

Papieri-Areal, Richtprojekt

Schlussbericht

Grobanalyse Energieversorgung auf dem Papieri-Areal Cham

E-Mail: werz@hsr.ch
Abgabetermin 4. Mai 2015

Zusammenfassung

Auftrag und Ziel	Die Cham Paper Group Schweiz AG beabsichtigt das rund 12 Hektaren umfassende Papieri Industrieareal neuen Nutzungen zuzuführen und das Areal als Wohn- und Arbeitsquartier zu entwickeln. Das Institut WERZ der HSR Hochschule für Technik Rapperswil ist beauftragt, eine Grobanalyse für die Strom- und Wärmeversorgung des Areals zu erstellen. Es sollen realisierbare Technologien geprüft, und deren technische und wirtschaftliche Realisierung aufgezeigt werden.
Energiebedarf Papieri Areal Cham	Den Berechnungen des jährlichen Bedarfs an Strom, Wärme und Kälte liegen die Nutzungs- und Flächenangaben des Masterplans in der Endphase sowie die SIA 2024 zugrunde. Die Nettogeschossfläche beträgt rund 163'000 m ² . Der Energiebedarf ist abhängig von der Raumnutzung. Der hohe Wohnanteil von > 60% wirkt sich dabei jedoch stabilisierend auf Nutzungsveränderungen des Areals aus. Basierend auf den Berechnungsgrundlagen beträgt der jährliche Strombedarf für das Areal 3'262 MWh bei einer maximalen Leistung von 1'716 kW. Der Wärmebedarf beträgt 4'635 MWh bei einer maximalen Leistung von 2'994 kW und der Kältebedarf 1'313 MWh bei einer maximalen Leistung von 1'792 kW.
Technologie analyse	Die Technologien wurden auf ihre Machbarkeit und Umsetzungsmöglichkeit auf dem Papieri Areal Cham untersucht. Die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Technologien wurde verglichen mit dem Wärmeverbund der ewz, da hier die Preise bekannt sind. Die einzelnen Technologien sind im Folgenden aufgeführt: Wärmeverbund ewz Die Versorgung mit Wärme und Kälte des Wärmeverbunds Cham ist für das Papieri-Areal während der einzelnen Etappen wie auch im Endausbau-Stadium möglich. Diese Lösung wurde aufgrund der bekannten Energiepreise als Referenzvariante für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der anderen Varianten zugrunde gelegt. Vorteile sind die sehr gute Etappierbarkeit, der geringe CO ₂ -Ausstoss, der geringe Platzbedarf und die über dreissig Jahre stabilen Betriebskosten. Im Vergleich zu einer reinen Gasheizung kann bei einer Inflation von 2%/a ein positiver Jahresertrag des Wärme- und Kälteverbundes erzielt werden. Blockheizkraftwerk Als weitere Technologie wurde eine effiziente, aber fossile Energieversorgung als Wärme-Kraft-Kopplung mit Erdgas-Blockheizkraftwerk betrachtet. Dafür wurden acht verschiedene Varianten in Abhängigkeit der Auslegung, des Verhältnisses Gas-Strompreis und des Ersatzes des Netzbezugs im Hoch- oder Niedertarif betrachtet. Als Ergebnis der Berechnungen fällt die hohe Sensitivität hinsichtlich den zukünftigen Energiepreisen auf. Die Erdgas-Variante kann je nach Preisentwicklung der Energieträger eine gute Wirtschaftlichkeit erreichen. Der Einsatz fossiler Energie ist jedoch für die ökologische Bewertung von Nachteil, die im Rahmen dieser Grobanalyse nicht im Detail durchgeführt wurde.

Erdsondenfeld

Ein Erdsondenfeld mit Wärmepumpe weist als monovalente Lösung sehr hohe Investitionskosten auf, kann jedoch über die Nutzungsdauer von 30 Jahren positive Jahreserträge erzielen. Wirtschaftlich interessant ist eine mögliche Kombination mit Wärmenutzung aus der Lorze zur Regeneration, die zu einer Verkleinerung des Feldes führen kann und somit die Investitionskosten massiv senken würde. Zusätzlich zur Wärmenutzung kann das Erdsondenfeld im Sommer zur Gebäudekühlung eingesetzt werden.

Wärme- und Kältenutzung aus der Lorze

Für eine monovalente Wärme- und Kältenutzung sind die Wassermengen aus der Lorze aufgrund der Grösse des Papier-Areals nicht ausreichend. Die Technologie könnte für eine bivalente Nutzung aufgrund der tiefen zu erwartenden Betriebskosten interessant sein. In der Übergangszeit könnte die Lorze zur direkten Kühlung (Free-Cooling) der Gebäude verwendet werden. Die Genehmigung der Wassernutzung muss mit den zuständigen Behörden geklärt werden.

Photovoltaik

Eine Installation von Photovoltaik-Anlagen auf den Flachdächern der Neubauten wird dringend empfohlen. Diese können wirtschaftlich betrieben werden. Je nach Variante und Einbezug von PV-Fassaden an Hochhäusern kann der Eigenversorgungsgrad des gesamten Papier-Areals mit Strom zwischen 29.9% und 47.1% in der Jahresbilanz erreichen. Noch weiter erhöhen liesse sich der Eigenversorgungsgrad, wenn auch auf den Flachdächern der schützenswerten Bauten PV-Anlagen realisiert würden, was allerdings spezielle Baubewilligungen erfordert.

Flusswasserkraftwerk

Mit einem Neubau des Flusswasser-Kraftwerks wird der Eigenversorgungsgrad mit Strom um 52.1% erhöht. Dies ist dank der kostendeckenden Einspeisevergütung wirtschaftlich und sehr ökologisch. Es müssen im weiteren Verlauf des Projekts die denkmalpflegerischen Belange am Kraftwerk geklärt werden.

Grobanalyse

Fazit

Gemäss Pflichtenheft wurden einzelne Technologien hinsichtlich Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zur Deckung des Energiebedarfs betrachtet. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass für die spezifischen Rahmenbedingungen auf dem Papieri Areal keine der untersuchten Technologien ausgeschlossen werden können. Es ist möglich, dass durch Kombinationen der einzelnen Technologien in einem Gesamtsystem Synergien genutzt werden können, die die Wirtschaftlichkeit und Effizienz noch deutlich verändern können.

Ausblick

Daher sollten alle Technologien einer Feinanalyse auf Basis von Lastprofilen unterzogen werden, sowie die einzelnen Technologien zu sinnvollen Szenarien verbunden werden.

