

Abwärmenutzung mit dem TransHeat-System

Auftraggeber: Landesforstverwaltung Rheinland Pfalz
vertreten durch die Struktur- und Genehmigungsbehörde Süd,
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz
Hauptstraße 16
67706 Trippstadt

Auftragnehmer: Innovations- und Transferinstitut Bingen GmbH
Berlinstraße 107a
55411 Bingen am Rhein
Leiter: Prof. Dr. Gunter Schaumann
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Tobias Langshausen
Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl

Projektnummer: 575

Datum: 5. September 2001

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Beschreibung des TransHeat-Systems.....	4
3. Vergleich verschiedener Speichersalze	7
3.1 Natriumacetat	7
3.1.1 Handhabung.....	7
3.1.2 Kosten	8
3.2 Natriumsulfat	9
3.2.1 Handhabung.....	9
3.2.2 Kosten	9
3.3 Bariumhydroxid.....	10
3.3.1 Handhabung.....	10
3.3.2 Kosten	11
3.4 Magnesiumchlorid	12
3.4.1 Handhabung.....	12
3.4.2 Kosten	12
4. Ist-Analyse.....	14
5. Versorgungskonzept	16
5.1 Die verschiedenen Betriebsmodelle des TransHeat-Systems.....	16
5.2 Auslegung der Wärmeversorgung	17
6. Wirtschaftlichkeit	21
7. Mögliche Einsatzbereiche des TransHeat-Systems	24
8. Zusammenfassung	25

1. Einleitung

Der weitaus größte Teil des Primärenergiebedarfs der Menschheit wird heute durch das Verbrennen fossiler Primärenergieträger bereitgestellt. Aus dieser Primärenergie wird wiederum in Umwandlungsprozessen Sekundärenergie wie z.B. Elektrizität bereitgestellt. Hierbei entsteht Abwärme, die in vielen Fällen nicht weiter genutzt, sondern einfach rückgekühlt wird.

Da jedoch der Vorrat an fossilen Primärenergieträgern auf der Erde begrenzt ist, deren Nutzung CO₂ als Treibhausgas freisetzt und kurzfristig noch keine alternativen Energiequellen in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, ist es heute dringend notwendig, die Gesamteffizienz der Anlagen zu verbessern und somit den Brennstoffverbrauch und die CO₂ Emission zu senken.

Zum Erreichen dieses Zieles ist die Nutzung der Abwärme von zentraler Bedeutung. Eine Variante der Abwärmenutzung aus solch großen Anlagen ist deren Speicherung in, mit Speichersalzen gefüllten, Latentwärmespeichern. Ein bereits vorhandenes, großvolumiges Latentwärme-Speichersystem ist das TransHeat-System der Eureka AG.

In nachfolgenden Betrachtungen wird eine Beschreibung und Beurteilung des TransHeat-Systems gegeben. Außerdem wird das verwendete Speichersalz mit möglichen anderen Speichersalzen verglichen, die Wirtschaftlichkeit des Systems untersucht und mögliche Einsatzbereiche beschrieben.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Betrachtungen noch einmal kurz dargestellt und daraus eine Schlussfolgerung gezogen.

2. Beschreibung des TransHeat-Systems

Das TransHeat-System ist ein mobiler Latentwärmespeicher, mit Natriumacetat als Wärmeträgermedium.

Dieses System ist für eine Wärmever- und Entsorgung zwischen großen Anbietern (Kraftwerken oder Produktionsanlagen) und großen Abnehmern vorgesehen. Aus diesem Grund sind die Speicher als Container (6x2,5x2,5m) mit einem Inhalt von 26t Speichersalz und 3t Wärmeträgeröl ausgeführt. Die Aufstellung beim Kunden erfolgt durch vier mobile Stützen, mit denen die Lage des Containers individuell korrigiert werden kann. Die maximal zulässige Neigung des Containers beträgt 3°.

Der gespeicherte Wärmeinhalt (zwischen 100°C und 58,5°C) beträgt 2,93 MWh.

Abbildung 2-1 zeigt einen solchen Speichercontainer.



Abbildung 2-1: TransHeat Latentwärmespeicher.

Die Speicherung und Entladung der Wärme erfolgt durch das Ausnutzen des physikalischen Schmelzprozesses des Speichermaterials Natriumacetat. Abbildung 2-2 zeigt das Funktionsprinzip des Speichers.

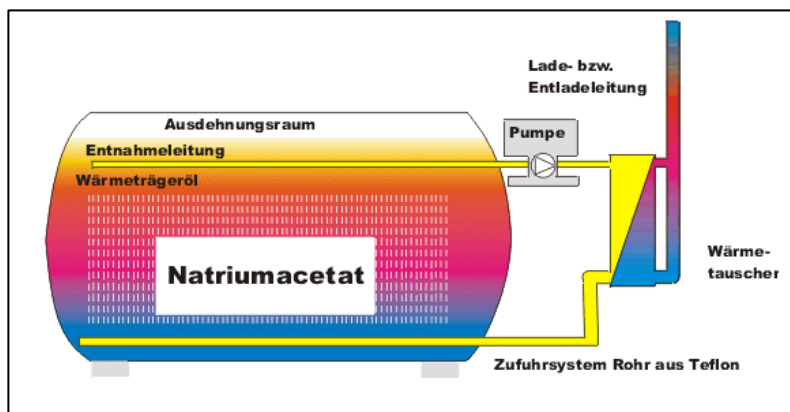


Abbildung 2-2: Funktionsprinzip des TransHeat Latentwärmespeichers.

Zur Speicherung wird ein technisches Wärmeträgeröl (Weißöl) über einen Wärmetauscher beim Wärmeanbieter aufgeheizt und durch das Natriumacetat gepumpt. Hierbei gibt das Wärmeträgeröl seine Energie an das Natriumacetat ab und heizt dieses auf. Das Wärmeträgeröl schwimmt in einer ca. 15-20 cm dicken Schicht auf dem Natriumacetat.

Der Speicher wird bis auf eine Endtemperatur von 100°C (maximal bis 120°C) aufgeladen. Die maximale Lade- und Entladeleistung beträgt 1MW.

Beim Entladen des Speichers läuft der Prozess umgekehrt ab. Nun wird das kalte Wärmeträgeröl durch das Natriumacetat gepumpt, welches dabei seine gespeicherte Wärme abgibt. Diese Wärme wird wiederum über einen Wärmetauscher beim Verbraucher eingespeist.

Das Schmelzintervall des Acetates wird bei einer Temperatur von 58,5 °C (Schmelztemperatur) durchschritten. Hierin werden ca. 55% des Wärmeinhaltes des Containers gespeichert.

Abbildung 2-3 zeigt den Verlauf des Wärmeinhalts während eines Aufheizvorganges mit der maximalen Leistung von 1MW.

