

# Latentwärmespeicher für trassenlose Wärmeerzeugung

Innovative Nutzung von Industrieabwärme und Aufbau einer  
Logistik für „Wärmelieferung im Container“

A. Hofmann et al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**23/2008**

## **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>

# Latentwärmespeicher für trassenlose Wärmeerzeugung

Innovative Nutzung von Industrieabwärme und Aufbau einer  
Logistik für „Wärmelieferung im Container“

DI (FH) Angela Hofmann

ATB Antennen°Umwelt°Technik und Technisches Büro Becker

Absam, März 2007

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

**Projektleitung:**

ATB Antennen°Umwelt°Technik und Technisches Büro Becker  
DI (FH) Angela Hofmann

**Projektpartner:**

Montanwerke Brixlegg AG (Konsortial- und Finanzierungspartner)  
Mag. Werner Kössler

FHS Kufstein Tirol BildungsGmbH (Werkvertragspartner)  
DI Andreas Greml

Energie Tirol (Werkvertragspartner)  
DI Roland Kapferer, DI Norbert Pfurtscheller, DI Wolfgang Kreuzer

Cluster Tirol Wellness (Werkvertragspartner)  
Mag. Heinz Thielmann

Tiroler Zukunftsstiftung (Finanzierungspartner)  
DI Bernhard Klaffenböck

## Vorwort

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

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

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

Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# INHALTSVERZEICHNIS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Kurzfassung</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>Abstract</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>1 Einleitung</b> .....  | <b>10</b> |
| 1.1 Problemstellung .....  | 10        |
| 1.2 Ziel der Studie .....  | 10        |
| <b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....                                     | <b>12</b> |
| 2.1 Begriffsbestimmungen .....   | 12        |
| 2.2 Wärmespeicher .....  | 13        |
| 2.3 Funktionsweise von Latentwärmespeichern .....                          | 15        |
| 2.4 Speichermaterialien und Temperaturen .....                             | 16        |
| 2.5 Kriterien für die Auswahl von Speichern .....                          | 17        |
| <b>3 Erhebung der Rahmenbedingungen zur Abwärmenutzung</b> .....           | <b>20</b> |
| 3.1 Analyse der Produktionsprozesse .....                                  | 20        |
| 3.2 Erhebung der Abwärmepotentiale .....                                   | 23        |
| 3.2.1 Kostenstellenbezogene Energietabellen .....                          | 24        |
| 3.2.2 Prozessbezogene Energiebilanzen .....                                | 24        |
| 3.2.3 Geplante Ausbau- und Umstrukturierungsmaßnahmen .....                | 24        |
| 3.2.4 Bewertungsmatrizen .....   | 25        |
| 3.2.5 Geplantes Modell für eine „Wärmetankstelle“ .....                    | 25        |
| 3.2.6 Liefersicherheit .....   | 27        |
| 3.3 Zusammenfassung Abwärmenutzung .....                                   | 28        |
| <b>4 Wärmetransport</b> .....  | <b>29</b> |
| 4.1 Mobile Latentwärmespeicher .....                                       | 29        |
| 4.1.1 Lieferantenrecherche .....   | 29        |
| 4.1.2 Detailanalyse LWS-Container .....                                    | 30        |
| 4.2 Erstellung und Verifizierung unterschiedlicher Logistikvarianten ..... | 33        |
| 4.2.1 Einzugsgebiet und Versorgungsradius .....                            | 33        |
| 4.2.2 Container .....  | 34        |
| 4.2.3 Transportbeschränkungen .....  | 34        |
| 4.3 Einbindung lokaler Akteure .....                                       | 36        |
| 4.4 Erhebung technisches Equipment .....                                   | 37        |
| 4.4.1 Ladestelle .....   | 37        |
| 4.4.2 Auf- und Abladung der Container, Transportfahrzeuge .....            | 37        |
| 4.4.3 Entladestelle .....  | 39        |
| 4.4.4 Ladezustandkontrolle .....   | 39        |
| 4.5 Versorgungssicherheit .....  | 39        |
| 4.6 Erhebung der Transportkosten .....                                     | 40        |
| 4.7 Bahntransport .....  | 40        |
| 4.8 Zusammenfassung Wärmelogistik .....                                    | 42        |
| <b>5 Erhebung potentieller Abnehmer</b> .....                              | <b>43</b> |
| 5.1 Relevanz für das Facility Management der Wärmekunden .....             | 43        |
| 5.2 Methodik bei der Abnehmererhebung .....                                | 44        |
| 5.2.1 Informationsbroschüre .....  | 44        |
| 5.2.2 Fragebogen .....   | 44        |
| 5.2.3 Workshop .....   | 44        |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 5.3      | Ergebnisse .....  | 47        |
| 5.3.1    | Workshop – Kurzfragebogen .....   | 47        |
| 5.3.2    | Fragebögen Gewerbebetriebe .....  | 49        |
| 5.3.3    | Fragebögen Hotelbetriebe .....  | 50        |
| 5.4      | Zusammenfassung Abnehmerstruktur .....  | 51        |
| <b>6</b> | <b>Rechtliche Rahmenbedingungen .....</b>   | <b>53</b> |
| 6.1      | Betriebsanlagenrecht .....  | 53        |
| 6.2      | Baurecht .....  | 53        |
| 6.3      | Luftreinhalterecht, Heizungsanlagenrecht, Gasrecht .....                              | 54        |
| 6.4      | Kesselrecht .....   | 54        |
| 6.5      | Verkehrsrecht .....   | 55        |
| 6.6      | Gewerberecht .....  | 55        |
| <b>7</b> | <b>Wirtschaftliche Betrachtung .....</b>  | <b>56</b> |
| 7.1      | Allgemeine Kennzahlen .....   | 56        |
| 7.2      | Kalkulationsgrundlagen .....  | 57        |
| 7.2.1    | Wärmeauskopplung .....  | 57        |
| 7.2.2    | Transport .....   | 58        |
| 7.2.3    | Wärmeabnahme .....  | 59        |
| 7.2.4    | Kapitalkosten .....   | 60        |
| 7.3      | Berechnung der WärmeGESTEHUNGSKOSTEN .....  | 60        |
| 7.3.1    | Methodik .....  | 60        |
| 7.3.2    | Ergebnisse .....  | 60        |
| 7.4      | Sensitivitätsanalyse .....  | 62        |
| 7.4.1    | Methodik .....  | 62        |
| 7.4.2    | Ergebnisse Standardvariablen .....  | 63        |
| 7.4.3    | Ergebnisse Szenarien .....  | 64        |
| 7.5      | Nicht-monetäre Kriterien .....  | 67        |
| 7.6      | CO <sub>2</sub> -Zertifikate .....  | 69        |
| 7.7      | Investitionsförderungen in Österreich .....   | 71        |
| 7.7.1    | Bundesförderungen .....   | 72        |
| 7.7.2    | Förderungen in den Bundesländern .....  | 73        |
| 7.8      | Zusammenfassung .....   | 75        |
| <b>8</b> | <b>Ökobilanz .....</b>  | <b>76</b> |
| 8.1      | Allgemeines zur Ökobilanz .....   | 76        |
| 8.2      | Rahmen einer Ökobilanz .....  | 76        |
| 8.3      | Zieldefinition und allg. Festlegungen .....   | 77        |
| 8.4      | Sachbilanz .....  | 79        |
| 8.4.1    | Computerprogramm GEMIS für die Sachbilanz .....                                       | 79        |
| 8.4.2    | Lebenszyklusanalyse der Wärmeversorgung im Container .....                            | 81        |
| 8.4.3    | Produktion des Latentwärmespeichers .....   | 81        |
| 8.4.4    | Wärmelieferung .....  | 84        |
| 8.4.5    | Sachbilanzvergleich – Ermittlung der ökologisch vertretbaren Transportkilometer ..... | 85        |
| 8.5      | Wirkungsabschätzung .....   | 89        |
| 8.6      | Abschätzung der technologischen Veränderungen .....                                   | 91        |
| 8.7      | Auswertung – Resümee der Ökobilanz .....  | 91        |
| <b>9</b> | <b>Konzipierung eines Demonstrationsprojekts im Raum Brixlegg .....</b>               | <b>93</b> |
| 9.1      | Grundlagen .....  | 93        |
| 9.2      | Technisches Konzept .....   | 93        |
| 9.2.1    | Abnehmerprofile .....   | 93        |
| 9.2.2    | Berechnung des Wärmebedarfs / Deckung durch LWS .....                                 | 96        |
| 9.3      | Organisatorisches Konzept .....   | 99        |
| 9.3.1    | Berechnung der Lieferintervalle .....   | 99        |
| 9.3.2    | Graphische Darstellung der Lieferintervalle .....                                     | 100       |
| 9.3.3    | Besonderheiten .....  | 101       |
| 9.4      | Wirtschaftliche Betrachtung .....   | 102       |



|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 9.4.1     | Basisdaten und Methodik .....              | 102        |
| 9.4.2     | Varianten .....                            | 103        |
| 9.4.3     | Ergebnisse .....                           | 104        |
| 9.5       | Vergleich LWS-System – Wärmetrasse .....   | 106        |
| 9.6       | Fördermöglichkeiten .....                  | 107        |
| 9.7       | Zusammenfassung .....                      | 107        |
| <b>10</b> | <b>Zusammenfassung und Diskussion.....</b> | <b>108</b> |
| 10.1      | Zusammenfassung .....                      | 108        |
| 10.2      | Diskussion der erzielten Ergebnisse.....   | 109        |
| 10.2.1    | Technische Kriterien.....                  | 109        |
| 10.2.2    | Organisatorische Kriterien .....           | 109        |
| 10.2.3    | Wirtschaftliche Kriterien.....             | 111        |
| 10.3      | Ausblick.....                              | 113        |
| 10.3.1    | Mobile Anwendung .....                     | 113        |
| 10.3.2    | Stationäre Anwendung .....                 | 115        |
| 10.3.3    | Sonderanwendungen .....                    | 116        |
| 10.3.4    | Demonstrationsprojekt in Brixlegg.....     | 117        |
| <b>11</b> | <b>Verzeichnisse .....</b>                 | <b>118</b> |
| 11.1      | Abkürzungsverzeichnis.....                 | 118        |
| 11.2      | Abbildungsverzeichnis.....                 | 120        |
| 11.3      | Tabellenverzeichnis.....                   | 122        |
| 11.4      | Literatur- und Quellenverzeichnis .....    | 124        |

## Kurzfassung

Die Nutzung industrieller Abwärme wird zukünftig eine erhöhte Relevanz in der Energieversorgung haben, nicht zuletzt aufgrund der Forderungen der Europäischen Union: „20 % mehr Energieeffizienz, 20 % weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß und 20 % erhöhter Anteil an Erneuerbaren Energieträgern“. Die Auskoppelung von Industrieabwärme mittels Fernwärmetrassen ist zwar Stand der Technik, oft scheitern derartige Projekte aber an der zu großen Distanzen zwischen Industriebetrieb und potentiellen Abnehmern.

Durch neue Entwicklungen in der Wärmespeichertechnologie, die so genannten mobilen Latentwärmespeicher, kann sich eine Fernwärmeversorgung über die technischen und/oder wirtschaftlichen Grenzen von Fernwärmetrassen ausweiten. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden am Markt erhältliche Systeme erhoben und deren Einsatzmöglichkeiten im Bereich der industriellen Abwärmenutzung am Beispiel der Region Brixlegg (Tirol, Österreich) untersucht.

Kernthemen der Studie sind die Erhebung der technischen, organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen für die Implementierung eines LWS-Systems sowie die Berechnung der wirtschaftlichen Kennzahlen und der ökologischen Auswirkungen in unterschiedlichen Einsatzvarianten.

Im Rahmen eines Workshops mit potentiellen Abnehmern in der Region konnten Kriterien erhoben werden, unter denen eine Abnahme der „Wärme aus dem Container“ für Betriebe möglich wäre. Auf Basis dieser Gespräche konnten Betriebe gefunden werden, die bereit waren, ihre derzeitige Wärmeversorgung hinsichtlich eines Einsatzes von LWS-Systemen analysieren zu lassen um so ein „Modellsystem“ für die Region Brixlegg zu erstellen.

Aus der Betrachtung des Modellsystems konnten allgemein gültige Aussagen zu den für eine Umsetzung notwendigen Voraussetzungen von Wärmequelle, Logistik und Abnehmer abgeleitet werden, um das Projekt auch auf andere Anwendungen zu übertragen. Weiters konnten wertvolle Aussagen zu möglichen Organisationsmodellen und zur Wirtschaftlichkeit des Systems, aber auch zu noch bestehenden Schwierigkeiten erhoben werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen auf, dass mobile Latentwärmespeicher eine ökologische und unter bestimmten Voraussetzungen auch eine ökonomische Ergänzung zu konventionellen Fernwärmetrassen darstellen können, für eine breite Umsetzung aber noch Entwicklungsbedarf vor allem hinsichtlich der Energiedichte der Container besteht. Dadurch, dass die Wärmekosten von mobilen Latentwärmespeichern aber wesentlich stabiler auf Rohölpreisschwankungen reagieren als zum Beispiel der Heizölpreis, kann dieser Form der Wärmeversorgung aber zukünftig ein sehr hohes Potential zugeschrieben werden.

## Abstract

The use of industrial exhaust heat will become more important in terms of energy supply in future, especially with the latest postulation of the European Commission: “20 % more energy efficiency, 20 % less CO<sub>2</sub>-emissions and 20 % higher amount of Renewable Energies”. Nevertheless, the use of industrial exhaust heat for long distance heating is state of the art, but often such projects fail on the high distances between the heat source and potential heat customers.

With new developments in the heat storage technology, the so called “mobile latent heat storage systems”, a long distance heating could enlarge over the technical and economic borders of a line-bounded heat supply. In the course of the presented study, market-ready systems were analysed in terms of their field of application with the use of industrial exhaust heat. The investigations were done at the example of the region of Brixlegg (Tyrol, Austria).

Core topics of the study are the survey of the technical, organisational and legal framework for the implementation of a latent heat storage system as well as the calculation of the economic benchmarks and the ecologic effects in different variants of application.

In the course of a workshop with potential heat customers in the selected region, criteria could be compiled at which the use of the “heat from the container” could be possible. On the basis of these discussions, enterprises could be found which were willing to analyse their existing heat supply systems in terms of an application of the mobile heat system. With this, a “model system” could be created for the region of Brixlegg.

With the investigations of the model system, generally valid statements could be extracted regarding the requirements of heat source, logistics and heat customers, which are necessary for an implementation of such a system. With these general statements a transfer of the project into other fields of application is possible. Further valuable statements could be raised in terms of possible organisational models and the profitability of the system. Additionally, also still existing difficulties could be termed.

The results of the presented study show, that mobile latent heat storage systems are able to be an ecologic, and under specific conditions also an economic addition to conventional long distance heating lines. Nevertheless, for a broad conversion there's further need of development, especially in the field of energy density of the containers and the temperature level. Because the heat costs of mobile latent heat storages react however substantially more stable to crude oil price fluctuations than for example the fuel oil price, a very high potential in the future can be attended to this form of heat supply.

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

*„Jede verbrauchte Energie wird zu Wärme, .... Bevor sie allerdings in der Umgebung verschwindet, ist sie noch etwas wert, sie ist wärmer als die Umgebung.“<sup>1</sup>*

Dieses Zitat veranschaulicht klar das Problem, dass aus Fertigungen und Prozessen überschüssige Wärme, vor allem im Niedertemperaturbereich, ungenutzt abgegeben wird, obwohl diese zumindest teilweise verwendet werden könnte. Der monetäre Wert dieser Abwärme wird in den meisten Fällen nicht berücksichtigt. Abwärme ist eine vielseitig verwendbare Energieform und kann auf die unterschiedlichsten Arten genutzt werden. Die meist verwendeten Verfahren zur Nutzung dieser Abwärme sind die Wärmerückgewinnung, das Vorheizen von Brennstoffen und Medien, die Verwendung zu Heizzwecken und die Stromerzeugung.<sup>2</sup>

Die Verwendung der Abwärme zu Heizzwecken wird heute von zahlreichen Unternehmen vorangetrieben, allerdings findet die Wärmeübertragung zu den Abnehmern – abgesehen von der Nutzung im eigenen Betrieb – derzeit meist nur mittels Fernwärmetrassen statt. Die Hauptprobleme bei den trassengebundenen Versorgungssystemen sind einerseits die hohen Kosten (z.B. Investitionskosten, Instandhaltungskosten) und andererseits die geographischen Gegebenheiten in ländlichen Gebieten (z.B. wenige Abnehmer pro Flächeneinheit). So ist ein relativ großer Aufwand beim Abnehmer und beim Wärme abgebenden Industrieunternehmen nötig, um ein solches System aufzubauen. In dieser Studie wird ein System untersucht, das alternativ zur Versorgung mittels Fernwärmetrasse eine trassenlose Wärmeversorgung durch den Transport von Latentwärmespeichern in Form von Containern ermöglicht. Diese Studie stellt die Basis für ein mögliches Pilotprojekt dar und soll interessierten Personen einen Überblick über das Versorgungssystem geben.

## 1.2 Ziel der Studie

Das Ziel der gegenständlichen Studie war es zu prüfen, ob und unter welchen Voraussetzungen eine wirtschaftliche Nutzung von Industrie- bzw. Prozessabwärme durch den Einsatz von mobilen Latentwärmespeichern möglich ist. Zur Verwirklichung dieses Wärmeversorgungssystems wird die Abwärme in Transport-Containern zwischengespeichert und anschließend zu den einzelnen Verbrauchern gebracht. Abb. 1 stellt den Ablauf der Wärmeversorgung schematisch dar.

Neben der wirtschaftlichen Nutzung der Abwärme galten als weitere Ziele die Erhöhung des Nutzungsgrades von Abwärme, die Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, die Betrachtung der Auswirkungen auf die Umwelt und die Konzipierung eines Demoprojektes für die Versorgung von Abnehmern.

---

<sup>1</sup> Langniß O., Pehnt M.: 2001, S. 152

<sup>2</sup> vgl. Langniß O., Pehnt M.: 2001, S. 152 f

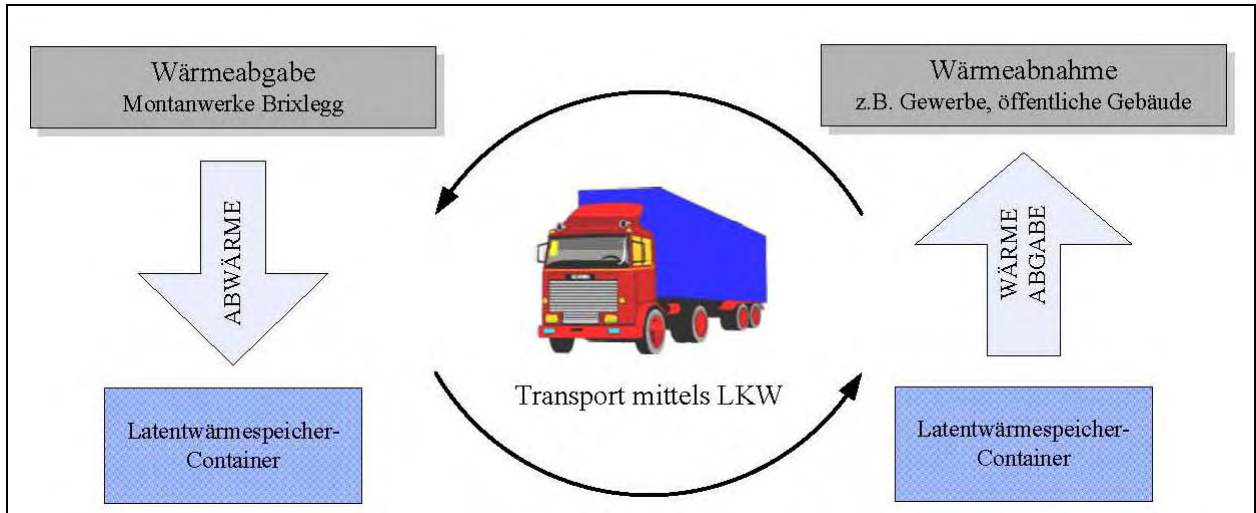


Abb. 1: Ablauf der Wärmeversorgung<sup>3</sup>

Die technischen, organisatorischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen wurden am Beispiel eines konkreten Falles, der Region Brixlegg in Tirol, analysiert. Als Wärmequelle wurden die Produktionsanlagen der Fa. Montanwerke Brixlegg AG untersucht, unterschiedliche Logistikvarianten betrachtet und verschiedene Abnehmer innerhalb eines definierten Radius auf ihre Eignung als Wärmekunden geprüft. Die unter diesen Parametern gewonnenen Erkenntnisse wurden auf allgemein gültige Aussagen übertragen.



Abb. 2: Vorgangsweise im Projekt

<sup>3</sup> Quelle: Wagger, Ch., 2006

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Begriffsbestimmungen

#### Abwärme<sup>4</sup>

Als Abwärme wird jener Anteil an Wärmeenergie bezeichnet, welcher bei Prozessen (Wärmeerzeugung, chemischen Prozessen, etc.) ungenutzt die Anlage verlässt und in die Umwelt entweicht.

#### Fernwärme<sup>5</sup>

Als Fernwärme wird Wärme bezeichnet, welche im konventionellen Sinn mittels Wärmeverteilungsnetzen an den Kunden verkauft wird. Hierbei wird die Wärme an einem zentralen Punkt erzeugt, bspw. in Heizkraftwerken. In den Verteilungsnetzen kommt bspw. Wasser bzw. Dampf als Übertragungsmedium zum Einsatz. Im weiteren Sinn kann somit auch die Wärmeversorgung mittels mobiler Latentwärmespeicher als Fernwärme bezeichnet werden.

#### Kyoto Protokoll

Im Dezember 1997 fand in Kyoto (Japan) die Welt-Klimakonferenz statt. Dort verpflichteten sich erstmals Staaten zur Verminderung von sechs wichtigen Treibhausgasen (darunter: Kohlendioxid und Methan). Zusätzlich wurde jeder Vertragspartei ein Reduktionsziel dieser Abgase zum Niveau von 1990 vorgegeben. Somit sollen im Zeitraum von 2008 bis 2012 die Gesamtemissionen um mindestens fünf Prozent zum besagten Niveau gesenkt werden. Das Protokoll tritt in Kraft, wenn mindestens 55 Staaten, die zusammen mindestens 55 Prozent der weltweiten Emissionen repräsentieren, die Verträge unterzeichnet haben.<sup>6</sup>

Am 25. April 2002 wurde das Protokoll von Kyoto durch die Europäische Union genehmigt und genaue Vorgehensweisen innerhalb der EU festgelegt.<sup>7</sup> Durch das sogenannte Burden Sharing Agreement der Europäischen Union (EU interne Lastenverteilung, um auf die geforderten 8 Prozent innerhalb der EU zu erreichen) hat sich Österreich verpflichtet, den Ausstoß von Treibhausgasen um 13 Prozent zu verringern.<sup>8</sup>

Das Protokoll trat am 16. Februar 2005, nachdem die Bedingungen erfüllt wurden, in Kraft. Zum 06.02.2006 haben 84 Staaten mit 61,6 Prozent der Gesamtemissionen das Protokoll unterzeichnet.<sup>9</sup>

#### Lade- und Entladeleistung<sup>10</sup>

Damit wird jene Wärmeleistung bezeichnet, welche in den Speicher geladen bzw. entladen werden kann. [gängigste Einheiten: kW, MW]

---

<sup>4</sup> vgl. Kraus M.: 2004, S. 12

<sup>5</sup> vgl. Kraus M.: 2004, S. 82

<sup>6</sup> vgl. Vereinte Nationen: 1997, S. 1 ff

<sup>7</sup> vgl. Rat der Europäischen Union: 2002, S. 1ff

<sup>8</sup> vgl. Nowotny E., Parak C., Scheucher R.: 2004, S. 4 f

<sup>9</sup> vgl. Secretariat of the United Nations Framework Convention on Climate Change: 2006, <http://unfccc.int/>

<sup>10</sup> vgl. Rehban E.: 2002, S. 619

**Latentwärme<sup>11</sup>**

Beim Phasenübergang (Änderung des Aggregatzustandes) von bspw. einem festen Stoff in einen flüssigen Stoff ändert sich die Temperatur in diesem Stoff nicht. Die während dieses Vorgangs aufgenommene bzw. abgegebene Wärmemenge wird *latente Wärme* genannt.

**Nahwärme<sup>12</sup>**

Darunter werden Fernwärmeversorgungen im unmittelbaren Bereich der Wärmeerzeugung verstanden. Häufig handelt es sich dabei um kleinere Siedlungen, welche von einem zentralen Punkt aus mit Wärme versorgt werden. Der Übergang zur Fernwärme kann als fließend angesehen werden. Die mobile Wärmeversorgung kann bei Aufbau eines Nahwärmenetzes bspw. in Siedlungen als Wärmeerzeuger verwendet werden.

**Speicherkapazität<sup>13</sup>**

Die Speicherkapazität ist jene Wärmemenge, welche ein Wärmespeicher aufnehmen bzw. abgeben kann. Bei exakten Angaben muss immer der nutzbare Temperaturbereich mit der Speicherkapazität genannt werden. [gängigste Einheiten: physikalisch: kJ, MJ; technisch: kWh, MWh]

**Wärme<sup>14</sup>**

Wärme ist die Bewegungsenergie (z.B. bei Flüssigkeiten die Schwingung, Rotation und Bewegung der Moleküle und Atome) von atomaren Teilchen in Stoffen und stellt eine Energieform dar.

**Wärmespeichermedium – Speichermedium<sup>15</sup>**

Als Speichermedium wird jener Stoff bezeichnet, der die thermische Energie aufnimmt und diese über eine bestimmte Zeitspanne speichern kann.

**Wärmeträgermedium<sup>16</sup>**

Als Wärmeträgermedium wird jener Stoff bezeichnet, der die thermische Energie transportiert und an das Speichermedium abgibt. Das Wärmeträgermedium kann identisch mit dem Wärmespeichermedium sein.

**2.2 Wärmespeicher**

Laut Definition sind Wärmespeicher Energiespeicher, welche aus Medien bestehen, deren energetischer Zustand sich durch Energieaufnahme bzw. durch Energieabgabe verändert, jedoch bei diesem Vorgang nicht verbraucht werden. Als Ausnahme gelten hierbei chemische Wärmespeicher wie Öl und Holz, die bei der Verbrennung verbraucht werden<sup>17</sup>. Somit dienen Wärmespeicher zur zeitlich versetzten Nutzung von Wärme, wenn Wärmeeinfall und Wärmebedarf nicht gleichzeitig stattfinden.

Wärmespeicher lassen sich nach ihrem physikalischen Prinzip, wie in Abb. 3 dargestellt, unterteilen.

---

<sup>11</sup> vgl. Tipler P., Mosca G.: 2004, S. 557

<sup>12</sup> vgl. Kraus M.: 2004, S. 140

<sup>13</sup> vgl. Rehban E.: 2002, S. 619

<sup>14</sup> vgl. Bertelsmann: 2005, S. 1014

<sup>15</sup> vgl. Fachinformationszentrum Karlsruhe: 2005, S. 10

<sup>16</sup> vgl. Fachinformationszentrum Karlsruhe: 2005, S. 10

<sup>17</sup> vgl. Rehban E.: 2002, S. 617

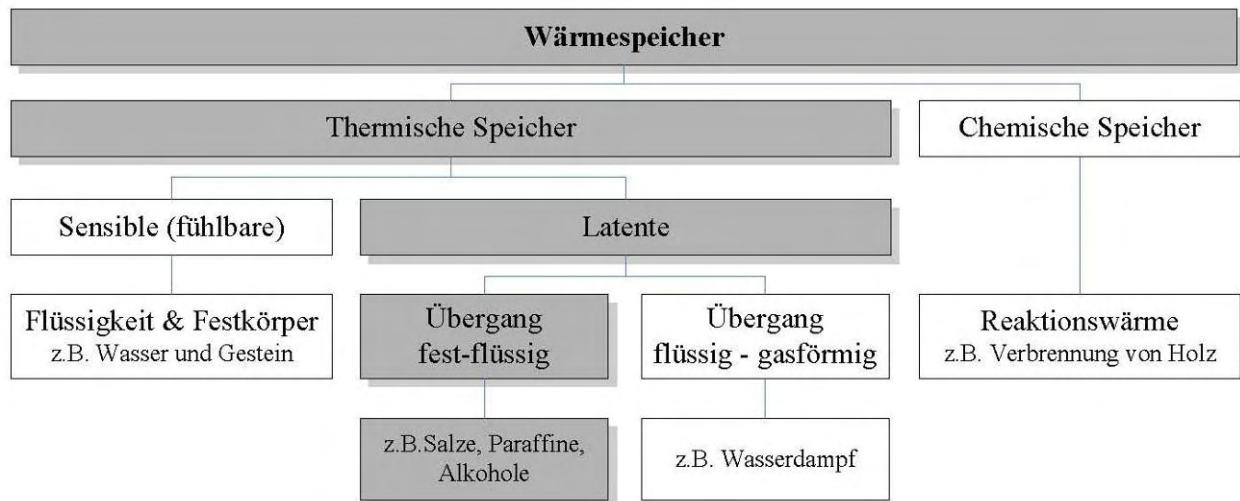


Abb. 3: Einteilung von Wärmespeichern<sup>18</sup>

Laut dieser Einteilung gibt es thermische Speicher, die sich wiederum nach Art der Speicherung in sensible und latente Wärme untergliedern lassen. Die Speicherung von sensibler Wärme geschieht durch die Temperaturerhöhung des Mediums (z.B. in handelsüblichen Warmwasserspeichern). Diese am weitesten verbreitete Art der Wärmespeicherung ist aufgrund der niedrigen Wärmekapazitäten für einen Transport nicht geeignet. Die Wärmekapazität gibt unter anderem den Ausschlag für die Verwendung von Latentwärmespeichern, da diese eine vielfach höhere Wärmemenge bei gleichem Volumen speichern können. Der Begriff Latentwärme wird in den nachfolgenden Punkten noch genauer behandelt.

Neben den thermischen Speichern gibt es noch chemische Speicher, bei diesen wird Wärme als Reaktionswärme einer umkehrbaren chemischen Reaktion gespeichert. Diese Speicher werden im Rahmen dieser Studie nicht näher behandelt.

Zusätzlich können Wärmespeicher noch wie folgt eingeteilt werden:

- nach der Temperatur in Hoch- und Niedertemperaturspeicher
- nach der Dauer der Wärmespeicherung in Kurz- und Langzeitwärmespeicher
- nach dem Prinzip der Wärmeaus- und -einkopplung in direkte und indirekte Wärmespeicher. Bei den direkten Wärmespeichern sind das Speichermedium und das Wärmeträgermedium gleich, bspw. bei einem Wasserspeicher. Bei den indirekten Speichern wird die Wärme vom Wärmeträgermedium an das Speichermedium übertragen, bspw. durch ein Trägeröl<sup>19</sup>

Da in dieser Studie die Wärmespeicherung ausschließlich mit Latentwärmespeichern behandelt werden soll, wird im Folgenden nur mehr auf diese Art der Wärmespeicherung eingegangen. Im Speziellen wird wie in Abb. 3 grau dargestellt, nur mehr auf Latentwärmespeicher mit einem Phasenübergang von einem festen Stoff in einen flüssigen Stoff eingegangen. Der Ausschluss von Speichern mit einem Phasenübergang von flüssig auf gasförmig hat vor allem den Grund in den schlechteren Eigenschaften hinsichtlich der Änderung des Volumens und des Druckes. Aus diesem Grund gibt es am Markt keine verwendbaren, transportierbaren Latentwärmespeicher, welche den flüssig-gasförmigen Phasenübergang nutzen.

<sup>18</sup> Quelle: Wagger, Ch., 2006

<sup>19</sup> vgl. Rehban E.: 2002, S. 619



Nachfolgend wird kurz auf die **Vorteile und Nachteile** von Latentwärmespeichern, jeweils im Vergleich zu handelsüblichen Wasserspeichern, eingegangen. Der entscheidende Vorteil der Latentwärmespeicher liegt in der höheren Speicherdichte bei geringerer Temperaturdifferenz. Aus diesem Grund benötigen Latentwärmespeicher bei gleichem Wärmeinhalt im Vergleich zu sensiblen Speichern weniger Volumen. Als weiterer Vorteil ist die Abgabe der Wärme auf einem konstanten Temperaturniveau zu nennen; dies ist vor allem für den effizienten Einsatz in der Haustechnik nötig. Zusätzlich können durch den Einsatz dieser Technik Wärmeverluste minimiert werden, da Latentwärmespeicher nur geringe Verluste aufweisen.<sup>20</sup>

Als Nachteile müssen die hohen Kosten für die Speichermaterialien und für die aufwendige Technik (z.B. Wärmetauscher, etc.) genannt werden. Ein weiteres Problem stellt das derzeit noch relativ frühe Entwicklungsstadium dieser Speicherart dar. Es muss allerdings gesagt werden, dass in den letzten Jahren auf dem Gebiet der Latentwärmespeicher intensiv geforscht wurde und die Entwicklungen rasch voran gehen.

### 2.3 Funktionsweise von Latentwärmespeichern

Die Speicherung von Wärme erfolgt in Latentwärmespeichern zum größten Teil durch die so genannte latente Wärme. Als latente Wärme wird die während des Phasenüberganges aufgenommene bzw. abgegebene Wärme bezeichnet. Abb. 4 veranschaulicht das Prinzip der latenten Wärmespeicherung im Vergleich zu Wasser als Speichermedium in handelsüblichen Warmwasserspeichern.<sup>21</sup>

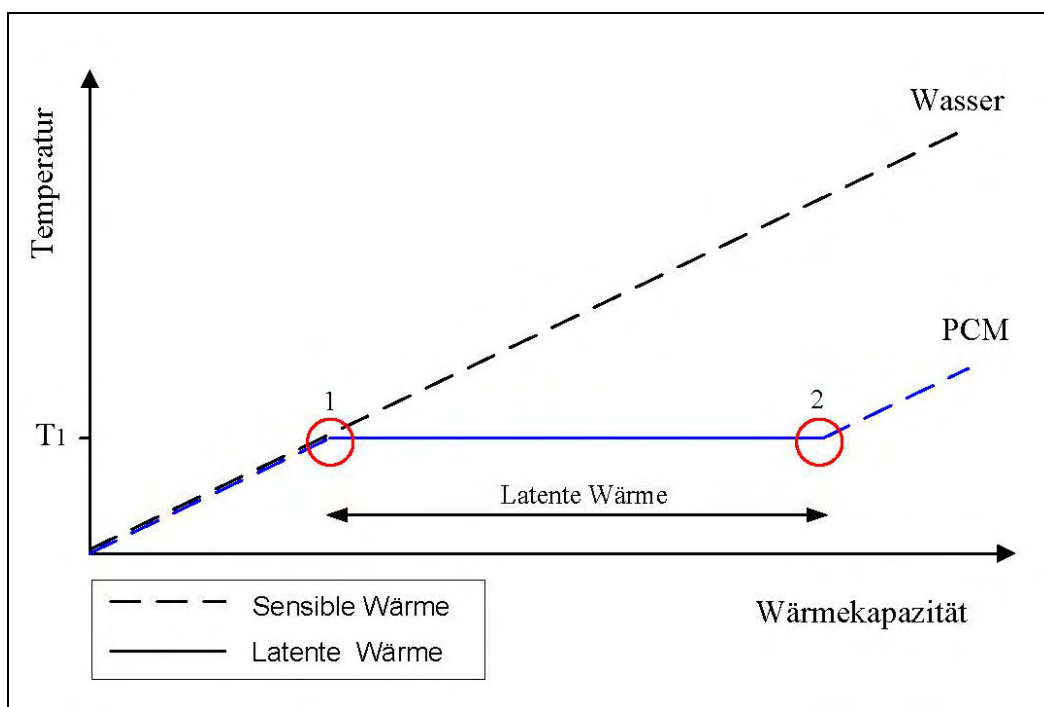


Abb. 4: Vergleich sensible und latente Wärmespeicherung<sup>22</sup>

Bei Wasser erfolgt die Speicherung von Energie im Bereich über  $0^\circ\text{C}$  nur mit Hilfe der sensiblen Wärme. Bei Phasenübergangsmaterialien (im Englischen: Phase Change Material, kurz PCM) hingegen wird zunächst bis zur Übergangstemperatur ( $T_1$ ) die Wärme als sensible Wärme gespeichert. Bei Errei-

<sup>20</sup> vgl. Lottner V.: 2004, <http://www.muc.zae-bayern.de/zae/specials/vortraege/01-Lottner.pdf>, S. 14

<sup>21</sup> Anmerkung: Das Diagramm ist nur für die flüssige Phase von Wasser gültig.

<sup>22</sup> Quelle: Wagger, Ch., 2006

chung dieser Übergangstemperatur beginnt der Stoff zu schmelzen, diese Übergangstemperatur ist zugleich die Betriebstemperatur der LWS. Während des Schmelzvorganges nimmt der Stoff ein Vielfaches an Wärmeenergie auf, ohne seine Temperatur zu verändern. Ist der Stoff geschmolzen, erhöht sich die Temperatur des Stoffes wieder und somit wird wieder sensible Wärme gespeichert. Der in der Abb. 4 dargestellte Punkt 1 stellt den Schmelzpunkt dar, ab welchem latente Wärme gespeichert wird. Punkt 2 zeigt den Übergang von der latenten zur sensiblen Wärmeaufnahme, nachdem der Stoff vollständig geschmolzen ist.

Bei der Entwicklung und Herstellung von Latentwärmespeichern ergeben sich zahlreiche Probleme, welche nachfolgend erläutert werden. Ein Hauptproblem ist das Herstellen bzw. Finden von Speichermedien, deren Phasenübergang ständig umkehrbar ist und über längere Zeit (> 15 Jahre) einen stabilen Umwandlungsprozess zulässt. Dieses Problem wurde durch die Mischung von verschiedenen Materialien zum Teil bereits gelöst. Laut Angaben von Herstellern dieser Wärmespeicher ist eine Lebensdauer der Speichermedien von bis zu 30 Jahren möglich<sup>23</sup>. Das nächste Problem stellt der effiziente Wärmetausch vom Wärmespeicher an den Verbraucher dar. Bei direkten Systemen, also ohne Wärmeträgermedium im Container, bildet sich beim Erstarren auf dem Wärmetauscher eine Kruste, die den Wärmeaustausch massiv hemmt und einen effizienten Tausch unmöglich macht. Bei indirekten Systemen hingegen wird ein Wärmeträgermedium, das sich mit dem Speichermedium nicht mischen kann, eingesetzt, um so Wärme aus dem Speicher transportieren zu können. Mit diesem System ist es möglich, eine effiziente Wärmeübertragung zu gewährleisten. Weiters muss bei den Speichermedien die Zyklenfestigkeit untersucht werden. Zum Beispiel sind nur PCM, die beim Erstarren eine bestimmte Kristallstruktur bilden, für indirekte Systeme verwendbar. Im Detail bildet das Speichermedium beim Erstarren Kanäle, durch welche das Wärmeträgermedium gepumpt wird und somit eine Wärmeübertragung stattfindet. Beim Schmelzen erfolgt die Wärmeübertragung umgekehrt, durch die Abgabe der Wärme vom Trägermaterial an das Speichermedium in den Kanälen<sup>24</sup>. Dies ist nur ein Beispiel, denn es kommen immer wieder neuartige Verfahren und Stoffe zur Anwendung bzw. zur Erprobung.

Weitere Probleme sind:<sup>25</sup>

- die geringe Wärmeleitfähigkeit der PCM
- die Volumenänderung beim Schmelzen bzw. Erstarren
- die Bildung von Hohlräumen im Speichermedium
- die Korrosivität einiger PCM

## 2.4 Speichermedien und Temperaturen

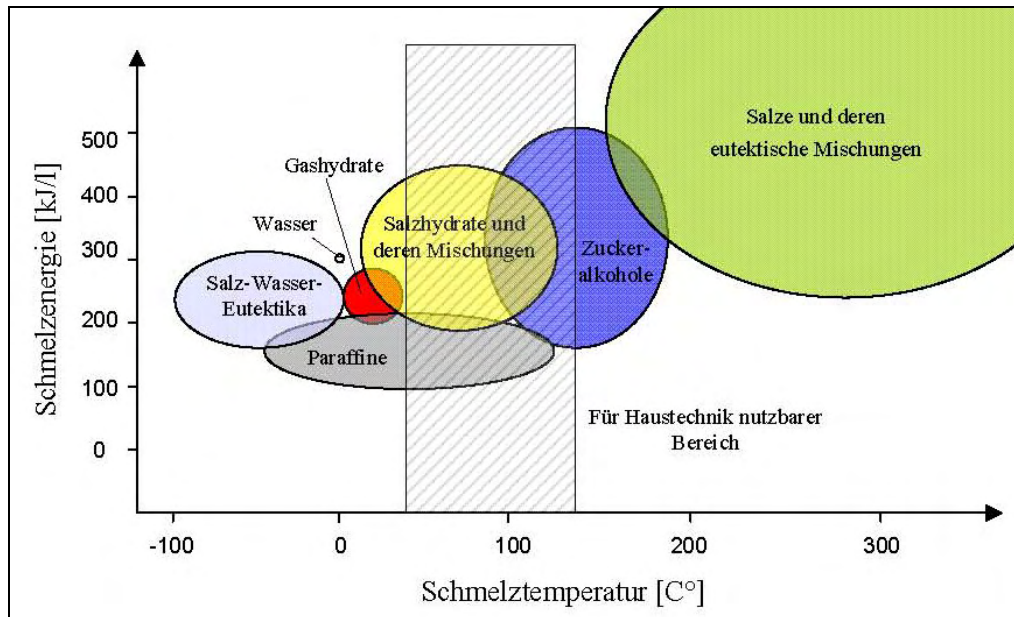
Bei der Vielzahl von verfügbaren Speichermedien lassen sich diese in erster Linie durch die Höhe der Schmelztemperatur einteilen. Der für die Abwärmenutzung zum Einsatz kommende Temperaturbereich erstreckt sich von ca. 35°C bis 120°C. Wie in Abb. 5 ersichtlich, kommen somit nur drei Stoffgruppen zum Einsatz:

---

<sup>23</sup> vgl. Transheat GmbH: 2006, <http://www.transheat.de/html/faq.html>

<sup>24</sup> vgl. Rehban E.: 2002, S. 636 ff

<sup>25</sup> vgl. Milow B., Stadermann G.: 2001, [http://www.fv-sonnenenergie.de/publikationen/Worksho\\_01.pdf](http://www.fv-sonnenenergie.de/publikationen/Worksho_01.pdf), S. 50

Abb. 5: Speichermaterialien mit Schmelzenergien und Schmelztemperaturen <sup>26</sup>

Aufgrund von technischen Voraussetzungen, Kosten, Schmelztemperaturen bzw. anderer Eigenschaften kommen nur wenige Speichermaterialien zur Anwendung in (mobilen) Latentwärmespeichern. Derzeit werden vorrangig die drei in Tabelle 1 hervorgehobenen Materialien verwendet. Die Schmelztemperaturen variieren je nach Mischung mit Wasser bzw. anderen Stoffen.

| Stoffgruppe                      | Material                               | Schmelztemperatur |
|----------------------------------|--|-------------------|
|                                  |  | °C                |
| Paraffine                        | Rohparaffin (ohne Mischung)            | 34                |
|                                  | <b>Paraffin-Mischungen</b>             | <b>ca. 50–90</b>  |
| Salzhydrate und deren Mischungen | Natriumsulfat Decahydrat (Glaubersalz) | 32                |
|                                  | <b>Natriumacetat-Trihydrat</b>         | <b>58</b>         |
|                                  | <b>Bariumhydroxid</b>                  | <b>78</b>         |
|                                  | Magnesiumchlorid Hexahydrat            | 117               |
| Zuckeralkohole                   | derzeit in Entwicklung                 | 90–180            |

Tabelle 1: Speichermaterialien und deren Schmelztemperaturen

## 2.5 Kriterien für die Auswahl von Speichern

Die Auswahl der Speicher bzw. der Speichermaterialien hängt von zahlreichen Kriterien ab, wobei je nach Anwendung bereits ein Kriterium zum Ausschluss reichen kann.

- **Anforderungen an das Speichermaterial:**<sup>27</sup>
  - hohe Schmelzenergie und Wärmekapazität

<sup>26</sup> Quelle: Wagger, Ch., 2006

<sup>27</sup> vgl. Milow B., Stadermann G.: 2001, [http://www.fv-sonnenenergie.de/publikationen/Worksho\\_01.pdf](http://www.fv-sonnenenergie.de/publikationen/Worksho_01.pdf), S. 50

- gutes Schmelz- und Erstarrungsverhalten: ohne große Hohlräume, aber nicht als Block, da sonst die Oberfläche für den Schmelzvorgang zu gering wird. Je nach System werden unterschiedlichste Anforderungen an das Material gestellt. Außerdem dürfen sich beim Schmelzen keine Phasen bzw. Stoffschichten bilden.
  - hohe Wärmeleitfähigkeit: um einen effizienten Speicherprozess zu ermöglichen; dies wird durch die Beimischungen von zusätzlichen Stoffen erreicht.
  - geringe Druck- und Volumenänderung: um aufwändige Ausgleichsbehälter und -systeme zu vermeiden.
  - hohe Zyklenstabilität: Der Phasenübergang muss umkehrbar sein und die chemische und physikalische Stabilität muss gegeben sein.
  - Toxikologie: ungiftige Stoffe in der Herstellung und Anwendung, welche keine Umweltgefährdung darstellen.
  - Korrosivität: nicht korrosiv, da sonst teure Nirostahl-Behälter notwendig sind.
  - Schmelztemperatur: je nach vorgesehener Anwendung
- **Anschaffungskosten:** Aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums sind die Kosten für Latentwärmespeicher im Vergleich zu Wasserspeichern je nach gewähltem System zum Teil enorm hoch. Die Ursache der hohen Preise sind die geringen Mengen an PCM, die derzeit hergestellt werden und so im Vergleich zu Wasser sehr teuer sind. Außerdem gibt es aufgrund der patentierten Lösungen wenig Konkurrenz.
  - **Anschlüsse:** Hierbei stellt sich die Frage, wie die Anschlüsse des Speichers an das Abnahmesystem hergestellt werden und welchen Aufwand dies erfordert. Dies sind sowohl Kosten für die Herstellung der Anlagen und Anschlüsse, als auch Personalkosten (Zeitaufwand), welche beim Austausch der Speicher anfallen.
  - **Kapazität und Energiedichte:** Es muss eine möglichst hohe Kapazität angestrebt werden, um so bei minimalem Platzbedarf eine maximale Energiemenge speichern zu können.
  - **Lade- und Entladeleistung:** Generell ist eine möglichst hohe Lade- und Entladeleistung gefordert, allerdings kann dieser Wert bei geringem Wärmeaufkommen eine untergeordnete Priorität aufweisen. Die Lade- und Entladezeit des Speichers hängt somit von dieser Größe ab.
  - **Platzbedarf und Abmessungen:** Die Container sollen möglichst kompakt sein, denn durch eine geringe Oberfläche ergeben sich weniger Wärmeverluste. Der Platzbedarf ist besonders bei der Konzeption des Systems wichtig, da je nach Größe und Art der Container zusätzlich noch Rangierflächen für den Transport vorgesehen werden müssen. Die Verwendung von standardisierten Containern ist ein wesentliches Kriterium für die Vereinfachung des Transportes.
  - **Temperatur:** Die optimale Betriebstemperatur ist durch die Übergangstemperatur des Latentwärmespeichermaterials festgelegt. Je nach Temperaturniveau der Abwärme bzw. der Wärmenutzung muss das Speichermaterial über die Umwandlungstemperatur festgelegt werden. Diese Temperatur bestimmt ferner die Integrationsmöglichkeit in die bestehenden Systeme.<sup>28</sup>
  - **Umweltverträglichkeit:** Hierbei ist sowohl auf die Herstellung der Behälter als auch auf die Herstellung des Speichermaterials zu achten. Einige PCM sind giftig, feuergefährlich oder explosiv. Zusätzlich muss auf die Recyclingfähigkeit der Speicher und deren Inhalt geachtet werden, um so nach deren Lebensdauer nicht vor hohen Kosten für die Entsorgung zu stehen.<sup>29</sup>

---

<sup>28</sup> vgl. Fachinformationszentrum Karlsruhe: 2005, S. 22 ff

<sup>29</sup> vgl. Fachinformationszentrum Karlsruhe: 2005, S. 22 ff

- **Vorkehrungen für die Aufstellung:** Die verschiedenen Systeme benötigen für die Aufstellung unterschiedliche Vorkehrungen, wie bspw. Fundamente, Platz für die Aufstellung, befestigte Flächen und Überdachungen. Dies ist für die Wärmeabnehmer von großer Bedeutung, da es sich z.B. beim Fehlen von ausreichendem Platz um ein wesentliches Ausschlusskriterium handeln kann.
- **Wärmetransport im Container:** Hier geht es, wie bereits oben erläutert, um die Auswahl eines direkten oder indirekten Systems. Je nach technischer Lösung sind beide Varianten möglich.
- **Wärmeverluste:** Diese sind bei Latentwärmespeichern sehr gering, müssen aber bei der Auswahl beachtet werden.
- **Wartungsintensität und Wartungskosten:** Besonderes Augenmerk ist auf diesen Kostenanteil zu legen. Diese können wegen der spezialisierten Unternehmen und deren hohen Stundensätzen für Wartungsarbeiten zu hohen Kosten führen.
- **Wirkungsgrad:** Ist das Verhältnis von eingespeicherter Energie zu letztendlich beim Verbraucher abgenommener Energie. Dieses Verhältnis sollte so hoch wie möglich sein.
- **Zyklusanzahl pro Jahr:** Aus wirtschaftlichen Gründen ist eine möglichst hohe Zahl an Be- und Entladungen erforderlich. Dieser Faktor hängt allerdings eng mit der Lade- und Entladeleistung zusammen, da die Zyklusanzahl durch die Zyklendauer (also die Zeit für Laden, Entladen und Handling) bestimmt ist.

### 3 Erhebung der Rahmenbedingungen zur Abwärmenutzung

Die Rahmenbedingungen zur Abwärmenutzung in einem Industriebetrieb setzen sich aus folgenden wesentlichen Punkten zusammen:

- Erhebung der Abwärmepotentiale
- Qualität des Abwärmemediums
- Einbindung in das Gesamtenergiekonzept
- Produktsicherheit
- Liefersicherheit für der Abnehmer

In diesem Kapitel wurden diese Rahmenbedingungen anhand des Beispiels der Montanwerke Brixlegg AG erhoben und dargestellt.

#### 3.1 Analyse der Produktionsprozesse

Als erster Schritt zur Erhebung der Wärmepotentiale wurden die einzelnen Produktionsprozesse sowie deren Zusammenhang in den Montanwerken Brixlegg untersucht. Nachfolgend finden sich Kurzbeschreibungen der Einzelprozesse und die relevanten Eckdaten des jeweiligen Prozesses:

##### (1) Schachtofenanlage

Der Schachtofen dient zum reduzierenden Schmelzen von Schlacken, metallhaltigen Schrotten und Recyclingmaterialien. Seine Funktion liegt weiters im Schließen der Kreislaufwirtschaft metallhaltiger Materialien der Montanwerke Brixlegg AG selbst. Im Zuge des metallurgischen Ablaufes entstehen Schwarzkupfer, Schlacke sowie Flug- und Filterstäube, die jeweils separat behandelt und weiter aufgearbeitet werden.

Der Betrieb der Schachtofenanlage erfolgt 3-schichtig, über 24 Stunden am Tag, in der Regel 3 bis 5 Wochen durchgehend. Danach wird die Anlage gereinigt, gewartet und repariert. In Summe mit weiteren Sommer- und Winterstillständen ergeben sich ca. 6.000 Betriebsstunden pro Jahr. Als Energien werden Strom, Koks und Erdgas benötigt. Zur Kühlung wird konditioniertes Wasser eingesetzt, welches im Kreislaufsystem über Luftkühler gefahren wird.

##### (2) Warmhalteofen

Das geschmolzene Schwarzkupfer wie auch die Schlacke werden über eine gemauerte Rinne in den Vorherd abgestochen. Die notwendige Warmhaltetemperatur wird über einen seitlich angeordneten Erdgasbrenner aufrechterhalten. Als Energieträger werden Erdgas und Strom verwendet.

##### (3) „Granos“-Aufbereitungsanlage

Die Endschlacke vom Schachtofen wird überwiegend zum Produkt „Granos“ verarbeitet.

Der Betrieb erfolgt im Sommer in der Regel zweischichtig, im Winter einschichtig, jeweils ohne Wochenendstillstand. Im Schnitt ist die Anlage ca. 3.000 Betriebsstunden pro Jahr im Einsatz. Als Energie werden Erdgas und Strom verwendet.

##### (4) Konverteranlage

Der Konverter dient zur Aufarbeitung des im Schachtofen anfallenden Schwarzkupfers und weiterer Schrotte und Recyclingmaterialien. Dazu wird Kaltschrott und in der Regel flüssiges Schwarzkupfer chargiert und im Chargenbetrieb verarbeitet.

Der Betrieb des Konverters erfolgt wochentags zweischichtig, am Wochenende einschichtig, in der Regel 3 bis 5 Wochen durchgehend. In Summe und unter Berücksichtigung weiterer Sommer- und Winterstillstände ergeben sich so rund 4.000 Betriebsstunden pro Jahr.

Als Energie werden Strom, Erdgas, Koks und als Energieersatz Sauerstoff verwendet.

#### **(5) Anodenofenanlage**

Der Anodenofen ist ein stationärer Flammofen, wo verschiedenste höherwertige Schrotte und Blisterkupfer zusammen mit Rohkupfer aus dem Konverter eingeschmolzen und raffiniert werden.

Anoden sind in Brixlegg ein Vorprodukt zur Erzeugung von Reinstkupfer, den Kathoden. Diese Anoden sind Ausgangsprodukt der nachfolgenden hydrometallurgischen Weiterverarbeitung in der Elektrolyse.

Der Betrieb der Flammofenanlage erfolgt dreischichtig, in der Regel 4 bis 5 Wochen durchgehend. Danach werden Anlagenteile gereinigt, gewartet bzw. repariert. In Summe ergeben sich mit der Stand-by-Produktion rund 8.000 Betriebsstunden pro Jahr.