Inhalt

Zusammenfassung	2
1 Projektbeschreibung	6
1.1 Auftrag und Ziel	6
2 Ausgangslage	7
3 Strom- und Wärmebedarf des Areals	9
3.1 Grundlagen und Annahmen	9
3.2 Strombedarf	12
3.3 Wärmebedarf	14
3.4 Bedarf an Klimakälte	15
4 Technologien zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs	16
4.1 Grundlagen und Annahmen	16
4.2 Wärmeverbund und Kälte ewz	17
4.2.1 Technische Realisierung	17
4.2.2 Wirtschaftlichkeit	17
4.2.3 Bewertung der Technologie	18
4.3 Blockheizkraftwerk	19
4.3.1 Technische Realisierung	19
4.3.2 Wirtschaftlichkeit	20
4.3.3 Bewertung der Technologie	22
4.4 Erdsondenfeld	23
4.4.1 Technische Realisierung	23
4.4.2 Wirtschaftlichkeit	24
4.4.3 Bewertung der Technologie	24
4.5 Wärme- und Kältenutzung aus der Lorze	25
4.5.1 Technische Realisierung	25
4.5.2 Wirtschaftlichkeit	26
4.5.3 Bewertung der Technologie	26
4.6 Photovoltaik	27
4.6.1 Technische Realisierung	27
4.6.2 Wirtschaftlichkeit	27
4.6.3 Bewertung der Technologie	27
4.7 Flusswasserkraftwerk	29
4.7.1 Technische Realisierung	29
4.7.2 Wirtschaftlichkeit	30
4.7.3 Bewertung der Technologie	30
5 Schlussfolgerungen und Fazit	31
6 Ausblick	34
7 Literatur und Quellenverzeichnis	36
8 Verzeichnisse	38
8.1 Abbildungen	38

8.2	Tabellen	38
8.3	Symbole, Formelzeichen, Einheiten	38
8.4	Abkürzungen	39
8.5	Begriffe und Definitionen	39
Anhang	41

1 Projektbeschreibung

1.1 Auftrag und Ziel

Auftrag	Das Papierei Areal Cham soll neuen Nutzungen zugeführt und zu einem Wohn- und Arbeitsquartier entwickelt werden. Das Institut WERZ der HSR Hochschule für Technik Rapperswil ist beauftragt, eine Grobanalyse für die Strom- und Wärmeversorgung des Areals zu erstellen. Dieser Bericht beschreibt diese Analyse.
Ziel Energieversorgung	<p>Diese Grobanalyse untersucht verschiedene technische Lösungen für die Versorgung des Areals mit Strom und Wärme. Diese Lösungen werden insbesondere in Bezug auf technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht. Die spezifischen Vor- / Nachteile und wichtige weiterführende Untersuchungen werden aufgezeigt. Es werden die folgenden Arbeiten gemäss des vereinbarten Pflichtenhefts (WERZ, 2015) durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none">• Berechnung des Strom- und Wärmeenergiebedarfs des Papierei Areals unter den Annahmen der Nutzungszonen aus der letzten Etappe des Masterplans.• Energieversorgung mit Abwärme und -kälte aus der Nachbarschaft (Pavatex AG) durch die ewz• Blockheizkraftwerk (Gas, Holz) zur Bereitstellung von thermischer und elektrischer Energie• Erdsondenfeld zur Bereitstellung thermischer Energie• Wärme- bzw. Kältenutzung aus der Lorze• Installationen von Photovoltaik-Anlagen auf den Neubauten• Sanierung oder Neubau des Flusswasserkraftwerkes
Abgrenzung der Grobanalyse	<p>Für die Versorgung des Areals mit Strom und Wärme müssen die einzelnen Technologien einer Feinanalyse unterzogen werden. Hierbei müssen die Lastgänge und somit die saisonalen Schwankungen und Gleichzeitigkeiten im Bedarf berücksichtigt werden. Zudem werden die Interdependenzen der Technologien untersucht.</p> <p>Die Grobanalyse und deren Ergebnisse können nicht auf die Phase der Zwischennutzung angewendet werden.</p>
Projektmitarbeitende	<p>Ein wesentlicher Teil dieses Berichts wurde von Patrick Grab im Rahmen seiner Weiterbildung „CAS Erneuerbare Energien und zukünftige Energieversorgung“ am WERZ verfasst. Carsten Wemhöner von der HSR Hochschule für Technik Rapperswil hat seine Betreuung übernommen und zudem eigenständig technische Kapitel erarbeitet. Sandra Moebus wurde mit der Projektleitung beauftragt. Die folgenden Mitarbeitenden waren an diesem Bericht beteiligt:</p> <p>Patrick Grab Cham Paper Group AG Carsten Wemhöner HSR / IET Sandra Moebus HSR/ WERZ</p>

2 Ausgangslage

Papieri Areal Cham

Das Industrieareal der Papierfabrik Cham liegt mitten im Siedlungsgebiet der Gemeinde Cham. Innerhalb der nächsten Jahre wird der Betrieb der traditionellen Papier-Produktion an diesem Standort eingestellt. Die Cham Paper Group Schweiz AG beabsichtigt das rund 12 Hektaren umfassende Industrieareal neuen Nutzungen zuzuführen und das Areal als Wohn- und Arbeitsquartier zu entwickeln.

Umzonung und neue Überbauung

Der Gemeinderat Cham (2012) erklärte in seinem Schreiben seine grundsätzliche Bereitschaft, auf das Umzonungsgesuch einzutreten unter der Bedingung, die Entwicklung in einem mehrphasigen Planungsprozess in gleichberechtigter Zusammenarbeit mit der Grundeigentümerschaft durchzuführen.

Am 25. Oktober 2013 startete ein Planungsverfahren in Form eines städtebaulichen Studienauftrags mit vier ausgewählten Architekturteams. Zusätzlich flossen an diversen öffentlichen Workshops die Inputs der Bevölkerung und der Auftraggeber mit ein.

Das Siegerteam Albi Nussbaumer Architekten, Zug / Boltshauser Architekten, Zürich wurde anschliessend an die Schlussbesprechung vom 16. Juni 2014 mit der Ausarbeitung eines Masterplans (Nussbaumer und Boltshauser, 2015) beauftragt.

Modellfoto

Endausbau Papieri-Areal gemäss Masterplan (Nussbaumer und Boltshauser, 2015):



Abbildung 1: Modellfoto Richtprojekt Papieri-Areal

Zielsetzung

Im Sinne einer an den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft orientierten, nachhaltigen Entwicklung soll auf dem Papieri-Areal ein neues, durchmischtes Quartier mit hoher Lebensqualität und regionaler Ausstrahlung entstehen, welches den Ansprüchen von Grundeigentümerschaft und Gemeinde sowie der marktwirtschaftlichen Nachfrage gerecht wird. Bei optimalem Verlauf ist von einer Entwicklungszeitspanne von ca. zwei Jahrzehnten bis zum Vollausbau auszugehen.

