hubbalkenofen ein bedeutend anderes Bild (siehe nächste Abbildung).

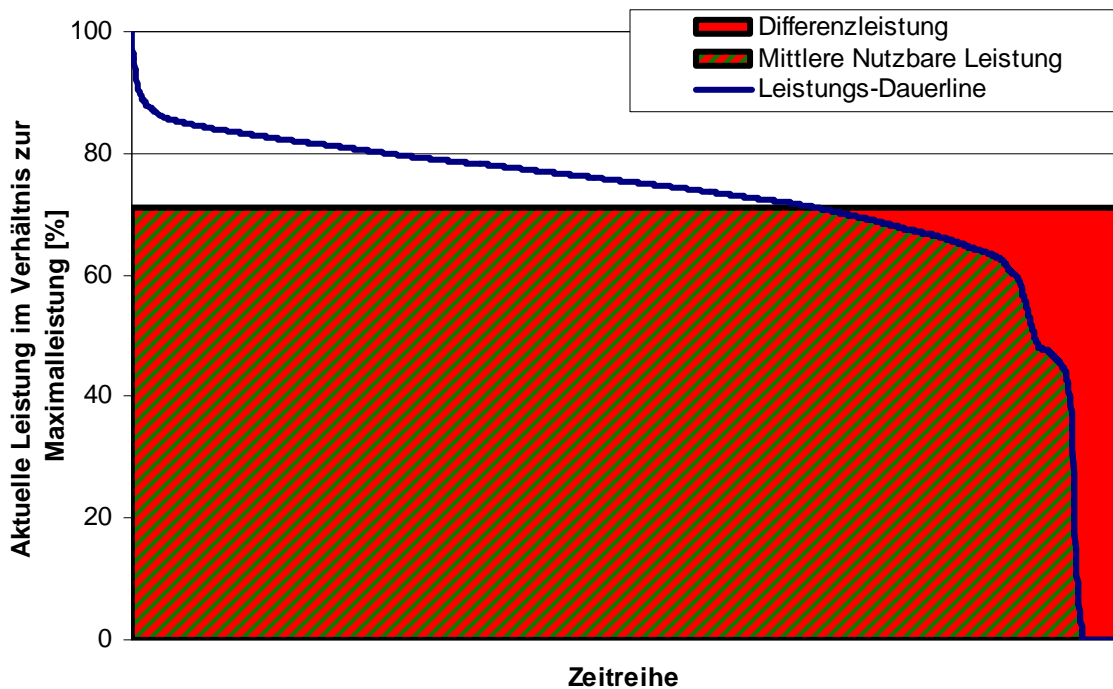


Abbildung 52: Konstanzfaktor eines Hubbalkenofens

Literaturquelle: [Interne Daten]

Beim Hubbalkenofen liegt der KF in diesem Beispiel bei 0,93 [-] und bestätigt damit die Aussage, dass der Hubbalkenofen in Hinblick auf eine Abwärmeauskopplung die zu bevorzugende Technologie darstellt. Durch das „Durchheben“ der zu erwärmenden Teile, und die geschlossene Bauweise kann die Abwärme kontinuierlicher genutzt werden.

Konstanzfaktoren eines Batch-Prozesses:

Der verfahrenstechnische Ablauf beim Blasevorgang von Tiegeln führt zu einer unregelmäßigen Wärmelieferung. Der Konstanzfaktor für einen Tiegel liegt dabei zwischen 0,4 [-] und 0,45 [-]. In Abbildung 53 wird ersichtlich, dass die Dampflieferung nicht über die gesamte Betrachtungsperiode stattfindet. Dies ist wiederum auf die diskontinuierliche Produktion zurückzuführen.

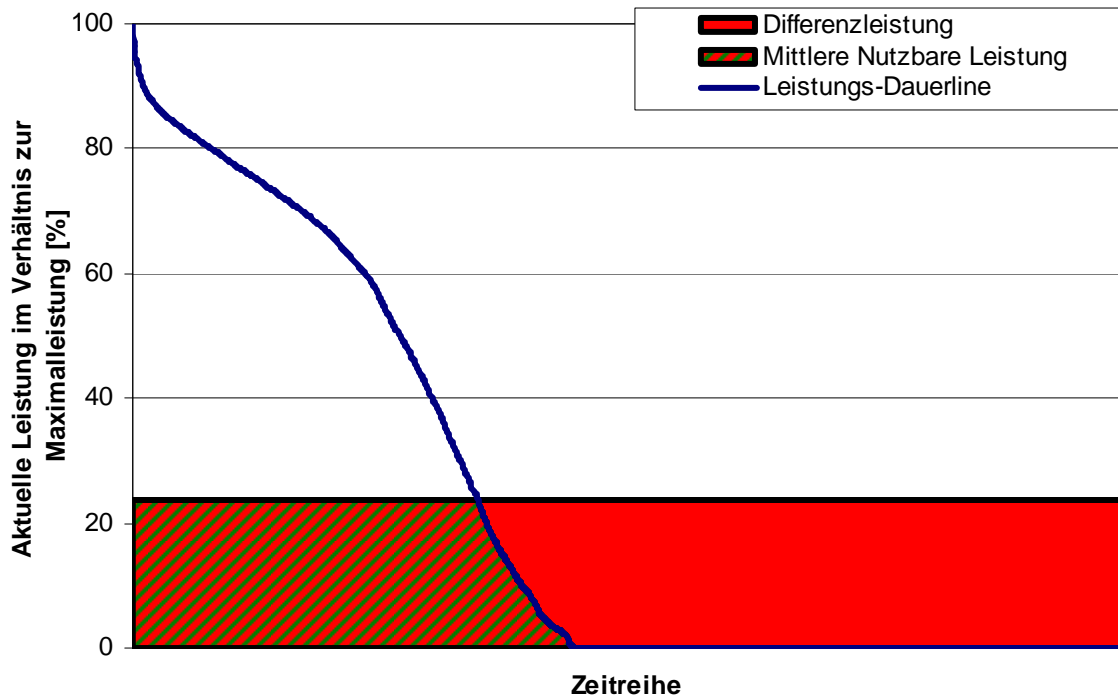


Abbildung 53: Konstanzfaktor eines Tiegel-Blasevorganges

Literaturquelle: [Interne Daten]

Schaltet man nun wiederum zwei Batch-Prozesse parallel, so kann der Konstanzfaktor erheblich gesteigert werden. Wie in der nächsten Abbildung dargestellt, kann die Dampflieferung vergleichmäßigt und der Konstanzfaktor auf circa 0,64 [-] erhöht werden.

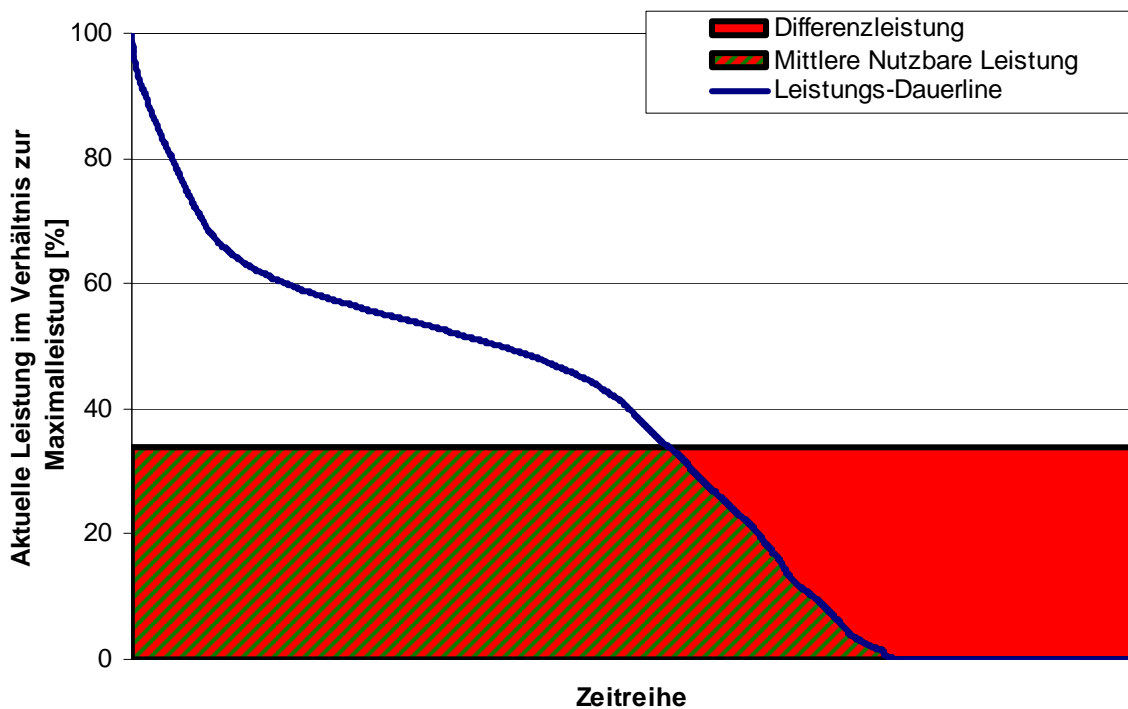


Abbildung 54: Konstanzfaktor zweier parallel geschalteter Tiegel

Literaturquelle: [Interne Daten]

In Tabelle 14 werden nochmals alle Technologien und deren Konstanzfaktoren angeführt.

Technologie zur Abwärmenutzung	Max. Leistung [MW _{max}]	Max. Dampfmenge [t/h _{max}]	Konstanzfaktor KF [-]	Bandbreite Leistungsgradienten [MW/min]	
				positiv	negativ
Stoßofen	21,5	29,6	0,60 - 0,70	+2,9	-2,9
Hubbalkenofen	6,6	10,1	0,91 - 0,94	+0,5	-0,5
Batch-Prozess	20,2	30,8	0,40 - 0,42	+14,4	- 13,4
Parallelbetrieb					
Batch-Prozesse	37,5	57,2	0,62 - 0,65	-	-
Parallelschaltung zweier Stoßöfen	43,6	61	0,65 - 0,75	-	-

Tabelle 14: Abwärmequelle und typische Konstanzfaktoren

Literaturquelle: [Interne Daten]

7.4.9.2 Konstanzfaktoren eines Fernwärmenetzes

Der Wärmeverbrauch in einem Fernwärmenetz ist durch einen über das Jahr sehr stark veränderlichen Verlauf gekennzeichnet (vgl. hierzu Abschnitt 7.4.2). Bei einer genaueren Betrachtung der einzelnen Monate fällt auf, dass die Dauerlinien für Monate in der Übergangszeit einen wesentlich steileren Verlauf zeigen, als im Winter und vor allem im Sommer (siehe Abbildung 9 bis Abbildung 12). Ein steilerer Verlauf spiegelt eine größere Instationarität wider. Somit ist von monatlich verschiedenen Konstanzfaktoren des Wärmebedarfs auszugehen.