Als Energie werden Strom, Erdgas, und Holz verwendet. Zur Kühlung wird Betriebswasser eingesetzt.

#### **(6) Elektrolyse**

Die elektrolytische Raffination ist der letzte Verfahrensschritt zur Herstellung von hochreinem Kupfer.

Die erforderliche Erwärmung des Elektrolyten durch Wärmetauscher auf ca. 65°C erhöht dessen Leitfähigkeit und senkt den Stromverbrauch. Die Wärme wird über den Dampfkessel des Anodenofens und der Primärdampferzeuger erzeugt. Die Anodenreise beträgt 14 Tage, die Kathoden werden alle 7 Tage gewechselt. In Summe stehen 16 x 13 Zellen für die Produktion zur Verfügung, wobei an allen Kalendertagen eine Produktion stattfindet. Die dazu notwendigen Manipulationen werden 1-schichtig Montag bis Donnerstag durchgeführt.

Strom und Dampf werden bei diesem Verfahren als Energie benötigt.

#### **(7) Schlammwirtschaft/Entkupferung**

Ein vorentkupferter Teilstrom des Elektrolyten („Trennlauge“) in der Elektrolyse wird ständig abgezogen, um gelöste Metalle wie z.B. Ni, Fe, Zn zu entfernen.

Die Betriebszeiten der Schlammwirtschaft/ Entkupferung sind mit denen der Elektrolyse vergleichbar. Strom und Dampf werden bei diesem Verfahren als Energie benötigt.

#### **(8) Nickelanlage**

Nickel, welches im Elektrolyten vorhanden ist, wird in der Nickelanlage zu Reinnickelsulfat aufgearbeitet. Dazu wird der von der Entkupferung gelieferte Endelektrolyt in zwei mit Mantel- und Schlangenbeheizungen ausgestatteten Verdampfern zugeleitet und unter Vakuum auf ca. 70 %-ige Schwefelsäure aufkonzentriert. Als Energien werden Strom und Dampf benötigt.

#### **(9) Bemusterung**

Die Bemusterungsöfen dienen zur Beprobung eingehender Schrotte, d.h. dass verschiedenste Rohstoffe eingeschmolzen werden, um eine Analyse auf die Wertmetalle wie Cu, Ag, Au und auch andere Metalle durchführen zu können.

Die Bemusterung ist in der Regel zwei- oder einschichtig in Betrieb, selten am Wochenende. In Summe ergeben sich ca. 3.200 Betriebsstunden pro Jahr.

Als Energie werden Strom und Erdgas eingesetzt.

### **(10) Dampfkesselanlage**

Diese dient zur Primärdampferzeugung mittels Erdgasbrenner, da vor allem im Winter Energieunterschuss vorhanden ist. Der Dampf wird hauptsächlich für die Beheizung der Elektrolyse und der Nickelsulfatanlage benötigt, darüber hinaus für Heizung, Bad- und Warmwassererzeugung. Der erforderliche Dampf wird durch zwei Kessel mit einer Nennlast von 3,5 MW und 5,8 MW erzeugt. Der kleinere Kessel 1, System Waagner Biro, wird im Sommer als Grundlastkessel gefahren, der größere Kessel 2, System Henschel-Thyssen, im Winter. Beide Kessel werden – abhängig vom Dampfverbrauch – im automatischen Regelbetrieb betrieben. Als Energie werden Strom und Ergas eingesetzt.

### **(11) Giesserei**

Asarcoschachtofenanlage: Der Schacht besteht aus einem ca. 12 m langen, vertikal aufgestellten Stahlzylinder mit einem Durchmesser von 2.650 mm. Dieser ist mit Feuerfeststeinen (Siliziumcarbidsteinen) mit einer Stärke von 460 mm ausgemauert und hat im oberen Teil eine Chargieröffnung, über die das Einsatzgut in den Ofen gelangt. Im unteren Teil befinden sich zwei Reihen, die jeweils mit 6 bzw. 4 Stück erdgasbefeuelten Brennern besetzt sind. Darunter ist der Schacht abgemauert, wobei sich seitlich eine Öffnung befindet, durch die das geschmolzene Kupfer aus dem Ofen in eine fix angeschlossene gasbefeuelte Rinne fließt.

Elektroschmelzöfen: Es sind vier Schmelzöfen, sogen. Rinneninduktionsöfen mit einer Füllkapazität von ca. 4,5 t vorhanden, die in jeweils zwei diskontinuierlich produzierenden Absenkanlagen Kupferstränge von 7 m Länge abgießen können. Die Anschlussleistung pro Ofen beträgt ca. 550 kW. Zur Kühlung der Öfen in der Gießerei wird konditioniertes Wasser eingesetzt, welches im Kreislaufsystem über Luftkühler gefahren wird.

### **(12) Oxychloridanlage**

Diese Anlage, die technisch gesehen unabhängig von allen anderen Anlagen mit den jeweiligen Verknüpfungen in der Produktionskette zu sehen ist, dient dazu, technisch reines Kupferoxychlorid für den Verkauf als Fungizid herzustellen.

Aus dem erzeugten Kupferoxychlorid wird in einer eigenen Anlage das Produkt „Flowbrix“ erzeugt. Flowbrix ist ein wässriges Kupferoxychlorid-Suspensionskonzentrat mit besonderen Haftungseigenschaften auf Pflanzen.

### **(13) Abwasserbehandlung**

Diese hat die Aufgabe, anfallende Prozessabwässer der Produktionslinien Nickelsulfatanlage, Edelmetallanlage und der Oxychloridanlage sowie der Laborabwässer so zu reinigen, dass die behördlich vorgeschriebenen Abwassergrenzwerte sicher unterschritten werden.

Die Abwasserreinigungsanlage ist für 180 m<sup>3</sup>/d Abwasser ausgelegt und arbeitet kontinuierlich 24 h am Tag, wobei sie über 8h/d von einem Mann betreut wird, der die notwendigen Analysen, Kalibrierungen und Anlageneinstellungen durchführt.



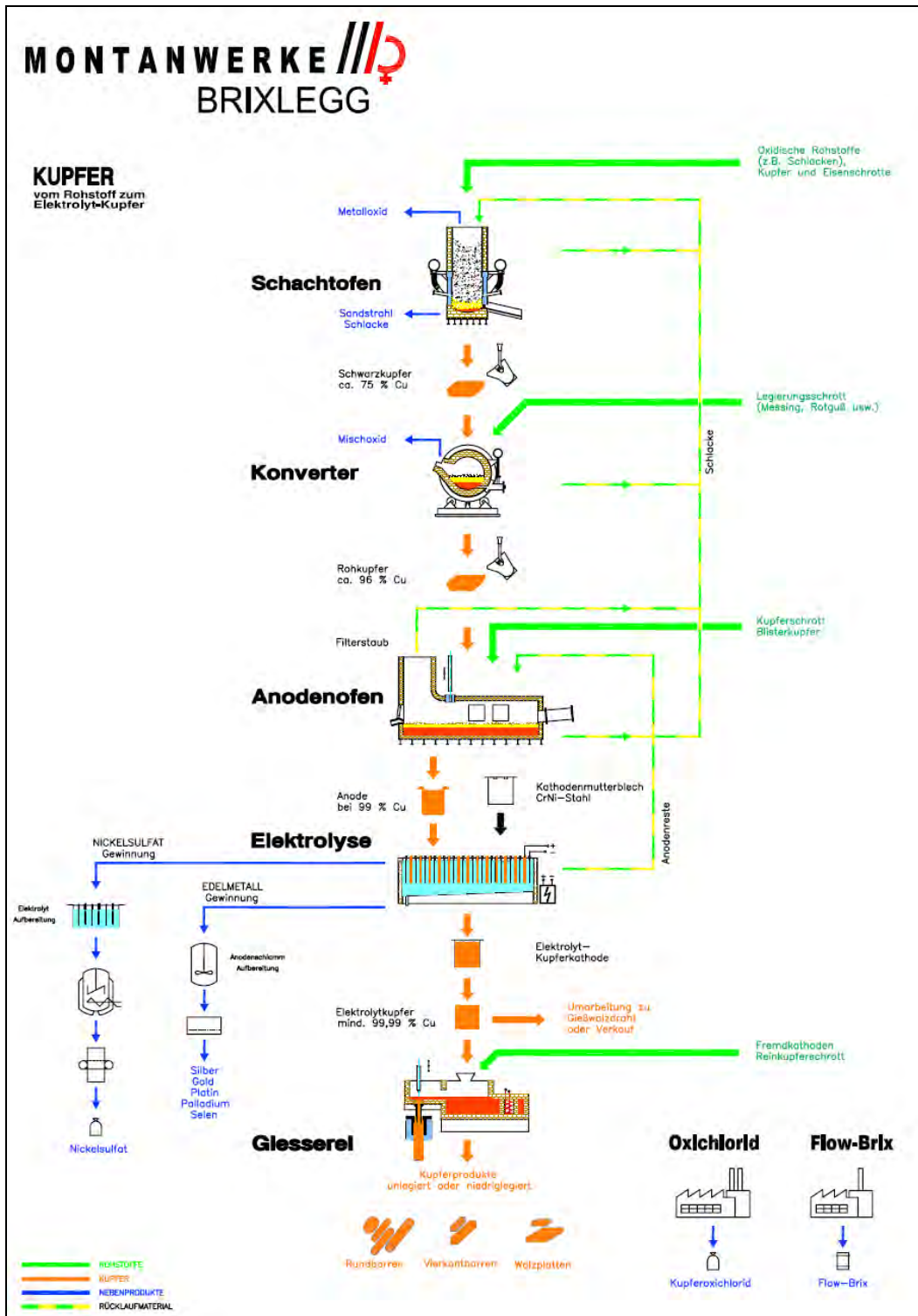


Abb. 6: Prozessflussschema

### 3.2 Erhebung der Abwärmepotentiale

Die Erhebung der Abwärmepotentiale in den Montanwerken Brixlegg erfolgte über mehrere Ansätze:

- Erstellen von kostenstellenbezogenen Energietabellen
- Erstellen von prozessbezogenen Material- und Energiebilanzen (In- / Outputanalyse)
- Betrachtung von geplanten Ausbauten und Umstrukturierungen

Anhand der erstellten Tabellen wurden unter Berücksichtigung der geplanten Maßnahmen potentielle Standorte innerhalb des Betriebes ermittelt und in Bewertungsmatrizen je nach Medium (Abwasser, Dampf, Abluft) gegenübergestellt. Aus den Ergebnissen der Bewertungsmatrizen ergaben sich mehrere mögliche Einbindungsvarianten für den LWS-Container, die nach Relevanz gelistet wurden.

### 3.2.1 Kostenstellenbezogene Energietabellen

In umfangreichen Studien wurden die Verbräuche bzw. Verluste der Energie-Stellen ermittelt und quantifiziert. Auszugsweise finden sich dazu Beispiele in der nachstehenden Tabelle.

| KoSt | Bereich | Ort                            | Energieträger/<br>Medium | Zweck     | Ein.            | Gesamt/a    |
|------|---------|--------------------------------|--------------------------|-----------|-----------------|-------------|
|      | SCHA    | Schmelzhütte Allgemein         | Druckluft                | Verbrauch | Nm <sup>3</sup> | - 8.000.000 |
| 402  | SO      | Schachtofen Quenche            | Druckluft                | Verbrauch | Nm <sup>3</sup> | - 7.000.000 |
| 431  | FO      | Flammofen 3 Produktionsbetrieb | Erdgas                   | Verbrauch | Nm <sup>3</sup> | - 4.000.000 |
| 401  | SO      | Schachtofen                    | Koks groß                | Verbrauch | kg              | - 4.000.000 |
| 431  | FO      | Flammofen Quenche              | Druckluft                | Verbrauch | Nm <sup>3</sup> | - 3.000.000 |
| 571  | GI      | Gießerei Ofen 2                | Strom                    | Verbrauch | kWh             | - 3.000.000 |
|      | Son     | Sonstige Verbraucher           | Druckluft                | Verbrauch | Nm <sup>3</sup> | - 3.000.000 |
| 175  | DL      | Preßluftversorgung             | Strom                    | Verbrauch | kWh             | - 2.000.000 |

Tabelle 2: Kostenstellenbezogene Energietabelle (Auszug)

### 3.2.2 Prozessbezogene Energiebilanzen

Zusätzlich zur kostenstellenbezogenen Energiedatenermittlung erfolgte im Rahmen des Projektes eine Aufstellung in Form einer Input/Output-Bilanz. Auch hier dazu ein beispielhafter Auszug aus der umfangreichen Darstellung.

| Flammofen    | Input          | Einheit         | Menge     | $\Delta T$ (zu 25°C) | kW/<br>Einheit | Energie<br>KWh | Output      | Einheit         | Menge      | $\Delta T$ (zu 25°C) | kW/<br>Einheit | Energie<br>KWh |
|--------------|----------------|-----------------|-----------|----------------------|----------------|----------------|-------------|-----------------|------------|----------------------|----------------|----------------|
| Inkl. Filter | Flüssigeinsatz | t               | 13112     | 1125                 |                | 869000         | Anoden      | t               | 74.200     | 1125                 |                | 14803400       |
|              | Erdgas         | Nm <sup>3</sup> | 7.504.000 | -                    |                | 108300         | Schlacke    | t               | 18.150     | 1.225                |                | 1275600        |
|              | Sauerstoff     | Nm <sup>3</sup> | 4.783.000 | -                    |                | 128000         | Abgas       | Nm <sup>3</sup> | 21.800.000 | 1.325                |                | 6107600        |
|              | Strom          | kWh             | 2.242.000 | -                    |                |                |             |                 |            |                      |                |                |
|              | Druckluft      | Nm <sup>3</sup> | 7.720.000 | -                    |                |                | Kühlwasser  | m <sup>3</sup>  | 636.000    | 25                   |                |                |
|              |                |                 |           |                      |                |                | Dampf       | t               | 41.260     | 50.160               |                |                |
|              |                |                 |           |                      |                |                | Wandverlust | kWh             |            |                      |                |                |
| BILANZ       |                |                 |           |                      |                | 1.105.300      |             |                 |            |                      |                | 22.186.600     |
| Gießen       | Anoden         | t               | 74.200    | 1.125                |                | 15.122.600     | Anoden      | t               | 74.200     | -                    |                | 14.800.000     |
|              | Erdgas         | Nm <sup>3</sup> | 173.800   | -                    |                |                | Kühlwasser  | m <sup>3</sup>  | 6.000      | 25                   |                |                |
|              |                |                 |           |                      |                |                | Abwärme     | kwh             |            |                      |                |                |
| BILANZ       |                |                 |           |                      |                | 15.122.600     |             |                 |            |                      |                | 14.800.000     |

Tabelle 3: Prozessbezogene Energietabelle (Auszug)

### 3.2.3 Geplante Ausbau- und Umstrukturierungsmaßnahmen

Kurz- und mittelfristig sind in den Montanwerken Brixlegg weitere Ausbau- und Umstrukturierungsmaßnahmen geplant, die für die Einbindung von LWS-Systemen durchaus relevant sind. Die für das gegenständliche Projekt wesentlichste energierelevante Maßnahme betrifft das bestehende Kühlwasserkonzept beim Flammofen:

Derzeit erfolgt die Kühlung am Flammofen indirekt über Wärmetauscherelemente mit Betriebswasser im Durchlaufverfahren. Die Verbrauchssteuerung der Durchflussmenge erfolgt über eine Temperaturregelung. Zukünftig könnte durch Kreislaufführung der Volumenstrom verringert und im Gegenzug das Tem-

peraturniveau erhöht werden (sog. System der Heißkühlung). Das so bis zu 80–85°C erwärmte Wasser könnte als Energielieferant für die LWS zur Verfügung stehen. Eine weitere Option bestünde in der Auskoppelung von sog. Überschusdampf. Dieser steht bei bestimmten Betriebszuständen und Verfahrensbedingungen diskontinuierlich zur Verfügung und der Energieinhalt könnte ebenfalls in den LWS gespeichert werden. Das direkt zur Kühlung des Gießrades und des Anodenbottichs eingesetzte Bachwasser aus dem Werksgerinne wird zukünftig gefiltert und könnte ebenfalls im Teilstrom im Kreislauf geführt werden. Das so weiter erwärmte Wasser käme ebenfalls als Energielieferant für den LWS in Frage.

### 3.2.4 Bewertungsmatrizen

Aus den erstellten Energietabellen wurden die Abwärmepotentiale extrahiert, nach dem jeweiligen Medium Abwärme, Dampf und Prozesswasser in Relevanzmatrizen eingetragen und bewertet. Für die Bewertung wurden neben technischen Kriterien (Wärmepotential, Temperaturprofil, technische Zugänglichkeit) auch Kriterien der Organisation (Verfügbarkeit, zeitlicher Verlauf, Manipulationsflächen) und vor allem der Produktsicherheit (Qualitätsanforderungen) gesetzt. Jedem Kriterium wurde nach dem Schulnotensystem (1 = sehr gut geeignet, 5 = gänzlich ungeeignet) ein Bewertungspunkt zugeteilt, wobei die Vergabe einer „5“ ein Ausschlusskriterium für die jeweilige Position darstellte und die nachfolgenden Kriterien nicht weiter bewertet wurden (-). Die Punkteanzahl wurde im Anschluss addiert, die drei Positionen mit der geringsten Gesamtpunkteanzahl wurden für die nähere Betrachtung herangezogen. Beispielhaft findet sich nachfolgend eine der dargestellten Relevanzmatrizen für das verwertbare Prozesswasser.

Sämtliche Abwasserströme werden vor der Einleitung in den Vorfluter unter die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte gereinigt.

| Quelle        | Potential - Prozesswasser |                            |              |                       |                   |                       |                     |                     |                        |                        | Standort            |                                    |                                    |                           | Sonstiges            |                   |                   | Bewertung<br>Endsumme |
|---------------|---------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
|               | Wassertemperatur [°C]     | Grenztemperatur (min) [°C] | Menge [m³/a] | Betriebsstunden [h/a] | Durchfluss [m³/h] | Energiepotential [MW] | Verfügbarkeit [h/d] | Verfügbarkeit [d/a] | Wärmepotential [MWh/d] | Wärmepotential [MWh/a] | Bewertung Potential | Einbau WT möglich (Zugänglichkeit) | Leitungslänge zu Containerstandort | Zufahrt Containerstandort | Einbindung Notkühler | Produktsicherheit | Betriebsicherheit |                       |
| Schachtofen   | 50                        | 70                         | 8820         | 4800                  | 1,8               | k.P.                  | 24                  | 200                 |                        |                        | 5                   | -                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| Konverter     | 65                        | 70                         | 2640         | 4800                  | 0,6               | k.P.                  | 24                  | 200                 |                        |                        | 5                   | -                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| Flammofen     | 85                        | 70                         | 636100       | 4800                  | 132               | 2,30                  | 24                  | 200                 | 55,0                   | 11030                  | 1                   | 2                                  | 2                                  | 1                         | 1                    | 1                 | 1                 | 1                     |
| Gießen        | 50                        | 70                         | 6000         | 4800                  | 1,3               | k.P.                  | 24                  | 200                 |                        |                        | 5                   | -                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| Elektrolyse   | 75                        | 70                         | 101500       | 4800                  | 21,2              | 0,12                  | 24                  | 200                 | 2,9                    | 590                    | 4                   | 5                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| Gießerei      | 35                        | 70                         | 366700       | 4800                  | 76,4              | k.P.                  | 24                  | 200                 |                        |                        | 5                   | -                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| Schlammwäsche | 45                        | 70                         | 10300        | 4800                  | 2,2               | k.P.                  | 24                  | 200                 |                        |                        | 5                   | -                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| EMA           | 65                        | 70                         | 42740        | 4800                  | 8,9               | k.P.                  | 24                  | 200                 |                        |                        | 5                   | -                                  | -                                  | -                         | -                    | -                 | -                 | -                     |
| Oxy           | 95                        | 70                         | 23150        | 4800                  | 4,8               | 0,14                  | 24                  | 200                 | 3,3                    | 670                    | 4                   | 2                                  | 3                                  | 3                         | 1                    | 2                 | 2                 | 3                     |

Tabelle 4: Relevanzmatrix für Prozesswasserpotentiale (optimierte Bedingungen)

### 3.2.5 Geplantes Modell für eine „Wärmetankstelle“

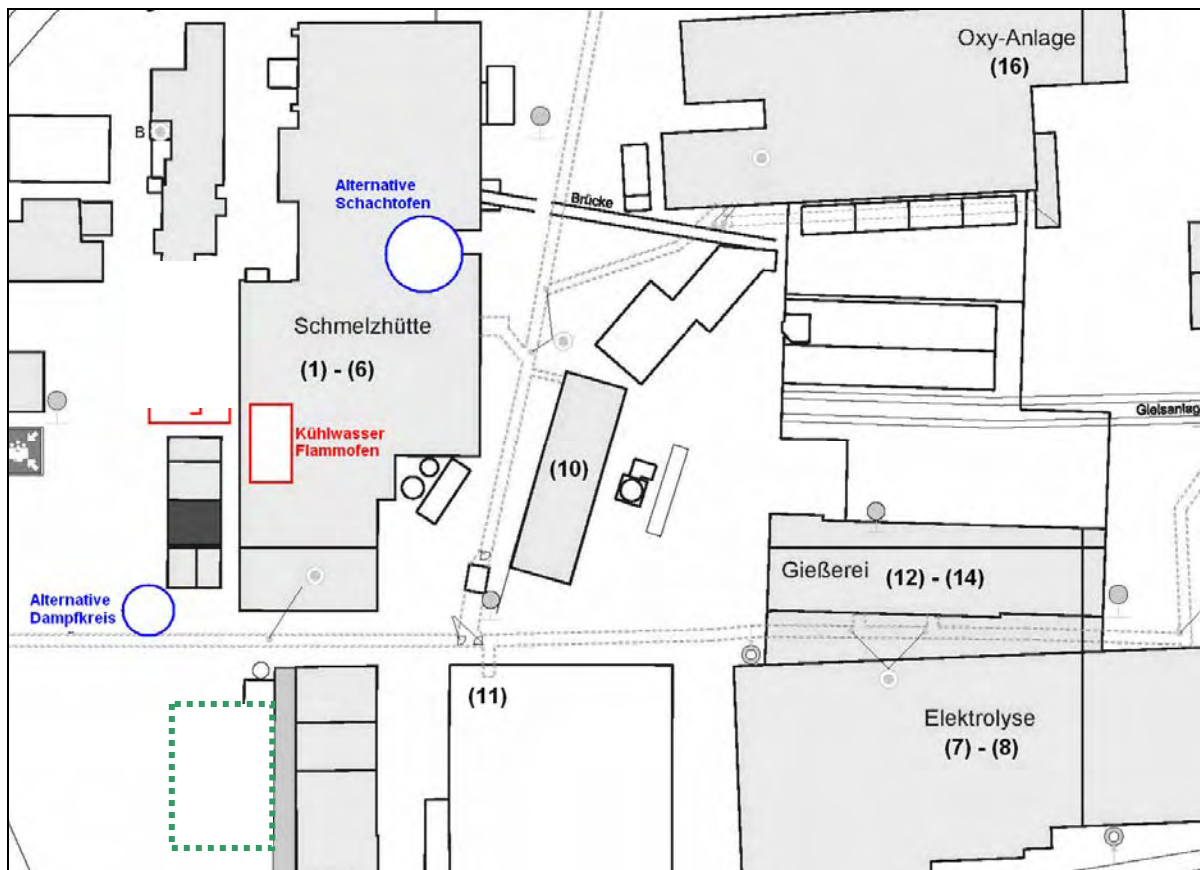
Aus den Ergebnissen der Bewertungsmatrizen haben sich folgende drei Positionen als potentielle Wärmequellen qualifiziert:

- I) Kühlwasser Flammofen (Anodenkühlung), Gesamtpunktezahl: 10
- II) Abwärme Schachtofen, Gesamtpunktezahl: 19

III) Einbindung in den innerbetrieblichen Dampfkreislauf, Gesamtpunktezahl: 20

Das Abwasser aus der Anodenofenkühlung konnte nicht nur die niedrigste Gesamtpunktezahl erreichen, diese Wärmequelle besitzt im Ranking der drei letztendlichen Möglichkeiten noch weitere entscheidende Vorteile gegenüber der zweit- und drittgerihten Position:

- Der technische Aufwand zur Erschließung der Wärmequelle ist sehr gering.
- Die Revision des Kühlwasserkonzeptes wird demnächst erfolgen (siehe 3.2.3).
- Die Lokalisierung am Betriebsgelände ermöglicht kurze Leitungslängen zu den Containerstandorten.



(rot = Kühlkreis Flammofen, blau = Alternativen, grün = möglicher Standort LWS-Container)

Abb. 7: Skizze LWS-Einbindung<sup>30</sup>

Mit den Eckdaten des konzipierten Kühlkreises wurde eine detaillierte Potentialberechnung bei verschiedenen Temperaturniveaus durchgeführt:

<sup>30</sup> Grafik: Montanwerke Brixlegg AG (modifiziert)

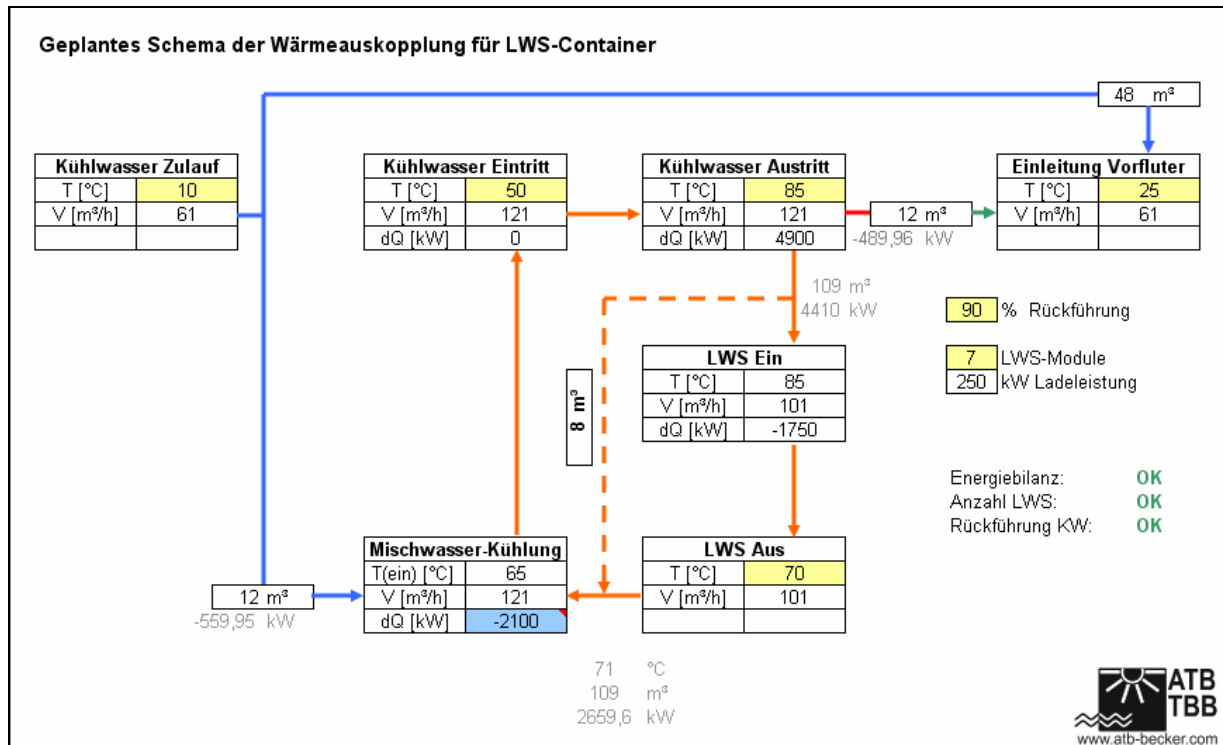


Abb. 8: Berechnung LWS-Einbindung im Flammofen-Kühlkreis

Die „Wärmetankstelle“ der LWS-Container stellt in diesem Fall den ersten Teil der nachfolgenden Kühlkaskade dar. Bei der derzeitigen Produktionsauslastung und einer Rückführung von 90 % des Kühlwassers können so bis zu 7 LWS-Module zeitgleich beladen werden. Durch den Gleichzeitigkeitsfaktor (Ladedauer bei einer Temperaturspannung von optimiert 85/70°C beträgt 15 Stunden) und unter Berücksichtigung der Manipulationsdauer (kalkuliert mit ca. 1 Stunde pro Container) können im Idealfall bis zu 10 LWS Container an dieser Stelle kontinuierlich beladen werden.

### 3.2.6 Liefersicherheit

Ein kontinuierlicher, gleichmäßiger Betrieb an 365 Tagen pro Jahr ist an keiner Produktionsstelle gegeben. Betreffend die Liefersicherheit dem Kunden gegenüber können in den Montanwerken Brixlegg AG grundsätzlich zwei mögliche Varianten in Betracht gezogen werden:

Variante 1, Vertragsgestaltung: Da davon ausgegangen werden kann, dass bei den Abnehmern die bestehenden Heizsysteme ohnehin weiter zur Spitzenlastabdeckung herangezogen werden, können diese Systeme auch während der Stillstandszeiten des Flammofens herangezogen werden. Der Umfang der „Selbstversorgung“ ist im Einzelnen mit dem jeweiligen Vertragspartner zu regeln.

Variante 2, Redundanz durch Kopplung mit Dampfkreislauf: Es besteht die Möglichkeit, mehrere Wärmequellen zur Befüllung der LWS-Container zu koppeln. Der Dampfkreislauf wird während des gesamten Jahres aus unterschiedlichen Wärmerückgewinnungsanlagen und den bestehenden Dampfkesseln gespeist. Eine Kopplung mit dem LWS-Kreis könnte eine nahezu 100 %ige Liefersicherheit bringen.

### 3.3 Zusammenfassung Abwärmenutzung

Die wesentlichen Ergebnisse aus der Untersuchung der Abwärmequellen in den Montanwerken Brixlegg sind:

- In der Montanwerke Brixlegg AG wären grundsätzlich ausreichend Wärmepotentiale für die Realisierung einer trassenlosen Wärmeversorgung vorhanden.
- Die Wärmeauskopplung bei Kühlwasserprozessen könnte mit vertretbarem ökonomischem Aufwand und in Kombination mit dem vorhandenen Dampfkreislauf, auch mit ausreichender Liefersicherheit realisiert werden.
- Die Nutzung der Abwärme in Abgasen ist technisch realisierbar, ist aber mit wesentlich höheren Installationskosten verbunden, da die Wärmetauscher aufgrund der Beanspruchung im Hochtemperaturbereich sehr hohen qualitativen Anforderungen unterliegen und die Installation eines Wärmeträgerkreislaufs notwendig wäre.

Daraus können folgende allgemeine Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die Möglichkeit der Einbindung einer LWS-Logistik sollte immer im Rahmen der gesamtenergetischen Betrachtung des Betriebes untersucht werden, um Synergieeffekte erkennen und nutzen zu können.
- Es empfiehlt sich in einer gesamtenergetischen Untersuchung eines Betriebes, der Regel „Vermeidung – vor interner Nutzung – vor externer Verwertung“ aus ökologischen und auch ökonomischen Gründen Folge zu leisten.
- Eine Entscheidungsmatrix, wie in diesem Kapitel vorgestellt, kann ein nützliches Instrument zur Auswahl von potentiellen Abwärmequellen darstellen. Die Auswahlkriterien sind aber für jeden Betrieb individuell anzupassen, auch die Gewichtung der einzelnen – vor allem nicht-energetischen – Parameter ist in jedem Fall mit den zuständigen Verantwortlichen im Betrieb im Detail abzuklären.

## 4 Wärmetransport

In diesem Kapitel werden die am Markt erhältlichen mobilen LWS-Systeme beschrieben und die logistischen Fragestellungen am Beispiel der Region Brixlegg untersucht.

### 4.1 Mobile Latentwärmespeicher

#### 4.1.1 Lieferantenrecherche

Die Recherche nach Lieferanten für mobile Latentwärmespeicher-Systeme erfolgte über mehrere Ansätze: Einerseits basieren die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes auf dem bereits vorhandenen Kontakt zum Technologiemarketing im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), andererseits wurden Internetrecherchen, Abfragen bei diversen Patentdatenbanken und bei der Internationalen Energieagentur gestartet, um auch DLR-unabhängige Entwicklungen zu berücksichtigen. In den nachfolgenden Punkten werden die Vorgangsweisen sowie die Ergebnisse der Recherchen detaillierter beschrieben.

##### 1. Kontakt zum DLR

Das DLR hat im Bereich der PCM-Forschung zahlreiche Entwicklungsaktivitäten für stationäre und mobile Anwendungen für Latentwärmespeicher durchgeführt. Aus diesen Entwicklungen hat sich ein Kontakt zur Firma Alfred Schneider in Lahr entwickelt, die die Latentwärmespeichertechnik zu Produkten weiterentwickelt hat und vermarktet. Die erste Variante des mobilen Latentwärmespeichers wurde als Öl-basiertes System ausgestattet. Diese Speicher, die auch von der Firma Eureka AG<sup>31</sup> (heute TransHeat) eingesetzt wurden, werden wegen verschiedener Probleme mit dem Transport der Speicher nicht mehr gebaut.

Derzeit wird von der Firma Alfred Schneider eine neue Generation von Latentwärmespeichern, die zunächst für den stationären Betrieb an Solaranlagen entwickelt wurden, auf den mobilen Einsatz vorbereitet. Mit einer Hochskalierung der auf Wasser als Wärmeträger beruhenden Technik auf eine Größe von 20 Fuß-Transportcontainern steht ein leistungsfähiger Wärmetransporter zur Verfügung. Die Fertigung von Prototypen ist vorbereitet, eine Serienfertigung kann unverzüglich aufgenommen werden. Die zu erwartenden Leistungsdaten werden im Folgenden zur Modellierung des Wärmetransportsystems verwendet.

##### 2. Internetrecherche

Bei der Internetrecherche im deutschsprachigen sowie im internationalen Raum wurden zahlreiche Anbieter für Latentwärmespeichersysteme gefunden. Die Bandbreite der Produkte erstreckt sich von PCM-Fassadenanstrichen über stationäre Systeme für Einzelheizanlagen bis hin zu mobilen Systemen mit Sorptionsverfahren für die Klimatechnik und flüssige (PCM-Verfahren) Wärmeträger. Nach der Eingrenzung der Anbieter auf mobile Anwendung und flüssiges Wärmeträgermedium konnte die Auswahl auf folgende Firmen eingeschränkt werden:

- Fa. Alfred Schneider GmbH (in Zusammenarbeit mit dem DLR)
- Fa. TransHeat (in ehemaliger Zusammenarbeit mit dem DLR)
- Fa. PowerTank

Eine Gegenüberstellung der technischen Daten (Detailanalyse) findet sich unter Punkt 4.1.2.

---

<sup>31</sup> Insolvenz 2004

### 3. Patentabfrage

Die Suche nach Wärmetauschern und Wärmespeichern in Containern in Verbindung mit Phase Change Material in den internationalen Datenbanken ergibt eine große Menge an Treffern. Vom Zeitraum her werden Anmeldungen ab ca. 1980 genannt. Geografisch betreffen diese Anmeldungen im Wesentlichen Europa (Deutschland), die USA und Japan. Die Suche nach konkreten, am Markt eingeführten Produkten zu den genannten Anmeldern oder Erfindern führt zu wenigen Treffern. Dazu zählen die Firmen Schneider und TransHeat<sup>32</sup>, deren Produkte unter Punkt 4.1.2 näher beschrieben werden.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Patentabfrage und die Recherche nach den daraus entwickelten Produkten nur wenige konkrete Treffer ergeben haben.

### 4. Recherche bei der IEA-Datenbank

Die Abfrage der IEA-Datenbank<sup>33</sup> ergab zwar einige Treffer zum Thema Latentwärmespeicher, doch sind es auch hier vorwiegend stationäre Systeme und Systeme für die Klimatechnik, mit welchen sich die unterschiedlichen Projekte befassen. Die spezifischen Anforderungen für die mobile Anwendung können aus diesen Projekten nicht abgeleitet werden.

#### 4.1.2 Detailanalyse LWS-Container

Die recherchierten Anbieter für mobile Latentwärmespeichersysteme wurden kontaktiert und um Bekanntgabe der technischen Daten und des Entwicklungsstandes gebeten. Nachfolgend findet sich eine Zusammenfassung und Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse:

| Beschreibung          | Einheit | Alfred Schneider GmbH          | TransHeat GmbH                                      | PowerTank GmbH                 |
|-----------------------|---------|--------------------------------|---|--------------------------------|
| <b>Techn. Daten</b>   |         |                                |   |                                |
| PCM                   |         | Natriumacetat                  | <b>Na-acetat</b> <sup>34</sup><br>[Ba(OH)2, andere] | Paraffin                       |
| PCM-Schmelztemperatur | °C      | 58,5                           | 58 [78 / andere]                                    | 60-62                          |
| Kapazität             | MWh     | 2,5                            | 2,5 [bis 3,8]                                       | 1,5                            |
| Ladeleistung          | kW      | 250 (dT20K)                    | 500   | 250 (dT20K)                    |
| Entladeleistung       | kW      | 125 (dT10K)                    | 250   | 170 (dT15K)                    |
| Wärmeverluste         | kWh/d   | 10–12 (dT90K)                  | k.A.  | k.A.                           |
| Systemart             |         | direkt                         | indirekt  | direkt                         |
| Lade/Entladezeit      | h       | 10 / 20                        | 5 / 8-10  | 5,5 / 8                        |
| Lebensdauer           | a       | > 15                           | 30  | k.A.                           |
| zul. Betriebsdruck    | bar     | 6                              | k.A.  | k.A.                           |
| Wärmeträgermedium     |         | Wasser                         | Thermoöl  | Wasser                         |
| <b>Container</b>      |         |                                |   |                                |
| Containerart          |         | 20' Standard<br>(quaderförmig) | Tankcontainer (zylindrisch)                         | 20' Standard<br>(quaderförmig) |
| Abmessungen           |         | 6,06 x 2,44 x 2,60 m           | 6,0 x 2,48 m  | 6,06 x 2,44 x 2,60 m           |

<sup>32</sup> TransHeat nutzt die auf Öl basierende Technologie des DLR

<sup>33</sup> www.iea.org

<sup>34</sup> Die für das System TransHeat angegebenen techn. Daten beziehen sich auf Na-Acetat als PCM



|                             |                    |  |                     |  |
|-----------------------------|--------------------|--|---------------------|--|
| Gewicht                     | t                  | 26   | 28–38               | k.A.   |
| Isolierung                  | cm                 | 10 (PU)  | 5 (Mineralwolle)    | 20 / 10 (PSE)  |
| <b>PCM-Eigenschaften</b>    |                    |  |                     |  |
| Korrosiv                    |                    | nein   | nein                | nein   |
| Zyklusfest                  |                    | ja   | ja                  | ja   |
| Rezyklierbar                |                    | ja   | ja                  | ja   |
| Umweltverträglich           |                    | ja   | ja                  | ja   |
| Toxisch                     |                    | nein   | nein                | nein   |
| <b>Kosten</b>               |                    |  |                     |  |
| PCM-Container               | €                  | 30.000   | ab 73.000 (2,5 MWh) | 82.000   |
| Lade-/Entladestation        | €                  | 5.000  | k.A.                | k.A.   |
| Steuerung                   | €                  | k.A.   | k.A.                | 1.500  |
| Wartungskosten              | €/MWh              | 2  | k.A.                | k.A.   |
| spez. Investkosten          | €/MWh              | 14.000   | ab 29.200           | 55.000   |
| <b>Sonstiges</b>            |                    |  |                     |  |
| Energiedichte <sup>35</sup> | kWh/m <sup>3</sup> | 65   | 86–131              | 39   |
|                             | kWh/t              | 96   | 89–100              |  |
| Lieferzeit                  |                    | 6 Monate   | k.A.                | k.A.   |
| Entwicklungsstand           |                    | Einzelfertigung derzeit möglich, Serienfertigung in Vorbereitung | k.A.                | Einzelfertigung (kundenspezifische modulare Systeme) |

Tabelle 5: Vergleich von mobilen LWS-Systemen am Markt

Beim Vergleich der Energiedichte mit den spezifischen Investitionskosten stellt das System der Fa. Alfred Schneider GmbH das effizienteste System dar, weshalb bei den weiteren Betrachtungen dieses System als Berechnungsgrundlage dient. Weitere Gründe für diese Wahl sind die enge Zusammenarbeit mit den DLR sowie die hohe Kooperationsbereitschaft der Fa. Alfred Schneider GmbH.

<sup>35</sup> Bezogen auf das Volumen bzw. Gesamtgewicht des jeweiligen Transportcontainers

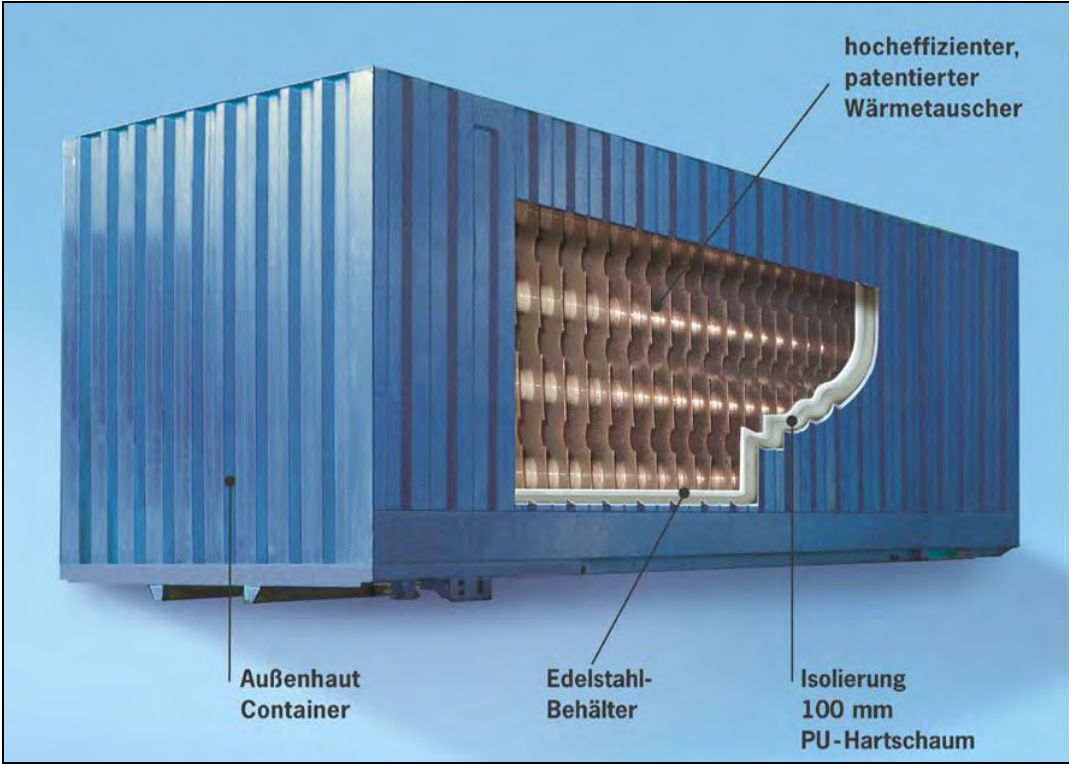


Abb. 9: LWS-System Fa. Alfred Schneider GmbH



Abb. 10: LWS-System Fa. Transheat GmbH



Abb. 11: LWS-System Fa. Powertank GmbH (Einzelzellen)

## 4.2 Erstellung und Verifizierung unterschiedlicher Logistikvarianten

Zur Abgrenzung zu den anderen Kapiteln wird für die Logistikvariante der technische und organisatorische Ablauf von der Abkopplung bei der Ladestation über den Transport bis zur Ankopplung bei der Entladestation am Beispiel der Region Brixlegg betrachtet.

### 4.2.1 Einzugsgebiet und Versorgungsradius

Für die Bestimmung des Einzugsgebietes gibt es mehrere Möglichkeiten, vorerst die Bestimmung nach ökologischen Gesichtspunkten. Weiters kann das Einzugsgebiet über die Kostenrechnung ermittelt werden. Dies hängt von der Wärmeabnahmemenge des Kunden ab und muss für jeden Einzelfall separat betrachtet werden. Letztendlich wird das Einzugsgebiet bzw. der Versorgungsradius durch die Betreiber des Wärmeversorgungssystems vorgegeben. Die Montanwerke Brixlegg AG haben eine maximale Entfernung der Abnehmer von 15 km festgelegt, was einem Versorgungsradius von ca. 10 km entspricht. Hersteller der Container sprechen von einem wirtschaftlichen Radius von bis zu 30 km.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Wagger, Ch.: „Alternative Nutzung von Abwärme durch Konzipierung einer trassenlosen Wärmeversorgung mit mobilen Latentwärmespeichern“, Diplomarbeit FH-Kufstein 2006

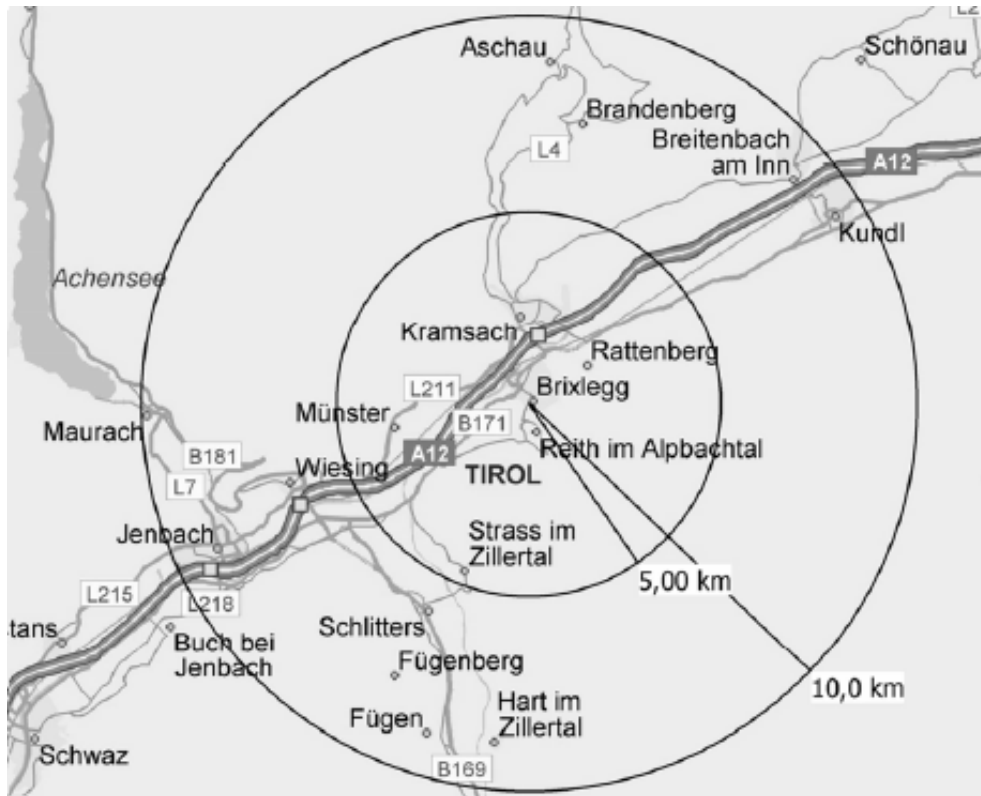


Abb. 12: Versorgungsradius für das angestrebte Modellprojekt

Gemeinden, für welche laut Abbildung eine Versorgung in Frage kommen würde, sind: Jenbach, Kramsach, Kundl, Radfeld, Rattenberg, Reith im Alpbachtal, Vorderes Zillertal und Wiesing.

#### 4.2.2 Container

Durch die Einschränkung auf Standardcontainer wird die Transportaufgabe deutlich vereinfacht.

Abmessungen für 20' Standardcontainer (Fa. Schneider GmbH)

(l x b x h): 6,058 x 2,438 x 2,591 m; Gewicht: 26 t

Abmessungen für 20' Standardtankcontainer (Fa. Transheat GmbH):

(l x b x h): 6,0 x 2,48 x 2,48 m; Gewicht: 28 - 38 t

Die Fa. PowerTank GmbH ist aufgrund der modularen Bauweise in der Lage, kundenspezifische Container mit den LWS-Zellen auszustatten. Abmessung und Gewicht hängen daher vom Einzelfall ab.

#### 4.2.3 Transportbeschränkungen

Das österreichische Kraftfahrzeuggesetz<sup>37</sup> regelt die maximalen Abmessungen und Gewichte von Kraftfahrzeugen und von Transporten mit Kraftfahrzeugen auf Straßen mit öffentlichem Verkehr. Wenn diese Abmessungen oder Gewichte durch das Kraftfahrzeug selbst überschritten werden, ist eine Routengenehmigung, bei dem Überschreiten durch das Ladegut eine Transportbewilligung erforderlich. Die Be-

<sup>37</sup> Kraftfahrzeuggesetz 1967 i.d.a.F.

willigungen werden für eine oder mehrere Fahrten für einen Zeitraum von bis zu einem Jahr genehmigt<sup>38</sup>.

#### Genehmigungspflicht besteht für folgende Fahrzeuge:

| Fahrzeugtyp                  | Länge (m)  | Breite (m) | Höhe (m)  |
|------------------------------|------------|------------|-----------|
| Lastkraftwagen oder Anhänger | über 12,00 | über 2,55  | über 4,00 |
| Sattelkraftfahrzeug (SZM+SA) | über 16,50 | über 2,55  | über 4,00 |
| Kraftwagenzug (LKW+Anh.)     | über 18,75 | über 2,55  | über 4,00 |

Tabelle 6: Genehmigungspflichtige Abmessungen für Lastkraftfahrzeuge in Tirol

| Fahrzeugtyp                          | Gesamtgewicht (t) |
|--------------------------------------|-------------------|
| Lastkraftwagen /Anhänger 2-achsig    | über 18,00        |
| Lastkraftwagen /Anhänger 3-achsig    | über 26,00        |
| Lastkraftwagen mit mehr als 3 Achsen | über 32,00        |
| Lastkraftwagen mit Anhänger          | über 40,00        |
| Sattelkraftfahrzeug                  | über 40,00        |

Tabelle 7: Genehmigungspflichtige Gesamtgewichte für Lastkraftfahrzeuge in Tirol

Aus dieser Aufstellung ist ersichtlich, dass nicht die Größe der Container, sondern das Gewicht das limitierende Kriterium ist. Unter der Voraussetzung, dass weder Transport- noch Routenbewilligung erforderlich sein sollen, schränkt sich die Auswahl an Transportfahrzeugen ein.

#### Verkehrsbeschränkungen

Für Lastkraftwagen und Sattelkraftfahrzeuge über 7,5 t gibt es in Tirol eine Reihe von Gesetzen und Verordnungen, die den freien Verkehr einschränken. Hauptaugenmerk wird dabei der Benutzung der Autobahn sowie des Transits geschenkt. Im betrachteten Fall der Wärmelieferung ist die Benutzung der Autobahn wegen des geringen Radius nicht vorgesehen.

Darüber hinaus sind Beschränkungen in Sanierungsgebieten verordnet. Im Zuge der Umsetzung des Immissionsschutzgesetz-Luft wird zukünftig stärker in das Verkehrsgeschehen eingegriffen. Ausnahmen werden zum Teil für Ziel- und Quellverkehr, sowie für moderne Fahrzeuge der Euroklasse 4 und 5 gelten, Einschränkungen wird es für Transporte während der Nachtzeit sowie an Sonn- und Feiertagen geben.

Daraus wird für eine Wärmeversorgung ein bestimmtes Zeitfenster abgeleitet, das Werktag bis Samstag 15:00 Uhr, ausgenommen Nachtzeiten von 22:00–5:00 Uhr, vorsieht. Für den Fall mehrerer Feiertage hintereinander ist die Versorgungslösung auf die regionalen und rechtlichen Verhältnisse abzustimmen. Technische Voraussetzungen sind lärmarme LKW der Euroklasse 4 und 5.

<sup>38</sup> Land Tirol, Verkehrsrecht, [www.tirol.gv.at](http://www.tirol.gv.at)

### 4.3 Einbindung lokaler Akteure

Grundsätzlich kommen für den lokalen / regionalen Transport folgende Akteure in Frage:

- Eigenversorgung durch die MWB
- Lokale Brennstoffhändler, die sich als Wärmelogistiker betätigen
- Speditionen
- Frächter

Die Montanwerke Brixlegg AG sehen ihren Schwerpunkt in einem derartigen Wärmeversorgungsmodell alleinig in der Abgabe von Wärme. Die Organisation der Logistik ist zu weit vom derzeitigen Geschäftsfeld entfernt, so dass neben personellen vor allem technische Ressourcen fehlen. Durch die Anschaffung eines oder mehrerer Lastkraftwagen und entsprechender Aufbauten würde die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems stark beeinträchtigt, da verhältnismäßig hohe Standzeiten der LKWs resultieren.

Je nach Geschäftsmodell gibt es für Brennstoffhändler folgende unterschiedliche Argumentation, die einerseits vorsichtiges Interesse, andererseits aber eine Ablehnung unter den zu erwartenden Umständen zeigen:

- Argumentation 1: Heizölhändler sind wegen der angespannten Ölpreissituation interessiert, sich Alternativen zum derzeitigen Geschäft aufzubauen. Die Betätigung als Wärmelogistiker stößt prinzipiell auf Interesse. Diese Aussage trifft eher bei Brennstoffhändlern zu, die als Vertriebsorgan großer Ölfirmen agieren.
- Argumentation 2: Das Kerngeschäft des Händlers liegt im günstigen und effizienten Einkauf bei verschiedenen Anbietern und dem erfolgreichen Absatz der Produkte. Diese Aufgabe geht über die reine logistische Aufgabe hinaus und fordert die geschäftlichen Erfolgsfaktoren des Handelsgeschäftes. In dieser Betrachtung wäre der Einkauf der Energie bei verschiedenen Anbietern erforderlich, des Weiteren auch ein breitest möglicher Absatz. Der freie Einkauf der Energie ist wegen der direkten Zuordnung des Energieanbieters nicht möglich. Somit bleibt nur die Lösung der logistischen Aufgabe, und die scheint für „freie“ Brennstoffhändler nicht attraktiv.