Eine Überbauung des Papieri-Areals ist mit Rücksicht auf die umliegende Stadt und den bestehenden Landschaftsraum zu planen und in diesen Kontext zu integrieren. Der Uferbereich der durch das Areal fliessenden Lorze soll ökologisch und landschaftlich aufgewertet und unter anderem für Naherholung sowie für den Fussverkehr nutzbar gemacht werden. Der Vernetzung des Grünraums auf dem Papieri-Areal mit dem umliegenden Landschaftsraum bis hin zum See ist grosse Aufmerksamkeit zu schenken. Auch innerhalb des Areals sollen öffentlich zugängliche Räume mit hoher Aufenthaltsqualität entstehen.

Die heutigen Gebäude auf dem Areal sind zum Teil kulturhistorisch wertvoll und repräsentieren die Industrie- und Blütezeit der Papierfabrik. Es ist daher ein sensibler Umgang mit dem Gebäudebestand gefordert. Die schützenswerten und teilgeschützten Bauten des Areals sollen auf ihre Umnutzungsqualität hin überprüft und nach Möglichkeit erhalten oder nutzungsgerecht weiterverwendet werden, wodurch ein identitätsstiftender Bezug zur industriellen Vergangenheit des Areals aufrechterhalten werden kann. Im Rahmen der Etappierungen sind auch mögliche Zwischennutzungskonzepte für die bestehenden Fabrikgebäude aufzuzeigen.

Zeitplan

Zurzeit wird der Bebauungsplan ausgearbeitet. Dieser soll dem Stimmvolk vorgelegt werden, welches im Sommer 2016 über die Umzonung des heutigen Industriearials abstimmen wird.

Die Umsetzung erfolgt, aus heutiger Sicht, in verschiedenen Bauetappen. Bis zur Umsetzung der letzten Etappe werden 10 – 15 Jahre vergehen. Die Etappen werden entsprechend der Nachfrage gebaut.

Bestehende Gebäude sollen nach Möglichkeit zwischengenutzt werden.

3 Strom- und Wärmebedarf des Areals

In den nachfolgenden Unterkapiteln wird die Analyse des Strom- und Wärmebedarfs für die Endphase des Masterplans auf dem Papieri Areal Cham aufgezeigt.

3.1 Grundlagen und Annahmen

Grundlagen- dokumente

Als Grundlage für die Grobanalyse wurden die folgenden Dokumente verwendet:

- *Entwicklung Papieri-Areal in Cham* vom 20. Juni 2014
- *Die Papierfabrik Cham Schutzzumfang* (Amt für Denkmalpflege, 2014)
- *Masterplan Papieri Areal Cham* (Nussbaumer und Boltshauser, 2015)

Die Berechnung des Energiebedarfs basiert auf dem Dokument

- SIA 2024 (2014) Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik.

SIA 2024

Die SIA 2024 wurde für die Berechnungen gewählt, weil sie die Abschätzung des gesamten Leistungs- und Energiebedarfs für Geräte, Beleuchtung, Lüftung, Raumkühlung, Raumheizung und Warmwasser ermöglicht. Dies erlaubt die Erarbeitung eines Energiekonzepts bereits in einer frühen Planungsphase. Es wurde hierbei die Vernehmlassungsversion vom 9. September 2014 verwendet. Die neue SIA 2024 lehnt sich an die neuesten SIA Normen an, welche sich wiederum auf die aktuellsten Gesetze, Verordnungen und Statistiken des Bundes abstützen. Das neue Merkblatt SIA 2024 soll im zweiten Quartal 2015 offiziell Gültigkeit erlangen.

Zusätzlich mussten Annahmen zu den detaillierten Nutzungen getroffen werden, wie auch zu den Baustandards. In der SIA 2024 werden insgesamt 45 verschiedene Raumnutzungen unterschieden. Im Masterplan werden bloss die vier Nutzungen (Wohnen / Atelier Wohnen), (Gewerbe / Büro / Gastro), (Sowohl Wohnen als auch Gewerbe / Büro) und (Öffentliche Nutzung / Kultur) unterschieden. Die Nutzung (Wohnen / Atelier Wohnen) musste nicht weiter unterteilt werden. Bei der Nutzung (Gewerbe / Büro / Gastro) wurden Annahmen für die entsprechenden Flächenanteile der Nutzungen (Büro), (Fachgeschäfte), (Lebensmittelverkauf), (Produktion grob), (Produktion fein) und (Restaurant) getroffen. Für die weiteren Unterteilungen der Nutzung Büro in Einzel-, Gruppen- und Grossraumbüro wurden die statistisch ermittelten Anteile gemäss SIA 2024 eingesetzt. In der SIA 2024 sind auch die Flächenanteile für Nebenräume, Treppenhaus, Garderobe, Küche, Serverraum, Verkehrsfläche und Empfang aufgeführt (siehe Tabelle 15), welche in den Berechnungen berücksichtigt wurden. Weitere Annahmen wurden für die Flächenanteile der Nutzungen Vorstellungsraum und Ausstellungshalle bei Öffentliche Nutzung / Kultur getroffen. Die getroffenen Annahmen zu den exakten Nutzungen sind dem Anhang II zu entnehmen.

Variante 1

Um die Flächenanteile der Nutzung (Sowohl Wohnen als auch Gewerbe / Büro) sinnvoll aufzuteilen, wurden zwei Varianten gerechnet. Bei der Variante 1 wird von einer hälftigen Aufteilung in Wohnen und Büro ausgegangen.

Für eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich des Energiebedarfs auf dem Areal wurden die Flächenanteile der verschiedenen Nutzungen variiert. Als Ergebnis wurden geringe Änderungen des Energiebedarfs festgestellt, weshalb im Folgenden mit den Flächenanteilen der Variante 1 gerechnet wird.

