

# Schlussbericht

## Untersuchung der Wärmeversorgung auf dem Papieri Areal Cham

Auftraggeber: Cham Paper Group Schweiz AG  
Herr Andreas Friederich

Auftragnehmer: HSR Hochschule für Technik Rapperswil - Institut WERZ  
Prof. Christian Wirz-Töndury

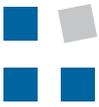
Projektleitung: Sandra Moebus (HSR – WERZ)

Fachexperten Carsten Wemhöner (HSR – IET)  
Patrick Grab (Cham Paper Group Schweiz AG)

Datum: 18. Juni 2015

### Inhalt

<b>1 Hintergrund und Auftrag WERZ</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Randbedingungen für die Untersuchung</b> .....	<b>2</b>
2.1 Systemgrenze:.....	2
2.2 Technische Randbedingungen.....	2
2.3 Randbedingungen Wirtschaftlichkeit.....	3
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>4</b>
3.1 Wirtschaftlichkeit.....	4
3.2 Vergleich von Kriterien.....	4
<b>4 Übersichtstabelle</b> .....	<b>5</b>
<b>5 Fazit der einzelnen Technologien</b> .....	<b>8</b>
5.1 Erdwärmesondenfeld.....	8
5.2 Flusswassernutzung Lorze .....	8
5.3 Wärmeverbund Cham (ewz).....	8
5.4 Blockheizkraftwerk.....	8
5.5 Gesamtfazit Wärmeerzeugung Papieri Areal Cham.....	9



## 1 Hintergrund und Auftrag WERZ

Auf dem Industrieareal der Cham Paper Group Schweiz AG wird innerhalb der nächsten Jahre die traditionelle Papierproduktion eingestellt. Das Areal soll zukünftig in eine gemischte Wohn- und Gewerbezone überführt werden. Der Charakter der schützenswerten Bauten muss erhalten und die industrielle Vergangenheit sichtbar bleiben. Gemäss der energiepolitischen Vision der Einwohnergemeinde Cham soll sich die Entwicklung des Papier-Areals an den Zielen der 2000 Watt-Gesellschaft orientieren.

Das Institut WERZ hat für die Firma Cham Paper Group Schweiz AG einen Bericht „Grobanalyse Energieversorgung auf dem Papier-Areal Cham“ (WERZ, 2015) erstellt. Im Rahmen eines Folgeauftrags sollen noch weitere Wirtschaftlichkeitsvarianten für die untersuchten Wärmeerzeugungssysteme

- Flusswassernutzung der Lorze
- Wärmeverbund Cham
- Blockheizkraftwerk (BHKW)/Spitzenlastkessel
- Erdwärmesondenfeld mit Wärmepumpe

betrachtet werden. Dieser Bericht beinhaltet die Randbedingungen, Ergebnisse und das Fazit der Untersuchungen gemäss Offerte vom 20.5.2015: Beratungsmandat Projekt „Papieri Areal Cham“.

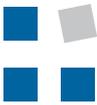
## 2 Randbedingungen für die Untersuchung

### 2.1 Systemgrenze:

- Die Untersuchung erfolgt auf Grundlage der Varianten der Grobanalyse mit den dort zugrunde gelegten Randbedingungen. Geänderte Randbedingungen werden im Folgenden aufgeführt und in den Ergebnissen explizit dokumentiert.
- Es wird die Wärmeerzeugung für das Areal betrachtet. Da alle Varianten eine zentrale Wärmeerzeugung umfassen, wird das Verteilnetz, das für alle betrachteten Systeme notwendig ist, nicht in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen.
- Gleichzeitigkeit: Es wird eine 100% Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs für die unterschiedlichen Nutzungen zur Auswertung der maximale Leistungsanforderung angesetzt, soweit die Gleichzeitigkeit nicht bereits im SIA Merkblatt 2024 (2014) berücksichtigt ist, da auf Stufe Grobanalyse keine Lastgänge betrachtet werden können.

### 2.2 Technische Randbedingungen

- Die technische Auswertung bezieht sich auf die Deckung des Wärmebedarfs des Areals entsprechend der Grobanalyse. Synergien zur Kälteerzeugung und Effizienzpotenziale werden als Nutzwertkriterium aufgeführt.
- Für die Betrachtung wird von Niedertemperatursystemen nach Anforderungen MuKE n 2014 ausgegangen.



- Für die Wärmequelle Erdwärmesondenfeld wird eine Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 5 zugrunde gelegt und für die Wärmequelle Flusswasser eine Jahresarbeitszahl von 4.