Die Vergabe des Transportes an Speditionsunternehmen bietet zwar den Vorteil, dass der Transport nur nach tatsächlichem Aufwand verrechnet wird, andererseits ist der (finanzielle) Aufwand durch die Fremdvergabe auch höher. Diese Unternehmen organisieren üblicherweise den Transport über große Distanzen und verschiedene Verkehrswege sowie Transportmittel. Die organisatorische Struktur von Speditionsunternehmen ist nicht für Kurzdistanzen geschaffen. Wenn solche Distanzen zu überwinden sind, verrechnen Speditionen den Aufwand nach geleisteten Stunden und nicht nach Kilometer. Damit sind sie nicht wettbewerbsfähig. Weiters ist auch zu beachten, dass der Fahrer nicht nur für den Transport von A nach B zuständig ist, sondern auch die Container bei der Wärmequelle abzukoppeln und beim Verbraucher anzuschließen hat. Dies benötigt ein Mindestmaß an Know-how beim Fahrer, welches langfristig sichergestellt werden müsste (Fluktuationsrate im Transportwesen!). Dazu kommt, dass diese Form der Wärmelogistik eine zusätzliche übergeordnete Organisation benötigt, die sich mit den Belangen der Kundenakquisition und -betreuung befasst.

Für die Überwindung von kurzen Distanzen beauftragen die Speditionsunternehmen auch Frächter. Diese Firmen sind für den reinen Transport bestens organisiert. Eine Erweiterung der Aufgabe des Fahrers, den Anschluss der Container sicherzustellen, ist möglich. Frächter sind regional gut organisiert und ein Containertransport kann die Auslastung der Fahrzeuge steigern. Ob sich der Frächter zum Energielieferanten weiterentwickelt, hängt von dessen Bestreben ab, sich neue Geschäftszweige zu eröffnen.

## 4.4 Erhebung technisches Equipment

### 4.4.1 Ladestelle

Für die technische Ausrüstung der Ladestelle ist bezogen auf die Logistik ein flexibler Anschluss (Schlauchanschluss) sowie die geeignete Zufahrt und der befestigte Straßenaufbau erforderlich: Gewicht 40 t (44 t<sup>39</sup>), abgeleitet über Räder und Standkonsolen. Bei Transportsystemen, bei welchen die Container vom Fahrzeugunterbau gehoben werden, ist ein Hubgerät erforderlich. Diese können sein: Bockkran, Fahrzeug bzw. Anhänger mit Kran oder Hubsystem. Die Beschreibung erfolgt im nachfolgenden Punkt. Bei der Ladestelle können mehrere Container gleichzeitig mit Energie geladen werden. Dafür sind überdachte Abstellflächen und Anschlüsse bereitzustellen, ebenso für jene Container, die auf den Transport zum Abnehmer warten.

In der betrachteten Region ist mit heftigen Witterungseinflüssen zu rechnen, insbesondere in den Wintermonaten. Dies bedingt geräumte Straßen, Split- oder bei Bedarf Salzstreuung. Günstig ist ein Unterstand für die Container. Zum Schutz der Betriebseinrichtung wird in gefährdeten Bereichen ein Rammenschutz empfohlen.

#### Platzbedarf:

20'-Container  $l \times b \times h = 7 \times 3,5 \times 3,5 \text{ m}$

20'-Container auf einem Sattelaufleger:  $l \times b \times h = 10 \times 3,5 \times 4,5 \text{ m}$ .

### 4.4.2 Auf- und Abladung der Container, Transportfahrzeuge

In der Containerlogistik werden verschiedene Varianten der Auf- und Abladung angewendet. Eine weitere Möglichkeit ist die fixe Zuordnung des Containers zu einem bestimmten fahrbaren Unterbau. Das Containergewicht limitiert jedoch die Möglichkeiten und es bleiben folgende Varianten:

#### **Containerchassis**

Es werden am Markt Chassis für 20'-Container angeboten, die entsprechend kürzer gebaut sind als die Standard-Sattelaufleger. Hier kann ein Chassis einem Container fix zugeordnet und am Entladeort gemeinsam abgestellt werden. Die Zugmaschine ist in diesem Fall frei verfügbar.

#### Richtpreise:

|                                     |          |
|-------------------------------------|----------|
| Containerchassis 20' neu, ca. 6,0 t | 21.500,- |
| Zugmaschine gebraucht, ca. 11,0 t   | 48.500,- |
| Zugmaschine neu, ca. 11,0 t         | 80.000,- |
| Nutzlast ca. 23 t                   |          |

Die Containerlast muss auf das Gewicht abgestimmt werden, um erforderlichen Bewilligungen zu entgehen. Ist dies technisch nicht möglich, müssen die Transportbedingungen im Einzelfall rechtlich verhandelt werden.

---

<sup>39</sup> Bei Bahn-Schienenachlauf



Abb. 13: Zugmaschinen und Containerchassis<sup>40</sup>

### **Anhänger**

Der Container wird auf einen 3-achsigen Anhänger montiert. Dieser Anhänger ist entweder fix mit dem Container verbunden oder kann mit stationären Kränen vom Anhänger gehoben werden. Als Gesamtgewicht gilt 26 t. Damit muss die Containerlast um das Anhängerergewicht reduziert werden. Insgesamt mit Zugfahrzeug sind ohne weitere Bewilligungen 40 t Gesamtgewicht zulässig.

Typische Anschaffungskosten Anhänger ca. 30.000,-

### **Stationärer Bockkran**

Die Vorrichtung hebt mit Elektrozügen den Container vom Transportmittel. Werden 2 Container oder mehr im Austauschverfahren betrieben, kann mit einer Laufkatze auf einer Laufbahn die Position des Containers angefahren werden. Von einem Unternehmen der Containerlogistik wurden die Kosten zwar nicht konkret beziffert, diese sind aber auf jeden Fall höher als das fixe Chassis eingestuft, selbst wenn Kleinserien gebaut würden.

### **Mobile Kräne auf dem Transportmittel**

Um den Container zu entladen, ist ein Kranaufbau mit 2 Kränen auf dem Transportfahrzeug erforderlich. Für den Austausch eines Containers sind bei engen Platzverhältnissen umständliche Manipulationsarbeiten erforderlich, um die Container zu tauschen. Die Kräne sind auf alle Fälle eine Sonderausstattung und reduzieren bezogen auf das Gesamtgewicht die zulässige Containerlast.

Typische Kosten Sattelaufleger mit Kränen ca. 100.000,-

### **WAB-Wechselsystem**

Hierbei wird das Niveau des Fahrzeuges verändert. Am Container werden Stützen ausgeklappt und anschließend das Fahrzeugniveau gesenkt. Nachteil dieses Systems ist, dass es standardmäßig bis zum 3-Achser vorgesehen und damit auf 26 t begrenzt ist. Das Containergewicht inkl. Inhalt muss in diesem Fall wieder reduziert werden.

Typische Kosten eines Fahrzeuges ca. 105.000,-

### **MOBILER-Logistik**

Von Rail Cargo Austria wird im kombinierten Verkehr Schiene/Straße ein Containertransportsystem angeboten, bei dem speziell ausgerüstete LKW mit Querverschub-Schienen die von der Bahn angelieferten Container ab- und aufladen kann. Dafür wurde ein eigenes Frächternetz mit den dafür ausgerüs-

---

<sup>40</sup> Bildquelle: Hochstaffl GmbH



teten LKW geschaffen. Im Schienennachlauf sind bis zu 44 t zulässig. Beim Abnehmer kann der Container auf einem Gestell abgestellt werden. Eine seitliche parallele Zufahrt ist erforderlich. Weitere Informationen im Kapitel Bahntransport.

#### Übersicht möglicher Containergewichte ohne Genehmigungspflicht:

| Transportmethoden    | Sattelzug mit Containerchassis | LKW mit 3-Achsanhänger | WAB-Wechsel-system | Sattelaufleger mit Kränen | MOBILER im Schienennachlauf |
|----------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Containergewicht ca. | 24 t                           | 21 t                   | 17 t               | 20 t                      | 26 t                        |

Tabelle 8: Übersicht möglicher Containergewichte ohne Genehmigungspflicht

#### 4.4.3 Entladestelle

Hier ist mit differenzierteren Platzverhältnissen als an der Ladestelle zu rechnen. Für den Straßenbelag und die Abstellfläche ist ein Gewicht von 40 t (44 t), abgeleitet über die Räder und Standkonsolen, einzuplanen. Weiters sind entsprechende Flächen für die Zu- und Abfahrt, sowie das Rangieren erforderlich. Betreffend Witterungseinflüsse und Ausstattung der Entladestelle gelten die gleichen Anforderungen wie an die Ladestelle. Eine frostfreie Aufstellung ist dann erforderlich, wenn der Container (im Winter) unter 20°C entladen wird.

#### 4.4.4 Ladezustandkontrolle

An der Entladestelle ist ein Wärmemengenzähler eingebaut. Dieser dient zur Abrechnung der gelieferten Wärmemenge und zur Überwachung des Ladezustandes. Die Weiterleitung der Daten kann über ein Modem, per SMS oder das Internet erfolgen. Diese Technik wird bereits seit Jahren von namhaften Firmen zur Fernüberwachung und Fernwartung eingesetzt.

Gleiches gilt für die Ladestelle, wo die eingebrachte Wärmemenge der Überwachung und Kostenkontrolle dient.

### 4.5 Versorgungssicherheit

Als ein besonders wichtiger Aspekt wird die Versorgungssicherheit eingeschätzt, d.h. je nach Vertragsgestaltung mit den Kunden muss eine Notfallversorgung bereitgestellt werden. Diese kann sowohl auf Seiten der Wärmequelle als auch der Kunden, durch die bestehenden Wärmeversorgungssysteme, vorgesehen werden. Auf Seiten der Wärmequelle müssen, um eine Notfallversorgung gewährleisten zu können, Systeme unabhängig von der Produktion bereitgestellt werden. Zur Lösung des Problems kann – am Beispiel der Montanwerke Brixlegg AG – zum Laden der Container der bestehende Dampfkessel herangezogen werden. Es kann aber ebenfalls durch die Anschaffung eines neuen Kessels bzw. Systems gelöst werden. Da beim Kunden meist eine Spitzenlastabdeckung durch ein anderes hausinternes System vorgesehen werden muss, kann die Notfallversorgung auch mit diesem System abgedeckt werden.

Zusätzlich muss auf die Stillstandszeiten der Wärmequelle geachtet werden, so sollten wenn möglich nicht alle Wärmequellen zur selben Zeit abgeschaltet werden. Das Versorgungssystem darf nicht auf

die maximal verfügbare Wärmekapazität ausgelegt werden, sondern die Anzahl der Kunden und deren Abnahmestruktur muss an ein ständig verfügbares Potential angepasst werden.<sup>41</sup>

#### 4.6 Erhebung der Transportkosten

Die Transportkosten werden hier wegen der geringen Kilometeranzahl auf Stundenbasis ermittelt. Als Jahreseinsatzzeit des Fahrzeuges werden 1.800 Stunden angenommen.

| Variante | Beschreibung   | Sonstige Zusatzkosten          | Manipulationszeit in Stunden (*) | €/h  |
|----------|--|--------------------------------|----------------------------------|------|
| 1        | Sattelzug mit Auflieger, der Container wird vom Auflieger auf- und abgeladen | Container, Bockkran            | 1,5                              | 54,0 |
| 2        | Sattelzug (für Containerchassis mit fix montiertem Container)                | Container mit Containerchassis | 1,0                              | 55,0 |
| 3        | LKW mit Anhänger, der Container wird vom Anhänger auf- und abgeladen         | Container, Bockkran            | 1,5                              | 57,0 |
| 4        | LKW (für Anhänger mit fix montiertem Container)                              | Container mit Anhänger         | 1,0                              | 57,0 |
| 5        | WAB-Wechselsystem  | Container mit Stützkonsolen    | 1,25                             | 57,0 |
| 6        | Sattelzug mit Sattelaufliieger inkl. Kränen                                  | Container                      | 1,58                             | 66,0 |
| 7        | MOBILER-LKW <sup>42</sup>  | Container, Abstellbock         | 1,3                              | 60,0 |

Tabelle 9: Transportkostenübersicht

(\*) Voraussetzung: es wird angenommen, dass 2 Container/Anhänger nebeneinander Platz zum Abstellen finden und die mittlere einfache Entfernung bei 10 km liegt.

Wenn anstatt 1.800 Stunden/Jahr mit einer Einsatzzeit von 2.500 Stunden/Jahr gerechnet wird, reduziert sich der Stundensatz der Stundensatz in Variante 1 um ca. 12 %.

#### 4.7 Bahntransport

Neben dem LKW-Transport besteht prinzipiell auch die Möglichkeit, die LWS-Container per Bahn zu transportieren. Damit kann der Aktionsradius erweitert werden, allerdings müssen dazu sowohl Wärmequelle als auch Wärmeabnehmer über einen Bahnanschluss verfügen. Andernfalls wird durch den notwendigen LKW-Transport von der Bahnstation zur Wärmequelle / zum Abnehmer ein zusätzlicher logistischer Aufwand notwendig. Nachfolgend werden die unterschiedlichen Szenarien dargestellt:

##### Wärmequelle und Wärmeabnehmer haben einen Bahnanschluss:

Bei der Wärmequelle müssen die Gleise den Ladebereich der Energie erreichen. Dazu ist ein Rangiergleis erforderlich. Für den Ladevorgang kann wegen der Abmaße ein Wagen mit 2 Containern gleichzeitig beladen werden. Wenn das Zeitfenster dafür nicht ausreicht, sind Hebevorrichtungen erforderlich,

<sup>41</sup> Wagger, Ch.: „Alternative Nutzung von Abwärme durch Konzipierung einer trassenlosen Wärmeversorgung mit mobilen Latentwärmespeichern“, Diplomarbeit FH-Kufstein 2006

<sup>42</sup> System nach RailCargo Austria, in der Tab. ohne Bahntransport; weitere Informationen unter Kapitel Bahntransport

damit mehrere Container gleichzeitig abgestellt und beladen werden können. Gleiches gilt für den Wärmeabnehmer.

Im konkreten Fall verfügen die Montanwerke Brixlegg AG über einen Gleisanschluss, der für den Transport der LWS-Container herangezogen werden könnte.

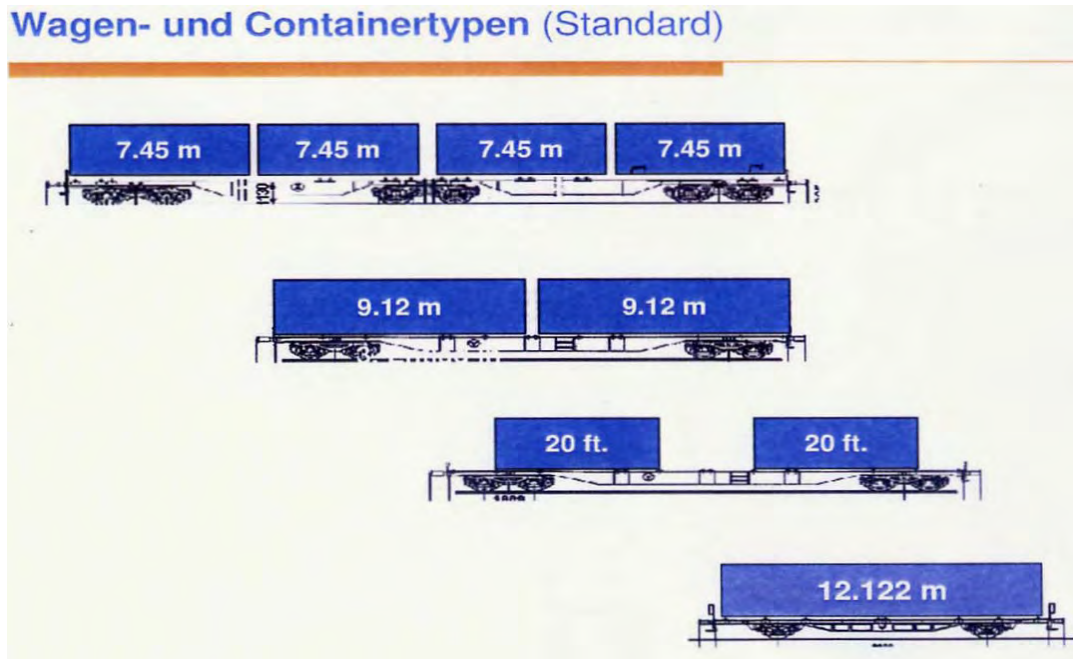


Abb. 14: Belademöglichkeiten Bahntransport<sup>43</sup>

Wärmequelle und/oder Wärmeabnehmer haben keinen Bahnanschluss:

Hier kann das System der MOBILER-Logistik von Rail Cargo Austria angewendet werden. Dabei werden die Container im Kombiverkehr sowohl mit LKW, als auch mit der Bahn transportiert.

Die Container werden mit einem auf dem LKW montierten Umschlaggerät im Querverschub vom Eisenbahnwagen auf den LKW gezogen oder auf den Eisenbahnwagen geschoben. Die Container selbst brauchen dafür einen Tunnelkanal, um die Umschlagschiene unter den Container zu schieben. Dann wird die Schiene angehoben und der Container in Querrichtung verschoben. Beim Wärmeabnehmer wird der Container in gleicher Weise auf Abstellböcke mit Gleitplatten geschoben.



Abb. 15: Mobiler Umschlaggerät<sup>44</sup>



Abb. 16: Umladevorgang<sup>45</sup>

<sup>43</sup> Bildquelle: RailCargo Austria

<sup>44</sup> Bildquelle: RailCargo Austria

Der Containerumschlag erfolgt an MOBILER-Standorten bzw. Terminals. Tirol verfügt derzeit über 4 Standorte, österreichweit stehen 15 Standorte zur Verfügung, an denen bis zum gesetzlichen Höchstgewicht von 44 t verladen werden kann, zusätzlich 5 Standorte bis 32 t.

Die Kosten für den Bahntransport mit und ohne MOBILER-System sind stark vom Einzelfall abhängig, nachfolgend sind die Kosten für den Bahntransport anhand eines Beispiels für einen Containertransport von den Montanwerken Brixlegg (Bahnanschluss vorhanden) nach Hall in Tirol (Entfernung: ca. 35 Bahnkilometer) zu einem fiktiven Wärmekunden in unterschiedlichen Varianten berechnet:

| Waggon-Typ  | Container pro Waggon | Preis pro Rundlauf | Preis pro Container | MOBILER-Kosten* |        |        |
|-------------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------|--------|--------|
|             |                      |                    |                     | 5 min           | 10 min | 15 min |
| 2ax Lgjns   | 1                    | € 269,-            | € 269,-             | € 45,-          | € 55,- | € 65,- |
| 4ax Sgns    | 2                    | € 333,-            | € 166,5             |                 |        |        |
| 6ax Sggmrss | 4                    | € 424,-            | € 106,-             |                 |        |        |

\*) Fahrdauer Bahnhof – Wärmekunde einfache Strecke, zusätzliche Kosten pro Container

Tabelle 10: Kosten für den Bahntransport<sup>46</sup>

Vergleicht man einen LKW-Transport für dieselbe Strecke, liegen die Kosten bei rund 120 bis 150 € pro Zyklus und Container.

#### 4.8 Zusammenfassung Wärmelogistik

Folgende Erkenntnisse konnten in diesem Arbeitspaket gewonnen werden:

- Latentwärmespeicher für die mobile Anwendung sind am Markt erhältlich, die Energie- und Kosteneffizienz ist aber stark vom System abhängig.
- Unter Berücksichtigung der verschiedenen Varianten erscheint das fixe Containerchassis von den Kosten, der Flexibilität und der möglichen Containerlast als bestes System. Hier ist jedem Container ein eigenes Chassis zugeordnet. Das WAB-System ist ebenfalls vorteilhaft, jedoch ist dieses System aufgrund der geringeren Containerlast nicht für die marktgängigen LWS-Container einsetzbar. Das System der MOBILER-LKW ist vorteilhaft, weil die Auf- und Abladung der Container rasch und problemlos möglich ist. Die Container benötigen jedoch einen Tunnelkanal und die LKW ein Umschlagsgerät. Die Last von 44 t gilt nur in Verbindung mit Bahnverkehr, ansonsten 40 t.
- In jedem Fall ist die Logistik einer der kritischen Faktoren im Wärmeversorgungssystem, welcher von den rechtlichen, technischen und auch den topografischen Rahmenbedingungen des Einsatzgebietes abhängt. Vor allem in Tirol ist es aufgrund der angespannten Verkehrssituation und auch der Witterungsverhältnisse im Winter schwierig, eine kostengünstige und sichere Versorgung mittels LKW zu gewährleisten.
- Der Transport per Bahn kann in bestimmten Fällen eine technische und ökologische Alternative zum LKW-Transport darstellen, allerdings sind die Kosten für den Bahntransport um ein Vielfaches höher als bei LKW-Transporten. Diese Variante kann sich gegenüber dem LKW-Transport erst in dem Fall rechnen, dass Wärmequelle und Abnehmer über direkten Bahnanschluss verfügen und eine hohe Anzahl an Containern pro Bahnfahrt geliefert werden können.

<sup>45</sup> Bildquelle: RailCargo Austria

<sup>46</sup> Quelle: RailCargo Austria, unverbindliche Preisinformation vom 15.11.06, eigene Darstellung

## 5 Erhebung potentieller Abnehmer

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse konnte die Abnehmerstruktur auf größere Wärmeverbraucher, wie sie z.B. Gewerbe- und Hotelbetriebe darstellen, eingeschränkt werden. Die Nutzung des Latentwärmespeichers als Wärmeversorgung für Einfamilienhäuser ist aufgrund der geringen Wärmeabnahme und den daraus resultierenden niedrigen Zyklenzahlen derzeit noch auszuschließen.

Für die Erhebung potentieller Abnehmer konnten mit den beiden Clusterkooperationen „Cluster Tiroler Niedrigenergiehaus“ und „Cluster Tirol Wellness“ zwei überaus geeignete Partner gewonnen werden. Durch deren Marktkenntnis, deren Netzwerk und nicht zuletzt deren Reputation wurde der Zugang zu den Betrieben erleichtert.

### 5.1 Relevanz für das Facility Management der Wärmekunden

Die Themen Energieversorgung und Energieeinsparung werden immer wichtiger und gehören schon seit langem zum Aufgabengebiet des Facility Managements. In der Lebenszyklusbetrachtung von Anlagen, Immobilien und Unternehmen fließen die Aspekte des Energiemanagements bzw. der Energieversorgung in mehreren Phasen ein. Einerseits in die Planung und Erstellung, insbesondere bei der Auswahl des Versorgungssystems und andererseits in der Nutzungsphase im technischen und kaufmännischen Management. Das technische Management beschäftigt sich vorrangig mit der Auswahl und dem Betrieb der Anlagen und im kaufmännischen Bereich geht es unter anderem um die Energiekosten und somit um Einsparungspotentiale bei der Energieversorgung.

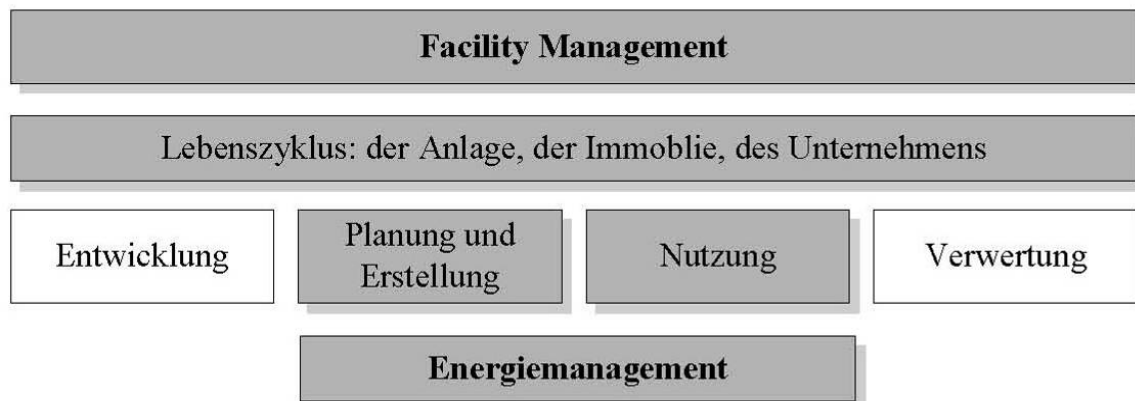


Abb. 17: Einordnung des Themas ins Facility Management<sup>47</sup>

Durch die Nutzung dieses neuen Wärmeversorgungssystems sollte ein Nutzen für den Energieabnehmer gegeben sein. Für den Energieabnehmer bedeutet das Vorteile bei der Energiebeschaffung und weniger Abhängigkeit von konventionellen Brennstoffen. Zusätzlich kann durch die Senkung der Energiekosten, also der Nebenkosten, der Wert und die Konkurrenzfähigkeit der Immobilie steigen. Als positiver Nebeneffekt sind die ökologischen Auswirkungen und Verbesserungen, welche durch dieses Projekt erreicht werden können, anzusehen. Da die Energieversorgung einen großen Kostenfaktor im Betrieb von Gebäuden darstellt, versuchen immer mehr Facility Manager neue Wege der Energieversorgung zu finden. Das trassenlose WVS wäre eine gute Alternative zu bestehenden Systemen und könnte von Facility Managern für deren Objekte und Unternehmen eingesetzt werden.

<sup>47</sup> Quelle: Wagger, Ch., 2006

## 5.2 Methodik bei der Abnehmererhebung

Ein erster Schritt war es, Kriterien zu bestimmen, um eine Art Vorselektion durchführen und geeignete und passende Betriebe herausfiltern zu können. Vor allem auf dem in Tirol sehr ausgeprägten touristischen Markt stellt dies eine Grundbedingung für die erfolgreiche Verwirklichung und die Überleitung zur Praxis dar. Aus den ersten Projektsitzungen und mit Hilfe einiger netzwerkinterner Gespräche mit bestehenden Clustermitgliedern aus der Branche konnte dieser Schritt in weiterer Folge auch noch konkretisiert werden. Im gegenwärtigen Pilotprojekt spielt vor allem die geografische Lage des Abnehmers eine zentrale Rolle. Außerdem wurden Attribute herausgearbeitet, die sich mit der Größe, der Zielgruppe und – im Tourismussektor – den Hotelstandards beschäftigen, weil diese sich wiederum direkt auf den Energieverbrauch auswirken. Selbstverständlich hat der gegenwärtige Energieverbrauch des Abnehmers auch einen Einfluss auf die wirtschaftliche Beeinflussung alternativer Energiegewinnung bzw. in weiterer Folge auf das Betriebsergebnis (oder vergleichbare Kennzahlen).

### 5.2.1 Informationsbroschüre

Für die Information der potentiellen Wärmekunden wurde eine Informationsbroschüre erstellt, mit Hilfe derer das Projekt den potentiellen Wärmekunden näher gebracht werden soll (siehe Annex A).

### 5.2.2 Fragebogen

Zur Erhebung der Basisdaten bei den zukünftigen Abnehmern wurde ein Fragebogen erstellt, mit dessen Hilfe vergleichbare Informationen der unterschiedlichen Abnehmerstrukturen erhoben wurden. Nachdem die potentiell Interessierten und für das Projekt interessanten Musterbetriebe ausgewählt, allgemein informiert sowie individuell bearbeitet wurden, wurde ein Instrument zur Analyse ausgearbeitet. Der ausgearbeitete Fragebogen streicht vor allem die technischen Voraussetzungen und die Umsetzbarkeit der eingesetzten Technologie in dem konkreten Fall heraus. Als Grundlage für die Inhalte des Fragebogens dienten Erhebungsbögen von bereits realisierten Fernwärmeversorgungsanlagen<sup>48</sup> und Empfehlungen aus dem Planungshandbuch für Holzheizwerke<sup>49</sup>, die Anpassung an die Anforderungen für den Einsatz von mobilen Latentwärmespeichern erfolgte durch das Projektteam (Annex B).

### 5.2.3 Workshop

#### 1. Organisationsablauf

Die Organisation eines Forums für alle Projekt-Stakeholder ist ein sehr gutes Instrument, um das Projekt in der Öffentlichkeit bekannt zu machen sowie die Projektpartner zu einer tieferen Kooperation zu bewegen. Der ideale Zeitpunkt für die Durchführung dieses Workshops musste sehr sensibel gewählt werden, da der fortgeschrittene Projektstatus wesentlich für den Erfolg des Workshops (u.a. Klärung der technischen Machbarkeit, erste Prognosen zur Wirtschaftlichkeit) und umgekehrt auch der Erfolg des Workshops entscheidend für ein gutes Resultat des Gesamtprojekts war.

Die Clusterkooperationen und die gesicherte Unterstützung des Landes Tirol über die Tiroler Zukunftsstiftung war bei der Akzeptanz in der Bevölkerung und, noch viel wichtiger, in den anzusprechenden Betrieben sehr hilfreich.

---

<sup>48</sup> Fernwärme Hall in Tirol, Bioenergie Kufstein

<sup>49</sup> C.A.R.M.E.N. Schriftenreihe „Qualitätsmanagement für Holzheizwerke“, Band 4: Planungshandbuch

Für diese Veranstaltung wurde ein Kurzfragebogen (siehe Abb. 18) erstellt, welcher im Rahmen der Veranstaltung in kurzer Zeit von den Interessenten auszufüllen war und mit dessen Hilfe vor allem die Bedürfnisse der Abnehmer erhoben werden konnten.

## **2. Programmablauf**


Mit der Unterstützung des Umweltreferenten der Gemeinde Brixlegg, Hr. Peter Jeram, und dem Obmann der Wirtschaftsregion 31 (WIR 31), Hr. Klaus Gschösser, konnte am 11. Oktober 2006 ein Vorstellungabend im Rahmen der Jahreshauptversammlung der Betriebe der WIR 31 organisiert werden.

Diese Veranstaltung diente vor allem dem Austausch. Einerseits wurden die Interessenten detailliert über das Projekt informiert, andererseits konnten von den Teilnehmern wertvolle Anregungen aus der Praxis der Unternehmer gewonnen werden. Das gemeinsame Anliegen, eine dauerhafte, umweltverträgliche und kostengünstige Energieversorgung umzusetzen, um eine Alternative zu den derzeit eklatanten Energiepreisen zu finden und die heimische Wirtschaft in der Region zu fördern, diente dabei als Gesprächsbasis.

Das Programm enthielt folgende wesentliche Punkte:

- Präsentation des Projektes in Zahlen, Daten, Fakten
- Ausfüllen eines Kurzfragebogens durch die Teilnehmer vor Ort
- Vereinbarung von vertiefenden Gesprächen mit den Firmen
- Austausch von Informationen
- Offene Diskussion

**Fragebogen zur trassenlosen Fernwärmeversorgung mittels LWS**



**1: Könnte die vorgestellte Technologie eine interessante Ergänzung zu ihrem derzeitigen Heizsystem sein?**

ja
  nein
  unter bestimmten Voraussetzungen

Voraussetzungen: \_\_\_\_\_

---

**2: Welche Kriterien für eine Nutzung der trassenlosen Fernwärmeversorgung sind für sie besonders wichtig (zutreffendes bitte ankreuzen)?**

|                           | Wichtigkeit: | hoch                     | mittel                   | gering                   |
|---------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Wirtschaftlichkeit        |              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Umweltverträglichkeit     |              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Unkomplizierte Handhabung |              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hohe Liefersicherheit     |              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Geringe Umbaumaßnahmen    |              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Platzbedarf               |              | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

**3: Auf welchem Preisniveau müsste die "Wärme aus dem Container" liegen, damit es eine interessante Ergänzung zu Ihrem jetzigen Heizungssystem wäre?**

bis zu 10 % teurer  
 gleich teuer wie die bisherige Versorgung  
 bis zu 10 % günstiger  
 \_\_\_\_\_ % günstiger

**4: Wäre die Zufahrt mit einem LKW-Zug (40 t) zu Ihrem Betrieb möglich?**

ja
  nein
  unter bestimmten Voraussetzungen

Begründung für Nein: \_\_\_\_\_

---

**5 Statistische Daten:**

Art des Betriebes (Handel, Gewerbe, Gastronomie,...): \_\_\_\_\_

Anzahl der Mitarbeiter: \_\_\_\_\_

Ich hätte gerne eine persönliche Beratung zu diesem Thema:

Firma / Ansprechpartner: \_\_\_\_\_ Tel.Nr: \_\_\_\_\_

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**


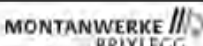











Abb. 18: Kurz-Fragebogen zur Erhebung des Kundeninteresses



### 5.3 Ergebnisse

#### 5.3.1 Workshop – Kurzfragebogen

Die Präsentation zu Beginn des Workshops wurde von den Teilnehmern positiv aufgenommen, eine konstruktive Diskussion des Themas konnte erzielt werden. Die Diskussionsinhalte spiegeln sich auch in den Ergebnissen der Fragebogenauswertung wider:

Anzahl der ausgegebenen Fragebögen: 24

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| Rücklauf:               | 10 (41,7 %)      |
| Art des Betriebes:      | 60 % Handel      |
|                         | 20 % Gewerbe     |
|                         | 10 % Gastronomie |
|                         | 10 % Wohnanlage  |
| Anzahl der Mitarbeiter: | 60 % unter 10 MA |
|                         | 40 % 10–50 MA    |
|                         | 0 % über 50 MA   |

Es wurden nur Fragebögen von Teilnehmern abgegeben, die zumindest ein bedingtes Interesse an einer Wärmeversorgung mittels Latentwärmespeicher hatten. Daher können die fehlenden Fragebögen als „kein Interesse“ gewertet werden. Nachfolgend die Detailergebnisse:

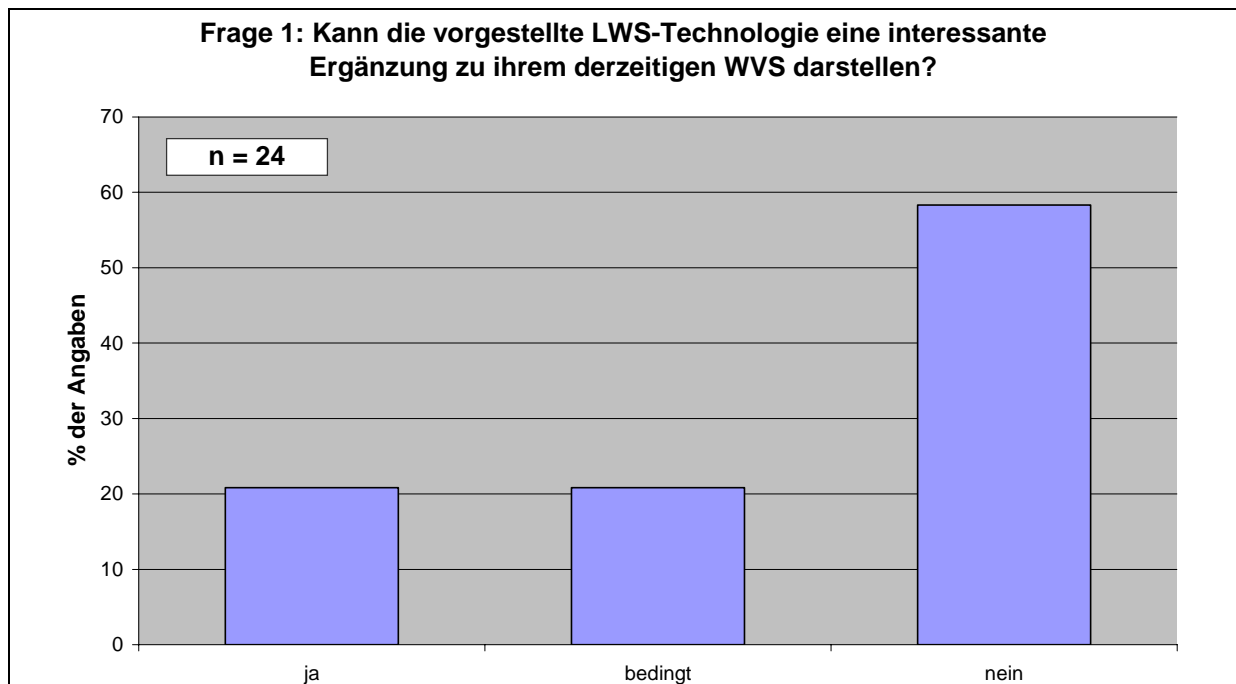


Abb. 19: Auswertung Frage 1

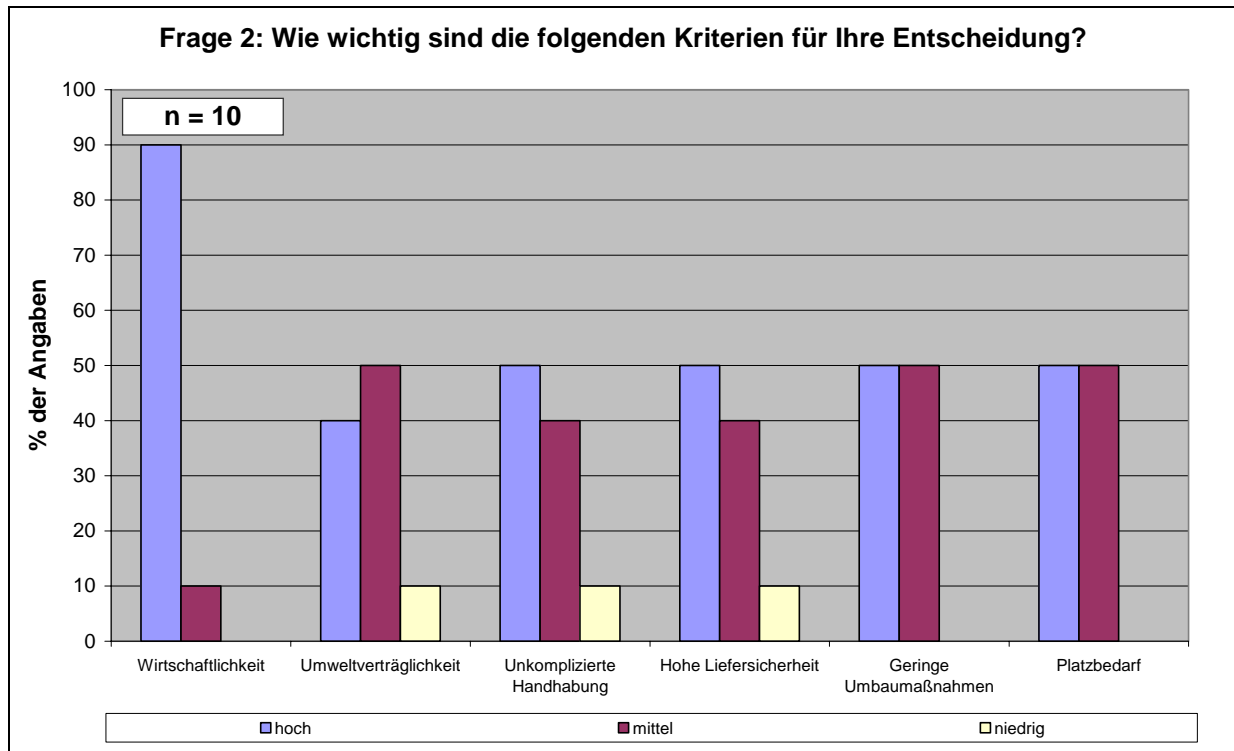


Abb. 20: Auswertung Frage 2

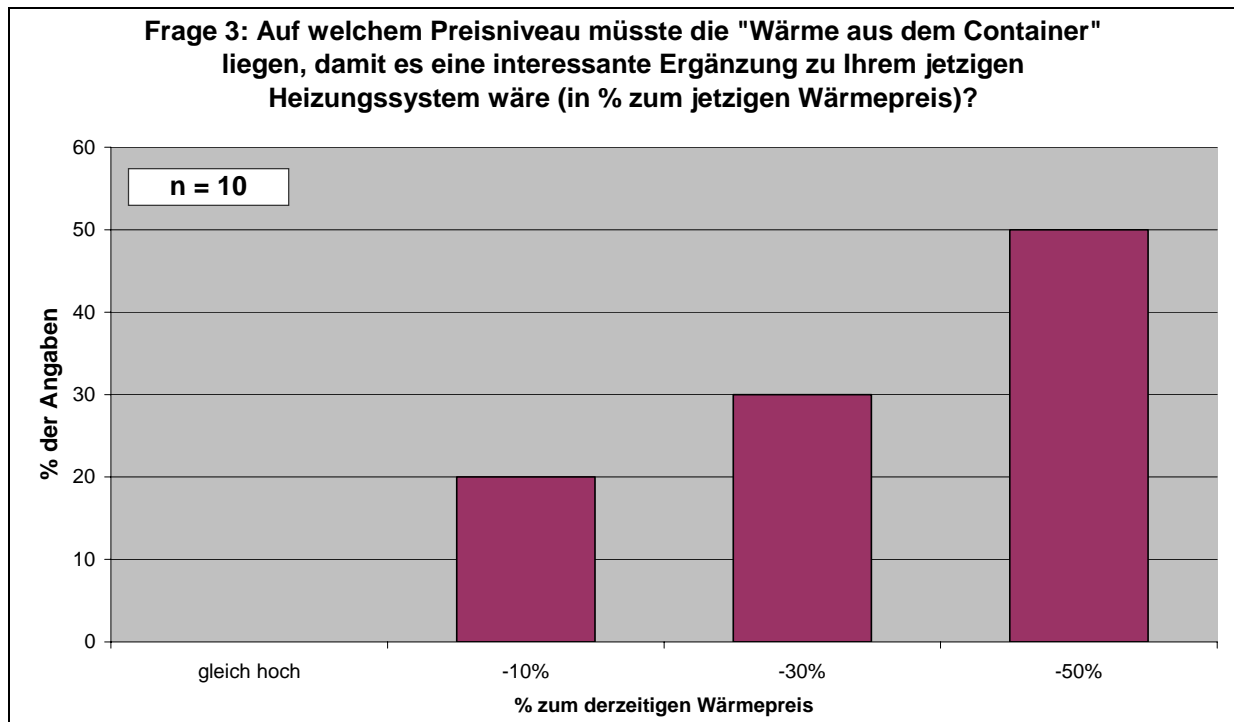


Abb. 21: Auswertung Frage 3 <sup>50</sup>

<sup>50</sup> Anmerkung zu Frage 3: Diese Aussagen müssen mit Vorsicht gewertet werden, da ein Teilnehmer während des Ausfüllens seinen Wünschen mit dem Wortlaut „Das muss mindestens die Hälfte weniger kosten, sonst lohnt sich der organisatorische Aufwand für mich nicht“ Ausdruck verlieh. Diese Aussage könnte die restlichen Teilnehmer an der Befragung beeinflusst haben.

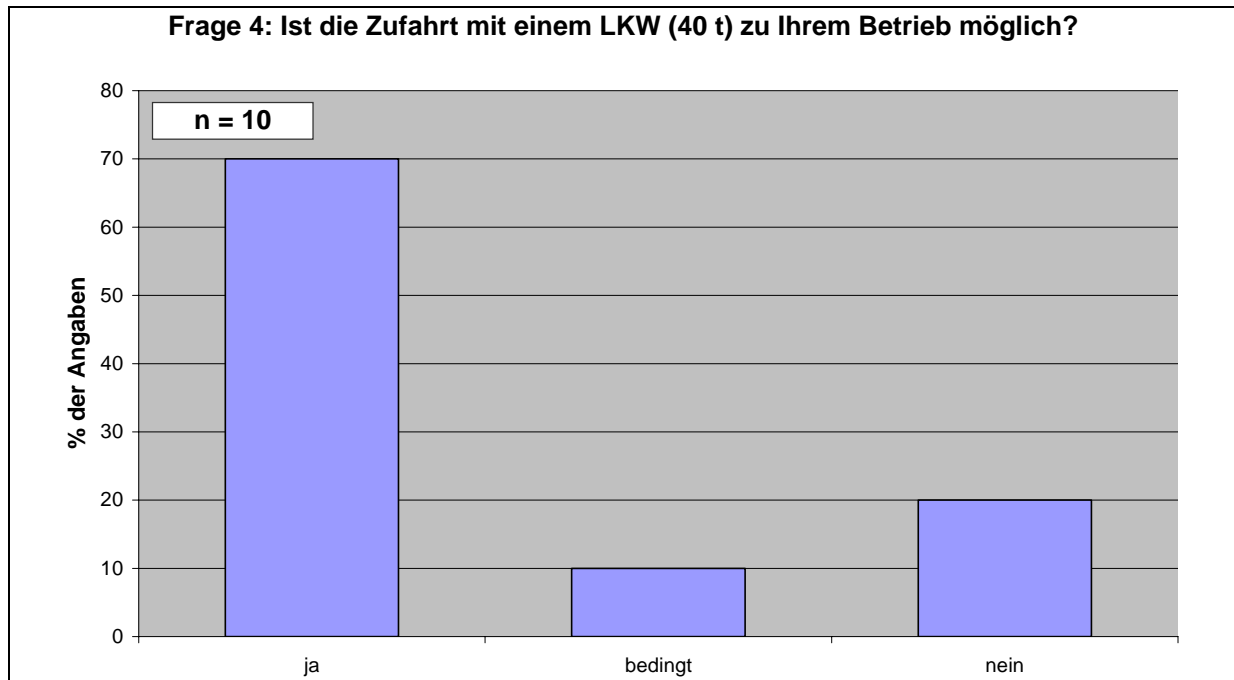


Abb. 22: Auswertung Frage 4

Der generelle Tenor der Veranstaltung war durchaus positiv, folgende Ergebnisse konnten abseits der im Fragebogen angesprochenen Themen aus der Diskussion gewonnen werden:

- Der Aufwand für das Handling der Container wird als sehr groß eingeschätzt.
- Die Kompatibilität mit bestehenden Wärmeerzeugungs- und -verteilssystemen ist sehr wichtig.
- Ein höheres Temperaturniveau und eine höhere Energiedichte des Containers (niedrigere Transportzyklen) würde die Bereitschaft zur Umsetzung erhöhen.
- Die Anzahl der LKW-Transporte wird als kritisch eingeschätzt.
- Die Wirtschaftlichkeit des Systems wird als vorrangig bezeichnet, ökologische Aspekte stehen eher im Hintergrund.

### 5.3.2 Fragebögen Gewerbebetriebe

Dieses Projekt war auf die Mithilfe und Unterstützung der Unternehmen im Raum Brixlegg bzw. in der „Wirtschaftsregion 31“ angewiesen. So konnten im Zuge des Workshops vertiefende Gespräche mit einigen Betrieben vereinbart werden. Da aber vor allem Vertreter größerer Betriebe nicht an der Veranstaltung teilgenommen haben, wurden diese Betriebe im weiteren Projektverlauf persönlich kontaktiert. Diese Betriebe wurden aufgrund ihres – durch die Art des Gewerbes bedingten - höheren Energiebedarfes ausgewählt, da hier die abzunehmenden Mengen auch dementsprechend groß sind und eine Rentabilität wahrscheinlicher eintritt.

Die Reaktionen der Unternehmer waren sehr unterschiedlich, die Spannweite reichte von genereller Ablehnung und Desinteresse bis hin zu Einladungen, das Projekt im Unternehmen zu präsentieren. Das größte Hindernis war aber die großteils fehlende Zuständigkeit für Energiefragen vor allem in kleineren Betrieben.

Zur Vorinformation wurde den interessierten Betrieben die Informationsbroschüre und der ausführliche Fragebogen zugesendet, um im späteren persönlichen Gespräch einerseits auf dieser Wissensgrundlage aufzubauen, andererseits sollten die Betriebe bereits im Vorfeld dazu angeregt werden, ihre derzeiti-

ge Energieversorgung zu erheben und zu analysieren. Der Rücklauf der ausgegebenen Fragebögen war sehr gering (<5 %). Im nachfolgenden persönlichen Gespräch mit den potentiellen Abnehmern konnten aber die wichtigsten Daten für die Berechnungen im Demo-Konzept erhoben werden. Die Ergebnisse werden auf Rücksicht auf die Betriebe anonym dargestellt:

| Betrieb   | Aktuelle Versorgung | Menge                      | Benötigte Temperatur | Bemerkung                              |
|-----------|---------------------|----------------------------|----------------------|--|
| Gewerbe 1 | Gas/Heizöl          | Keine Angabe               | 130°C                | Geringes Interesse, Temperatur zu tief |
| Gewerbe 2 | Gas                 | Keine Angabe               | < 90°C               | Geringes Interesse, zu wenig Platz     |
| Gewerbe 3 | Gas / Solaranlage   | Lt. Betriebsaufzeichnungen | < 50°C               | Interesse                              |
| Gewerbe 4 | Heizöl              | Ca. 200.000 l/a            | 75–80°C              | Bedingtes Interesse                    |
| Gewerbe 5 | Heizöl              | Ca. 17.500 l/a             | Ca. 80°C             | Bedingtes Interesse                    |
| Gewerbe 6 | Gas                 | Ca. 200.000 Nm³/a          | 75–80°C              | Bedingtes Interesse                    |

Tabelle 11: Bestehende Energieversorgung befragter Gewerbebetriebe

### 5.3.3 Fragebögen Hotelbetriebe

Im Vorfeld der Kontaktaufnahme mit den Hotel- und Tourismusbetrieben rund um die Gemeinde Brixlegg wurde vor allem die touristische Landschaft analysiert. Die Kriterien für die Rekrutierung von Hotel- und Gastronomiebetrieben wurden wie folgt festgelegt:

- Geografische Lage (nicht weiter als 15 km von Brixlegg entfernt)
- Größe (Betten- bzw. Zimmeranzahl)
- Relativ hohe Ausbaustufe / Bestehen eines Wellness- und Spabereichs

Das Projektteam hat sich nach diesen Kriterien auf zehn Betriebe aus dem Tourismus und der Hotellerie festgelegt, die persönlich betreut worden sind. Vier dieser Betriebe zeigten zumindest bedingtes Interesse und waren bereit, mit dem Projektteam zusammenzuarbeiten und wurden in weiterer Folge näher analysiert. Neben den bereits erwähnten Kriterien war es auch sehr entscheidend, eine nicht vollkommen homogene Gruppe auszuwählen, um die Effekte dieser Unterschiede auf die Attraktivität des Angebots für den Einzelnen evaluieren zu können. Da die Hotelstruktur in der Region Brixlegg eher aus kleinen Betrieben besteht, wurden aus diesem Grund noch zwei zusätzliche, weiter entfernt liegende Hotelbetriebe in die Erhebung aufgenommen, die eine höhere Bettenanzahl und, aufgrund des höheren Standards, auch über einen großzügigen Wellnessbereich verfügen. Dieser Schritt hat sich als sehr erfolgreich herausgestellt, da das Projektteam dadurch eine unabhängigere und neutralere Sicht auf das Projekt bekommen und einige Punkte ortunabhängig analysieren und untersuchen konnte.

Diese Betriebe wurden mittels der ausgearbeiteten Informationsbroschüre, eines Rundschreibens sowie einiger persönlicher Gespräche in die komplexe Materie eingeführt und über das Projekt informiert. Es ging vor allem darum die möglichen positiven Ergebnisse herauszustreichen, um das Interesse einer Mitarbeit entsprechend erhöhen zu können.

Der Rücklauf der Fragebögen war höher angesiedelt als bei den Gewerbebetrieben, doch konnten in dieser Branche noch weniger relevante Daten erhoben werden. Auch hier war das größte Hindernis das mangelnde Bewusstsein und die fehlenden Zuständigkeiten für den Energiesektor in den Betrieben.

Selbstverständlich wächst mit der Bettenanzahl und der Größe des Tourismusbetriebes auch das unternehmerische Interesse an möglichen alternativen Energieformen.

Dabei steht stets die Effizienz bzw. die Kostenreduktion im Vordergrund. Durch Pressemitteilungen, Veranstaltungen oder energiespezifische Projekte wurden die Bevölkerung, und somit auch die Unternehmerschaft (in Gewerbe und Gastronomie) für die Thematik sensibilisiert. In weiterführenden und detaillierten persönlichen Gesprächen konnte das sehr komplexe Themenumfeld in den meisten Fällen gut erklärt werden. Dass die Befragungen trotzdem zu einem relativ geringen Informationsgehalt führten, ist auf den Umgang mit Energie aus den letzten Jahrzehnten zurückzuführen.

In großen, modernen Anlagen wird (zumeist) besonders von Produktionsseite immer wieder die infrastrukturelle Vorarbeit für eine gute, effiziente Energiewirtschaft gelegt, auch in Tourismusbetrieben und hier aufgrund der Notwendigkeit vor allem in der Wellness- und Gesundheitshotellerie. Schritt für Schritt wird die Kosten- und Energiebilanz der Häuser somit verbessert. Vielfach fehlt jedoch das geschulte Personal, das die ausreichende technische Ausbildung und/oder Kapazitäten in der täglichen Arbeit zur Verfügung hat, um diesen Bereich gut und effizient zu führen.

Nachfolgend eine Zusammenfassung der Befragungen von den kooperativen Betrieben:

| Betrieb | Aktuelle Versorgung | Menge                      | Bettenanzahl | Bemerkung                                |
|---------|---------------------|----------------------------|--------------|--|
| Hotel 1 | Heizöl              | 10.000 l/a                 | 35           | Zufahrt beschränkt, keine Wellnessanlage |
| Hotel 2 | Heizöl              | Keine Angabe               | 94           | Wellnessbereich, geringes Interesse      |
| Hotel 3 | Heizöl              | 45.000 l/a                 | 50           | Wellnessbereich, geringes Interesse      |
| Hotel 4 | Heizöl              | Keine Angabe               | 50           | Wellnessbereich, geringes Interesse      |
| Hotel 5 | Erdgas, Solar       | Keine Angabe               | 220          | Wellnessbereich, Entfernung >30 km       |
| Hotel 6 | Erdgas              | 380.000 Nm <sup>3</sup> /a | 300          | Wellnessbereich, Entfernung >30 km       |

Tabelle 12: Bestehende Energieversorgung befragter Gewerbebetriebe

## 5.4 Zusammenfassung Abnehmerstruktur

Die Kriterien für die Auswahl von potentiellen Abnehmern sind schwierig zu gestalten, da jeder Anwendungsfall individuell betrachtet werden muss. Es wird aber versucht, im Rahmen der in Kapitel 7 und 9 durchgeführten Berechnungen zumindest generelle Aussagen für eine Einschränkung der Abnehmer zu finden, die auch auf andere Anwendungsfälle übertragbar sind.