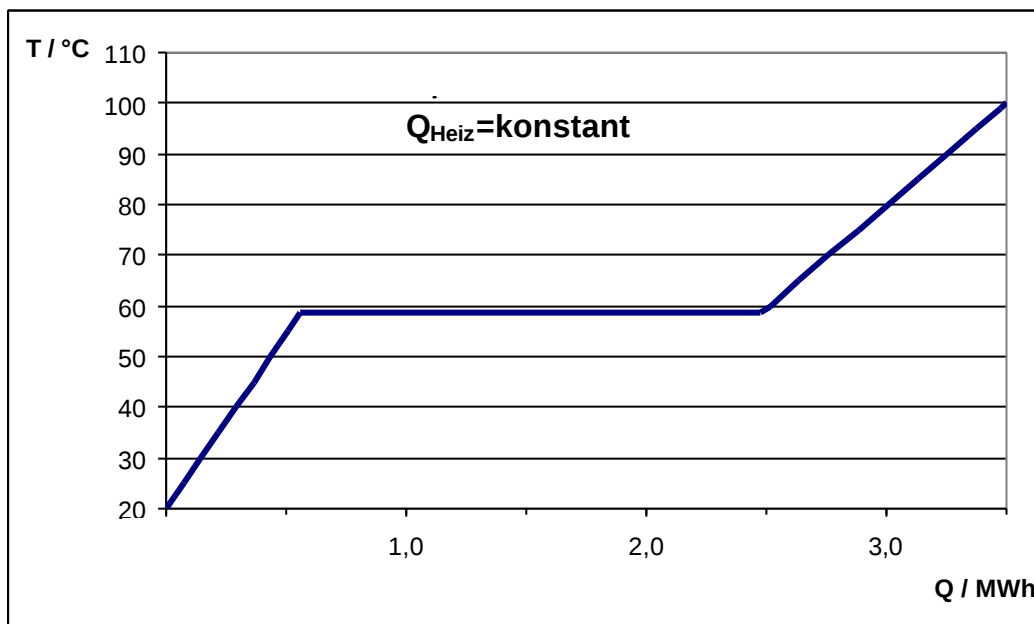


Abbildung 2-3: Verlauf des Wärmeinhalts des TransHeat-Systems während des Aufheizvorganges.

Laut Hersteller des TransHeat-Systems und der DLR, dem Entwickler der Latentwärmespeicherung mit Natriumacetat, ist dieses System zyklensfest und mindestens 20 Jahre wartungsfrei.¹

Die spezifischen Wärmekosten des TransHeat-Systems belaufen sich zur Zeit, laut Hersteller, im Wärmecontracting auf ca. 75 DM / MWh.

Darin ist jedoch ein Betrag von 10-15 DM/MWh enthalten, der von den Wärmeproduzenten für die "Entsorgung" der Abwärme gezahlt wird. (Die Rückkühlung der Abwärme würde den Wärmeproduzenten mehr kosten.)

Für einen wirtschaftlichen Betrieb dieses Systems wird vom Hersteller ein Betrieb der Wärmeversorgung mindestens während der gesamten Heizperiode mit 200-220 Füllungen pro Container und Jahr vorgesehen. Somit ist dieses System auf Stillstandszeiten (Zeiten ohne Wärmeentnahme) ≤ 1 Tag ausgelegt. Die Isolierung der Behälter ist daher einfach (mit Mineralwolle) ausgeführt und bringt dem System Bereitschaftsverluste von 0,0105 kW/K. Bei einer Außentemperatur von 10°C, einer Containertemperatur von 100°C und einem Container-Wärmeinhalt von 2,93 MWh ergibt sich ein Wärmeverlust von $Q_{\text{Verl}} = 23 \text{ kWh / d.}$

¹ Angaben aus Telefonat mit Herrn Dr. Tamme, DLR Stuttgart

Technische Daten TransHeat-System

Verwendetes Speichermaterial:	Natriumacetat
Containergröße:	6 x 2,5 x 2,5m
Containerinhalt	
Natriumacetat:	26 t
Wärmeträgeröl:	3 t
Nutzbarer Wärmeinhalt eines Containers (100°C / 58,5°C):	2,93 MWh
Maximale Speichertemperatur:	100°C
Maximale Lade- und Entladeleistung:	1 MW
Bereitschaftsverluste, Durchschnittswert	$k \cdot A = 0,0105 \text{ kW/K}$
Durchschnittlicher Wärmeverlust pro Tag	
bei $Q_{\text{Sp}} = 2,93 \text{ MWh}$ und $T_{\text{außen}} = 10^\circ\text{C}$	$Q_{\text{Verl}} = 23 \text{ kWh / d}$
(mit durchschnittlichem Bereitschaftsverlust berechnet)	

3. Vergleich verschiedener Speichersalze

In Nachfolgendem Kapitel werden verschiedene, im Einsatz befindliche Speichersalze zur Latentwärmespeicherung beschrieben und miteinander verglichen.

3.1 Natriumacetat

3.1.1 Handhabung

Natriumacetat-Trihydrat wird in Deutschland u.a. von der Firma MERCK zu Analysezwecken hergestellt und in verschiedenen Chargengrößen geliefert.

Bei der Handhabung werden keine weiteren Anforderungen gestellt. Der Stoff soll dicht verschlossen und trocken gelagert werden; die Lagertemperatur betreffend gibt es keine Einschränkungen. Bei Einatmen oder Haut- / Augenkontakt treten leichte Reizungen auf. Als persönliche Schutzausrüstung sind Augen- und Handschutz erforderlich; bei evtl. Auftreten von Stäuben zusätzlich Atemschutz.

Zur Entsorgung macht der Hersteller (MERCK) keine konkreten Angaben, da die Entsorgung von Reststoffen in der EU nicht einheitlich geregelt ist. Chemikalien, die als Reststoffe anfallen, gelten in der Regel als Sonderabfall. Die Entsorgung muss mit den regionalen Behörden / dem regionalen Abfallentsorger abgestimmt werden.

Der Stoff ist zu 99% /28 d (wasserfreie Substanz) biologisch abbaubar. Bei sachgemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.

Natriumacetat Trihydrat ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie 67/548/EWG.²

Stoffwerte Natriumacetat Trihydrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$):³

Molare Masse $M_{\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}}$	= 136,08 kg/kmol
J_{Schmelz}	= 58,5 °C
$\Delta H_{\text{Schmelz}}$	= 260 kJ/kg
c_{solid}	= 1,978 kJ/kg
c_{liquid}	= 3,349 kJ/k

Bei sachgemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.

Natriumacetat Trihydrat ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie 67/548/EWG.

² Angaben aus Merck Sicherheitsdatenblatt Natriumacetat Trihydrat (Stand: 07.1998)

³ Angaben aus Telefonaten mit Herrn Dipl.-Ing. Alfred Schneider, Alfred Schneider GmbH

3.1.2 Kosten

Natriumacetat Trihydrat, reinst von der Firma Merck kostet gemäß Merck-Katalog 2001
10,75 € / kg.⁴

Dieser Preis gilt nur für kleine Mengen zu Analysezwecken; bei Abnahme größerer Mengen
(mehrere Tonnen) der Substanz ist ein niedrigerer Preis zu erwarten.

