

# **Nutzung von Abwärme im Gewerbe: Fallbeispiel Bäckereien.**

## **BACHELORARBEIT**

zum Erlangen des akademischen Grades Bachelor of  
Science, Stadtplanung

BACHELORARBEIT

EINGEREICHT DURCH:

**KARLA RIKA MÜLLER**

**3016700**

BETREUT DURCH:

PROF. IRENE PETERS, PHD

ESTEBAN MUNOZ, MSC

HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG

FAKULTÄT STADTPLANUNG, FACHGEBIET INFRASTRUKTURPLANUNG

UND STADTTECHNIK

06. FEBRUAR 2013

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen und Unternehmen bedanken, die mich beim Schreiben dieser Bachelor-Thesis unterstützt haben.

Besonderer Dank geht an die Eigentümerinnen und Eigentümer der Bäckereien, die ich befragt habe und die mich durch ihren Betrieb geführt haben, mir alles erklärt haben und anschließend für weitere Fragen zur Verfügung standen.

Außerdem danke ich meiner Familie, meinem Freund und meinen Freundinnen, die mir mit konstruktiven Gesprächen immer wieder neue Motivation geschenkt haben. Besonders danke ich meinem Vater, der mir mit seiner Expertise immer wieder hilfreiche Anstöße geben konnte und mit dem es viel Spaß gemacht hat die Thematik zu diskutieren.

Ich danke Irene Peters und Esteban Munoz für die Unterstützung bei der Bearbeitung des Themas.

Zum Schluss möchte ich der IBA Hamburg danken, durch die ich überhaupt erst die Idee bekommen habe Stadtplanung zu studieren.

## Inhalt

Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
<b>1. Anlass und Fragestellung</b>	<b>1</b>
1.1 Gang und Aufbau der Untersuchung	3
<b>2. Abwärme</b>	<b>4</b>
2.1 Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme	4
2.1.1 Direkte Nutzung im Betrieb	5
2.1.1.1 Heizen	6
2.1.1.2 Kühlen	6
2.1.1.3 Strom	6
2.1.2 Nutzung der Abwärme in einem Wärmenetz	6
2.1.2.1 Große Wärmenetze	7
2.1.2.2 Kleine Wärmenetze	8
2.2 Technische Anlagen für die Abwärmenutzung	9
2.2.1 Wärmetauscher	9
2.2.2 Wärmepumpe	9
2.2.3 Wärmespeicher	9
2.2.4 Absorptionskältemaschinen	10
2.2.5 Adsorptionskältemaschinen	10
2.3 Zusammenfassung	10
<b>3. Bäckereien</b>	<b>12</b>
3.1 Prozesse	12
3.2 Energieverbrauch und Energieträger	14
3.3 Entstehung und Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme	15
3.3.1 Abwärme aus Backöfen	15
3.3.2 Abwärme aus Abluft	16
3.3.3 Abwärme aus Kälteanlagen	16
3.4 Zusammenfassung	17

---

<b>4. Interviews</b>	<b>18</b>
4.1 Ergebnisse	18
4.1.1 Bäckereien	18
4.1.2 Ingenieurbüro Stöver	21
4.2 Zusammenfassung	22
<b>5. Potenziale der gewerblichen Abwärme</b>	<b>24</b>
5.1 Berechnung der Abwärmemenge	24
5.2 Berechnung des Wärmebedarfs	24
5.3 Gegenüberstellung der Abwärmemenge und des Wärmebedarfs	24
5.4 Fazit zum Potenzial der Abwärme	25
<b>6. Fazit und Ausblick</b>	<b>27</b>
<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
Expertengespräche	VIII
<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>IX</b>

## Abbildungsverzeichnis

**Abbildung 1:** Prozessschritte in Bäckereien

Eigene Darstellung nach: WIN energy (Hrsg.): Energiekennzahlen und -sarpotenziale in Bäckereien. Linz: o.V., 1998, S.13

**Abbildung 2:** Verbrauchsaufteilung des betrieblichen Gesamtenergiebezugs von Bäckereien

Eigene Darstellung nach: Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Landes-Innungsverband für das bayerische Bäckerhandwerk: Die umweltbewusste Bäckerei: Leitfaden für umweltorientiertes Handeln. München: o.V., 2006, S.23

**Abbildung 3:** Energiebezug nach Energieträger in Bäckereien

Eigene Darstellung nach: WIN energy (Hrsg.): Energiekennzahlen und -sarpotenziale in Bäckereien. Linz: o.V., 1998, S.6

**Abbildung 4:** Strombezug nach Verwendungszweck

Eigene Darstellung nach: WIN energy (Hrsg.): Energiekennzahlen und -sarpotenziale in Bäckereien. Linz: o.V., 1998, S.11

**Abbildung 5:** Energieflüsse in Backöfen

Eigene Darstellung nach: Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Bäckerhandwerk: Energie sparen - Kosten senken!. Augsburg: o.V., 2003, S. 4

**Abbildung 6:** Energieflüsse einer Kälteanlage

Eigene Darstellung nach: Bayrisches Landesamt für Umweltschutz: Bäckerhandwerk: Energie sparen - Kosten senken!. Augsburg: o.V., 2003, S. 10

**Abbildung 7:** Entwurfsskizze Abwärmenutzung Vollkornbäcker

Schlüter, Hanjo: Bäckerhandwerk pur. In: Infobroschüre des Öko-Wochenmarktes. 2005

---

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
BHKW	Blockheizkraftwerk
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
i.d.R.	in der Regel
kg	Kilogramm
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
kW <sub>th</sub>	Kilowatt thermisch
MW	Megawatt
qm	Quadratmeter
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleich
z.B.	zum Beispiel

## 1. Anlass und Fragestellung

Für die Planung der zukünftigen Energieversorgung in Hamburg ist es wichtig, die Energieflüsse in der Stadt zu kennen. Dazu gehört idealerweise das Wissen darüber, wann wo und wie viel Energie gebraucht wird und zum anderen das Wissen, woher die Energie kommt und wie sie produziert wird. Aufgrund der Tatsache, dass fossile Energie endlich und damit immer knapper und teurer wird und sich der derzeitige Energiebedarf noch nicht vollständig mit erneuerbaren Energien decken lässt, müssen neue Konzepte zur Reduzierung des Energiebedarfs erarbeitet werden. Dazu gehören auch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz (vgl. Groscurth et. al 2010, S. 10). Ein Baustein der zukünftigen Energieversorgung könnte die vermehrte Nutzung von Abwärme im gewerblichen Bereich sein. Abwärme ist ein Abfallprodukt, das beim Betrieb von technischen Geräten oder Energieumwandlungsanlagen anfällt und meist ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird. Dabei kann durch die Nutzung von Abwärme der Energieverbrauch und die Schadstoffemission reduziert werden (vgl. Bayerische Staatsregierung a o.J.).

Bei der Nutzung von Abwärme ist allerdings entscheidend, dass die Wärmequelle und die Wärmesenke räumlich möglichst nah beieinander liegen, damit die Abwärme am besten genutzt werden kann. Die Stadtplanung als räumliche Planung kann mit Ihren Instrumenten und Methoden dazu beitragen, dies zu koordinieren bzw. als eine Art Vermittler<sup>1</sup> zu fungieren, der die betroffenen Parteien zusammenbringt und moderiert. Die Stadtplanung hat den Überblick darüber wo zum einen in der Stadt Neubaugebiete

1 In der vorliegenden Arbeit werden auf Grund der besseren Lesbarkeit für Personen und Personengruppen die männliche Form verwendet. Weibliche Personen sind stets eingeschlossen.

entstehen, für die der geltende Bebauungsplan einen Anschlusszwang an eine dezentrale oder CO<sub>2</sub>-arme Wärmeversorgung vorsieht. Oder in welchen Sauerungsgebieten die Wärmeversorgung neu geplant wird. Außerdem haben Stadtplaner die Aufgabe bei der Aufstellung von Bauleitplänen die unterschiedlichen Belange wie u.a. Klimaschutz, Denkmalschutz und das Stadtbild besonders zu berücksichtigen. Dabei könnte die Nutzung von gewerblicher Abwärme eine Lösung für Denkmalschutzbauten sein, die aufgrund der Denkmalschutzauflagen nicht ausreichend energetisch modernisiert werden können. Durch die CO<sub>2</sub>-arme Wärmeversorgung mit der gewerblichen Abwärme könnten z.B. Denkmalschutzsiedlungen wie die Schumacher Siedlung auf der Veddel trotzdem den Auflagen zu den Hamburger Klimaschutzbemühungen genügen. Zum anderen ist die Stadtplanung mit der Aufstellung der Bauleitpläne, der Ausweisung von Gewerbegebieten und Baugenehmigungen vertraut. Sie kann also Gewerbegebiete, als potenzielle Abwärmequellen, und Wohngebiete, als potenzielle Abwärmesenken, sinnvoll räumlich koordinieren und ausweisen. Des Weiteren ist die Stadtplanung dafür zuständig Baugenehmigungen zu erteilen, wenn sich Gewerbebetriebe räumlich vergrößern wollen und somit betriebliche Investitionen anstehen.

Scheinbar gibt es bis jetzt vor Allem im gewerblichen Bereich relativ wenig Kenntnisse über die Nutzung von Abwärme als Baustein einer zukünftigen Energieversorgung, obwohl volkswirtschaftliche, energie- und umweltpolitische Gründe dafür sprechen. Es gibt einige Pilotprojekte, die industrielle Abwärme zur Wärmeversorgung von Wohngebäuden nutzen, wie zum Beispiel das Projekt „Energiebunker“ im Rah-

men der IBA Hamburg (vgl. IBA Hamburg GmbH o.J.). Doch darüber, ob gewerbliche Abwärme sich nicht nur dazu eignet, in betrieblichen Prozessen genutzt zu werden, sondern eventuell sogar dazu geeignet ist, einen Beitrag zur Wärmeversorgung von externen Gebäuden zu leisten oder in ein Wärmenetz eingespeist werden kann, gibt es bisher wenig Erkenntnisse und vor Allem wenig Erfahrungen mit konkreten Projekten. Dabei ist anzunehmen, dass es gerade in Städten mit einer hohen Dichte an Gewerbebetrieben ein hohes gewerbliches Abwärmepotenzial gibt, das es zu nutzen gilt.

Die zentrale Fragestellung dieser Bachelorthesis lautet daher:

**„Welche Möglichkeiten gibt es gewerbliche Abwärme zu nutzen? Welche Rolle kann sie in der zukünftigen Energieversorgung spielen? Betrachtung und Einschätzung eines Gewerbetyps.“**

Die Erarbeitung von unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten gewerblicher Abwärme erfolgt auch vor dem Hintergrund des Basisgutachtens zum Masterplan Klimaschutz in Hamburg, das 2009/2010 vom arrhenius Institut im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt (BSU) der Hansestadt Hamburg erstellt wurde. Darin wird das Ziel genannt, bis zum Jahr 2020 40 Prozent an CO<sub>2</sub> gegenüber dem Stand von 1990 einzusparen (vgl. Groscurth 2010, S. 5). Darüber hinaus soll bis 2050 dann eine Minderung der CO<sub>2</sub> Emissionen um 80 Prozent erreicht werden (vgl. Groscurth 2010, S. 23). Um diese Ziele zu erreichen, wurden in dem Basisgutachten diverse Maßnahmen beschrieben. Neben dem Verkehrssektor und dem Gebäudesektor spielt die Energieversor-

gung eine große Rolle.

In dem Gutachten werden unterschiedliche Möglichkeiten betrachtet, wie die zukünftige Energie- und vor allem Wärmeversorgung aussehen könnte. Eine Möglichkeit wäre, laut dem Gutachten, das Hamburger Fernwärmenetz in kleinere Subnetze zu teilen, so dass auch Dritte Wärme darin einspeisen könnten. Dadurch könnte das Temperaturniveau reduziert werden und Teile des Netzes, die zukünftig nicht mehr gebraucht werden, könnten abgebaut werden (vgl. Groscurth 2010, S. 76). Dies würde Gewerbebetrieben mit viel Abwärme die Einspeisung ermöglichen. Diese Aussage des Gutachtens ist besonders entscheidend für die Fragestellung dieser Bachelorthesis. In dem Gutachten wird zwar nicht explizit von der Nutzung von Abwärme gesprochen, doch wird darauf hingewiesen, dass die Klimaschutzziele der Hansestadt nur zu erreichen wären, wenn die zukünftige Fernwärmeversorgung CO<sub>2</sub>-arm wäre (vgl. Groscurth 2010, S. 90).

Auf Bundesebene beschäftigt sich die Forschungsinitiative der Bundesregierung EnEff:Wärme mit neuen Wärmenetzkonzepten, die die zukünftige Wärmeversorgung energetisch, wirtschaftlich und ökologisch verbessern sollen. Die Initiative fördert Netzoptimierungen, um den Anteil der Nah- und Fernwärme weiter zu erhöhen. Dabei spielt die strukturelle Neugestaltung der zukünftigen Wärmeversorgungssysteme eine zentrale Rolle. Neue adaptive Kälte- und Wärmenetze sollen die Einbindung von erneuerbaren Energien erleichtern. Das wird z.B. durch eine Absenkung der Vor- und Rücklauftemperatur erreicht (vgl. Fachinformationszentrum Karlsruhe a o.J.).

Ob der ausgewählte Gewerbetyp tatsächlich Abwärme in relevanter Menge hat und ob es wirtschaftlich,

energetisch und ökologisch sinnvoll ist diese Wärme auch extern zu nutzen, ist Untersuchungsgegenstand dieser Thesis.