## 2.3 Randbedingungen Wirtschaftlichkeit

### Varianten

- Variante 1: Konstante Energiekosten für Brennstoffe und Elektrizität und konstante CO<sub>2</sub>-Abgabe über die Lebensdauer der Komponenten
- Variante 2: Steigende Energiekosten für Brennstoffe und Elektrizität über die Lebensdauer der Komponenten und Steigerung der CO<sub>2</sub>-Abgabe bis 2020 auf 120 CHF/t<sub>CO2</sub> (CO<sub>2</sub>-Gesetz, 2013)

### Betrachtungszeitraum

- Der Betrachtungszeitraum beträgt 30 Jahre.
  - bei kürzerer Lebensdauer wird eine Ersatzinvestition berücksichtigt
  - bei längerer Lebensdauer werden nur die annualisierten Kosten, die bis zur Nutzungsdauer 30 Jahre anfallen, berücksichtigt

### Energiepreiseentwicklung:

- Preissteigerung Elektrizität von 2010-2050 zwischen 20-30% (BFE, 2013, S.9). Für die Studie wird eine Preissteigerung 25% angesetzt.
- Preissteigerung Erdgas von 2010-2050 60% (BFE, 2013, S.9)
- Preissteigerung Brennholz: 1% jährlich

Zinssatz: Nominalzins von 3.5%

Inflation (Steigerung Landesindex der Konsumentenpreise): 2%

Änderung des Zinssatzes für 10-jährige Bundesanleihen: 0%  
(gegenüber Basisjahr 2014)

Energiepreise 2015: Strom- und Gaspreise 2015 der WWZ (2015 a, b)

CO<sub>2</sub>-Abgabe: Für die CO<sub>2</sub>-Abgabe wird wie im CO<sub>2</sub>-Gesetz (2013) ausgeführt eine Steigerung bis 2020 von heute 60 CHF/t<sub>CO2</sub> auf den maximalen Wert von 120 CHF/t<sub>CO2</sub> angesetzt, um die Sensitivität hinsichtlich einer Steigerung der CO<sub>2</sub>-Abgabe zu zeigen. Ab 2020 bleibt die CO<sub>2</sub>-Abgabe konstant.

### 3 Ergebnisse

Für die Varianten der Wärmeerzeugung steht eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

#### 3.1 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Lösung wird anhand der folgenden Kriterien bewertet:

- Diskontierte Jahreskosten [CHF]
- Gestehungskosten pro Nutzeinheit [CHF/kWh] (dynamisch errechneter Durchschnitt)
- Investitionskosten [CHF]

#### 3.2 Vergleich von Kriterien

Weitere Kriterien werden für die verschiedenen Wärmeerzeugungen in der Vergleichstabelle zusammengestellt. Diese Kriterien werden entweder diskutiert oder bewertet (- - bis ++). Die folgenden Kriterien der Wärmeerzeugungen werden verglichen:

- Gesamtbeurteilung Wirtschaftlichkeit
- Preissensitivität
- Kältebedarfsdeckung
- Platzbedarf
- Kosten Verteilnetz
- Erneuerbare Energie
- Auswirkungen auf Zielerreichung 2000 Watt-Gesellschaft
- Eigenständigkeit
- Etappierbarkeit
- Synergiepotenziale andere Technologien
- Vorteile/Chancen
- Einschränkungen/ Risiken

#### 4 Übersichtstabelle

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Untersuchung der Wärmeversorgung auf dem Papieri Areal aufgeführt:

Tabelle 1: Ergebnisse Wärmeversorgung Papieri Areal

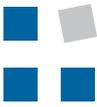
Technologie	Erdwärmesondenfeld		Flusswassernutzung Lorze		Wärmeverbund Cham		Blockheizkraftwerk	
	Var 1	Var 2	Var 1	Var 2	Var 1	Var 2	Var 1	Var 2
<b>Diskontierte Jahreskosten</b>	469'645 CHF	481'665 CHF	n.v.	n.v.	528'575 CHF	549'392 CHF	394'789 CHF	1'377'741 CHF
<b>Gestehungskosten pro Nutzeinheit</b>	9.99 Rp/kWh	10.24 Rp/kWh	n.v.	n.v.	11.25 Rp/kWh	11.69 Rp/kWh	8.4 Rp/kWh	29.31 Rp/kWh
<b>Investitionskosten</b>	EWS mit WP 7'250'000 CHF		n.v. (nicht vorhanden)		0 CHF (Wärmeerzeugung -> keine Investitionen seitens Bauherr/Besitzer)		BHKW 370'000 CHF Spitzenlastkessel 1'250'000 CHF	
<b>Gesamtbeurteilung Wirtschaftlichkeit</b>	+ Erdwärmesondenfeld kann wirtschaftlich betrieben werden		n.v.		+ geringe Investitionen - höhere Gestehungskosten über den gesamten Betrachtungszeitraum		+ BHKW kann wirtschaftlich betrieben werden, aber sehr sensitiv gegenüber Preisen/ Einspeisevergütung	
<b>Preissensitivität</b>	+ Erdwärmesondenfeld unabhängig von Gaspreis		n.v.	n.v.	- grosse Abhängigkeit vom Index für Konsumentenpreise und vom Zins für 10-jährige Bundesanleihe	- grosse Abhängigkeit von Preisen für Elektrizität, Gas und Holz	-- starke Abhängigkeit vom Verhältnis Gas- zu Elektrizitätspreis -- starke Abhängigkeit von Preisen Energieträger -- Risiko CO <sub>2</sub> -Abgabe (siehe Var 2) -- Abhängig von Vergütung bei Einspeisung	