⁴ Angaben aus Merck Katalog 2001

3.2 Natriumsulfat

3.2.1 Handhabung

Natriumsulfat-Decahydrat (Glaubersalz) wird in Deutschland u.a. von der Firma MERCK zu Analysezwecken hergestellt und in verschiedenen Chargengrößen geliefert.

Bei der Handhabung werden keine weiteren Anforderungen gestellt. Der Stoff soll dicht verschlossen und trocken gelagert werden; die Lagertemperatur betreffend gibt es keine Einschränkungen. Bei Augenkontakt treten leichte Reizungen auf. Als persönliche Schutzausrüstung sind Augen- und Handschutz erforderlich; bei evtl. Auftreten von Stäuben zusätzlich Atemschutz.

Zur Entsorgung macht der Hersteller (MERCK) keine konkreten Angaben, da die Entsorgung von Reststoffen in der EU nicht einheitlich geregelt ist. Chemikalien, die als Reststoffe anfallen, gelten in der Regel als Sonderabfall. Die Entsorgung muss mit den regionalen Behörden / dem regionalen Abfallentsorger abgestimmt werden.

Natriumsulfat-Decahydrat ist ein schwach wassergefährdender Stoff und ist daher in die Wassergefährdungsklasse 1 eingeordnet. Bei sachgemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.

Natriumsulfat-Decahydrat (Glaubersalz) ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie 67/548/EWG.⁵

Stoffwerte Natriumsulfat-Decahydrat ($\text{Na}_2\text{O}_4\text{S} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$):

Molare Masse $M_{\text{Na}_2\text{O}_4\text{S} \cdot 10\text{H}_2\text{O}}$ = 322,19 kg/kmol

T_{Schmelz} = 32,4 °C

Bei sachgemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.

Natriumsulfat-Decahydrat ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie 67/548/EWG.

3.2.2 Kosten

Natriumsulfat-Decahydrat, reinst von der Firma Merck kostet gemäß Merck-Katalog 2001 8,80 € / kg.⁴

Dieser Preis gilt nur für kleine Mengen zu Analysezwecken; bei Abnahme größerer Mengen (mehrere Tonnen) der Substanz ist ein niedrigerer Preis zu erwarten.

⁵ Angaben aus Merck Sicherheitsdatenblatt Natriumsulfat-Decahydrat (Stand: 01.2000)

3.3 Bariumhydroxid

3.3.1 Handhabung

Bariumhydroxid-Octahydrat wird in Deutschland u.a. von der Firma MERCK zu Analysezwecken hergestellt und in verschiedenen Chargengrößen geliefert.

Bei der Handhabung werden keine weiteren Anforderungen gestellt. Der Stoff soll dicht verschlossen und trocken gelagert werden; die Lagertemperatur betreffend gibt es keine Einschränkungen. Nach dem Einatmen entstehen Schleimhautreizungen, Husten und Atemnot. Bei Haut- und Augenkontakt treten Verätzungen auf. Es besteht Erblindungsgefahr! Als persönliche Schutzausrüstung sind Augen- und Handschutz erforderlich; bei evtl. Auftreten von Stäuben zusätzlich Atemschutz. Der MAK-Wert liegt bei $0,5 \text{ mg/m}^3$ einatembare Staubanteil.

Zur Entsorgung macht der Hersteller (MERCK) keine konkreten Angaben, da die Entsorgung von Reststoffen in der EU nicht einheitlich geregelt ist. Chemikalien, die als Reststoffe anfallen, gelten in der Regel als Sonderabfall. Die Entsorgung muss mit den regionalen Behörden / dem regionalen Abfallentsorger abgestimmt werden.

Bariumhydroxid-Octahydrat ist ein trinkwassergefährdender Stoff und darf daher nicht in Gewässer, Abwasser oder Erdreich gelangen! Es ist in die Wassergefährdungsklasse 1 eingeordnet.

Bariumhydroxid-Octahydrat ist gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken und verursacht Verätzungen. Es gelten die R-Sätze 20/22-34, die S-Sätze 26-36/37/39-45 und das Symbol C (ätzend).

Für den Landtransport gelten die GGVS/GGVE-Klasse 8 und die ADR/RID-Klasse 8, für den Seeschifftransport die IMDG/GGVSee-Klasse 8 und für den Lufttransport die ICAO/IATA-Klasse 8.⁶

Stoffwerte Bariumhydroxid-Octahydrat ($\text{BaH}_2\text{O}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$):

Molare Masse $M_{\text{Na}_2\text{O}_4\text{S} \cdot 10\text{H}_2\text{O}}$ = 315,48 kg/kmol

T_{Schmelz} = 78 °C

Bariumhydroxid-Octahydrat ist ein trinkwassergefährdender Stoff und darf daher nicht in Gewässer, Abwasser oder Erdreich gelangen!

Bariumhydroxid-Octahydrat ist gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken und verursacht Verätzungen.

Es gelten die R-Sätze 20/22-34, die S-Sätze 26-36/37/39-45 und das Symbol C (ätzend).

⁶ Angaben aus Merck Sicherheitsdatenblatt Bariumhydroxid-Octahydrat (Stand: 01.1999)

3.3.2 Kosten

Bariumhydroxid-Octahydrat, reinst von der Firma Merck kostet gemäß Merck-Katalog 2001 22 € / kg.⁴

Dieser Preis gilt nur für kleine Mengen zu Analysezwecken; bei Abnahme größerer Mengen (mehrere Tonnen) der Substanz ist ein niedrigerer Preis zu erwarten.

3.4 Magnesiumchlorid

3.4.1 Handhabung

Magnesiumchlorid-Hexahydrat wird in Deutschland u.a. von der Firma MERCK zu Analyse-
zwecken hergestellt und in verschiedenen Chargengrößen geliefert.

Bei der Handhabung werden keine weiteren Anforderungen gestellt. Der Stoff soll dicht ver-
schlossen und trocken gelagert werden; die Lagertemperatur betreffend gibt es keine Ein-
schränkungen. Bei Einatmen oder Haut- / Augenkontakt treten leichte Reizungen auf. Die
Resorption großer Mengen verursacht Atemlähmung und Kreislaufversagen. Als persönliche
Schutzausrüstung sind Augen- und Handschutz erforderlich; bei evtl. Auftreten von Stäuben
zusätzlich Atemschutz.

Zur Entsorgung macht der Hersteller (MERCK) keine konkreten Angaben, da die Entsorgung
von Reststoffen in der EU nicht einheitlich geregelt ist. Chemikalien, die als Reststoffe anfal-
len, gelten in der Regel als Sonderabfall. Die Entsorgung muss mit den regionalen Behörden
/ dem regionalen Abfallentsorger abgestimmt werden.

Magnesiumchlorid-Hexahydrat ist in die Wassergefährdungsklasse 1 eingeordnet. Bei sach-
gemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.⁷

Magnesiumchlorid-Hexahydrat ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie
67/548/EWG.

Stoffwerte Magnesiumchlorid-Hexahydrat ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$):

Molare Masse $M_{\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}$ = 203,30 kg/kmol

T_{Schmelz} = 117 °C

Die Resorption großer Mengen verursacht Atemlähmung und Kreislaufversagen.