### **1.1 Gang und Aufbau der Untersuchung**

In einem ersten Schritt soll betrachtet werden, in welcher Form Abwärme anfallen kann, welche Nutzungsmöglichkeiten es gibt und von welchen Parametern diese abhängig sind. Dabei wird auch auf die direkte Nutzung im Betrieb und auf die Einspeisung der Abwärme in ein Wärmenetz eingegangen und die dafür benötigten technischen Anlagen kurz erläutert. In einem zweiten Schritt wird der ausgewählte Gewerbetyp betrachtet. Es wurde der Gewerbetyp Bäckereien, als zweitgrößter Verbraucher unter den Gewerbebetrieben ausgesucht (Schlomann et. al 2009, S.58). Es werden zwei verschiedene Betriebsgrößen betrachtet: kleine und große. Zunächst wird ein Grundverständnis über gängige Prozesse, Energieverbräuche und Energieträger vermittelt. In einem zweiten Schritt wird erläutert, wo in den Betrieben Abwärme entsteht und mit welchen Maßnahmen diese sinnvoll genutzt werden kann. Dabei wird auch geprüft, ob sich die vorhandene Abwärme eignet, extern genutzt zu werden, zum Beispiel zur Einspeisung in ein dezentrales Wärmenetz. Veranschaulicht wird dieser Schritt anhand einer Betrachtung konkreter Bäckereibetriebe in Hamburg. Dazu werden qualitative Befragungen mit den Betrieben durchgeführt. Mithilfe eines Experteninterviews wird analysiert, ob es technisch möglich und wirtschaftlich attraktiv ist, diese Wärme in ein Wärmenetz einzuspeisen oder dezentral zur Wärmeversorgung Dritter zu nutzen. Mit dem Ergebnis soll eine Einschätzung über die Bedeutung der gewerblichen Abwärme für die zukünftige Energieversorgung in Hamburg erarbeitet werden.

## 2. Abwärme

In Gewerbebetrieben benötigen zahlreiche technische Geräte, Produktions- und Energieumwandlungsprozesse häufig viel Energie. Das trifft auch auf den ausgewählten Gewerbetyp zu. Gleichzeitig entsteht durch den Betrieb dieser Geräte und Prozesse Wärme, die häufig ungenutzt an die Umgebung abgegeben wird oder sogar runtergekühlt werden muss und dadurch zu einem weiteren Energieverbrauch führt. Diese Wärme wird als Abwärme bezeichnet und kann, wie später beschrieben, für unterschiedliche Zwecke genutzt werden. Jedoch sind die Nutzungsmöglichkeiten zum Teil noch wenig bekannt und werden relativ selten genutzt.

Technologien zur Abwärmenutzung haben das Ziel, bisher ungenutzte Energie von Abwärmeströmen zu nutzen und so den Energieeinsatz insgesamt zu verringern bzw. den Wirkungsgrad zu erhöhen (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 7). Dadurch können der Energieverbrauch und die Schadstoffemissionen eines Gewerbebetriebs erheblich gesenkt werden. Außerdem werden dadurch die Betriebskosten reduziert und die Datenerhebung, die für die Abwärmenutzung notwendig ist, ermöglicht einen verbesserten Überblick über die Energieströme im Betrieb (vgl. Bayerische Staatsregierung o.J.).

Bevor sich ein Betrieb entscheidet, die eigene Abwärme zu nutzen, sollten zunächst andere Effizienz-Maßnahmen geprüft werden, die zum Ziel haben, dass weniger Energie gebraucht wird. Zum Beispiel indem der Betriebsablauf optimiert wird oder neue effizientere Maschinen angeschafft werden. Denn durch die Einführung einer Abwärmenutzung sollten auf keinen Fall ineffiziente Betriebsabläufe konserviert und betriebliche Innovationen verhindert werden.

### 2.1 Nutzungsmöglichkeiten von Abwärme

Bei der Nutzung von Abwärme kann zwischen der Nutzung innerhalb eines Prozesses wie z.B. der Vorwärmung von Spülwasser, und der externen Nutzung der Abwärme wie z.B. die Einspeisung in ein Nahwärmenetz unterschieden werden. Außerdem kann die Abwärme für eine spätere Nutzung begrenzt gespeichert werden. Dadurch wird die zeitliche Angleichung von Wärmeangebot und Nachfrage im Betrieb ermöglicht. Die direkte Nutzung der Abwärme in dem gleichen oder einem anderen Prozess innerhalb eines Betriebes erweist sich oftmals als energetisch-technisch und betriebswirtschaftlich am günstigsten (vgl. Werschy 2010, S. 15).

In jedem Falle sollte das Wärmeangebot und der Energiebedarf zeitlich und mengenmäßig möglichst übereinstimmen. Nur so ist der technische Aufwand gering und die Nutzung wirtschaftlich. Anderenfalls kann ein Teil der Abwärme verloren gehen. Um dies zu verhindern, kann auch ein Wärmespeicher eingesetzt werden.

Bei der Nutzung von Abwärme wird die Wärmeenergie gezielt auf Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase übertragen. Abwärme kann nur direkt genutzt werden, wenn ihre Temperatur höher liegt als die der Wärmesenke. Eine Alternative wäre eine indirekte Nutzung unter dem Einsatz zusätzlicher Hilfsenergie z.B. mit einer Wärmepumpe. Je höher das Temperaturniveau der Abwärme, desto besser kann sie i.d.R. genutzt werden, vor allem wenn es deutlich höher liegt als die zur Nutzung benötigte Temperatur (vgl. Bayerische Staatsregierung c o.J.).

Außerdem können die Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme davon abhängen, in welcher Form sie auftreten bzw. an welche Medien sie gebunden sind. Außer an Medien gebundene Abwärme kann Abwär-

me diffus über die Oberfläche durch Strahlung oder Konvektion an die Umgebung abgegeben werden. In diesem Falle ist die Menge der Abwärme meist gering und die Nutzung schwierig. Jedoch kann diese Abwärme über Wärmepumpen einem Heizsystem zur Verfügung gestellt werden oder zur unmittelbaren Raumlüfterwärmung im Betrieb vor Ort genutzt werden.

Abwärme die an Medien gebunden ist, ist häufig leichter zu nutzen. Hierbei wird zwischen flüssigen und gasförmigen Medien unterschieden. Letztere haben im Vergleich zu flüssigen Medien eine geringere spezifische Wärmekapazität und damit eine geringere Energiedichte sowie eine schlechtere Wärmeübertragung. Deswegen ist Abwärme, die an flüssige Medien gebunden ist, deutlich besser zu nutzen (vgl. Werschy 2010, S. 15).

Die genannten Faktoren haben einen erheblichen Einfluss auf die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung.

Zur Planung der Nutzung von Abwärme ist es zunächst einmal erforderlich, die Menge der Abwärme zu berechnen. Ein möglicher Berechnungsgang wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

Als erster Schritt muss die Abwärmeleistung mit folgender Formel berechnet werden:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$\dot{Q}$  Wärmeleistung (kW)

$\dot{m}$  Massenstrom (kg/s) des Wärmetragenden Mediums

$c$  spezifische Wärmekapazität (kJ/ kgK) des Mediums

$\Delta T$  Temperaturdifferenz (°C,K) des Abwärmestroms gegenüber der Umgebungstemperatur

(vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 10ff)

Im zweiten Schritt muss die jährliche Abwärmemenge ermittelt werden. Dies geschieht durch folgende Formel:

$$Q = \dot{Q} \cdot t$$

$Q$  jährliche Wärmemenge (kWh/a)

$\dot{Q}$  Wärmeleistung (kW)

$t$  jährliche Betriebsstunden (h/a)

Mit diesen Informationen kann die Wärmeabgabe der Abwärmequelle ermittelt werden. Als nächstes muss herausgefunden werden, wie diese Abwärmemenge genutzt werden kann. Das wird in folgenden Abschnitten beschrieben (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 10ff).

### 2.1.1 Direkte Nutzung im Betrieb

Bei der betriebsinternen Abwärmenutzung werden die Verfahren und Prozesse so intelligent miteinander verknüpft, dass die Energie mehrfach genutzt und insgesamt weniger Energie gebraucht wird. Das reduziert die Energiekosten und führt gegebenenfalls zu geringeren Investitionskosten für Anlagen zur

Wärmeerzeugung.

Es gibt zwei Arten der internen Nutzung. Zum einen kann die Abwärme im selben Prozess wieder genutzt werden in dem sie entsteht. Dies wird als Wärmehückgewinnung bezeichnet. Oder sie wird in einem anderen Prozess oder an einem anderen Ort innerhalb des Betriebes genutzt. Hierbei spricht man von Kaskadennutzung (vgl. Bayrische Staatsregierung d o.J.).

Die für die Nutzungen benötigten technischen Anlagen werden in Kapitel 2.2 skizziert. Mögliche Nutzungsarten sind:

#### 2.1.1.1 Heizen

Die Abwärme kann zu Heizzwecken genutzt werden. Dabei kann sie z.B. das Spülwasser in Bäckereien vorwärmen und die Raumheizung unterstützen.

#### 2.1.1.2 Kühlen

Eine weitere mögliche Abwärmenutzung ist die Erzeugung von Kälte mithilfe von Adsorptions- oder Absorptionskältemaschinen. Diese Kälte kann zur Kühlung von Ware oder zur Raumkühlung verwendet werden. Dafür ist ein Temperaturniveau der Abwärme von mindestens 80° bis 100° C notwendig. Anders als herkömmliche Kältemaschinen, die mit elektrischer Energie betrieben werden, werden Adsorptions- und Absorptionsmaschinen mit Wärmeenergie betrieben (vgl. Werschy 2010, S. 98).

#### 2.1.1.3 Strom

Außerdem kann mit Abwärme Strom erzeugt werden. Dies kann mit einem Stirlingmotor oder dem ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) geschehen. Der so erzeugte Strom kann für den Eigenbedarf genutzt werden oder ins öffentliche Stromnetz eingespeist

werden.

Für die Stromerzeugung mit Abwärme sind vergleichsweise hohe Abwärmemetemperaturen (ca. 70°C bis 350°C) notwendig, um einen akzeptablen Wirkungsgrad zu erreichen. Daher kann diese Nutzung aus technischen und ökonomischen Gründen im gewerblichen Bereich nur relativ selten eingesetzt werden bzw. es sollte genau geprüft werden ob diese sinnvoll ist (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 17).

Außerdem werden diese Technologien bisher hauptsächlich in Pilotprojekten erprobt. Daher ist diese Nutzung für gewerbliche Abwärme nicht besonders geeignet und wird daher nicht näher betrachtet (vgl. Werschy 2010, S. 97-98).

#### 2.1.2 Nutzung der Abwärme in einem Wärmenetz

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit bietet die Einspeisung der Abwärme in ein Wärmenetz. Damit werden Verbraucher entweder indirekt mit Wärme versorgt, in dem die in dem Betrieb entstehende Abwärme in ein Wärmenetz eingespeist wird oder direkt versorgt, wenn die Verbraucher sich in unmittelbarer Nähe der Abwärmequelle befinden (vgl. Bayrische Staatsregierung f o.J.).

Übliche Abnehmer (Wärmesenken) können z.B. Wohn- und Verwaltungsgebäude sein, Hotelanlagen, Schwimmbäder, andere Gewerbebetriebe oder auch der Einzelhandel. Um einen wirtschaftlichen Wärmetransport zu gewährleisten, ist normalerweise ein entsprechendes Vorlauf-Temperaturniveau von 70° bis 90°C erforderlich. Je nach Größe des Wärmenetzes werden unterschiedliche Temperaturniveaus gebraucht. Je größer das Wärmenetz und je weiter die Wärmesenke von der Wärmequelle entfernt liegt,

desto höher muss das Temperaturniveau sein. Falls die Abwärmtemperatur darunter liegt, kann sie z.B. mittels einer Wärmepumpe angehoben werden (vgl. Bayerische Staatsregierung g o.J.).

Um die Abwärme in ein Wärmenetz einzuspeisen, sind unterschiedliche Anlagen notwendig. Es wird eine Abwärmeauskopplungsanlage benötigt, denn um die Abwärme aus dem Betrieb abführen zu können, muss diese zunächst aus dem technischen System ausgekoppelt werden (vgl. Bayerische Staatsregierung h o.J.).

Für den anschließenden Wärmetransport gibt es zwei unterschiedliche Systeme. Die Wärme kann durch wärmegeämmte Rohrleitungen, entweder ober- oder unterirdisch transportiert werden. Oberirdische Leitungen werden häufiger gebaut, da sie kostengünstiger sind. Dabei wird das warme oder heiße Wasser durch ein System aus Kunststoff ummantelten Stahlrohren zum Hausanschluss geliefert. Dort landet es in der Übergabe- oder Kompaktstation. Anschließend überträgt ein Wärmeübertrager die gelieferte Wärme auf das Heizungs- und Brauchwasser. Eine Umwälzpumpe pumpt das Wasser in das bestehende Heizsystem, also Heizkörper, Fußbodenheizung oder Wandheizung, oder die Wärme wird mittels eines mobilen Wärmetransports dahin transportiert wo sie benötigt wird. Dabei beträgt die maximale Entfernung bei heute üblichen Systemen 20 bis 30 km. Je nach Distanz werden höhere Temperaturen und Drücke benötigt (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 12).

Im Alltag wird noch zwischen Nah- und Fernwärme-

netz unterschieden. Rein rechtlich sind beide Wärmenetze dasselbe. Abhängig von Menge und Temperaturniveau eignet sich gewerbliche Abwärme eher für kleinere Netze.