Flächenanteile Variante 1

(Sowohl Wohnen als auch Gewerbe / Büro = 50% Wohnen & 50% Büro)

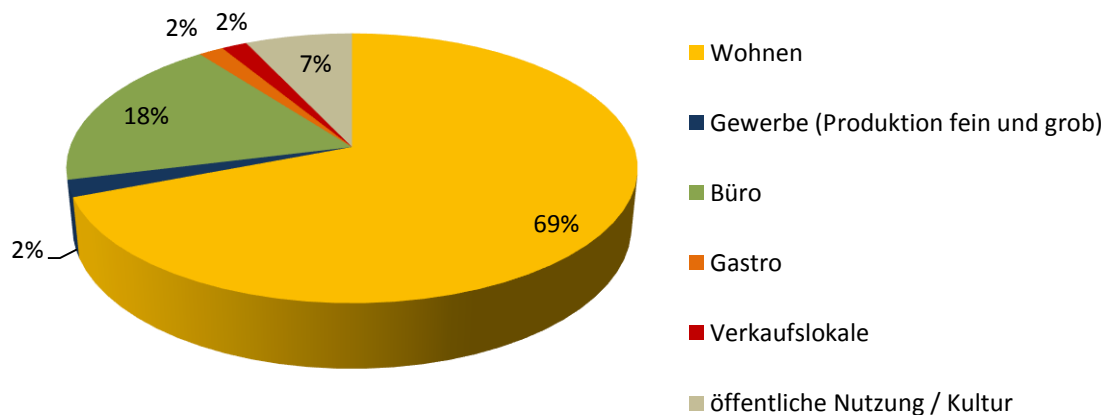


Abbildung 2: Flächenanteile der Nutzflächen nach Masterplan für Variante 1

Für die Altbauten wurden die Standardwerte der SIA 2024 verwendet, welche typische Planungswerte für Neubauten und Gesamtsanierungen darstellen. Die Zielwerte, welche optimale Planungswerte für Neubauten und Gesamtsanierungen darstellen, wurden für die Neubauten verwendet. Die typischen Flächenanteile der einzelnen Raumnutzungen pro Gebäudekategorie wurden gemäss SIA 2024 Tabelle 15 berechnet. Für die benötigte Energiebezugsfläche wurde die Nettogeschossfläche pauschal mit einem Faktor von 0,9 versehen. Dieser berücksichtigt den Anteil der Konstruktionsfläche an der Energiebezugsfläche.

Alle Kennwerte und Berechnungen sind in einem Excel-File abgespeichert. Die Auswertungen können bei möglichen Änderungen des Masterplans, respektive der Gebäudeflächen oder Nutzungen, jederzeit angepasst werden. Die allgemeine Berechnungstabelle mit Zielwerten ist im Anhang VI zu sehen. In den Anhängen VII und VIII sind die Resultate der Varianten 1 und 2 zu entnehmen.

**Energiefluss-
 Diagramm
 Variante 1**

In Abbildung 3 ist der jährliche Gesamt- Energiebedarfs des Areals in einem Energieflussdiagramm dargestellt. Die Blöcke Wohnen, Gewerbe, Büro, Gastro, Verkaufsläden und öffentliche Nutzung / Kultur sind im Verhältnis ihrer tatsächlichen Flächenanteile gezeichnet. Die Dicke der Flüsse entspricht dem tatsächlichen jährlichen Energiebedarf.

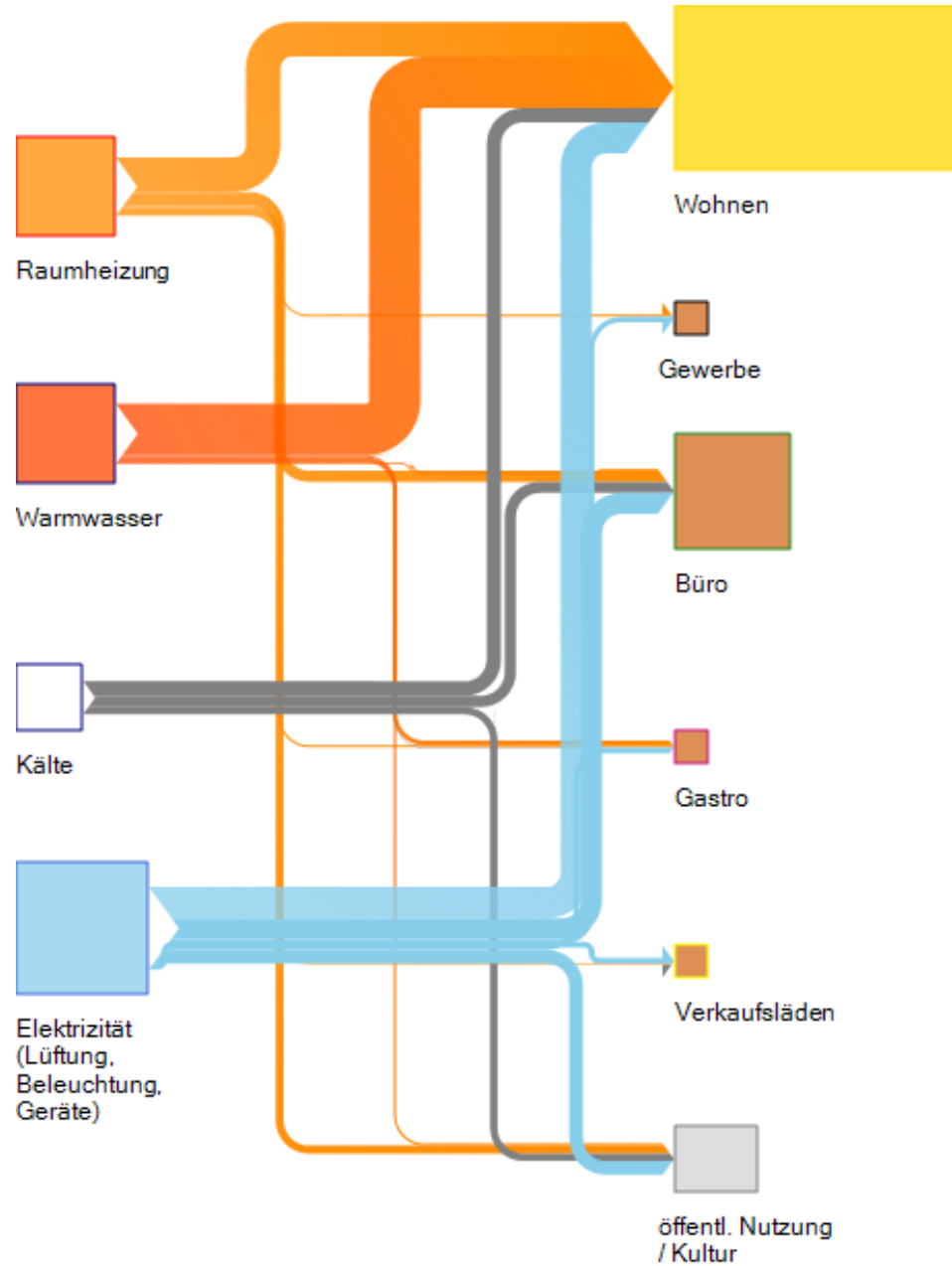


Abbildung 3: Energieflussdiagramm, Energiebedarf Papieri Areal

3.2 Strombedarf

Grundlagen

Enthalten in der elektrischen Leistung und auch im elektrischen Energiebedarf sind die Lüftungsanlagen, jegliche Beleuchtung (Raum- und Akzentbeleuchtung), sowie alle elektrischen Geräte (z.B. Büro- und Haushaltgeräte, Haustechnik, gekühlte Verkaufsgale, etc.). Nicht enthalten sind energieintensive Verbraucher bei industriellen Prozessen.