Bei sachgemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.

**Natriumacetat Trihydrat ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie
67/548/EWG.**

3.4.2 Kosten

Magnesiumchlorid-Hexahydrat, reinst von der Firma Merck kostet gemäß Merck-Katalog
2001 13,05 € / kg.⁴

Dieser Preis gilt nur für kleine Mengen zu Analysezwecken; bei Abnahme größerer Mengen
(mehrere Tonnen) der Substanz ist ein niedrigerer Preis zu erwarten.

⁷ Angaben aus Merck Sicherheitsdatenblatt Magnesiumchlorid-Hexahydrat (Stand: 10.1999)

Zusammenfassung der Stoffeigenschaften

Speichersalz:	Natriumacetat-Trihydrat	Natriumsulfat-Decahydrat	Bariumhydroxid-Octahydrat	Magnesiumchlorid-Hexahydrat
Schmelztemperatur	58,5 °C	32,4 °C	78 °C	117 °C
Molare Masse	136,08 kg/kmol	322,19 kg/kmol	314,8 kg/kmol	203,30 kg/kmol
Schmelzenthalpie	260 KJ/kg	k. A.	k. A.	k. A.
Toxikologie	Ungefährlich im Sinne Richtlinie 67/548/EWG	Ungefährlich im Sinne Richtlinie 67/548/EWG	Gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken. Verursacht Verätzungen.	Ungefährlich im Sinne Richtlinie 67/548/EWG
Ökologie	Bei sachgemäßer Handhabung ökologisch unproblematisch	Bei sachgemäßer Handhabung ökologisch unproblematisch	Trinkwassergefährdend. Darf daher nicht in Gewässer, Abwasser oder Erdreich gelangen!	Bei sachgemäßer Handhabung ökologisch unproblematisch
Hersteller	Merck, Clariant	Merck	Merck, Clariant	Merck, Clariant
Kosten für Kleinmengen zu Analysezwecken (Substanz, reinst)	10,75 € / kg	8,80 € / kg	22 € / kg	13,05 € / kg

Die hier angegebenen Kosten können nicht als Grundlagen für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen herangezogen werden. Diese gelten nur Kleinmengen; für große Mengen sind niedrigere Preise zu erwarten.

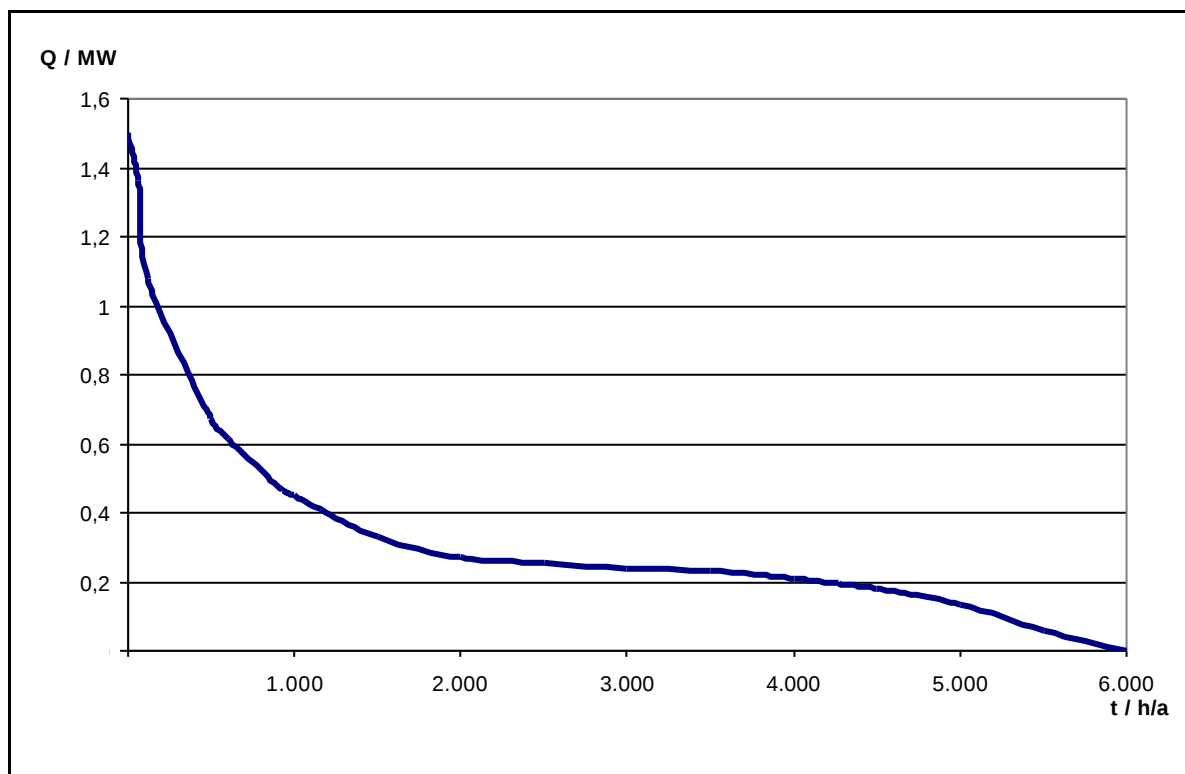
Dieser Sachverhalt ist sehr gut an den Preisen für Natriumacetat-befüllte Container zu erkennen. Wären die oben genannten Preise gültig, würde der Inhalt eines Containers das fünffache des von der Eureka AG angegebenen Containerpreises ausmachen.

4. Ist-Analyse

Als Referenzobjekt für die nachfolgende Auslegung des TransHeat-Systems dient eine Schule, die mit der Abwärme eines Biomasseheizkraftwerkes versorgt werden soll. Nachfolgend werden die bereits bestehenden Anlagen kurz beschrieben.

Das als Wärmequelle dienende Biomasse-Kraftwerk liefert das ganze Jahr hindurch ausreichend Abwärme auf einem Temperaturniveau $>100^{\circ}\text{C}$. Bisher wurde die Überschusswärme nicht weiter genutzt, sondern über Kühltürme abgeführt. Die Wärme wird dem Wärmekunden kostenlos zur Verfügung gestellt.

Die Schule, der Wärmeabnehmer, ist 10 km vom Biomasse-Kraftwerk entfernt. Bei der bestehenden Heizungsanlage handelt es sich um eine konventionelle Ölheizung mit einer Spitzenleistung von 1,5 MW. Der Wärmebedarf während der Heizperiode beläuft sich auf 1833 MWh/a. Die Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs der Schule ist in Abbildung 4.1-1 zu sehen. Die Jahresdauerlinie berücksichtigt nur die Heizperiode mit 6000 h/a, da bei einer Schule die Warmwasserbereitung wegfällt. Die Vollbenutzungsstunden ergeben sich mit $b_{vh} = 1222 \text{ h/a}$.