Tabelle 1: Ergebnisse Wärmeversorgung Papieri-Areal (fortgesetzt)

<b>Kältebedarfsdeckung</b>	++ Free-Cooling mit EWS ++ Simultanbetrieb mit WP + Einsatz WP als KM		-- nicht möglich; Wasserrückleitung in Fluss max. 25° C, Entnahme im Sommer ~25° C		++ Kältenetz analog Wärmenetz (zusätzliches Netz, simultaner Betrieb)		+ Kombination mit Absorptionskälte erhöht Laufzeit + Kombination mit Kompressionskälte auch für Wärmebedarf als WP einsetzbar	
<b>Platzbedarf</b>	- Platz EWS-Feld, ggf. oberhalb nutzbar		n.v.	n.v.	++	++	- Heizzentrale(n) notwendig	
<b>Kosten Verteilnetz</b>	- Anergienetz mit dezentralen Wärmepumpen möglich		n.v.		++ Verteilnetz vom Wärmelieferant (Investitionsvolumen 2 - 4 MCHF, abhängig von Tiefbaukosten für Verlegung)		- Hochtemperaturnetz mit gedämmten Rohren teurer als Niedertemperaturverteilung	
<b>Erneuerbare Energie</b>	++	++	+	+	+	+	--	--
<b>Auswirkungen auf Zielerreichung 2000 Watt-Gesellschaft</b>	++	++	++	++	+	+	-(-)	-(-)
<b>Eigenständigkeit</b>	+	+	+	+	-	-	+ Eigenstromerzeugung - Abhängigkeit Energieträger Gas	
<b>Etapmierbarkeit</b>	+ Erdwärmesonde gut etapmierbar, aber höhere Kosten als ein Termin für gesamtes Feld		n.v.		++ jedes grössere Haus wird separat an Fernwärme angeschlossen -> bloss immer so viel wie gerade nötig bauen! ++ in einzelnen Etappierungs- stufen verschiedene Tempera- turniveaus möglich (Berücksichtigung Neubau / Sanierung Bestandesbauten)		+ Auslegung auf geringe Wärmeleistung +/- kleine Leistungen marktverfügbar, aber höhere spezifische Kosten	

Tabelle 1: Ergebnisse Wärmeversorgung Papieri-Areal (fortgesetzt)

<b>Synergiepotenziale andere Technologien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kombinierbar mit BHKW</li> <li>+ Synergie Free-Cooling</li> <li>- Widerspruch Saisonal- speicherung - Free Cooling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ möglich Nutzung zur Regeneration eines Erdsondenfeldes; max. Temperaturänderung Entnahme/Rückgabe 3° C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - Vertrag sieht 100 %-ige Wärmebedarfsdeckung vor!</li> <li>+ Synergie Free-Cooling wohl möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kombinierbar mit Holzkessel</li> <li>+/- Betrieb mit Biogas möglich, aber nicht wirtschaftlich</li> <li>+ Anforderung nach MuKE n 2014 ist min. 60% Deckungsgrad mit WKK</li> <li>+ Nutzung Kondensationswärme (Brennwerttechnik) kann Wärmeerzeugung erhöhen</li> </ul>
<b>Vorteile/ Chancen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ gutes Temperaturpotenzial</li> <li>+ Systemlösung erfüllt Anforderungen MuKE n 2014</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>++ ehehaftes Recht zur Wassernutzung besteht</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>++ keine eigene Infrastruktur, kein Unterhalt für Wärmeerzeugung</li> <li>+ von der Gemeinde favorisierte Technologie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ WKK effizienter als fossile Wärmeerzeugung</li> <li>+ mit Speicherintegration längere Laufzeiten und höhere Gleichzeitigkeit möglich</li> </ul>
<b>Einschränkungen/ Risiken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Genehmigungspflichtig</li> <li>- Temperaturprofil</li> <li>- Einfluss Wasser auf Regenerationspotenzial</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- als Einzellösung nicht möglich</li> <li>- Temperaturverlauf der Lorze schwankt sehr stark (7° - 24° C) und verhält sich genau entgegengesetzt zum Wärme- /Kältebedarf</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- grosse Abhängigkeit von einem Lieferanten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wirtschaftlichkeit abhängig von Gleichzeitigkeit Elektrizität - Wärmebedarf</li> <li>- Abhängigkeit von Erdgas</li> <li>- - Risiko Anstieg CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffe (siehe Var. 2)</li> </ul>