Dieser Sachverhalt wurde für ein Fernwärmenetz auf Basis von Stundenmittelwerten des Verbrauchs für 40 Monate untersucht. Es zeigt sich ein eindeutiger Verlauf des Konstanzfaktors des Netzes über die Monate (siehe Abbildung 55)

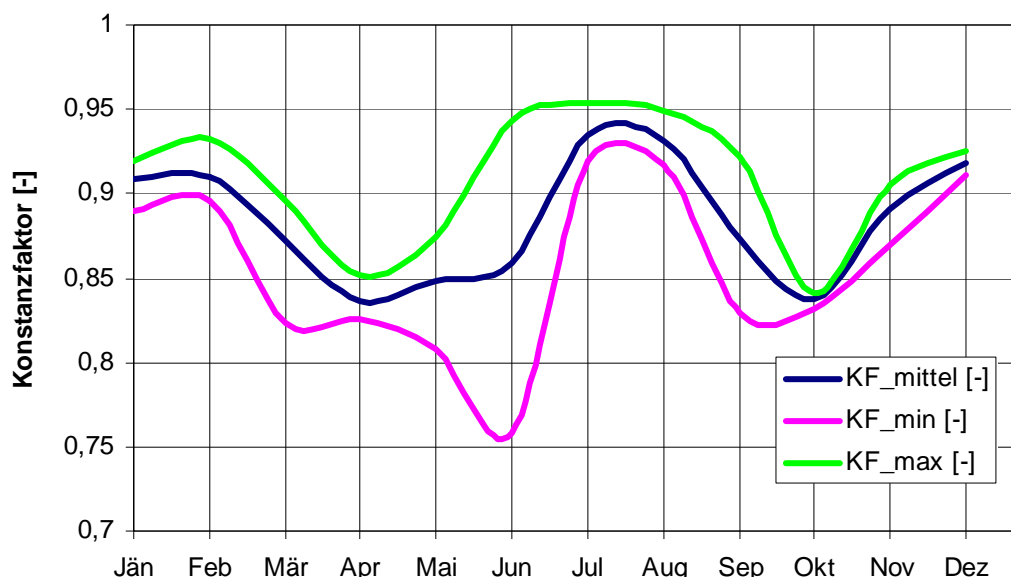


Abbildung 55: Konstanzfaktoren eines Fernwärmenetzes

Erläuterung: Als Basis gelten die Monatsauswertungen unter Verwendung von Stundenmittelwerten des Wärmebedarfs

Es ist ein deutlicher Verlauf über das Jahr erkennbar:

- Im Winter (Dezember bis Februar) beträgt der mittlere Konstanzfaktor durchwegs 0,91 [-].
- Im Hochsommer (Juli und August) ist der Konstanzfaktor mit 0,93 [-] am höchsten.
- In der Übergangszeit sinkt der Konstanzfaktor auf 0,85 [-] ab. In diesem Zeitabschnitt gibt es auch eine größere Spreizung der Werte.

Fernwärmenetze zeigen somit eine andere Charakteristik als Abwärmequellen, die durch eine von der Jahreszeit unabhängige, gleich bleibende Instationarität gekennzeichnet sind.

7.4.9.3 Fallbeispiel Beeinflussung der Abwärmelieferung an ein Wärmenetz

Wie in Kapitel 7.4.7 im Detail ausgeführt, erschwert die Instationarität industrieller Abwärme die Integration dieser Wärmequellen in Wärmeverteilnetze. Als Kennzahl zur quantitativen Beurteilung dieser Instationarität dient der Konstanzfaktor. Durch geeignete Konfiguration der Wärmeauskopplung und durch Anordnung von Zusatzkomponenten (Speicher, Bypassklappen etc.) kann eine aktive Beeinflussung und Vergleichmäßigung der Abwärmelieferung an einen Wärmeverbraucher erreicht werden.

Dies manifestiert sich in einer Verflachung der Dauerlinie und in einem Ansteigen des Wertes des Konstanzfaktors.

Diese Zusammenhänge wurden für unterschiedliche Anlagenkonfigurationen anhand von Realdaten untersucht. Abbildung 56 zeigt den Effekt eines Sattdampfspeichers, der durch seine Dimensionierung in der Lage ist, auch große Gradienten der Abwärmelieferung auszugleichen (vgl. Abbildung 20).

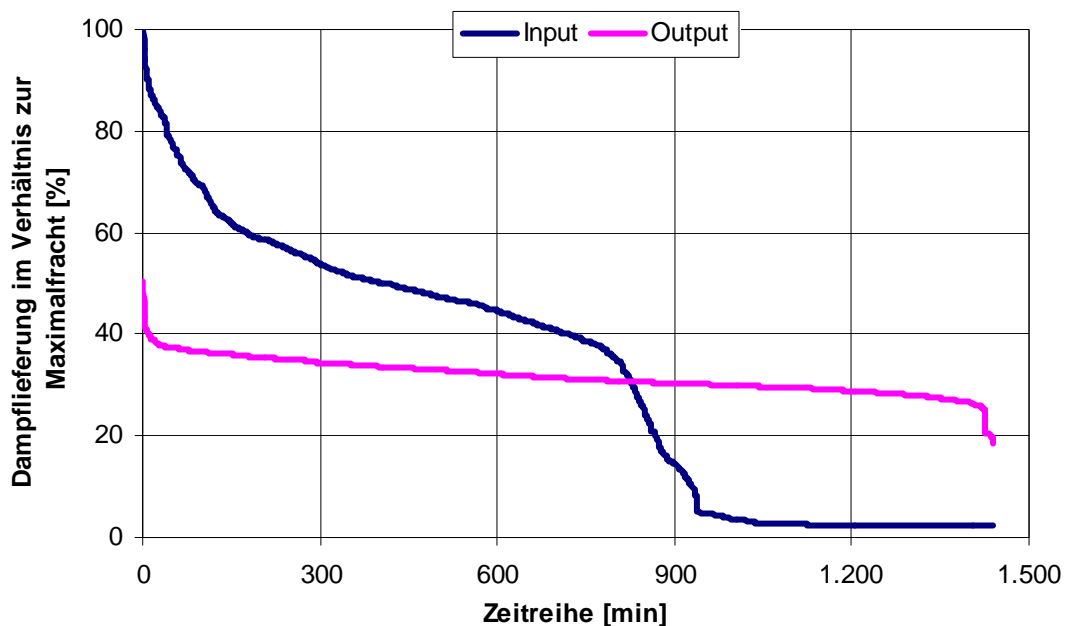


Abbildung 56: Dauerlinien des Inputs und des Outputs eines Sattdampfspeichers
Literaturquelle: [Interne Daten]

Einfluss auf den Konstanzfaktor:

- Konstanzfaktor der Abwärmelieferung ohne Speicher: 0,65 [-]
- Konstanzfaktor der Abwärmelieferung mit Speicher: 0,96 [-]

Einfluss auf die Gradienten:

- Reduktion der maximalen Gradienten G1 und G2 um jeweils 69 [%]

Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der Instationaritäten stellt die Abwärmeauskopplung aus Kühlkreisläufen dar (vgl. Kapitel 7.4.4.2.2). Die Kühlkreisläufe gewährleisten eine ungestörte Produktion. Bei der Auskopplung von Abwärme wird die Wärmeabgabe an die Umgebung reduziert. Diese Konfiguration erlaubt außerdem eine Begrenzung der Wärmelieferung in das Wärmenetz, in Zeiten in denen der Bedarf im Netz niedrig ist. In Abbildung 57 sind die Dauerlinien einer derartigen Anordnung dargestellt.

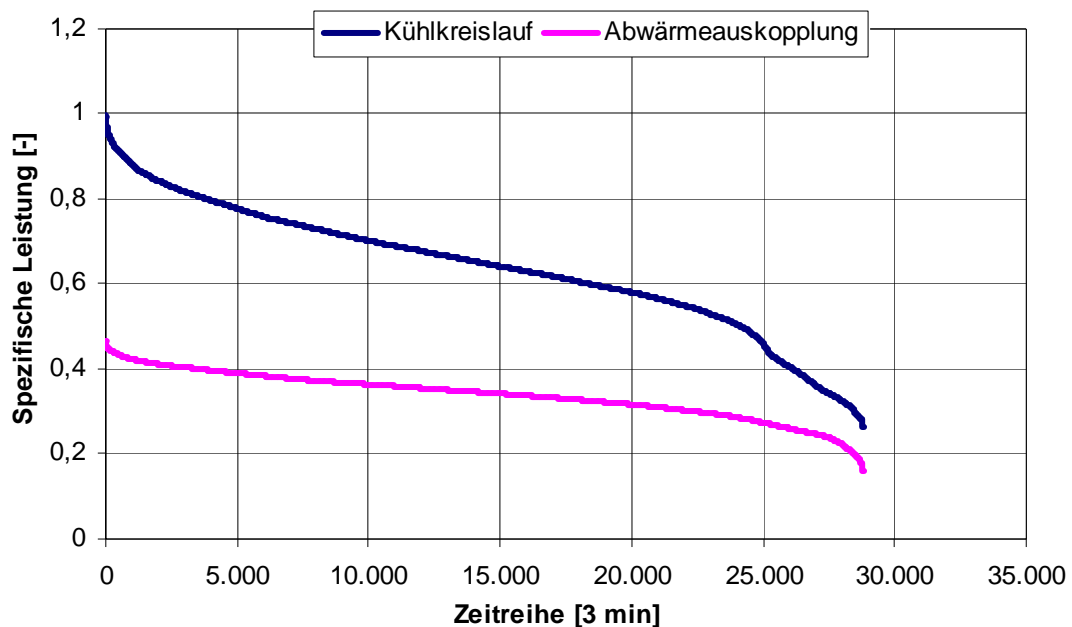


Abbildung 57: Wärmeauskopplung aus einem Kühlkreis

Erläuterungen: Der Darstellungszeitraum beträgt 1 Monat auf Basis von 3-Minuten-Mittelwerten. Die spezifischen Werte sind auf die Maximalleistung bezogen.