Die Ölheizung wird mit einer Temperaturspreizung von $53^{\circ}\text{C} / 40^{\circ}\text{C}$ gefahren. Zur Versorgung der Heizkreisläufe sind drei Pumpen mit einer Förderhöhe von jeweils $H=8\text{m}$ und einem Volumenstrom von jeweils $35 \text{ m}^3/\text{h}$ installiert. Diese haben eine Gesamtleistungsaufnahme von $4,65 \text{ kW}_{el}$.

Zusammenfassung der Bedarfsdaten

Benötigte Spitzenleistung der Schule	= 1,5 MW
Benötigte Jahreswärmemenge der Schule	= 1 833 MWh / a
Dauer der Heizperiode	= 6 000 h/a
Vollbenutzungsstunden im Jahr	$b_{vh} = 1222 \text{ h/a}$
Entfernung zwischen Schule und Kraftwerk	= 10 km
Bisherige Heizungsanlage	Ölheizung
Kesselwirkungsgrad der Ölheizung	$\eta = 85\%$
Leistungsaufnahme Heizkreislaufpumpen	$P_{HK} = 4,7 \text{ kW}_{el}$

5. Versorgungskonzept

In nachfolgendem Kapitel wird die Planung der TransHeat Anlagentechnik und der Containerlogistik für das Referenzobjekt beschrieben.

5.1 Die verschiedenen Betriebsmodelle des TransHeat-Systems

Das TransHeat-System wird von der Eureka AG vorzugsweise im Wärmecontracting betrieben. In diesem Fall werden Verträge mit einer Laufzeit von ca. 20 Jahren abgeschlossen. Im Rahmen dieser Verträge übernimmt die Eureka AG die Planung und Ausführung der notwendigen Anlagen (Wärmeentnahmestelle, Container, Wärmeeinspeisung) und ist auch für den Betrieb der Anlagen und den Transport der Container verantwortlich.

Eine alternative Betriebsweise des TransHeat-Systems ist die Lizenznahme. Hierbei muss der Kunde die Anlagen zur Wärmeein- und auskopplung und die Container selbst finanzieren sowie eine jährliche Lizenzgebühr entrichten. Der Betrieb der Wärmeversorgung läuft in Eigenverantwortung des Kunden ab. Für den Kunden fallen Kosten in Höhe von ca. 7400 DM/a an Lizenzgebühren, 120 000 DM für einen Container und jeweils rd. 40 000 DM pro Anschlussstelle (Wärmeentnahme und –einspeisung) an. Für den Transport der Container ist der Kunde ebenfalls selbst verantwortlich. Diese Lizenznahme ist ebenfalls durch einen langfristigen Vertrag geregelt.

	Wärmecontracting	Lizenznahme
Investitionen für den Kunden	---	- Container: 120 000 DM - Wärmeein- und Auskopplungsstation: je 40 000 DM
laufende Kosten für den Kunden	---	- Lizenzgebühr: ca. 7 400 DM/a - Transport der Container
Vertrag	Wärmeabnahmevertrag Laufzeit: ca. 20 Jahre	Lizenzvertrag Laufzeit: ca. 20 Jahre

5.2 Auslegung der Wärmeversorgung

Die Auslegung der Wärmeversorgung besteht zum größten Teil aus der Konzeption der Containerlogistik. Hierbei wird die Anzahl der Container pro Jahr und vor allem die Anzahl an parallel benötigten bestimmt, um daraus die Zahl der benötigten Wärmeeinspeisestationen an der Schule abzuleiten.

Die vorhandene Heizungsanlage der Schule bleibt in Betriebsbereitschaft, um einen evtl. Ausfall des TransHeat-Systems oder einen Spitzenwärmebedarf im Winter abzudecken. Die Anlagentechnik des TransHeat-Systems (Wärmetauscher, Absperrventile und ein Schaltschrank) wird in der bereits vorhandenen Heizzentrale untergebracht. Am Biomasse-Kraftwerk werden zwei Wärmeentnahmestation eingerichtet, von der aus ein LKW-Fahrer die Container auflädt und den Transport abwickelt.

Notwendige Container pro Jahr

Um die Gesamtzahl der benötigten TransHeat-Container pro Jahr zu berechnen, wird die Jahresgesamtwärmemenge der Schule als Berechnungsgrundlage herangezogen. Zur Bereitstellung dieser Wärmemenge von 1 833 MWh / a, werden theoretisch 626 Container / a benötigt. Da die Container im alltäglichen Betrieb nicht immer vollständig entleert werden, werden als Sicherheit 10% der Containeranzahl zu der theoretisch benötigten Anzahl hinzugerechnet. Weiterhin steigt die Anzahl durch die Wärmeverluste der Container an die Umgebung, die wieder ergänzt werden müssen. Bei einer mittleren Außentemperatur während der Heizperiode von 6°C und einer mittleren Standzeit der Container von 9 h ergibt sich ein Gesamtverlust der Container von 24 kWh / d, was einem Jahresverlust von 5,9 MWh / a entspricht. Um diesen auszugleichen sind 2 zusätzliche Container im Jahr erforderlich.

Somit ergibt sich eine reale Containerzahl von 690 Containern / a.

Notwendige Wärmeeinspeisestationen

Die notwendige Anzahl der Wärmeeinspeisestationen wird in erster Linie von der geforderten Spitzenleistung des zu versorgenden Objekts und des Wärmebedarfes während eines Wochenendes bestimmt. Der Wochenend-Bedarf wird durch entsprechend viele parallel geschaltete Container abgedeckt, da dann kein LKW-Transport der Container durchgeführt werden kann.

Im Fall der betrachteten Schule soll die gesamte Wärmeversorgung mit einer Spitzenleistung von 1,5 MW mit Hilfe des TransHeat-Systems erfolgen. Da die maximale Entladeleistung eines Containers bei 1 MW liegt, müssen zwei Container im Parallelbetrieb betrieben werden, was (theoretisch) zwei Wärmeeinspeisestationen notwendig macht. Da jedoch mit zwei Stationen ein kontinuierlicher paralleler Betrieb zweier Container nicht möglich ist und das Wegräumen der entleerten Container vor dem Ankoppeln der vollen Container für einen LKW-Fahrer zu zeitaufwendig ist, sind zur Gewährleistung eines reibungslosen Betriebs noch zwei weitere Wärmeeinspeisestationen notwendig.

So können an den ersten beiden Stationen zwei Container parallel entladen werden. Ein mittlerweile leerer Container steht noch angekoppelt an der dritten Station, wobei die vierte

Station frei ist und dort schon ein neu angelieferter vierter Container angeschlossen werden kann. Dieser steht dann bereit zur Wärmeentnahme und wird in der Zeit bis zur nächsten Lieferung verwendet. Nachdem der vierte Container abgeladen und angekoppelt ist, kann der dritte, leere, Container abgekoppelt und zur Wiederbefüllung aufgeladen werden. Somit ist immer eine Station frei, und der LKW kann ohne rangieren seinen vollen Container abladen und den leeren aufladen.

In dieser Konfiguration ist eine kontinuierliche Bereitstellung der Maximalleistung von 1 MW über längere Zeit möglich.