Strombedarf pro Raumnutzung

In Abbildung 4 ist sehr gut zu erkennen, dass der spezifische elektrische Energiebedarf mit der Raumnutzung variiert und von ihr abhängig ist.

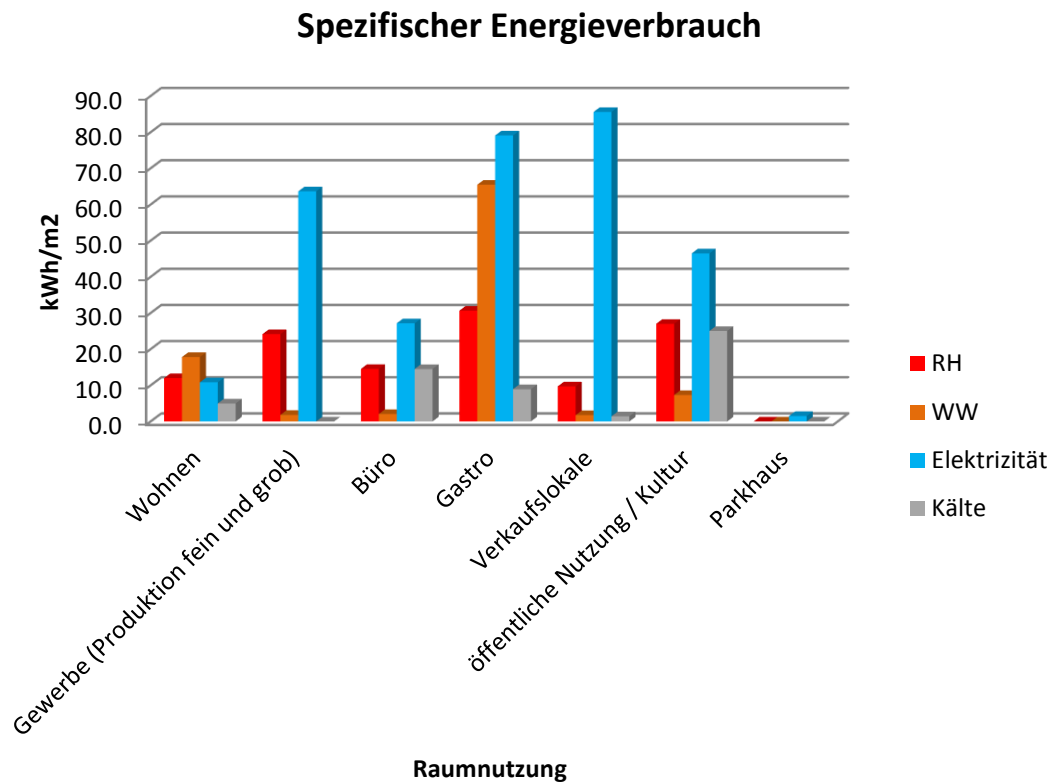


Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch Papier Areal

Es ist deshalb entscheidend vor der definitiven Planung den effektiven Energieverbrauch gemäss den eventuell veränderten Raumnutzungen zu berechnen.

Gesamt-Strombedarf pro Jahr

Der gesamte Strom- Energiebedarf pro Jahr widerspiegelt sehr viel stärker die Flächenanteile der einzelnen Raumnutzungen:

Jahresenergieverbrauch absolut

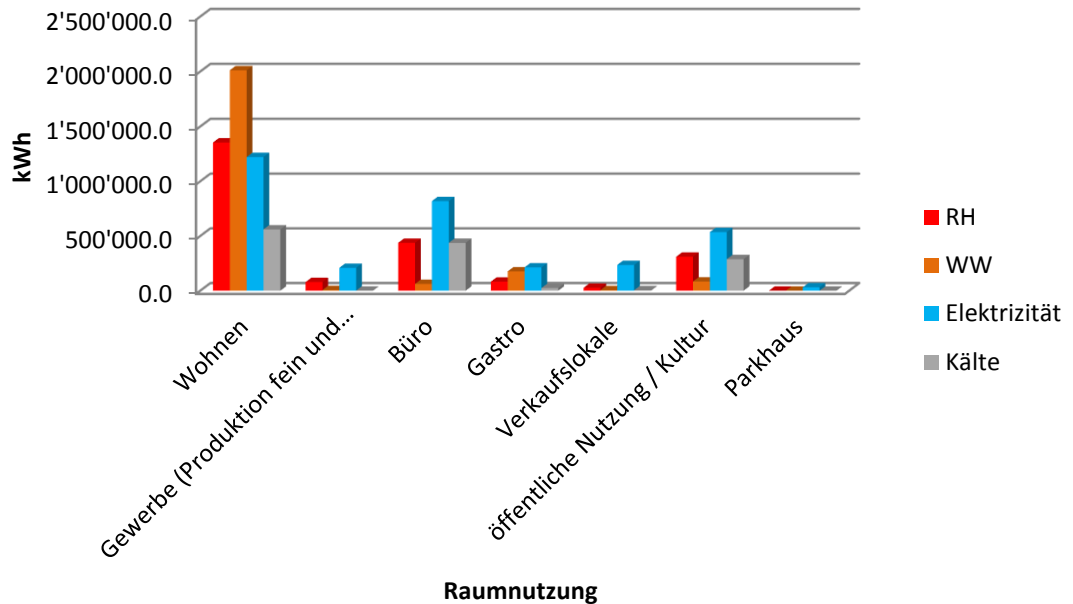


Abbildung 5: Absoluter Jahres-Energieverbrauch Papieri Areal

Der gesamte jährliche elektrische Energiebedarf des Papieri-Areals gemäss den Flächenanteilen der Nutzungen aus Variante 1 beträgt 3'262 MWh bei einer maximalen Leistung von 1'716 kW. Die oberirdische Nettogeschossfläche beträgt bei beiden Varianten rund 163'000 m², wobei bei allen Berechnungen auch die 20'000 m² Tiefgaragen berücksichtigt sind. Der spezifische elektrische Energiebedarf beträgt somit 17.7 kWh/m² pro Jahr. Bei der Variante 2 mit dem höheren Wohnungsanteil verringert sich der Strombedarf auf 3'097 MWh bei einer Leistung von 1615 kW.