### 2.1.2.1 Große Wärmenetze

So genannte Fernwärme, also Wärme aus großen Wärmenetzen, wird in einem zentralen Heizwerk erzeugt und wird häufig durch Abwärme aus der Stromerzeugung oder überschüssige Wärme aus Prozessen der Industrie ergänzt. Sie fällt zentral in Großkraftwerken, BHKWs, Müllverbrennungsanlagen oder Fernheizwerken an. Häufig speisen auch mehrere Heizkraftwerke bzw. Heizwerke ihre Wärme in ein Fernwärmenetz (vgl. Krimmling 2011, S. 13). Zur Produktion können die Brennstoffe Kohle, Erdgas, Biogas, Öl, feste Biomasse wie Holz, Stroh oder kommunale Abfälle dienen. In den letzten Jahren hat auch die Nutzung der Tiefengeothermie zunehmend an Bedeutung für die Erzeugung von Fernwärme gewonnen.

Die thermische Energie wird in wärmegeämmten, idealerweise erdverlegten Rohrsystemen zur Heizungsanlage der Verbraucher transportiert. In einem kontinuierlichen Kreislauf dient Warmwasser, bei einer Temperatur von unter 110°C, Heißwasser bei Temperaturen von 130°C bis 180°C, oder Dampf als Wärmeträger. Seit neuerem werden die bestehenden Dampfnetze durch Heißwassernetze ersetzt, weil deren Betrieb u.a. weniger Druck benötigt und daher risikoärmer ist. Für große Fernwärmeleitungen ist eine Vorlauftemperatur von ca. 130°C nötig. In einem Fernwärmenetz wird die Wärme von einem zentralen Wärmelieferanten über längere Strecken zum Verbraucher transportiert. An ein Fernwärmenetz

können einzelne Stadtteile oder ganze Städte abgeschlossen sein.

Diese großen Wärmenetze sind wegen der Leitungsverluste und der erheblichen Kosten bei der Verteilung nur in Ballungsgebieten mit hoher baulicher Dichte eine sinnvolle und effiziente Form der Wärmeversorgung. Wenn die Fernwärme zentral in hoch effizienten Erzeugungsanlagen produziert wird und das Fernwärmenetz eine hohe Anschlussdichte hat, kann sie ökonomisch sehr vorteilhaft sein im Vergleich zu Einzelheizungen. Einsparungen von Treibhausgasemissionen sind im Vergleich zur Erdgaseinzelheizung meist nur bei einem Verzicht auf die besonders stark CO<sub>2</sub>-belastete Kohle als Brennstoff zu erzielen. Weitere Voraussetzung ist auch eine gute Dämmung der Versorgungsleitungen. Kontraproduktiv für den Klimaschutz wird die Fernwärme vor allem dann, wenn aufgrund der Abnahmeverpflichtung und der ökonomisch gewünschten Auslastung des Fernwärmenetzes die Einsparung von Energie z.B. durch Dämmung der Gebäude vernachlässigt oder gar verhindert wird.

In Deutschland werden ca. 14 Prozent der Wohnungen mit Fernwärme versorgt (vgl. RWE Effizienz GmbH o.J.).

#### 2.1.2.2 Kleine Wärmenetze

Wie das Wort es bereits nahelegt, erfolgt die Wärmeverteilung in einem Nahwärmenetz im Vergleich zur Fernwärme nur über verhältnismäßig kurze Strecken. Sogenannte Nahwärmenetze oder kleine Wärmenetze können auch Teil eines großen Wärmenetzes sein. Auch ein Nahwärmenetz besteht aus drei Komponenten: Aus der Erzeugung, der Verteilung und der Übergabe (vgl. Krimmling 2011, S.15).

Im Unterschied zur Fernwärme wird Nahwärme in

kleinen, dezentralen Einheiten realisiert und bei relativ niedrigen Temperaturen übertragen. Der Wirkungsgrad ist wegen der kurzen Verteilungswege und der geringeren Temperaturen sowie den damit geringeren Wärmeverlusten meist höher als bei einem großen Wärmenetz. Für konventionelle Nahwärmeleitungen wird im Winter eine Vorlauftemperatur von ca. 90°C benötigt. Daneben gibt es aber auch zunehmend sogenannte Niedertemperaturnetze mit einer noch geringeren Vorlauftemperatur von ca. 40°C bis 50°C.

Typische Nahwärmeanlagen haben eine thermische Leistung im Bereich zwischen 50 Kilowatt und einigen Megawatt, somit können sie den Bereich von mehreren Gebäuden, einem Stadtteil oder kleineren Gemeinden bedienen. Dadurch, dass Nahwärmenetze kleiner dimensioniert sind als Fernwärmenetze können sie flexibler auf unterschiedliche Bedarfe reagieren. Hiermit ist gemeint, dass zum Beispiel in Stadtteilen, in denen die Bevölkerungszahl sinkt, Teile eines Nahwärmenetzes deinstalliert werden können, wenn diese nicht mehr gebraucht werden. Außerdem können mehrere kleinere Erzeugereinheiten zu einem virtuellen Heizwerk zusammengeschlossen werden, damit kann flexibel auf Veränderungen im Leistungsbedarf reagiert werden. Große Kraftwerke hingegen müssen mit konstanter Leistung fahren und sind daher nicht so flexibel (vgl. Krimmling 2011, S.13).

Außerdem lassen sich Langzeit-Wärmespeicher in ein Nahwärmenetz integrieren, was hingegen bei einer einzelnen Gebäudeheizung meist nicht sinnvoll möglich ist (vgl. Fachinformationszentrum Karlsruhe b o.J.). Wärmespeicher können die zeitlichen Unterschiede zwischen dem Anfallen der Wärme und dem

konkreten Bedarf der Wärme, wie es bei den erneuerbaren Energien der Fall sein kann, überbrücken. Im Vergleich mit fossilbetriebenen Einzelheizungen ist der CO<sub>2</sub> Ausstoß von einem Nahwärmenetz geringer, wenn Abwärme genutzt wird, Kraft-Wärme-Kopplung oder erneuerbare Energien eingesetzt werden.

Auf Grund der geringeren Vorlauftemperatur in Nahwärmenetzen im Vergleich zu Fernwärmenetzen lässt sich auch solarthermische Wärme gut in Nahwärmenetzen verwerten. Deswegen ist ein weiterer Ausbau der Nahwärmenetze im Zuge der Energiewende besonders wichtig. Das geringere Temperaturniveau in Nahwärmenetzen ist auch für die Einspeisung von gewerblicher Abwärme entscheidend.

## 2.2 Technische Anlagen für die Abwärmenutzung

Für die Nutzung von Abwärme sind unterschiedliche technische Anlagen notwendig. Diese werden sowohl in der direkten Nutzung der Abwärme in betrieblichen Prozessen als auch in der Abwärmenutzung in einem Wärmenetz gebraucht. Folgend werden die am häufigsten eingesetzten Anlagen erläutert.

### 2.2.1 Wärmetauscher

Mittels eines Wärmetauschers kann die Abwärme direkt oder indirekt (über ein Zwischenmedium) übertragen werden. Dazu entzieht der Wärmetauscher der Abwärme die Wärmeenergie, welche dann zur Erwärmung eines anderen eintretenden Stoffstroms genutzt wird. Voraussetzung für die Nutzung der Technik ist, dass die Temperatur der Abwärmequelle über der Eintrittstemperatur des zu erwärmenden Mediums (Wärmesenke) liegt. Der Umfang des Wärmeübertrags ist abhängig von der Temperatur der Wärmequelle und der Wärmesenke, vom Verhältnis

der Volumenströme und den eingesetzten Medien. Wärmetauscher können z.B. in den Abluftstrom geschaltet werden, der mit einem Ventilator über einen Abluftkanal aus Produktionshallen, Maschinen oder Gebäuden gesaugt wird. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Wärmetauscher in einen Abwasser- oder Abgasstrom zu integrieren (vgl. Werschy 2010, S. 18ff).

### 2.2.2 Wärmepumpe

Die Wärmepumpe wird eingesetzt, wenn die Temperatur der angefallenen Abwärme zu gering ist, um sie direkt zu nutzen und sie somit auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden muss. Für den Betrieb wird zusätzlich Strom benötigt. Trotzdem lohnt sich das häufig aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht, da das Temperaturniveau von Abwärme meist deutlich höher ist, als das von üblichen Wärmequellen von Wärmepumpen, wie z.B. das Erdreich oder die Umgebungsluft und deswegen die Effizienz der Pumpe bei Abwärmenutzung in der Regel höher ist. Eine Wärmepumpe verbraucht um so mehr Energie, je größer der zu überwindende Temperaturunterschied ist. Die Effizienz der Pumpe wird durch ihre Jahresarbeitszahl (JAZ) ausgedrückt. Diese Zahl beschreibt das Verhältnis von abgegebener Heizwärme zu der für den Betrieb der Pumpe eingesetzten Energie. Die Temperaturdifferenz zwischen der Abwärmequelle und der Wärmesenke sollte für eine gute JAZ der Wärmepumpe möglichst gering sein (vgl. Bayerische Staatsregierung e o.J.).

Derzeit gibt es Anlagen im Bereich von 100 kW<sub>th</sub> bis ca. 1.500 kW<sub>th</sub>. Das mit diesen Pumpen erreichbare Temperaturniveau liegt derzeit im einstufigen Betrieb bei ca. 65°C bis 75°C und bei ca. 80°C im zweistufigen

Betrieb, wo zwei Wärmepumpen in Reihe geschaltet werden (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 14).

### 2.2.3 Wärmespeicher

Wärmespeicher sind notwendig, wenn das Wärmeangebot und der Wärmebedarf zeitlich nicht deckungsgleich sind. In Wärmespeichersystemen wird die Abwärme meist über einen Wärmetauscher auf ein Speichermedium übertragen.

Es gibt drei unterschiedliche Systeme, Wärme zu speichern. Bei der fühlbaren Wärme verändert sich die Temperatur des Speichermediums bei der Wärmezufuhr (z.B. Beton). Dies ist das am häufigsten verwendete System.

Eine weitere Variante, Wärme zu speichern ist die Speicherung von latenter Wärme. Dabei verändert sich der Aggregatzustand des Speichermediums bei Wärmezufuhr, nicht aber die Temperatur des Speichermediums (z.B. Salzhydrate).

Außerdem kann die Wärme noch als chemische Energie gespeichert werden, indem sie durch eine endotherme Reaktion gespeichert wird (z.B. Metallhydride) (vgl. Bayerische Staatsregierung e o.J.).

### 2.2.4 Absorptionskältemaschinen

Diese Kältemaschinen arbeiten nach dem Funktionsprinzip eines thermischen Verdichters. In einem Lösungsmittelkreislauf wird ein Kältemittel bei geringer Temperatur in einem zweiten Stoff absorbiert und bei höheren Temperaturen werden die zwei Stoffpaare wieder voneinander getrennt. Für diesen Trennprozess wird Wärme benötigt von mindestens 70°C (vgl. Werschy 2010, S. 112). Für einen Temperaturbereich von über 5°C werden Wasser und Lithiumbromid und

für einen Temperaturbereich bis -60°C werden Ammoniak und Wasser eingesetzt.

Auf dem Markt sind Produkte mit einer Kälteleistung von 200-5.000 kW verfügbar, doch gibt es nur wenige dieser Produkte in kleineren Leistungsbereichen von weniger als 100 kW (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 12).

### 2.2.5 Adsorptionskältemaschinen

Diese diskontinuierlichen Kälteanlagen arbeiten mit festen Sorptionsmedien, häufig mit Silikagel als Adsorptionsmittel und Wasser als Arbeitsstoff. Die Kältemaschine funktioniert wie folgt. Ein Kältemittel verdampft bei niedriger Temperatur und wird an das Adsorptionsmittel, ein poröser und großflächiger Feststoff, gebunden. Für diesen Vorgang wird Wärme benötigt, die einem anderen Medium entzogen werden muss. Dabei entsteht die Kälte. Das Kältemittel dringt in die Poren des Adsorptionsmittel (z.B. Silikagel) ein und kondensiert an der Oberfläche. Die Desorptionsphase läuft umgekehrt ab. In dieser Phase wird Wärme dem Adsorptionsmittel zugeführt, das flüssige Kältemittel darin kondensiert und gibt wieder Wärme ab. Danach kann der Kreislauf wieder von neuem anfangen (vgl. Werschy 2010, S. 112).

Derzeit sind Kälteleistungen von 50 bis 400 kW verfügbar. Eine Antriebstemperatur von mindestens 55°C ist für einen sinnvollen Betrieb erforderlich. Damit können Kaltwassertemperaturen von 3°C erreicht werden (vgl. MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination (Hrsg.) 2008, S. 13).

### **2.3 Zusammenfassung**

Gewerbliche Abwärme ist bisher ungenutzte Wärme, die an die Umgebung abgegeben wird. Allerdings kann sie mittels unterschiedlicher Techniken zurückgewonnen und wieder genutzt werden. Gerade angesichts der steigenden Energiepreise wächst die Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung nicht nur im industriellen sondern auch im gewerblichen Bereich. Aufgrund des geringeren Temperaturniveaus der gewerblichen Abwärme bietet sich eine Einspeisung eher in Nahwärmenetze als in Fernwärmenetze an. Damit die Versorgungssicherheit gewährleistet ist, bieten sich vor allem Zusammenschlüsse mehrerer Abwärmequellen und Wärmesenken zu einem virtuellen Heizwerk an. In einem Gewerbegebiet könnten so mehrere Gewerbebetriebe von dieser bereits vorhandenen Wärme profitieren.

In dem folgenden Abschnitt wird der ausgewählte Gewerbetyp betrachtet. Dabei werden zunächst die üblichen Prozesse geschildert, die für die Produktion wichtig sind, anschließend werden der Energieverbrauch und die Energieträger genannt. Im Abschluss wird geschildert, wo Abwärme in den Betrieben anfällt und wie diese genutzt werden kann.