Es konnten aber einige wesentliche Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die größte Schwierigkeit stellt die mangelnde Kompetenzbelegung für Energie in vielen Betrieben dar. Vor allem in Klein- und Mittelbetrieben, die den Großteil der Unternehmerstruktur in Tirol darstellt, gibt es kaum verantwortliche Ansprechpartner, sämtlichen Angelegenheiten in Bezug auf Energie ist weitgehend eine untergeordnete Rolle im Geschäftsalltag zugeteilt. Aufgrund der steigenden Energiepreise und der hohen Medienpräsenz der Energiethematik rückt dieses Thema aber immer stärker in das Bewusstsein der Unternehmen. Hier ist zukünftig mit einer Verbesserung des Zuganges zu rechnen.

- Im Rahmen des Workshops und der persönlichen Gespräche hat sich herauskristallisiert, dass die Bereitschaft für eine Umstellung auf ein weitgehend unbekanntes Wärmeversorgungssystem nur dann akzeptiert wird, wenn die Wärmekosten deutlich unter dem konventionellen Wärmepreis liegen.
- In vielen Betrieben könnte ein LWS-System nur integriert werden, wenn (Teil-) Prozesse auf ein niedrigeres Temperaturniveau umgestellt werden würden. Die Bereitschaft dazu ist sehr gering, obwohl hier ein sehr hohes Energieeinsparungspotential vermutet wird. Mit der allgemeinen Sensibilisierung zum Thema Energie und den steigenden Energiekosten wird in den nächsten Jahren voraussichtlich ein Umdenken erfolgen. Damit steigt dann auch das Potential für den Einsatz der Latentwärmespeicher.
- Generell kann gesagt werden, dass die Integration eines LWS für die (Teil-) Wärmeversorgung bei der Neuerrichtung eines Gebäudes oder zumindest eines Energiesystemes wesentlich einfacher zu realisieren ist als die Integration in bestehende Systeme. Grund hierfür ist, dass bei einer Neuerrichtung das Zusammenspiel der unterschiedlichen Energiesysteme (Erzeugung und Abnahme) besser auf ein Optimum hin abgestimmt werden kann. Aufgrund der Tatsache, dass die meisten bestehenden Wärmeversorgungssysteme auf höheres Temperaturniveau ausgelegt sind (90/70°C) ist die Integration eines LWS-Systems meist mit hohem innerbetrieblichem Organisationsaufwand (Umstellung von Prozessen auf niedrigeres Temperaturniveau) und auch technischen Adaptionen (Pufferspeicher, Leitungen, Niedertemperatur-Heizsysteme etc.) verbunden.
- Im Tourismusbereich stellen die saisonbedingten Öffnungszeiten ein großes Hindernis für die Implementierung einer LWS-Versorgung dar, da vor allem kleinere Tourismusbetriebe im Frühjahr und Herbst durchschnittlich jeweils 1–2 Monate geschlossen haben. Dadurch ergeben sich entweder hohe Standzeiten für die zugeordneten Container bzw. müssten für diesen Zeitraum alternative Abnehmer gefunden werden, die nur während dieser Zeit Bedarf an einer Wärmeversorgung haben.

In den letzten Jahren hat sich hier aber ein gegenläufiger Trend entwickelt: mit dem Ausbau des Wellnesstourismus werden die Zwischensaisonen überbrückt und vor allem größere Hotels haben kaum noch Schließungszeiten. Da Wellnessbereiche einen sehr hohen Energiebedarf haben, können derartige Tourismusbetriebe sehr wohl potentielle Abnehmer bilden.

## 6 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Abklärung der rechtlichen Rahmenbedingungen wurde mit dem Amt der Tiroler Landesregierung durchgeführt. Der Einsatz eines mobilen Latentwärmespeichers berührt eine Reihe von rechtlichen Aspekten, die bei einer Umsetzung im jeweiligen Einzelfall vorab zu klären sind. Insgesamt sind beim mobilen Einsatz des Latentwärmespeichers bis zu drei Rechtspersönlichkeiten involviert:

- Wärme abgebendes Unternehmen
- den Wärmespeicher samt Wärmeinhalt zur Verfügung stellendes Unternehmen
- Wärme beziehendes Unternehmen

Nachfolgend sind die Stellungnahmen der Sachverständigen des Amtes der Tiroler Landesregierung angeführt:

### 6.1 Betriebsanlagenrecht

Ob der Container als Teil einer Betriebsanlage im Sinne der GewO gesehen werden muss, ist eine Rechtsfrage, die im Einzelfall geklärt werden muss. Der Container samt Inhalt ist jedenfalls geeignet, Störungen/Gefährdungen im Sinne des §74(2) GewO zu verursachen.

Zu unterscheiden sind jedenfalls die Betriebsanlage 1 (jene, die Wärme abgibt) und die Betriebsanlage 2 (jene, die die Wärme übernimmt):

Auch wenn der Container – situiert auf einem Tieflader – nur fallweise direkt an die Betriebsanlage 1 angeschlossen wird, um die dort überschüssige Wärme zu übernehmen, ist dieser aus unserer Sicht als Teil der Betriebsanlage zu sehen und damit eine Betriebsanlagenänderungsgenehmigung erforderlich. Grund dafür ist, dass einerseits der Grundsatz "Einheit der Betriebsanlage" gilt, der örtliche Zusammenhang gegeben ist und die Wärmeabgabe auch dem Zweck des Unternehmens dient. Zudem wird durch die Wärmeentnahme das aus der Betriebsanlage ausströmende Abgas insofern verändert, als dass die Emissionsparameter "Abgas-Geschwindigkeit" und "Abgas-Temperatur" sich negativ verändern, was die Ausbreitung der Abgase und damit auch die Immissionskonzentration betrifft. Demzufolge ist eine Gesamtbeurteilung im Zuge dieses Betriebsanlagenänderungsgenehmigungsverfahrens erforderlich, die nicht nur die Sicherheitsaspekte beim An- und Abflanschen sowie beim Container selbst umfasst, sondern auch die Beurteilung der Auswirkungen hinsichtlich der Nachbarn.

Hinsichtlich der Betriebsanlage 2, wo die Wärme regelmäßig übernommen wird, ist nach unserem derzeitigen Kenntnisstand eher auch eine Betriebsanlagenänderungsgenehmigung erforderlich, da einerseits bereits der Container im Sinne der Schutzinteressen des § 74 GewO 1994 relevant ist und andererseits die Frage der Einbindung der abzugebenden Wärme in das bestehende Heizsystem bzw. Prozesssystem für uns noch offen ist.

### 6.2 Baurecht

In Bezug auf eine baurechtliche Beurteilung sind folgende Fragen im Einzelfall zu klären:

- Handelt es sich um ein Bauwerk vorübergehenden Bestandes?
- Wie müssen die Mindestabstände zu anderen Bauwerken festgesetzt werden?
- Ist ein passiver Brandschutz des Containers notwendig?

### **6.3 Luftreinhalterecht, Heizungsanlagenrecht, Gasrecht**

Sollte die Abwärmenutzung an der Anlage des Wärme abgebenden Unternehmens aus einem Abgasstrom erfolgen, so verändern sich die Emissionsparameter „Abgas-Geschwindigkeit“ und „Abgas-Temperatur“, die für die Ausbreitung der Abgase und somit für die Immissionskonzentration der Schadstoffe von Belang sind, negativ – siehe dazu §16 (1) EG-K, §§23 (2) und 25 (2) LRV-K 1989. Diese Parameter sind meist im ursprünglichen Genehmigungsprojekt der Anlage des Wärme abgebenden Betriebes oder in der Technischen Beschreibung des Genehmigungsbescheides enthalten oder finden sich als Auflage des gewerbetechischen Sachverständigen im Bescheid. Ähnliche Probleme wie die oben für Dampfkessel aufgeführten ergeben sich auch bei Abfallverbrennungsanlagen, die der Abfallverbrennung-Sammelverordnung, BGBl. II 389/2002, unterliegen. Lediglich bei Feuerungsanlagen, welche der FAV, BGBl. II 331/1997, unterliegen – d.h. solchen, die eine max. Kesseltemperatur von 100°C nicht überschreiten – ist ex lege keine Mindestgeschwindigkeit des Abgases vorgeschrieben. Jedoch verringern sich auch bei diesen Anlagen die Abgastemperaturen, was zu schlechterer Verteilung der emittierten Schadstoffe führt. Dasselbe gilt für nicht der GewO 1994 unterliegende Anlagen, die landesgesetzlichen Bestimmungen unterliegen (Tiroler Heizungsanlagenengesetz 2000, LGBl. 34/2000, Tiroler Gasgesetz 2000, LGBl. 78/2000). In praxi werden jedoch die dem Regime der FAV, dem Tiroler Heizungsanlagenengesetz 2000 und dem Tiroler Gasgesetz 2000 unterliegenden Anlagen keine Rolle spielen, zumindest sind dem Gefertigten keine derartigen Anlagen bekannt, die auf Grund ihrer Größe und Betriebsweise als „Wärmelieferanten“ in Frage kämen.

### **6.4 Kesselrecht**

Laut der übermittelten technischen Beschreibung beträgt der höchstzulässige Betriebsdruck des Containers 6 bar. Sollten also zur Erreichung höherer Temperaturniveaus andere Drücke als der atmosphärische Druck notwendig sein, wird auf die Bestimmungen des Kesselrechts verwiesen.

Grundsätzlich unterliegen Druckgeräte, das sind im vorliegenden Fall Druckbehälter, Versandbehälter und Rohrleitungen, ab einem Überdruck von 0,5bar und einem Unterdruck von -0,3 bar den Bestimmungen des Kesselgesetzes und der auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Verordnungen – siehe §3 (1) Z.2 lit. a und d; §3 (1) Z.4 Kesselgesetz.

Die Versandbehälterverordnung ist nicht anzuwenden, da sie nur für Gase gilt.

Die Druckgeräteverordnung – DGVO, BGBl. II 426/1999, und die Druckgeräteüberwachungsverordnung – DGÜW-V, BGBl. II 420/2004, sind im Rahmen ihres jeweiligen Geltungsbereichs anzuwenden. Anzunehmen ist, dass es sich bei den Containern – wenn überhaupt – so um Druckgeräte niedrigen Gefahrenpotentials im Sinne der letztgenannten Verordnungen (siehe §8 DGVO und §5 DGÜW-V) handelt. Zur Abklärung wäre seitens des Herstellers Kontakt mit einer sogenannten benannten Stelle gemäß EU-Druckgeräterichtlinie aufzunehmen (z.B. TÜV-Österreich). Sinnvoll erscheint ob der Tatsache, dass es sich bei dem Container samt Inhalt um ein abgeschlossenes, „autarkes“ System handelt, die Ausstellung einer Baugruppenbescheinigung. Nach welchem Modul vorzugehen ist, könnte seitens des Herstellers (eventuell mit der benannten Stelle) festgelegt werden.

Des Weiteren wird auf die Verordnung über die Aufstellung von Druckbehältern – DBA-VO, BGBl. II 361/1998, hingewiesen („gasüberlagerte Inhaltsstoffe?“).



## 6.5 Verkehrsrecht

Bei Überschreiten der höchstzulässigen Abmaße oder Gesamtgewichte/Achslasten von Kraftwagenzügen muss bei der zuständigen Behörde um Routengenehmigungen angesucht werden (z.B. Abt. Verkehrsrecht des Amtes der Tiroler Landesregierung).

## 6.6 Gewerberecht

Das Wärme abgebende Unternehmen muss zur Wärmeabgabe befugt sein, sprich, ein entsprechendes Gewerbe anmelden. Eine Ausnahme davon wird in § 32.(1) lt. Gewerberechtsnovelle von 2002 (BGBl.I 111/2002) gestattet:

*„Gewerbetreibenden stehen auch folgende Rechte zu:*

*1. alle Vorarbeiten und Vollendungsarbeiten auf dem Gebiet anderer Gewerbe vorzunehmen, die dazu dienen, die Produkte, die sie erzeugen oder vertreiben sowie Dienstleistungen, die sie erbringen, absatzfähig zu machen sowie in geringem Umfang Leistungen anderer Gewerbe zu erbringen, die eigene Leistungen wirtschaftlich sinnvoll ergänzen...“*

Der „geringe Umfang“, in dem Leistungen anderer Gewerbe erbracht werden dürfen, hängt vom Einzelfall ab und muss jeweils geprüft werden. Im Fall der Montanwerke Brixlegg AG würden die Umsätze aus der Wärmelieferung im Verhältnis zum Gesamtumsatz einen sehr geringen Anteil ausmachen, daher ist kein gesonderter Befähigungsnachweis zu erbringen.

## 7 Wirtschaftliche Betrachtung

### 7.1 Allgemeine Kennzahlen

Die Kennzahlen für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einer trassenlosen Fernwärme-Versorgung erstrecken sich über drei Teilbereiche, die getrennt in den jeweiligen Arbeitspaketen analysiert worden sind. Diese Parameter dienen als Grundlage zur Kalkulation des resultierenden Abgabepreises für das angestrebte Wärmeversorgungsmodell.

#### a) Wärmequelle

| Parameter   | Einheit                     | Prüfquelle         | Kostenart                 |
|---|-----------------------------|--------------------|---------------------------|
| Wärmeauskopplung                                  | [€/Invest]                  | Angebote           | Einmalige Investition     |
| Wärmeübergabestationen                            | [€/Station]                 | Angebote           | Einmalige Investition     |
| LWS-Container <sup>51</sup>                       | [€/Invest]                  | Angebote           | Einmalige Investition     |
| Steuer- und Regelungstechnik                      | [€/Invest]                  | Angebote           | Einmalige Investition     |
| Personalkosten O&M                                | [€/Bh]                      | Personalkostensatz | Variable Kosten           |
| Vergütungen für CO <sub>2</sub> -Zertifikate o.ä. | z.B. [€/t CO <sub>2</sub> ] | Tarifregulierungen | Variable Einkünfte        |
| <b>Resultierende Abwärmekosten</b>                | <b>[€/MWh]</b>              | <b>Kalkulation</b> | <b>Kalkulierte Kosten</b> |

Tabelle 13: Erforderliche wirtschaftliche Kenndaten Wärmequelle

#### b) Wärmelogistik

| Parameter                           | Einheit        | Prüfquelle         | Kostenart                 |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| Transportmittel                     | [€/Invest]     | Angebote           | Einmalige Investition     |
| Treibstoffkosten                    | [€/l]          | Marktpreise        | Variable Kosten           |
| Personalkosten Organisation         | [€/h]          | Personalkostensatz | Variable Kosten           |
| Personalkosten Transport            | [€/h]          | Personalkostensatz | Variable Kosten           |
| Wartung und Instandhaltung          | [€/O&M]        | Kostenschätzung    | Variable Kosten           |
| <b>Resultierende Logistikkosten</b> | <b>[€/MWh]</b> | <b>Kalkulation</b> | <b>Kalkulierte Kosten</b> |

Tabelle 14: Erforderliche wirtschaftliche Kenndaten Wärmelogistik

#### c) Wärmeabnehmer

| Parameter                             | Einheit        | Prüfquelle         | Kostenart                 |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------|
| Anbindung LWS an bestehende Systeme   | [€/Invest]     | Angebote           | Einmalige Investition     |
| Wärmeübergabestation                  | [€/Invest]     | Angebote           | Einmalige Investition     |
| Steuer- und Regelungstechnik          | [€/Invest]     | Angebote           | Einmalige Investition     |
| <b>Resultierende Anbindungskosten</b> | <b>[€/MWh]</b> | <b>Kalkulation</b> | <b>Kalkulierte Kosten</b> |

Tabelle 15: Erforderliche wirtschaftliche Kenndaten Wärmeabnehmer

Aus diesen drei Kostenstellen ergeben sich die resultierenden Wärmegestehungskosten. Der Wärmeabgabepreis enthält noch zusätzliche Gewinnaufschläge. Wie der Wärmepreis mit den Kunden abge-

<sup>51</sup> Die Investitionskosten für die LWS-Container können – je nach Betreibermodell – auch den Logistikkosten zugeordnet werden.

rechnet wird ist prinzipiell eine Frage des Betreibermodells, vorzugsweise ist – wie bei Fernwärmesystemen üblich – die Einteilung in einen Grundpreis zur Deckung der Fixkosten und einen Arbeitspreis zur Deckung der variablen Kosten anzustreben.

## 7.2 Kalkulationsgrundlagen

Die Kalkulation für die Wärmegestehungskosten wurde am Beispiel des möglichen LWS-Systems bei den Montanwerken Brixlegg dargestellt. Folgende Voraussetzungen wurden angenommen:

- Die Installation der Wärmeauskopplung erfolgt im Zuge der Umbauten für das neue Kühlkonzept beim Flammofen, damit können die Kosten für die Wärmeauskopplung wesentlich niedriger gehalten werden als wenn z.B. ein System ausschließlich für die LWS-Container installiert werden müsste.
- Für die umfangreichen Berechnungen wurde das System Schneider herangezogen, da dieses aufgrund der geringsten spezifischen Investitionskosten in der mobilen Anwendung das wirtschaftlichste Ergebnis erzielen kann. Die beiden anderen Systeme wurden nur kurz im Vergleich der Wärmegestehungskosten betrachtet.
- Es kann eine jährliche Auskopplung von 4.000 MWh an thermischer Energie erfolgen. Bei einer Kapazität von 2,5 MWh pro Containerzyklus sind somit maximal 1.600 Zyklen pro Jahr möglich. Bei einer durchschnittlichen Zyklenzahl von 200 pro Container können 8 LWS-Container pro Jahr im Volleinsatz stehen.
- Die Anzahl der LWS-Container soll um den Faktor 1,5–2 höher sein als die Anzahl der Abnehmer, damit eine ununterbrochene Wärmeversorgung möglich ist. Dieser Faktor muss bei jedem Anwendungsfall bestimmt werden und hängt in erster Linie von der Abnehmerstruktur (Wärmemenge, Lieferintervalle, Liefersicherheit) ab. Für das Beispiel Brixlegg wurden in der allgemeinen wirtschaftlichen Betrachtung die Fälle „niedrigste Versorgungssicherheit“ mit Faktor 1, „mittlere Versorgungssicherheit“ mit Faktor 1,5 und „höchste Versorgungssicherheit“ mit Faktor 2 betrachtet. Die Gesamtkosten werden in den nachfolgenden Aufstellungen auch für diese drei Stufen dargestellt.

Im Rahmen der Konzipierung des Demo-Projekts in Kapitel 9 wird diese Abstufung konkretisiert und an die realen Abnehmer angepasst.

- Die Kosten für die Wärmeübergabestationen sowie die technischen Adaptionen beim Wärmekunden wurden in die Kalkulation mit einbezogen, da die Wärmelieferung unserer Meinung nach nur als Contracting-Modell realisiert werden kann. Die Preisgestaltung für den Kunden kann dann – ähnlich wie bei Fernwärmeversorgung – in einen Grund- und einen Arbeitspreis eingeteilt werden.

### 7.2.1 Wärmeauskopplung

#### 1. Investitionen

Die Hauptinvestition bei der Wärmequelle stellt die technische Installation der Wärmeauskopplung dar. Diese ist individuell für jede Wärmequelle und richtet sich in erster Linie nach dem Prozess, aus dem die Wärme ausgekoppelt werden soll (Rauchgasstrecke, Dampfleitungen, Kühlkreise etc.) und nach der nutzbaren Wärmemenge. Der Grad der Versorgungssicherheit über die Containeranzahl beeinflusst diese Kosten nicht.

| Position  | Anzahl              | Gesamtkosten [€] |
|---|---------------------|------------------|
| Adaption Wärmeauskopplung bei den Montanwerken Brixlegg | 1                   | 30.000,-         |
| Übergabestationen                                       | 8                   | 40.000,-         |
|   | <b>Gesamtsumme:</b> | <b>70.000,-</b>  |

Tabelle 16: Investitionskosten Wärmequelle

## 2. Laufende Kosten

Das vorgesehene Wärmeliefermodell sieht vor, dass sowohl die Zuständigkeit der Abwicklungsorganisation als auch der Betriebs- und Wartungsaufwand beim Betreiber der Abwärmequelle liegt. Somit können die betriebswirtschaftlichen und technischen Kapazitäten der bestehenden Organisation genutzt werden und der Personalaufwand kann auf Stundenbasis abgerechnet werden.

| Position             | Kosten/Einheit             | Gesamtkosten [€/a] |                 |                 |
|----------------------|----------------------------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                      |                            | Faktor 1           | Faktor 1,5      | Faktor 2        |
| Personalkosten       | 30 €/h <sup>1)</sup>       | 26.400,-           | 31.680,-        | 36.960,-        |
| Hilfsenergie (Strom) | 0,12 €/kWh                 | 1.920,-            | 1.920,-         | 1.920,-         |
| Wartungskosten       |                            |                    |                 |                 |
| - Abgabestation      | 1,0 % d.l. <sup>3)</sup>   | 700,-              | 700,-           | 700,-           |
| - Container          | 2,0 €/MWh                  | 8.000,-            | 8.000,-         | 8.000,-         |
| - Chassis            | 1,0 €/Zyklus <sup>4)</sup> | 1.600,-            | 1.600,-         | 1.600,-         |
| Büromiete (aliquot)  | -                          | 7.000,-            | 8.500,-         | 10.000,-        |
| Miete Abstellflächen | -                          | 5.000,-            | 5.000,-         | 5.000,-         |
| Versicherungskosten  | 1,5 % d.l. <sup>5)</sup>   | 7.230,-            | 10.320,-        | 13.410,-        |
| <b>Gesamtsumme:</b>  |                            | <b>57.850,-</b>    | <b>67.720,-</b> | <b>77.590,-</b> |

Tabelle 17: Laufende Kosten Wärmequelle

<sup>1)</sup> Durchschnittlicher Personalsatz Verwaltung/Technik, Aufwand geschätzt

<sup>2)</sup> Inkludiert neben der organisatorischen Abwicklung der Transporte und des Rechnungswesens auch die Akquisition und Beratung von Neukunden sowie die Personalkosten für Wartungsarbeiten an den technischen Adaptionen an der Wärmequelle

<sup>3)</sup> Investitionskosten für Übergabestationen + aliquoter Anteil Kühlkaskade

<sup>4)</sup> Inkludiert laufende Kosten wie Reifenwechsel, jährliche Überprüfung u.ä.

<sup>5)</sup> Bezogen auf die Gesamtinvestition incl. LWS-Container und Chassis

## 7.2.2 Transport

### 1. Investitionen

Der Transport der LWS-Container erfolgt mittels LKW, wobei jedem Container fix ein Chassis zugeordnet wird um den Manipulationsaufwand zu verringern. Das heißt, dass zusätzlich zu den Kosten für den Container auch die Investition für das Chassis getätigt werden muss.

| Position            | Anzahl      | Gesamtkosten [€/a] |                  |                  |
|---------------------|-------------|--------------------|------------------|------------------|
|                     |             | Faktor 1           | Faktor 1,5       | Faktor 2         |
| LWS-Container       | 8 / 12 / 16 | 240.000,-          | 360.000,-        | 480.000,-        |
| Chassis             | 8 / 12 / 16 | 172.000,-          | 258.000,-        | 344.000,-        |
| <b>Gesamtsumme:</b> |             | <b>412.000,-</b>   | <b>618.000,-</b> | <b>824.000,-</b> |

Tabelle 18: Investitionskosten Wärmetransport

## 2. Laufende Kosten

Die Abrechnung des Transports erfolgt auf Stundenbasis, da im speziellen Fall keine kilometerbezogene Abrechnung erfolgen kann (hoher Manipulationsaufwand bei geringer Kilometerleistung). In diesem Stundensatz sind sämtliche Personal-, Wartungs- und Versicherungskosten enthalten und müssen nicht separat kalkuliert werden. Ausnahme bilden die laufenden Kosten für das Chassis, welche unter Punkt 2 dargestellt wurden.

| Position            | Kosten/Einheit       | Gesamtkosten [€/a] |                  |                  |
|---------------------|----------------------|--------------------|------------------|------------------|
|                     |                      | Faktor 1           | Faktor 1,5       | Faktor 2         |
| Transportkosten     | 55 €/h <sup>1)</sup> | 132.000,-          | 132.000,-        | 132.000,-        |
| <b>Gesamtsumme:</b> |                      | <b>132.000,-</b>   | <b>132.000,-</b> | <b>132.000,-</b> |

<sup>1)</sup> Günstigster Anbieter, Angebotsbreite 55–58 €/h

Tabelle 19: Laufende Kosten Wärmetransport

### 7.2.3 Wärmeabnahme

Die Kosten für die Wärmeübergabestationen sowie die technischen Adaptionen beim Wärmekunden wurden in die Kalkulation mit einbezogen, da die Wärmelieferung als Contracting-Modell realisiert werden soll. Die Anzahl der im Umlauf befindlichen Container beeinflusst diese Positionen nicht.

#### 1. Investitionen

| Position            | Anzahl | Gesamtkosten [€/a] |                 |                 |
|---------------------|--------|--------------------|-----------------|-----------------|
|                     |        | Faktor 1           | Faktor 1,5      | Faktor 2        |
| Übernahmestation    | 8      | 40.000,-           | 40.000,-        | 40.000,-        |
| Adaptionen          | 8      | 8.000,-            | 8.000,-         | 8.000,-         |
| <b>Gesamtsumme:</b> |        | <b>48.000,-</b>    | <b>48.000,-</b> | <b>48.000,-</b> |

Tabelle 20: Investitionskosten Wärmeabnahme

#### 2. Laufende Kosten

| Position                          | Kosten/Einheit | Gesamtkosten [€/a] |                |                |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
|                                   |                | Faktor 1           | Faktor 1,5     | Faktor 2       |
| Hilfsenergie (Strom)              | 0,12 €/kWh     | 1.536,-            | 1.536,-        | 1.536,-        |
| Wartungskosten<br>Übergabestation | 1,0 % d.l.     | 480,-              | 480,-          | 480,-          |
| <b>Gesamtsumme:</b>               |                | <b>2.016,-</b>     | <b>2.016,-</b> | <b>2.016,-</b> |

Tabelle 21: Laufende Kosten Wärmeabnahme

## 7.2.4 Kapitalkosten

In der Basisberechnung wird davon ausgegangen, dass die Investitionen zu 100 % fremdfinanziert werden. Die entstehenden Zinskosten wurden dynamisch über die Kreditlaufzeit eingerechnet.

| Basisdaten Kapitalkosten | Faktor 1    | Faktor 1,5  | Faktor 2    |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Summe Fremdkapital:      | € 530.000,- | € 736.000,- | € 942.000,- |
| Zinssatz:                | 5 %         | 5 %         | 5 %         |
| Laufzeit:                | 10 Jahre    | 10 Jahre    | 10 Jahre    |

Tabelle 22: Basisdaten Kapitalkosten

## 7.3 Berechnung der Wärmegestehungskosten

### 7.3.1 Methodik

Für die Berechnung der Wärmegestehungskosten wurde ein eigenes Berechnungstool in Excel erstellt (siehe Annex C), in dem die laufenden Kosten inklusive der Kapitalkosten über die voraussichtliche Nutzungsdauer von 15 Jahren (Varianten für 10 a, 20 a) dynamisch kumuliert und durch die in diesem Zeitraum abgegebene Wärmemenge dividiert wurden. Ein durchschnittlicher Preissteigerungsindex von 2,0 % wurde in allen Varianten angenommen.

Zur Verifizierung dieses Tools wurden die Wärmegestehungskosten auch mittels eines von der „Kommunalkredit Public Consulting“ erstellten Wirtschaftlichkeitsberechnungstools nach VDI2067 berechnet<sup>52</sup>.

### 7.3.2 Ergebnisse

Anhand der Basisdaten wurden für die Wärmegestehungskosten des eigenen Excel-Tools folgende Ergebnisse erzielt:

| Durchrechnungszeitraum         | Wärmegestehungskosten [€/MWh] System Schneider |             |              |
|--------------------------------|--|-------------|--------------|
|                                | Faktor 1                                       | Faktor 1,5  | Faktor 2     |
| Nutzungsdauer 10 Jahre:        | 86,8   | 98,4        | 109,9        |
| <b>Nutzungsdauer 15 Jahre:</b> | <b>83,2</b>                                    | <b>92,2</b> | <b>101,3</b> |
| Nutzungsdauer 20 Jahre:        | 83,4   | 91,3        | 99,1         |

Tabelle 23: Wärmegestehungskosten nach eigener Berechnung

Nach VDI2067 wurden für eine Nutzungsdauer von 15 Jahren folgende Ergebnisse erzielt:

| Durchrechnungszeitraum | Wärmegestehungskosten [€/MWh] System Schneider |            |          |
|------------------------|--|------------|----------|
|                        | Faktor 1                                       | Faktor 1,5 | Faktor 2 |
| Mischzeitraum 10–33 a  | 79,8   | 89,7       | 101,2    |

Tabelle 24: Wärmegestehungskosten nach VDI2067

<sup>52</sup> [http://www.public-consulting.at/blueline/upload/DynamischeWR\\_BioNah\\_2\\_01.xls](http://www.public-consulting.at/blueline/upload/DynamischeWR_BioNah_2_01.xls) [24.01.2007]

In dieser Gegenüberstellung ist auffällig, dass die Abweichung zwischen den beiden Berechnungsmethoden je nach betrachteter Variante und Durchrechnungszeitraum zwischen rund 8 % und <0,1 % liegt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in der Berechnungsvorlage nach VDI2067 die Daten zum Teil nur kumuliert eingetragen werden können und auf die Höhe der Wartungskosten und den Durchrechnungszeitraum (Abschreibedauer) kein Einfluss genommen werden kann.

Die Abweichung zur VDI-Berechnung wird daher als tolerierbar eingestuft. Daher wird für die weiteren Untersuchungen das eigene Excel-Tool herangezogen, da in diesem die unterschiedlichen Positionen leichter variiert werden können.

Zum Vergleich wurden die Wärmegestehungskosten, die bei den anderen erhobenen Systemen unter denselben Rahmenbedingungen resultieren, berechnet. Geändert wurden lediglich die Größen „Investitionskosten der Container“ und die Wärmekapazität, sofern diese vom System Schneider abweicht.

#### System TransHeat (technische Daten siehe Punkt 4.1.2)

| Durchrechnungszeitraum         | Wärmegestehungskosten [€/MWh] |              |              |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
|                                | Faktor 1                      | Faktor 1,5   | Faktor 2     |
| Nutzungsdauer 10 Jahre:        | 102,2                         | 121,6        | 140,9        |
| <b>Nutzungsdauer 15 Jahre:</b> | <b>94,2</b>                   | <b>108,7</b> | <b>123,3</b> |
| Nutzungsdauer 20 Jahre:        | 92,2                          | 104,5        | 116,7        |

Tabelle 25: Wärmegestehungskosten nach eigener Berechnung

#### System PowerTank (technische Daten siehe Punkt 4.1.2)

| Durchrechnungszeitraum         | Wärmegestehungskosten [€/MWh] |              |              |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|
|                                | Faktor 1                      | Faktor 1,5   | Faktor 2     |
| Nutzungsdauer 10 Jahre:        | 169,8                         | 197,2        | 240,0        |
| <b>Nutzungsdauer 15 Jahre:</b> | <b>154,9</b>                  | <b>173,0</b> | <b>206,4</b> |
| Nutzungsdauer 20 Jahre:        | 150,6                         | 164,2        | 193,8        |

Tabelle 26: Wärmegestehungskosten nach eigener Berechnung

Wie ersichtlich, hat sich die ursprüngliche Annahme, dass das System mit den geringsten spezifischen Investitionskosten als System mit den niedrigsten Wärmegestehungskosten darstellt, als richtig erwiesen. Während die WGK der Systeme Schneider und TransHeat eher geringfügig differieren, weist das System PowerTank deutlich höhere Wärmegestehungskosten auf. Der Grund liegt in der Zellenkonfiguration der Container, wie unter Punkt 4.1.2 beschrieben. Der Container weist aufgrund dieser Struktur nur eine geringe Energiedichte auf, daher werden im Vergleich zu den anderen beiden Systemen mehr Container für dieselbe abzuführende Energiemenge benötigt (unter der Voraussetzung, dass die Container dieselbe Zyklenzahl pro Jahr aufweisen).

Für die weiteren Berechnungen wurde ausschließlich das System Schneider herangezogen.

## 7.4 Sensitivitätsanalyse

### 7.4.1 Methodik

In der Sensitivitätsanalyse wird der Einfluss von Inputfaktoren (einzeln oder gemeinsam) auf bestimmte Ergebnisgrößen untersucht. Die Analyse wurde mittels der Verwendung von variierten einzelnen Inputfaktoren (Iterationsverfahren) durchgeführt um damit den Vergleich der Ergebnisse mit dem Ergebnis des Standardinputs zu ziehen.

Die Sensitivitätsanalyse wurde für die drei Szenarien unterschiedlicher Liefersicherheit mit einem Durchrechnungszeitraum von 15 Jahren durchgeführt. Betrachtet wurden folgende Einflussfaktoren in einem Streuungsbereich von –30 bis +30 % der Standardvariablen:

| Parameter                           | Streuungsbereich Faktor 1 | Streuungsbereich Faktor 1,5 | Streuungsbereich Faktor 2 |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Gesamtinvestition<br>[Tsd. €]       | 371–689                   | 515–957                     | 659–1.225                 |
| Kosten / LWS-Container<br>[Tsd. €]  | 21–39                     | 21–39                       | 21–39                     |
| Transportkosten<br>[€/Zyklus]       | 57,8–107,3                | 57,8–107,3                  | 57,8–107,3                |
| Zinssatz Kapitalkosten<br>[ % p.a.] | 3,5–6,5                   | 3,5–6,5                     | 3,5–6,5                   |
| O&M-Kosten<br>[Tsd. €]              | 12,6–23,4                 | 14,8–27,4                   | 16,3–30,3                 |
| Personalkosten<br>[Tsd. €]          | 18,5–34,3                 | 22,2–41,2                   | 25,9–48,0                 |

Tabelle 27: Streuungsbereiche in den Varianten zur Sensibilitätsanalyse



7.4.2 Ergebnisse Standardvariablen

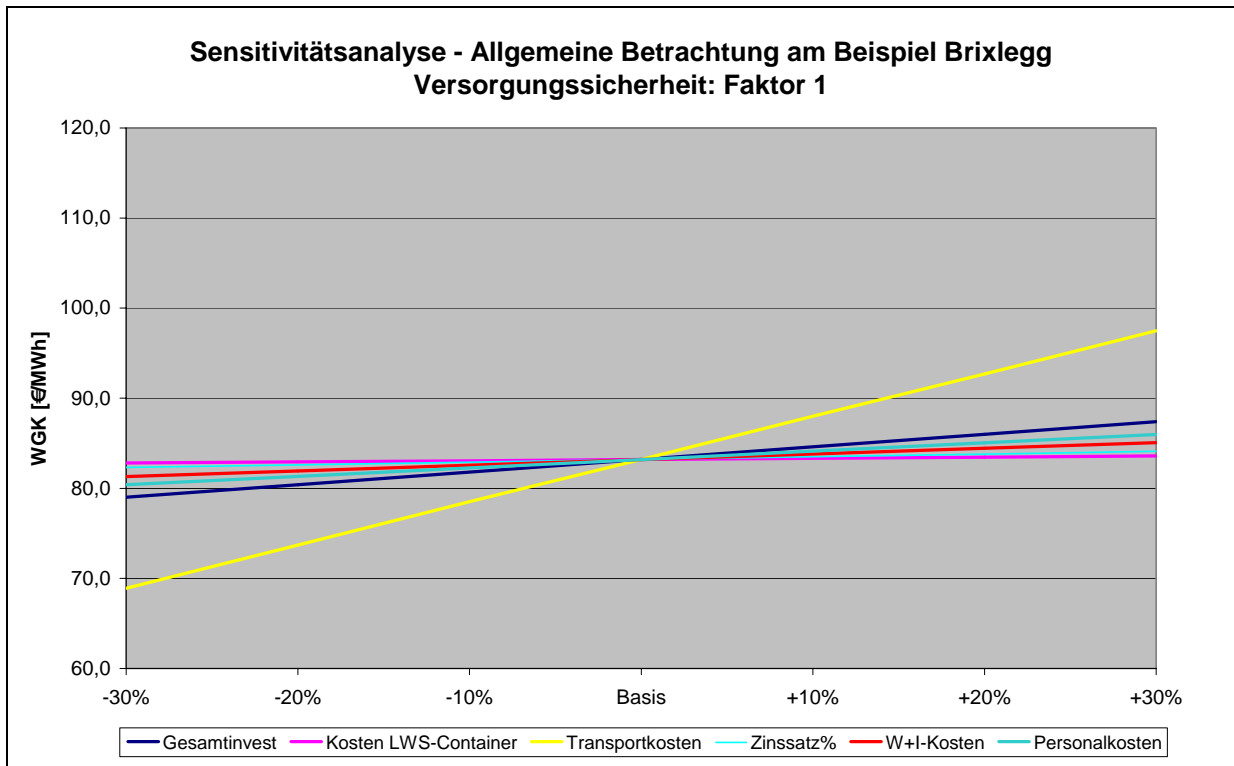


Abb. 23: Sensitivitätsanalyse (Faktor 1)

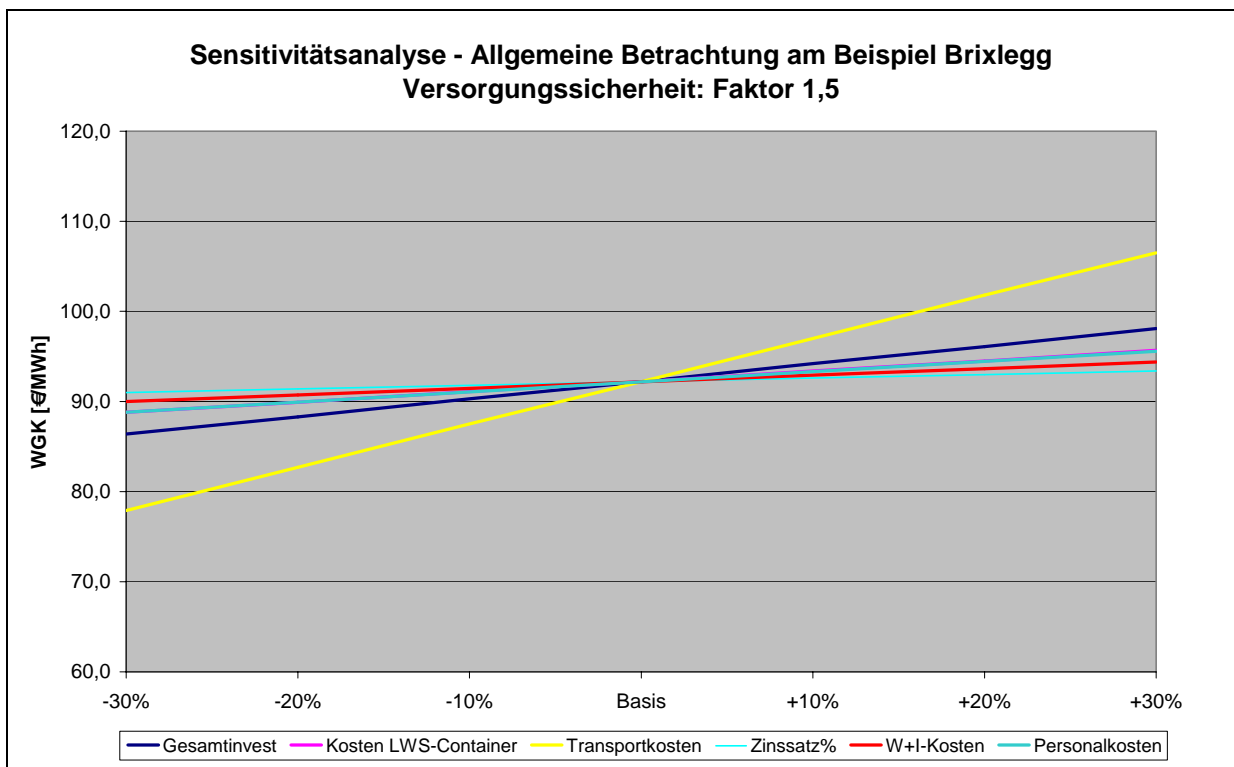


Abb. 24: Sensitivitätsanalyse (Faktor 1,5)

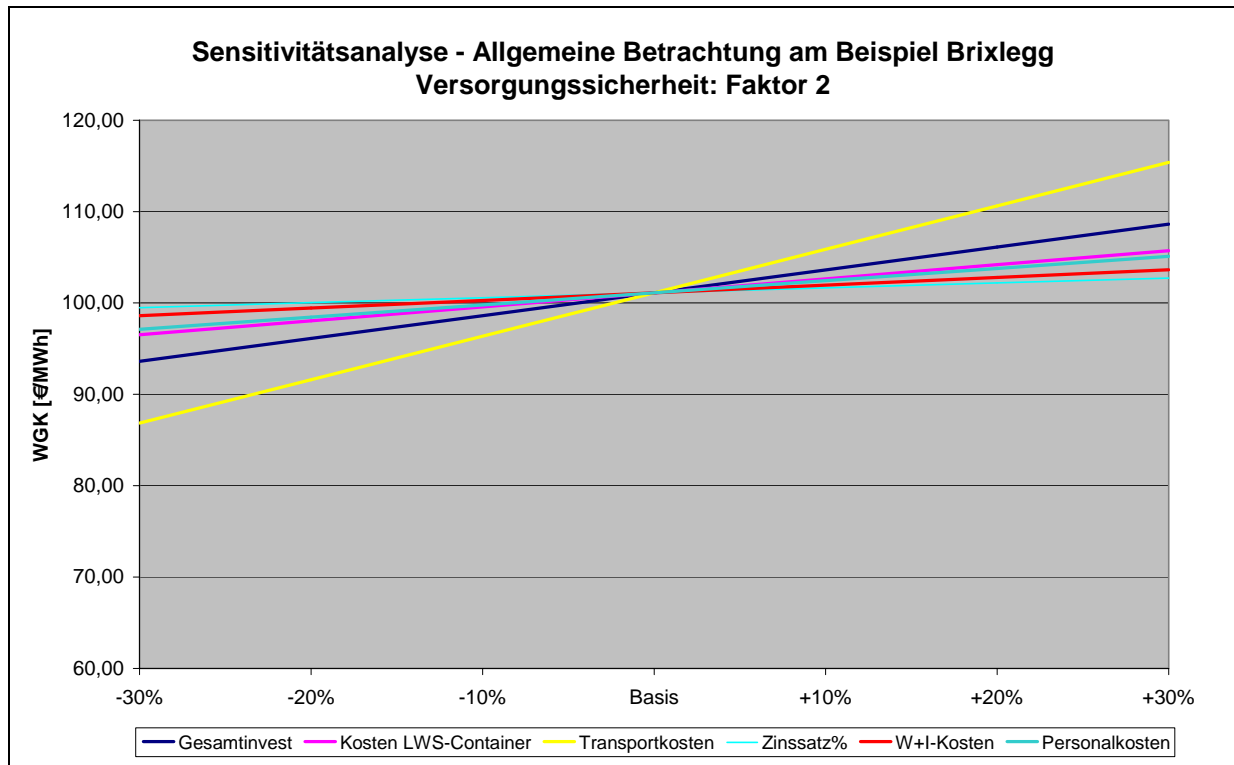


Abb. 25: Sensitivitätsanalyse (Faktor 2)

Aus den Sensitivitätsanalysen wird ersichtlich, dass der Faktor „Transportkosten“ den wesentlichsten Einfluss auf die Wärmegestehungskosten hat. Die Steigung der Gerade wird auch durch den Grad der Versorgungssicherheit nicht beeinflusst, da die Kosten direkt mit den Gesamtzyklen im LWS-System gekoppelt sind und diese Gesamtzyklenzahl sich durch die Anzahl der Container nicht verändert, während sich andere Faktoren (z.B. Investment, O&M-Kosten etc.) auch auf die Anzahl der verwendeten Container beziehen.

### 7.4.3 Ergebnisse Szenarien

Da am ausgewählten Standort auch mit der Veränderung der Standardvariablen in einem realistischen Rahmen der konventionelle Wärmepreis von 50–70 €/MWh nicht bzw. nur unter schwer erreichbaren Rahmenbedingungen erzielbar ist, wurde die Sensitivitätsanalyse auf theoretische Szenarien ausgeweitet, um mögliche Potentiale für eine zukünftige Entwicklung zu erkennen. Diese Szenarien wurden unter Beibehaltung der Standardvariablen jeweils für die drei Stufen der Versorgungssicherheit (F1 – F1,5 – F2) berechnet:

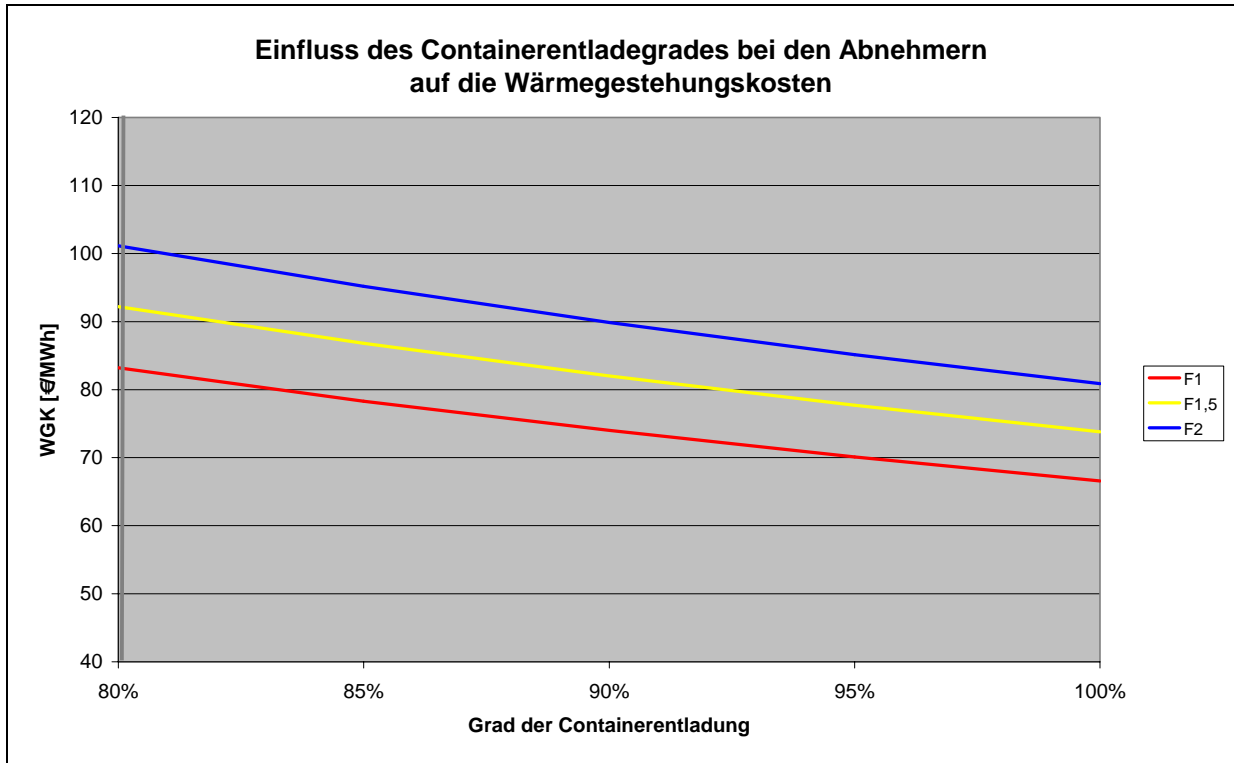


Abb. 26: Einfluss des Wärmeabnahmegrades auf die Wärmegestehungskosten

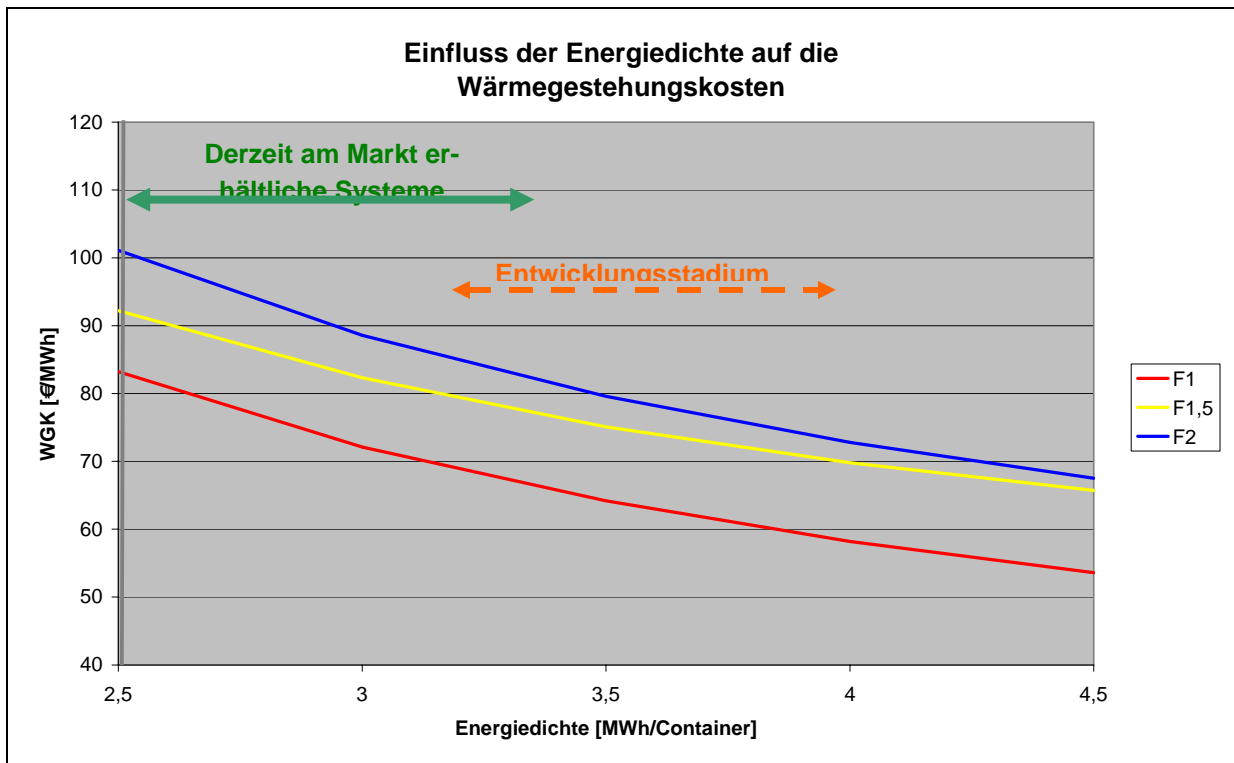


Abb. 27: Einfluss der Energiedichte auf die Wärmegestehungskosten

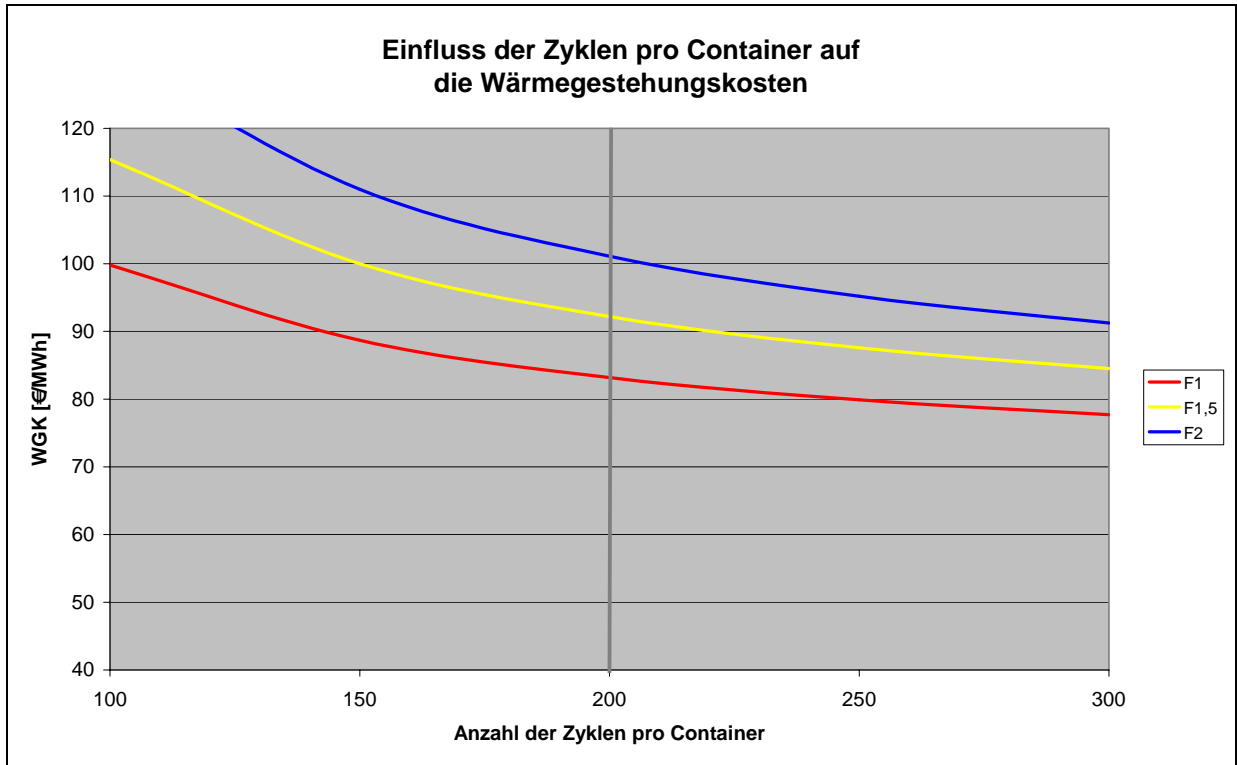


Abb. 28: Einfluss der Zyklenzahl auf die Wärmegestehungskosten

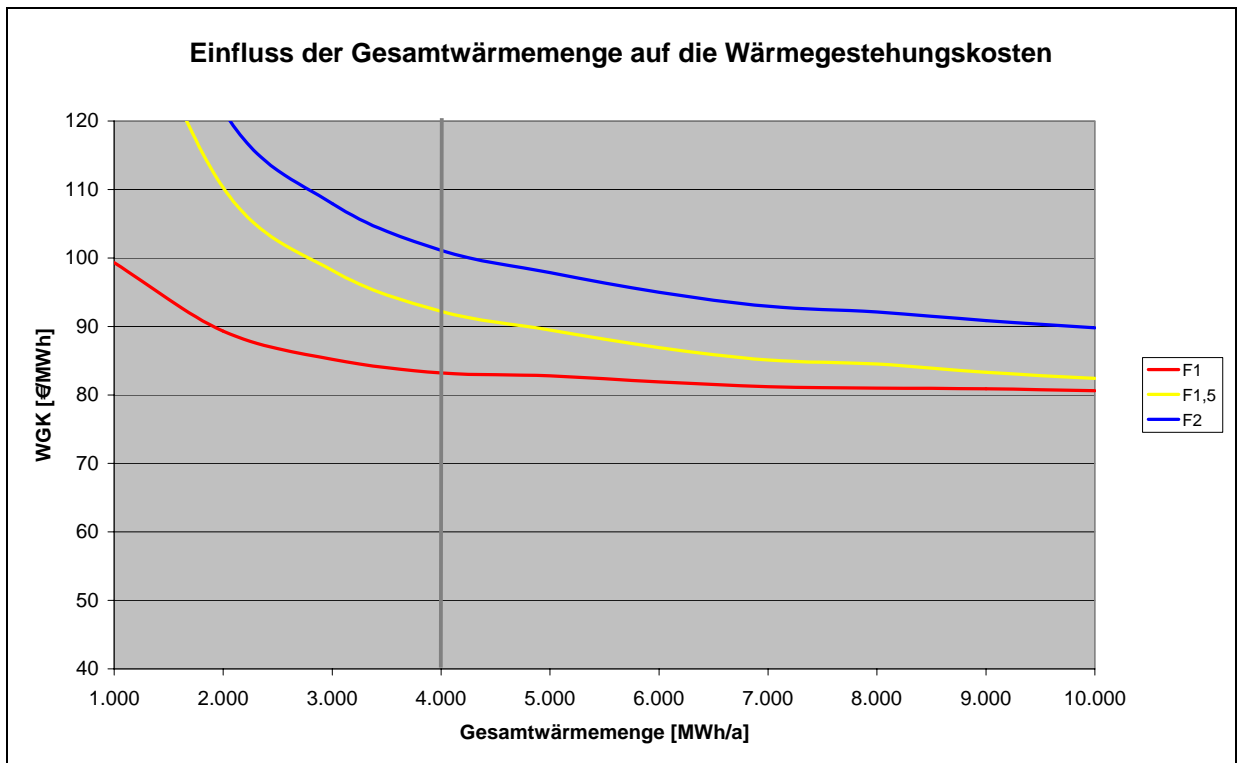


Abb. 29: Einfluss der Gesamtwärmemenge auf die Wärmegestehungskosten

Aus diesen Szenarien sind folgende Erkenntnisse ableitbar:

- Der Grad der Entladung des Containers beim Abnehmer hat großen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten. Eine 100 %ige Abnahme ist technisch kaum realisierbar, da ein Teil der gespeicherten Wärme sensible Wärme im Temperaturbereich zwischen 25 und 45°C ist. Durch organisatorische Maßnahmen (Containerwechsel nach tatsächlichem Bedarf) könnte dieser Abnahmegrad aber weiter als auf die in der wirtschaftlichen Betrachtung angenommenen 80 % erhöht werden. Wie die damit verbundenen Schwierigkeiten (z.B. Containerwechsel in der Nachtzeit oder am Wochenende) gelöst werden können, ist im Einzelfall zu entscheiden.
- Die Energiedichte hat einen sehr großen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten. Ein Grund hierfür ist, dass die Energiedichte direkt mit den Transportkosten gekoppelt ist (die Transportkosten gelten pro Zyklus, unabhängig von der transportierten Wärmemenge) und die Transportkosten ohnehin einen sehr entscheidenden Faktor in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darstellen. Die Schwierigkeit in der Erhöhung der Energiedichte liegt nicht im technischen Bereich, ein Container mit einer Speicherkapazität von z.B. 4 MWh könnte derzeit bereits gefertigt werden. Das damit einhergehende Problem ist das resultierende Gesamtgewicht des Containers, der mit 2,5 MWh Speicherkapazität und einem Gesamtgewicht von ca. 26 t an der Grenze des normalen Straßentransportes steht.
- Die Maximierung der Zyklenzahl pro Container erhöht auch die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems. Die Auswirkungen sind aber durch die direkte Kopplung mit den Transportkosten nicht so deutlich als bei den vorher genannten Punkten.
- Der Einfluss der Gesamtwärmemenge auf die Wärmegestehungskosten wird ab einer Gesamtsystemgröße von ca. 4.000–5.000 MWh pro Jahr eher gering, da mit steigender Systemgröße auch die Investitionen und Betriebskosten nahezu linear steigen.