Aufgrund dieser geringfügigen Veränderung wurde noch eine weitere Variante gerechnet. Hierbei wurden die Nutzflächen für Gastro, Produktion und Verkaufslokale um 50% erhöht und für Büro entsprechend verringert. Die Nutzungen Gastro, Produktion und Verkaufslokale sind diejenigen mit den höchsten spezifischen elektrischen Energieverbräuchen.

Allerdings ist die Veränderung über das ganze Areal betrachtet trotzdem gering. Der elektrische Energiebedarf steigt um 6.05% auf 3'472 MWh an und die maximale Leistung der Elektrizitätsversorgung auf 1'763 kW (+2.68%).

3.3 Wärmebedarf

Vorgehen Bei der Wärme wird unterschieden zwischen Raumheizung und Warmwasser. Für beide Anwendungen werden die Leistung und der Energiebedarf anhand der 45 verschiedenen Raumnutzungen der SIA 2024 berechnet. Nicht enthalten ist die Prozesswärme von Industriebetrieben. Es wird davon ausgegangen, dass auf dem Papieri-Areal keine Industriebetriebe mehr angesiedelt werden.

Gesamt-Wärmebedarf pro Jahr Auch bei Warmwasser und Raumheizung variieren die spezifischen Energieverbräuche zwischen den Raumnutzungen sehr stark.

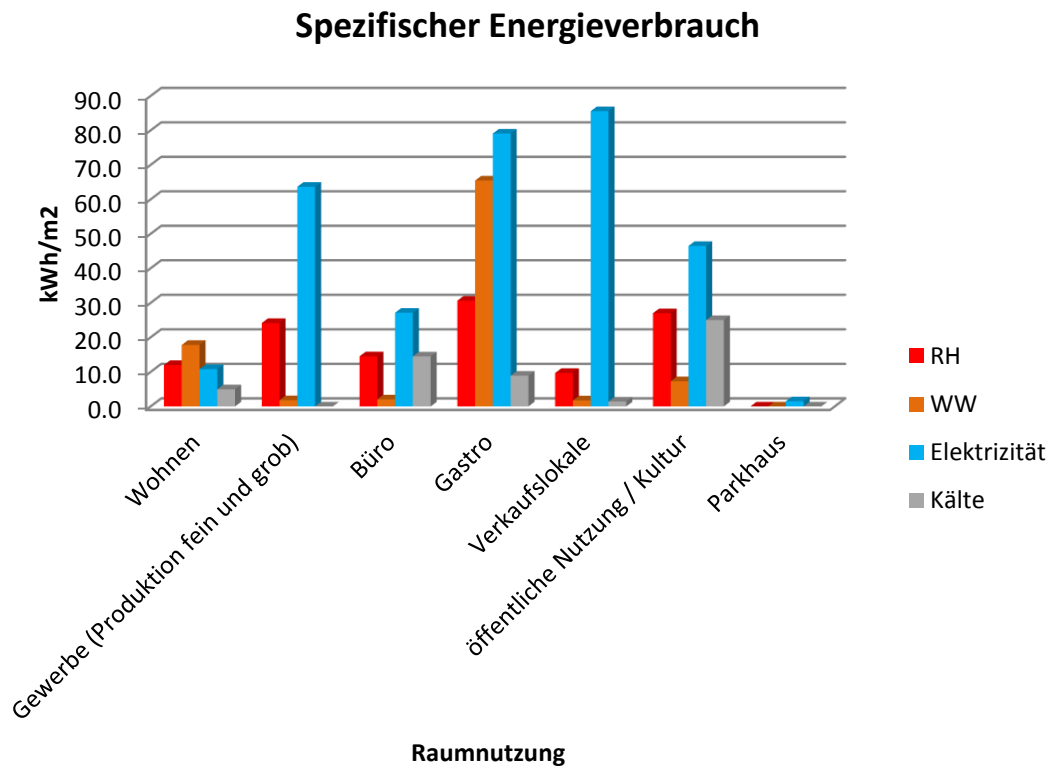


Abbildung 6: Spezifischer Energieverbrauch Papieri Areal

Der gesamte jährliche Bedarf an Wärme des Papieri-Areals beträgt 4'635 MWh bei einer maximalen Leistung von 2'994 kW nach Variante 1. Der spezifische Energiebedarf für Raumheizung und Warmwasser beträgt somit 25.2 kWh/m² pro Jahr, respektive 28.4 kWh/m² ohne Tiefgaragen. Bei der Variante 2 mit dem höheren Wohnungsanteil erhöht sich der Wärmebedarf auf 4'799 MWh bei einer Leistung von 2'925 kW.

Aufgrund dieser geringfügigen Veränderung wurde noch eine weitere Variante gerechnet. Hierbei wurden die Nutzflächen für Gastro, Produktion und Verkaufslokale um 50% erhöht und für Büro entsprechend verringert. Die Nutzungen Gastro und Produktion sind diejenigen mit den höchsten spezifischen Wärmeverbräuchen. Allerdings ist die Veränderung über das ganze Areal betrachtet gering. Der Energiebedarf steigt um 2.43% auf 4'751 MWh an und die maximale Leistung auf 3'063 kW (+2.25%).

3.4 Bedarf an Klimakälte

Vorgehen	In den Altbauten wird auf eine aktive Kühlung in Einzel-, Gruppenbüros, Fachgeschäften, Produktion, Restaurant und Wohnungen verzichtet. Gemäss SIA 2024 kann davon ausgegangen werden, dass bei bestehenden Bauten mit Fensterlüftung auf die Notwendigkeit einer aktiven Raumkühlung verzichtet werden kann.
Gesamt Kältebedarf pro Jahr	<p>Die spezifischen Energieverbräuche für Klimakälte sind ebenfalls sehr stark von der Raumnutzung abhängig. Im Bereich öffentliche Nutzung / Kultur fällt ein hoher Anteil des Klimakältebedarfs an. Dieser Bedarf ist sehr stark zu hinterfragen und gemäss den tatsächlichen Anforderungen an den Raum zu berechnen. Für diese Grobanalyse wurden vereinfacht die im Merkblatt SIA 2024 für Vorstellungsräume und Ausstellungshallen hinterlegten Werte eingesetzt.</p> <p>Der gesamte jährliche Energiebedarf für Klimakälte des Papierei-Areals beträgt 1'313 MWh bei einer maximalen Leistung von 1'792 kW nach Variante 1. Der spezifische Energiebedarf beträgt somit 9.7 kWh/m² pro Jahr, respektive 11.0 kWh/m² ohne Tiefgaragen. Bei der Variante 2 mit dem höheren Wohnungsanteil verringert sich der Kältebedarf auf 1'191 MWh bei einer Leistung von 1'668 kW.</p> <p>Aufgrund dieser geringfügigen Veränderung wurde noch eine weitere Variante gerechnet. Hierbei wurden die Nutzflächen für Gastro, Produktion und Verkaufslokale um 50% erhöht und für Büro entsprechend verringert. Die Nutzungen Gastro und Büro sind diejenigen mit dem höchsten spezifischen Kältebedarf.</p> <p>Allerdings ist die Veränderung über das ganze Areal betrachtet gering. Der Energiebedarf verringert sich um 3.89% auf 1'264 MWh an und die maximale Leistung auf 1'732 kW (-3.47%).</p>