Literaturquelle: [Interne Daten]

Es ist deutlich zu erkennen, dass nicht die gesamte im Prozess anfallende Abwärme in das Wärmenetz integrierbar ist. Dies manifestiert sich in den unterschiedlich großen Flächen unter den beiden Dauerlinien. Es ist aber auch eine Verflachung der Dauerlinien zu erkennen.

Einfluss auf den Konstanzfaktor:

- Konstanzfaktor der Abwärme (im Kühlkreislauf): 0,91 [-]
- Konstanzfaktor der Abwärmeauskopplung aus dem Kühlkreislauf: 0,94 [-]

7.4.10 Checkliste zur Erstbeurteilung einer Abwärmelieferung

	Abwärmequelle	Wärmenetz
PARAMETER		
WASSERMENGE		
	Minimum	Minimum
	Maximum	Maximum
VORLAUF		
	T_{min}	T_{min}
	T_{max}	T_{max}
	p_{min}	p_{min}
	p_{max}	p_{max}
RÜCKLAUF		
	T_{min}	T_{min}
	T_{max}	T_{max}
	p_{min}	p_{min}
	p_{max}	p_{max}
SPREIZUNG: $T_{VL} - T_{RL}$		
LEISTUNG		
	Minimum	Minimum
	Mittelwert	Mittelwert
	Maximum	Maximum
WÄRMEMENGE IN DER BETRACHTETEN PERIODE		
KENNZAHLEN		
KONSTANZFAKTOR		
	KF	KF
GRADIENTEN		
	G1	G1
	G2	G2
REGELGRAD		
	RG1	-
	RG2	-
MEDIUM		
ART (DAMPF, WASSER, SONSTIGES)		
QUALITÄT FERNHEIZWASSER (SALZFREI, SALZARM...)		
KONDITIONIERUNG		
SAUERSTOFFBINDUNG		

Legende:

- KF Konstanzfaktor
- G1 maximaler positiver Gradient
- G2 maximaler negativer Gradient
- RG1 positiv regelbarer Anteil der Wärmelieferung (aktive Erhöhung der Wärmelieferung)
- RG2 negativ regelbarer Anteil der Wärmelieferung (aktive Reduktion der Wärmelieferung)

8 Detailangaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie

Die Projektergebnisse dienen der verstärkten Nutzung von industrieller Abwärme als Energieträger in Wärmeverteilnetzen. Dies bewirkt eine Erhöhung der verteilten Wärmemenge bei gleichzeitiger Vermeidung von zusätzlichen Emissionen. Es wird ein entsprechender Wissenspool zur Integration dieses Produktes geschaffen.

Durch Einspeisung in ein Wärmeverteilnetz wird auch das politische Ziel, den Fernwärmeanteil zu erhöhen, unterstützt. Zusätzlich steigt die Wirtschaftlichkeit der beteiligten Unternehmen (Zusatzeinnahmen für die Abwärmelieferanten; günstige Wärmebereitstellung für die Netzbetreiber).

Sämtliche Erkenntnisse stehen den Involvierten zur Verfügung und stärken die Position dieser Branchen. In diesem Zusammenhang können auch weitere Branchen entstehen, die entsprechende Systemlösungen bzw. Zusatztechnologien mit dem Schwerpunkt einer sinnvollen Abwärmeintegration anbieten. Darüber hinaus fördert dieses Projekt die Entwicklung in Richtung eines nachhaltigen Wirtschaftssystems in Österreich.

8.1 Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie und den sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung

Das Projekt unterstützt das Gesamtziel der Programmlinie dadurch, dass die energetischen Verluste von Produktionsprozessen minimiert werden. Damit wird die Nachhaltigkeit einer energieintensiven, industriellen Produktion entscheidend verbessert und ein Beitrag zur Erhöhung der Gesamtenergieeffizienz der Volkswirtschaft geleistet.

Weiters schafft das Projekt die Grundlagen zur Definition eines Produkts "Wärme", das bei der herkömmlichen industriellen Produktion anfällt, und auf einem zusätzlichen Markt vermarktet werden kann. Das Projekt schafft dabei die nötigen Rahmenbedingungen zur Produktkalkulation, indem zusätzlich zu den nötigen Investitionskosten Aussagen über die Übereinstimmung von Wärmeeinfall und dem Wärmebedarf gemacht werden können. Dadurch wird auch eine Bewertung der Qualität des Produkts "Wärme" möglich.

Durch die Integration von Abwärmelieferanten und Wärmeversorgungsunternehmen bereits in der Projektdurchführung, wird ein frühzeitiger Know-how-Transfer gewährleistet.

Ein zentraler Punkt nachhaltiger Entwicklung ist die Steigerung der Energie- und Rohstoffeffizienz. Dementsprechend kommt einer verstärkten Nutzung von industrieller Abwärme aus der energieintensiven Produktion eine Schlüsselfunktion zu, wenn Schritte in Richtung verstärkter Nachhaltigkeit unternommen werden.

Die Nutzung der Abwärme ist dabei nicht nur auf Bereiche innerhalb der industriellen Produktion beschränkt, sondern soll vor allem außerhalb in Fernwärmesystemen erfolgen. Durch ein innovatives Kennzahlen- und Bewertungssystem können Prozesse zum einen bewertet und zum anderen als Konzeptvorschläge weiter ausgearbeitet werden.

Mit Hilfe des entwickelten Instrumentariums werden der Nachhaltigkeitsgedanke und auch die Effizienz in den einzelnen Unternehmen forciert, wodurch entscheidende Rahmenbedingungen für ein nachhaltiges Wirtschaftssystem geleistet werden. Aus einem strategischen Gesichtspunkt heraus wird eine umfassende Analyse der Randbedingungen für eine verstärkte Abwärmenutzung in Fernwärmesystemen geboten, die es in Hinkunft ermöglicht, schon bei der Planung industrieller Produktionssysteme eine optimale Nutzung von Abwärme vorzubereiten. Das bedeutet vor allem, dass die Abwärme in einer Form ausgekoppelt wird, die den Anforderungen der Wärmeverbraucher entspricht.

Durch die intensive Kooperation mit den betreffenden Interessensgruppen wurde schon während der Projektdurchführung ein Wissenstransfer ermöglicht. Zusätzlich ermöglichte diese Zusammenarbeit ein anwendungsorientiertes Ergebnis.

Die Energieeffizienz der österreichischen Wirtschaft ist im internationalen Vergleich sehr hoch. Durch das vorliegende Projekt wurden die Voraussetzungen geschaffen, durch verstärkte Abwärmenutzung die Energieeffizienz noch weiter zu steigern. Darüber hinaus können die Methoden und Erkenntnisse, die im Rahmen dieses Projektes erarbeitet wurden, international für vergleichbare Fragestellungen angewendet werden.

8.2 Einbeziehung der Zielgruppen und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Folgende Zielgruppen können anhand dieses Projektes identifiziert werden:

- Abwärmeproduzenten / Betriebe mit energieintensiver Produktion:
Diese können ihre Energieeffizienz durch eine verstärkte Abwärmenutzung erhöhen. Darüber hinaus entsteht durch das Produkt "Abwärme", das extern verkauft werden kann, eine zusätzliche Einnahmequelle.
- Fernwärmenetzbetreiber / Wärmeversorgungsunternehmen als Wärmeverteilnetzbetreiber:
Sie benötigen industrielle Abwärme zum Abdecken des Wärmebedarfes (bzw. eines Teils davon) in ihren Netzen.
- Fernwärmekunden im weiteren Sinne:
Fernwärmekunden erhalten günstige und „saubere“ Fernwärme.
- Gesellschaft im Allgemeinen:
Im weiteren Sinne kann auch die Gesellschaft im Allgemeinen als Zielgruppe identifiziert werden. Durch eine Erhöhung des Abwärmeanteils in der Fernwärme kann das nationale Ziel einer Ausweitung des Fernwärmeanteils am Gesamtwärmebedarf mit geringen zusätzlichen CO₂-Emissionen Rechnung getragen werden.

Ein wesentlicher Aspekt dieses Projektes ist die Informationsvermittlung gegenüber den Akteuren während der Durchführung, da sämtliche Projektinvolvierten begleitend informiert und eingebunden wurden. Sämtliche Zielgruppen wurden daher durch repräsentative Beteiligte von Projektbeginn bis Projektende größtmöglich involviert, wobei sich auch ein explizites Arbeitspaket dieses Projektes mit der Akquirierung zusätzlicher Akteursgruppen beschäftigt hat. In diesem Zusammenhang wurden schon von Beginn an enge Interaktionen an den Tag gelegt, wodurch schon während der Abwicklung ein entscheidender Know-how-Transfer zwischen den Beteiligten entstand. Weiters können dadurch Hemmnisse beseitigt werden, wobei gleichzeitig die Transparenz steigt. Dies wurde durch Workshops bzw. Partnerbesprechungen während des Projektes untermauert. Dadurch konnte gewährleistet werden, dass die Bedürfnisse und Problemstellungen der Zielgruppen erfasst wurden. Durch eine entsprechende Beteiligung an der Entwicklung dieses Instrumentariums, zielt dieses Projekt genau auf die Bedürfnisse der Zielgruppen ab, und es wurde dadurch ein praxisnahes und auch realistisches Ergebnis erreicht.

Weiters wurde mit entsprechender Projektkommunikation mit den Involvierten bzw. Zielgruppen ein praxisorientiertes Ergebnis bewerkstelligt. Durch direkte Kontaktaufnahme bzw. Vor-Ort-Besprechungen konnten die zentralen Problemstellungen der Beteiligten gut erhoben werden und schließlich Lösungswege erarbeitet werden. Dies bildete einen entscheidenden Teil des Risikomanagements.

8.3 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse

8.3.1 Marktpotenzial

Im Rahmen des Projektes wurde in einem gewissen Umfang auch die Marktsituation erhoben, wodurch auch dieser Einfluss dargestellt werden konnte und ein entsprechendes Marktpotenzial, nicht zuletzt durch eine explizite Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (siehe Abschnitt 7.4.8), für die Zielgruppen einfach abgeleitet werden kann. Für die Darstellung des Marktpotenzials der Projektergebnisse bestehen jedoch nach wie vor gewisse Unsicherheiten, da zwei unterschiedliche Märkte aufeinander treffen. Der Abwärmelieferant befindet sich mit seinen Produkten im vollständigen liberalen Markt, wohingegen der Wärmenetzbetreiber sich in einem weitgehend geschlossenen Markt befindet. Aus diesem Grund sind die Investitionshorizonte gänzlich verschieden. Dieser Umstand muss in Zukunft näher behandelt werden, damit diese Barriere beseitigt werden kann.