Um die während der Heizperiode auftretenden verschiedenen Containerwechselzyklen auf ihre Durchführbarkeit mit der Vier-Stationen-Anlage hin zu überprüfen, wurde der Betrieb an drei repräsentativen Tagen überprüft.

Als Grundlage für diese Tage wurden Tagesgänge der Typtage, gemäß VDI 2067, Blatt 7 herangezogen, die der Charakteristik einer Schulwärmeversorgung angepasst wurden.

Dabei wird davon ausgegangen, dass ab 6.00 Uhr das Aufheizen beginnt, von 7.00 Uhr bis 14.00 Uhr die entsprechende Maximalleistung bereitgestellt werden muss, von 14.00 Uhr bis 16.00 Uhr eine langsame Abkühlphase und von 16.00 Uhr bis 6.00 Uhr die Nachtabenkung abgedeckt wird. So wurde ein Wintertag, ein trüber sowie ein heiterer Übergangstag betrachtet.

Abbildung 4.3-1 zeigt die entsprechenden Tagesgänge.

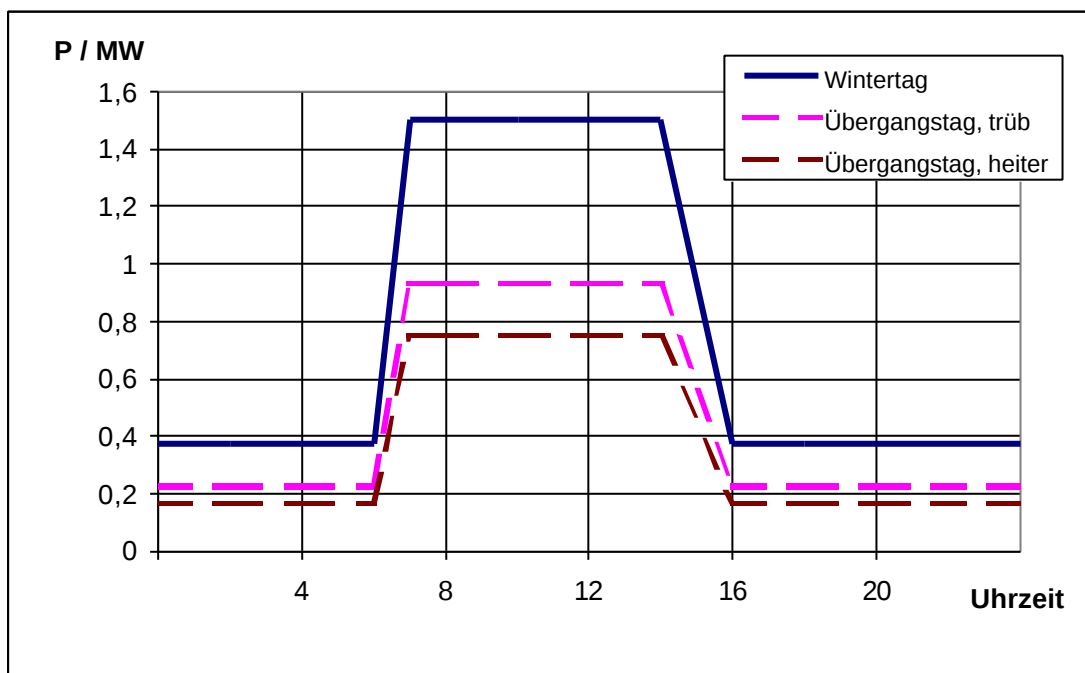


Abbildung 4.3-1: Tagesgänge der Wärmelast in Anlehnung an VDI 2067, Blatt 7.

Am Wintertag werden von 6.00 Uhr bis 10.00 Uhr und von 10.00 Uhr bis 14.00 Uhr jeweils zwei Container parallel benötigt. Weiterhin von 14.00 Uhr bis 18.00 Uhr ein Container und von 18.00 Uhr bis 6.00 Uhr am nächsten Tag noch einmal zwei parallel. Insgesamt werden sieben Container am Tag benötigt.

Am trübem Übergangstag werden von 6.00 Uhr bis 12.30 Uhr und von 12.30 Uhr bis 6.00 Uhr am nächsten Tag jeweils zwei Container parallel benötigt; insgesamt vier Container.

Am heiteren Übergangstag werden von 6.00 Uhr bis 14.00 Uhr und von 14.00 Uhr bis 6.00 Uhr am nächsten Tag jeweils zwei Container parallel benötigt; insgesamt vier Container.

Da das System auch die Wärmeversorgung über das Wochenende gewährleistet, muss überprüft werden, ob der Inhalt der maximal anschließbaren Container, in diesem Fall vier, für die Deckung des Wochenendbedarfs (von Freitag Nachmittag bis Montag 6.00 Uhr) ausreicht.

Bei näherer Betrachtung ist festzustellen, dass die vier vollgefüllten Container lediglich für ein Wochenende, welches aus heiteren Übergangstagen besteht, ausreichen. Für ein trübes Übergangs- und ein Winterwochenende reichen die vier vollgefüllten Container nicht aus. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, einen weiteren Containerstellplatz bereitzustellen, da die Übergangszeit hiermit komplett abgedeckt werden kann.

Das Winterwochenende kann jedoch auch mit fünf Containern nicht vollständig bedient werden; bei der Ankopplung der fünf Containern am Freitag um 17.00 Uhr würde die Wärme der Container nur bis Sonntag um 7.00 Uhr ausreichen.

Zur Bereitstellung dieser Wärme wird die vorhandene Ölheizungsanlage verwendet, da diese Bedarfssituation des durchgehend (von Freitag Nachmittag bis Montag morgen) kalten Winterwochenendes statistisch gesehen nur zwei mal im Jahr auftritt. Der finanzielle Aufwand, für diesen evtl. Bedarf noch weitere Containerstellplätze und Container bereitzustellen wäre zu hoch und würde sich nicht rechnen, da diese Container nur einige Stunden im Jahr genutzt würden. Ein weiterer Aspekt, der für den Einsatz der Ölheizung spricht, ist der Platzbedarf der zusätzlichen Containerstellplätze.

Die beiden möglichen Winterwochenenden im Jahr würden einen mit dem Ölkessel zu deckenden Wärmebedarf von 17,25 MWh/a bedeuten, was bei einem Kesselwirkungsgrad von 85% einen Heizölbedarf von 2 030 l/a entspricht.

Aus den oben aufgeführten Zyklen der Containerwechsel an den drei typischen Tagen ist zu erkennen, dass der mit der Logistik der Container betraute LKW Fahrer sogar im Fall des größten Wärmebedarfes, an einem Wintertag, nicht durchgehend beschäftigt ist. Bei einem Arbeitsaufwand von 30 min zum Abkoppeln und Aufladen des Containers, der eigentlichen Fahrt und dem Abladen und Ankoppeln des Containers würde der LKW Fahrer an einem Wintertag 7 h/d arbeiten.