4 Technologien zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs

In diesem Kapitel werden die untersuchten Technologien beschrieben, mit welchen der in Kapitel 3 berechnete Energiebedarf gedeckt werden kann. Die Auswahl der zu untersuchenden Technologien fand aufgrund der Absprache mit dem Auftraggeber, den Gegebenheiten auf und um das Papier-Areal sowie dem Stand der Technik statt.

4.1 Grundlagen und Annahmen

Grundlagen

Auf Grundlage des in Kapitel 3 ermittelten Energiebedarfs für Heizung, Trinkwarmwasser, Kühlung und Elektrizität und der entsprechenden Spitzenlasten gemäss den Flächen und Nutzungen nach Masterplan mit Hilfe der SIA 2024 kann eine Grobdimensionierung unterschiedlicher Varianten der Energieversorgung vorgenommen werden. Die Lastgänge der einzelnen Gebäude sind nicht bekannt, so dass Gleichzeitigkeiten im Bedarf nicht betrachtet werden können. Daher wurde beispielsweise für die Auslegung des BHKW eine Näherung der geordneten Jahresdauerlinie auf Grundlage von Wetterdaten verwendet und Simultanbetrieb, z.B. ein gleichzeitiger Kühl- und Warmwasserbetrieb einer Wärmepumpe bzw. Kältemaschine nicht betrachtet. In einer Feinanalyse können diese Aspekte auf Basis eines Lastgangs für die einzelnen Nutzungen detaillierter analysiert werden. Trotz dieser Einschränkungen lassen sich mit der Grobdimensionierung Aussagen zur Wirtschaftlichkeit und Eignung der einzelnen Systemlösung ableiten, so dass eine Auswahl der verschiedenen Energiekonzepte für eine Detailanalyse getroffen werden kann. Als Varianten wurden die folgenden Systeme betrachtet:

- Wärme- und Kälteverbund ewz
- Gasheizung
- Erdgas-Blockheizkraftwerk
- Erdsondenfeld und Wärmepumpe
- Wassernutzung aus der Lorze zum Heizen und Kühlen
- Flusskraftwerk zur Elektrizitätserzeugung
- Elektrizitätserzeugung mit Photovoltaik-Anlagen auf dem Areal

Alle Varianten benötigen ein Wärmenetz auf dem Areal. Für die Wirtschaftlichkeit konnte nur der Wärmerezeuger ohne Netz berücksichtigt werden.

Annahmen

Auch für die Auslegung der Systemlösungen bzw. Beurteilung von deren Wirtschaftlichkeit mussten Annahmen getroffen werden, die teils über Varianten hinsichtlich einer Sensitivität gegenüber verschiedenen Kriterien bewertet wurden. Die Auslegung beruht auf dem Stand der Technik bzw. einer absehbaren Projektion der Leistungs-/Effizienzentwicklung in den nächsten 20 Jahre bis zum vollständigen Ausbau des Areals. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit beruht auf der dynamischen Berechnung nach SIA 480 (2004). Als Bewertungsgrösse wurde der Jahresertrag der jeweiligen Systemlösungen gewählt. Als Referenzvariante wurde aufgrund der bekannten Energiepreise der Wärmeverbund ewz zugrunde gelegt. Als Nutzungsdauer wurden einheitlich 30 Jahre angesetzt, bei kürzeren Lebensdauern der Komponenten werden entsprechende Ersatzinvestitionen berücksichtigt. Als Kalkulationszins wurden 3.5% angesetzt, weiterhin wurden Varianten mit und ohne Inflation von 2% ausgewertet. Die detaillierten Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit sind im Anhang enthalten.

4.2 Wärmeverbund und Kälte ewz

Die Gemeinde Cham möchte zur Beheizung verschiedener, bestehender und geplanter Überbauungen Industrieabwärme der Firma Pavatex nutzen. Für den Fall, dass die Abwärme aus der Pavatex für den geplanten Wärmeverbund nicht ausreichen sollte, kann Abwärme aus der ARA Schönau bezogen werden. Die Realisierung und der Betrieb des Wärmeverbunds soll dem spezialisierten Contractor ewz übertragen werden.

Zur Nutzung der Abwärme und zur Erzeugung der erforderlichen Spitzenlast wird Wärme aus der Abluft der thermischen Nachverbrennung und Spitzenlast aus dem bestehenden Dampfnetz Pavatex ausgekoppelt.

Zusätzlich, respektive in einem zweiten Ausbauschnitt, wird von der ARA (Abwasser Reinigung Anlage) Schönau gereinigtes Wasser mit relativ tiefer Temperatur (ca. 11° C) entnommen, welches mittels Wärmepumpen auf ein nutzbares Temperaturniveau angehoben wird.

4.2.1 Technische Realisierung

Aus dem Trocknungsprozess bei der Pavatex AG fallen grosse Mengen an Abwärme als feuchte Abluft an. Die Pavatex muss zwecks Reduktion der emittierten Schmutzfracht eine Abluftreinigungsanlage installieren. Dabei wird die warme und feuchte Trocknerabluft durch Einsatz von Erdgas zusätzlich erhitzt, sodass die Schmutzpartikel verbrennen. Mittels Wärmetauscher im Abgasstrom wird Wärme auf den Temperaturniveaus 75/55°C (970 kW), 55/38°C (2'030 kW) und 38/28°C (900 kW) ausgekoppelt. Von dieser Leistung benötigt Pavatex selbst einen Anteil von rund 900 kW auf Niveau 55°/38°C. Die restliche Wärme steht dem Wärmeverbund zur Verfügung. Über die Festtage ist mit einer 2-wöchigen Produktionspause zu rechnen, während der keine Abwärme aus der Abluftreinigungsanlage zur Verfügung steht. In dieser Zeit kann Wärme ab dem Dampfnetz bezogen werden, die mit Gas erzeugt wurde. Die Holzkesselanlage wird während der Produktionspause nicht betrieben. Der Grossteil der durch die Pavatex benötigten Wärme wird heute durch die Holzenergieanlage des Contractors AXPO erzeugt. Zur Abdeckung von Leistungsspitzen steht noch ein Gaskessel in selbiger Anlage zur Verfügung. Eine Grobdisposition der Wärmeverbund Heizzentrale bei der Pavatex ist im Anhang X zu finden.