Eine wesentliche Zielsetzung des Projektes war die Förderung von geeigneten Mechanismen zur Integration von Abwärme in Wärmeverteilnetze. Es war daher von besonderer Bedeutung eine bestmögliche Verwendung dieser instationären Wärmequelle zu garantieren. Durch die große Transparenz und die zu Grunde gelegte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird dies stark unterstützt und eine Umsetzung gefördert.

8.3.2 Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial

Verbreitungspotenzial:

Das Projekt wird nach Durchführung in Form eines Endberichtes der Öffentlichkeit schriftlich vermittelt, wodurch sämtliche Ergebnisse verwertet werden können. Natürlich können die Ergebnisse auch auf der Antragsteller-internen Homepage eingesehen werden.

Weiters werden die Ergebnisse auch auf diversen Fachtagungen präsentiert (z. B. IAAE-Konferenz 2009) und dem Fachpublikum näher gebracht.

Schließlich wurde auch ein Abschlussworkshop vom Antragsteller durchgeführt, wobei sämtliche Ergebnisse präsentiert wurden, eine finale Diskussion mit den Projektpartnern durchgeführt wurde, und auch ein Ausblick gegeben bzw. Folgeaktivitäten diskutiert wurden.

In Bezug auf die Verbreitung der Ergebnisse wird auch beabsichtigt, dass diverse lokale und regionale Verbreitungsmedien in Anspruch genommen werden (z. B. Newsletter und Printmedien).

Aufgrund der beschriebenen Maßnahmen kann das Verbreitungspotenzial der Ergebnisse als hoch und zielgerichtet angesehen werden.

Realisierungspotenzial:

Ein Schwerpunkt dieses Projektes bestand in der größtmöglichen Integration sämtlicher Akteursgruppen. Hierdurch wurden diese in ihren Bestrebungen in Richtung einer verstärkten Nutzung von industrieller Abwärme unterstützt. Daher konnte gewährleistet werden, dass auf Schwachstellen und Verbesserungsmöglichkeiten hingewiesen werden konnte, wodurch das Realisierungspotenzial erheblich steigt.

Grundsätzlich sind die Ergebnisse dieses Projektes auf jedes beliebige Wärmenetz, und auch auf alle untersuchten Prozesse anwendbar. Eine genauere Abschätzung der Realisierungsmöglichkeiten ist aber schwierig, da die Umsetzbarkeit der Ergebnisse vom jeweiligen Umfeld bzw. der Marktsituation abhängt.

8.4 Potenzial für Demonstrationsvorhaben

Das Projekt zielt auf eine größtmögliche Demonstration der Ergebnisse ab. Zu diesem Zweck wurden anwendungsorientierte Lösungsvorschläge und Gestaltungsoptionen entwickelt, welche aufgrund der großen Praxisnähe direkt umgesetzt werden können.

Eine Demonstration der Ergebnisse berücksichtigt hierbei nicht nur den technischen Bereich, sondern auch den wirtschaftlichen Teil. Dieser ist in diesem Zusammenhang von großer Bedeutung, da technisch realisierbare Ergebnisse eine entsprechende Wirtschaftlichkeit, sowohl in der Errichtung, als auch im Betrieb mit sich bringen müssen.

Damit das Projekt in ein Demonstrationsvorhaben übergehen kann, sind geringe Vorarbeiten notwendig. Zum einen muss identifiziert werden, welche Kennzahlen für das entsprechende Unternehmen bzw. für den jeweiligen Prozess von Relevanz sind, und zum anderen muss die technische sowie wirtschaftliche Übereinkunft zwischen Abwärmelieferanten und Wärmenetzbetreiber bestimmt werden. Hier ist vor allem die genaue Definition der

Schnittstelle nötig, da hiervon die Wirtschaftlichkeit von Projekten entscheidend beeinflusst wird.

Im Vorfeld konnte von den Projektpartnern (Akteuren) eruiert werden, dass eine Umsetzung unterstützt bzw. in den mittelfristigen Planungen als Option enthalten ist. In diesem Zusammenhang können sich für die behandelten Teilprozesse Folgeprojekte ergeben, welche die gewonnen Erkenntnisse umsetzen. Diese Entwicklung stellt daher den nächsten Schritt einer Projektkette dar.

Im Sinne einer Entwicklungskette stellt dieses Projekt einen signifikanten Teil eines übergeordneten Entwicklungszieles dar, welches eine gesamtheitliche Betrachtung eines Systems, insbesondere einer Industrieregion vorsieht. Damit können Schritte in ein nachhaltiges und umweltschonendes Wirtschaftssystem unterstützt werden.

Das zu Grunde liegende Projektergebnis ist jedoch auch international ausgerichtet. Die Ergebnisse sind nicht unbedingt an bestimmte Regionen oder Wirtschaftssektoren gebunden, und sind damit international einsetzbar.

9 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Nutzung industrieller Abwärme ist ein sinnvoller Ansatz bei der Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz. Aus diesem Grund finden sich Empfehlungen zur Erhöhung des Abwärmeanteils an der Fernwärme in den nationalen und regionalen Energieplänen etc. Wegen der stark instationären Charakteristik industrieller Abwärme ist die Einbindung in externe Wärmenutzungssysteme (Fernwärme etc.) äußerst schwierig und wurde deshalb noch nicht in großem Umfang realisiert.

Mit dem vorliegenden Projekt wurde die Grundlage zu einer einheitlichen Bewertung der Instationaritäten sowohl der industriellen Abwärme, als auch des Wärmebedarfs in Wärmeverteilnetzen geschaffen. Mit der neu erarbeiteten Kennzahl Konstanzfaktor gelingt somit eine einheitliche Klassifizierung.

Es zeigt sich, dass sich die Abwärmenutzung direkt aus industriellen Produktionsprozessen in drei große Kategorien (Abwärme aus Rauchgasen, Abwärme aus Strukturkühlung und Abwärme aus Batch-Prozessen) einteilen lässt, die jeweils durch eine eigene Charakteristik und unterschiedliche Grade der Instationarität und der Gradienten gekennzeichnet sind. Dazu kommt noch Abwärme aus der Kühlung peripherer Aggregate, die in ihrer Charakteristik weniger instationär, dafür aber energetisch von untergeordneter Bedeutung ist. Diese verschiedene Charakteristik manifestiert sich in unterschiedlichen Konstanzfaktoren.

Auf der Seite der Wärmeverteilnetze zeigt sich, dass die Charakteristik des Wärmebedarfes wesentlich von der Jahreszeit beeinflusst ist. Das bildet sich wiederum in veränderlichen Konstanzfaktoren der Monate ab. Somit ist bei Überlegungen hinsichtlich der Integration von industrieller Abwärme z. B. in Fernwärmenetze eine getrennte Analyse der einzelnen Monate erforderlich, um brauchbare Erkenntnisse zu gewinnen.

Durch geeignete Auswahl und Kombination der Technologie der Wärmeauskopplung kann eine bewusste, positive Beeinflussung des Charakters der Abwärme (Instationarität, Gradienten, etc.) erreicht werden. Die wesentlichsten Faktoren liegen aber im Prozessdesign der industriellen Produktion begründet. Aus diesem Grund ist es äußerst schwierig allgemeingültige Aussagen bzw. Benchmarks zu Abwärmepotenzialen und –eigenschaften alleine auf Basis von Produktionsmengen der industriellen Produktion zu machen. Nur eine fundierte Analyse der einzelnen Abwärmequellen führt zu signifikanten Aussagen.

Mit dem im Rahmen dieses Projektes entwickelten Kennzahlensystem wird nicht nur die Basis zu einer energetischen Bewertung der Integration von Abwärme in Wärmenetze geschaffen, sondern auch für eine wirtschaftliche Bewertung. Somit wird einerseits mehr Transparenz an der Schnittstelle Abwärmelieferung – Wärmeverteilnetz geschaffen. Andererseits können die Effekte von Investitionen für zusätzliche Komponenten auf Seiten der Abwärmeauskopplung (z. B. führt der Einsatz eines Speichers zur Reduktion der

Instationarität zu einer Erhöhung der in das Netz integrierbaren Abwärme) quantitativ erfasst werden. Somit steht ein Instrumentarium zu einer verbesserten Kosten-Nutzen-Analyse zur Verfügung.

Letztlich kann mit den gewonnenen Ergebnissen eine realistische Einschätzung der Abwärmepotenziale erfolgen. Das ist wiederum für die Planung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen hilfreich. In der gegenwärtigen Situation der Fernwärmeaufbringung ist allerdings für industrielle Abwärme während der Sommermonate kaum mehr Platz in den Wärmeverteilnetzen. In diesem Zeitraum steht die Nutzung der Abwärme auch in direkter Konkurrenz zu regenerativen Energieträgern wie z. B. der Solarenergie. Deshalb kann in der Regel von keinem Ganzjahresbetrieb für die Lieferung industrieller Abwärme in Fernwärmenetze ausgegangen werden, was sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit dieser Wärmequelle auswirkt. Aus diesem Grund wird ohne ein Förderinstrumentarium die Nutzung der vorhandenen Potenziale schwierig sein. Allerdings besteht mit dem neuen österreichischen Wärme- und –kälteleitungsausbaugesetz ein auf diesen speziellen Bedarf zugeschnittenes Förderinstrumentarium.

10 Ausblick / Empfehlungen

Die Nutzung industrieller Abwärme in Wärmeverteilnetzen wird in Zukunft verstärkt erfolgen. Das ist auf die Vorteile von Abwärme im Zusammenhang mit den Emissionseinsparungen und mit den niedrigeren Primärenergiefaktoren im Vergleich zu anderen Möglichkeiten der Wärmebereitstellung für Wärmenetze zurückzuführen.

Die Integration der Abwärme in die (bestehenden) Wärmenetze ist allerdings wegen der instationären Charakteristik eine technische Herausforderung. Hierbei müssen folgende Aspekte beachtet werden:

- Instationäres Verhalten, Leistung, Leistungsgradient und Regelbarkeit der Abwärmequelle
- Instationäres Verhalten, Leistung und Leistungsgradient des Wärmenetzes
- Leistung, Leistungsgradient und Regelbarkeit der Wärmequellen im Netz
- Temperatur- und Druckniveaus, sowie die chemischen Anforderungen an das Wärmeträgermedium

Auf Basis dieser grundlegenden Daten kann eine detaillierte Planung der Abwärmeintegration durchgeführt werden. Dabei wird festgelegt, welche Komponenten nötig sind, und zu welchen Kosten die Integration der Abwärme erfolgt.