## 7.5 Nicht-monetäre Kriterien

Nicht immer ist die Wirtschaftlichkeit eines Systems alleiniges Entscheidungskriterium zur Umsetzung einer neuen Technologie oder eines neuen Verfahrens. So genannte nicht-monetäre Kriterien können die Entscheidung beeinflussen bzw. wirtschaftliche Defizite aufwiegen.

Zu dieser Gruppe „weicher“ Kriterien können folgende Punkte gezählt werden:

### Technische Kriterien:

- Entwicklungstand/Referenzen
- Betriebs- / Produktsicherheit
- Verfügbarkeit
- Reparatur-/Wartungsfreundlichkeit
- Regelbarkeit
- Kompatibilität zu anderen Maßnahmen / Systemen
- Komplexität / Flexibilität
- Automatisierbarkeit

### Organisatorische Kriterien:

- Öffentliche /politische Akzeptanz
- Flächenbedarf

- Infrastrukturbedarf
- Verkehrsbelastung
- Genehmigungsanforderungen
- Koordinationsbedarf
- Umweltauswirkungen/-verträglichkeit
- Langzeitverhalten
- Kontroll-/Reparaturmöglichkeit

Ökologische Kriterien:

- Emissionen (Abluft, Abwasser, Abfall, Lärm, Geruch)
- Primär-, Hilfsenergieverbrauch
- Restprodukte: Anfall und Verwertbarkeit
- Störfallsicherheit

Sonstige Kriterien:

- Marketing
- Kundenanforderungen
- Ökologisches Bewusstsein
- Äußeres Erscheinungsbild

Zur Bewertung und Gegenüberstellung dieser nicht in objektive Zahlen fassbaren Kriterien gibt es zahlreiche Instrumente. Bei betriebswirtschaftlichen Überlegungen wird häufig die so genannte Nutzwertanalyse herangezogen. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methode und ihrer Abwandlungen bietet z.B. die Homepage der Universität Hannover<sup>53</sup> oder der Technischen Universität Wien<sup>54</sup>. Voraussetzung für die Durchführung einer Nutzwertanalyse ist das Vorhandensein mindestens zweier Alternativen, die derselben Zielerfüllung dienen und deren prinzipielle Machbarkeit geprüft worden ist.

Die Nutzwertanalyse ist geeignet, wenn „weiche“ – also in Geldwert oder Zahlen nicht darstellbare – Kriterien vorliegen, an Hand derer zwischen verschiedenen Alternativen eine Entscheidung gefällt werden muss. Soll unter mehreren, miteinander schwer vergleichbaren Alternativen ausgewählt werden, stellt die Nutzwertanalyse ein Instrument zur Bestimmung der vom Entscheidungsträger bevorzugten Alternativen dar. Dazu müssen die Alternativen parametrisiert und auf – ebenfalls parametrisierbare Konsequenzen – abgebildet werden. Dies kann in Form einer Matrix abgebildet werden, indem jedem Kriterium ein Beurteilungsfaktor zugewiesen wird (z.B. Punktesystem 1–10: 1 Punkt: nicht erfüllt; 10 Punkte: voll erfüllt) und das Kriterium auch in Bezug auf die Gewichtung des Kriteriums in der Gesamtstrategie gewertet wird. In diese Matrix können aber auch die monetären Kriterien aufgenommen werden.

Das folgende Beispiel soll darstellen, wie eine vereinfachte Nutzwertanalyse im vorliegenden Fall durchgeführt werden kann.

Zieldefinition: Abwärmennutzung in einem Industriebetrieb

---

<sup>53</sup> [http://www.laum.uni-hannover.de/Ilr/lehre/Ptm/Ptm\\_BewNwa.htm](http://www.laum.uni-hannover.de/Ilr/lehre/Ptm/Ptm_BewNwa.htm) [14.03.07]

<sup>54</sup> <http://www.ifip.tuwien.ac.at/lehre/demo/krames/nwa.html> [14.03.07]

- Alternativen:
- 1) Abwärmeauskopplung mittels Fernwärmetrasse
  - 2) Abwärmeauskopplung mittels Latentwärmespeicher
  - 3) Abwärmenutzung zur Stromerzeugung mittels ORC-Prozess

Bewertung: Bewertung (B): 1–10  
Gewichtungsfaktor (G): 0–1

| Kriterium             | (G) | Option 1 |             | Option 2 |             | Option 3 |             |
|-----------------------|-----|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
|                       |     | (B)      | Punkte      | (B)      | Punkte      | (B)      | Punkte      |
| Entwicklungsstand     | 0,2 | 10       | 2           | 2        | 0,4         | 5        | 1           |
| Produktsicherheit     | 1,0 | 10       | 1           | 10       | 1           | 10       | 1           |
| Wartungsaufwand       | 0,5 | 8        | 4           | 8        | 4           | 2        | 1           |
| Flexibilität          | 0,2 | 5        | 1           | 8        | 1,6         | 5        | 1           |
| Automatisierbarkeit   | 0,2 | 10       | 2           | 6        | 1,2         | 8        | 1,6         |
| Flächenbedarf         | 0,7 | 10       | 7           | 8        | 5,6         | 4        | 2,8         |
| Verkehrsbelastung     | 0,1 | 10       | 1           | 2        | 0,2         | 10       | 1           |
| Genehmigungsaufwand   | 0,9 | 8        | 7,2         | 7        | 6,3         | 1        | 0,9         |
| Umweltverträglichkeit | 0,5 | 8        | 4           | 6        | 3           | 6        | 3           |
| Emissionen            | 0,7 | 10       | 7           | 7        | 4,9         | 7        | 4,9         |
| Hilfsenergieeinsatz   | 0,1 | 6        | 0,6         | 2        | 0,2         | 6        | 0,6         |
| Störfallsicherheit    | 1,0 | 10       | 10          | 10       | 10          | 10       | 10          |
| Marketing             | 0,6 | 4        | 2,4         | 10       | 6           | 10       | 6           |
| <b>Summe:</b>         |     |          | <b>44,2</b> |          | <b>44,4</b> |          | <b>34,8</b> |

Tabelle 28: Beispiel einer Bewertungsmatrix für nicht-monetäre Kriterien

Das Ergebnis dieser Analyse würde dem LWS-Container-System einen Vorzug gegenüber den Alternativen geben. Inwieweit dieser Vorteil in die letztendliche Entscheidung einfließt, muss im Einzelfall beurteilt werden.

## 7.6 CO<sub>2</sub>-Zertifikate

Die Montanwerke Brixlegg AG sind als Vertreter der Nichteisenmetallindustrie im Moment nicht für den Handel mit CO<sub>2</sub>-Zertifikaten verpflichtet, daher können eventuelle Vergütungen auch nicht angerechnet werden.

Für Betriebe aus Sparten, die unter die Emissionshandelsrichtlinie<sup>55</sup> fallen, gibt es im Rahmen der Zuteilung die Möglichkeit für bestehende Abwärmenutzungen einen Abwärmebonus zu berücksichtigen. Wird nach der Zuteilung eine Abwärmenutzung mit einer Wärmelieferung über die Betriebsgrenzen hinaus umgesetzt, kann die CO<sub>2</sub>-Vermeidung bei den Kunden aber derzeit nicht eingerechnet werden. Diesbezügliche Diskussionen gibt es zwar, aber es ist auch für die nähere Zukunft sehr unwahrscheinlich, dass eine Einrechnung möglich ist<sup>56</sup>.

<sup>55</sup> Emissionshandelsrichtlinie 2003/87/EG vom 13.10.2004

<sup>56</sup> Quelle: Tel. Auskunft Umweltbundesamt, Hr. Wiesenberger

Die unter die Emissionshandelsrichtlinie fallenden Tätigkeiten sind in zwei Sektoren gegliedert: Energiewirtschaft (Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung sowie Mineralölverarbeitung, Kategorie 1A1 gemäß Revised IPCC GHG Inventory Guidelines) sowie Industrie (Kategorien 1A2+2). Die Sektoren setzen sich aus den jeweiligen Branchen zusammen:

| Sektor            | Branchen  |
|-------------------|---|
| Energiewirtschaft | Elektrizitätswirtschaft<br>Fernwärme<br>Mineralölverarbeitung   |
| Industrie         | Eisen- und Stahlindustrie (voestalpine)<br>Sonstige Eisen- und Stahlindustrie<br>Zementindustrie<br>Papierindustrie<br>Chemische Industrie<br>Kalkindustrie<br>Feuerfesterzeugnisse<br>Ziegelindustrie<br>Lebensmittelindustrie<br>Glasindustrie<br>Holzindustrie<br>Maschinen- und Stahlbau-, Fahrzeugindustrie<br>Sonstige Anlagen<br>Textilindustrie |

Tabelle 29: Sektoren und Branchen lt. Emissionshandelsrichtlinie

Die österreichischen Emissionsrechte aus dem Nationalen Allokationsplan (NAP) werden von der ECRA in der Funktion als Registerservicestelle im Auftrag der Registerstelle, dem Umweltbundesamt, verwaltet. Durch die Registerführung haben die Anlagenbetreiber einen Einblick in die jeweilige Über- oder Unterdeckung ihrer Anlagen auf den Konten bei der ECRA. Die Differenz zwischen zugeteilten Zertifikaten und den tatsächlich benötigten und von unabhängigen Prüfeinrichtungen bestätigten Emissionszertifikaten kann der jeweilige Anlagenbetreiber über den Markt ausgleichen. ECRA ist verpflichtet, Änderungen im Rechtsrahmen technisch in der Registersoftware umzusetzen. Für 2007 ist eine weitere Schnittstellenanbindung an den International Transaction Log (ITL) geplant. Sämtliche Staaten, die sich dem Kyoto Protokoll verpflichtet haben, müssen eine technische Verbindung ihrer jeweiligen Registerstellen zum ITL herstellen. Damit werden sämtliche Transaktionen am CO<sub>2</sub>-Zertifikatemarkt zentral verifiziert. Für die internationale Koordination zur Ankopplung an das ITL und das Berichtswesen ist das Umweltbundesamt verantwortlich.

Der Einkauf und Verkauf von Zertifikaten kann direkt zwischen Unternehmen vereinbart werden oder aber auch über Börsen – wie z.B. die EXAA Energy Exchange Austria in Österreich – erfolgen.

Der Marktwert für die CO<sub>2</sub>-Zertifikate ist stark variierend, die Vergütungen pro Tonne CO<sub>2</sub> lagen im Betrachtungszeitraum Juni 2006–März 2007 zwischen maximal € 30 / t und im ungünstigsten Fall sogar unter € 1 / t.



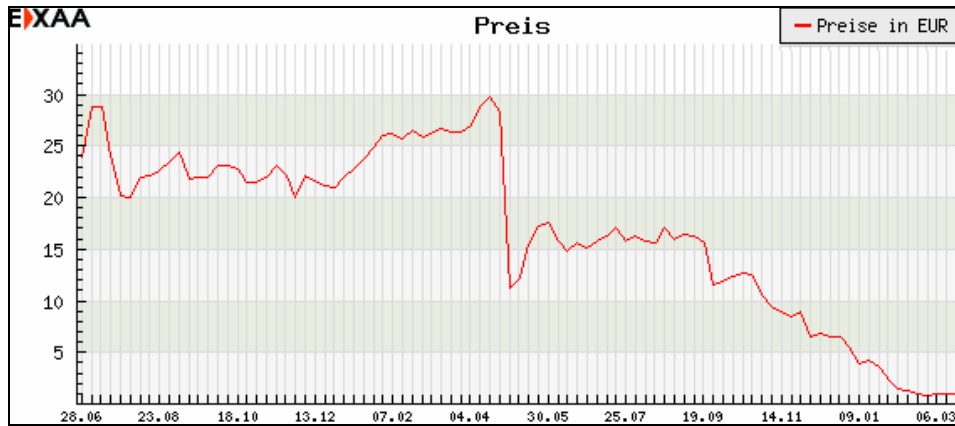


Abb. 30: Preisentwicklung CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Zeitraum 06/2006–03/2007<sup>57</sup>

Im Fall des betrachteten Beispiels bei den Montanwerken Brixlegg könnten mit der mobilen Abwärmernutzung von 4.000 MWh pro Jahr rund 1.000 t CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden, das wären im Fall von oben genannten Minimum von 1 €/t bzw. Maximum von 30 €/t zwischen 1.000 und 30.000 €, die in die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einfließen und die Wirtschaftlichkeit des Systems noch verbessern könnten:

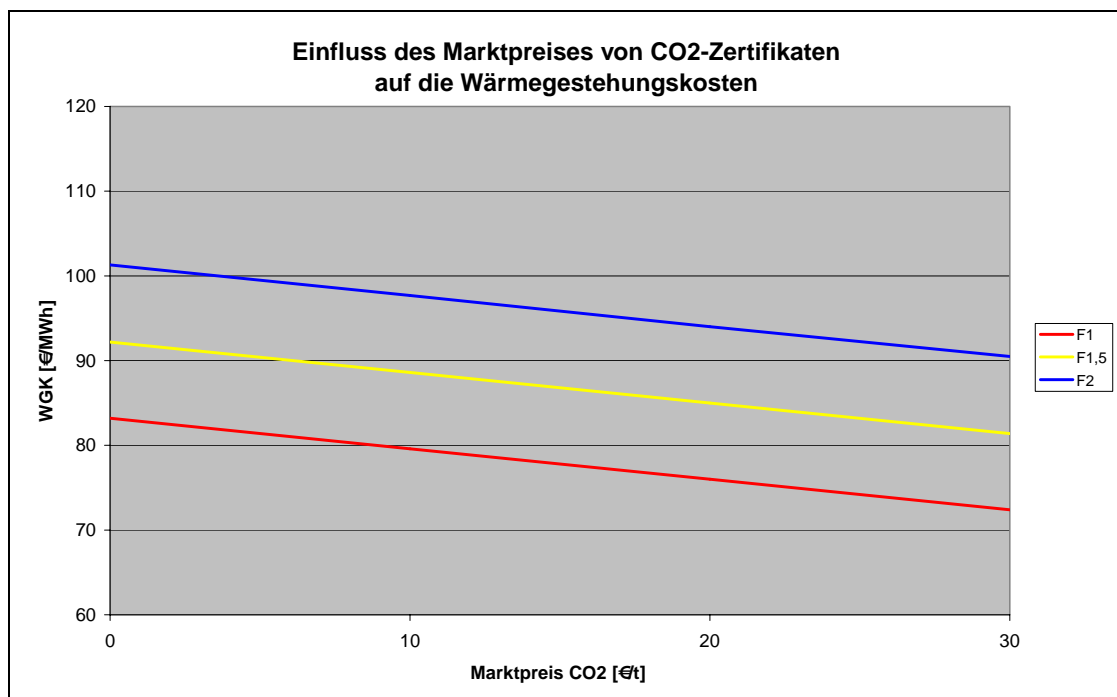


Abb. 31: Einfluss des Marktpreises von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten auf die WGK

## 7.7 Investitionsförderungen in Österreich

Zur Erhebung der Fördermöglichkeiten in Österreich für eine Umsetzung eines LWS-Systems zur Abwärmernutzung wurden die gängigen Förderstellen auf Bundes- und Landesebene kontaktiert. Da das Projekt aufgrund der Neuartigkeit nicht in den allgemeinen Förderrichtlinien katalogisiert ist, wurde den entsprechenden Verantwortlichen das Projekt telefonisch kurz vorgestellt und eine kurze technische

<sup>57</sup> Quelle: EXAA, [www.exaa.at](http://www.exaa.at)

Beschreibung übermittelt. Nachfolgend finden sich die Ergebnisse der Recherche zu Bundes- und Landesförderungen für Unternehmen, die einen Latentwärmespeicher (LWS) als Wärmequelle nutzen wollen.

Die Erhebung anderer Fördermittel, z.B. aus diversen EU-Programmen, wurde in diesem Rahmen nicht durchgeführt, da die EU-Förderrichtlinien sehr umfangreich und breitflächig angesiedelt sind. Prinzipiell wird es aber möglich sein, ein LWS-System als Teilprojekt im größeren Kontext eines umfangreichen EU-Projektes (z.B. Ausschreibungen im 7. Rahmenprogramm) zu integrieren. Die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) bietet ein umfangreiches Informationsportal zu diesem Rahmenprogramm<sup>58</sup>.

### 7.7.1 Bundesförderungen

#### **Ansprechstelle: Kommunal Kredit Public Consulting KPC**

Kontakt:

DI Norbert Peherstorfer  
Abteilung Klima und Energie  
Kommunalkredit Public Consulting  
A –1092 Wien, Türkenstraße 9  
Tel ++43 (0)1 31631 - 216  
Fax ++43 (0)1 31631 - 99216  
n.peherstorfer@kommunalkredit.at  
www.publicconsulting.at

**Kommentar der KPC:** Eine Förderung ist prinzipiell möglich. Vorstellbar wäre die Förderung im Rahmen des Förderschwerpunkts "effiziente Energienutzung". Förderbar könnten aus derzeitiger Sicht die Einrichtungen zur Auskopplung der Abwärme und die Container sein. Die Förderhöhe beträgt maximal 30 % der gesamten umweltrelevanten Investitionskosten. Die folgenden Überlegungen sind jedoch aus Sicht der KPC im Hinblick auf die Förderwürdigkeit zu berücksichtigen:

- a) Durchführung und positive Bewertung eines Demo-Projekts mit "wissenschaftlicher" Begleitung
- b) Keine Nutzungsmöglichkeit der Abwärme im eigenen Betrieb – bzw. Versorgung angrenzender Abnehmer, keine Möglichkeit in ein Wärmenetz einzuspeisen
- c) Umwelteffekt muss langfristig sichergestellt und darstellbar sein (Einbeziehung der Transportwege)
- d) Keine Möglichkeit des Abnehmers zum Anschluss an ein Wärmenetz
- e) Ein entsprechendes Verhältnis zwischen Mitteleinsatz und erreichbarem Umwelteffekt

Weitere Details zum Förderschwerpunkt "effiziente Energienutzung" inkl. Informationsblatt zum Download sind auf der Website der KPC vorhanden.

#### **Informationen zu den über das Programm „Energiesysteme der Zukunft“ – Demonstrationsprojekte (D)<sup>59</sup>**

Pilotvorhaben und Demonstrationsprojekte zeichnen sich dadurch aus, dass neben den Technologie- und Komponentenentwicklungskosten in der Regel auch erhöhte Investitionskosten anfallen.

---

<sup>58</sup> <http://rp7.ffg.at/RP7.aspx> [28.03.07]

<sup>59</sup> <http://www.energiesystemederzukunft.at/ausschreibung/projektarten.htm#h5> [22.02.2007]

Die Investitionskosten können nunmehr durch die Kooperation mit der Umweltförderung – abhängig von ihrer spezifischen Umwelt- oder Klimarelevanz – bis zu einer Höhe von 40 % der anrechenbaren Kosten gefördert werden. Darüber hinaus ist die Anrechnung folgender Aufschläge möglich:

In Regionalförderungsgebieten kann der Fördersatz erhöht werden:

- a) bis zu dem von der EU-Kommission festgelegten Höchstfördersatz gemäß Wettbewerbskulisse zuzüglich um bis zu 10 %
- b) bis zu 5 % für Regionen gemäß Art. 87 Absatz 3 lit. c EG-V oder bis zu 10 % für Regionen gemäß Art. 87 Absatz 3 lit. a EG-V;

Für kleinere oder mittlere Unternehmen kann ein Zuschlag bis zu 10 % gewährt werden.

Die Förderung der Investitionskosten erfolgt in Kooperation mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) in Umsetzung einer Empfehlung der österreichischen Umweltförderungskommission vom 3.2.2005 unter Anwendung der entsprechenden Förder Richtlinien der Umweltförderung im Inland in der jeweils geltenden Fassung. Die fördertechnische und vertragliche Abwicklung erfolgt durch die Kommunalkredit Public Consulting GmbH als Abwicklungsstelle für die "Umweltförderung im Inland".

Projekte können noch im Kalenderjahr 2007 laufend eingereicht werden, das Einreichformular ist auf der Webseite der Programmlinie im Download-Bereich erhältlich.

**aws – austria wirtschaftsservice**

Als Förderbank des Bundes ist die austria wirtschaftsservice die zentrale Abwicklungsstelle für die unternehmensbezogene Wirtschaftsförderung. Für die Implementierung eines LWS-Systems ist laut Auskunft der aws allerdings keine spezifische Förderung möglich.

**7.7.2 Förderungen in den Bundesländern**

| Bundesland | Institution | Ansprechpartner / Kontakt  | Fördermöglichkeit | Kommentar der Förderstelle   |
|------------|-------------|--|-------------------|--|
| Tirol      | AdTLR       | Herr Werner Draschl Leiter der Abteilung Wirtschaftsförderung, Tel: 0512/508/3214<br><a href="mailto:werner.draschl@tirol.gv.at">werner.draschl@tirol.gv.at</a><br><a href="http://www.tirol.gv.at">www.tirol.gv.at</a>              | Nein              | Telefonat vom 26.02.2007:<br>Es werden nur Maßnahmen die in der Richtlinie „Tiroler Förderung von Energiesparmaßnahmen“ <sup>60</sup> gefördert. Er verweist auf Förderungen der KPC.  |
| Salzburg   | AdSLR       | Herr DI Heinz Mair, Leiter Abteilung Wirtschaft, Tourismus und Energie Tel. 0662/8042-3803<br><a href="mailto:heinz.mair@salzburg.gv.at">heinz.mair@salzburg.gv.at</a><br><a href="http://www.salzburg.gv.at">www.salzburg.gv.at</a> | Ja                | Telefonat am 23.03.07:<br>Derzeit keine Standardförderung, ev. ist eine Förderung im Rahmen der Kleingewerbeförderaktion möglich (nur Zinszuschuss), ev. ist auch Förderung im Rahmen der Strukturförderung möglich – Voraussetzung: KPC fördert, dann ist EU-Cofinanzierung zusätzlich möglich. Zukünftig ist eine Landesförderung realistischer – ab Anfang 2008 gibt es die „Wirtschaftsförderung Neu“ mit einer neuen Förderschiene für „Energie- und Ressourcenschonende Technologien“, Hr. DI Mair sieht ab 2008 realistische und interessante Fördermöglichkeiten |

<sup>60</sup> <http://www.tirol.gv.at/themen/wirtschaft-und-tourismus/wirtschaftsfoerderung/downloads/> [26.02.07]

Endbericht: Latentwärmespeicher für trassenlose Wärmeversorgung

| Bundesland       | Institution                              | Ansprechpartner / Kontakt   | Fördermöglichkeit | Kommentar der Förderstelle  |
|------------------|--|---|-------------------|---|
|                  |  |   |                   | für LWS, seine Abteilung hat auch Daten zum Abwärmepotenzial von Salzburger Firmen und wäre deshalb der richtige Ansprechpartner für ein Pilotprojekt.  |
| Vorarlberg       | Energieinstitut Vbg.                     | Herr DI Markus Kaufmann<br>Kontakt:<br>05572/31202-68<br>markus.kaufmann@energieinstitut.at<br>www.energieinstitut.at   | Nein              | E-Mail vom 21.03.07 (Auszug)<br>„...das Land Vorarlberg fördert den Einsatz von LWS nicht. Allgemein ist das Land Vbg. auch eher konservativ was Förderungen betrifft – in dem Sinn – dass die Sache zumindest Stand der Technik sein muss, bevor es in einen Förderkatalog aufgenommen wird.<br><br>LWS sind davon meines Wissens noch entfernt. Aber ich könnte mir vorstellen, dass Sie mit ihrem Projekt die Sache ein gutes Stück weiter Richtung Stand der Technik vorantreiben...“ |
| Oberösterreich   | O.Ö. Energiesparverband                  | Dr. Gerhard Dell, Landesenergiebeauftragter und GF des O.Ö. Energiesparverbandes<br>Kontakt:<br>0732/7720-14380<br><a href="mailto:gerhard.dell@esv.or.at">gerhard.dell@esv.or.at</a><br><a href="http://www.energiesparverband.at">www.energiesparverband.at</a> | Ja                | Mail vom 21.03.07 (Auszug):<br>„...Fördermöglichkeiten sind prinzipiell vorhanden, Details sind jeweils projektspezifisch und derzeit nicht als Breitenförderung angelegt. Als 1. Schritt wird dringend eine betriebliche Energieberatung (wird bis zu 75 % gefördert) angeraten...“  |
| Niederösterreich | NÖ Landesregierung                       | DI Franz Angerer, Abt. Abteilung Energiewesen und Strahlenschutzrecht<br>Kontakt:<br>02742/9005-14785<br>Mail: <a href="mailto:ru3@noel.gv.at">ru3@noel.gv.at</a><br><a href="http://www.wirtschaftsfoerderung.at">www.wirtschaftsfoerderung.at</a>               | Ja                | Telefonat am 22.03.07:<br>Förderung möglich, falls Wirtschaftlichkeit darstellbar, Hr. Angerer glaubt nicht daran. Er hätte gern nähere Informationen zu den Kosten und dem Speicher-material.  |
| Steiermark       | Grazer Energieagentur GmbH               | Frau DI Heidrun Pokorny<br>Kontakt:<br>0316/811848-24<br><a href="mailto:pokorny@grazer-ea.at">pokorny@grazer-ea.at</a><br><a href="http://www.grazer-ea.at">www.grazer-ea.at</a>   | Nein              | Keine Fördermöglichkeit bekannt   |
|                  | Steirische Wirtschaftsförderung SFG      | Frau Eva Maria Koller<br>Kontakt:<br>0316/ 7093-119<br><a href="http://www.sfg.at">www.sfg.at</a>   | Nein              | Keine Fördermöglichkeit bekannt   |
| Burgenland       | Wirtschaftsservice Bgld. AG (WiBAG)      | Herr Thomas Tiwald, Technologiezentrum<br>Kontakt:<br>Tel. 05/9010-2341<br>thomas.tiwald@wibag.at<br><a href="http://www.wibag.at">www.wibag.at</a>   | Ja                | Telefonat am 23.03.07:<br>Förderung ist prinzipiell möglich, 10 % der Investition könnten gefördert werden, Konkretes Projekt muss geprüft werden.  |
| Wien             | WKW bzw. WIFI Wien                       | Mag. Christian Starzer<br>Kontakt:<br>Tel. 01 476 77-465<br><a href="mailto:starzer@wifwien.at">starzer@wifwien.at</a><br><a href="http://www.wifwien.at">www.wifwien.at</a>  | Nein?             | Mail vom 22.03.07(Auszug):<br>„...eine Förderung in Wien ist eher unwahrscheinlich ... Es ist keine Förderstelle bekannt, das WIFI Wien würde ev. Beratungsleistung für ein Unternehmen fördern...“   |
| Kärnten          | KWF Kärntner Wirtschaftsförderungs Fonds | Frau Mag. Sandra Venus<br>Kontakt:<br>0463/55 800-46<br><a href="mailto:venus@kwf.at">venus@kwf.at</a>  | Ja                | Telefonat am 23.03.07:<br>Es gibt keine Fördermöglichkeit für reine Energie-Maßnahmen, eine Förderung ist aber im Rahmen eines Projektes z.B.   |

| Bundesland | Institution              | Ansprechpartner / Kontakt  | Fördermöglichkeit | Kommentar der Förderstelle   |
|------------|--------------------------|--|-------------------|--|
|            |                          | <a href="http://www.kwf.at">www.kwf.at</a>   |                   | zur Effizienzsteigerung/Modernisierung der Produktion möglich. Eine Prüfung des konkreten Projektes ist notwendig.<br><br>Falls eine Förderung durch die KPC stattfindet ist keine KWF-Förderung möglich. Bei AWS-Förderungen ist eine Anschlussförderung mit 2,5 % möglich. |
| Kärnten    | Kärntner Landesregierung | DI Erich Mühlbacher, Abteilung 15, Umwelt, Unterabteilung Energiewirtschaft<br>Kontakt:<br>05 0536 30863,<br>erich.muehlbacher@ktn.gv.at<br><a href="http://www.energiewirtschaft.ktn.gv.at">www.energiewirtschaft.ktn.gv.at</a> | Ja                | Telefonat am 23.03.07:<br><br>Es gibt in diesem Bereich keine Standardförderung, eine Förderung ist aber prinzipiell möglich. Die Förderwürdigkeit wird anhand eines konkreten Projekts geprüft.   |

## 7.8 Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben ergeben, dass eine trassenlose Wärmeversorgung derzeit nur schwer mit konventionellen Wärmeversorgungssystemen konkurrieren kann, wobei diese Aussage sich auf ein theoretisches Szenario bezieht. Wie sich die Wärmekosten an einem realen Beispiel entwickeln, wird in Kapitel 9 noch näher untersucht. Fakt ist, dass die Kosten stark durch die Anzahl, Größe und Entfernung der Abnehmer, dem organisatorischen Aufwand und dem technischen Aufwand zur Wärmeauskopplung bei der Wärmequelle beeinflusst werden und sich hier bei optimaler Planung und Abnehmerauswahl eine deutliche Verbesserung ergeben kann.

Als Kriterien für die Systemplanung haben sich folgende Punkte herauskristallisiert:

- Je höher die verkaufte Gesamtwärmemenge desto geringer die WGK, wobei die Investitionskosten für die Wärmeauskopplung eine gegenläufige Entwicklung verursachen können
- Die Abnehmerstruktur hat einen sehr starken Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Systems. Mit steigender Wärmemenge pro Abnehmer erhöht sich die Zyklenzahl des einzelnen Containers und damit die Gesamtwirtschaftlichkeit, wobei darauf zu achten ist, dass mit der Anzahl der Zyklen auch die Transportkosten steigen.
- Die Entfernung des Abnehmers von der Wärmequelle und die lokalen Gegebenheiten (Platzbedarf für Rangierarbeiten) wirkt sich unmittelbar auf die Transportkosten aus – je kürzer die Dauer eines Containertausches, desto geringer die anrechenbaren Transportkosten.
- Mit steigender Energiedichte eines Containers reduzieren sich die Transportkosten. Hier ist aber darauf zu achten dass Container höherer Energiedichte einerseits höhere Investitionskosten verursachen und sich andererseits auch der Transport pro Zyklus durch Sonderfahrzeuge und – genehmigungen verteuern kann.
- Die Entscheidung zur Umsetzung einer trassenlosen Fernwärmeversorgung kann positiv durch nicht-monetäre Kriterien beeinflusst werden.
- Investitionsförderungen sind je nach vorgesehenem Standort in unterschiedlicher Höhe möglich.

## 8 Ökobilanz

### 8.1 Allgemeines zur Ökobilanz

Ökobilanzen analysieren Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen über den gesamten Lebensweg. Dieser Lebensweg reicht von der Rohstoffgewinnung, Produktion und Nutzung bis hin zur Entsorgung, auch bekannt unter dem Ausspruch „von der Wiege bis zur Bahre“<sup>61</sup>.

Derzeit arbeiten mehrere Organisationen an den Methoden zur Erstellung von Ökobilanzen, es gibt aber keine Vereinheitlichung, welche eine Vergleichbarkeit von Produkten und Systemen gewährleisten kann. Die Normenreihe der *International Organisation for Standardization* (ISO) hat sich in Europa weitgehend durchgesetzt.<sup>62</sup> Auf dem Gebiet der Ökobilanz sind von der ISO derzeit die folgenden fünf Normen relevant:

DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen

DIN EN ISO 14041: Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens der Sachbilanz

DIN EN ISO 14042: Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung

DIN EN ISO 14043: Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung

DIN EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen

Diese Umweltbilanz wurde im Sinne der angesprochenen Normen erstellt.

### 8.2 Rahmen einer Ökobilanz

Eine Ökobilanz besteht laut DIN EN ISO 14040 aus vier Teilen:

- der Zieldefinition mit Festlegung des Untersuchungsrahmens
- der Sachbilanz
- der Wirkungsabschätzung und
- der Auswertung.



Abb. 32: Bestandteile einer Ökobilanz<sup>63</sup>

<sup>61</sup> DIN EN ISO 14040, S12

<sup>62</sup> vgl. Lundie S.: 1999, S. 10 f

<sup>63</sup> nach. DIN EN ISO 14040, S. 13

## Erläuterung für Zieldefinition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung<sup>64</sup>

- **Zieldefinition mit Festlegung des Untersuchungsrahmens:** Im ersten Teil muss das Ziel, das durch die Ökobilanz erreicht werden soll, festgelegt werden. Dazu gehören bspw. die Gründe der Durchführung, die beabsichtigte Verwendung, die angesprochenen Zielgruppen und getätigte Annahmen. Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens ist der entscheidende Aspekt die Bestimmung der Systemgrenzen.
- **Sachbilanz:** Das sind Datensammlungen und Berechnungsverfahren zur Erfassung aller Input- und Outputströme über den gesamten Lebenszyklus des Produktes. Es müssen Materialien für die Produktion, eingesetzte Energien, Ressourcen, Emissionen, Abfälle und alle sonstigen Güter und Verunreinigungen berücksichtigt werden.
- **Wirkungsabschätzung:** Hier erfolgt eine Zuordnung der gesammelten Daten zu den einzelnen Wirkungskategorien (z.B. die Inanspruchnahme von Ressourcen, Gesundheitsschädigung für den Menschen etc.).
- **Auswertung:** Im letzten Teil der Ökobilanz werden die Sachbilanz und die Wirkungsabschätzung gemeinsam betrachtet und versucht, Ergebnisse abzuleiten. Diese Ergebnisse werden mit der Zieldefinition verglichen und bei Abweichungen müssen Ziele bzw. Teile der Ökobilanz überarbeitet bzw. neu erstellt werden.

### 8.3 Zieldefinition und allg. Festlegungen

Die Ökobilanz soll die „Wärmelieferung im Container“ einer Wärmeerzeugung mit einem Öl- bzw. Gaskessel gegenüberstellen.

Eine grobe Abschätzung der ökologischen Sinnhaftigkeit der „Wärmelieferung im Container“, wurde bereits im Vorfeld erstellt. Dort wurden jedoch nur die Belastungen des Transportes den Entlastungen an Primärenergie und Schadstoffen bei der Ölheizung gegenübergestellt. Nun soll sich die verfeinerte Ökobilanz auf den Energieträger Erdgas sowie auf die gesamten Produktlebenszyklen beziehen.

Der Ersatz erneuerbarer Energieträger, z.B. Holz wird nicht betrachtet, da dieser aufgrund der CO<sub>2</sub>-Neutralität immer negativ ausgehen würde und ein Ersatz dieser Brennstoffe kein primäres Ziel der Wärmelieferung im Container darstellt. Flüssiggas wird aufgrund seiner geringen Verbreitung im Gewerbe nicht weiter betrachtet, bzw. liefert aufgrund des Herstellungsprozesses eher unkritischere Werte als Erdgas. D.h., im Zweifelsfalle können für die maximalen Transportwege bei Ersatz von Heizkesseln die mit Flüssiggas betrieben werden die Werte von Erdgas angesetzt werden. Kohle wurde aufgrund seiner derzeitigen Bedeutungslosigkeit nicht betrachtet.

Die Bilanz soll einerseits für den Transport der Container per LKW aber auch für den Transport per Bahn erstellt werden. Zudem sollten die Auswirkungen von Entwicklungstendenzen sowohl auf der Transportseite (schadstoffärmere LKW), als auch auf der Wärmeerzeugungsseite (effizientere, schadstoffärmere Heizkessel) und deren Auswirkungen auf die Ökobilanz aufgezeigt werden.

Die Ökobilanz soll insbesondere eine Abschätzung der ökologisch sinnvollen Transportkilometer, sowie einen ökologischen Vergleich zu einer Wärmeversorgung über eine Nahwärmetrasse liefern.

Die Erstellung eigener, fundierter Sachbilanzen für einzelne Stoffe (z.B. für die Erzeugung von Essigsäure, der Basis für Natriumacetat) kann im vorgegebenen Zeitrahmen natürlich nicht vorgenommen werden. Fehlende Sachbilanzbereiche für einzelne Stoffe bzw. Herstellungsprozesse müssen daher

<sup>64</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040, Methodischer Rahmen S. 17 ff

abgeschätzt werden. Fehlende untergeordnete Prozesse für die auch seitens der Hersteller keine Angaben gemacht werden können, werden vernachlässigt. Da jedoch der Transport des Containers und nicht die Herstellung der einzelnen Stoffe in den meisten Bereichen die bestimmende Größe dieser Ökobilanz darstellt und in allen anderen Bereichen vom „schlechtesten Fall“ ausgegangen wird, können diese Ungenauigkeiten bei der Herstellung der Stoffe toleriert werden.

#### **Festlegungen für die Bilanzerstellung:**

- Die Sachbilanz wird mit Unterstützung des Computerprogramm GEMIS durchgeführt. (näheres zu GEMIS siehe Sachbilanz)
- Die Abwärme wird primärenergetisch mit „Null“ bzw. von der Emissionsseite als „Emissionsfrei“ betrachtet (Reines Abfallprodukt ohne sonstige Verwertungsmöglichkeit).
- Die Lebensdauer des Wärmelieferungssystems wurde mit 15 Jahren festgelegt. Dies entspricht bei 200 Zyklen pro Jahr auch den vom Hersteller angegebenen 3000 Lebensdauerzyklen, sowie auch in etwa der kalkulierten Lebensdauer von Heizkesseln.
- Für die gelieferte Wärmemenge pro Container wurde gegenüber der theoretischen Liefermengen von 2,5 MWh ein Abschlag von 20 % für nicht vollständig entleerte Speicher (aufgrund von Lieferzeitpunkten, Sperrzeiten etc.) vorgenommen. Es wurde mit einer durchschnittlichen Lieferung von 2,0 MWh gerechnet.
- Bei den einzelnen Stoffen (z.B. Natriumacetat) wird jeweils vom schlechtesten Fall ausgegangen. Alle Kuppelprodukte werden bei der Energie- bzw. Schadstoffbilanz zu 100 % diesem Stoff zugeschlagen. Auch werden die mögliche Weiterverwendung und die energetischen und ökologischen Ersparnisse durch das Recycling des Latentwärmespeichers nicht berücksichtigt. Dadurch werden zusätzliche Sicherheiten eingerechnet. Die Hilfsstoffe und Hilfsenergien bei der Endfertigung des Speichers, des Containers und bei der Erstellung der Wärmeübergabestationen werden demgegenüber vernachlässigt. Bei den einzelnen Produkten wurden, nachdem es sich um deutsche Produkte handelt, auch die deutschen Datensätze für die einzelnen Materialien verwendet. GEMIS Datensätze: Stahl: 'Metall\Stahl-D-WarmWalz'; bzw. 'Metall\Stahl-D-Blech' Polyurethan: 'Kunststoff\PUR-Hartschaum'
- Bei der grauen Energie des LKW wird ebenfalls der schlechteste Fall zugrunde gelegt, d.h. dass dieser nur für den Transport der Latentwärmespeicher gebaut wurde und nur eine geringe Kilometerleistung von 30.000 km pro Jahr zurücklegt. Somit ist die Produktion des LKW gesichert in der Bilanz enthalten, wobei die Tonnage mit 26 t auf den Latentwärmespeicher angepasst und die Lebensdauer des LKW mit 10 Jahren festgelegt wurde. Beim Fahrzyklus<sup>65</sup> wurde der Mix (Österreich) gewählt, da dieser für den Standort Brixlegg am ehesten der Realität entspricht.
- Bei den Schadstoffklassen werden die EUR-Klassen 3 bis 5 untersucht, wobei derzeit nur LKW bis EUR 4 am Markt erhältlich sind. EUR5-LKW sollten bis 2008/2009 auf den Markt kommen. Im schlechtesten Fall wird für dieses Projekt ein LKW der Klasse EUR3 herangezogen. GEMIS Datensatz: 'Lkw->32t-EURO3-A' bzw. 'Lkw->32t-EURO4-A' bzw. 'Lkw->32t-EURO5-A'. Der Fahrzyklus „Innerorts“ würde den kritischeren Zyklus darstellen. Aufgrund der Vorergebnisse, dass für sehr kurze Strecken die Bilanz immer positiv ist, bzw. diese Bereiche insbesondere auch von der ökologischen Seite mit einem Nahwärmenetz erschlossen werden sollten (siehe Vergleich mit Nahwärmenetz), wurde auf diese in der Praxis nicht relevante, unkritische Variante verzichtet. Der Treibstoff des Datensatzes wurde auf schwefelfreien Diesel (Produkt Diesel A 2005) angepasst. Der Schwefelgehalt ist in diesem Datensatz mit 12,5 ppm enthalten. Nach

---

<sup>65</sup> Fahrzyklen sind normierte Strecken, die Fahrzeuge mit festgelegten Geschwindigkeiten (inkl. Anfahren und Bremsen, Leerlauf sowie Schaltvorgängen) zur Bestimmung ihrer Emissionsfaktoren zurücklegen. In GEMIS gibt es die Fahrzyklen Autobahn (AB), Außerorts (AQ) und Innerorts (IO) und Mix.



Auskunft des Umweltbundesamtes liegt der aktuelle Schwefelgehalt (2007) bei 10,6 ppm, so dass man wiederum auf der sicheren Seite liegt.

- Für den Bahntransport wurde die ÖBB herangezogen. (GEMIS Datensatz: 2004 Zug-el-Güter-A-ÖBB-2004)
- Für den einmaligen Transport des Speichers von der Latentspeicherfabrik zu den Montanwerken, bzw. den Rücktransport für das Recycling wurde, nachdem es sich um ein deutsches Produkt handelt, ein Transport mit der deutschen Bahn gewählt. Entfernung 500 km. (GEMIS Datensatz: 2000 'Zug-el-Güter-D')
- Bei der Gasheizung wurde der Stand von 2005 (Ö) mit Brennwerttechnik eingesetzt. Die Brennwerttechnik wird im Gewerbe aufgrund der meist zu hohen Rücklauftemperaturen bisher nur sehr selten eingesetzt. Da der Speicher aber auch nur Temperaturen von 58°C zur Verfügung stellt, muss man, um ausreichende Sicherheiten zu berücksichtigen, die Brennwerttechnik ansetzen (GEMIS Datensatz: 2005-Gas -Brennwert A-2005 – Erdgas, < 50 MW, Umweltbundesamt Wien).
- Bei der Ölheizung wurde aufgrund der fehlenden Datenbasis im GEMIS mit einem nicht kondensierendem Kessel Stand von 2005 (Ö) gerechnet. (GEMIS-Datensatz 2005 Öl-leicht-HZG-groß-neu-A-P –, 100 kW, Umweltbundesamt-Wien). Da es im GEMIS kein Produkt „schwefelarmes Heizöl Extraleicht“ gibt wurde hier ebenfalls „schwefelarmer Diesel 2005“ verwendet. Somit ist man wiederum auf der sicheren Seite, das schwefelarme Heizöl bis 50 ppm Schwefel enthalten darf, im Datensatz Diesel A 2005 jedoch nur 12,5 ppm enthalten sind. Um die Verbesserung durch die Brennwerttechnik grob einzurechnen, wurde die Energieeffizienz des ausgewählten Kessels um 10 % erhöht. Dies entspricht einer durchschnittlichen Verbesserung gegenüber einem nicht kondensierenden Kessel. Die Emissionen verändern sich sehr unterschiedlich: laut Fa. Hoval für Heizkessel mit 100 kW: z.B. NO<sub>x</sub> von 130 mg/kWh bzw. CO von 20 mg/kWh für einen konventionellen Ölkessel mit Gelbbrenner auf 80 mg/kWh NO<sub>x</sub> bzw. 5 COmg/kWh für Ölbrennwertkessel mit Blaubrenner. Weiters wird, je nach Betriebszustand des Kessels, bis zu 30 % des Schwefels im Kondensat gebunden. Insgesamt bleiben bei diesen Emissionsberechnungen daher gewisse Unsicherheiten bestehen. Je nach kritischem Schadstoff müssen daher die maximalen Transportkilometer nachträglich mit den Verbesserungen der Brennwerttechnik korrigiert werden.
- Da die Wärmelieferung mit dem Latentwärmespeicher normalerweise das ursprüngliche Heizungssystem nicht ersetzt und immer ein Backup- bzw. Spitzenlastkessel notwendig ist, dürfte man die Erzeugung des Heizkessels genau genommen nicht in die Bilanz einrechnen, da dieser ohnehin notwendig ist. Es dürfte nur der verminderte Einsatz des Energieträgers mit seinen Vorproduktionsstufen ohne Anlagentechnik eingesetzt werden. Dieser Einfluss wird aufgrund seiner Geringfügigkeit jedoch vernachlässigt.
- Der Strombedarf für Umwälzpumpe, Regelung, etc. beim Latentwärmespeicher wird sowohl bei der Be- als auch bei der Endladestation für einen durchschnittlichen Zyklus zugerechnet. Für den Strom wurde als Bezugsort Österreich gewählt. (GEMIS Datensatz EL-KW-Park-A-2004)

## 8.4 Sachbilanz

### 8.4.1 Computerprogramm GEMIS für die Sachbilanz

Als Hilfsmittel für die Erstellung von Sachbilanzen gibt es verschiedene Computerprogramme und Datenbanken. Insbesondere im deutschsprachigen Raum stellt GEMIS (Globales Emissions Modell Integrierter Systeme), welches ein umfassendes Analysemodell von Umwelteffekten darstellt, eines der bekanntesten Tools dar. Das Basis-Programm steht auf der Homepage des Öko Institutes Deutschland

kostenlos zum Download zur Verfügung<sup>66</sup>. GEMIS Österreich (kostenpflichtig) ist vom österreichischen Umweltbundesamt mit österreichspezifischen Daten und Datensätzen erweitert worden. Für die Bearbeitung des Projektes wurde daher GEMIS Österreich erworben und damit die Sachbilanz erstellt. Nähere Informationen zu GEMIS sind unter <http://www.oeko.de/service/GEMIS/> zu finden.

### **Erläuterung zu wichtigen ausgewiesene Ergebnissen der Sachbilanz:**<sup>67</sup>

#### CO<sub>2</sub>

(Kohlendioxid) ist das quantitativ wichtigste Treibhausgas (THG), das auch durch menschliche Aktivitäten (insbesondere Verbrennung fossiler Energieträger) freigesetzt wird.

#### CO<sub>2</sub>-Äquivalente

sind das Ergebnis der Aggregation von Treibhausgasen (THG) nach ihrem Treibhauspotenzial (THP) und stellen einen Indikator für das Umweltproblemfeld "Klima" dar.

#### THG, Treibhausgase

Treibhausgase (THG) sind gasförmige Emissionen, die zum Treibhauseffekt beitragen. Sie gehören zu den relevanten Umweltindikatoren und lassen sich zum relativen Treibhauspotenzial (THP) als Summenparameter aggregieren. Wichtige THG sind Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) sowie Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), Perflourcarbon (PFC) und Hydrofluorcarbon (HFC) (sog. Kyoto-Gase).

#### SO<sub>2</sub>-Äquivalent

ist der quantitative Ausdruck des Versauerungspotenzials, bezogen auf das "Leit"-Gas Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). In die SO<sub>2</sub>-Äquivalente gehen neben SO<sub>2</sub> auch die Luftschadstoffe Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF), Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) ein.

#### TOPP – Öko-Institut Datensätze

(tropospheric ozone precursor potential equivalents = troposphärische Ozon-Vorläufer-Äquivalente) sind der quantitative Ausdruck des bodennahen Ozonbildungspotenzials und werden aus der relativen Ozonbildungsrate der Luftschadstoffe Kohlenmonoxid (CO), NMVOC und Stickoxide sowie des Treibhausgases Methan gebildet. Je größer die Menge an troposphärischen Ozon-Vorläufer-Äquivalenten, umso höher ist die Gefahr von Sommersmog.

#### NMVOC

sind flüchtige Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe (non-methane volatile organic compounds).

#### KEA

ist der kumulierte Energie-Aufwand, eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an Energieressourcen (Primärenergien) zur Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung. Im KEA sind auch die Energiemengen enthalten, die mit der Herstellung z.B. von Holz als Baustoff oder Papier verbunden sind, auch wenn die Energie als Heizwert im Produkt noch zur Verfügung steht. Ähnlich umfasst der KEA auch den gesamten Energieaufwand an Rohöl oder Erdgas bei der Kunststoffherstellung. Der KEA wurde mit der VDI-Richtlinie 4600 methodisch beschrieben.

---

<sup>66</sup> vgl. Öko Institut Deutschland: 2006, <http://www.oeko.de/service/GEMIS/de/index.htm>

<sup>67</sup> vgl. [www.probas.umweltbundesamt.de](http://www.probas.umweltbundesamt.de)

KEV – Öko-Institut Datensätze

ist der kumulierte Energie-Verbrauch, ähnlich wie KEA eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an Energieressourcen (Primärenergien) zur Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung. Der KEV kann unterteilt werden in den Anteil erneuerbarer und nichterneuerbarer Primärenergien. Anders als der KEA werden im KEV die Energieanteile, die bei stofflich genutzten Energieträgern als Heizwert auftreten (z.B. Holz als Baustoff, Kunststoffe, Papier) nicht mit einbezogen, da diese noch für eine energetische Nutzung zur Verfügung stehen. Der KEV unterscheidet sich also vom KEA darin, dass er den erforderlichen energetischen Aufwand zur Bereitstellung benötigter Stoffe ohne ihren Heizwert umfasst.