### 3. Bäckereien

Bäckereien sind Handwerksbetriebe, in denen Backwaren hergestellt und meist auch verkauft werden. Bäckereibetriebe können in drei verschiedene Betriebsgrößen unterschieden werden: Kleinbäckereien stellen kleine Backwarenmengen her, die sie eigenständig direkt im Betrieb verkaufen. Die meisten Kleinbetriebe haben eine Backfläche von ca. 6 qm. In mittelständischen Bäckereibetrieben ist ein Teil der Produktion automatisiert und es wird häufig eine größere Anzahl von Bäckereiläden beliefert. In Großbäckereien ist fast die gesamte Produktion automatisiert und es wird eine größere Anzahl von Bäckereiläden beliefert. Die gängige Kennzahl für die Betriebsgröße einer Bäckerei ist die Backfläche und die verarbeitete Mehlmenge (vgl. energie.ch a 2009). In einer Konditorei, die im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls untersucht wird, werden Fein- oder Süßgebäcke hergestellt und auch meist im angrenzenden Laden verkauft.

In Deutschland gibt es ca. 14.170 Meisterbetriebe, die 2010 einen Gesamtumsatz von 13,35 Mrd. € erwirtschafteten. In der Bäckereibranche sind ca. 292.400 Mitarbeiter tätig (vgl. Meinke 2012, S. 6) und die Energiekosten haben einen Anteil von 2 bis 6 Prozent des Umsatzes (vgl. energie.ch a 2009).

Derzeit befindet sich die Bäckereibranche in einer schwierigen wirtschaftlichen Situation. Viele Einzelhandelsbäcker befinden sich in harter Konkurrenz mit den Discountern und der Massenfertigung in Industriebäckereien, sowie mit der Tiefkühlware, die zum Aufbacken in den neuen Selbstbedienungsbäckereien produziert wird (vgl. Meinke 2012, S. 7).

In dem folgenden Abschnitt wird zunächst erläutert, was in einer Bäckerei gemacht wird, welche Maschinen und welche Temperaturen dafür benötigt wer-

den und wie viel Energie dabei gebraucht wird.

#### 3.1 Prozesse

Das Backen von Backwaren kann in unterschiedlich aufeinander aufbauende Schritte gegliedert werden. Je nach Größe des Bäckereibetriebs werden die Backschritte von Maschinen unterstützt oder zum Teil vollständig automatisch durchgeführt.

Je besser die Backfläche ausgelastet ist, desto höher ist die Energieeffizienz. Die Beheizung der Backöfen kann elektrisch, mit Gas oder Öl erfolgen. Je nach Produkt und Backphase werden Temperaturen von 200°C bis 300°C benötigt.

Das Kühlen oder Tiefkühlen der Produkte dient der Verlängerung der Haltbarkeit. Dabei wird unterschieden zwischen der Kühlagerung bei Temperaturen von 0°C bis 4 °C und der Tiefkühlung bei Temperaturen bis -30°C. Neben konventionellen Kälteanlagen wird zum Frostern der Produkte Stickstoff in flüssiger Form eingesetzt, der direkt auf das Produkt gesprüht wird (vgl. EnergieAgentur.NRW GmbH a 2012).

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die unterschiedlichen Prozessschritte.

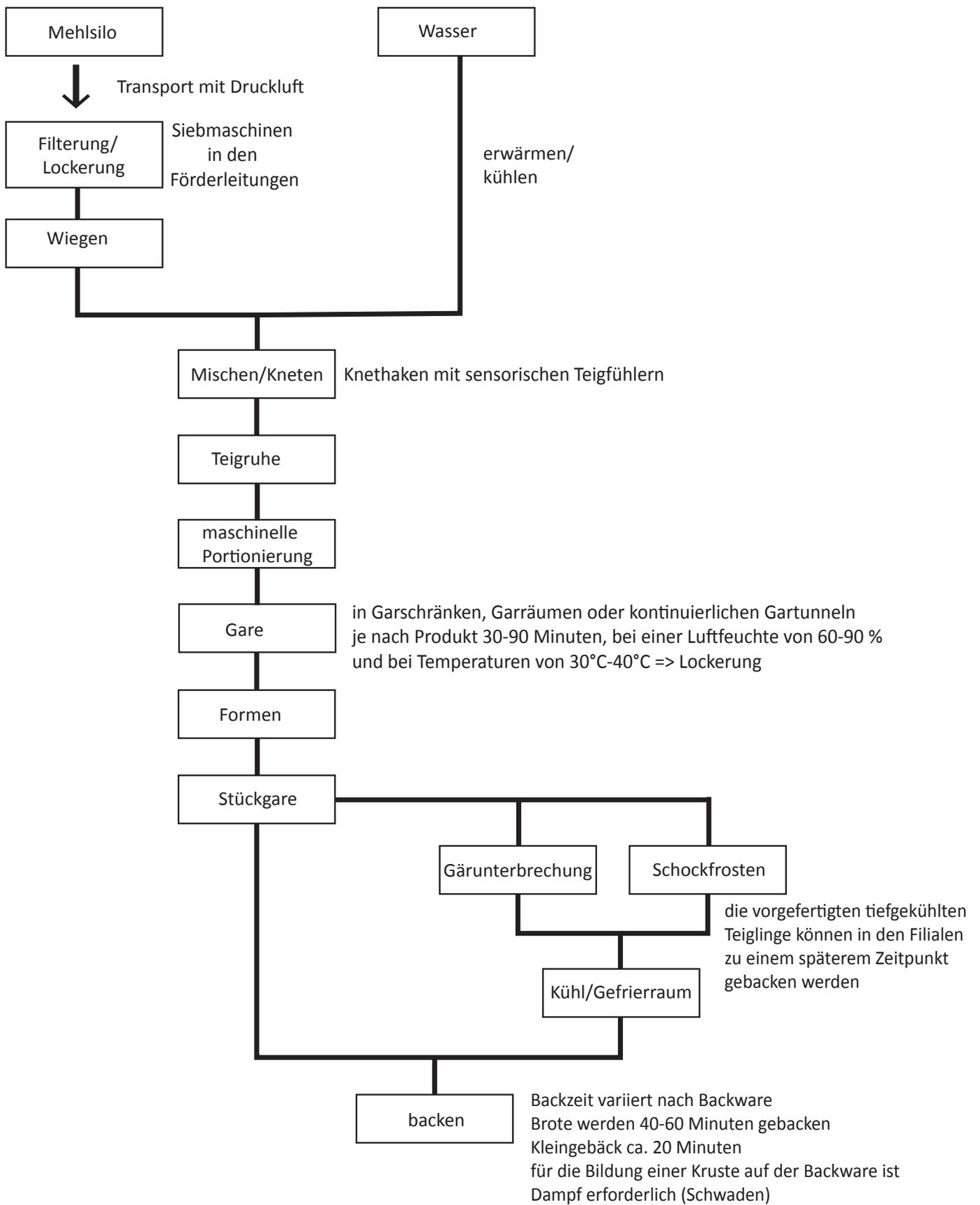


Abbildung 1: Prozessschritte in Bäckereien

### 3.2 Energieverbrauch und Energieträger

Bäckereibetriebe sind sehr energieintensiv, deswegen gibt es viele Ansatzpunkte, um Energie und somit Kosten einzusparen. Bei der Berechnung der Energiekennzahl werden die Energieverbrauchsdaten ins Verhältnis zur verbrauchten Mehlmenge oder zur Größe der Backfläche gesetzt. Über diesen Kennwert kann ermittelt werden, wie effizient die eingesetzte Energie im Betrieb genutzt wird (vgl. EVH GmbH o.J.). Der bundesdeutsche Durchschnitt liegt bei 2,3 kWh pro Kilogramm Mehl (vgl. (Hrsg.) Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Landes-Innungsverband für das bayerische Bäckerhandwerk 2006, S.31). Durch dieses Verfahren wird ein Vergleich mit anderen Betrieben aus der Bäckereibranche ermöglicht.<sup>1</sup> Der Energieverbrauch kann zwischen den unterschiedlichen Bäckereien stark variieren und dient lediglich als Orientierungswert (vgl. EnergieAgentur.NRW GmbH b 2012). Er ist abhängig von der Betriebsgröße, der Absatzstruktur, der Backflächenauslastung und der Sortimentsaufteilung. Für die Herstellung von Feingebäck wird mehr Energie benötigt, weil die Backflächenauslastung im Vergleich zu beispielsweise Brot schlechter ist (vgl. (Hrsg.) Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Landes-Innungsverband für das bayerische Bäckerhandwerk 2006, S.31).

Die Abbildung zeigt den Gesamtenergiebezug von Bäckereien, unterteilt in die verschiedenen Verwendungszwecke. Es wird sichtbar, dass für das Betreiben des Backofens über die Hälfte der Gesamtenergie einer Bäckerei benötigt wird. Dagegen benötigen die Kälteanlagen knapp 15 Prozent des gesamten Energieaufwands von Bäckereien, was etwa 30 Pro

zent des gesamten Stromverbrauchs entspricht. Für Raumwärme (ca. 6 Prozent) und Warmwasser (ca. 11 Prozent) wird relativ wenig Energie benötigt.

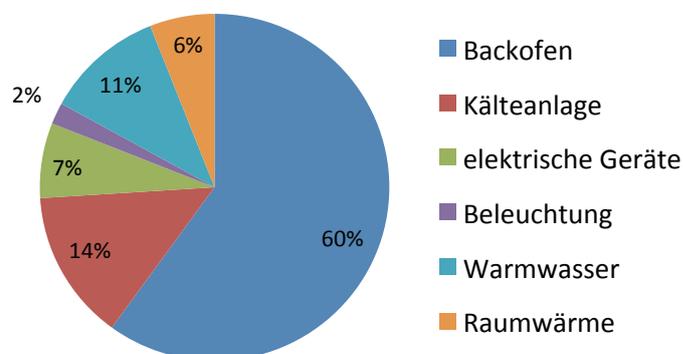


Abbildung 2: Verbrauchsaufteilung des betrieblichen Gesamtenergiebezugs von Bäckereien

In Bäckereien werden die Energieträger Strom, Gas und Heizöl verwendet. Der Strombedarf von derzeit 43 Prozent wird vermutlich aufgrund zunehmender Automatisierung und dem steigendem Anteil an Tiefkühlprodukten noch weiter steigen. Des Weiteren variiert der Stromverbrauch stark je nach dem um welchen Betriebstyp es sich handelt. Reine Filialbäcker, also Bäckereien, die hauptsächlich für Filialen backen, backen „kalt“. Das heißt sie machen den Teig und garen die Teiglinge vor, um sie dann tiefzukühlen und an die entsprechenden Filialen zu liefern, wo die Teiglinge mithilfe von elektrischen Backöfen gebacken werden. Diese Betriebe haben also im Bereich des Backens einen geringen Energieverbrauch, benötigen dafür aber viel mehr elektrische Energie für das Tiefkühlen der Teiglinge (vgl. energie.ch a 2009). Die folgende Abbildung zeigt, welche Energieträger in einem Bäckereibetrieb verwendet werden. Je nach dem, welcher Energieträger für die Beheizung des Backofens verwendet wird, variiert der Verbrauch des betroffenen Energieträgers. Grundsätzlich sind

<sup>1</sup> Hierfür steht ein kostenpflichtiges Internet-Portal zur Verfügung <http://www.buda.de>

Durchschnittswerte mit Vorsicht zu genießen, da sie doch stark je nach Betrieb variieren können.

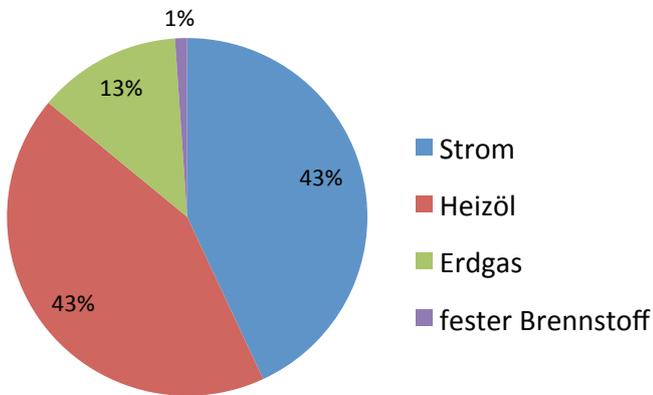


Abbildung 3: Energiebezug nach Energieträger in Bäckereien

Die nächste Abbildung schlüsselt den Stromverbrauch nach Verwendungszweck auf. Wobei deutlich wird, dass der meiste Strom für die Kälteanlagen benötigt wird, gefolgt von Prozesswärme bzw. Backöfen.

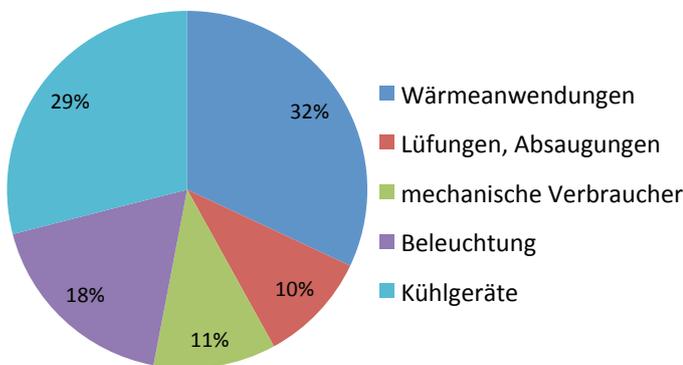


Abbildung 4: Strombezug nach Verwendungszweck

### 3.3 Entstehung und Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme

In den zuvor beschriebenen Prozessen wird nicht nur Energie verbraucht, es fällt dabei auch Abwärme an. In folgendem Abschnitt wird dies näher beschrieben und die daraus entstehenden Nutzungsmöglichkeiten aufgezeigt.

ten aufgezeigt.