Aus diesen Aspekten heraus lassen sich folgende Empfehlungen für zukünftige Aktivitäten ableiten:

- Erhebung der relevanten Parameter (s. o.) der Abwärmequellen. Hierzu stellen die in diesem Projekt erarbeiteten Kennzahlen einen geeigneten Rahmen dar. Diese Erhebung kann sinnvoller Weise im Zusammenhang mit der Erstellung oder Aktualisierung von Abwärmekatastern erfolgen. Somit stehen mit Vorliegen der Abwärmekataster nicht nur Informationen zu Wärmemengen, sondern auch zu den technologischen Eigenschaften der jeweiligen Abwärmequellen zur Verfügung.
- Analog hierzu sollten die Parameter auch für die lokalen Wärmeverteilnetze und deren (bestehende) Wärmequellen erfolgen. Dadurch werden neben der Information zu den Abwärmequellen auch die Daten zu den Wärmesenken konsistent vervollständigt. Diese Arbeiten könnten gleichzeitig mit den Datenerhebungen zu den Abwärmekatastern durchgeführt werden.
- Parallel dazu wird die Schaffung einer Datenbank über realisierte Projekte der Abwärmeintegration in Wärmeverteilnetze empfohlen. In dieser Datenbank können neben den oben angeführten Parametern auch Informationen zur technologischen Konfiguration und zu den Betriebserfahrungen dokumentiert werden. Hierdurch entsteht eine "Wissensbasis Abwärmeintegration"

Generell gibt es eine sehr hohe Sensibilität und Aufmerksamkeit für die Thematik der Abwärmeintegration in Wärmeverteilnetze, sowohl von Seiten der Industriebetriebe mit Abwärmepotenzial, als auch von Seiten der Wärmeversorgungsunternehmen. Deshalb ist es angezeigt, dieses Interesse bestmöglich zu unterstützen.

11 Literaturverzeichnis

[AGFW]

AGFW – Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK eV

<http://www.agfw.de> (abgerufen am 06.05.09, 10:35)

[Atlas Copco]

Atlas Copco Kompressoren und Drucklufttechnik GmbH; „Handbuch der Drucklufttechnik“, 6. Ausgabe, Essen, 2003

[Baehr, Stephan]

Baehr H. D., Stephan K.; „Wärme- und Stoffübertragung“, 4. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg, 2004

[Baunetz 2009]

http://www.baunetz.de/sixcms_4/sixcms/detail.php?id=142942 (abgerufen am 06.05.09, 10:30)

[Beckmann, Gilli]

Beckmann G., Gilli P.V.: „Thermal Energy Storage“, Springer Verlag, Heidelberg, 1984

[Burgenländisches Energiekonzept]

Burgenländische Energieagentur: Burgenländisches Energiekonzept, Eisenstadt, 2003

[BVT-Merkblatt 2005]

Deutsches Umweltbundesamt; BVT-Merkblatt zu ökonomischen und medienübergreifenden Effekten; Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung; Anhang 12 – Externe Kosten für ausgewählte Luftschadstoffe; Dessau / Deutschland 2005

[CEN/CENELEC]

CEN/CENELEC Workshop Agreement CWA45547 (September 2004) "Manual for Determination of Combined Heat and Power (CHP)"

[CEN EN 15316-4-5:2007]

Europäisches Komitee für Normung; Heating systems in buildings - Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies - Part 4-5: Space heating generation systems, the performance and quality of district heating and large volume systems, Brüssel/Belgien, 2007

[Ecoheatcool 2006]

Euroheat & Power: "Ecoheatcool Project – reducing europe's consumption of fossil fuels in heating and cooling"; im Auftrag des EU Intelligent Energy Europe Programme; Brüssel 2006

[Emissionszertifikatengesetz 1]

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: 46. Bundesgesetz über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten (Emissionszertifikatengesetz – EZG), Wien, 2004

[Emissionszertifikatengesetz 2]

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: 135. Bundesgesetz, mit dem das Emissionszertifikatengesetz, BGBl. I Nr. 46/2004, geändert wird, Wien, 2004

[Emissionszertifikatengesetz 3]

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: 171. Bundesgesetz, mit dem das Emissionszertifikatengesetz geändert wird, Wien, 2006

[Energieeffizienzaktionsplan]

Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit: 1. Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreichs gemäß EU-Richtlinie 2006/32/EG, Wien, 2007

[Energiekonzept Vorarlberg]

Amt der Vorarlberger Landesregierung; „Neuigkeiten aus der Zukunft - Energiekonzept Vorarlberg 2010“, Abteilung Allgemeine Wirtschaftsangelegenheiten, Bregenz, 2001

[Energiekonzept Wien]

Amt der Wiener Landesregierung: Energiekonzept Wien (bestehend aus den Teildokumenten Energiepolitik, Energieversorgung, Rationelle Energieanwendung sowie Energie und Umwelt), 3. Fortschreibung des Energiekonzepts Wien, Wien, 1998

[Energieleitbild Salzburg]

Amt der Salzburger Landesregierung: Energieleitbild Salzburg, Abteilung 15 (Wirtschaft und Tourismus), Salzburg, 1997

[Energieleitbild Tirol]

Amt der Tiroler Landesregierung: Energieleitbild Tirol 2000 – 2020, „Untergruppe Energie“ des Tiroler Raumordnungsbeirates, Innsbruck, 2003

[Energieplan Steiermark]

Amt der Steiermärkischen Landesregierung: Energieplan 2005 – 2015 des Landes Steiermark; Fachabteilung 13B / Bau- und Raumordnung, Energieberatung, Büro des Landesenergiebeauftragten / Fachstelle Energie; Graz, 2005

[EU-Richtlinie 2003/87/EG]

Europäisches Parlament und Europäischer Rat: EU-Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates, Brüssel/Belgien, 2003

[EU-Richtlinie 2006/32/EG]

Europäisches Parlament und Europäischer Rat: EU-Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates, Brüssel/Belgien, 2006

[Gochenour 2003]

Gochenour C., et al.: "Regulation of heat and electricity produced in combined-heat-and-power plants"; World Bank; Infrastructure and Energy Department/Europe and Central Asia Region; Technical Paper; Washington/USA, 2003

[Kärntner Landesenergieleitlinien]

Amt der Kärntner Landesregierung: Kärntner Landesenergieleitlinien 2007 – 2015, Abteilung 15 Umwelt, Klagenfurt, 2006

[Krewitt 2006]

Krewitt W. et al.: Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern; Gutachten im Rahmen von Beratungsleistungen für das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Abteilung Energiepolitik und Energiesysteme; Karlsruhe 2006

[Kugeler, Phlippen]

Kugeler K., Phlippen P. W.: „Energietechnik - Technische, ökonomische und ökologische Grundlagen“, 2. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg, 1993

[Kyoto-Protokoll]

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Japan, 1997

[NAP 2]

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Nationaler Zuteilungsplan für Österreich gemäß § 11 Emissionszertifikatengesetz für die Periode 2008 – 2012 an die Europäische Kommission im Einklang mit Art. 9 der Richtlinie 2003/87/EG, Wien, 2007

[Niederösterreichisches Klimaprogramm]

Amt der Niederösterreichischen Landesregierung: Niederösterreichisches Klimaprogramm 09–12; Gruppe Raumordnung, Umwelt und Verkehr – Abteilung Umweltwirtschaft und Raumordnungsförderung; St. Pölten, 2009

[Oberösterreichisches Energiekonzept]

Amt der Oberösterreichischen Landesregierung: Energy 21 – 2. Phase des O.Ö. Energiekonzeptes, Abteilung Gewerbe, Linz, 2000

[Pauli 2009]

"Der Fernwärmespeicher in Linz"

Berliner Energietage 2009: "Mehr als Heizung und Warmwasser: Innovative Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung"

[Recknagel, Sprenger]

Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.-R.: "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik", 71. Auflage, Oldenburg Industrieverlag, München, 2003

[Rekuperator 2009]

http://www.rekuperator.info.pl/img/img_230.jpg (abgerufen am 05.05.09, 8:20)

[Schnell]

Schnell H.: "Wärmeaustauscher – Energiesparung durch Optimierung von Wärmeprozessen", 1. Auflage, Vulkan-Verlag, Essen, 1991

[Smole 2005]

Smole E., Theißing M., Melcher R., Stigler H., et al.: "Studie über KWK-Potenziale in Österreich"; Studie im Auftrag von Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Industriellenvereinigung, Verband der Elektrizitätsunternehmen Österreichs sowie Wirtschaftskammer Österreich; erstellt durch E-Bridge Consulting GmbH, Technisches Büro Dr. Theissing, Fachhochschule Joanneum Kapfenberg und Technische Universität Graz, 2005

[Steinmann]

Steinmann W. D.: „Thermische Speicherkonzepte für den Mitteltemperaturbereich“, Institut für Technische Thermodynamik Stuttgart, Persönliche Mitteilung / Weitergabe vom 10.04.09

[Theissing 2007]

Theissing M.: „Wärmepreise in KWK-Anlagen“, Vortragsunterlagen im Rahmen der Fernwärmetag 2007, Wien 2007

[Theissing 2008]

Theissing M.: „Wärmeversorgungs-Infrastruktur: Fernwärme ist umweltfreundlich, trifft aber auf starke Konkurrenz am Wärmemarkt“ in Bobik M. (Hsg.), „Infrastruktur - Motor nachhaltiger Wirtschaft“, Linde Verlag, Fachbuch Wirtschaft, Wien 2008

[Umweltbundesamt 2007]

Böhmer S., Fröhlich M., Köther T., Krutzler T., Nagl C., Pölz W., Poupa S., Rigler E., Storch A., Thanner G.: Österreichisches Umweltbundesamt GmbH; Bericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit und an das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft; Aktualisierung von Emissionsfaktoren als Grundlage für den Anhang des Energieberichtes; Wien 2007

[Umweltrechtsanpassungsgesetz]

Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich: 34. Bundesgesetz, mit dem das Personenkraftwagen-Verbraucherinformationsgesetz, das Abfallwirtschaftsgesetz 2002, das Emissionszertifikatengesetz und das Immissionsschutzgesetz-Luft geändert werden (Umweltrechtsanpassungsgesetz 2005), Wien, 2006

[VDI-Wärmeatlas]

Verein Deutscher Ingenieure: Gesellschaft für Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen; „VDI-Wärmeatlas“, 9. überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Verlag, Heidelberg, 2002

[VGB]

VGB Merkblatt Qualitätsanforderungen an Fernheizwasser VGB-M 410 N, VGB PowerTech e.V., Nachdruck 2004