Die tägliche Arbeitszeit verringert sich mit dem Absinken des Wärmebedarfs, was es sinnvoll erscheinen lässt, den LKW Fahrer aus den Beschäftigten des Biomassekraftwerkes zu rekrutieren. So ist eine nahtlose Beschäftigung mit anderen Aufgaben in der Zeit fehlender Wärmeabnahme möglich.

Die Wärmeverluste der Container werden, wie oben bereits erwähnt, durch den Einsatz zweier zusätzlicher Container ausgeglichen. Da die Wärme kostenlos vom Biomassekraftwerk bezogen wird, schlagen sich die zusätzlichen Kosten für die Wärmeverluste bei den Transportkosten in Form von längerer Arbeitszeit für den LKW-Fahrer und zusätzlichen LKW-Kosten nieder. Diese Kosten werden in den verbrauchsgebundenen Kosten erfasst.

Anzahl der benötigten Container:	= 690 / a
Anzahl der Wärmeauskopplungsstationen am Kraftwerk:	= 2
Anzahl der Wärmeeinspeisestationen an der Schule:	= 5
Tagesbedarf an Containern an einem Wintertag:	= 7 / d
Tagesbedarf an Containern an einem trüben Übergangstag:	= 4 / d
Tagesbedarf an Containern an einem heiteren Übergangstag:	= 4 / d
Evtl. vom Ölkessel zu deckender Wärmebedarf:	= 17,25 MWh / a
Heizölbedarf pro Jahr:	= 2030 l / a

6. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2067 nach der die jährlichen Kosten über die kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt werden. Mit Hilfe der Jahreskosten lässt sich der spezifische Wärmepreis bestimmen.

Diese Betrachtungen werden hier lediglich für den Betrieb des TransHeat-Systems in Lizenznahme durch den Kunden durchgeführt, da zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Berichtes keine Angaben zum Contracting vorlagen.

Der Wärmepreis für die Contracting-Variante wird nicht niedriger, sondern eher höher sein als der Wärmepreis aus der Lizenz-Variante.

- **Investitionen:**

Bei dieser Variante werden fünf Speichercontainer gekauft und insgesamt sechs Wärmeabnahme- und –einspeisestationen installiert. Weiterhin sind die jährlichen Lizenzgebühren und ein LKW Fahrer zu bezahlen.

Als bereits vorhanden werden die alte Ölheizungsanlage und ein zum Transport bestimmter LKW angenommen.

- o 5 TransHeat-Container der Eureka AG
Fassungsvermögen: 29 t Natriumacetat
Einzelpreis: 120.000 DM
Gesamtpreis: 600.000 DM
- o 7 Wärmabnahme- und –einspeisestationen
Einzelpreis: 40.000 DM
Gesamtpreis: 280.000 DM

Gesamtinvestition: 880.000 DM

- **Kapitalgebundene Kosten:**

Aus der Investitionssumme werden die kapitalgebundenen Kosten als Annuität bei einem Zinssatz von 6% und einer Nutzungsdauer von 20 Jahren berechnet.

Kapitalkosten 8,7% / a 76 722 DM/a

- **Betriebsgebundene Kosten:**

Die Betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Wartung und Instandhaltung der vorhandenen Ölheizung und der Umwälzpumpen der Wärmeeinspeisung.

- o Wartung und Instandhaltung: 1 000 DM/a
- o Lizenzgebühren: 7 400 DM/a

Betriebskosten: 8 400 DM/a

- **Verbrauchsgebundene Kosten:**

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Transportkosten, den Hilfsenergiebedarf der Wärmeträgeröl- und der Heizkreislaufpumpen sowie den Brennstoffbedarf für die vorhandene Ölheizung an den Winterwochenenden.

Arbeitszeit für den Transport:	690 h/a
Spezifische Personalkosten:	70 DM/h
Personalkosten:	48.300 DM/a
Wegstrecke:	13800 km/a
Spezifischer Kilometerpreis für LKW Transport:	0,70 DM/km
LKW Kosten:	9660 DM/a
Transportkosten:	57.792 DM/a

Benötigte Heizölmenge pro Jahr	2030 l/a
Spezifische Heizölkosten:	0,60 DM/l
Heizölkosten	1220 DM/a

Leistungsaufnahme der benötigten Pumpen für Heiz- und Ölkreislauf (bei max. Leistung):	11 kW _{el}
Laufzeit der Pumpe während Wärmeeinspeisung (b_{vh}) :	1 222 h/a
Jahresgesamtarbeit der Pumpe:	13 014 kWh _{el} /a
Spezifische Stromkosten:	20 Pf/kWh _{el}
Hilfsenergiekosten	2 603 DM/a

Verbrauchsgebundene Kosten: 61 782 DM/a

Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit:

		TransHeat-System im Contracting
Investitionen	DM	880 000
Kapitalkosten (Annuität= 8,7%)	DM/a	76 722
Betriebskosten	DM/a	8 400
Verbrauchskosten	DM/a	61 782
Jahreskosten	DM/a	146 904
Nutzwärme	MWh _{th} /a	1 833
spezifischer Wärmepreis	DMMWh_{th}	80,1

Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit.

7. Mögliche Einsatzbereiche des TransHeat-Systems

Das TransHeat-System der Eureka AG ist ein Wärmespeicher, welcher nicht zum Einsatz beim privaten Endverbraucher, sondern bei Wärme-Großverbrauchern konzipiert ist.

Für die Wärmeabnahme sind hier, auf Grund des Temperaturniveaus der gelieferten Wärme, besonders Heizungsanlagen zur Versorgung von Verwaltungs- oder Wohngebäuden, öffentliche Liegenschaften und Schulen prädestiniert.

Weitere mögliche Wärmeabnehmer können Hallenbäder oder Fabrikationshallen sein, wobei hier evtl. notwendige Luftbehandlungsschritte zu beachten und deren energetisch sinnvollste Realisierungen abzuwägen sind.

Als Wärmequellen sind bei den oben genannten Anwendungen alle Wärmelieferanten, die kontinuierlich Wärme in, für das zu versorgende Objekt, ausreichender Menge und auf einem Temperaturniveau $>100^{\circ}\text{C}$ liefern einsetzbar. Hier sind vor allem Kraftwerke, Heizkraftwerke und Industrieanlagen zu nennen. Die Überschuß- oder Abwärme kann so kostengünstig „entsorgt“, oder innerhalb des Unternehmens an einer anderen Stelle wiederverwendet werden.

So wird ein wesentlich effizienterer Primärenergie-Einsatzes und ein ökonomischer Betrieb der Energieumwandlungsanlagen gewährleistet.

Ein wesentlicher Aspekt beim Einsatz des TransHeat-Systems ist der anzustrebende, kontinuierliche Betrieb der Anlagen.

So ist, laut Hersteller, eine ganzjährige Nutzung des Systems mit Jahresgesamtwärmemengen von ca. $3000 \text{ MWh}_{\text{th}} / \text{a}$ sinnvoll, um eine möglichst hohe Anzahl von Vollbenutzungsstunden (b_{vh}) zu erreichen. So „verteilen“ sich die, aus den Investitionen resultierenden, Jahreskosten auf die, entsprechend der Jahresgesamtwärmemenge, relativ hohe Anzahl an benötigten Containern pro Jahr und ergeben einen günstigen spezifischen Wärmepreis. Die in dieser Arbeit betrachtete Schule mit einer zu liefernden Jahresgesamtwärmemenge von lediglich rd. $1800 \text{ MWh}_{\text{th}} / \text{a}$ ist, wirtschaftlich gesehen, somit fast schon ein Grenzfall.