Wie im vorherigen Kapitel „Abwärme“ bereits beschrieben, sind die Nutzungsmöglichkeiten der Abwärme von verschiedenen Faktoren abhängig. Zunächst ist daher eine Analyse der Betriebsbedingungen notwendig. Es muss geklärt werden, wofür die Abwärme genutzt werden kann. Das hängt erheblich vom Temperaturniveau und den Betriebszeiten, also den Zeiten wann diese Abwärme tatsächlich anfällt, ab. Des Weiteren ist die Größe des Energiebedarfs entscheidend und die Frage wie viel der Wärme durch Abwärmennutzung zur Verfügung steht. Ein weiterer Faktor ist der Platz in den Betrieben. Ist für eine möglicherweise sinnvolle Nachrüstung und den damit verbundenen zusätzlichen Rohrleitungen genügend Platz? Um dies beantworten zu können, ist es ratsam, ein Energiekonzept auszuarbeiten (vgl. EnergieAgentur.NRW GmbH c 2012).

#### 3.3.1 Abwärme aus Backöfen

Der größte Teil der ungenutzten Wärme in Backöfen steckt in den ausströmenden Schwaden und im Abgas. Diese haben zusammen ein Temperaturniveau von bis zu 320°C. Sofern die Wärme aus den Schwaden und dem Abgas nicht genutzt wird ergeben sich daraus zusammen Verluste, die fast der Hälfte des eingesetzten Brennstoffes entsprechen.

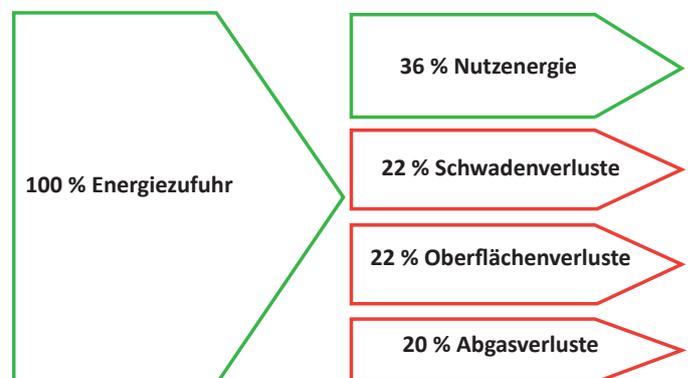


Abbildung 5: Energieflüsse in Backöfen

Durch eine geeignete Auslegung von Abgaswärmetauschern und/oder Schwadenkondensatoren lässt sich die Abwärme für die Warmwasserbereitung und Raumheizung besonders günstig nutzen (vgl. (Hrsg.) Bayrisches Landesamt für Umweltschutz 2003, S. 6ff). Für die Raumheizung benachbarter Räume kann die Abwärme direkt mit Luftkanälen genutzt werden (vgl. (Hrsg.) Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Landes-Innungsverband für das bayerische Bäckerhandwerk 2006, S. 29). Dabei kann ca. 10 bis 20 Prozent der verbrauchten Ofenenergie als Abwärme genutzt werden (vgl. energie.ch b 2009).

Anhand eines konkreten Beispiels soll dies verdeutlicht werden: Ein Betrieb mit einem Etagenofen und zwei Stikkenöfen<sup>1</sup> setzt einen Rauchgaswärmetauscher und einen Schwadenkondensator ein. Damit lassen sich 50 Prozent der Verluste zurückgewinnen, das entspricht in diesem Fall ca. 50.000 kWh. Die so gewonnene Energie wird in der Regel in einem Pufferspeicher gespeichert, der die Wärme in Zeiten abgeben kann, wenn die Öfen ausgeschaltet sind (vgl. (Hrsg.) Bayrisches Landesamt für Umweltschutz 2003, S. 6ff). Die Größe des Pufferspeichers richtet sich nach dem Wärmebedarf und der Abwärme. Da die Backöfen nicht konstant laufen und der Hauptverbrauch an Wärme und die Betriebszeiten der Backöfen nicht unbedingt zeitlich parallel verlaufen, muss der Puffer ausreichend groß sein.

Für die Gewinnung von Abwärme aus Backöfen gibt es zwei Varianten. Beim „Ökoblock“ werden Abgase sowie Schwaden gesammelt und gemeinsam über einen Abgaswäscher mit Wärmetauscher geleitet. Mit

dieser Methode kann ca. 31 Prozent der Wärmeenergie zurückgewonnen werden, wobei der Wärmerückgewinnungsgrad vom Pufferspeicher abhängig ist. Diese Variante ist bei allen Backöfen möglich.

Bei der anderen Variante von der Firma Neue Energie-Technik werden Schwaden und Rauchgase separat über einen Abgaswärmetauscher geleitet. Der Wärmerückgewinnungsgrad liegt bei ca. 44 Prozent, davon wird ca. 20 Prozent aus den Schwaden und ca. 24 Prozent aus dem Rauchgas gewonnen. Das Temperaturniveau liegt dabei beim Rauchgas bei ca. 250°C bis 280°C und bei den Schwaden bei ca. 100°C bis 150°C. Diese Variante ist für Backöfen mit getrennten Rohren für Schwaden und Rauchgasen sinnvoll.

Für die Wärmerückgewinnung ist es effektiver den Schwaden zu nutzen, da dieser einen höheren Energiegehalt hat als die Rauchgase. Es ist sinnvoll, den Schwaden von mehreren Backöfen zusammenzuführen, um mittels Wärmetauscher die Abwärme zu gewinnen (vgl. (Hrsg.) Unternehmen für Ressourcenschutz o.J., S.5).

### 3.3.2 Abwärme aus Abluft

Mithilfe eines Wärmetauschers in der Lüftungsanlage kann die Abwärme aus der Abluft gewonnen werden.

### 3.3.3 Abwärme aus Kälteanlagen

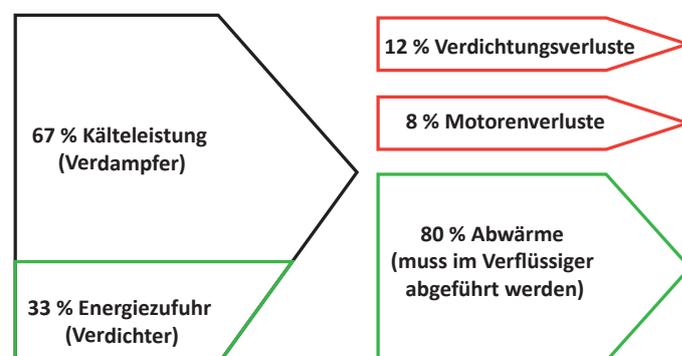


Abbildung 6: Energieflüsse einer Kälteanlage

<sup>1</sup> Die Bleche sind auf einem Wagen gestapelt der komplett in den Backofen geschoben wird.

In einer Kälteanlage entsteht bis zu 80 Prozent Abwärme (siehe Abbildung unten)

Eine Kältemaschine besteht aus einem Verdichter (Kompressor) und einem Verflüssiger (Kondensator). Beide Komponenten können direkt im Kühlgerät integriert sein oder wie bei größeren Anlagen üblich, kann der Verflüssiger getrennt vom Kühlgerät stehen. Bei der getrennten Aufstellung kann es möglich sein, die Wärme, die am Verflüssiger auftritt, zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Diese Wärmeenergie entspricht ca. dem 2,4 fachen der aufgenommenen elektrischen Energie, das bedeutet, dass mehr Wärmeenergie abgegeben wird als vorher elektrische Energie in die Kältemaschine gelangt ist, somit ergibt sich ein hohes Abwärmepotenzial. Der Nachteil gegenüber der Wärmerückgewinnung aus Schwaden und Rauchgasen ist das niedrige Temperaturniveau von ca. 45°C. Vorteilhaft ist, dass die Abwärme auch in der produktionsfreien Zeit anfällt (vgl. Energie-Agentur.NRW GmbH a 2012).

Die Wärmerückgewinnung bei Kühlanlagen kann wie folgt funktionieren: Das heiße Kältemittel hinter dem Verdichter hat eine Temperatur von 70°C bis 120°C und gibt seine Wärme über einen Wärmetauscher an einen Warmwasserspeicher ab. Dieses Temperaturniveau ist ideal zur Warmwassererzeugung. Die Gebläse des Verflüssigers dienen zur Restwärmeabfuhr. So wird das Wasser im Speicher auf ca. 45° C vorgewärmt, bei hohem Kältebedarf im Sommer auf bis zu 60°C. In einem zweiten Speicher kann das Wasser dann noch auf die erforderliche Temperatur nachgeheizt werden.

Die so gewonnene Wärmeenergie kann zum Beispiel für Heizzwecke oder für die Erwärmung von Brauchwasser verwendet werden.

### 3.4 Zusammenfassung

Bäckereien müssten gar keine Heizung haben, denn auch nach der Warmwasseraufbereitung ist noch genügend Wärme für die Beheizung des Betriebsgebäudes und eventuell auch der Nachbargebäude vorhanden. Das bedeutet, dass es sich für die meisten Bäckereibetriebe lohnt, in Maßnahmen für die Abwärmenutzung zu investieren, um so langfristig Energie und Geld zu sparen.

Die verwendeten Quellen sind zum Teil schweizerische oder österreichische. Es wird angenommen, dass sich diese von deutschen Quellen nicht allzu sehr unterscheiden. Während der Recherche konnten leider keine deutschen Quellen mit diesen Informationen ausfindig gemacht werden. Außerdem sind die in den Grafiken verwendeten Daten sind zum Teil schon relativ alt (von 1998), jedoch wurden keine aktuelleren Zahlen gefunden.

## 4. Interviews

Es wurden drei Bäckereibetriebe besucht und befragt; ein Großbäcker in einem Gewerbegebiet und zwei kleinere Betriebe in Wohngebieten. Der Großbäcker beliefert zwar einige Filialen, ist aber ansonsten kein typischer Filialbäcker. Der Großteil der Ware wird an Großkunden verkauft. Die befragte Konditorei und Bäckerei besitzt nur die Filiale, an die der Betrieb angeschlossen ist und beliefert darüber hinaus Großkunden. Die Vollkornbäckerei besitzt sieben eigene Filialen, in denen allerdings nicht selbst gebacken wird und beliefert noch andere Geschäfte.

Die Auswertung der Interviews mit den Bäckereibetrieben erfolgt anonymisiert. Wenn im Rahmen dieser Arbeit auf die Betriebe Bezug genommen wird, heißen sie Großbäcker, Konditorei und Bäckerei und Vollkornbäckerei.

Im Anschluss der Interviews mit den Bäckereibetrieben wurde ein weiteres Interview mit dem Geschäftsführer eines Ingenieurbüros, Herrn Stöver, durchgeführt. Das Ingenieurbüro beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Nutzungskonzepten, in denen kleine Mengen von Abwärme für die Heiz- und Warmwasserbereitung in Wohnhäusern nutzbar gemacht wurden. Für einige Projekte wurde das Ingenieurbüro schon mit Preisen ausgezeichnet. Ziel des Interviews war von konkreten schon umgesetzten Projekten zu erfahren. Es sollte geklärt werden wie ein Abwärmenutzungskonzept umgesetzt werden kann und ob es auch wirtschaftliche Vorteile gibt. Das Interview erfolgte auch besonders im Hinblick auf die von den Bäckereien berichteten Problemen und Hindernissen bei der Nutzung von Abwärme.

### 4.1 Ergebnisse

#### 4.1.1 Bäckereien

Die Konditorei und Bäckerei ist ein Familienbetrieb mit Sitz in einem Wohngebiet. Die jetzigen Eigentümer haben den Betrieb 1996 von den Eltern übernommen und seitdem gepachtet. Das Wohnhaus in dem sich der Betrieb befindet, gehört ebenfalls der Familie. Das Sortiment umfasst Back- und Konditoreiwaren, die in der Filiale und an einige Großkunden verkauft werden. 20 Mitarbeiter arbeiten in dem Betrieb in der Herstellung und dem Verkauf.

Bisher wurden keine Maßnahmen zur Abwärmenutzung durchgeführt. Allerdings wurde in eine neue LED-beleuchtete Kühltheke mit einem neuen, weniger treibhausschädlichen Kühlmittel investiert. Somit wird die Kühltheke nicht durch die Beleuchtung aufgeheizt und verbraucht dadurch weniger Strom als herkömmliche Kühltheken. Es wurde mitgeteilt, dass ein Energie-Check durch ein darauf spezialisiertes Ingenieurbüro noch aussteht. Außerdem wird überlegt, sich einen neuen Backofen anzuschaffen. Dieser neue Backofen soll dann in Verbindung mit einer neuen Kältetechnik stehen. So eine Investition würde allerdings ca. 150.000 Euro kosten und die Lebensdauer eines Backofens liegt zwischen ca. 15 bis 20 Jahren. Deswegen muss so eine langfristige Neuananschaffung wohl überlegt sein und dafür fehlte bisher die Zeit im Betrieb. Außerdem gibt es für solch umfassende Maßnahmen innerhalb des Familienbetriebes unterschiedliche und bislang unüberbrückbare Meinungen.

Die Großbäckerei wird in der vierten Generation geführt. Der Betrieb befindet sich seit dem Umzug 1980 in einem Gewerbegebiet. Das Sortiment umfasst Imbissprodukte, Back- und Konditoreiwaren.

100 Mitarbeiter arbeiten in dem Betrieb. Der Großbäcker ist kein typischer Filialbäcker d.h. es werden hauptsächlich 450 Großkunden beliefert. Außer der an den Betrieb angeschlossenen Filiale gibt es ca. 7 verpachtete Filialen.