**Diplomarbeiten an der Fachhochschule JOANNEUM GmbH / Studiengang
Infrastrukturwirtschaft mit themenrelevantem Bezug:**

- Fratzl J.: „Konzepte zur Wärmeversorgung eines Industriebetriebes“, Kapfenberg, 2005
- Kaiser A.: „Betriebsdatenbasierte Modellbildung des Fernwärmenetzes der LINZ AG zur vorausschauenden Ermittlung relevanter Fernwärmeführungsparameter“, Kapfenberg, 2008
- Leitner R.: „Einsatzoptimierung eines Fernwärmespeichers in einem Fernheizkraftwerk – Optimierungsmodell“, Kapfenberg 2004
- List R.: „Fernwärme Lastprognose“, Kapfenberg, 2003
- Orthofer C.: „Einsatzoptimierung eines Wärmespeichers in einem Fernheizkraftwerk - Optimierungsergebnisse, Beurteilung der KWK-Stromerzeugung“, Kapfenberg, 2004
- Reimann M.: „Analyse des horizontalen BREF Dokumentes „Economics and Cross-Media Effects“ auf Neuinvestitionen der voestalpine am Beispiel eines Abhitzekessels in der Feuerverzinkungsanlage“, Kapfenberg, 2006
- Schriefl M.: „Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen bei den Wärmebehandlungsöfen im Werk Deuchendorf der Böhler Edelstahl GmbH“, Kapfenberg, 2007

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Dauerlinie und mittlere Leistung einer Wärmequelle.....	13
Abbildung 2:	Beispiel für eine instationäre Dampferzeugung durch Abwärme.....	15
Abbildung 3:	Typischer spezifischer Lastgang in einem Fernwärmenetz.....	16
Abbildung 4:	Typische spezifische Jahresdauerlinie der Fernwärmeleistung	17
Abbildung 5:	Wärmespezifische externe Kosten ausgewählter Wärmetechnologien basierend auf Erdgas	40
Abbildung 6:	Beispiel für eine Heizkurve eines Fernwärmenetzes einer größeren Stadt.....	44
Abbildung 7:	Typischer Jahreslastgang eines städtischen Fernwärmenetzes	45
Abbildung 8:	Spezifische Jahresdauerlinie eines städtischen Fernwärmenetzes.....	45
Abbildung 9:	Spezifische Dauerlinie für die Wintermonate (Dezember bis Februar) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate).....	46
Abbildung 10:	Spezifische Dauerlinie für das Frühjahr (März bis Mai) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate).....	46
Abbildung 11:	Spezifische Dauerlinie für die Sommermonate (Juni bis August) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate).....	47
Abbildung 12:	Spezifische Dauerlinie für den Herbst (September bis November) eines städtischen Fernwärmenetzes (bezogen auf die Maximalleistung dieser Monate)	47
Abbildung 13:	Maximale negative und positive Leistungsgradienten in einem typischen Fernwärmenetz (bezogen auf die Maximalleistung im jeweiligen Monat).....	48
Abbildung 14:	Stoßöfen in der Stahlindustrie	51
Abbildung 15:	Dauerlinie der Abwärmelieferung ausgewählter Monate eines Stoßofens in der Stahlindustrie	52
Abbildung 16:	Dampflieferung aus der Schienenkühlung eines Hubbalkenofens in der Stahlindustrie.....	53
Abbildung 17:	Dauerlinie einer Sattdampflieferung ausgewählter Monate aus der Schienenkühlung eines Hubbalkenofens in der Stahlindustrie.....	54
Abbildung 18:	Sattdampflieferung eines Batch-Prozesses in einem Stahlwerk	54
Abbildung 19:	Dauerlinie der Sattdampflieferung aus Batch-Prozessen ausgewählter Monate in der Stahlindustrie	55
Abbildung 20:	Leistungsgradienten unterschiedlicher Abwärmequellen	57
Abbildung 21:	Häufigkeitsverteilung der Leistungsgradienten einer Abwärmelieferung aus einem Hubbalkenofen.....	58

Abbildung 22:	Dauerlinie der Dampflieferung eines Stoßofens ausgewählter Monate in der Stahlindustrie bei unterschiedlicher Produktionsauslastung	60
Abbildung 23:	Verlauf der spezifischen Dampflieferung bei Stoßöfen und einem Hubbalkenofen.....	62
Abbildung 24:	Effekt der Parallelschaltung von 2 Batch-Prozessen eines ausgewählten Monats in der Stahlindustrie in Bezug auf die Leistungsabgabe	63
Abbildung 25:	Dauerlinie der Abwärmelieferung eines Stoßofens mit und ohne Betrieb der Bypassklappe in der Stahlindustrie.....	64
Abbildung 26:	Input- und outputseitiger Sattdampfdurchsatz sowie Druckverhältnisse im Betrieb eines Sattdampfspeichers	66
Abbildung 27:	Dauerlinien des Inputs und des Outputs eines Sattdampfspeichers.....	66
Abbildung 28:	Stoffströme eines Rekuperators	69
Abbildung 29:	Schematische Darstellung der verschiedenen Fluidführungen bei Wärmetauschern	70
Abbildung 30:	Rohrbündel-Wärmetauscher mit U-Rohren	71
Abbildung 31:	Plattenwärmetauscher.....	72
Abbildung 32:	Spezifische Kosten von ausgewählten Wasser/Wasser-Wärmetauschern	74
Abbildung 33:	Spezifische Kosten unterschiedlicher Wärmetauscher	76
Abbildung 34:	Spezifische Kosten von ausgewählten Abgaswärmetauschern	78
Abbildung 35:	Spezifische Kosten von ausgewählten Wasser/Wasser- und Dampf/Wasser-Wärmetauschern	79
Abbildung 36:	Wirkungsweise eines Regeneratorpaars.....	81
Abbildung 37:	Längs- und Querschnitt eines Winderhitzers nach Cowper	83
Abbildung 38:	Regenerator mit drehender Speichermasse.....	84
Abbildung 39:	Schematische Darstellung von Heißwasserspeichern	89
Abbildung 40:	Schematische Darstellung eines Gleitdruckspeichers.....	91
Abbildung 41:	Spezifische Kostenverhältnisse unterschiedlicher Fernwärmespeichertechnologien	92
Abbildung 42:	Prinzipdarstellung eines PCM-Speichers	94
Abbildung 43:	Dauerlinie und mittlere Leistung einer Wärmequelle.....	98
Abbildung 44:	Schematische Darstellung der Regelgrade	100
Abbildung 45:	Spezifische Dauerlinie der Leistung und Wärmebedarf eines Wärmeverteilnetzes.....	101
Abbildung 46:	Abdeckung des momentanen thermischen Leistungsbedarfs eines Verteilnetzes durch verschiedene Wärmequellen.....	102
Abbildung 47:	Vollständige Integration einer instationären, nicht regelbaren Abwärmequelle in ein Wärmenetz.....	103
Abbildung 48:	Integration einer instationären Abwärmequelle in ein Wärmenetz auf Basis gleicher mittlerer Leistungen.	104

Abbildung 49:	Kostenbandbreite für Wärme in KWK-Anlagen	108
Abbildung 50:	Konstanzfaktor eines Stoßofens.....	110
Abbildung 51:	Konstanzfaktor zweier Stoßöfen bei Parallelbetrieb	110
Abbildung 52:	Konstanzfaktor eines Hubbalkenofens	111
Abbildung 53:	Konstanzfaktor eines Tiegel-Blasevorganges	112
Abbildung 54:	Konstanzfaktor zweier parallel geschalteter Tiegel	112
Abbildung 55:	Konstanzfaktoren eines Fernwärmenetzes	113
Abbildung 56:	Dauerlinien des Inputs und des Outputs eines Sattdampfspeichers.....	114
Abbildung 57:	Wärmeauskopplung aus einem Kühlkreis	115

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Energieleitlinien von Burgenland, Kärnten, Nieder- und Oberösterreich im Überblick.....	36
Tabelle 2:	Energieleitlinien von Salzburg, Steiermark, Tirol, Vorarlberg und Wien im Überblick.....	37
Tabelle 3:	CO ₂ -Emissionsfaktoren und korrespondierende spezifische Kosten unterschiedlicher erdgas-basierender Wärmetechnologien.....	39
Tabelle 4:	NO _x -Emissionsfaktoren und korrespondierende spezifische Kosten unterschiedlicher erdgas-basierender Wärmetechnologien.....	39
Tabelle 5:	Relevante Parameter ausgewählter österreichischer Fernwärmenetze.....	43
Tabelle 6:	Richtwerte für ausgewählte Parameter von salzarmen Kreislaufwasser.....	49
Tabelle 7:	Spezifische Dampf- und Wärmelieferung ausgewählter Monate zweier Stoßöfen.....	61
Tabelle 8:	Spezifische Dampf- und Wärmelieferung ausgewählter Monate eines Hubbalkenofens.....	61
Tabelle 9:	Ausgewählte Daten von Wasser/Wasser-Wärmetauschern in Platten- und Rohrbündelausführung.....	74
Tabelle 10:	Ausgewählte Daten unterschiedlicher Wärmetauscher.....	77
Tabelle 11:	Ausgewählte Daten von unterschiedlichen Abgaswärmetauschern.....	78
Tabelle 12:	Ausgewählte Daten von Dampf/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmetauschern.....	80
Tabelle 13:	Einfluss der Werkstoffe auf die spezifischen Kosten von Wärmetauschern.....	85
Tabelle 14:	Abwärmequelle und typische Konstanzfaktoren.....	113

14 Formelverzeichnis

Formel 1:	Konzstanzfaktor.....	12
Formel 2:	Reaktionsgleichung Hydrazin - Sauerstoff	50
Formel 3:	Konstanzfaktor.....	97
Formel 4:	Maximaler und minimaler Leistungsgradient.....	99
Formel 5:	„Positiver“ und „negativer“ Regelgrad.....	99
Formel 6:	Regelbare Restwärmemenge im Netz bei vollständiger Abwärmeintegration.....	103
Formel 7:	Äquivalenzpunkt.....	103
Formel 8:	Zu ergänzende Restwärmemenge bei Abwärmeintegration mit äquivalenter mittlerer Leistung	104
Formel 9:	Wärmebilanz.....	105
Formel 10:	Bestimmung der Zusatzwärme für Abwärmeintegration außerhalb des Äquivalenzpunktes	105
Formel 11:	Bestimmung des Kühlbedarfes für Abwärmeintegration außerhalb des Äquivalenzpunktes	105