## 5 Fazit der einzelnen Technologien

Sämtliche Aussagen beziehen sich auf die in Kap. 2 und Kap. 3 dargestellten Randbedingungen und Auswertungen. Des Weiteren wurden nur einzelnen Technologielösungen und keine Kombinationen der Technologien betrachtet. Einzelne Synergien werden teils im Text unter den einzelnen Kriterien dargestellt.

### 5.1 Erdwärmesondenfeld

Das Erdsondenfeld lässt sich als Energieversorgung wirtschaftlich betreiben. Die Betriebskosten sind nur vom Elektrizitätspreis abhängig, der als eher stabil angesehen wird und keinen CO<sub>2</sub>-Abgaben unterliegt. Die hohen Investitionskosten können durch Regeneration oder sogar saisonale Speicherung noch deutlich reduziert werden (Huber, 2012), z.B. durch Wärmeenergie aus der Lorze. Das Erdwärmesondenfeld mit Wärmepumpe lässt sich auch für Free-Cooling Betrieb respektive zur Kälteerzeugung nutzen. Durch Anpassung der Grösse des Feldes an den aktuellen Bedarf ist es auch gut etappierbar. Die Nutzung des Erdreichs als Wärmequelle ist eine neuere Technologie, die ausgereift ist, aber auch über den Zeithorizont der nächsten 20 Jahre noch Entwicklungspotenziale aufweist.

### 5.2 Flusswassernutzung Lorze

Aufgrund des ungünstigen saisonalen Temperaturverlaufs und der zu geringen Wassermenge im Vergleich zur Grösse der Überbauung ist eine ausschliessliche Wärmeerzeugung mit Flusswasser nicht möglich/wirtschaftlich. Auf eine detailliertere Betrachtung dieser Technologie wurde deshalb verzichtet.

Die Flusswassernutzung kommt jedoch für die Regeneration eines Erdwärmesondenfeldes in Frage. Dabei könnte sie einen hohen wirtschaftlichen Beitrag leisten und die Grösse des benötigten Feldes stark verkleinern. Hierzu sind zwingend weiterführende Untersuchungen (Messungen und Simulationen) notwendig.

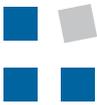
### 5.3 Wärmeverbund Cham (ewz)

Eine Lösung mit Fernwärme eignet sich ideal für eine etappierte Entwicklung des Gesamtareals, vor allem auch bezüglich der verschiedenen Temperaturniveaus der Wärmeversorgung in den unterschiedlichen Gebäuden. Die Kosten für die Wärmeverteilung von der Heizzentrale zu den einzelnen Gebäuden entfallen komplett auf den Wärmelieferanten, genauso wie die Instandhaltung und der Unterhalt der Wärmeerzeugung und Verteilung.

### 5.4 Blockheizkraftwerk

BHKWs sind eine eingeführte und erprobte Technologie, mit der viel Erfahrung existiert. Das BHKW reagiert jedoch sehr sensitiv auf Preisänderungen (Verkaufspreis Elektrizität und Wärme, Verhältnis Gas-/Elektrizitätspreis). Die Abhängigkeit von der Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Abgabe ist in Variante 2 gezeigt. Darüber hinaus ist die Wirtschaftlichkeit von der Gleichzeitigkeit aus Wärme- und Elektrizitätsbedarf und langen Laufzeiten abhängig, was den Elektrizitätspreis für die Vergütung der mit dem BHKW erzeugten Elektrizität beeinflussen kann.

Durch den Einsatz fossiler Energieträger ist die Lösung mit Blockheizkraftwerk nicht nachhaltig. Es besteht die Möglichkeit auf erneuerbare Energieträger wie Holz oder Biogas auszuweichen,



was aber bei Biogas bei derzeitigen Preisen nicht wirtschaftlich ist, und bei Holz durch geringere Elektrizitätswirkungsgrade ebenfalls die Wirtschaftlichkeit beeinflusst.