In der Großbäckerei wird die Wärme für die Fußbodenheizung und das Brauchwasser durch die Abwärme der zentralen Kühlanlage bereitgestellt. In Notfällen kann auch ein elektrisch betriebener Kessel die Wärme für die Fußbodenheizung und das Brauchwasser bereitstellen. Es wurde schon ein Mal versucht die Abwärme aus den Backöfen zu gewinnen, jedoch gab es keinen funktionsfähigen Wärmetauscher, der mit der stark verschmutzten Abluft arbeiten konnte. Trotz Filterung der Abluft war sie noch so stark verschmutzt, dass der Wärmetauscher dadurch verklebte, unter Korrosion litt und gerostet ist. Die gängigen auf dem Markt verfügbaren Wärmetauscher sind nicht so gebaut, dass der Platz zwischen den Platten ausreicht, um diese regelmäßig zu reinigen. Ein extra für diese Gegebenheiten gebauter Wärmetauscher würde ca. 25.000 bis 35.000 Euro kosten. Bei einer Amortisationszeit von mehr als sechs Jahren lohnt sich für den Betrieb diese Investition nicht. Hinzu kommt, dass solche Maßnahme von der technischen Leitung des Großbäckers nicht als energetisch sinnvoll und notwendig erachtet werden, obwohl die Temperatur der Abluft in Höhe von 60°C bis 70°C ideal wäre für die weitere Nutzung in der Fußbodenheizung. Die technische Leitung kann sich eher vorstellen, in eine Absorptionskältemaschine in Verbindung mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zu investieren. Die Wärme aus dem BHKW würde die Absorptionskältemaschinen betreiben und die dann immer noch überschüssige Wärme der Backöfen könnte z.B. an die Nachbarn im Gewerbegebiet verkauft werden.

Der durch das BHKW erzeugte Strom könnte die benötigte Grundlast des Betriebs decken. Der Betrieb benötigt eine Absorptionskältemaschine, die eine Fläche von ca. 400 qm auf ca. -18°C kühlen kann. Bisher gibt es aber für diese Dimensionierung noch keine Maschinen auf dem Markt.

Der Einsatz eines BHKWs ist besonders für Betriebe interessant, die keine Abwärmenutzung an Öfen oder Kälteanlagen betreiben, da sie dann die Abwärme des BHKW gut nutzen können.

In dem untersuchten Betrieb wurde zusätzlich ein Spitzenlastmanagement durchgeführt, das sehr erfolgreich war und sich schon nach weniger als einem Jahr amortisiert hat. Die Analyse der Lastengänge hatte ergeben, dass tagsüber nur ca. 300 kWh benötigt werden und erst gegen abend bzw. nachts, also dann, wenn die Backöfen angeschaltet sind, bis zu 1.400 kWh. Daher wurde die Spitzenlast auf 850 kWh begrenzt. Wenn diese Grenze überschritten wird, gibt es ein System, dass je nach Priorität, bestimmte Maschinen zuerst abschaltet. Die Abschaltzeiten sind Erfahrungswerte und die Spitzenlast wird jedes Jahr neu mit dem Stromversorger ausgehandelt.

Weitere Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz sind laut der Betriebsleitung nur dann sinnvoll und machbar, wenn ohnehin bauliche Maßnahmen durchgeführt werden.

Die Vollkornbäckerei befindet sich in einem Wohngebiet. Das Wohnhaus, in dem sich der Betrieb befindet, gehört dem Eigentümer der Bäckerei. In dem Betrieb sind 20 Mitarbeiter tätig, zu dem Betrieb gehören sieben Filialen. Außerdem werden ca. 39 Wiederverkäufer beliefert. Das Sortiment umfasst Vollkornbackwaren und ein geringer Anteil an Vollkornkonditoreiwaren.

2004 wurde das Wohnhaus, in dem sich der Betrieb befindet, energetisch modernisiert. So konnten zwei Drittel der Heizenergie eingespart werden. Außerdem wurde auf dem Dach eine Photovoltaik-Anlage installiert, die ca. 4.000 kWh im Jahr liefert und ins öffentliche Stromnetz einspeist. Der vom Betrieb benötigte Strom wird aus erneuerbaren Energien bezogen. Die gasbeheizten Öfen wurden speziell für die Vollkornbäckerei von einem Ingenieurbüro konzipiert. Der Betrieb und das darüber liegende Wohnhaus mit sechs Wohneinheiten können sich komplett mit eigener Wärme versorgen und benötigen keine Fernwärme mehr.

Die untenstehende Abbildung zeigt das System der Abwärmenutzung in dem Betrieb. Das Rauchgas aus dem Ofen wird für die Erhitzung des Wassers eingesetzt, außerdem wird der beim Backprozess frei wer-

dende Wasserdampf (Schwaden) genutzt, um das Wohnhaus mit Wärme zu versorgen. Es gibt jeweils einen Wasserspeicher für das Warmwasser und einen Latentwärmespeicher für die Wärme im Wohnhaus. Mit diesem System der Abwärmenutzung benötigt der Vollkornbäcker nur ein Drittel der Energie verglichen mit vergleichbaren Bäckereibetrieben. Eine weitere Maßnahme, um die Umwelt zu schonen, war die Anschaffung von zwei Elektro-Lieferwagen. Direkt neben dem Wohnhaus gibt es dafür zwei Stellplätze mit Ladestationen.

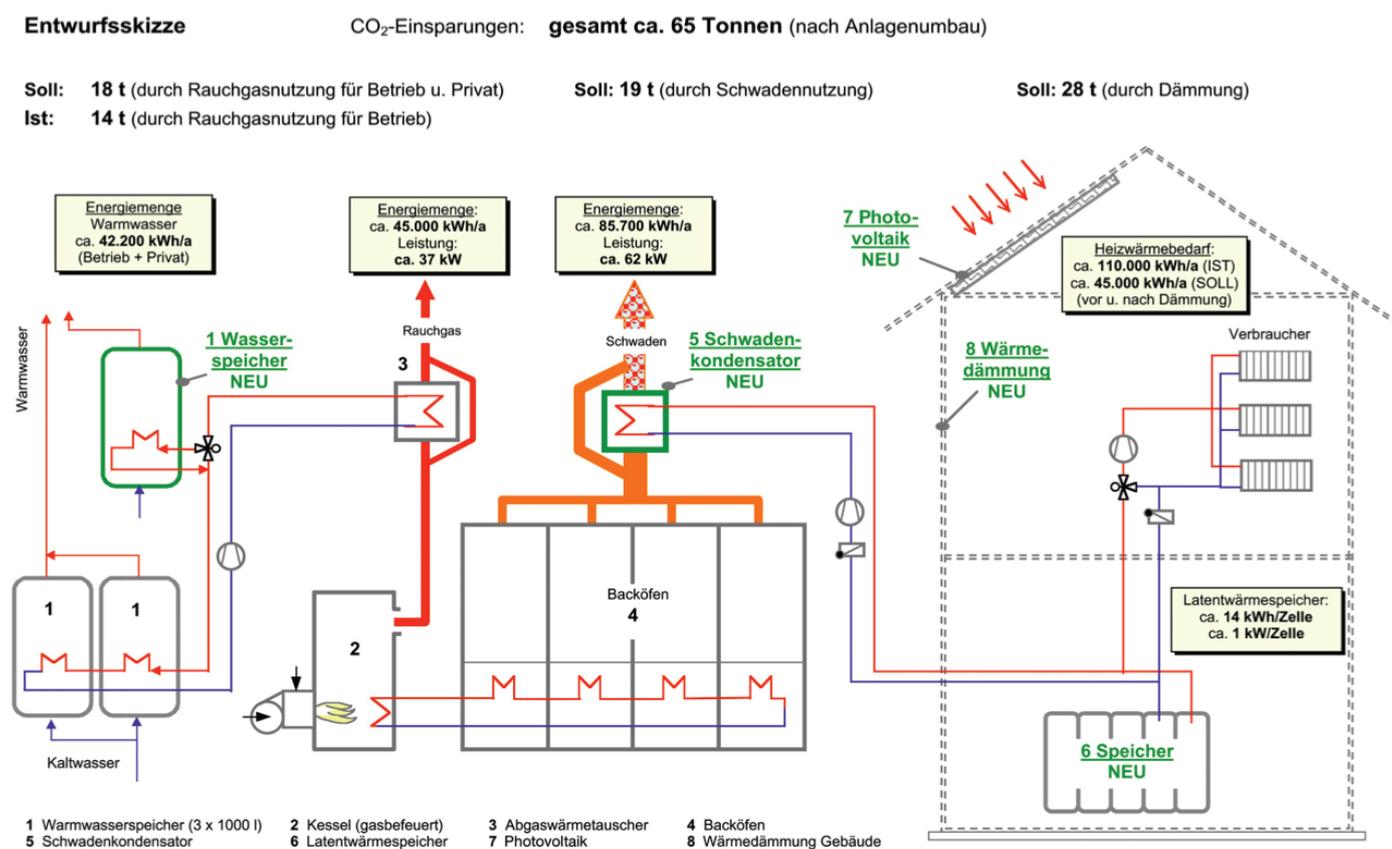


Abbildung 7 Entwurfsskizze Abwärmenutzung Vollkornbäcker

In dem Gespräch mit der Geschäftsführerin wird deutlich, dass dem Betrieb Klimaschutz und Erhalt der Umwelt sehr wichtig sind. Das fängt damit an, dass nur mit regionalen, saisonalen und ökologisch angebauten Rohstoffen gebacken wird. Jeder Rohstoff muss natürlich sein, es wird kein Zucker verwendet und es gibt keine Backwaren aus weißem Mehl. Des Weiteren wird in dem Betrieb nur so viel täglich produziert wie auch benötigt wird. Daher gibt es keine Vorproduktion mit Teiglingen. Daher werden auch keine Tiefkühlräume benötigt. Das ist ein wichtiger Grund, warum die Bäckerei so wenig Energie im Vergleich zu anderen Bäckereibetrieben benötigt. In der Vollkornbäckerei gibt es lediglich eine Kühlzelle für einige Produkte die bei ca. 8°C gelagert werden müssen. Die Geschäftsführerin ist der Meinung, dass Energie momentan noch zu kostengünstig ist und daher so wenige Betriebe in Effizienzmaßnahmen wie z.B. Abwärmenutzung investieren. Sobald die Energiekosten weiter steigen, geht sie davon aus, dass mehr Betriebe in Effizienzmaßnahmen investieren werden. Sie denkt, dass es momentan noch eine Einstellungssache ist, ob in Effizienzmaßnahmen investiert wird oder nicht. Das Geld, das der Betrieb durch den verringerten Energieverbrauch spart, wird in neue Maßnahmen wie z.B. die zwei Elektro-Lieferwagen investiert. Abschließend führt die Geschäftsführerin noch an, dass ein Grund für die geringe Abwärmenutzung darin liegt, dass viele Betriebe auf der „grünen Wiese“ gebaut haben, wo es häufig gar keine Abnehmer in der unmittelbaren Umgebung für die Abwärme gibt.

### 4.1.2 Ingenieurbüro Stöver

In dem Interview berichtete Herr Stöver von einigen seiner Projekte, in denen Abwärme, in Nahwärme-

netzen genutzt wurden. Er betonte, dass bei einem solchen Vorhaben die Kommunikation zwischen den Akteuren, die sehr viel Zeit bei der Planung in Anspruch nimmt, sehr wichtig sei. Des Weiteren berichtete er, dass zu Beginn der Planung eines Nutzungskonzepts sämtliche Rahmenbedingungen miteinbezogen werden müssen. Dazu gehört die Ermittlung der Abwärmemenge und des Temperaturniveaus der Abwärme. Außerdem lässt sich mit der Abwärme meist nur die Grundlast decken, weswegen außerdem noch geklärt werden muss, wie die Spitzenlast gedeckt werden kann oder ob noch weitere erneuerbare Energien zum Einsatz kommen können. Am wirkungsvollsten kann die Abwärme genutzt werden, wenn sie nur über kurze Wege transportiert werden muss. Wenn die Transportwege zu lang werden lohnt es sich wirtschaftlich meist nicht mehr. Ideal ist es daher, die Abwärme selbst zu nutzen und gegebenenfalls weitere Nachbarn mithilfe eines Nahwärmenetzes zu versorgen.

Damit ein solches Abwärmenutzungskonzept umgesetzt wird, müssen für alle Beteiligten die jeweiligen Vorteile herausgearbeitet werden.

Die Nachbarn haben folgende Vorteile bei einem Anschluss an ein Nahwärmenetz:

- Preisstabilität der Abwärme
- Wegfall der Nebenkosten für die eigene Heizungsanlage (Wartung, Schornsteinfeger, TÜV)
- Kostengünstigere Wärme als bei der bisherigen eigenen Versorgung mit i.d.R. Öl- oder Gaskessel (Zwingende Voraussetzung)

Der Betriebseigentümer, der die überschüssige Wärme hat, hat folgende Vorteile:

- Einnahmen durch Verkauf der Abwärme
- Reduzierung des Energiebedarfs und daher Reduzierung der eigenen Energiekosten
- Steuerliche Vorteile (Abschreibungskosten der Anlage, gelten machen der Zinsen und Tilgung)
- Förderung der Investition mit dem Programm 271 durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
- Weitere Zuschüsse:
  - o Z.B. durch die KfW, wenn der Wärmebedarf mit bis zu 50 Prozent mit erneuerbaren Energien gedeckt wird (auch für die Deckung der Spitzenlast z.B. mit einer Holzpellet-Anlage)
  - o für den Bau des benötigten Wärmenetz

Sobald die Rahmenbedingungen zusammengestellt sind, sollte am besten ein neutraler Moderator, z. B. das mit der Planung beauftragte Ingenieurbüro, die umliegenden Nachbarn ansprechen und ihnen ein Angebot für die Wärmeversorgung durch die Abwärme unterbreiten. Den potenziellen Abnehmern der Abwärme kann angeboten werden, dass sie die Abwärme für bis zu 20 Prozent günstiger bekommen als durch die bisherige eigene Wärmeversorgung, wenn sie sich mit einem Baukostenzuschuss beteiligen. Möchten Sie dies nicht oder sich nur mit einem geringeren Baukostenzuschuss beteiligen, bekommen sie die Abwärme nur 10 bis 15 Prozent günstiger. Diese Zahlen beziehen sich auf ein modellhaftes Vergleichen und sind nicht bei jedem Projekt erreichbar, da

sie stark von den projektspezifischen Gegebenheiten abhängen. Es sind also Zielwerte.