15 Formelzeichen- und Abkürzungsverzeichnis

a. Formelzeichen

G	Gradient
KF	Konstanzfaktor
P	Leistung
P'	nach Regeleingriff mögliche Leistung
P*	nutzbare Leistung
p	Druck
Q	Wärmemenge
ΔQ	Differenzwärme
q	Durchflussmenge
RG	Regelgrad
T	Temperatur
ΔT	Temperaturdifferenz
t	Zeit

b. Indices

Abwärme	Abwärmequelle
kühl	wegzukühlen
max	maximal
min	minimal
mittel	mittel
Netz	(Wärme)Netz
RL	Rücklauf
U	Umgebung
VL	Vorlauf
Zusatz	Zusätzlich

c. Abkürzungen

EEAP	Energieeffizienz-Aktionsplan
ETS	Emission Trading Scheme
KWK	Kraft Wärme Kopplung
PCM	Phase Change Material

16 Anhang

16.1 AP1 – Akquirierung weiterer Akteursgruppen

Folgende Unternehmen nahmen direkt am Projekt teil (Bereitstellung von Prozessdaten etc.):

Zusage bei Antragstellung (mittels LOI):

- Voestalpine Stahl Donawitz GmbH Co & KG
Kerpelystrasse 199
A-8700 Leoben
- Voestalpine Stahl GmbH
Voestalpine-Straße 3
A-4020 Linz
- Böhler Edelstahl GmbH
Mariazellerstraße 25
A-8605 Kapfenberg
- FERNWÄRME Wien GmbH
Spittelauer Lände 45
A-1090 Wien
- Linz Strom GmbH
Wiener Straße 151, Postfach 5009
A-4021 Linz
- Steirische Gas-Wärme GmbH
Gaslaternenweg 4
A-8041 Graz

Akquirierung in der ersten Projektphase:

- Treibacher Industrie AG
Auer von Welsbach Strasse 1
A-9330 Althofen
- Marienhütte - Stahl- u. Walzwerk Gesmbh
Südbahnstraße 11
A-8021 Graz
- Stadtwerke Kapfenberg GmbH
Stadtwerkestrasse 6
A-8605 Kapfenberg
- Energie Graz GmbH & Co KG
Schönaugürtel 65
A-8010 Graz

Detailaspekte (technologische und legistisch) wurden mit folgenden Stellen geklärt:

- German Aerospace Center (DLR)
Institute of Technical Thermodynamics (ITT)
Pfaffenwaldring 38-40
D-70569 Stuttgart
- RHI AG
Wienerbergstraße 11
1100 Wien
- Umweltbundesamt
Spittelauer Lände 5
1090 Wien
- GU GmbH
Thaddäus Stammelstr. 49
8052 GRAZ
- Allplan GmbH
Schwindgasse 10
1040 Wien
- Salzburg AG
Elisabethkai 54
5020 Salzburg

16.2 Protokoll des 1. Workshops am 7.5.2008

TeilnehmerInnen:

- Ingrid Theißing-Brauhart (TB Dr. Ingrid Theißing-Brauhart - **TB**);
- Manfred Tragner, Alois Kraußler, Martin Schloffer, Michael Bobik, Matthias Theißing (FH JOANNEUM - **FHJ**);
- Sebastian Krger (Voestalpine Donawitz)
- Herbert Luckabauer, Rudolf Kaufmann (Bhler Edelstahl)
- Timo Riegel (Stadtwerke Kapfenberg)
- Adolf Penthor (Fernwärme Wien)
- Manfred Fderl (Linz AG)
- Peter Schlemmer (Energie Graz)
- Thomas Maier (Treibacher Industrie AG)

Weitere Kontaktpersonen, jedoch nicht anwesend:

- Wolfgang Sparlinek (Voestalpine Linz)
- Christian Redtenbacher (Energie Steiermark)

DERZEITIGER STAND:

Das Projekt "Instationarität von industrieller Abwärme als limitierender Faktor bei der Nutzung und Integration in Wrmevertei- und Wärmenutzungssystemen" im Rahmen der Programmlinie "Fabrik der Zukunft" wurde von der FFG bewilligt. Der Projektstart erfolgte im April.

Derzeit werden weitere Interessenten (industrielle Abwärmeproduzenten und Fernwärmenetzbetreiber) gesucht, welche an diesem Projekt aktiv mitarbeiten wollen und auch dementsprechend Daten zur Verfügung stellen können. Weiters wurde ein Startworkshop mit sämtlichen Projektbeteiligten organisiert.

INHALTE:

Ein wesentlicher Aspekt im Rahmen dieses Projektes ist die Einbindung von Erfahrungen und Daten aus der betrieblichen Praxis in die Projektdurchführung von industriellen Abwärmeproduzenten und Fernwärmenetzbetreibern. Hierfür sind im Projektablauf Workshops vorgesehen, in denen die Fragestellungen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen diskutiert werden sollen.

Die wesentlichen Inhalte der Diskussion des ersten Workshops über Erfahrungen, Probleme, Anregungen und Anforderungen werden nachfolgend zusammengefasst:

Aus Sicht der Fernwärmenetzbetreiber:

- Potenzielle Ausfälle der industriellen Abwärmeproduktion erfordern „teure“ Ersatzlieferungen und können große Probleme verursachen (v. a. in den Sommermonaten).
- Mindestparameter müssen in Fernwärmenetzen eingehalten werden (Temperaturen, Drücke, Temperaturdifferenzen, Massenströme, etc.)
 - o Die Technischen Richtlinien als Grundlage der Auslegung von Übergabestationen der Kunden müssen eingehalten werden.
 - o Kurzfristige Temperaturanstiege und Mengenschwankungen können in einem Netz mit vielen Übergabestationen zu Problemen führen. Als Folge davon könnte sich das System „aufschaukeln“, wobei sich negative Auswirkungen auf die Regelung und dessen Instrumente ergeben können.
 - o Eine Unterschreitung gewisser Mindesttemperaturen kann auch negative Auswirkungen auf den Endabnehmer haben (z. B. Einfrieren von Hauslüftungssystemen).
 - o Graz: Vorrangig bewirken Mengenschwankungen der Abwärmelieferung Probleme u. nicht Temperaturschwankungen.
 - o Mengenänderungen der Abwärmelieferung müssen so gering wie möglich sein.
 - o Temperatur- und mengenstabiler Betrieb wäre ideal.
- Netzpuffer sind nur nach oben hin möglich (in Grenzen höhere Drücke bzw. Temperaturen möglich), jedoch nicht nach unten hin realisierbar.
- Unterschiedliche zulässige Höchsttemperaturen in den Fernwärmenetzen bewirken auch unterschiedliche zu berücksichtigende Probleme und Anforderungen, welche explizit ausgearbeitet werden sollen.
- Die Netzgröße hat einen wesentlichen Einfluss auf die selbstständige Pufferwirkung bzw. Verträglichkeit von Schwankungen der Abwärmelieferung u. soll berücksichtigt werden.
- Ein beträchtlicher Teil der Abwärme kann aufgrund der Instationarität nicht in Fernwärmenetzen genutzt werden. Wärmespeichertechnologien u. –medien könnten einen Ausgleich der Schwankungen bewirken. Dann ist allerdings das Temperaturniveau niedriger.
- Technische Möglichkeiten zur signifikanten Erhöhung des Temperaturniveaus der Abwärmelieferung in Fernwärmenetzen fehlen derzeit. Vor allem im Winterbetrieb wäre eine höhere Temperatur nötig.
- Die Fernwärmenetzkonfiguration muss für die jeweilige Identifikation der Probleme berücksichtigt werden (Beispiele: Verbund- bzw. Maschennetz sowie Anzahl der

- Einspeisestationen – mehrere Einspeisestationen können sich gegenseitig ausregeln bzw. gegen Ausfall absichern).
- Die Versorgungssicherheit gegenüber den Endkunden muss unter allen Umständen aufrecht erhalten werden.
 - Fahrplanerstellung für die Industrie wäre in Hinblick auf die Abwärmenutzung vorteilhaft, doch nicht realistisch (zumindest nicht unter gegebenen Abwärmepreisen – Kosten/Nutzen-Frage)
 - Wie kann eine in Summe große Abwärmemenge, welche jedoch an vielen dezentralen Einspeisestationen in geringen Mengen eingespeist wird, technisch u. wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden.
 - Kriterien für die Wirtschaftlichkeit fehlen:
 - o Art der Abwärmequelle bestimmt die Kosten der Abwärmeproduktion (z. B. günstige Abwärme aus Müllverbrennungsanlagen)
 - Speichertechnologien u. –medien sollten untersucht werden und ein Kosten-/Nutzen-Verhältnis dargestellt werden.
 - o Nutzung von Speichern von solarthermischen (Groß)Anlagen.
 - o Sind dezentrale Speichertechnologien sinnvoll verwendbar? Eine Einspeisung und Speicherung von Abwärme in Sekundärnetzen mit einer niedrigeren Vorlauftemperatur (< 95°C) wäre eine Möglichkeit.
 - Gibt es weitere, sinnvoll einsetzbare Wärmeträgermedien (z. B. Öl), mit denen höhere Temperaturen und Drücke erreicht werden können.
 - Aufschlüsselung der Probleme und Anforderungen der Fernwärmenetzbetreiber in Netze von z. B. > 100°C und < 100°C.
 - Instationäre Abwärmelieferungen bringen Regelungsprobleme des Fernwärmenetzes mit sich:
 - o Falsche Wetterprognosen bringen noch größere Instationaritäten, da schnelle Ausgleichmaßnahmen durchgeführt werden müssen (weil der Bedarf ganzheitlich steigt bzw. sinkt).

Aus Sicht der Abwärmeproduzenten:

- Die industrielle Produktion darf durch die Abwärmenutzung nicht gestört werden.
- Welche Anforderungen an den Abwärmeproduzenten hat ein Fernwärmenetzbetreiber?
 - o Welche Relevanz hat eine Ausfallsreserve?
 - o Wie ist die Kostensituation für den Betrieb u. die Wartung eines Fernwärmenetzes bzw. für die Errichtung eines neuen Fernwärmenetzes?
 - o Forderung der Kostenwahrheit: Sowohl für bestehende Netze (Vergleich zwischen Netzen, welche von der Industrie selbst od. vom Netzbetreiber installiert wurden), als auch für neue Netze.
- Gibt es weitere, nutzbare (ev. kleinere) Abwärmequellen innerhalb der Produktion, wie hoch ist dieses Potenzial und wie können sie gebündelt werden?
- In welchem Temperatur- und Mengenbereich können Schwankungen ohne Probleme in Kauf genommen werden?
- Die Einspeisung der anfallenden Abwärme steht in Konkurrenz mit dem unternehmensinternen Bedarf.
- Die Qualität der anfallenden Rauchgasströme (Stichwörter: Schadstoffe u. Staub) verhindert eine vollständige Nutzung technisch relevanter Potenziale (jene Potenziale, welche ein dementsprechendes Temperaturniveau bei der Nutzung mit sich bringen würden).
- Untersuchung relevanter Wärmetauscher in Bezug auf deren Anforderungen und Qualität (z. B. Material – schadstoffhaltige Rauchgase können oft nicht direkt in einen Wärmetauscher überführt werden).
 - o Durch entsprechende Wärmetauscher könnte ein besseres Temperaturgefälle auch für schadstoffhaltige Rauchgase erreicht werden.