BHKW sind bis zu sehr niedrigen elektrischen und thermischen Leistungen erhältlich, was prinzipiell für eine Etappierbarkeit spricht, allerdings steigen mit kleineren BHKW die spezifischen Kosten und sinken die Laufzeiten, was die Wirtschaftlichkeit beeinflusst. Das BHKW ist zudem ein reiner Wärmeerzeuger, für eine Kälteversorgung müsste eine Kompressions- oder Absorptionskältemaschine ergänzt werden, die in der Wirtschaftlichkeitsberechnung nicht berücksichtigt ist.

### **5.5 Gesamtfazit Wärmeerzeugung Papieri Areal Cham**

In dieser Untersuchung wurden vier unterschiedliche Technologien analysiert und bewertet, die als Wärmeerzeugung für das Papieri Areal Cham in Betracht kommen. Die Technologie „Flusswasser“ stellte sich innerhalb der Untersuchungen als nicht realisierbar heraus und wird darum in diesem Gesamtfazit nicht mehr diskutiert. Es wurden für die drei verbleibenden Technologien jeweils zwei Varianten gerechnet: Variante 1 bezieht sich auf wirtschaftliche und gesetzliche Grundlagen aus dem Jahr 2015, Variante 2 berücksichtigt erwartete Entwicklungen in diesen Bereichen innerhalb der Lebensdauer der Erzeugungstechnologien von 30 Jahren. Im Folgenden ist das Fazit aufgeführt:

#### Wirtschaftlichkeit

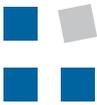
Werden als Rechengrundlage die wirtschaftlichen und gesetzlichen Annahmen aus dem Jahr 2015 zugrunde gelegt (V1), so ist das Blockheizkraftwerk die wirtschaftlichste Variante. Dieses Resultat relativiert sich jedoch, sobald zukünftige Entwicklungen berücksichtigt werden (V2). Unter den Annahmen der Variante 2 kann das Erdwärmesondenfeld als die wirtschaftlichste Energieversorgung innerhalb dieser Untersuchung genannt werden, wobei jedoch das Verteilernetz kostenmässig nicht berücksichtigt wurde.

#### Nachhaltigkeit

In Bezug auf die Nachhaltigkeit der Energieversorgung schliesst das Erdwärmesondenfeld als beste Technologie ab. Als zweitbeste Energieversorgung kann das Fernwärmenetz der ewz genannt werden.

#### Etappierbarkeit

Werden die Technologien unter dem Aspekt der Etappierbarkeit betrachtet, ist das Fernwärmenetz der ewz empfehlenswert. In dieser Variante fallen alle Risiken und Kosten für den Anschluss der geplanten Bauetappen auf den Energieversorger und nicht auf die Cham Paper Schweiz AG. Als zweitbeste Technologie kann das Erdwärmesondenfeld genannt werden. Dieses lässt sich technisch sehr gut etappieren, jedoch wirken mehrere Etappen als Kostentreiber.

**Literatur**

- BFE. 2013. Energieperspektiven 2050. Zusammenfassung. 5.Oktober 2013, Bundesamt für Energie, Ittingen.
- CO<sub>2</sub>-Gesetz. 2013. Bundesgesetz über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. 641.71, vom 23. Dezember 2011. Stand Januar 2013, Bern
- EWZ. 2015. Energie-Contracting Vertrag Nr. V0808002EV01
- Huber. 2012. Solare Regeneration von Erdsondenfeldern, Vortrag Swisssolar, Huber Energietechnik AG, Zürich
- MuKE n 2014. 2015. Musterverordnung der Kantone im Energiebereich, Ausgabe 2014, deutsche Version, Konferenz der kantonalen Energiedirektoren (EnDK), von der EnDK anlässlich der verabschiedet an der Plenarversammlung von 9. Januar 2015 verabschiedet, Bern.
- SIA 2024. 2014. Schlussentwurf Merkblatt SIA 2024 Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik, Stand 4. August 2014, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich
- WERZ. 2015. Grobanalyse Energieversorgung auf dem Papieri-Areal Cham, Abschlussbericht, Institut für Wissen, Energie und Rohstoffe Zug, Zug.
- WWZ. 2015a. Strompreis 2015, WasserStrom Basis, WWZ Energie AG, Zug.
- WWZ. 2015b. Gaspreis 2015, Business2000, WWZ Energie AG, Zug.