Die Erfahrungen von Herrn Stöver haben gezeigt, dass sich die meisten Nachbarn von einem solchen Konzept überzeugen lassen, da sie ganz klar ihre wirtschaftlichen Vorteile sehen. Trotzdem ist die Umsetzung eines Abwärmenutzungskonzepts stark von der Grundeinstellung des Eigentümers der Abwärme abhängig. Häufig fehlen qualitative Informationen darüber. Außerdem kann die zum Teil mangelnde Ausbildung der Handwerker ein Problem für die Umsetzung sein. Das liegt daran, dass sich die Mehrzahl der Handwerker bisher noch nicht mit der Integrierung der erneuerbaren Energien in die technische Gebäudeausrüstung beschäftigt haben.

## 4.2 Zusammenfassung

Zwischen den untersuchten Betrieben konnten nach den Gesprächen und Besichtigungen einige Gemeinsamkeiten und auch Unterschiede festgestellt werden, die nun zusammenfassend dargestellt werden. Der Großbäcker und die Konditorei und Bäckerei haben gemeinsam, dass sie beide zum größten Teil vorproduzieren und keine klassischen Filialisten sind. Das heißt, sie backen den Großteil ihrer Backware selbst und liefern nicht Teiglinge in die Filialen, wo diese dann aufgebacken werden. Das bedeutet zum einen, dass sie eine umfangreichere Kälteanlage benötigen als die Vollkornbäckerei und somit einen höheren Strombedarf haben. Deswegen können sie aber auch die Abwärme der Kälteanlage nutzen. Zum anderen ist ihr Gesamtenergiebedarf auch höher als von anderen Betrieben, die nur Teiglinge anfertigen.

Die Vollkornbäckerei und die Bäckerei und Konditorei haben gemeinsam, dass sie sich jeweils in einem

Wohnhaus, das sogar den Bäckereieigentümern gehört, befinden. Dadurch entsteht die Chance, dass die in dem Betrieb entstehende Abwärme direkt zu Heizzwecken oder zur Warmwasserversorgung des Wohnhauses genutzt werden kann.

Der Großbäcker hingegen befindet sich aufgrund der Betriebsgröße in einem Gewerbegebiet. Das erschwert zunächst die Abwärmenutzung. Zusätzlich sind der technische Aufwand und die Investitionen höher, wenn die Abwärme nicht direkt im Betrieb genutzt werden kann, sondern zu einem externen Abnehmer geliefert werden muss. Jedoch entsteht in einem Großbetrieb mehr Abwärme, die eventuell an einen anderen Gewerbebetrieb oder ein anderes Wohnhaus in der näheren Umgebung verkauft werden kann, was sich das bei steigenden Energiepreisen für beide Seiten lohnen könnte. Für ein solches Vorhaben könnte der Großbäcker selbst einen Abwärmeabnehmer suchen und ein Ingenieurbüro mit der Planung und Realisierung der betriebsexternen Abwärmenutzung beauftragen. Bei dieser Variante müssen sie zunächst selbst größere Investitionen tätigen, allerdings wäre ihnen dann auch der gesamte Gewinn gesichert. Eine andere Variante wäre, einen Contractor zu beauftragen. Das würde die Investitionssumme reduzieren, jedoch wäre auch der mögliche Gewinn für die Großbäckerei geringer. Diese Entscheidung muss abgewogen werden.

Ein weiterer Hinderungspunkt zur Abwärmenutzung, der sich im Verlauf der Gespräche mit den Betrieben gezeigt hat, ist, dass die passenden technischen Lösungen für die Abwärmenutzung oft fehlen bzw. dass sie bei den derzeitigen Energiepreisen noch zu teuer sind. Ähnliches berichtete Herr Stöver. Er berichtete, dass viele der ausführenden Betriebe zu wenig wei-

tergebildet sind auf dem Gebiet der erneuerbaren Energien in der Gebäudeausrüstung und daher häufig qualitative Informationen über die technischen Möglichkeiten fehlen. Das hindert die Umsetzung von Abwärmenutzungskonzepten.

Die Geschäftsführerin von der Vollkornbäckerei teilte mit, dass es immer noch eine Einstellungs- bzw. Überzeugungssache ist, ob in Abwärmenutzung investiert wird oder nicht. Die Energiekosten betragen bisher nur einen kleinen Anteil an den Gesamtkosten eines Bäckereibetriebes. Die Interviews ergaben, dass die Betriebe vor den umfassenden Investitionen und den langen Amortisationszeiten zurückschrecken. Durch das Interview mit Herrn Stöver wurde allerdings aufgezeigt, dass es sich auch wirtschaftlich lohnen kann in die Abwärmenutzung zu investieren. Das wirtschaftliche Ergebnis kann zudem durch die Nutzung von Zuschüssen und Fördermitteln verbessert werden.

Außerdem haben sich in einem Familienbetrieb die betriebsinternen Strukturen als Hemmnis erwiesen. Die Eltern, denen die Bäckerei noch gehört, möchten nicht in neue effizientere Backofentechniken investieren, weil sie davon vermutlich wenig verstehen und sie nicht die Notwendigkeit sehen. Anders als die jetzigen Betreiber der Bäckerei, die gerne investieren würden, aber an die Entscheidung der Eigentümer gebunden sind.

## 5. Potenziale der gewerblichen Abwärme

In diesem Abschnitt soll die Größenordnung der anfallenden Abwärmemenge in der Großbäckerei berechnet werden und mit dem durchschnittlichen Heiz- und Warmwasserbedarf eines typischen Hamburger Wohnhauses in Beziehung gestellt werden. Das soll dazu dienen herauszufinden, wie viel Abwärme anfällt und ob diese ausreicht, um ein durchschnittliches Mehrfamilienhaus zu beheizen. Damit soll also dargestellt werden, ob eine betriebsexterne Nutzung der Abwärme möglich ist.

Für die Gegenüberstellung wurde der Stadtraumtyp „Sozialer Wohnungsbau der 1950er“ gewählt. Das Einordnen von Gebäuden zu Stadtraumtypen, die sich in ihrer Bebauungsstruktur, Nutzung und dem Gebäudealter ähneln, dient dazu, überschlägige Aussagen hinsichtlich ihres Energieverbrauchs treffen zu können (IBA Hamburg GmbH 2011, S.3).

### 5.1 Berechnung der Abwärmemenge

Aus den Daten der Lastgangkurve, die von der Großbäckerei zur Verfügung gestellt wurden, wurde zunächst ein Durchschnittswert des Stromverbrauchs in kWh pro Tag ermittelt. Dieser Wert von ca. 10.000 kWh am Tag wurde dann in einem nächsten Schritt auf das Jahr hochgerechnet. Daraus ergab sich der Gesamt-Strombedarf des Betriebes von ca. 3.700.000 kWh pro Jahr. Es wurde angenommen, dass die 14 Backöfen in dem Betrieb ca. 60 Prozent der Gesamtenergie verbrauchen, woraus sich der jährliche Stromverbrauch von ca. 2.200.000 kWh ermitteln ließ. Um nun eine Größenordnung für die Abwärmemenge zu ermitteln, wurde angenommen, dass 22

Prozent des Wärmeverlusts der Backöfen als Abwärme gewonnen werden könnte (siehe Abbildung 5).

Daraus ergab sich die jährliche Abwärmemenge von ca. 490.000 kWh. Diese grobe Berechnung bildet nur eine Größenordnung der möglichen Abwärmemenge und erfordert weitere konkretere Untersuchungen und Berechnungen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich sind. Außerdem könnte die Abwärmehückgewinnung bei gasbefeuerten Backöfen bei bis zu 40 Prozent liegen (siehe Abbildung 5).

Durchschnittlicher Stromverbrauch pro Tag	10.000 kWh
Gesamt-Stromverbrauch pro Jahr	3.700.000 kWh
Stromverbrauch der Backöfen	2.200.000 kWh
Größenordnung Abwärme der Backöfen	490.000 kWh

### 5.2 Berechnung des Wärmebedarfs

Der Stadtraumtyp „Sozialer Wohnungsbau aus den 1950er“ hat einen jährlichen Heizenergiebedarf von ca. 199 kWh/qm und einen jährlichen Warmwasserbedarf von 35 kWh/qm (IBA Hamburg GmbH 2011, S.34 und S.37). Für die Schätzung des Wärmebedarfs wird von einem Mehrfamilienhaus mit 4 Etagen à 3 Wohneinheit mit durchschnittlich 60 qm ausgegangen. Grob überschlagen ergibt sich daraus ein jährlicher Wärmebedarf von 169.000 kWh.

Etagenfläche	180 qm
Gesamtfläche	720 qm
Jährlicher Heizenergiebedarf	143.300 kWh
Jährlicher Warmwasserbedarf	25.200 kWh
Jährlicher Gesamt-Wärmebedarf	168.500 kWh

### 5.3 Gegenüberstellung der Abwärmemenge und des Wärmebedarfs

Werden die beiden Zahlen aus den Schätzungen gegenübergestellt, kann festgehalten werden, dass ca. 34 Wohneinheiten ihren kompletten Wärmebedarf mit der Abwärme aus der Großbäckerei decken können. Das entspricht ca. 2,9 Mehrfamilienhäusern des untersuchten Stadtraumtyps. Das ist schon mal eine Größenordnung mit der gearbeitet werden kann. Es sollte weiter geprüft werden ob die Großbäckerei Teil eines Nahwärmenetzes werden könnte. Diese Abschätzung gilt für eine Großbäckerei. Doch das Beispiel der Vollkornbäckerei zeigt, dass selbst ein kleiner Betrieb ein Mehrfamilienhaus komplett mit Wärme versorgen kann.

Dies ist jedoch nur eine grobe Schätzung. Bei der detaillierten Ausarbeitung eines derartigen Versorgungskonzepts muss berücksichtigt werden, dass die geringste anfallende Abwärmemenge an einem Tag für den kältesten Tag im Jahr reichen muss. Wenn dies nicht möglich ist, wird ein zusätzlicher Spitzenlastkessel benötigt. Außerdem würde ein Wärmespeicher die Versorgungsunsicherheiten reduzieren und die zeitlichen Unterschiede der Verfügbarkeit und des Bedarfs der Abwärme ausgleichen. Des Weiteren sind bei dieser Schätzung die Wärmeverluste des benötigten Wärmetauschers und die Transportverluste der Wärme nicht berücksichtigt.

### 5.4 Fazit zum Potenzial der Abwärme

Aufgrund der geringen Abwärmemenge eines einzelnen Betriebs, verglichen mit der von Industriebetrieben, bildet die betriebsexterne Abwärmenutzung eher kleine Inselösungen, wie das Beispiel der Vollkornbäckerei oder die durchgeführte Schätzung mit

der Großbäckerei zeigen. Wobei diese kleinen Inselösungen für die zukünftige Energieversorgung von Städten dennoch einen Beitrag leisten könnten, da es ja relativ viele Gewerbebetriebe dieser Größenordnung in den Städten gibt. Sie können dafür sorgen, dass der Gesamtenergiebedarf von Städten sinkt und damit die CO<sub>2</sub> Emissionen reduziert werden.

Eine Option wäre ein Zusammenschluss mehrerer Abwärmequellen und Senken zu einem virtuellen Heizwerk, wie dies heutzutage in unterschiedlichen Projekten erprobt wird. Durch den Zusammenschluss können z.B. Versorgungsunsicherheiten verringert werden.

Eine weitere Option wäre die Integration der CO<sub>2</sub> armen Inselösungen in das derzeitige Fernwärmenetz in Hamburg. Um dies zu ermöglichen sollte, wie auch im Masterplan Klimaschutz in Hamburg formuliert, das Fernwärmenetz in kleinere Subnetze unterteilt werden, damit das Temperaturniveau gesenkt werden und auch gewerbliche Abwärme mit geringerem Temperaturniveau eingespeist werden kann. Eine weitere Möglichkeit, um die Einspeisung gewerblicher Abwärme in ein Wärmenetz zu erleichtern, wäre die Etablierung der im Rahmen der Forschungsinitiative EnEff:Wärme untersuchten neuen adaptiven Kälte- und Wärmenetze.

Ein Problem für die vermehrte Abwärmenutzung im Gewerbebereich ist die Entscheidungsabhängigkeit der Umsetzung der Abwärmenutzung von vielen Eigentümern und die zum Teil erheblichen Investitionen. Außerdem gibt es bisher keine Datengrundlage über Abwärmequellen und Abwärmesenken in Ham-

burg. In Bayern<sup>1</sup> und Sachsen<sup>2</sup> gibt es eine Website auf der nach lokalen Abwärmequellen und auch Senken gesucht werden kann. Außerdem besteht dort die Möglichkeit Abwärmequellen- und / oder Senken selbst einzutragen. Mithilfe von Karten kann genau gesehen werden wo es z.B. eine Abwärmequelle gibt und auch welches Temperaturniveau sie hat. Diese Webseiten bieten eine Plattform für potenzielle Anbieter und Abnehmer von Abwärme. Das Tool könnte hilfreich sein, um bei der betriebsexternen Nutzung von Abwärme die institutionellen Hemmnisse zu beheben oder zumindest zu erleichtern. Es würde sich anbieten, auch für Hamburg einen Wärmeatlas oder ein Wärmekataster zu erarbeiten, wie dies in den beiden genannten Bundesländern gemacht wurde. Dafür könnten Abwärmequellen und Senken, also z.B. Gewerbe- und Industriebetriebe in denen Abwärme anfällt, mithilfe von einem Geoinformationssystem verortet werden.