**8.4.2 Lebenszyklusanalyse der Wärmeversorgung im Container**

Als Basis für die Erstellung der Sachbilanz ist eine Übersicht über den Produktlebenszyklus notwendig. Dieser wurde zum leichteren Verständnis grafisch aufbereitet. Ausgehend von der Produktion des Latentwärmespeichers stellt der dauernde Transport des Containers zwischen Abwärmelieferant und Wärmekunde den wichtigsten Bilanzposten dar. Nach der Lebensdauer von ca. 3.000 Zyklen (entspricht einer Lebensdauer von 15 Jahren mit 200 Zyklen) wird der Container der Entsorgung bzw. dem Recycling zugeführt.

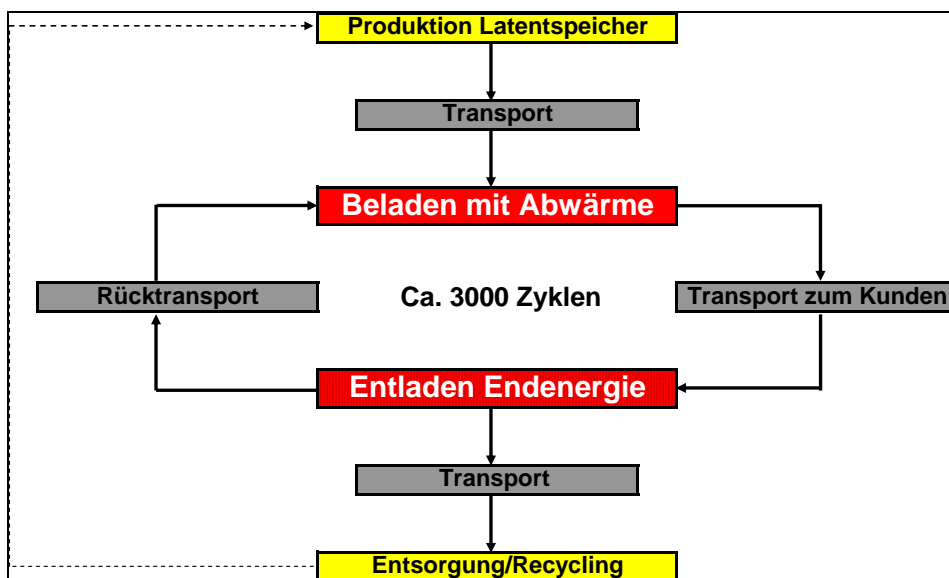


Abb. 33: Lebenszyklus eines LWS-Container

Die Produktion des LKW bzw. der Be- und Entladestation ist in dieser Darstellung nicht enthalten. Die Produktion des LKW ist in der Teilbilanz „Wärmelieferung“ mitbilanziert, die bauseitigen Maßnahmen für die Be- und Entladestation wurden aufgrund ihrer geringfügigen Einflüsse auf das Gesamtsystem vernachlässigt.

**8.4.3 Produktion des Latentwärmespeichers**

Für die Produktion des Latentwärmespeichers und des Containers (System Schneider) werden folgende Materialien benötigt:

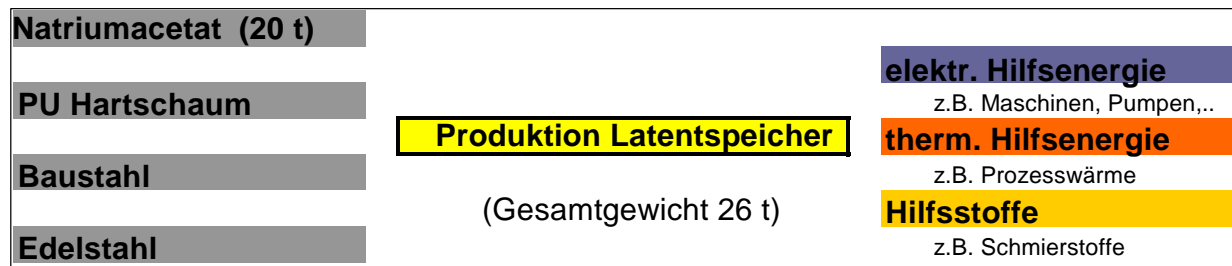


Abb. 34: Stoff- und Mengenbilanz eines LWS-Containers

Im weiteren Verlauf wird nur die Produktion des Kernbestandteiles „Natriumacetat“ grafisch aufbereitet. Für die Materialien Baustahl, Edelstahl und PU-Hartschaum sind in GEMIS entsprechende Datensätze enthalten: Stahl: 'Metall\Stahl-D-WarmWalz'; bzw. 'Metall\Stahl-D-Blech' Polyurethan: 'Kunststoff\PUR-Hartschaum'.

### Produktion Natriumacetat

Für die Produktion von Natriumacetat (NaAc), dem Salz der Essigsäure, gibt es vor allem zwei großtechnisch angewendete Verfahren. Einmal mittels Natriumcarbonat (Soda,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) und einmal mittels Natronlauge (NaOH). Das Verfahren mit Soda ist das kostengünstigere Verfahren, das Verfahren mit Natronlauge bezüglich  $\text{CO}_2$  das vorteilhaftere Verfahren, da kein zusätzliches  $\text{CO}_2$  in der Reaktionsgleichung anfällt.

#### a) Natriumacetatproduktion mittels Natronlauge

9,76 t Natronlauge + 14,63 t Essigsäure -> 20 t Natriumacetat + 4,39 t Wasser

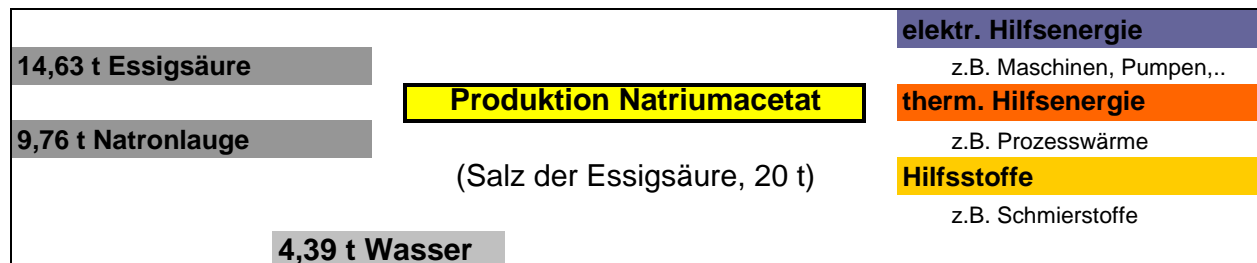


Abb. 35: Stoff- und Mengenbilanz für Natriumacetat (Basis: Natronlauge)

Dieser Produktionsprozess ist im GEMIS nicht enthalten. Im GEMIS ist nur die Produktion von Natronlauge enthalten. Die Daten für Essigsäure wurden von der FH Göttingen zur Verfügung gestellt (Datenbasis: ecoinvent<sup>68</sup>). Der eigentliche Prozess der Produktion von Natriumacetat (Hilfsenergie und Hilfsstoffe) konnte nicht nachvollzogen werden und wurde vernachlässigt.

#### b) Natriumacetatproduktion mittels Natriumcarbonat (Soda)

12,93 t Soda + 14,63 t Essigsäure -> 20 t Natriumacetat + 5,36 t  $\text{CO}_2$  + 2,2 t Wasser

<sup>68</sup> [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch)

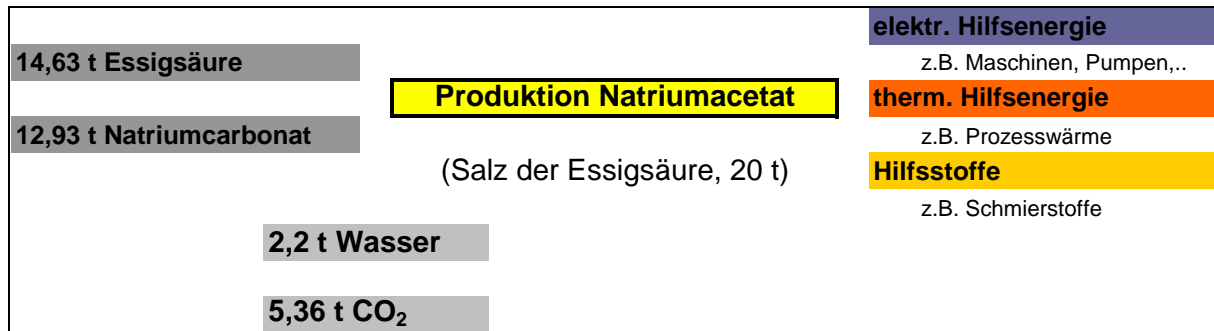


Abb. 36: Stoff- und Mengenbilanz für Natriumacetat (Basis: Soda)

Dieser Produktionsprozess ist im GEMIS nicht enthalten. Im GEMIS ist nur die Produktion von Natriumcarbonat (Soda) enthalten. Die Daten für Essigsäure wurden von der FH Göttingen zur Verfügung gestellt (Datenbasis: ecoinvent). Der eigentliche Prozess der Produktion von Natriumacetat (Hilfsenergie und Hilfsstoffe) konnte nicht nachvollzogen werden und wurde vernachlässigt. Die im Prozess entstehenden 268 kg CO<sub>2</sub> pro Tonne Natriumacetat wurden zu 100 % dem Natriumacetat zugerechnet.

**Produktion Essigsäure**

7,8 t Methanol + 6,83 t Kohlenmonoxyd -> 14,63 t Essigsäure

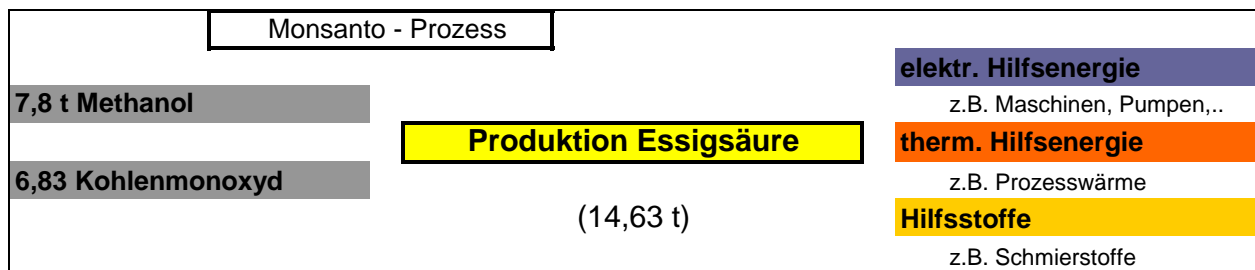


Abb. 37: Stoff- und Mengenbilanz für Essigsäure (Monsanto Prozess)

Essigsäure ist in GEMIS nicht als Produkt enthalten. Die Daten wurden von der FH Göttingen zur Verfügung gestellt (Datenbasis ecoinvent).

**Produktion Soda (Dekahydrat des Natriumcarbonat):**

Mengenbilanz nach dem Solvay-Verfahren: (inkl. internem „Recycling“)

14,26 t NaCl + 5,365 t CO<sub>2</sub> + 2,2 t Wasser -> 12,93 t Soda

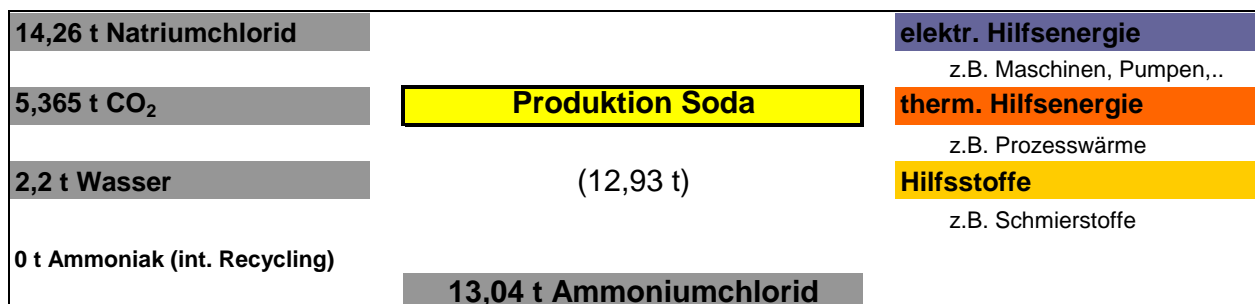


Abb. 38: Stoff- und Mengenbilanz für Soda (Solvay-Verfahren)

Dieser Produktionsprozess ist im GEMIS enthalten. Da es sich um ein deutsches Produkt handelt, wurde der deutsche Mix für die Erzeugung von Soda verwendet (GEMIS Datensatz: 'Chem-Anorg\Soda').

### Produktion Natronlauge

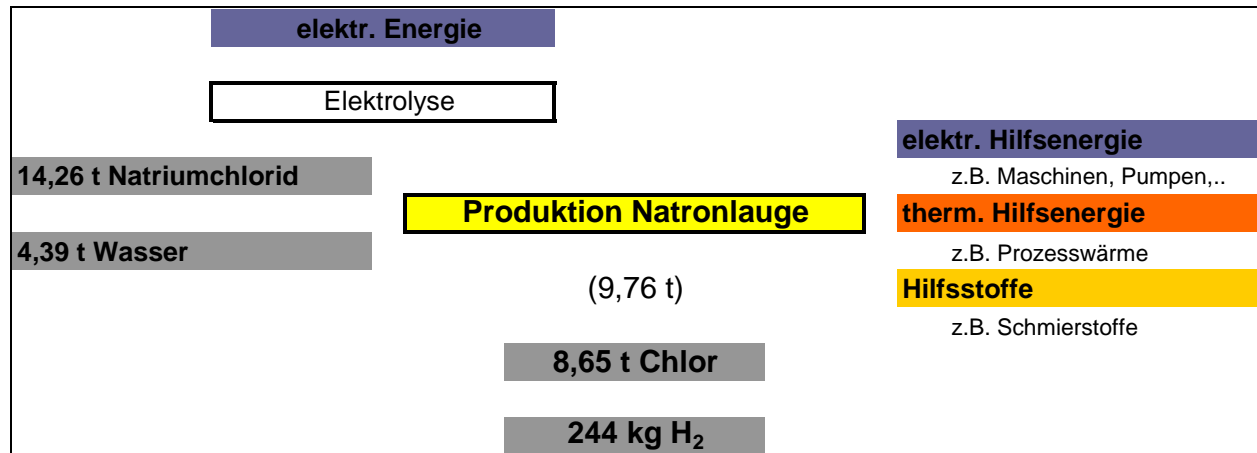


Abb. 39: Stoff- und Mengenbilanz für Natronlauge (Elektrolyseverfahren)

Dieser Produktionsprozess ist im GEMIS enthalten. Da es sich um ein deutsches Produkt handelt, wurde der deutsche Mix für die Erzeugung von Natronlauge verwendet (GEMIS Datensatz: 'Chem-anorg\NaOH-mix-D').

#### 8.4.4 Wärmelieferung

Bei der eigentlichen Wärmelieferung bildet der notwendige Transport des Containers zwischen Abwärmequelle und Verbraucher den Hauptposten der Bilanz. Die Produktion des LKW ist in GEMIS enthalten. Die bauseitig notwendigen Maßnahmen für die Wärmeauskopplung beschränken sich auf eine Anbindung (ca. 30 m Leitung DN 80, Pumpe, etc.) des Beladungsstandortes an das bestehende Wärmeversorgungssystem der Montanwerke. Dieser Bilanzposten wird ebenso wie der Anschluss auf der Abnehmerseite aufgrund der Geringfügigkeit vernachlässigt. Der Strombedarf für die zusätzliche Pumpe zum Beladen (10 kWh/Zyklus<sup>69</sup>) bzw. Entladen des Speichers (8 kWh/Zyklus<sup>70</sup>) wird in die Bilanz mit einbezogen, da der Strombedarf auch bei der konventionellen Wärmeerzeugung enthalten ist. Die Ersparnisse aufgrund geringerer Pumpleistung für die sonst notwendige Kühlung wurden nicht angesetzt. Bei den Pumpen wurde, um auf der sicheren Seite zu bleiben, von Standardpumpen und nicht von Hocheffizienzpumpen (Permanentmagnetmotor – EC-Motor) ausgegangen. Durch diese könnte der Strombedarf ca. um 30–50 % gesenkt werden.

<sup>69</sup> Pumpenergie beim Laden: 2 kW \* 8000 Std. = 16.000 kWh pro Jahr für 16.000 Beladungen (8 Container á 200 Zyklen), entsprechend 10 kWh Strom pro Beladung.

<sup>70</sup> Pumpenergie beim Kunden: 0,2 kW \* 8000 Std. = 1600 kWh pro Jahr, entsprechend 8 kWh Strom pro Entladung. Gesamt: 18 kWh/Zyklus bzw. 0,09 kWh Strom pro MWh Wärme. Die Energie für Regelung, Messsysteme, etc. ist in diesen Betrachtungen bereits enthalten.

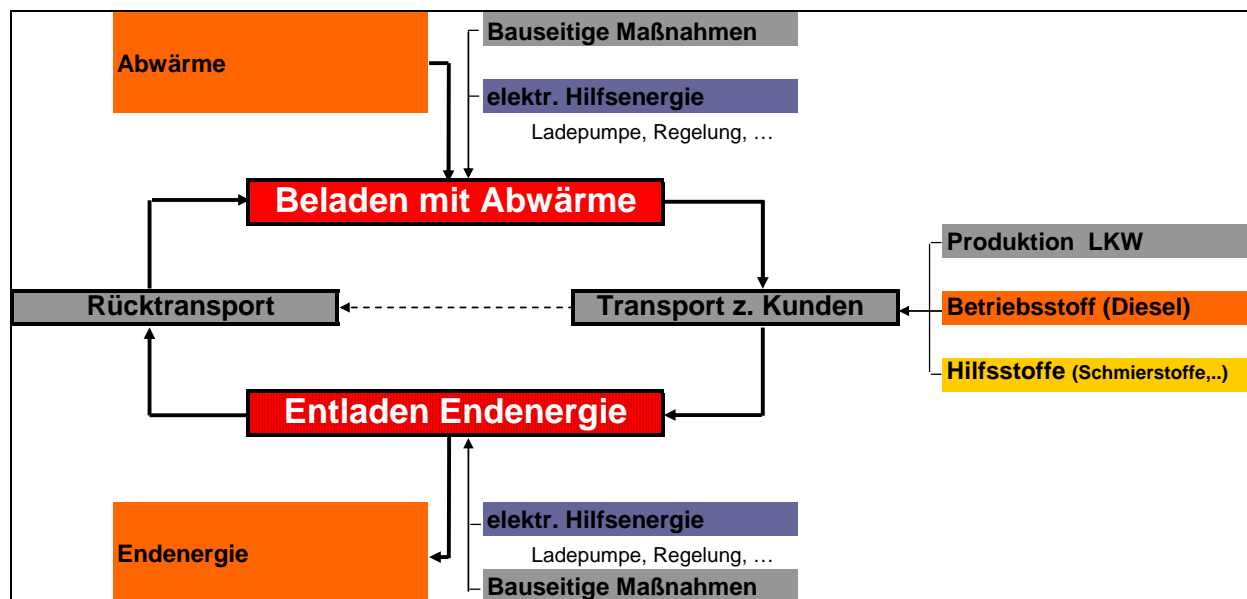


Abb. 40: Relevante Einflüsse beim LWS-Wärmeliefersystem

## 8.4.5 Sachbilanzvergleich – Ermittlung der ökologisch vertretbaren Transportkilometer

### 8.4.5.1 Ölkessel

Die ökologisch vertretbaren Transportkilometer können im Wesentlichen über zwei Methoden abgeschätzt werden: zunächst über den Primärenergievergleich einer Heizungsanlage mit Heizöl und einem Diesellastkraftwagen zum Transport des Latentwärmespeichers, weiters über den Schadstoffvergleich von Heizungsanlage und dem Transport. Dabei stellt der Schadstoffvergleich den kritischen Bereich dar, weil die Schadstoffe bei der Verbrennung in einem Motor – insbesondere Stickoxide und Partikel – deutlich höher sind als bei der Verbrennung in einem Heizkessel.

### 8.4.5.2 Einfacher Primärenergievergleich:

Der einfache Primärenergievergleich (ohne Einrechnung der Herstellung) zwischen der Wärmeversorgung im Container und einer Ölheizung ergibt folgendes Ergebnis:

- Energieinhalt des Containers: 2,0 MWh entspricht ca. 200 Liter Heizöl EL (theoretischer Energieinhalt 2,5 MWh – praktischer Ansatz (siehe Abschnitt 8.3) 2,0 MWh)
- Durchschnittsverbrauch eines Diesellastkraftwagens > 32t: 27 l / 100 km<sup>71</sup>
- Maximal Entfernung (also Hin- und Rücktransport): 740 km

Daraus ergibt sich eine theoretische, einfache Entfernung der Abnehmer von 370 Kilometern.

Das Versorgungssystem ist primärenergetisch gesehen gegenüber den wirtschaftlich angestrebten, einfachen Entfernungen von max. 15 km sicher positiv.

### 8.4.5.3 Max. Transportkilometer aus dem Emissionsvergleich mit GEMIS:

Die maximalen Transportkilometer aus dem Emissionsvergleich mit GEMIS ergeben naturgemäß deutlich geringere ökologische Entfernungen.

<sup>71</sup> vgl. Infrac Bern: 2006, <http://www.hbefa.net/Tools/DE/MainSite.asp> ; 223,25 g/km = 27 l / 100km

**Bei Erzeugung Natriumacetat über Soda:** (max. Gesamtkilometer für Hin- und Rückfahrt)

| Wärmelieferung gegenüber Heizöl                  | km            | km            | km            | km         |
|--|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Emissionen in die Luft</b>                    |               |               |               |            |
| <b>Erz. Natriumacetat über Soda</b>              | <b>Euro 3</b> | <b>Euro 4</b> | <b>Euro 5</b> | <b>ÖBB</b> |
| SO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 98            | 136           | 213           | 3.631      |
| TOPP-Äquivalent                                  | 59            | 83            | <b>133</b>    | 4.235      |
| SO <sub>2</sub>                                  | 515           | 513           | 499           | 3.342      |
| NO <sub>x</sub>                                  | <b>55</b>     | <b>80</b>     | 138           | 4.086      |
| HCl  | 1.512         | 1.505         | 1.455         | <b>397</b> |
| HF   | 1.721         | 1.713         | 1.660         | 439        |
| Staub  | 111           | 245           | 242           | 1.870      |
| <b>Treibhausrelevante Emissionen in die Luft</b> |               |               |               |            |
| CO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 532           | 529           | 514           | 10.232     |
| CO <sub>2</sub>                                  | 532           | 530           | 514           | 10.174     |
| <b>Ressourcenanspruchnahme</b>                   |               |               |               |            |
| KEA-Summe  | 528           | 526           | 510           | 1.436      |
| KEV-Summe  | 540           | 538           | 522           | 1.437      |

Tabelle 30: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Heizölfuerung (NaAc aus Soda)

**Bei Erzeugung Natriumacetat über NaOH:** (max. Gesamtkilometer für Hin- und Rückfahrt)

| Wärmelieferung gegenüber Heizöl                  | km            | km            | km            | km         |
|--|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Emissionen in die Luft</b>                    |               |               |               |            |
| <b>Erz. Natriumacetat über NaOH</b>              | <b>Euro 3</b> | <b>Euro 4</b> | <b>Euro 5</b> | <b>ÖBB</b> |
| SO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 100           | 138           | 217           | 3.699      |
| TOPP-Äquivalent                                  | 61            | 84            | <b>136</b>    | 4.312      |
| SO <sub>2</sub>                                  | 526           | 524           | 510           | 3.418      |
| NO <sub>x</sub>                                  | <b>56</b>     | <b>81</b>     | <b>140</b>    | 4.149      |
| HCl  | 1.473         | 1.466         | 1.417         | <b>388</b> |
| HF   | 1.688         | 1.681         | 1.629         | 431        |
| Staub  | 114           | 252           | 249           | 1.922      |
| <b>Treibhausrelevante Emissionen in die Luft</b> |               |               |               |            |
| CO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 536           | 534           | 518           | 10.323     |
| CO <sub>2</sub>                                  | 537           | 535           | 519           | 10.259     |
| <b>Ressourcenanspruchnahme</b>                   |               |               |               |            |
| KEA-Summe  | 530           | 528           | 513           | 1.443      |
| KEV-Summe  | 542           | 540           | 524           | 1.444      |

Tabelle 31: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Heizölfuerung (NaAc aus Natronlauge)

Beim Vergleich mit einem Ölkessel ergeben sich keine besonderen Unterschiede aus der unterschiedlichen Herstellung von Natriumacetat, bzw. stellen wie erwartet die Stickoxide bzw. das TOPP-Äquivalent die kritische Größe dar. Zudem ist ersichtlich, dass die Unterschiede bei den einzelnen EUR-Klassen



insbesondere im Stickoxidbereich liegen. Der Treibstoffbedarf, indirekt ersichtlich durch den CO<sub>2</sub> Vergleich, steigt tendenziell sogar leicht an.

Beim Parameter NO<sub>x</sub> ergibt sich bei einem Vergleich mit einem Brennwertgerät eine deutliche Einschränkung der maximalen Transportkilometer. Rechnet man die NO<sub>x</sub>-Verbesserungen beim Brennwertkessel ein, ergeben sich durch die Verbesserung der Verbrennungswerte von ca. 130 mg/kWh auf 100 mg/kWh bei HEL 80 mg/kWh bei schwefelarmen HEL maximale Transportleistungen von:

| Korr. Brennwertkessel – max. Transportkilometer (gesamt) | Euro 3 | Euro 4 | Euro 5 |
|--|--------|--------|--------|
| NO <sub>x</sub> HEL                                      | 43     | 62     | 86     |
| NO <sub>x</sub> schwefelarm HEL                          | 34     | 50     | 100    |

Tabelle 32: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Heizölfuehrung (Brennwertkessel)

Je nach LKW ergeben sich dadurch bei schwefelarmen HEL maximale Transportleistungen von 34–100 km. Bei der Bahn wären Transportleistungen bis über 350 km ökologisch vertretbar.

#### 8.4.5.4 Gaskessel

Für den Ersatz eines gasbefeuerten Brennwertkessels ergeben sich folgende kritische Entfernungen je nach Erzeugung des Natriumacetates.

**Bei Erzeugung Natriumacetat über Soda:** (max. Gesamtkilometer für Hin- und Rückfahrt)

| Wärmelieferung gegenüber Gas                     | km            | km            | km            | km         |
|--|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Emissionen in die Luft</b>                    |               |               |               |            |
| <b>Erz. Natriumacetat über Soda</b>              | <b>Euro 3</b> | <b>Euro 4</b> | <b>Euro 5</b> | <b>ÖBB</b> |
| SO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 54            | 74            | 117           | 2.009      |
| TOPP-Äquivalent                                  | 63            | 87            | 140           | 4.451      |
| SO <sub>2</sub>                                  | 17            | 17            | 17            | 130        |
| NO <sub>x</sub>                                  | 58            | 83            | 144           | 4.253      |
| HCl  | 1.478         | 1.471         | 1.422         | 389        |
| HF   | 1.238         | 1.233         | 1.195         | 324        |
| Staub  | 59            | 130           | 128           | 1.002      |
| <b>Treibhausrelevante Emissionen in die Luft</b> |               |               |               |            |
| CO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 438           | 436           | 423           | 8.436      |
| CO <sub>2</sub>                                  | 405           | 403           | 391           | 7.759      |
| <b>Ressourceninanspruchnahme</b>                 |               |               |               |            |
| KEA-Summe  | 565           | 563           | 547           | 1.538      |
| KEV-Summe  | 572           | 570           | 553           | 1.542      |

Tabelle 33: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Gasfeuerung (NaAc aus Soda)

**Bei Erzeugung Natriumacetat über NaOH:** (max. Gesamtkilometer für Hin- und Rückfahrt)

| Wärmelieferung gegenüber Gas        | km            | km            | km            | km         |
|-------------------------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| <b>Emissionen in die Luft</b>       |               |               |               |            |
| <b>Erz. Natriumacetat über NaOH</b> | <b>Euro 3</b> | <b>Euro 4</b> | <b>Euro 5</b> | <b>ÖBB</b> |

|  |           |           |           |            |
|--|-----------|-----------|-----------|------------|
| SO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 56        | 77        | 121       | 2.077      |
| TOPP-Äquivalent                                  | 64        | 88        | 142       | 4.529      |
| SO <sub>2</sub>                                  | <b>29</b> | <b>29</b> | <b>28</b> | <b>206</b> |
| NO <sub>x</sub>                                  | 59        | 84        | 146       | 4.316      |
| HCl  | 1.439     | 1.432     | 1.385     | 380        |
| HF   | 1.206     | 1.201     | 1.164     | 316        |
| Staub  | 62        | 137       | 135       | 1.053      |
| <b>Treibhausrelevante Emissionen in die Luft</b> |           |           |           |            |
| CO <sub>2</sub> -Äquivalent                      | 442       | 441       | 428       | 8.527      |
| CO <sub>2</sub>                                  | 410       | 408       | 396       | 7.844      |
| <b>Ressourceninanspruchnahme</b>                 |           |           |           |            |
| KEA-Summe  | 568       | 566       | 549       | 1.545      |
| KEV-Summe  | 575       | 572       | 555       | 1.548      |

Tabelle 34: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Gasfeuerung (NaAc aus Natronlauge)

Bei Ersatz eines gasbefeuerten Heizkessels stellen wie erwartet SO<sub>2</sub> (17 bzw. 29 km Gesamtstrecke, je nach Art der Natriumacetatherstellung) und Staub die kritischen Größen dar, da diese bei einem Gaskessel nicht bzw. nur in sehr geringem Ausmaß anfallen. Wenn man statt nur das SO<sub>2</sub> zu betrachten den Summenwert SO<sub>2</sub>-Äquivalent betrachtet, sieht man jedoch, dass der ökologische Einsatzbereiches deutlich größer wird. Als Kompromiss zwischen SO<sub>2</sub> und dem Summenwert SO<sub>2</sub>-Äquivalent erscheint eine Vergrößerung des zulässigen Einsatzbereiches auch bei der Produktion des Natriumacetats über Soda bis 25 km gerechtfertigt.

Beim Gas zeigt sich, dass insbesondere die Vorstufen (Gewinnung und Transport des Gases) in der Bilanz beim SO<sub>2</sub>-Äquivalent und Staub deutlich durchschlagen. Dies führt zur Problematik zwischen regionaler und gesamthafter Betrachtung. Ohne die Vorstufen des Gas-Lebenszyklus würde regional betrachtet der Transport des Containers deutlich höhere Emissionsbelastungen haben als durch die Entlastungen bei der Feuerung entstehen. Erst gesamthaft inkl. Einrechnung der Gasgewinnung und dessen Transportes gesehen, ist der Container auch von der Emissionsseite vorteilhaft. Es entsteht dadurch die Diskrepanz zwischen regionaler und globaler Vorteilhaftigkeit.

Der Einsatz des Containers zum Ersatz von erdgasbefeuerten Kesseln kann daher nur bedingt empfohlen werden.

#### 8.4.5.5 Abschätzung gegenüber Nah- bzw. Fernwärmenetz:

Ausgehend von der Erfahrung des Umweltbundesamtes<sup>72</sup>, dass die Erstellung der Nahwärmetrasse im Verhältnis zur Energielieferung normalerweise völlig unbedeutend ist und der Annahme, dass die Erzeugung und der Transport der Speicher zum Einsatzort in etwa gleich viel Energie und Schadstoffe verursacht wie die Erstellung der Trasse, ergibt sich für den laufenden Einsatz eine reine Gegenüberstellung des Containertransportes mit dem Stromaufwand der Trassenversorgung. Die Wärmeverluste der Trasse können aufgrund der Nutzung von reiner Abwärme unberücksichtigt bleiben (primärenergetisch).

Daraus lässt sich ableiten, dass bei normaler Auslastung eine Nahwärmetrasse immer ökologischer ist als eine Versorgung mit einem Container, da der Pumpstrom im Verhältnis zur Transportenergie nur

<sup>72</sup> Gespräch mit DI Pölz vom Umweltbundesamt

einen Bruchteil ausmacht. Der Container sollte daher erst in den Bereichen eingesetzt werden, in denen eine wirtschaftliche Versorgung über ein Nah- bzw. Fernwärmenetz nicht mehr gegeben ist. Dies ist immer dann gegeben, wenn die Abnehmer deutlich abseits des Netzes liegen.

Der Container kann zusätzlich jene Objekte erschließen, die nur zeitweise größere Wärmemengen benötigen. Entweder zur Belieferung innerhalb eines Jahres oder wenn Objekte nur noch eine zeitlich begrenzte Nutzung haben. In den Zwischenzeiten bzw. danach kann der Container bei anderen Objekten verwendet werden. Der Container kann eine sinnvolle Ergänzung zu einem bestehenden Netz darstellen und auch Zwischenversorgungen gewährleisten.

#### 8.4.5.6 Abschätzung gegenüber konventionellen mobilen Wärmeversorgungen:

Der Container hat auch immer dann ökologische Vorteile, wenn er eine temporäre Versorgung (z.B. für ein Veranstaltungszelt) sicherstellt, bei denen ansonsten mobile Heizzentralen zum Einsatz kommen. Die emissions- und geräuschfreie Wärmeversorgung im Container ist für diese Bereiche fast immer ökologischer als die Versorgung mit einem mobilen Kessel, da auch dieser meist lange Transportwege bis zum Einsatzort aufweist. Diese Transportleistung könnte theoretisch von der gesamten Transportleistung des Containersystems abgezogen werden. In der Praxis kann man jedoch von etwa gleichen Entfernungen für den Container und einer mobilen Heizzentrale ausgehen. Wird nur ein Containerzyklus benötigt ist dieser immer ökologischer als ein mobiler Heizkessel. Mit größer werdender Einsatzzeit nähert sich das System schließlich dem Ersatz einer stationären Versorgung an.

## 8.5 Wirkungsabschätzung

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Auswirkungen auf die Umwelt zu bestimmen. Die wichtigste ist die Einordnung der Auswirkungen in Wirkungskategorien. Vom deutschen Umweltbundesamt wurden 14 Wirkungskategorien festgelegt:<sup>73</sup>

1. **Treibhauseffekt:** Der Treibhauseffekt führt zur Erwärmung der Erdoberfläche, was zu zahlreichen Umweltschädigungen, bspw. dem Abschmelzen der Polkappen, führen kann. Für diese Schädigung sind Treibhausgase wie CO<sub>2</sub>, Methan, FCKW, etc. verantwortlich.
2. **Versauerung:** Durch Schwefeldioxid, Stickoxid und Ammoniak kommt es zu einer Versauerung der Böden und des Wassers. Dies führt zu Schädigung der Pflanzen- und Tierwelt.
3. **Ozonabbau:** Die Ozonschicht dient dem Schutz der Menschen und der Umwelt vor UV-Strahlung. Diese wird durch Emissionen (z.B. FCKW, Halone, etc.), die vom Menschen verursacht werden, zerstört.
4. **Belästigung:** Bspw. durch Lärm und Geruch.
5. **Bildung von Photooxidantien:** Bspw. die Bildung von gesundheitsschädlichen Stoffen wie bodennahem Ozon, etc.
6. **Humantoxizität:** Dies sind Auswirkungen, die den Menschen negativ beeinflussen und nicht in den anderen Kategorien erfasst sind.
7. **Inanspruchnahme von Ressourcen:** Verbrauch von Rohstoffen, vor allem Rohstoffe, die nicht erneuerbar sind.
8. **Landschaftsverbrauch:** Darunter wird der Verbrauch der immer knapper werdenden Flächen auf der Erde bewertet.

<sup>73</sup> vgl. Scholz W., Hiese W.: 1999, S. 885 ff

9. **Abwärme:** Globale Erwärmung aufgrund des Ausstoßes von Abwärme. (Dieser Effekt ist gegenüber der Einstrahlung der Sonne äußerst gering.)
10. **Beeinträchtigung der Naturschönheit und der Artenvielfalt**
11. **Eutrophierung der Gewässer:** Darunter wird die Zufuhr von Gift- und Nährstoffen in die Gewässer verstanden. Dadurch kommt es bspw. zu erhöhtem Algenwachstum und zur Verlandung von Gewässern.
12. **Feste Abfälle:** Unterteilt in gefährliche und nicht gefährliche Abfälle.
13. **Gesundheitsgefährdung am Arbeitsplatz**
14. **Ökotoxizität:** Dies sind Auswirkungen von chemischen Verbindungen auf die Umwelt.

Nachfolgend werden mögliche besondere Auswirkungen und Gefahren durch den Wärmetransport im Latentwärmespeicher auf Mensch und Umwelt nach Abschnitten des Lebenszyklus angeführt, eingeteilt in Herstellung, Betrieb und Entsorgung. Die besonderen Auswirkungen werden zuerst gegenüber einer klassischen Versorgung mit einem stationären Heizkessel und anschließend gegenüber einer Nahwärmetrasse betrachtet.

Hinweis: Die Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen und klassischen Schadstoffe werden hier nicht eigens behandelt, da es ja um den Vergleich von zwei Heiztechnologien mit ähnlichen Emissionen geht und die Auswirkungen der Schadstoffe für beide Systeme gleichermaßen gelten. Für diese Bereiche sind die Sachbilanz bzw. die maximalen Transportkilometer die direkte Entscheidungsgrundlage.

- **Herstellung:** Für die Herstellung der Container werden nur unproblematische Materialien in größeren Mengen benötigt. Dazu gehören Stahl, Stahlbleche, Edelstahlbleche, Dämmstoffe und Latentwärmespeichermedien. Das Speichermedium Natriumacetat gilt als nicht toxisch. Von der Produktion des Latentmaterials „Natriumacetat“ bzw. deren Vorstufen geht laut Information der chem. Industrie keine besondere Gefahrenquelle aus. Auch in der Literatur konnte kein Hinweis auf eine besondere Gefahr bei der Produktion des Natriumacetats gefunden werden.  
Gegenüber der Realisierung einer trassengebundenen Wärmeversorgung hat der Latentwärmespeicher den Vorteil, keine besonderen baulichen Maßnahmen im Versorgungsgebiet (keine Trasse) zu benötigen.
- **Betrieb:** In diesem Teilbereich treten aufgrund des Transportes insbesondere zusätzliche Lärmbelastungen für die Bevölkerung auf. Die zusätzliche Belastung ist mit ca. 400 LKW Fahrten pro Jahr und Container zumindest regional nicht unbeträchtlich (200 Zyklen mit Hin- und Rückfahrt). Von der Gefahrenseite ist der Wärmetransport mit Natriumacetat wesentlich unproblematischer als der Transport des Heizöls per LKW – auch wenn hierfür nur ein Bruchteil der Fahrten benötigt wird. Gegenüber Erdgas besteht kein besonderer Vorteil beim Gefahrenpotential durch den Transport. Da die Erdgasanlage im Betrieb ja weiterhin als Spitzenlast bzw. Backupsystem benötigt wird, ist jedoch auch kein Bonus von der Sicherheitsseite (verminderte Explosionsgefahr) für den Latentwärmespeicher gegeben.  
Gegenüber einem Nahwärmenetz ist ein Latentwärmespeicher in der Betriebsphase natürlich deutlich im Nachteil, da ein Nahwärmenetz im laufenden Betrieb keine spürbaren Auswirkungen für die Bevölkerung und die Umwelt hat.
- **Entsorgung:** Die Entsorgung sollte aufgrund des ungiftigen Speichermaterials und der sonstigen recyclebaren Materialien zu keinen besonderen negativen Auswirkungen und Gefahren führen. Auch von dieser Seite spricht nichts gegen den Einsatz dieser Technologie.

## 8.6 Abschätzung der technologischen Veränderungen

- Bei einem Ersatz von Erdöl bzw. Erdgas zur Wärmeversorgung kann davon ausgegangen werden, dass die zukünftigen technologischen Veränderungen den Einsatz des Containersystem tendenziell verbessern, da die Verbesserungspotentiale auf der Transportseite (Dieselmotor-entwicklung) deutlich größer als im Kesselbereich (insbesondere auf der Emissionsseite) angesetzt werden können. Die teilweise schon vorgegebene Entwicklung der zulässigen Schadstoffgrenzen bei den LKW (EUR-Klassen) liegt wesentlich über den zu erwartenden weiteren Verbesserungen bei Brennwertkessel.
- Da schon in der jetzigen Berechnung auch für den Heizkessel nahezu schwefelfreie Brennstoffqualitäten angesetzt wurden (Diesel 2005 A) sind hier keine Verschiebungen zu befürchten, da nicht zu erwarten ist, dass Heizöl geringere Schwefelgehalte haben wird als Diesel.
- Transportsysteme mit Erdgas bzw. Hybrid- bzw. Elektromotor oder Biokraftstoffen würden den ökologischen Aktionsradius zum Teil deutlich erweitern.
- Beim möglichen Einsatz von flüssigen Bio-Brennstoffen auf der Heizungsseite kommt es zu keinen wesentlichen Verschiebungen, wenn die gleichen Bio-Brennstoffe auch auf der Transportseite eingesetzt werden können.
- Beim Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen auf der Abnehmerseite müsste das Gesamtsystem unter Einbeziehung der gesamten Stromwirtschaft neu bewertet werden. Tendenziell schränken diese Systeme jedoch den Aktionsradius des Latentwärmespeichers ein.
- Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz würde die Bilanz verschlechtern und den Aktionsradius einschränken.
- Derzeit ist keine technologische Veränderung der Energiesysteme in Sicht, die eine optimierte Abwärmenutzung mit einem Containersystem grundsätzlich obsolet machen würde.

## 8.7 Auswertung – Resümee der Ökobilanz

Die Schadstoffbilanz und nicht die Primärenergie- bzw. CO<sub>2</sub>-Bilanz stellt die kritische Größe bei der Betrachtung der mobilen Wärmeversorgung auf Basis von Latentwärmespeichern dar.

Bei ölbefeuerten Kessel ist die beschränkende Größe aufgrund der ähnlichen Brennstoffzusammensetzung das verbrennungstechnisch bedingte Stickoxid. Die Einsatzgrenze ist relativ unabhängig von den beiden möglichen Produktionsprozessen bei Natriumacetat.

Der Wärmetransport im Container stellt innerhalb einer Transportleistung für die Hin- und Rückfahrt von ca. 34–100 km (LKW EUR3–EUR5) bei Ersatz eines Öl-Brennwertkessels mit schwefelarmen HEL die gesamtökologisch eindeutig bessere Energieversorgungsvariante dar. Der Transport mit der Bahn ist bis über Strecken von über 350 km unkritisch.

Bei Ersatz eines gasbefeuerten Heizkessels stellen wie erwartet SO<sub>2</sub> (17 bzw. 29 km Gesamtstrecke mit LKW EUR3, je nach Art der Natriumacetatherstellung) und Staub die kritischen Größen dar, da diese bei einem Gaskessel nicht bzw. nur in sehr geringem Ausmaß anfallen. Wenn man statt nur das SO<sub>2</sub> zu betrachten den Summenwert SO<sub>2</sub>-Äquivalent betrachtet, sieht man jedoch, dass sich der ökologische Einsatzbereich auf bis zu 54 km erhöht. Als Kompromiss zwischen SO<sub>2</sub> und dem Summenwert SO<sub>2</sub>-Äquivalent erscheint eine Vergrößerung des zulässigen Einsatzbereiches auch bei der Produktion des Natriumacetats über Soda bis 25 km gerechtfertigt.

Aus regionaler Sicht (Schadstoffbilanz) ist ein Ersatz von Gaskesseln nur bedingt zu empfehlen, da die erreichten zulässigen Transportkilometer vor allem aus der Gasgewinnung und dem Gastransport entspringen und regional keine Entlastung bringen.

Bei sich verbessernden Speichern (insbesondere höheren Energiedichten) und weiteren Verbesserungen im Transportsystem (z.B. Hybrid- bzw. Elektroantriebe) hat der Wärmetransport im Container ein hohes Potential, das Energiesystem durch die mögliche Nutzung von bisher nicht verwertbarer Abwärme zu verbessern.

Von ökologischer Seite ist jedoch eine Nahwärmetrasse einem Containertransport immer der Vorzug zu geben. Die Containerlösung hat daher insbesondere für Bereiche außerhalb des Versorgungsbereiches eines Nahwärmenetzes seine Stärken. Bei Projekten ist immer erst zu prüfen, ob ein Nahwärmenetz wirtschaftlich möglich ist.

## 9 Konzipierung eines Demonstrationsprojekts im Raum Brixlegg

### 9.1 Grundlagen

Die im Rahmen des Projektes erhobenen Daten wurden zu einem Gesamtkonzept für eine mögliche Realisierung einer LWS-Wärmelieferung verknüpft.

Die Rahmenbedingungen in Brixlegg scheinen für die Realisierung einer Wärmelogistik mittels LWS nicht ideal zu sein, da die Abnehmerstruktur eher schwach ausgebildet ist. Die Region Brixlegg ist gekennzeichnet durch viele kleine bis mittlere Gewerbebetriebe, die vorwiegend Heizwärme, geringe Prozesswärmemengen und ein höheres Temperaturprofil ( $> 80^{\circ}\text{C}$ ) benötigen.

Mit der (theoretischen) Konzipierung eines Demo-Projekts in der Region Brixlegg soll aber untersucht werden, wie sich eine klein strukturierte LWS-Wärmelogistik auf die in Kapitel 7 erhobenen wirtschaftlichen Kenndaten auswirkt.

In den nachfolgenden Kapiteln wird das Konzept näher beschrieben, wobei auf technische, organisatorische und rechtliche Aspekte eingegangen wird und die resultierenden wirtschaftlichen Kenndaten dargestellt werden.

Dieses Konzept bildet ein Beispiel für die Region Brixlegg und ist nur bedingt auf andere Regionen übertragbar, da die jeweiligen lokalen Rahmenbedingungen (Wärmequelle, Abnehmerstruktur) in jedem Fall neu betrachtet werden müssen.

### 9.2 Technisches Konzept

#### 9.2.1 Abnehmerprofile

Aus der Erhebung möglicher Abnehmer wurden vier Betriebe für die Einbindung in ein LWS-Versorgungssystem ausgewählt, wobei die Energiekenndaten in den nachfolgenden Darstellungen immer relativ und nicht in absoluten Zahlen erfolgt, um die Anonymität der Betriebe zu gewährleisten. Die Betriebsstruktur gliedert sich wie folgt:

| Betrieb | Aktuelle Wärmeversorgung | Primärenergie-Bedarf           | Entfernung zur WQ: |
|---------|--------------------------|--------------------------------|--------------------|
| B1      | Erdgas                   | Ca. 200.000 Nm <sup>3</sup> /a | <10 km             |
| B2      | Heizöl                   | 200.000–240.000 l/a            | <10 km             |
| B3      | Erdgas, Solaranlage      | k.A.                           | <15 km             |
| B4      | Wärmepumpe               | 15.000–20.000 l/a              | <15 km             |

Tabelle 35: Angaben zu den ausgewählten Betrieben

**Betrieb 1** Die Energieerzeugung erfolgt durch Erdgas. Es werden ein Dampfkessel für die Produktionswärme und ein weiterer Gaskessel für die Heizwärme eingesetzt.

Kenndaten Energieerzeugung:

|                  |  |
|------------------|--|
| Prozesswärme     | Gasbetriebener Dampfkessel   |
| Temperaturprofil | Prozess 1: Temperatur $85^{\circ}\text{C}$ , mit WRG<br>Prozess 2: Dampfbetriebener Kurzzeiterhitzer $85\text{--}95^{\circ}\text{C}$ |
| Heizwärme        | Konventionelle Gasheizung  |

|                     |  |
|---------------------|--|
|                     | Konvektoren und Lufterhitzer in der Halle<br>Fußbodenheizung und Konvektoren im Büro |
| Warmwasserbereitung | Elektroboiler  |
| LWS-Einbindung      | Grundlast Prozesswärme   |

Tabelle 36: Energieversorgungssysteme Betrieb 1

**Betrieb 2** Der Betrieb setzt für die Energieerzeugung Heizöl ein. Die Energie wird sowohl für Heizzwecke als auch für die Produktionsprozesse eingesetzt.

Kenndaten Energieerzeugung:

|                     |   |
|---------------------|---|
| Prozesswärme        | Ölkessel                                    |
| Temperaturprofil    | Temperatur je nach Prozess 75–85°C, mit WRG |
| Heizwärme           | Konventionelle Ölheizung                    |
| Warmwasserbereitung | k.A.  |
| LWS-Einbindung      | Grundlast Prozesswärme                      |

Tabelle 37: Energieversorgungssysteme Betrieb 2

**Betrieb 3** benötigt vor allem Wärmeenergie im Temperaturbereich unter 40°C. Ein Großteil der Energie wird im Sommer durch eine Solarkollektoranlage zur Verfügung gestellt, während der Wintermonate wird mit Gaskesseln zugeheizt. Dieser Betrieb verfügt über einen speziellen Spülprozess, der täglich gefahren werden muss. Für die Energiebereitstellung dieses Prozesses würde sich der Einsatz einer Wärmeversorgung mittels Latentwärmespeicher eignen.

|                     |  |
|---------------------|--|
| Prozesswärme        | Gas, Solaranlage                         |
| Temperaturprofil    | Spülprozess: Temperatur 30–35°C, täglich |
| Heizwärme           | Gas, Solaranlage<br>Lüftungsheizung      |
| Warmwasserbereitung | Gas                                      |
| LWS-Einbindung      | Versorgung Prozess                       |

Tabelle 38: Energieversorgungssysteme Betrieb 3

**Betrieb 4** benötigt die thermische Energie für die Produktionsprozesse vorwiegend im niederen Temperaturbereich (<50°C) sowie für die Raumheizung.

|                     |   |
|---------------------|---|
| Prozesswärme        | Ölkessel ca. 45 kW                      |
| Temperaturprofil    | Prozessenergie: Temperatur ca. 40–45 °C |
| Heizwärme           | Wärmepumpe<br>Heizkörper                |
| Warmwasserbereitung | k.A.                                    |
| LWS-Einbindung      | Vollversorgung                          |

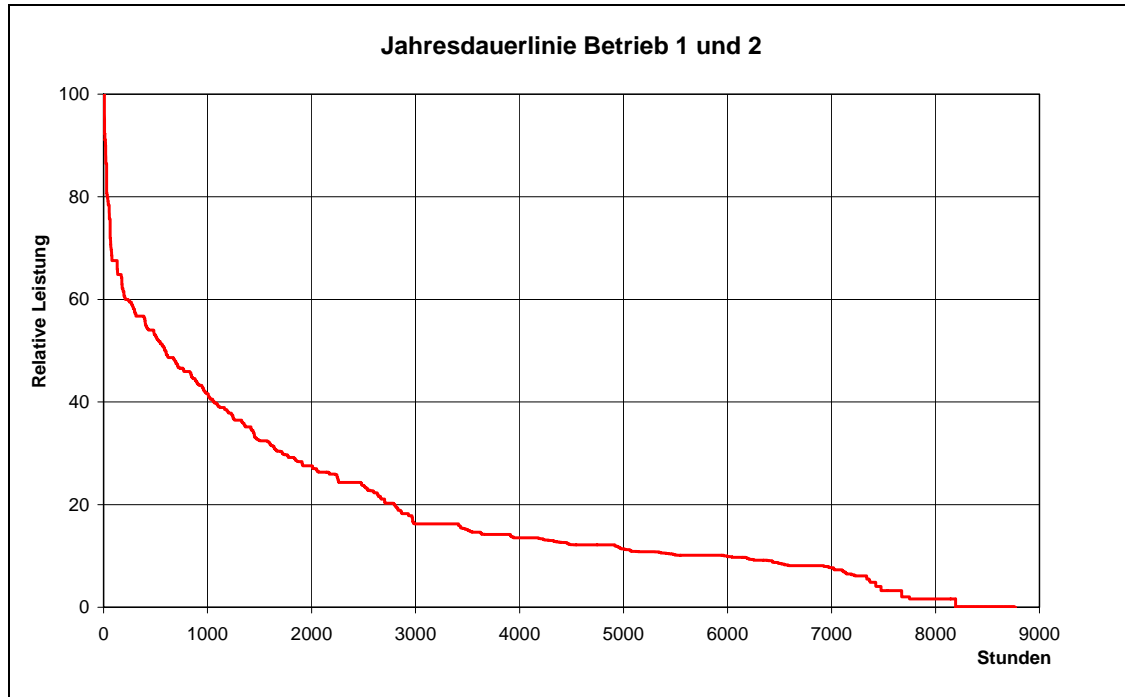
Tabelle 39: Energieversorgungssysteme Betrieb 4

### Jahresdauerlinien

Für die Auslegung des LWS-Versorgungskonzeptes ist die Ermittlung der Jahresdauerlinien erforderlich. In genügend genauer Annäherung kann für die Betriebe 1 und 2 mit Produktions- und Heizwärmebedarf



die nachfolgende Jahresdauerlinie erstellt werden, die für die weiteren Betrachtungen zu Grunde gelegt wird:



**Abb. 41:** Jahresdauerlinie Betrieb 1 und 2 (Prozess- und Heizwärme)

Bei Betrieb 3 mit konstanten Abnahmen werden diese Prozesse in der entsprechenden zeitlichen Abfolge eingesetzt.