- Eine Umsetzung ist grundsätzlich nur eine Frage der Kosten. Daher müssen auch diese Daten miterhoben werden.
- Technologische Probleme können auch an Komponenten, die den Wärmetauschern nachgelagert sind (z. B. Kamine), auftreten.
- Technologie, Arten, Kosten und Materialien der Abhitzeessel müssen genauer erhoben werden.
- Ein nicht zu vernachlässigender Punkt ist auch der Wärmetransport und eine ev. Wärmenutzung innerhalb der Industrie. Diese Systeme sind zumeist über einen langen Zeitraum gewachsen. Hier können Rahmenbedingungen (z. B. Temperaturspreizungen) die Nutzungsmöglichkeit von Abwärme entscheidend beeinflussen.

Generell wird festgehalten, dass die Nutzung von Abwärme wie eine normale Einspeisung in ein Fernwärmenetz zu betrachten ist. Es ist jedoch eine exakte Definition der Schnittstelle Abwärmelieferant (Industrie) – Wärmenetzbetreiber nötig.

WEITERES VORGEHEN:

- Kontaktaufnahme zu weiteren Projektinteressierten (FHJ, TB)
- Sammeln weiterer Anmerkungen, Probleme und Fragestellungen (alle)
- Aussendung einer „Checkliste“ über benötigte Daten an die Abwärmeproduzenten und Fernwärmenetzbetreiber (FHJ)
- Übermittlung der geforderten Daten bis tt.mm.jj an die FH JOANNEUM (externe Projektpartner)
- Aufbereitung der Daten (FHJ)
- Fokussierung auf die zentralen Fragestellungen und Anregungen (FHJ, TBTB)
- Behandlung der ausgearbeiteten Fragestellungen (FHJ, TBTB)

VERTEILER:

Theißing-Brauhart
 Tragner
 Kraußler
 Schloffer
 Bobik
 Theißing
 Kröger
 Luckabauer
 Kaufmann
 Riegel
 Maier
 Penthor
 Förderl
 Schlemmer
 Sparlinek
 Redtenbacher

16.3 Protokoll des Ergebnisworkshops am 28.9.2009

TeilnehmerInnen:

- Ingrid Theißing-Brauhart (TB Dr. Ingrid Theißing-Brauhart - **TB**);
- Michael Bobik, Matthias Theißing, Michael Wanek (FH JOANNEUM - **FHJ**);
- Herbert Luckabauer, Rudolf Kaufmann, Andreas Feigele (Böhler Edelstahl)
- Timo Riegel (Stadtwerke Kapfenberg)
- Reinhold Hüttmann (GU-GmbH)
- Adolf Penthor, Andreas Pschick (Fernwärme Wien)
- Günter Hofer (Linz AG)
- Thomas Maier (Treibacher Industrie AG)

1. VORSTELLUNG DER PROJEKTERGEBNISSE:

Es werden die wesentlichen Projektergebnisse des Projekts "Instationarität von industrieller Abwärme als limitierender Faktor bei der Nutzung und Integration in Wärmeverteil- und Wärmenutzungssystemen" vorgestellt:

- Rahmenbedingungen für die Abwärmenutzung
- Charakteristik von Fernwärmenetzen
- Charakteristik industrieller Abwärme
- Bewertungskennzahlen
- Aspekte der Integration von Abwärme in Fernwärmenetze

DISKUSSION:

Ausgehend von den Projektergebnissen werden Detailaspekte diskutiert:

- **Abwärmepotenziale:**
Mit den erarbeiteten Kennzahlen lassen sich die Abwärmepotenziale ermitteln. Die Realisierung dieser Potenziale muss allerdings für jeden Fall einzeln geprüft werden, da die lokalen Randbedingungen für die Auskopplung äußerst verschieden sind.
- **Kosten der Abwärme:**
Eine Aussage zu den Kosten von Abwärme wäre wünschenswert. Allerdings kann wegen der nicht vergleichbaren Situationen keine allgemeingültige Aussage gemacht werden. Es hat sich gezeigt, dass bei praktisch vergleichbaren Anlagen Amortisationszeiten von 4 bis 25 Jahren erzielt wurden. Das liegt einerseits an den unterschiedlichen technischen Randbedingungen, andererseits sind die Schnittstellen zwischen Abwärmelieferanten und Wärmenetzbetreibern hinsichtlich Investitions- und Betriebsgrenzen für jedes Projekt verschieden.
- **Schnittstelle Abwärmelieferant-Wärmenetzbetreiber:**
In einem konkreten Fall von Abwärmeauskopplung in ein Fernwärmenetz wird das wirtschaftliche Risiko durch den Wärmenetzbetreiber getragen. Die Installation und der Betrieb der Anlagen zur Wärmeauskopplung erfolgt durch den Wärmenetzbetreiber. Durch die Nutzung eines Verbundsystems beim Industriebetrieb kann gewonnene Abwärme, die momentan nicht in das Fernwärmenetz eingespeist werden kann, dem werksinternen Wärmenetz zur Verfügung gestellt werden. In Zeiten mit produktionsbedingter Minderlieferung von Abwärme muss der Wärmenetzbetreiber die dadurch fehlende Wärme im Netz durch eigene Anlagen bereitstellen.
- **Auskopplung von Abwärme aus Kühlkreisen:**
Aus Sicht der Instationarität ist das eine günstige Option. Der Industriebetrieb erspart sich jedoch keine Einrichtungen zur "Abwärmevernichtung" z. B: durch Kühltürme, da diese zur Aufrechterhaltung der Produktion unabdingbar sind, wenn es z. B. keinen Wärmebedarf im Wärmenetz gibt. Eine Auskopplung der Abwärme in Wärmenetze ist also in jedem Fall mit zusätzlichen Investitionskosten verbunden.

- **Temperaturniveau der Abwärme:**
Das Temperaturniveau der industriellen Abwärme liegt oft unter den erforderlichen Vorlauftemperaturen im Wärmenetz (v. a. wenn die Abwärme aus mit Wasser betriebenen Kühlkreisen ausgekoppelt wird). Das führt in einzelnen, bereits realisierten Anwendungsfällen dazu, dass zu Spitzenlastzeiten im Winter, in denen hohe Vorlauftemperaturen erforderlich sind, keine Abwärmenutzung im Wärmenetz möglich ist. Eine Möglichkeit hierbei wäre das Zulassen von lokal niedrigeren Vorlauftemperaturen im Netz, wenn sich der Einfluss der Abwärmelieferung nur auf einen lokal begrenzten Netzbereich beschränkt. Hierzu ist eine Vergrößerung der Wärmetauscherflächen in den Wärmeübergabestationen zu den Verbrauchern erforderlich. Andererseits könnten Effekte eines reduzierten Wärmebedarfs bei gleich bleibenden Wärmeübergabestationen durch die fortschreitende thermische Sanierung der Gebäude genutzt werden. In jedem Fall müssen hierzu aber die einzelnen, individuellen Randbedingungen analysiert werden.
Bei der Nutzung von Abwärme in innerbetrieblichen Wärmenetzen sind oft die Vorlauftemperaturen extrem hoch, da aus diesen Netzen auch Prozesswärmeverbraucher versorgt werden. Somit verhindert teilweise ein einzelner Prozesswärmebedarf eine umfassende Abwärmenutzung. Zur Behebung dieses Problembereiches ist z. B. eine Aufteilung des Wärmenetzes in verschiedenen Temperaturniveaus erforderlich. Grundsätzlich ist ein Abgehen von einer rein zentralen, innerbetrieblichen Versorgung mit Wärme und anderen Medien oft eine wirtschaftlich bessere Alternative.
- **Sommerbetrieb:**
Fernwärmenetze sind im Sommer durch einen sehr niedrigen Wärmeverbrauch gekennzeichnet. Dieser Sommerbedarf wird in vielen Netzen bereits heute aus billigen Wärmequellen (Wärme aus Müllverbrennung, aus Biomasse-KWK-Anlagen oder aus großen Solaranlagen) gedeckt. Für die industrielle Abwärme ist somit in diesem Zeitraum kein Platz, wodurch die Nutzungsdauer der Abwärme reduziert und die spezifischen Kosten dieser Wärmequelle erhöht werden. Mittelfristig ist nicht von einem Ganzjahresbetrieb auszugehen. Generell steht industrielle Abwärme in direkter Konkurrenz zu regenerativen Energieträgern wie z. B. Solarwärme. Deshalb sollten alternative Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme (z. B. zur Stromerzeugung in ORC-Anlagen) mit betrachtet werden.
- **Förderungen:**
Ohne Förderung wird demnach nicht mit der Nutzung großer Abwärmepotenziale zu rechnen sein. Es wird also ein speziell abgestimmtes Förderinstrumentarium gefordert. Diese Förderungsschiene gibt es bereits mit dem "Fernwärme- und – kälteleitungsausbaugesetz", das allerdings bis jetzt nicht mit großen Mitteln dotiert ist. Hier sollte eine verstärkte Initiative erfolgen, damit "Leuchtturmprojekte" entstehen und weiterentwickelt werden können.

ABSCHLUSS:

Abschließend wird vom Projektteam den anwesenden Vertretern aus Industrie und Wärmewirtschaft Dank für die gute und fruchtbringende Zusammenarbeit ausgesprochen.

WEITERES VORGEHEN:

- Zusendung des Protokolls und der Präsentationsfolien des Ergebnisworkshops an die Teilnehmer
- Adaptierung und Finalkorrektur des Endberichtes
- Sobald der Endbericht durch die FFG freigegeben ist und zum download zur Verfügung steht werden die Teilnehmer davon informiert

VERTEILER:

Theißing-Brauhart

Bobik, Theißing, Wanek

Luckabauer, Kaufmann, Feigele

Riegel

Hüttmann

Penthor, Pschick

Hofer

Maier

weilers:

Schlemmer

Sparlinek

Kröger

Redtenbacher