Außerdem könnte eine Plattform oder eine Koordinierungsstelle eingerichtet werden, wo Abnehmer und Anbieter zusammen kommen können. Diese Aufgabe könnte von Stadtplanern übernommen und gestaltet werden. Stadtplaner sind für die Aufgabe besonders geeignet, weil, wie schon in der Einleitung genannt, die Koordinierung von Abwärmequellen und Senken einen starken räumlichen Bezug hat und hauptsächlich Stadtplaner daran beteiligt sind, die Nutzung des Raumes zu gestalten und zu planen. Anders als andere Planungsdisziplinen hat die Stadtplanung einen gesamtstädtischen Ansatz, mit dem die unterschiedlichen Anforderungen, Bedürfnisse und Belange der zukünftigen Energieversorgung in Ein-

klang gebracht werden können.

---

1 <http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/?comp=abwaerme>

2 <http://www.abwaermeatlas-sachsen.de/Die-interaktive-Karte.html>

## 6. Fazit und Ausblick

Abschließend ist festzuhalten, dass es zwei unterschiedliche Möglichkeiten gibt, gewerbliche Abwärme zu nutzen. Welche Nutzung der Abwärme für einen Betrieb sinnvoll oder realisierbar ist, hängt von den betrieblichen Gegebenheiten ab. Zu den wichtigsten Faktoren gehören die Menge und das Temperaturniveau der Abwärme, sowie der Platz in den Betrieben und die finanziellen Möglichkeiten der Betriebe.

Die prozessinterne Abwärmenutzung bietet den Betrieben die Möglichkeit, Energie einzusparen und damit ihre CO<sub>2</sub> Emissionen zu verringern, sowie Geld zu sparen. Außerdem erhöht das die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe, da sie weniger Geld für steigende Energiepreise aufwenden müssen.

Sofern sich ein Betrieb entscheidet, seine Abwärme einzuspeisen, müssen die genauen Rahmenbedingungen geprüft werden. Es muss ein Wärmenetz in unmittelbarer Umgebung geben oder einen direkten Abnehmer. Dabei können strukturelle Schwierigkeiten auftreten, die die vermehrte Abwärmenutzung erschweren.

Das Beispiel der Vollkornbäckerei und die Schätzung zur Abwärmemenge einer Großbäckerei haben ergeben, dass es auf jeden Fall genügend Abwärme gibt, die nicht nur im Betrieb genutzt werden kann, sondern auch extern z.B. in einem Nahwärmenetz mehrere Wohnhäuser mit Wärme versorgen kann. Das belegen auch einige Projekte, die Herr Stöver im Interview beschrieben hat.

Im Rahmen dieser Arbeit ist keine Gesamtschätzung zu der Rolle von gewerblicher Abwärme aus Bäckereibetrieben in der zukünftigen Energieversor-

gung möglich. Grund dafür ist u.a. die heterogene Struktur des Bäckereigewerbes. Es gibt viele unterschiedliche Betriebstypen, die alle unterschiedliche Eigenschaften haben, z.B. bezüglich der Prozesse und der Energieverbräuche. Aus diesem Grund wäre eine betriebsgenaue Untersuchung und Berechnung des Abwärmepotenzials erforderlich, dies würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Jedoch sollte für eine erste Beantwortung der zentralen Fragestellung, welche Rolle gewerbliche Abwärme in der zukünftigen Energieversorgung spielt, festgehalten werden, dass diese eher eine untergeordnete aber nicht zu vernachlässigende Rolle spielen kann. Gewerbliche Abwärme sollte daher gerade in der derzeitigen Umstrukturierung der Energie- und Wärmeversorgung im Rahmen der Energiewende nicht vergessen werden. Die gewerbliche Abwärme kann ein Baustein bei der zukünftigen Energieversorgung sein, sofern sich die derzeitigen Rahmenbedingungen der zentralen Wärmeversorgung hin zu dezentraleren Lösungen entwickelt.

Es sollte noch einmal betont werden, dass, egal auf welche Art und Weise die Abwärme genutzt wird, ob sie direkt im Betrieb rezykliert oder in ein Nahwärmenetz eingespeist wird, vorhandene Wärme genutzt wird, die ansonsten nur an die Umgebung abgegeben würde. Damit können umweltzerstörende CO<sub>2</sub> Emissionen reduziert und die Energieeffizienz der Betriebe erheblich gesteigert werden. Deshalb sollte die Abwärmenutzung auf jeden Fall in Betracht kommen, um die Klimaschutzbemühungen in Hamburg und den Städten allgemein weiter voranzutreiben.

Bisher wird vor allem im Rahmen der Forschungsini-

tiative EnEff:Wärme über neue Wege der zukünftigen Wärmeversorgung geforscht. Es bleibt abzuwarten, was die neuen Erkenntnisse der etlichen Forschungsprojekte ergeben. Festzuhalten ist, dass die zukünftige CO<sub>2</sub>-arme Wärmeversorgung dezentraler gestaltet werden muss, da es ansonsten schwierig wird, regenerative Energien und Abwärme zu nutzen.

## Quellenverzeichnis

**Bäckerei Heitzmann GmbH & Co. KG:** Vom Mehl zum Brot. o.J.

<http://www.baeckerei-heitzmann.de/start/wissenswertes/vom-mehl-zum-brot.html>

(Stand: 13.12.12)

**Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.):** Bäckerhandwerk: Energie sparen-Kosten senken!. Augsburg: o.V., 2003

**Bayrisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz und Landes-Innungsverband für das bayerische Bäckerhandwerk (Hrsg.):** Die umweltbewusste Bäckerei: Leitfaden für umweltorientiertes Handeln. München: o.V., 2006

**Bayrische Staatsregierung a:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung b:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/betriebsintern.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/betriebsintern.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung c:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/betriebsintern/physik.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/betriebsintern/physik.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung d:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/betriebsintern/nutzung.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/betriebsintern/nutzung.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung e:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/betriebsintern/technik.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/betriebsintern/technik.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung f:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/ausserbetrieblich.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/ausserbetrieblich.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung g:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/ausserbetrieblich/nutzung.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/ausserbetrieblich/nutzung.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Bayrische Staatsregierung h:** Energie-Atlas Bayern 2.0, o.J.

[http://www.energieatlas.bayern.de/thema\\_abwaerme/ausserbetrieblich/technik.html](http://www.energieatlas.bayern.de/thema_abwaerme/ausserbetrieblich/technik.html)

(Stand: 04.01.2013)

**Brüder Oebel GmbH:** Wie wir backen, 2012

<http://www.oebel.de/gesund-geniessen/wie-wir-backen/>

(Stand: 13.12.12)

**Brandstätter, Roland:** Industrielle Abwärmenutzung: Beispiele & Technologien. 1. Aufl. Linz: o.V., 2008

**Deutsche Energie-Agentur (dena):** Energie-Glossar, 2012

<http://www.thema-energie.de/service/energie-glossar.html>

(Stand: 12.12.12)

**Effenberger Vollkorn Bäckerei:** Unser Betrieb, 2007

<http://www.effenberger-vollkornbaeckerei.de/seiten/betrieb.php>

**energie.ch a:** Energieeffizienz in Bäckereien, 2009

<http://www.energie.ch/baekerei>

(Stand: 20.12.12)

**energie.ch c:** Backofen, 2009

<http://www.energie.ch/backofen>

(Stand: 20.12.12)

**EnergieAgentur.NRW GmbH a:** Mittel- bis langfristige Maßnahmen beim Kühlen und Gefrieren, 2012

(Stand: 13.12.12)

**EnergieAgentur.NRW GmbH b:** Energieeffizienz in Bäckereien, 2012

<http://www.energieagentur.nrw.de/ekbaeckereien/energieeffizienz-in-baekereien-4753.asp>

(Stand: 13.12.12)

**EnergieAgentur.NRW GmbH c:** Technisches Potenzial für integrierte Energieversorgungskonzepte  
<http://www.energieagentur.nrw.de/ekwaeschereien/technisches-potential-fuer-integrierte-energieversor-gungskonzepte-4923.asp>  
 (Stand: 13.12.12)

**EnergieAgentur.NRW GmbH d:** Mittel- bis langfristige Maßnahmen bei Backöfen, 2012  
<http://www.energieagentur.nrw.de/ekbaeckereien/mittel-bis-langfristige-manahmen-bei-backoefen-4947.asp>  
 (Stand: 13.12.12)

**EnergieAgentur.NRW GmbH e:** Basisinformation, 2012  
[http://www.kooperation-energieeffizienz.de/baekereien\\_basisinfos.html](http://www.kooperation-energieeffizienz.de/baekereien_basisinfos.html)  
 (Stand: 14.12.12)

**EVH GmbH:** Bäcker und Konditor, o.J.  
<http://www.stadtwerke-halle.de/EVH/Gewerbekunden/Energie-sparen/Energiespartipps/Baecker-und-Konditor/>  
 (Stand: 14.12.12)

**Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe a:** Die Forschungsinitiative Eneff:Wärme, o.J.  
<http://www.eneff-stadt.info/de/forschungsinitiativen/forschungsinitiative-eneffwaerme/>  
 (Stand: 12.12.12)

**Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe b:** Glossar, o.J.  
<http://www.eneff-stadt.info/de/glossar>  
 (Stand: 12.12.12)

**Groscurth, Helmuth-M.** et al: Basisgutachten zum Masterplan Klimaschutz für Hamburg – Möglichkeiten zur Verringerung der CO2 Emissionen im Rahmen einer Verbraucherbilanz. Hamburg: arrhenius Institut für Energie und Klimapolitik, 2010

**IBA Hamburg GmbH:** Ein Mahnmal treibt den Stadtteil an – Energiebunker, o.J.  
<http://www.iba-hamburg.de/themen-projekte/energiebunker/projekt/energiebunker.html> (Stand: 15.12.12)

**IBA Hamburg GmbH (Hrsg.):** Endbericht-Energetische Optimierung des Modellraums IBA Hamburg. Ham-burg: o.V., 2011

**Kötter, Andreas:** Errichtung einer Öko-Bäckerei mit ganzheitlichem Konzept. Umweltbundesamt (Hrsg.). Dessau: o.V., 2005

**Krimmling, Jörn:** Energieeffiziente Nahwärmesysteme. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2011

**MA 27, EU-Strategie und Wirtschaftsentwicklung Energie- und SEP Koordination** (Hrsg.): Nutzung von Abwärmepotenzialen in Wien. Wien: o.V., 2008

**Meinke, Mathias:** Das Deutsche Bäckerhandwerk: Daten und Fakten 2012. Zentralverband des Deutschen Bäckerhandwerks e.V. (Hrsg.). Berlin: o.V., 2012

**Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg:** Umweltrelevante Grundlagen, o.J.

<http://www.umweltschutz-bw.de/?lvl=4963>

(Stand: 13.12.12)

**Pehnt, Martin** et. al: Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Heidelberg/Karlsruhe: o.V., 2010

**RWE Effizienz GmbH:** Nahwärme-Heizwärme im Kollektiv nutzen, o.J.

<http://www.energiwelt.de/web/cms/de/1217696/energieberatung/heizung/fernwaerme/nahwaerme/>

(Stand: 21.12.12)

**Saarland Ministerium für Umwelt** (Hrsg.): Leitfaden Energieaudit im Handwerk: Branchenspezifische Informationen für Bäcker. Saarbrücken: o.V., 2008

**Schlomann, Barbara; Gruber, Edelgard; Geiger, Bernd** et. al: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) für die Jahre 2004 bis 2006. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, 2009

**Schlüter, Hanjo:** Bäckerhandwerk pur. In: Infobroschüre des Öko-Wochenmarktes. Öko-Wochenmarkt & Regionales (Hrsg.), Hamburg: Februar 2005

**Schmitz, Winfried:** Abwärmenutzung im Betrieb: Klima schützen-Kosten senken. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.). Augsburg: o.V., 2012

**Wersch, Matthias:** Sachbericht-Technologierecherche Abwärmenutzung. Sächsische Energieagentur – SAE-NA GmbH (Hrsg.). Dresden: o.V., 2010

**Unternehmen für Ressourcenschutz** (Hrsg.): Einsatz energieeffizienter Backofentechnik in Bäckereien – Checklisten und Erläuterungen. Hamburg: o.V., o.J.

**WIN energy** (Hrsg.): Energiekennzahlen und –sarpotenziale in Bäckereien. Linz: o.V., 1998

### **Expertengespräche**

Geschäftsführer der Konditorei und Bäckerei

30. November 2012

Technische Leitung und Geschäftsführerin der Großbäckerei

7. Dezember 2012

Geschäftsführerin der Vollkorn Bäckerei, Telefonat

10. Januar 2013

Ingo Stöver, Geschäftsführer des Ingenieurbüros Stöver

1. Februar 2013

## Eidesstattliche Erklärung

„Ich versichere, dass ich die vorstehende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und mich anderer als der in den beigefügten Verzeichnissen angegebenen Hilfsmittel nicht bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die eingereichte elektronische Fassung der Arbeit entspricht der eingereichten schriftlichen Fassung exakt. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.“

Datum

Unterschrift