Für den Betrieb 4 wird wegen der speziellen Aufteilung zwischen Prozess- und Produktionswärme folgende Annäherung festgelegt:

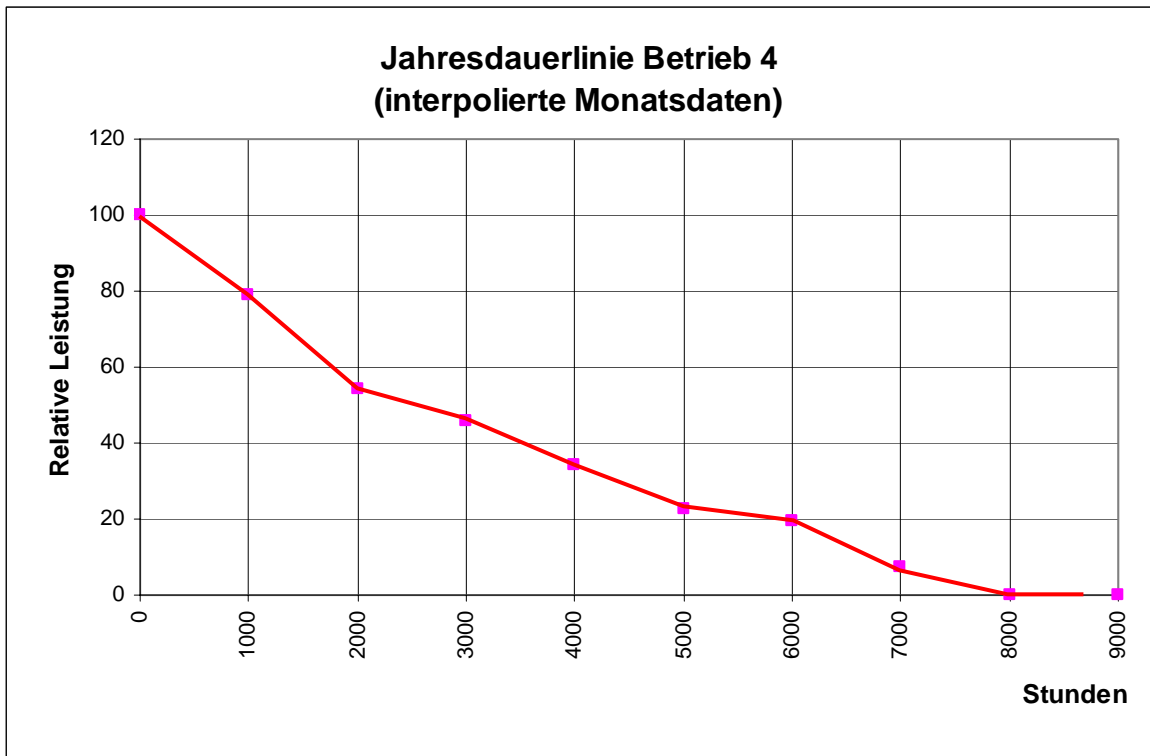


Abb. 42: Angenäherte Lastverteilung (Gesamtenergiebedarf) Betrieb 4

### 9.2.2 Berechnung des Wärmebedarfs / Deckung durch LWS

Der gewählte Latentwärmespeicher ist nur bedingt für den Einsatz in den beschriebenen Betrieben verwendbar, da die abgegebene Temperatur – vor allem bei Betrieb 1 und 2 – zu niedrig ist. Die LWS-Systeme mit höherem Temperaturprofil sind aufgrund der wirtschaftlichen (Investitionskosten) bzw. energetischen (Energiedichte) Kennzahlen auch nur bedingt einsetzbar.

Die benötigten Temperaturprofile wurden bei der Berechnung als sekundär eingestuft, um die prinzipielle organisatorische und wirtschaftliche Machbarkeit einer LWS-Versorgung darzustellen.

Abnehmer 1: Auf Basis der Aufzeichnungen in Betrieb 1 konnte der Prozessenergiebedarf ermittelt werden (Aufzeichnungen der Sommermonate ohne Heizbetrieb). Anhand dieser Daten kann der Energieverlauf dargestellt werden:

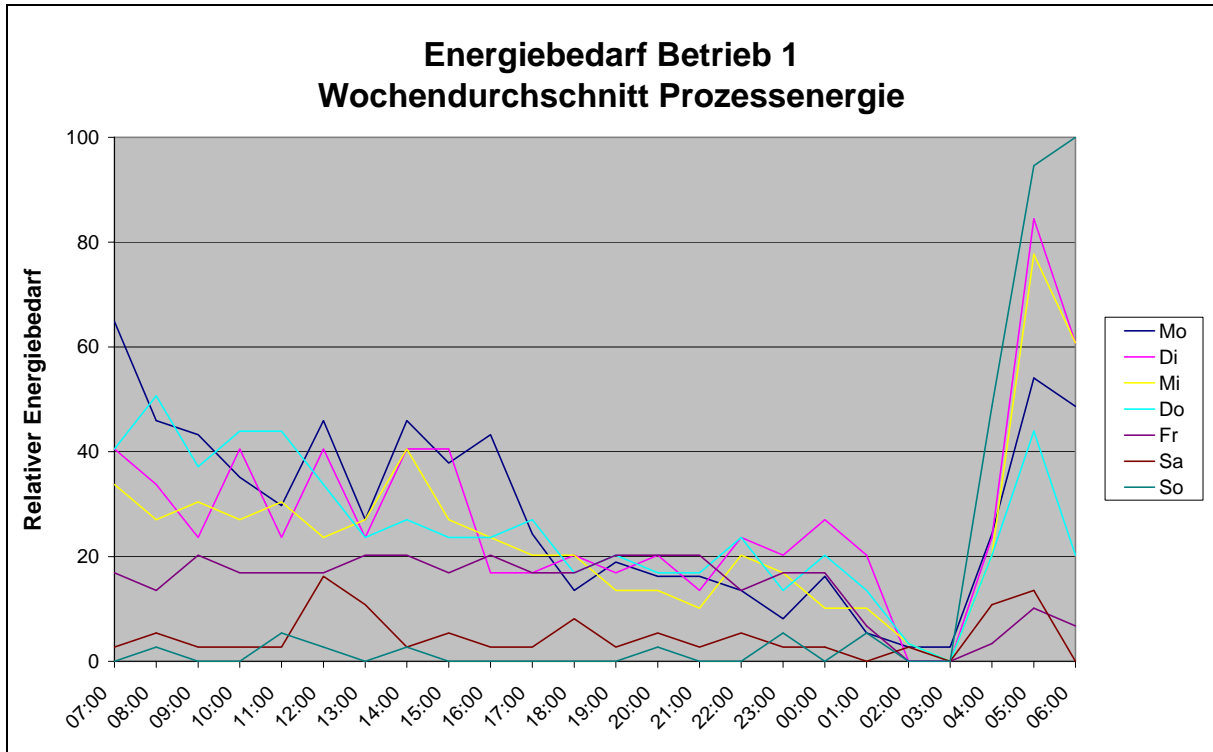


Abb. 43: Relativer Energiebedarf Prozesswärme (Tagesverlauf im Wochendurchschnitt)

Die Einbindung der LWS-Container erfolgt zur Grundlastdeckung, Bedarfsspitzen bzw. die Erhöhung der fehlenden Temperaturdifferenz erfolgt weiterhin mit dem bestehenden Heizsystem:

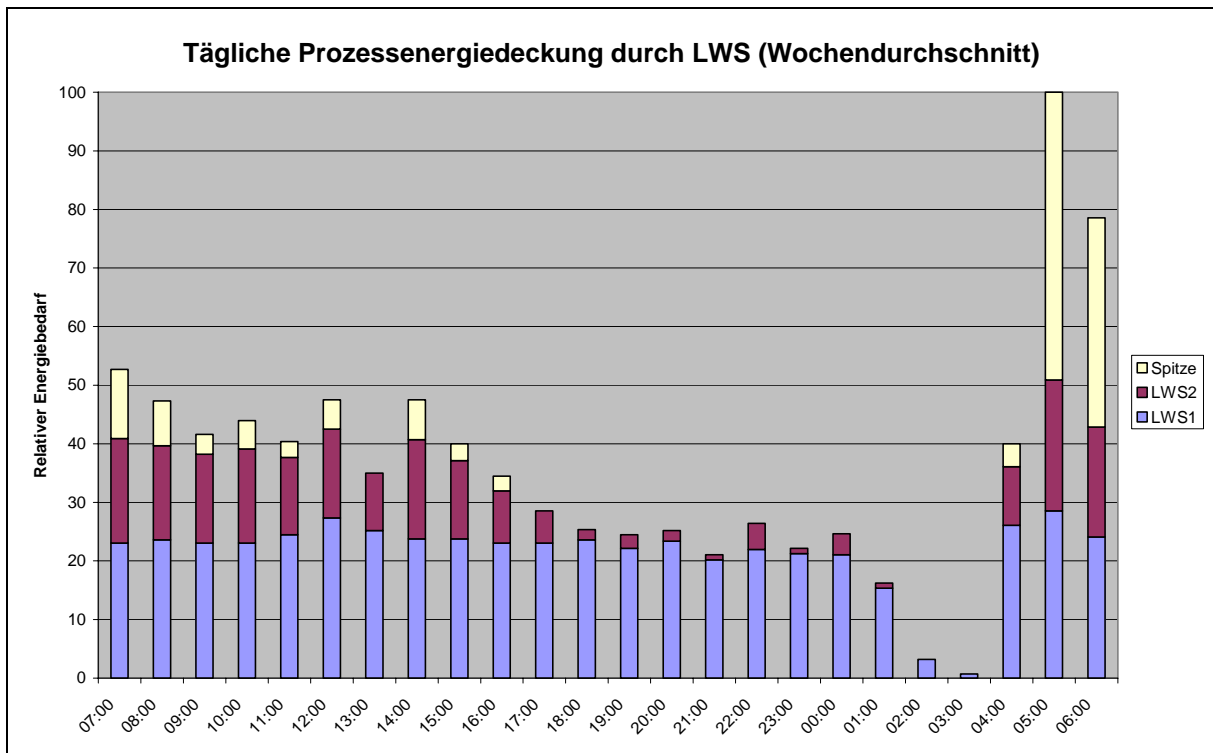


Abb. 44: Verteilung LWS- und Spitzenlastsysteme

Damit ergibt sich folgender Wochendurchschnitt:

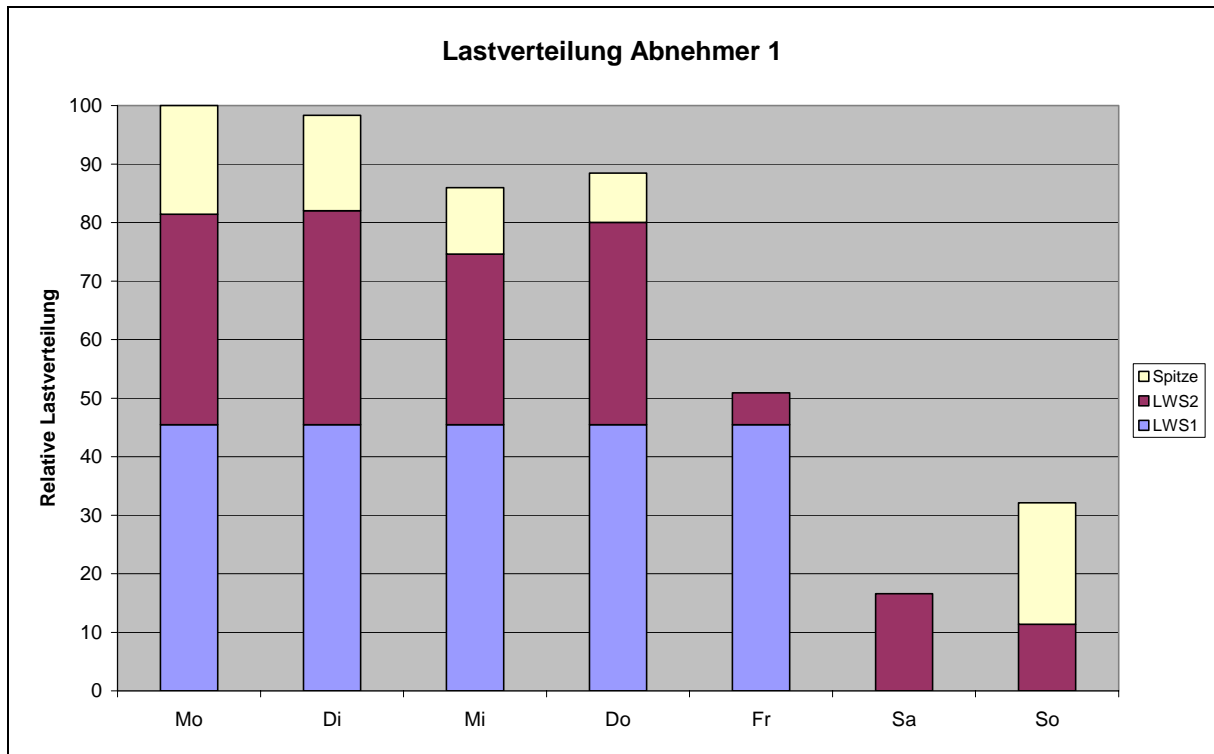


Abb. 45: Lastverteilung im Wochendurchschnitt in Betrieb 1

Abnehmer 2: In genügend genauer Annäherung kann zum Zweck der Demonstrationsprojektausarbeitung die Aufteilung von Abnehmer 1 auch für den Abnehmer 2 angenommen werden.

Abnehmer 3: Bei diesem Betrieb kann der Latentwärmespeicher den Bedarf eines täglich stattfindenden Prozesses eingesetzt werden. Zur Berechnung des Energiebedarfs wurden die benötigten Kennzahlen (Wassermenge, Temperaturdifferenz) bekannt gegeben. Der tägliche Energiebedarf wurde mittels allgemeiner Wärmegleichung ( $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ ) unter Berücksichtigung eines Wärmeübertragungsgrades von 0,9 berechnet.

Abnehmer 4: Dieser Betrieb wird mittels LWS voll versorgt, d.h. sowohl Prozess- als auch Heizwärme, die bisher mittels Wärmepumpe erzeugt wurden, wird durch den Container zur Verfügung gestellt. Die Energie für einen Trocknungsprozess, die derzeit elektrisch erzeugt wird, wurde nicht berücksichtigt.

Bekannt gegeben wurden der tägliche Prozessenergiebedarf sowie der Gesamtheizölbedarf.

Der Verlauf der benötigten Heizenergie wurde aus dem mittleren Gesamtölbedarf mit Hilfe des Programmes „RETScreen<sup>74</sup>“ ermittelt. Damit ergibt sich folgende Kurve für den Jahresenergiebedarf (wochentagsbereinigt, Verluste pauschaliert eingerechnet):

<sup>74</sup> [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net)

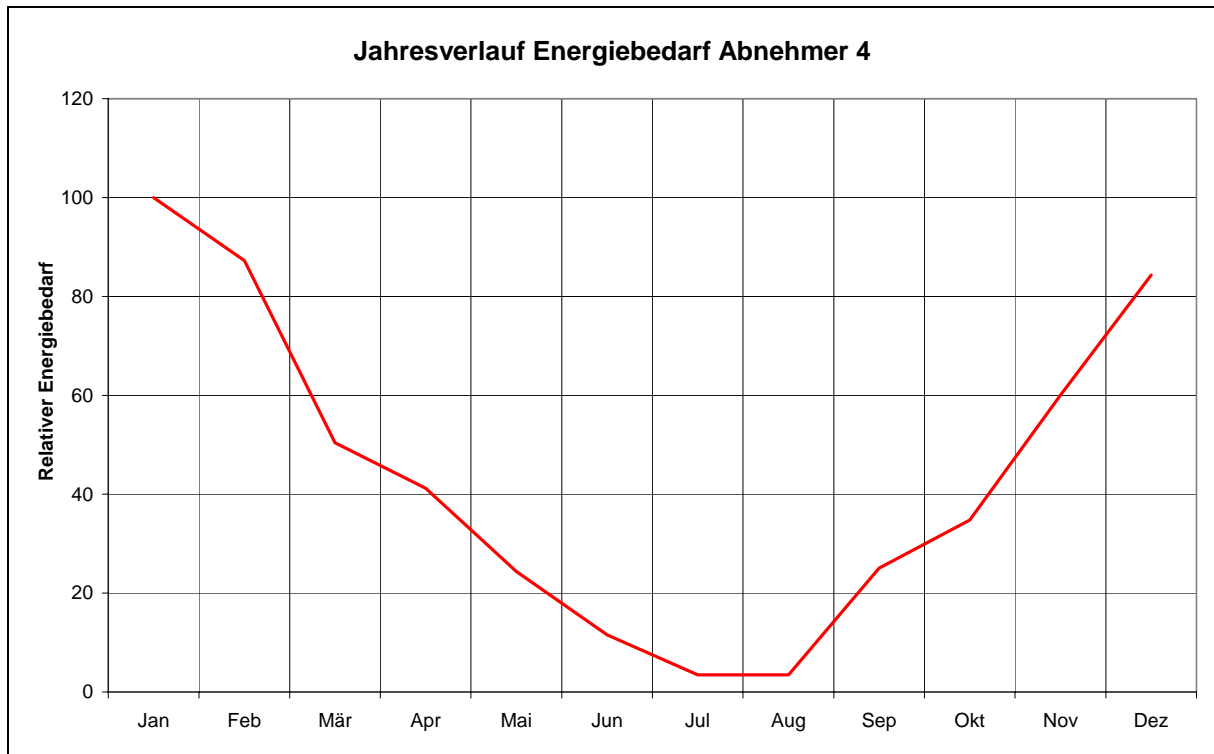


Abb. 46: Jahresverlauf Energiebedarf Abnehmer 4

Zusammenfassend ergeben sich für die Betriebe folgende Deckungsraten:

| Betrieb      | Bedarfsgrenzen | Jahresbedarf gesamt [MWh/a] | Deckung LWS [MWh/a]    | Deckung LWS [%] |
|--------------|----------------|-----------------------------|------------------------|-----------------|
| B1           | Prozesswärme   | a                           | x(a)                   | 84              |
| B2           | Prozesswärme   | b                           | x(b)                   | 84              |
| B3           | Einzelprozess  | c                           | x(c)                   | 100             |
| B4           | Gesamtbedarf   | d                           | x(d)                   | 100             |
| <b>Summe</b> |                | <b>Summe a:d</b>            | <b>Summe x(a):x(d)</b> | <b>86,5</b>     |

Tabelle 40: Deckungsraten durch LWS-System

## 9.3 Organisatorisches Konzept

### 9.3.1 Berechnung der Lieferintervalle

Zur Berechnung der Lieferintervalle wurde der tägliche Wärmebedarf der einzelnen Betriebe aufgeschlüsselt und tabellarisch zusammengefasst. Als Datenquellen dienen:

- Betrieb 1: Stundenwerte des Gasbezugs
- Betrieb 2: Übernahme der Werte aus Betrieb 1
- Betrieb 3: Täglich konstanter Wärmebedarf
- Betrieb 4: Grundlast Prozesswärme, saisonabhängiger Heizwärmebedarf

Ein Container kann im Idealfall 2,5 MWh speichern, durch Wärmeverluste und unvollständige Be- und Entladung wird mit einer realistischen Wärmeabgabe von 2,3 MWh kalkuliert. Erreicht die kumulative

Energieabgabe eines Containers die maximale Speicherkapazität, so ist ein Tausch des Containers notwendig. Dies wurde in der Tabelle zur Bestimmung der Lieferintervalle mit „1“ markiert.

Nachfolgend ein Auszug der Lieferintervalle über 2 Wochen (Bezugsmonat: März):

| März |    | Betrieb 1 |     |      |     | Betrieb 2 |     |      |     | Betrieb 3 |     | Betrieb 4 |     |
|------|----|-----------|-----|------|-----|-----------|-----|------|-----|-----------|-----|-----------|-----|
| Tag  |    | LWS1      | MWh | LWS2 | MWh | LWS3      | MWh | LWS4 | MWh | LWS5      | MWh | LWS6      | MWh |
| 1    | Mo | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx | 1         | xxx |           | xxx |
| 2    | Di | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx | 1         | xxx |
| 3    | Mi | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx |           | xxx |
| 4    | Do | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx | 1         | xxx |           | xxx |
| 5    | Fr | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx |           | xxx |
| 6    | Sa |           |     |      | xxx |           |     |      | xxx |           | xxx | 1         | xxx |
| 7    | So |           |     |      | xxx |           |     |      | xxx | 1         | xxx |           | xxx |
| 8    | Mo | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx |           | xxx |
| 9    | Di | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx |           | xxx |
| 10   | Mi | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx | 1         | xxx | 1         | xxx |
| 11   | Do | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx |           | xxx |
| 12   | Fr | 1         | xxx | 1    | xxx | 1         |     | 1    | xxx |           | xxx |           | xxx |
| 13   | Sa |           |     |      | xxx |           |     |      | xxx | 1         | xxx |           | xxx |
| 14   | So |           |     |      | xxx |           |     |      | xxx |           | xxx | 1         | xxx |

Tabelle 41: Bestimmung der Lieferintervalle (Auszug)

### 9.3.2 Graphische Darstellung der Lieferintervalle

Die Darstellung der Lieferintervalle gibt Aufschluss darüber, wie die einzelnen LKW-Fahrten zu planen sind und aus der graphischen Darstellung ist ersichtlich, ob es zu Terminkollisionen kommt. Eine Jahresgraphik gibt einen generellen Aufschluss über die Häufigkeit der Lieferungen, je komplexer die LWS-Logistik aufgebaut ist (Anzahl der Abnehmer, Lieferungen pro Abnehmer), desto kürzer sollte das dargestellte Intervall sein.

Als Beispiel für eine graphische Lieferintervalldarstellung werden nachfolgend die Monate Juni (Schwachlast Betrieb 4) und Dezember (Volllast Betrieb 4, unterschiedliche Betriebsunterbrechung während der Weihnachtsfeiertage) dargestellt:

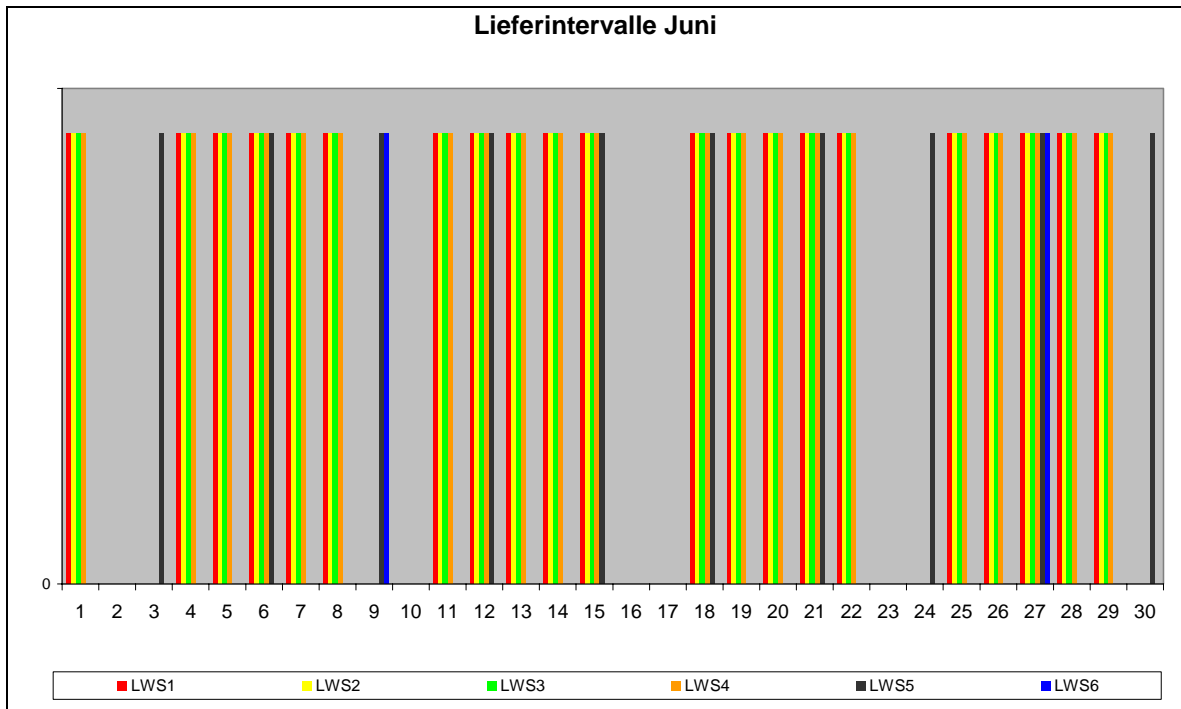


Abb. 47: Grafische Darstellung der Lieferintervalle (Juni)

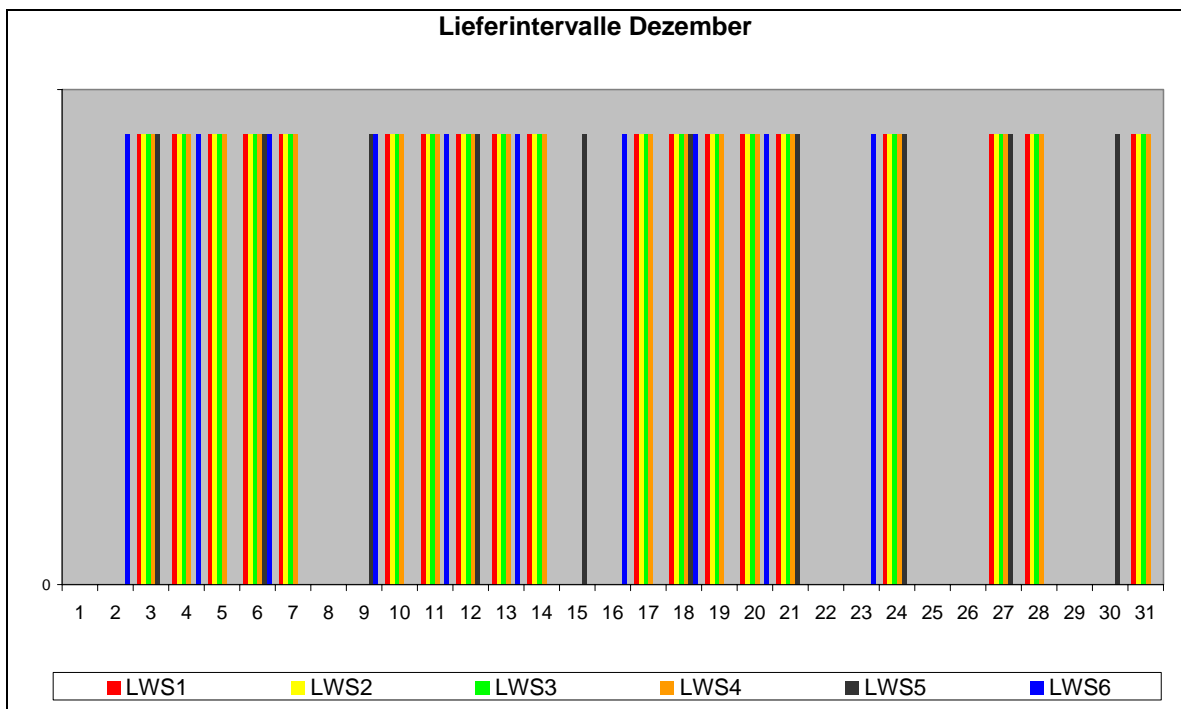


Abb. 48: Grafische Darstellung der Lieferintervalle (Dezember)

### 9.3.3 Besonderheiten

Aus der Darstellung der Lieferintervalle wird ersichtlich, dass bei Betrieb 3 und Betrieb 4 ein Container-tausch unter anderem auch an den Wochenenden stattfinden muss, um eine Vollversorgung zu gewährleisten. Dasselbe gilt auch für Feiertage und/oder sonstige außergewöhnliche Betriebsanforderungen. Im organisatorischen Konzept müssen hierfür Lösungen gefunden werden, die je nach Abnehmer

individuell gestaltet sein können. Hierfür bieten sich folgende Methoden an, wobei die Besonderheiten jeder Lösung beachtet und geprüft werden müssen:

- a) Die Containerlieferungen finden nach Bedarf, also auch an Wochenenden statt.
  - Besteht auch an den Wochenenden (bez. außerhalb der Geschäftszeiten) Zugang zur Wärmequelle und den Abnehmern?
  - Gelten an den Wochenenden Verkehrsbeschränkungen, z.B. Fahrverbot für LKW's? Wenn ja, können Sonderfahrgenehmigungen erreicht werden?
  - Wie fließen die Mehrkosten des Transports in die Wärmepreiskalkulation ein?
- b) Die Container werden nicht am Wochenende, sondern z.B. bereits am Freitagnachmittag getauscht.
  - Wie wird die verbleibende Restwärme im Container finanziell bewertet?
  - Welchen Einfluss hat die verbleibende Restwärme auf die Jahresbilanz?
- c) Die Container werden über das Wochenende „leer gefahren“ und erst am nächsten Werktag getauscht.
  - Kann die fehlende Wärmemenge in dieser Zeit mit einem Ersatzsystem vor Ort bereit gestellt werden?
  - Wie können – vor allem bei einer angestrebten Vollversorgung durch LWS – derartige „Betriebsausfälle“ vertraglich geregelt werden?

**In jedem Fall ist eine gründliche Prüfung der Rahmenbedingungen vor Erstellung eines Liefermodells durchzuführen und entsprechende Lieferverträge zu formulieren.**

## 9.4 Wirtschaftliche Betrachtung

### 9.4.1 Basisdaten und Methodik

Für die wirtschaftliche Betrachtung des Demonstrationsprojektes wurden die Basisdaten aus der allgemeinen wirtschaftlichen Betrachtung in Kapitel 7 weitgehend übernommen:

- Trotz der Reduktion der ausgekoppelten Wärmemenge von ca. 4.000 MWh auf rund 2.500 MWh wurden die Investitionskosten für die Wärmeauskopplung bei den Montanwerken Brixlegg beibehalten, da ein späterer Ausbau der Wärmelieferung möglich ist und daher berücksichtigt werden muss.
- Die Anzahl der Übergabestationen bei den Montanwerken Brixlegg wurde auf 5 Stationen reduziert, für die Abnahmeseite müssen 6 Übergabestationen installiert werden. Die für die Übergabestationen notwendige elektrische Hilfsenergie wurde aliquot herabgesetzt.
- Die Anzahl der LWS-Container wird mit 11 Stück angesetzt, je vier Stück für Betrieb 1 und 2 und je ein fix zugeleiteter Container sowie ein Wechselcontainer für Betrieb 3 und 4



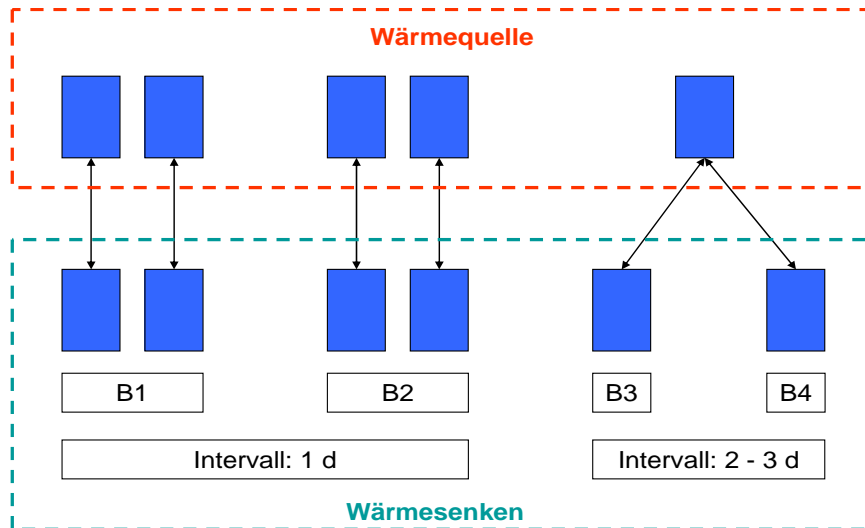


Abb. 49: Verteilung der LWS-Container im Modell Brixlegg

- Die Personalkosten für die Organisation und Aquisition wurden auf eine Arbeitskraft mit 50 % Beschäftigungsgrad herabgesetzt.
- Die Finanzierung wurde für die Basisberechnung auf 100 % Fremdkapital mit einem Zinssatz von 5 % und einer Laufzeit von 10 Jahren beibehalten, unterschiedliche Eigenkapital- bzw. Fördersätze werden in den Varianten behandelt.
- Die Methodik wurde ebenfalls aus der allgemeinen Wirtschaftlichkeitsberechnung übernommen (Excel-Tool).

### 9.4.2 Varianten

In der wirtschaftlichen Betrachtung wurde das beschriebene Modellsystem in der Region Brixlegg als Basisvariante berechnet. In mehreren abgewandelten Varianten werden die Auswirkungen einzelner Veränderungen an der Basisvariante untersucht, um das System wirtschaftlich zu optimieren.

| Variante | Abnehmer           | Wärmemenge          | Anzahl LWS | Zyklen LWS | Bemerkung  |
|----------|--------------------|---------------------|------------|------------|--|
| 1a       | B1, B2, B3, B4     | xxx MWh/a (100 %)   | 11         | 109        | Basisvariante                                      |
| 1 b      | B1, B2, B3, B4     | xxx MWh/a (100 %)   | 10         | 120        | Reduzierte Versorgungssicherheit                   |
| 1 c      | B1, B2, B3, B4     | xxx MWh/a (100 %)   | 12         | 100        | Erhöhte Versorgungssicherheit                      |
| 2 a      | B1, B2, B3         | xxx MWh/a (92,6 %)  | 10         | 112        | Ausschließlich Prozesswärme                        |
| 2 b      | B1, B2, B3         | xxx MWh/a (92,6 %)  | 9          | 124        | Prozesswärme mit reduzierter Versorgungssicherheit |
| 3        | B1, B2             | xxx MWh/a (82,1 %)  | 8          | 125        | Nur Großabnehmer, Personalaufwand 0,33 Ma          |
| 4        | B1, B2, B3, B4, BX | xxx MWh/a (106,5 %) | 11         | 115        | Optimierte Ausgangssituation                       |

Tabelle 42: Varianten zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

In der Basisvariante weist Abnehmer 4 durch die Versorgung mit Heizwärme einen sehr geringen Bedarf in den Sommermonaten auf. In Variante 4 wird ein (fiktiver) Abnehmer für die Monate Juni bis September angenommen, der während dieser Zeit den LWS-Container von B4 übernimmt. Dieser Abnehmer (BX) könnte vorzugsweise ein Schwimmbad sein, das die Wärme entweder zur Beckenheizung oder zur Warmwasserbereitung verwendet. Angenommen wird weiters, dass dieser Abnehmer BX während der Sommermonate dieselbe Wärmemenge benötigt wie B4 während der Hauptlast im Jänner. In Abb. 50 sind die Lieferintervalle des betreffenden Containers im Jahresverlauf ersichtlich.

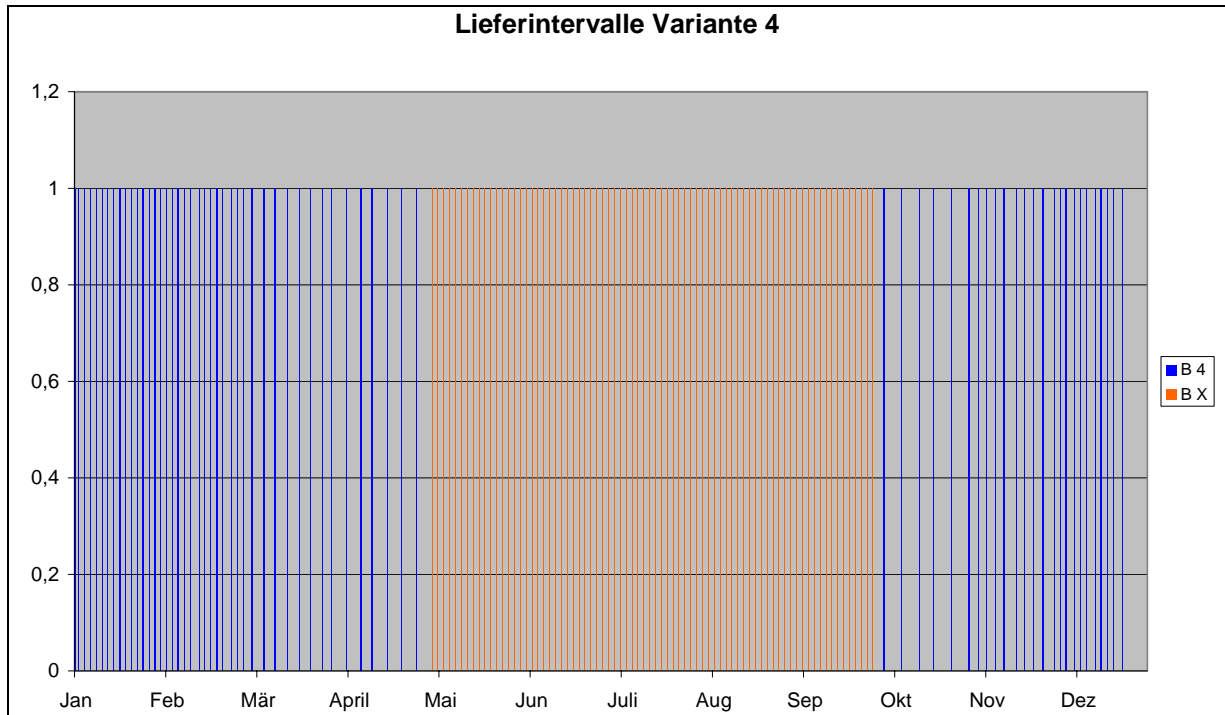


Abb. 50: Darstellung der Lieferintervalle in Variante 4

Die beschriebenen Varianten wurden in weiterer Folge auch auf die Auswirkungen unterschiedlicher Rahmenbedingungen untersucht, wobei die Annahmen für die Basisberechnung hervorgehoben sind:

- Transportdauer: **1,5 Stunden**, 1,0 Stunde pro Zyklus
- Kapitalkosten: 100 % Fremdfinanzierung bei einem Zinssatz von **5 %** und 3,5 % über eine Laufzeit von 10 Jahren
- Fördersatz bei Investitionen: **0 %**, 20 %, 50 %, 100 %, Restfinanzierung mit Fremdkapital bei 5 % und einer Laufzeit von 10 Jahren
- Aufsummierung der „best cases“ aus den vorangegangenen Berechnungen

### 9.4.3 Ergebnisse

Als Kennzahl für den Vergleich der Wirtschaftlichkeit wurden die Wärmegestehungskosten der Varianten in € / MWh über eine Nutzungsdauer von 15 Jahren gegenübergestellt. Für die Berechnung der WGK wurde jeweils nur der angegebene Wert gegenüber den Standardwerten verändert, es erfolgte keine Aufsummierung von Parametern.

| Variante | Wärmegestehungskosten [€/MWh] |                          |                   |             |       |       |
|----------|-------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------|-------|-------|
|          | Standard                      | Transport<br>1,0 h /Zyk. | Zinssatz<br>3,5 % | Förderquote |       |       |
|          |                               |                          |                   | 20 %        | 50 %  | 100 % |
| 1 a      | 98,32                         | 82,77                    | 96,84             | 93,74       | 86,86 | 75,40 |
| 1 b      | 96,16                         | 80,61                    | 94,80             | 91,94       | 85,60 | 75,03 |
| 1 c      | 100,48                        | 84,93                    | 98,88             | 95,54       | 88,12 | 75,77 |
| 2 a      | 100,01                        | 84,30                    | 98,55             | 95,49       | 88,71 | 77,41 |
| 2 b      | 97,67                         | 81,97                    | 96,34             | 93,54       | 87,35 | 77,02 |
| 3        | 95,52                         | 79,74                    | 94,18             | 91,39       | 85,19 | 74,87 |
| 4        | <b>95,24</b>                  | 79,82                    | 93,83             | 90,89       | 84,37 | 73,51 |

Tabelle 43: Variantenstudie: Wärmegestehungskosten in €/MWh

**Best-case-Simulation:** Aus den vorangegangenen Berechnungen ist ersichtlich, dass Variante 4 mit Wärmegestehungskosten von 95,24 €/MWh als die wirtschaftlichste Lösung unter den angenommenen Voraussetzungen hervorgeht. In weiterer Folge wurde diese Variante noch weiter optimiert: Die Transportzeit wird mit 1,0 h / Zyklus angenommen und der Zinssatz für die Fremdfinanzierung mit 3,5 % p.a über einer Laufzeit von 10 Jahren.

Nachfolgende Grafik zeigt den Verlauf der Wärmegestehungskosten mit unterschiedlichen Investitionsförderquoten:

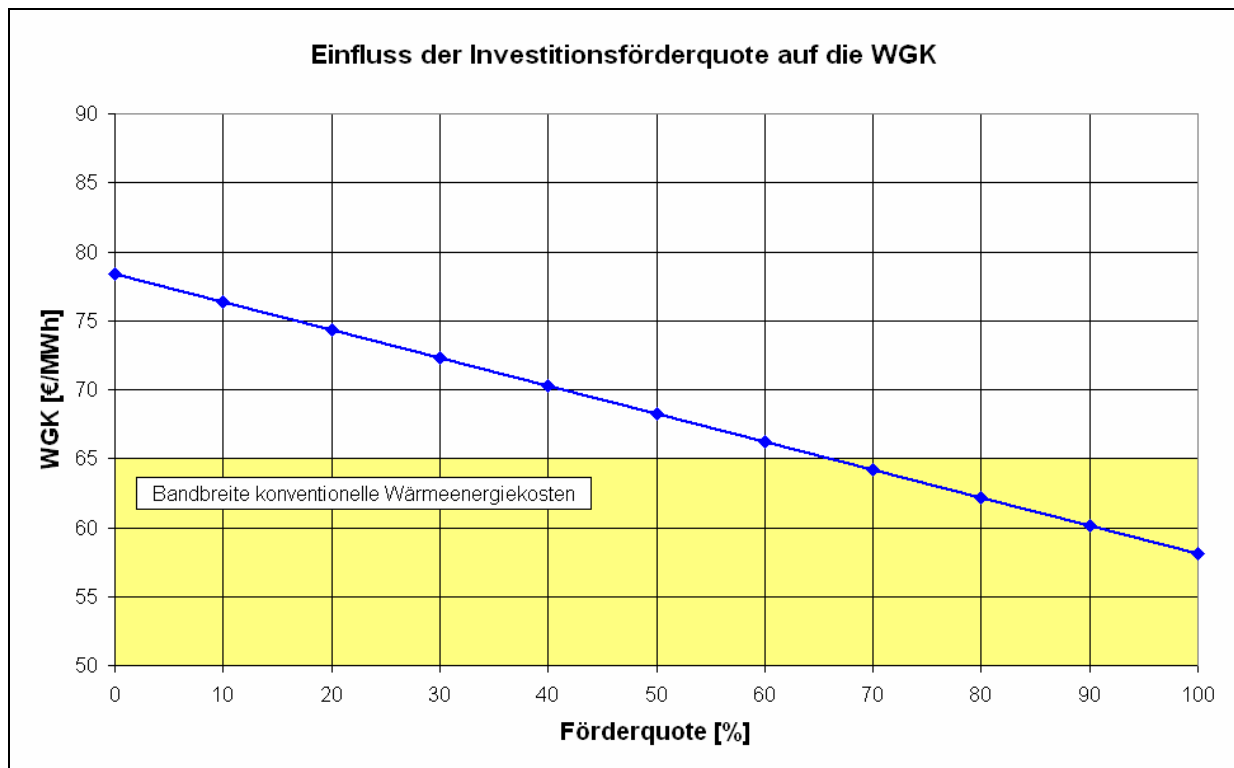


Abb. 51: Wärmegestehungskosten Best-Case-Simulation (Variante 4)

## 9.5 Vergleich LWS-System – Wärmetrasse

Einer der im LWS-System betrachteten Abnehmer könnte auch mittels Fernwärmetrasse von den Montanwerken Brixlegg AG versorgt werden, bei den anderen Abnehmern ist die Distanz zur Wärmequelle sowohl aus technischer als auch wirtschaftlicher Sicht zu groß.

Als Alternative zur trassenlosen Versorgung wird der Anschluss dieses einen Wärmeabnehmers an eine Fernwärmeleitung geprüft. Dazu wird eine Leitung dimensioniert, welche die Versorgung zu 100 % sicherstellt. Die erforderliche Temperatur wird wegen der Nutzungsmöglichkeit von Prozesswärme mit 120°C festgelegt. Als Ausfallsicherheit werden bestehende Wärmeerzeugungsanlagen bei den Abnehmern beibehalten, die Sicherheit beim Wärmelieferanten ist durch die internen Reserveanlagen gegeben.

Ausgekoppelt wird beim Wärmelieferanten in den für den Latentwärmespeicher vorgesehenen Abwärmquellen, das Transportmedium ist Wasser.

Als Alternative zur Verwendung von Wasser besteht die Möglichkeit, Thermoöl als Wärmeträger zu verwenden. Die Abwärme wird durch den Wärmeträger zum Abnehmer gefördert, wo die Energie in ein indirektes Fernwärmenetz eingespeist wird.

Die Wärmeauskoppelung erfolgt in einer Umformerstation, in der ND-Dampf oder Heißwasser erzeugt wird. Hier sind die Vorgaben für Dampfkessel, Heißwasserkessel und Druckgeräte zu beachten. In den Wintermonaten wird eine niedrigere Rücklauftemperatur erreicht als im Sommer, da die Gebäudeheizung zusätzlich zur Prozesswärme Energie in einem tieferen Niveau abnimmt.

### Technische Daten:

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| Abnehmeranzahl:               | 1  |
| Vorlauftemperatur:            | 120°C                                    |
| Rücklauftemperatur:           | 90°C                                     |
| Druckverlust:                 | 110 Pa/m                                 |
| Trassenlänge:                 | ca. 600 Trassenmeter, Überdeckung 600 mm |
| Wärmeverlust je Trassenmeter: | 34 W/m                                   |

Als Lastfaktor für Standard-Nahwärmenetze gilt ein Mindestwert von 1 kW/m Trasse, was bei 1.500–2.000 h/a einer Energiemenge von 1.500–2.000 kWh/a entspricht. Anzustreben bei Biomasse-Fernwärmeanlagen sind Zielwerte größer gleich 1.200 kWh/m (ÖKL-Merkblatt Nr. 67, 1999, Biomasse-Fernheizwerke).

Im hier berechneten Beispiel wird mit einer Wärmebelegung von 2.000 kWh/m bei einem Wärmeverkaufspreis von **51 €/MWh** ein positiver Kapitalwert nach 15 Jahren erreicht. Der Lastfaktor liegt bei 1,2 kW/m, die Auslegung bei 100 % der erforderlichen Leistung.

Damit stellt diese Wärmeversorgung im konkreten Beispiel eine wirtschaftlichere Variante dar als die Versorgung mittels mobilen Latentwärmespeichern, was auf die geringe Trassenlänge und den hohen Lastfaktor zurückzuführen ist. Zu beachten ist allerdings, dass in diesem speziellen Fall die Trasse größtenteils über unverbautes Gebiet führen würde und daher die Investitionskosten mit rund 300 € pro Trassenmeter sehr gering gehalten werden können. In Fällen, bei denen aufwändigere Grabungsarbeiten und/oder Trassenführungen notwendig sind, können diese Kosten auf bis zu 800 € pro Trassenmeter steigen, womit sich die Wirtschaftlichkeit des Systems entsprechend verringert.

## 9.6 Fördermöglichkeiten

Für die Umsetzung eines Demonstrationsprojektes in Brixlegg könnten aus derzeitiger Sicht folgende Fördermaßnahmen in Anspruch genommen werden:

- Auf Landesebene sind bei den derzeitigen Förderprogrammen keine Förderungen möglich.
- Auf Bundesebene können bei der Kommunal Kredit Public Consulting KPC bis zu 30 % der umweltrelevanten Investitionskosten beantragt werden.
- Bei Einbindung des Demonstrationsprojektes als Teilprojekt in einem übergeordneten Projekt (z.B. EU-Projekt, Regionalentwicklungsprojekte, etc.) können je nach Programmlinie und Gewichtung des Teilprojektes zusätzliche Fördergelder lukriert werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass bestimmte Fördermittel nicht kumulierbar sind.

## 9.7 Zusammenfassung

Eine pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit einer trassenlosen Wärmeversorgung kann – wie aus den Ergebnissen der Berechnungen ersichtlich – nicht getroffen werden. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob und in welcher Form sich eine derartige Wärmelogistik umsetzen lässt.

Zu beachten ist in jedem Fall, dass zusätzlich zu den Wärmegestehungskosten eine entsprechende Gewinnspanne für das Wärme abgebende Unternehmen einzukalkulieren ist.

Die Ergebnisse der Berechnung der Wärmegestehungskosten in den unterschiedlichen Varianten lassen folgende Schlussfolgerungen für die Umsetzung einer trassenlosen Wärmeversorgung zu:

- Eine konstante Wärmeabnahme (Prozesswärme) wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit eines LWS-Systems aus.
- Bei Versorgung mit Heizwärme müssen alternative Abnehmer für die Sommermonate gefunden werden (z.B. Schwimmbad), um die Zyklenzahl der Container zu erhöhen.
- Die Transportzeiten müssen so gering als möglich gehalten werden.
- Eine Reduktion der Investitionskosten durch Verringerung des technischen Aufwandes ist nur bedingt möglich, da die LWS-Container und die notwendigen Chassis einen Großteil der Investitionen darstellen.
- Eine Optimierung der Containerzahl ist anzustreben, wobei der Aspekt der Versorgungssicherheit beachtet werden muss.
- Eine Reduktion der Investitionskosten durch Erhöhung der Förderanteile ist anzustreben.
- Der organisatorische Aufwand (Personalkosten für Abwicklung, Rechnungslegung und evtl. Akquisition) ist so gering als möglich zu halten.
- Eine nachträgliche Erweiterung des LWS-Versorgungssystems kann die Wärmegestehungskosten positiv beeinflussen, sofern die notwendigen Adaptionen zur Wärmeauskopplung bereits bei der Erstkonzipierung eingeplant wurden.
- Die Höhe der Gewinnspanne für das Wärme abgebende Unternehmen kann durch nicht-monetäre Überlegungen herabgesetzt werden.
- Der Einsatz von alternativen Wärmeliefermodellen (z.B. Wärmetrasse) sollte bei geringer Entfernung zwischen Wärmequelle und Abnehmer geprüft werden.

## 10 Zusammenfassung und Diskussion

### 10.1 Zusammenfassung

Die Erhebungen auf Seiten der Wärmeabgabe konnten am Beispiel Brixlegg problemlos durchgeführt werden und in klare, eindeutig definierbare Kennzahlen gefasst werden. Trotzdem muss bei jedem derartigen Projekt eine detaillierte Analyse der Wärmequellen stattfinden, da sich die Auskopplung der Wärme zum Teil sehr kostenintensiv gestalten kann. Eine Einbindung der „Wärmetankstelle“ in die Gesamtenergiestrategie eines Unternehmens kann die anrechenbaren Kosten und damit den Wärmeabgabepreis deutlich senken.

Bei der Recherche nach marktreifen Latentwärmespeichern für die mobile Anwendung musste festgestellt werden, dass es sich derzeit beinahe ausschließlich um Sonderanfertigungen handelt, die angeboten werden. Damit sind die spezifischen Investitionskosten für LWS-Container derzeit zum Teil noch sehr hoch.

Die Abnehmerstruktur bildet in Bezug auf die Attraktivität des Wärmeversorgungssystems den kritischsten Faktor. Aufgrund der hohen Investitionskosten der Wärmecontainer müssen diese eine hohe Zyklenzahl pro Jahr aufweisen, um eine entsprechende Wirtschaftlichkeit erzielen zu können. Dies bedingt aber eine nahezu ganzjährige Auslastung der Container, was den Anwendungsbereich bei Kleinabnehmern (z.B. Privathaushalte) derzeit noch ausschließt. Auf Basis der erzielten Erkenntnisse sind jährliche Zyklenzahlen von >150 für einen konkurrenzfähigen Betrieb erforderlich, was einer durchschnittlichen Wärmeabnahme von täglich ca. 1,25 MWh pro Container entspricht (bezogen auf 300 Tage pro Jahr). Diese Verbrauchswerte, die im Idealfall zur Grundlastdeckung herangezogen werden, können nur durch größere Gewerbebetriebe erreicht werden. Da die erforderliche Zyklenzahl aber wiederum von der Gesamtanzahl der sich in Umlauf befindlichen Container abhängig ist, muss wiederum jeder Einsatzfall spezifisch betrachtet werden. Einen wesentlichen Faktor in der wirtschaftlichen Betrachtung bildet auch der Grad der Versorgungssicherheit. Je höher dieser anzusetzen ist, desto mehr Container müssen auf „Stand-by“ gehalten werden, damit sinkt die Zyklenzahl pro eingesetzten Container und die Wärmegestehungskosten werden negativ beeinflusst.

Die Lösung der logistischen Aufgabe kann – je nach Region – die größte Herausforderung im Projekt darstellen. Tirol ist zum Beispiel durch die hohe vorhandene Verkehrsbelastung und die topographische Situation ein sehr sensibles Gebiet, um ein derartiges Projekt umzusetzen. Hier gilt es mit ausreichender Sensibilität an die verantwortlichen Behörden und die Nutzergruppen heranzutreten. Wichtig ist in jedem Fall, die Bevölkerung in den Projektentwicklungsprozess mit einzubeziehen. Allerdings müssen vor diesem Schritt sämtliche Rahmenbedingungen detailliert erhoben worden sein, da vage Aussagen und Abschätzungen in der Präsentation die meist ohnehin sehr kritischen Interessensgruppen weiter verunsichern und damit ein schlechtes Klima für konkrete Projektverhandlungen geschaffen wird.

Die hohen Transportgewichte der Wärmecontainer wiederum stellen ein Ausschlusskriterium für bestimmte Nutzergruppen dar, da vor allem im Tiroler Raum aufgrund der Topographie sehr viele Tonnagebeschränkungen auf Zufahrtsstraßen verhängt sind.

Verkehrsbeschränkungen wirken sich auch auf die Organisation der Wärmelieferungen aus. Hier müssen (organisatorische und eventuell auch rechtliche) Regelungen gefunden werden, um dem Kunden eine ausreichende Versorgungssicherheit bieten zu können.

## 10.2 Diskussion der erzielten Ergebnisse

### 10.2.1 Technische Kriterien

Aus technischer Sicht kann eine trassenlose Abwärmenutzung mittels LWS-Container ohne größere zu erwartende Probleme umgesetzt werden. In jedem Fall ist aber zu beachten, dass mit der Installation eines LWS-Systems eine oder mehrere Betriebsanlagen im rechtlichen Sinne verändert werden und die Machbarkeit der entsprechenden Veränderungen mit den zuständigen Behörden möglichst im Vorfeld abgeklärt werden muss.