Das TransHeat-System dient zur Versorgung von Großverbrauchern.

Mögliche Objekte sind: Verwaltungs- oder Wohngebäude, öffentliche Liegenschaften und Schulen

Als Wärmequellen dienen Kraftwerke, Heizkraftwerke oder Industriebetriebe.

Laut Hersteller ist eine zu liefernde Jahresgesamtwärmemenge von $3000 \text{ MWh}_{\text{th}} / \text{a}$ anzustreben.

8. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Betrachtungen sind in nachfolgendem Kapitel noch einmal kurz zusammengefasst.

Technische Daten TransHeat-System:

Verwendetes Speichermaterial:	Natriumacetat
Containergröße:	6 x 2,5 x 2,5m
Containerinhalt Natriumacetat:	26 t
Containerinhalt Wärmeträgeröl:	3 t
Nutzbarer Wärmeinhalt eines Containers (100°C / 58,5°C):	2,93 MWh
Maximale Speichertemperatur:	100°C
Maximale Lade- und Entladeleistung:	1 MW
Bereitschaftsverluste, Durchschnittswert	$k \cdot A = 0,0105 \text{ kW/K}$
Durchschnittlicher Wärmeverlust pro Tag bei $Q_{Sp} = 2,93 \text{ MWh}$ und $T_{\text{außen}} = 10^\circ\text{C}$ (mit durchschnittlichem Bereitschaftsverlust berechnet)	$Q_{\text{Verl}} = 23 \text{ kWh / d}$

Stoffwerte Natriumacetat Trihydrat ($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$):

Molare Masse $M_{\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}}$	= 136,08 kg/kmol
J_{Schmelz}	= 58,5 °C
$\Delta H_{\text{Schmelz}}$	= 260 kJ/kg
c_{solid}	= 1,978 kJ/kg
c_{liquid}	= 3,349 kJ/k

Bei sachgemäßer Handhabung sind keine ökologischen Probleme zu erwarten.

Natriumacetat Trihydrat ist kein gefährliches Produkt im Sinne der Richtlinie 67/548/EWG.

Kosten für Natriumacetat Trihydrat, reinst zu Analysewecken

(gemäß Merck Katalog 2001):	= 10,75 € / kg
-----------------------------	----------------

Auf Grund des Energiebedarfes des Referenzobjektes und der vorgesehenen Auslegung der Wärmeversorgung ergeben sich folgende Anlagenkomponenten und Bedarf an zusätzlichem Brennstoff:

Zu liefernde Jahresgesamtwärmemenge:	= 1 833 MWh_{th} / a
Anzahl der benötigten Container:	= 690 / a
Anzahl der Wärmeauskopplungsstationen am Kraftwerk:	= 2
Anzahl der Wärmeeinspeisestationen an der Schule:	= 5
Heizölbedarf pro Jahr:	= 2030 l / a

Der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des TransHeat-Systems liegt eine kostenlose Wärme-Bereitstellung vom Biomassekraftwerk zu Grunde. In der Praxis ist es möglich, für die abgenommene Wärme ein Entgelt für eingesparte Rückkühlkosten zu erhalten. Die ist hier nicht miteinkalkuliert, womit der spezifische Wärmepreis in diesem Fall die real anfallenden Wärmegestehungskosten repräsentiert.

		TransHeat-System im Contracting
Investitionen	DM	880 000
Kapitalkosten (Annuität= 8,7%)	DM/a	76 722
Betriebskosten	DM/a	8 400
Verbrauchskosten	DM/a	61 782
Jahreskosten	DM/a	146 904
Nutzwärme	MWh _{th} /a	1 833
spezifischer Wärmepreis	DM/MWh_{th}	80,1

Tabelle 8-1: Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit.

Der sich hier ergebende Wärmepreis von 80,1 DM / MWh_{th} oder 8 Pf / kWh_{th} ist im Vergleich zur Energieversorgung mit Erdgas, welche ca. 9-10 Pf / kWh_{th} kostet, günstiger. Der Grund hierfür ist, dass es sich bei der Wärme für das TransHeat-System um Abwärme handelt, die vom Anlagenbetreiber kostenlos genutzt werden kann, oder diesem noch Zuzahlungen von 10 – 15 DM / MWh_{th} einbringen. Somit ist in der Praxis mit einem niedrigeren Wärmepreis zu rechnen, der im Vergleich zur Wärmeversorgung mit Primärenergieträgern vollkommen konkurrenzfähig ist.

Ein weiterer großer Vorteil ist die Primärenergie-Resourcenschonung, die durch das TransHeat-System erreicht wird. Die hier genutzte Abwärme würde sonst ohne weitere Ausnutzung rückgekühlt und für weiteren Wärmebedarf Primärenergie aus fossilen Quellen eingesetzt.

Somit hilft das TransHeat-System den Einsatz von Primärenergie zu minimieren und ist daher eine ökologische als auch ökonomische Methode zur Energieversorgung.

Betrachtet man die Wärmeverluste der Container über die Heizperiode, so kann man feststellen, dass sich diese mit rd. $5,9 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ (zwei zusätzliche Containern pro Jahr), in Anbetracht der sehr einfach gehaltenen Wärmedämmung der Container, in akzeptablen Dimensionen bewegen.

Die Ursachen hierfür sind vor allem in den sehr kurz gehaltenen Standzeiten beim Verbraucher zu sehen. So ergibt sich beim hier vorliegenden Beispiel während der Heizperiode eine mittlere Standzeit der Container beim Verbraucher von rd. 9h.

Eine weitere Ursache ist die, resultierend aus der hohen Speicherdichte des Natriumacetats, geringere spezifische Speicheroberfläche. So werden die Bereitschaftsverluste des Speichers niedrig gehalten, was im Zusammenspiel mit der relativ geringen mittleren Standzeit der einzelnen Container zu einem geringen Wärmeverlust führt.

Anhand der zur Verfügung stehenden Informationen kann man das TransHeat-System als ein geeignetes Wärmespeicherungssystem erachten.

Es ermöglicht eine verlustarme Speicherung von Wärme und die Weiterverwendung von, ansonsten nicht weiter genutzter, Abwärme. Somit trägt es in hohem Maße zur Primärenergieeinsparung bei.

Die Vorteile des TransHeat-Systems im Überblick:

- **geringe Bereitschaftsverluste, da die Standzeiten der Container $< 1\text{d}$**
- **Wärmegestehungskosten von $8 \text{ Pf} / \text{kWh}_{\text{th}}$**
- **sinnvolle Nutzung von Abwärme und Schonung der Primärenergieresourcen**
- **zyklenfestes System**
- **wartungsfreier Betrieb für mindestens 20 Jahre**