Die Potentiale und technischen Voraussetzungen für die Wärmeauskopplung bei der Wärmequelle müssen im Einzelfall geprüft werden. Hindernisse könnten in der Zusammensetzung des Mediums, aus welchem die Wärme ausgekoppelt werden soll, auftreten, diese sind aber in erster Linie wirtschaftlicher Natur und äußern sich in erhöhten Investitionskosten. Abhängig sind diese Kosten einerseits von der nutzbaren Wärmemenge und andererseits vom Medium, aus dem die Wärme entnommen wird (z.B. stark korrosives oder belastetes Rauchgas). Eine Einbindung der „Wärmetankstelle“ in die Gesamtenergiestrategie eines Unternehmens kann aber die anrechenbaren Kosten und damit den Wärmeabgabepreis deutlich senken.

Die marktgängigen Latentwärmespeicher für die mobile Anwendung sind technisch weitgehend ausgereift. Einschränkend muss erwähnt werden, dass die Langzeittauglichkeit der Speicher noch nicht ausreichend bewiesen werden konnte. Es wurden zwar einige Projekte realisiert, in denen die mobilen LWS zum Einsatz kamen, doch wurden diese Projekte zum großen Teil aus organisatorischen Gründen bereits nach einigen Monaten wieder eingestellt. Für die breite Anwendung von mobilen Latentwärmespeichern scheinen vor allem die Erhöhung der Speicherkapazität bzw. Energiedichte sowie die Erhöhung des Temperaturprofils für eine breitere Anwendung erforderlich.

Die notwendigen Adaptionen bei der Wärmesenke stellen aus technischer Sicht ebenfalls keine Hindernisse dar. Wie die Einbindung des Latentwärmespeichers in ein bestehendes Wärmeversorgungssystem erfolgt, muss im Einzelfall entschieden werden und hängt in erster Linie von der bestehenden technischen Ausrüstung und der notwendigen Versorgungssicherheit ab. Die Einbindung eines LWS-Systems ist bei der Neuerrichtung eines Gebäudes und/oder einer Wärmeversorgungsanlage in jedem Fall einfacher zu realisieren als bei bestehenden Systemen, da bei der Planung die Besonderheiten des LWS-Systems berücksichtigt werden können und nur geringfügige Mehrkosten gegenüber eines konventionellen WVS entstehen.

### 10.2.2 Organisatorische Kriterien

Die Organisatorischen Kriterien beziehen sich auf zwei Punkte: einerseits das Betreibermodell und andererseits die Logistik der Wärmecontainer.

Betreibermodell: Prinzipiell sind zwei Hauptformen des Betreibermodells möglich:

- a) Die Organisation wird vom Wärme abgebenden Betrieb durchgeführt oder
- b) Die Organisation wird durch ein externes Unternehmen abgewickelt.

Welches Modell das „bessere“ darstellt, hängt wiederum vom Einzelfall ab. Übernimmt das Wärme abgebende Unternehmen die Organisation, so werden Gewinnaufschläge nur für eine Stelle notwendig, was sich positiv auf den Wärmeverkaufspreis auswirkt. Ein weiterer Vorteil dieses Modells ist, dass die Gemeinkosten (personeller Aufwand, Bürokosten etc.) direkt auf den Verkaufspreis der Wärme angerechnet und somit relativ gering gehalten werden können. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass das

Wärme abgebende Unternehmen über entsprechende Ressourcen verfügt und das Unternehmen auch bereit und befugt<sup>75</sup> ist, diese zusätzliche Aufgabe zu übernehmen.

Wird die Organisation von einem externen Unternehmen übernommen, so hat dies den entscheidenden Vorteil, dass das LWS-System in seiner Entwicklung auf mehrere Wärmequellen ausgedehnt werden kann. Im Gegensatz zu einer konventionellen Wärmetrasse bietet das LWS-System den Vorteil der erhöhten Flexibilität sowohl auf Seiten der Wärmequelle als auch bei den Wärmeabnehmern. Dieser Vorteil kann mit einer externen Organisation besser ausgeschöpft werden, um eine kontinuierliche Ausweitung des Systems zu erreichen.

Wie auch immer sich die übergeordnete Organisation gestaltet, das Betreibermodell in Richtung Wärmekunde sollte in einer Art Contracting durchgeführt werden. Die Befragung der potentiellen Abnehmer hat durchwegs ergeben, dass die Betriebe nicht mit technischem und organisatorischem Aufwand behelligt werden wollen und die Akzeptanz für ein derartiges System wesentlich höher ist, wenn sich die Wärmekunden nicht um derartige Belange kümmern müssen. Aus diesem Grund bietet sich auch ein Modell für die Wärmeabrechnung an, wie es aus der konventionellen Fernwärmeversorgung bekannt und akzeptiert wird:

- Für den Anschluss wird eine einmalige Anschlussgebühr berechnet
- Im üblichen Fall werden alle kapitalgebundenen Kosten mit einem Grundpreis abgedeckt, andernfalls ist das Modell für einen Contractor mit zu vielen Finanzierungsunsicherheiten behaftet. Wartung, Instandsetzung und Betriebskosten sind üblicherweise auch vollständig durch den Grundpreis gedeckt, gegebenenfalls kann im Detail verhandelt werden, einen Teil dieser Kosten in den Arbeitspreis zu kalkulieren.
- Der Arbeitspreis deckt die betriebsgebundenen Kosten wie Abwärmevergütung der Wärmequelle und Transportkosten.

Dieses Modell stellt einen Vorschlag für ein Abrechnungsmodell dar, welches als Grundlage für die Verhandlungen mit den Beteiligten beim Aufbau eines LWS-Systems dienen kann. Je nach Anwendungsfall kann aber auch ein beliebig anderes Modell herangezogen werden. Ziel muss in jedem Fall sein, eine mit konventionellen Systemen konkurrenzfähige Wärmepreisgestaltung zu erreichen.

Wärmelogistik: Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Organisation der Wärmetransporte eine nicht zu unterschätzende Aufgabe darstellt. Einerseits müssen ausreichend Kapazitäten geschaffen werden, um eventuell parallel stattfindende Transporte abwickeln zu können. Hierfür bietet es sich zum Beispiel an, einen lokalen Frächter nach Aufwand zu beauftragen. Da allerdings auch bei diesen Betrieben eine möglichst hohe Auslastung des Fuhrparks angestrebt wird, ist eine möglichst präzise Planung der Transporte im Vorfeld notwendig.

Ein weiteres Kriterium ist die Liefersicherheit. Da die Transporte unter Umständen auch außerhalb der Betriebszeiten erfolgen müssen, sofern bei den Wärmeabnehmern keine Einrichtungen zur Überbrückung vorhanden sind bzw. diese nicht genutzt werden können, ergibt sich daraus folgender Klärungsbedarf:

- Können die Transporte aus verkehrsrechtlicher Sicht auch während der Nachtzeit bzw. an den Wochenenden stattfinden? Wie wirken sich diese Transporte auf die Transportkosten aus (höhere Stundensätze, Sondergenehmigungen etc.)?
- Sind die Lade- bzw. Entladestellen bei Wärmequelle und -senke auch außerhalb der normalen Betriebszeiten zugänglich?

---

<sup>75</sup> Vgl. BGBl I Nr. 111/2002 (siehe Kapitel 6.6)



Ist eine „Lieferung nach Bedarf“ aufgrund der o.g. Fragestellungen nicht möglich, stehen in diesem Fall prinzipiell zwei Varianten zur Diskussion, die im Wesentlichen von der angestrebten Versorgungssicherheit abhängen:

- a) Ist eine hohe Versorgungssicherheit erwünscht, so müssen die Container fallweise in teilentladendem Zustand getauscht werden. Damit ergibt sich aber das Problem, dass die volle Kapazität des Containers nicht genutzt wird und die Transportkosten pro MWh verkaufter Wärme relativ gesehen steigen.
- b) Wird eine geringe Versorgungssicherheit angestrebt, so können die Container vollständig entladen werden, der Tausch findet dann am darauf folgenden Werktag statt. Hierzu ist es aber notwendig, dass der Wärmekunde über ein alternatives Wärmeversorgungssystem verfügt.

Zu klären ist dann im Einzelfall, wie die Lieferungen abgewickelt werden, wie dies im Wärmeliefervertrag formuliert werden kann und wie sich diese Varianten auf den Wärmeverkaufspreis auswirken.

### 10.2.3 Wirtschaftliche Kriterien

Eine pauschale Aussage über die Wirtschaftlichkeit von mobilen Latentwärmespeichern kann nicht getroffen werden, da die Wirtschaftlichkeit von sehr vielen individuellen Faktoren beeinflusst wird. Fakt ist jedoch, dass bei sorgfältiger Planung des Konzepts und dem Vorhandensein einer ausreichenden Abnehmerstruktur ein LWS-System durchaus eine Alternative zu einer Fernwärmetrasse darstellen kann. Für die breite Anwendung wäre es jedoch empfehlenswert, die Entwicklungen an den Latentwärmespeichern in Richtung Erhöhung der Energiedichte und des Temperaturprofils voranzutreiben.

Im Wesentlichen sind zur Erreichung eines konkurrenzfähigen Wärmeabgabepreises folgende Kriterien entscheidend:

#### Abwärmequelle:

- Die Investitionskosten für die Abwärmeauskopplung sind so gering als möglich zu halten. Dies kann unter Umständen auch damit erreicht werden, dass die Auskopplung im Zuge eines Gesamtenergiekonzeptes erfolgt und damit die anrechenbaren Kosten verringert werden.
- Die Variante mit den geringsten Investitionskosten muss nicht zwangsläufig auch die Variante mit den geringsten Betriebskosten darstellen. Daher muss die Bewertung der Abwärmepotentiale auch nach betriebsinternen Kriterien wie Produkt- und Betriebssicherheit, Zugänglichkeit, Verfügbarkeit etc. erfolgen.
- Eine nachträgliche Erweiterung des LWS-Versorgungssystems kann die Wärmegestehungskosten positiv beeinflussen, sofern die notwendigen Adaptionen zur Wärmeauskopplung bereits bei der Erstkonzipierung eingeplant wurden.
- Die Höhe der Gewinnspanne für das Wärme abgebende Unternehmen kann durch nicht-monetäre Überlegungen sowie bei geeigneten Unternehmen auch durch die Einkünfte aus dem CO<sub>2</sub>-Zertifikatshandel herabgesetzt werden.

#### Wärmelogistik:

- Den Hauptteil der Investitionen bei der Logistik stellen die Kosten für die Anschaffung der LWS-Container und den notwendigen Chassis dar. Eine Reduktion dieser Kosten ist nur bedingt möglich, da in nächster Zeit nicht mit einer drastischen Senkung der Anschaffungskosten zu rechnen ist. Eine Möglichkeit zur Senkung der Investitionskosten ist allerdings die Optimierung der Gesamtcontainerzahl, wobei der Aspekt der Versorgungssicherheit beachtet werden muss.

- Den größten Einfluss auf die Wärmegestehungskosten und damit auf den Wärmeverkaufspreis haben die Transportkosten. Da davon auszugehen ist, dass vor allem im Aufbau eines LWS-Systems die Transporte bei lokalen Frächtern zugekauft werden müssen, ist bei den spezifischen Transportkosten (€/h) kaum Potential zur Reduktion gegeben. Aus diesem Grund muss angestrebt werden, die Manipulationszeiten so gering als möglich zu halten. Die Manipulationszeiten setzen sich – neben der reinen Transportdauer – im Wesentlichen aus dem Zeitaufwand für den Containertausch bei der Lade- und der Entladestation zusammen. Diese Zeiten können durch technische Maßnahmen (z.B. flexible Kupplungsschläuche), Infrastrukturmaßnahmen (ausreichend Platz für Zufahrt und Rangierarbeiten) und vor allem durch entsprechende Schulung der LKW-Fahrer reduziert werden.
- Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion der Transportkosten könnte die Übertragung der Logistik an Institutionen mit vorhandenem, nicht kommerziell genutztem Fuhrpark erfolgen. Beispiele hierfür wären Stadt- und Gemeindewerke, die mit einer zusätzlichen Auslastung die Standzeiten für den Fuhrpark reduzieren können und daher diese Dienstleistung kostengünstiger als kommerzielle Speditionsunternehmen anbieten könnten. Wie dies organisatorisch und vor allem rechtlich durchgeführt werden kann, muss im Einzelfall geklärt werden, ebenso wie die Frage, ob ausreichende Kapazitäten für diese zusätzliche Leistung vorhanden sind.
- Der organisatorische Aufwand (Personalkosten für Abwicklung, Rechnungslegung und evtl. Akquisition) ist so gering als möglich zu halten. Auch hier empfiehlt sich vor allem in der Startphase eines LWS-Systems die Nutzung vorhandener Kapazitäten.

#### Wärmekunden:

- Die Anzahl und Struktur der Wärmekunden ist ein ausschlaggebendes Kriterium zur Erreichbarkeit eines wirtschaftlichen Wärmeversorgungssystems. Vorzugsweise sind Abnehmer mit hohem Wärmebedarf und konstanter Wärmeabnahme (Prozesswärme) für das LWS-System zu gewinnen.
- Bei Versorgung mit Heizwärme von größeren Gebäuden (z.B. Schulen, Sozialeinrichtungen, Wohnblöcke etc.) müssen alternative Abnehmer für die Sommermonate gefunden werden (z.B. Schwimmbad), um die Jahreszyklenzahl der Container zu erhöhen.
- Der Grad der Versorgungssicherheit ist individuell auszuhandeln, je höher die gewünschte Versorgungssicherheit, desto höher ist (aufgrund der zusätzlichen Container) auch der daraus resultierende Wärmeverkaufspreis. Der Grad der Versorgungssicherheit ist grundsätzlich davon abhängig, ob das LWS-System zur Grundlastdeckung oder Vollversorgung eines Abnehmers eingesetzt werden soll.
- Die Entfernung der Abnehmer von der Wärmequelle wurde mit maximal 15 km festgelegt. Dies hat einerseits ökologische Gründe (siehe Berechnung der Ökobilanz), andererseits wirken sich größere Entfernungen auch auf die Transportdauer und damit auf den Wärmepreis aus. Innerhalb dieses Radius ist es nicht empfehlenswert, für jeden Kunden individuelle Wärmepreise auf Basis der unterschiedlichen Transportdauer zu kalkulieren, da die Manipulationszeit in Relation zur Transportdauer den wesentlich höheren Einfluss besitzt.

#### Sonstige Kriterien:

- Eine Reduktion der Investitionskosten durch Erhöhung der Förderanteile ist anzustreben. Wie in Kapitel 7.7 aufgezeigt, sind – je nach Region – unterschiedliche Förderquoten verfügbar, eine Investitionsförderquote von 30–40 % auf die anrechenbaren Investitionskosten (Wärmeauskopplung an der Wärmequelle, LWS-Container) kann als realistisch angesehen werden.

**Prinzipiell sollten bei der Entscheidung der Abwärmenutzung aber auch Alternativen geprüft werden. Die Prüfung sollte gemäß der Hierarchie: „Abwärmevermeidung – interne Nutzung der Abwärme – konventionelle Wärmeliefermodelle (z.B. Wärmetrasse) – LWS-System“ erfolgen, um den größtmöglichen Gesamtnutzen aus ökologischer und ökonomischer Sicht zu erreichen.**

## 10.3 Ausblick

### 10.3.1 Mobile Anwendung

Aufgrund der im Rahmen des vorgestellten Projektes gewonnenen Erkenntnisse kann gesagt werden, dass sich die mobile Anwendung von Latentwärmespeichern zum jetzigen Zeitpunkt nur auf Einzelprojekte beschränken kann, obwohl dieses System eine ökologisch sinnvolle Ergänzung zu konventionellen Fernwärmesystemen darstellt.

Aus technischer Sicht könnte eine breite Anwendung bereits jetzt stattfinden, wobei sich das Anwendungsgebiet mit der Entwicklung von PCM's mit höherem Temperaturprofil sicher noch um ein Vielfaches erweitern lässt.

Die größten Hemmnisse für eine breite Umsetzung liegen in der Wirtschaftlichkeit des Systems, wobei die Investitionskosten für LWS-Container und das zugehörige technische Equipment (z.B. Wärmeauskopplung, Chassis, Überwachungseinrichtungen etc.) nicht das größte Hindernis darstellen. Die Problematik liegt hauptsächlich in den hohen Transportkosten, eine rückläufige Tendenz ist aufgrund der steigenden Energiekosten, die durch die Treibstoffkosten auch direkt in die Transportkosten einfließen, nicht zu erwarten. Kann bei einem LWS-Projekt nicht auf vorhandene Kapazitäten (z.B. eigener Fuhrpark der übergeordneten Organisation, Kooperationsmöglichkeiten mit Stadtwerken und/oder Maschinenring o.ä.) zurückgegriffen werden, ist auch zukünftig nicht mit einer wesentlichen Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zu rechnen.

Eine Möglichkeit, die spezifischen Transportkosten [€/MWh] zu senken und damit die Gesteungskosten zu verringern, wäre eine Erhöhung der Speicherkapazität der LWS-Container, wie in Abb. 27 dargestellt wurde. Dieser Punkt stellt eine große Herausforderung an die Entwickler derartiger Systeme dar, da mit einer Erhöhung der Speicherkapazität einerseits die Umweltverträglichkeit des PCM gewährleistet und andererseits auch das Gesamtgewicht des Containers auf einem Maß gehalten werden muss, sodass ein üblicher Straßentransport stattfinden kann.

Das vorliegende LWS-Projekt könnte in Zukunft auch eine Möglichkeit sein, CO<sub>2</sub>-Zertifikate zu handeln, damit die von der EU geforderten 20 % weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß<sup>76</sup> realisierbar sind. Es bleibt abzuwarten, welche Maßnahmen die EU und die einzelnen Staaten setzen um dieses Ziel zu erreichen. Sollte es in diesem Zusammenhang zur finanziellen Unterstützung von Projekten mit dem Ziel der CO<sub>2</sub>-Reduktion oder aber auch zu einer Art „Bonus-Malus-System“ für CO<sub>2</sub>-Ausstoß kommen, so könnte sich damit eine vollkommen neue Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eines LWS-Systems ergeben.

Ein weiterer Punkt, der zukünftig eine breitere Anwendung von mobilen LWS-Systemen realistisch erscheinen lässt, sind die steigenden Energiepreise. In nachfolgender Abbildung sind Szenarien dargestellt, wie sich die Wärmegestehungskosten in einem LWS-System (als Basis dienen die in Kapitel 7 dargestellten allgemeinen Wirtschaftlichkeitsberechnungen) gegenüber den Kosten fossiler Brennstoffe (Heizöl oder Erdgas) mit steigendem Rohölpreis verhalten.

<sup>76</sup> [http://www.klima-aktiv.com/article101\\_3646.html](http://www.klima-aktiv.com/article101_3646.html) [15.03.07]

Hierzu wurden folgende Annahmen zum Einfluss des Rohölpreises auf die einzelnen Parameter getroffen:

- Verbraucherpreisindex: als Basis wurde eine jährliche Steigerung von 2 % angenommen. Der direkte Einfluss des Rohölpreises wird mit ca. 7,5 % angegeben, der indirekte Einfluss mit rund einem Prozent<sup>77</sup>. Der damit variable VPI wurde für die Personal-, und O&M-Kosten eingesetzt.
- Transportkosten: der Treibstoffanteil wird im Transportwesen üblicherweise mit 25–35 %<sup>78</sup> der Transportkosten eingesetzt. Da im Fall des mobilen LWS aber relativ geringe Kilometerleistungen, dafür aber hoher Personalaufwand gefordert ist, wurde der Einfluss mit 10 % angenommen.
- Strompreis: der Einfluss des Rohölpreises wurde mit 20 % angesetzt.
- Mietpreis: eine konstante Steigerung von 2 % p.a. wurde herangezogen.
- Heizölpreis: Der Einfluss des Rohölpreises wurde mit 50 % festgesetzt. Basis hierfür waren eigene Berechnungen der Zeiträume 03–08/2006 (Rohölpreis: +21 %) und 08–12/2006 (Rohölpreis: –16 %)<sup>79</sup>. Diese Werte wurden auch für die Berechnungen verwendet.

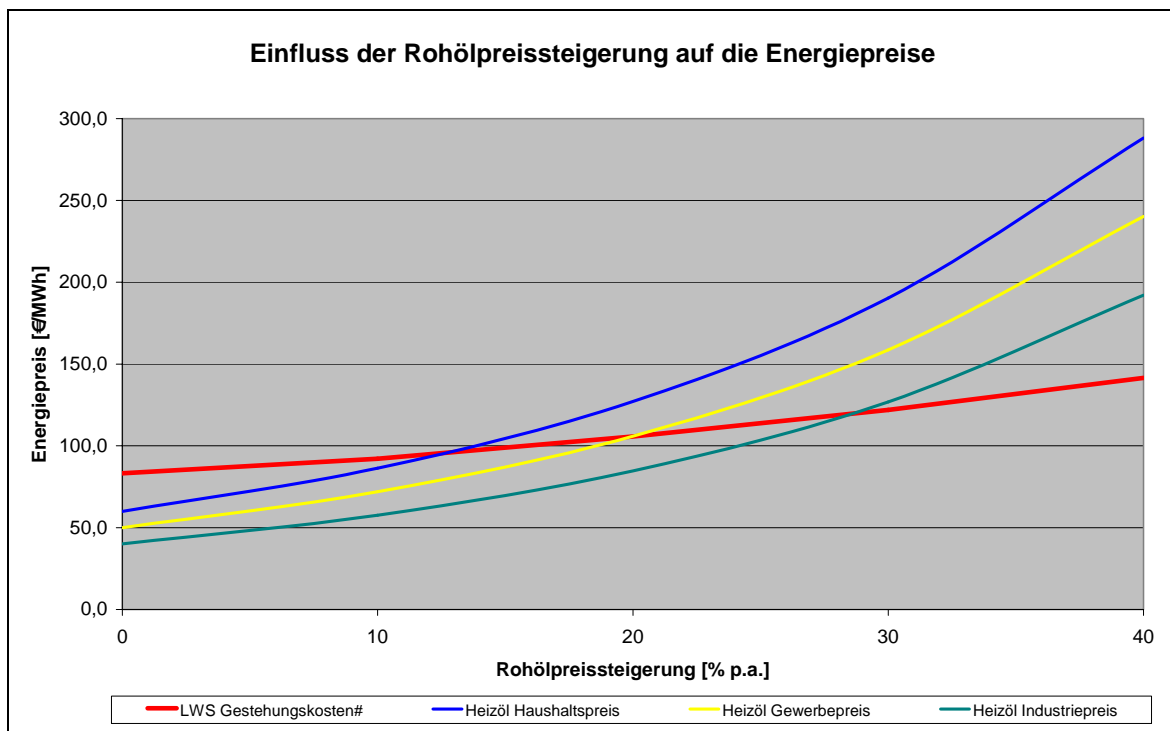


Abb. 52: Einfluss der Rohölpreissteigerung auf die Energiepreise

Aus dieser Betrachtung ergibt sich ein interessantes Ergebnis: der Einfluss des Rohölpreises ist bei einem LWS-System deutlich geringer als bei fossilen Primärenergiequellen. Damit kann mit dem LWS eine wesentlich stabilere Preisgestaltung erfolgen. Vergleicht man die Wärmegestehungskosten (Schnittstelle: „Energietank“ beim Verbraucher) des LWS-Systems mit den Heizölpreisen auf unterschiedlichen Verbraucherniveaus (Haushalt, Gewerbe und Industrie), so kann das LWS-System bereits ab einer jährlichen Rohölpreissteigerung von rund 15 % auch ohne zusätzliche Fördermittel wirtschaft-

<sup>77</sup> Quelle: Statistik Austria, Österreichische Energieagentur, [http://www.eva.ac.at/\(de\)/enz/epi/zs-epi06.htm](http://www.eva.ac.at/(de)/enz/epi/zs-epi06.htm), 22.03.2007

<sup>78</sup> Quelle: Wirtschaftskammer Tirol, Sparte Transport und Verkehr

<sup>79</sup> Quelle: [www.tecson.de](http://www.tecson.de). Rohöl: rechnerisches Mittel North Sea Brent, Arabian Light

lich konkurrieren. Bei der Hauptzielgruppe „Gewerbe“ findet dieser wirtschaftliche Umschlagpunkt ab einer jährlichen Rohölpreissteigerung von ca. 20 % statt (Durchrechnungszeitraum 15 Jahre).

Es muss nochmals betont werden, dass es sich um ein theoretisches Szenario handelt, welches auf Basis heutiger Einflussparameter erstellt wurde. Wie die einzelnen Einflüsse tatsächlich verhalten werden, kann aufgrund möglicher lenkender Maßnahmen (z.B. staatliche Stützung des Heizölpreises, Steuererhöhung auf Diesel-Kraftstoffe etc.) nicht abgeschätzt werden.

### 10.3.2 Stationäre Anwendung

Die stationäre Anwendung von Latentwärmespeichern ist derzeit vorwiegend auf kleine Niedertemperatursysteme (z.B. Speicher für Solaranlagen) beschränkt. In diesem Bereich kann diese Technologie bereits als Stand der Technik angesehen werden, wobei der wesentliche Vorteil gegenüber konventionellen Wasserspeichern im Platzbedarf des Speichers liegt.

Dieser Vorteil kann zukünftig auch im großtechnischen Bereich Anwendung finden: betrachtet man einen LWS-Container mit 2,5 MWh Speicherkapazität (Temperaturspreizung Beladung: 90/60°C), so weist dieser eine Kubatur von rund 38,5 m<sup>3</sup> auf. Ein vergleichbarer Wasserspeicher mit denselben Kriterien benötigt ein Volumen von ca. 72 m<sup>3</sup> (ohne Isolation), also rund das Doppelte. Die Kosten für einen Latentwärmespeicher und einen vergleichbaren Wasserspeicher liegen in etwa auf demselben Preisniveau. Hinzu kommt die Tatsache, dass Latentwärmespeicher aufgrund der Speicherart weniger Wärmeverluste als Wasserspeicher aufweisen und daher auch im Freien aufgestellt werden können, ohne dass ein erheblicher Mehraufwand für Isolierung entsteht.

Eine zukünftig sehr interessante Möglichkeit für den Einsatz von Latentwärmespeichern kann sich im Zuge von Energieeffizienz-Maßnahmen in der Industrie, aber auch bei Biomasse-Fernheizwerken entwickeln. In der Industrie finden häufig Wärmeprozesse statt, die durch zwei unterschiedliche Eigenschaften charakterisiert sind: einerseits finden Prozesse statt, die einen stark schwankenden Wärmebedarf aufweisen. In diesem Fall kann mit Wärmepufferung der Einsatz von Primärbrennstoffen reduziert werden, da eine bessere Energieausnutzung stattfinden kann. Andererseits gibt es Prozesse, deren Abwärme genutzt werden könnte, die aber oft zeitversetzt zum Wärmebedarf anderer Prozesse stattfinden. Auch hier kann die Wärmespeicherung den Einsatz von Primärbrennstoffen drastisch verringern.

Im Fall der Biomasse-Fernheizwerke kann der Latentwärmespeicher eine positive Ergänzung zur Reduzierung der Spitzenlastfeuerung darstellen: Im Gegensatz zu öl- bzw. gasgefeuerten Heizwerken weisen Biomasse-Heizwerke eine gewisse Trägheit auf, die ein direktes Nachfahren der Wärmeganglinie nur bedingt zulassen. Eine weitere Schwierigkeit sind die im Gegensatz zu flüssigen und gasförmigen Brennstoffen erhöhten Investitionskosten von Heizwerken mit festen Brennstoffen, aufgrund dessen diese Heizwerke meist auf eine Grundlast ausgelegt werden, Spitzenlasten werden mit einem Öl- bzw. Gaskessel bereit gestellt. Mit dem Einsatz von Wärmespeichersystemen kann einerseits die Trägheit der Biomasse-Systeme zumindest teilweise ausgeglichen werden, andererseits kann durch die Speicherung von mit Biomasse erzeugter Wärme in Schwachlastzeiten der fossile Brennstoffbedarf in Spitzenzeiten reduziert werden.

Bei beiden Anwendungen, in Industrie und bei Biomasse-Heizwerken, sind allerdings höhere Temperaturprofile bei den Speichern notwendig, da „Niedertemperatur“ bei Industrieprozessen meist 80–95°C darstellt. Auch die Vorlauftemperaturen von Fernwärmenetzwerken liegen konventionell in diesem Bereich. Geht man von einer benötigten Temperaturspreizung von 15–20 °C für die Wärmeübertragung Speicher – Verbraucher aus, so müssten die Speichertemperaturen bei mindestens 95–110°C liegen. Es gibt zwar bereits PCM, deren Wärmeübergang in diesem Temperaturbereich liegen, allerdings wurden nach derzeitigem Wissensstand noch keine großtechnischen Speicher damit realisiert. Im Gegen-

satz zu mobilen LWS-Speichern ist hier aber nicht auf die Transportierbarkeit der Speicher zu achten, d.h. die Gewichte der Container sind quasi unlimitiert. Damit ergeben sich im Bereich der stationären Anwendung wesentlich höhere Chancen, dass derartige Hochtemperaturspeicher in nächster Zeit am Markt erhältlich sein werden.

Ein sehr großes Anwendungspotential in der Industrie würde sich mit der Entwicklung von Speichern im Hochtemperaturbereich ab 150–200°C ergeben, um Dampf speichern zu können. Es finden zwar umfangreiche F&E-Aktivitäten in diesem Bereich statt, allerdings sind diese derzeit im Bereich der Grundlagenforschung von geeigneten PCM's angesiedelt. Mit einer serienreifen Marktentwicklung derartiger Speicher ist erst mittel- bis langfristig zu rechnen.

### 10.3.3 Sonderanwendungen

Eine Möglichkeit, trotz der erhöhten Wärmegestehungskosten bereits zum jetzigen Zeitpunkt ein wirtschaftliches Projekt zu initiieren, könnte der mobile Einsatz des LWS bei Spezialapplikationen darstellen, bei denen ein höherer Wärmepreis erzielbar ist. Folgende Beispiele können für derartige Anwendungen dienen:

- Winterheizung bei Rohbauten: Bei Rohbauten werden zur Betontrocknung in den Wintermonaten derzeit oft gasbetriebene Heizkanonen eingesetzt. In einer näheren Untersuchung müsste der Fragestellung nachgegangen werden, ob das niedrige Temperaturprofil für eine derartige Applikation ausreichend ist und wie die Wärmeübertragung stattfinden kann.
- Übergangsheizung z.B. bei größeren Neuwohnbauten, die abschnittsweise bezogen werden bzw. bei Althausanierung von ganzen Straßenzügen im städtischen Bereich. Da die meisten Neubauten bzw. Renovierungsmassen ohnehin über eine zentrale Wärmeenergieeinheit mit entsprechendem Leitungsnetz verfügen, könnte eine Ankopplung an das Leitungsnetz problemlos stattfinden. Der Vorteil des LWS-Systems liegt darin, dass die Investition in das letztendliche Heizsystem erst zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden kann bzw. bei geplanter Installation einer KWK-Einheit (z.B. gasbetriebenes BHKW) das BHKW erst in Betrieb genommen werden muss, wenn sämtliche Wärmeabnehmer angebunden worden sind.
- Zeltheizung: Bei Veranstaltungen, die in Zelten stattfinden, wird derzeit üblicherweise mit Gaskanonen geheizt. Analog zur Anwendung bei Rohbauten stellen sich auch hier die Fragen nach dem ausreichenden Temperaturprofil und der Wärmeübertragung.
- „Containerdörfer“ bei Großbaustellen: Bürocontainer auf Baustellen werden üblicherweise elektrisch beheizt. Dadurch entstehen hohe Kosten für die Beheizung, mit einer LWS-Versorgung könnten diese Kosten gesenkt werden. Die Wärmeübertragung vom LWS- zu den Bürocontainern könnte über ein einfach zu installierendes, flexibles Wärmenetz realisiert werden, allerdings müssten auch die Bürocontainer entsprechend adaptiert werden (z.B. mit Kapillarrohrmatten, die im Fußboden oder an den Wänden angebracht werden).

Ein wesentlicher Nachteil dieser Spezialapplikationen ist der diskontinuierliche Anfall der Wärmekunden. Es kann nicht davon ausgegangen werden, ein Modellsystem ausschließlich mit solchen Spezialapplikationen zu betreiben, da die Verbraucher innerhalb des definierten Versorgungsradius nicht langfristig planbar sind. Additiv zu einem in dieser Studie vorgestellten „Basisbetrieb“ könnten diese Anwendungen aber eine positive Ergänzung darstellen und zu einer Erhöhung der Gesamtwirtschaftlichkeit beitragen.

#### **10.3.4 Demonstrationsprojekt in Brixlegg**

Die Montanwerke Brixlegg AG stehen dem Projekt Latentwärmespeicher nach wie vor positiv gegenüber, obwohl die Realisierung eines Demonstrationsprojektes nicht unmittelbar erfolgen wird. Die Gründe liegen einerseits in der Aufbereitung der Thematik bei den potentiellen Abnehmern, hier sind noch sehr viele Detailfragen zu klären bevor eine Umsetzung stattfinden kann. Der zentrale Punkt auf der Abnehmerseite ist das derzeit noch zu niedrige Temperaturprofil der Wärmespeicher. Sollten in nächster Zeit Entwicklungen von mobilen Latentwärmespeichern mit höherer Nutztemperatur auf den Markt kommen, die auch von der Preisgestaltung in einem vertretbaren Rahmen liegen, so sind die Montanwerke Brixlegg AG durchaus bereit, in erneute, konkretere Verhandlungen mit den bereits angesprochenen Abnehmern zu treten bzw. aktiv neue Wärmekunden zu gewinnen und ein Demonstrationsprojekt zu initiieren.

## 11 Verzeichnisse

### 11.1 Abkürzungsverzeichnis

|           |   |
|-----------|---|
| AdSLR     | Amt der Salzburger Landesregierung  |
| AdTLR     | Amt der Tiroler Landesregierung   |
| AP        | Arbeitspaket  |
| AWS       | Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH   |
| BGBI      | Bundesgesetzblatt   |
| Bh        | Betriebsstunden   |
| BMLFUW    | Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft<br>(Lebensministerium) |
| DBA-VO    | Druckbehälteraufstellungsverordnung   |
| DGÜW-V    | Druckgeräteüberwachungsverordnung   |
| DGVO      | Druckgeräteverordnung   |
| DLR       | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt   |
| DRZ       | Durchrechnungszeitraum  |
| dT        | Temperaturdifferenz   |
| ECRA      | Emission Certificate Registry Austria   |
| EG-K      | Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen   |
| EG-V      | Vertrag der Europäischen Gemeinschaft   |
| EXAA      | Energy Exchange Austria   |
| EZG       | Emissionszertifikatgesetz   |
| FAV       | Feuerungsanlagenverordnung  |
| GHG       | Greenhouse Gas  |
| GEMIS     | Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme  |
| GewO      | Gewerbeordnung  |
| HEL (HÖI) | Heizöl Extraleicht  |
| i.d.a.F.  | in der aktuellen Fassung  |
| IEA       | Internationale Energieagentur   |
| IPPC      | Integrated Pollution, Prevention and Control  |
| ISO       | International Organization for Standardization  |
| ITL       | International Transaction Log   |
| KEA       | Kumulierter Energieaufwand  |
| KEV       | Kumulierter Energieverbrauch  |
| KPC       | Kommunalkredit Public Consulting  |
| KWF       | Kärntner WirtschaftsförderungsFonds   |
| LGBl      | Landesgesetzblatt   |
| LRV-K     | Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen   |
| LWS       | Latentwärmespeicher   |
| MA        | Mitarbeiter   |



|        |   |
|--------|---|
| MWB    | Montanwerke Brixlegg AG   |
| NaAc   | Natriumacetat   |
| NAP    | Nationaler Allokationsplan                                      |
| ND     | Niederdruck   |
| NMVOG  | Flüchtige Nichtmethan-Kohlenwasserstoffe                        |
| O&M    | Wartung und Instandhaltung (Operation and Maintenance)          |
| ÖKL    | Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung |
| PCM    | Phase changing material   |
| PSE    | Polystyrol (geschäumt)  |
| PU/PUR | Polyurethan   |
| SA     | Sattelaufleger  |
| SFG    | Steirische Wirtschaftsförderungsgesellschaft mbH                |
| SZM    | Sattelzugmaschine   |
| THG    | Treibhausgase   |
| THP    | Treibhauspotential  |
| TOPP   | Troposphärische Ozon-Vorläufer-Äquivalente                      |
| VDI    | Verein Deutscher Ingenieure                                     |
| WAB    | Wechselaufbau   |
| WGK    | Wärmegestehungskosten   |
| WIBAG  | Wirtschaftsservice Burgenland AG                                |
| WIR31  | Wirtschaftsraum 31  |
| WKW    | Wirtschaftskammer Wien  |
| WRG    | Wärmerückgewinnungsanlage                                       |
| WQ     | Wärmequelle   |
| WVS    | Wärmeversorgungssystem  |

## 11.2 Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abb. 1: Ablauf der Wärmeversorgung .....                                      | 11 |
| Abb. 2: Vorgangsweise im Projekt .....  | 11 |
| Abb. 3: Einteilung von Wärmespeichern .....                                   | 14 |
| Abb. 4: Vergleich sensible und latente Wärmespeicherung.....                  | 15 |
| Abb. 5: Speichermaterialien mit Schmelzenergien und Schmelztemperaturen ..... | 17 |
| Abb. 6: Prozessflussschema .....  | 23 |
| Abb. 7: Skizze LWS-Einbindung .....   | 26 |
| Abb. 8: Berechnung LWS-Einbindung im Flammofen-Kühlkreis.....                 | 27 |
| Abb. 9: LWS-System Fa. Alfred Schneider GmbH.....                             | 32 |
| Abb. 10: LWS-System Fa. Transheat GmbH .....                                  | 32 |
| Abb. 11: LWS-System Fa. Powertank GmbH (Einzelzellen).....                    | 33 |
| Abb. 12: Versorgungsradius für das angestrebte Modellprojekt .....            | 34 |
| Abb. 13: Zugmaschinen und Containerchassis.....                               | 38 |
| Abb. 14: Beladungsmöglichkeiten Bahntransport .....                           | 41 |
| Abb. 15: Mobiler Umschlagsgerät .....   | 41 |
| Abb. 16: Umladevorgang.....   | 41 |
| Abb. 17: Einordnung des Themas ins Facility Management.....                   | 43 |
| Abb. 18: Kurz-Fragebogen zur Erhebung des Kundeninteresses .....              | 46 |
| Abb. 19: Auswertung Frage 1 .....   | 47 |
| Abb. 20: Auswertung Frage 2.....  | 48 |
| Abb. 21: Auswertung Frage 3 .....   | 48 |
| Abb. 22: Auswertung Frage 4.....  | 49 |
| Abb. 23: Sensitivitätsanalyse (Faktor 1).....                                 | 63 |
| Abb. 24: Sensitivitätsanalyse (Faktor 1,5).....                               | 63 |
| Abb. 25: Sensitivitätsanalyse (Faktor 2).....                                 | 64 |
| Abb. 26: Einfluss des Wärmeabnahmegrades auf die Wärmegestehungskosten .....  | 65 |
| Abb. 27: Einfluss der Energiedichte auf die Wärmegestehungskosten .....       | 65 |
| Abb. 28: Einfluss der Zyklenzahl auf die Wärmegestehungskosten .....          | 66 |
| Abb. 29: Einfluss der Gesamtwärmemenge auf die Wärmegestehungskosten.....     | 66 |
| Abb. 30: Preisentwicklung CO2-Zertifikate im Zeitraum 06/2006 – 03/2007 ..... | 71 |
| Abb. 31: Einfluss des Marktpreises von CO2-Zertifikaten auf die WGK.....      | 71 |
| Abb. 32: Bestandteile einer Ökobilanz .....                                   | 76 |
| Abb. 33: Lebenszyklus eines LWS-Container .....                               | 81 |
| Abb. 34: Stoff- und Mengenbilanz eines LWS-Containers.....                    | 82 |
| Abb. 35: Stoff- und Mengenbilanz für Natriumacetat (Basis: Natronlauge) ..... | 82 |
| Abb. 36: Stoff- und Mengenbilanz für Natriumacetat (Basis: Soda) .....        | 83 |
| Abb. 37: Stoff- und Mengenbilanz für Essigsäure (Monsanto Prozess) .....      | 83 |
| Abb. 38: Stoff- und Mengenbilanz für Soda (Solvay-Verfahren).....             | 83 |
| Abb. 39: Stoff- und Mengenbilanz für Natronlauge (Elektrolyseverfahren).....  | 84 |

|  |     |
|--|-----|
| Abb. 40: Relevante Einflüsse beim LWS-Wärmeliefersystem .....                            | 85  |
| Abb. 41: Jahresdauerlinie Betrieb 1 und 2 (Prozess- und Heizwärme) .....                 | 95  |
| Abb. 42: Angenäherte Lastverteilung (Gesamtenergiebedarf) Betrieb 4 .....                | 96  |
| Abb. 43: Relativer Energiebedarf Prozesswärme (Tagesverlauf im Wochendurchschnitt) ..... | 97  |
| Abb. 44: Verteilung LWS- und Spitzenlastsysteme.....                                     | 97  |
| Abb. 45: Lastverteilung im Wochendurchschnitt in Betrieb 1 .....                         | 98  |
| Abb. 46: Jahresverlauf Energiebedarf Abnehmer 4 .....                                    | 99  |
| Abb. 47: Grafische Darstellung der Lieferintervalle (Juni).....                          | 101 |
| Abb. 48: Grafische Darstellung der Lieferintervalle (Dezember).....                      | 101 |
| Abb. 49: Verteilung der LWS-Container im Modell Brixlegg .....                           | 103 |
| Abb. 50: Darstellung der Lieferintervalle in Variante 4.....                             | 104 |
| Abb. 51: Wärmegestehungskosten Best-Case-Simulation (Variante 4) .....                   | 105 |
| Abb. 52: Einfluss der Rohölpreissteigerung auf die Energiepreise .....                   | 114 |

### 11.3 Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tabelle 1: Speichermaterialien und deren Schmelztemperaturen .....                               | 17 |
| Tabelle 2: Kostenstellenbezogene Energietabelle (Auszug).....                                    | 24 |
| Tabelle 3: Prozessbezogene Energietabelle (Auszug) .....   | 24 |
| Tabelle 4: Relevanzmatrix für Prozesswasserpotentiale (optimierte Bedingungen).....              | 25 |
| Tabelle 5: Vergleich von mobilen LWS-Systemen am Markt.....                                      | 31 |
| Tabelle 6: Genehmigungspflichtige Abmessungen für Lastkraftfahrzeuge in Tirol.....               | 35 |
| Tabelle 7: Genehmigungspflichtige Gesamtgewichte für Lastkraftfahrzeuge in Tirol.....            | 35 |
| Tabelle 8: Übersicht möglicher Containergewichte ohne Genehmigungspflicht.....                   | 39 |
| Tabelle 9: Transportkostenübersicht .....  | 40 |
| Tabelle 10: Kosten für den Bahntransport.....  | 42 |
| Tabelle 11: Bestehende Energieversorgung befragter Gewerbebetriebe.....                          | 50 |
| Tabelle 12: Bestehende Energieversorgung befragter Gewerbebetriebe.....                          | 51 |
| Tabelle 13: Erforderliche wirtschaftliche Kenndaten Wärmequelle.....                             | 56 |
| Tabelle 14: Erforderliche wirtschaftliche Kenndaten Wärmelogistik .....                          | 56 |
| Tabelle 15: Erforderliche wirtschaftliche Kenndaten Wärmeabnehmer .....                          | 56 |
| Tabelle 16: Investitionskosten Wärmequelle.....  | 58 |
| Tabelle 17: Laufende Kosten Wärmequelle .....  | 58 |
| Tabelle 18: Investitionskosten Wärmetransport .....  | 59 |
| Tabelle 19: Laufende Kosten Wärmetransport.....  | 59 |
| Tabelle 20: Investitionskosten Wärmeabnahme .....  | 59 |
| Tabelle 21: Laufende Kosten Wärmeabnahme.....  | 59 |
| Tabelle 22: Basisdaten Kapitalkosten .....   | 60 |
| Tabelle 23: Wärmegestehungskosten nach eigener Berechnung .....                                  | 60 |
| Tabelle 24: Wärmegestehungskosten nach VDI2067 .....   | 60 |
| Tabelle 25: Wärmegestehungskosten nach eigener Berechnung .....                                  | 61 |
| Tabelle 26: Wärmegestehungskosten nach eigener Berechnung .....                                  | 61 |
| Tabelle 27: Streuungsbereiche in den Varianten zur Sensibilitätsanalyse .....                    | 62 |
| Tabelle 28: Beispiel einer Bewertungsmatrix für nicht-monetäre Kriterien .....                   | 69 |
| Tabelle 29: Sektoren und Branchen lt. Emissionshandelsrichtlinie .....                           | 70 |
| Tabelle 30: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Heizölfeuerung (NaAc aus Soda) .....        | 86 |
| Tabelle 31: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Heizölfeuerung (NaAc aus Natronlauge) ..... | 86 |
| Tabelle 32: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Heizölfeuerung (Brennwertkessel).....       | 87 |
| Tabelle 33: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Gasfeuerung (NaAc aus Soda).....            | 87 |
| Tabelle 34: Maximale Gesamtkilometer im Vergleich zu Gasfeuerung (NaAc aus Natronlauge) .....    | 88 |
| Tabelle 35: Angaben zu den ausgewählten Betrieben.....   | 93 |
| Tabelle 36: Energieversorgungssysteme Betrieb 1 .....  | 94 |
| Tabelle 37: Energieversorgungssysteme Betrieb 2 .....  | 94 |
| Tabelle 38: Energieversorgungssysteme Betrieb 3 .....  | 94 |
| Tabelle 39: Energieversorgungssysteme Betrieb 4 .....  | 94 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabelle 40: Deckungsraten durch LWS-System .....                  | 99  |
| Tabelle 41: Bestimmung der Lieferintervalle (Auszug) .....        | 100 |
| Tabelle 42: Varianten zur Wirtschaftlichkeitsberechnung .....     | 103 |
| Tabelle 43: Variantenstudie: Wärmegestehungskosten in €/MWh ..... | 105 |

## 11.4 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Breuer, H.** [Hrsg.] (1991): Atlas zur Chemie, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH + Co KG, München.
- Cavelius R., et.al.** (2004): BWK – Das Energie Fachmagazin, Wärmelogistik für eine Biogasanlage in Wallonien, Bd. 56, Nr.9, Springer VDI Verlag, Düsseldorf.
- C.A.R.M.E.N. e.V.** [Hrsg.] (2004): Schriftenreihe QM Holzheizwerke – Band 4: Planungshandbuch, ISBN 3-937441-94-8, Straubing
- Deutsches Institut für Normung** [Hrsg.] (2005): DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement, Ökobilanz, Grundsätze und Rahmenbedingungen, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- Europäisches Parlament und Rat** [Hrsg.] (2003): Richtlinie 2003/87/EG über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft - Emissionshandelsrichtlinie, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- Fachinformationszentrum Karlsruhe** [Hrsg.] (2005): Wärmespeicher – BINE Informationsdienst, 4. erweiterte und völlig überarbeitete Auflage, TÜV Verlag GmbH, Köln, ISBN 3-8249-0853-0.
- Heinz A., Streicher W.** (2002): Solarunterstützte Wärmenetze – Technologie und Komponentenentwicklung, Endbericht, Haus der Zukunft des Bundesministeriums für Verkehr Innovation und Technologie, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Institut für Wärmetechnik, TU Graz.
- Kraus M.** (2004): Lexikon der Energiewirtschaft, Deutscher Wirtschaftsdienst – Wolters Kluwer Deutschland GmbH, München/Unterschleißheim, ISBN 3-87156-493-1.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften** [Hrsg.] (2001): Verordnung Nr. 69/2001 der Kommission über die Anwendung der Artikel 87 und 88 EG-Vertrag auf „De-minimis“-Beihilfen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Brüssel.
- Langniß O., Pehnt M.** [Hrsg.] (2001): Energie im Wandel, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, ISBN 3-540-41329-4.
- Lundie S.** (1999): Ökobilanzierung und Entscheidungstheorie – Praxisorientierte Produktbewertung auf Basis der gesellschaftlichen Werthaltung, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, ISBN 3-540-65042-3.
- Neubarth J., Kaltschmitt M.** [Hrsg.] (2000): Erneuerbare Energien in Österreich, Springer Verlag, Wien, ISBN 3-211-83579-2.
- Nowotny E., Parak C., Scheucher R.** [Hrsg.] (2004): Handbuch der österreichischen Energiewirtschaft, Manz'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung GmbH, Wien, ISBN 3-214-00323-2.
- Ostertag K., et.al.** (2000): Energiesparen – Klimaschutz der sich rechnet, Physica Verlag, Heidelberg, ISBN 3-7908-1294-3.
- Rat der Europäische Union** [Hrsg.] (2002): Entscheidung 2002/358/EG über die Genehmigung des Protokolls von Kyoto, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- Rebhan E.** [Hrsg.] (2002): Energiehandbuch – Gewinnung, Nutzung und Wandlung von Energie, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, ISBN 3-450-41259-X.
- Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.** (2005): Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik einschließlich Warmwasser und Kältetechnik, 72. Auflage, Oldenburg Industrieverlag, München, ISBN 3-486-26534-2.
- Scholz W., Hiese W.** (1999): Baustoffkenntnis, 14. neubearbeitete und erweiterte Auflage, Werner Verlag GmbH & Co. KG, Düsseldorf, ISBN 3-8041-4145-5.

- Thommen J.**, Achleitner A. (2003): Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, Wiesbaden, ISBN 3-409-43016-4.
- Tipler P.**, Mosca G. (2004): Physik – Für Wissenschaftler und Ingenieure, 2. Auflage, Elsevier Spektrum Akademischer Verlag, München, ISBN 3-86025-046-9.
- Vahs D.**, Schäfer-Kunz J.(2005): Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, ISBN 3-7910-2356-X.
- Vereinte Nationen** [Hrsg.] (1997): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Kyoto.
- Wagger, Ch.:** „Alternative Nutzung von Abwärme durch Konzipierung einer trassenlosen Wärmeversorgung mit mobilen Latentwärmespeichern“, Diplomarbeit FH-Kufstein 2006
- Waltenberger G.**(2005): Energiemanagement in der Industrie – Die energiewirtschaftlichen Grundlagen, Josef Eul Verlag GmbH, Lohmar – Köln, ISBN 3-89936-354-X.
- Wanke A.**, Trenz S. [Hrsg.] (2001): Energiemanagement für mittelständische Unternehmen – Rationaler Energieeinsatz in der Praxis, Fachverband deutscher Wirtschaftsdienst GmbH & Co. KG, Köln, ISBN 3-87156-344-7.
- Wieser M.**, Kurzweil A. (2003): Emissionsfaktoren als Grundlage für die österreichische Luftschadstoff-Inventur, Stand 2003, Band 254, Umweltbundesamt Wien, ISBN 3-85457-749-4.

#### Internetquellen:

- |  |  |
|--|--|
| <a href="http://rp7.ffg.at/RP7.aspx">http://rp7.ffg.at/RP7.aspx</a>                  | <a href="http://www.kwf.at">www.kwf.at</a>                                       |
| <a href="http://www.alfredschneider.de">www.alfredschneider.de</a>                   | <a href="http://www.laum.uni-hannover.de">www.laum.uni-hannover.de</a>           |
| <a href="http://www.bine.info">www.bine.info</a>                                     | <a href="http://www.oeko.de">www.oeko.de</a>                                     |
| <a href="http://www.co2-handel.de">www.co2-handel.de</a>                             | <a href="http://www.powertank.de">www.powertank.de</a>                           |
| <a href="http://www.crea-bhv.de">www.crea-bhv.de</a>                                 | <a href="http://www.probas.umweltbundesamt.de">www.probas.umweltbundesamt.de</a> |
| <a href="http://www.dlr.de">www.dlr.de</a>   | <a href="http://www.public-consulting.at">www.public-consulting.at</a>           |
| <a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a>                               | <a href="http://www.retscreen.net">www.retscreen.net</a>                         |
| <a href="http://www.ecra.at">www.ecra.at</a>   | <a href="http://www.ris.bka.gv.at">www.ris.bka.gv.at</a>                         |
| <a href="http://www.energieinstitut.at">www.energieinstitut.at</a>                   | <a href="http://www.salzburg.gv.at">www.salzburg.gv.at</a>                       |
| <a href="http://www.energiesparverband.at">www.energiesparverband.at</a>             | <a href="http://www.sfg.at">www.sfg.at</a>                                       |
| <a href="http://www.energiesystemederzukunft.at">www.energiesystemederzukunft.at</a> | <a href="http://www.statistik.at">www.statistik.at</a>                           |
| <a href="http://www.energiwirtschaft.ktn.gv.at">www.energiwirtschaft.ktn.gv.at</a>   | <a href="http://www.tecson.de">www.tecson.de</a>                                 |
| <a href="http://www.eva.ac.at">www.eva.ac.at</a>                                     | <a href="http://www.tirol.gv.at">www.tirol.gv.at</a>                             |
| <a href="http://www.exaa.at">www.exaa.at</a>   | <a href="http://www.transheat.de">www.transheat.de</a>                           |
| <a href="http://www.fv-sonnenenergie.de">www.fv-sonnenenergie.de</a>                 | <a href="http://www.umweltbundesamt.at">www.umweltbundesamt.at</a>               |
| <a href="http://www.grazer-ea.at">www.grazer-ea.at</a>                               | <a href="http://www.wibag.at">www.wibag.at</a>                                   |
| <a href="http://www.hawk-hhg.de">www.hawk-hhg.de</a>                                 | <a href="http://www.wifiwien.at">www.wifiwien.at</a>                             |
| <a href="http://www.hbefa.net">www.hbefa.net</a>                                     | <a href="http://www.wirtschaftsfoerderung.at">www.wirtschaftsfoerderung.at</a>   |
| <a href="http://www.iea.org">www.iea.org</a>   | <a href="http://www.wko.at">www.wko.at</a>                                       |
| <a href="http://www.ifip.tuwien.ac.at">www.ifip.tuwien.ac.at</a>                     | <a href="http://www.zae-bayern.de">www.zae-bayern.de</a>                         |