Im Falle einer Betriebsaufgabe von Pavatex besteht ein Vorkaufsrecht der ewz für die Holzenergieanlage, welche dann die benötigte Fernwärme liefern kann.

Die ARA stellt eine weitere Wärmequelle dar, mit einer nutzbaren Abwärmeleistung von rund 10 MW, was eine Wärmepumpenleistung von ca. 12.5 MW erlauben würde (Ryser Ingenieure, 2012). Da die ARA-Abwärme zeitlich unbegrenzt zur Verfügung steht und die Abwärmeleistung wohl auch in Zukunft mindestens gleich gross bleibt, stellt sie die ideale Wärmequelle für ein langfristiges Projekt wie den Wärmeverbund dar. Um die Wärmequelle ARA an den Fernwärmeverbund anzuschliessen ist eine zusätzliche Heizzentrale mit Wärmepumpen notwendig.

Die Wärmeabgabe an die Verbraucher erfolgt über Wärmetauscher (Systemtrenner) in den einzelnen Hausstationen.

Für die Kälteabgabe werden separate Fernleitungen und Energieübergabestationen benötigt. Die Verteilung in den Gebäuden kann teilweise dieselbe wie für Wärme eingesetzt werden.

4.2.2 Wirtschaftlichkeit

Insgesamt wurde ein Wärmebedarf von ca. 4'700'000 kWh/a und eine Leistung von 3'000 kW für das gesamte Papierer-Areal errechnet. Jährlich fallen dafür Kosten von 656'700 CHF an, bei einem Grundpreis von 139 CHF/kW und einem Energiepreis für Wärme von 5.10 Rp/kWh gemäss Energie-Contracting Angebot der ewz.

Zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit wurden diese Betriebskosten mit einer konventionellen Gasheizung verglichen. Wird mit den aktuell gültigen Gaspreisen und CO₂-Abgaben über die nächsten

30 Jahre gerechnet, ist die Fernwärme nicht wirtschaftlich. Im Vergleich zu einer konventionellen Gasheizung (mit geschätzten 1'250'000 CHF Investitionskosten) entsteht ein Netto-Jahresertrag von -23'600 CHF. Rechnet man aber mit einer Inflation von 2%, entsteht ein Netto-Jahresertrag von 113'350 CHF. Mit dieser, wohl eher realistischen, Berechnungsmethode erscheint die Fernwärme sehr wirtschaftlich gegenüber der Gasheizung. Eine rein fossile Gasheizung ist gemäss Verordnung zum Energiegesetz 740.11 nicht mehr erlaubt und müsste noch durch regenerative Energien ergänzt werden.

Bei der Klimakälte liegt der Grundpreis bei 165 CHF/kW pro Jahr und der Energiepreis bei 4.50 Rp/kWh gemäss Energie-Contracting Angebot der ewz. Dies ergibt jährliche Kosten von rund 300'000 CHF bei einem Kältebedarf von 1'313'000 kWh und einer Leistung von 1'790 kW für das gesamte Papieri-Areal. Diese Kosten bleiben für eine Vertragsdauer von 30 Jahren konstant.

4.2.3 Bewertung der Technologie

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">Geringste InvestitionskostenGeringste UnterhaltskostenKein Platzbedarf für Heizzentrale(n) und/oder KälteerzeugungEtablierte TechnologieZu 85% CO₂-freie WärmeerzeugungZu 100% CO₂-freie Kälteerzeugung (gemäss Angabe ewz)Unabhängigkeit von BrennstoffenSehr gute Etappierbarkeit (Erweiterung des Anschluss) möglich
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">Langjährige Abhängigkeit vom Contractor ewz
Diskussion	<p>Auf dem Papieri-Areal wird einzig eine (oder eventuell auch mehrere) Energieübergabestation benötigt, welche von der ewz erstellt und finanziert wird. Die nachfolgenden Installationen für die Warmwasser- und Raumheizungsverteilung sowie die Klimakälte liegen in der Verantwortung des Energiebezügers. Diese Installationen in den einzelnen Gebäuden fallen bei jeder Art der Wärmeerzeugung an und werden deshalb in dieser Grobanalyse auch nicht näher betrachtet. Für die Wärme- und Kälteerzeugung selbst wird somit bloss ein sehr kleiner Raum für einen Wärmetauscher benötigt, für welchen minimale Baukosten anfallen. Der Betrieb und die Instandhaltung der Anlage liegen komplett in der Verantwortung des Contractors ewz.</p>

4.3 Blockheizkraftwerk

Blockheizkraftwerke (BHKW) stellen eine effiziente Technologie der Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) dar und liefern gleichzeitig Wärme und Elektrizität. Für eine hohe Effizienz ist eine vollständige Nutzung der Wärme notwendig, weshalb meist eine wärmegeführte Betriebsweise eingesetzt wird, das BHKW also entsprechend dem Wärmebedarf betrieben wird. Die gleichzeitig erzeugte Elektrizität wird für die Eigennutzung verwendet oder ins Netz eingespeist. Für Blockheizkraftwerke kommen unterschiedliche Technologien zum Einsatz, am verbreitetsten sind Gasmotoren, mit denen Brennstoffausnutzungsgrade von 90% mit typischen Elektrizitätsanteilen bis 50% bei grösseren Leistungen und Wärmeanteilen bis 65% (je nach Elektrizitätsanteil) erreicht werden. Durchschnittliche Werte liegen bei 38% Elektrizitätsanteil und 87% Gesamtwirkungsgrad. Durch einen zusätzlichen Abgaswärmetauscher kann der thermische Anteil durch Brennwertnutzung um 5-15% erhöht werden, wenn ausreichend tiefe Rücklauftemperaturen der Wärmeverbraucher vorliegen. Als Brennstoffe kommen Erdgas oder andere Gasarten wie Klär-, Deponie-, Grubengas zum Einsatz, aber auch biogene Gase wie Biogas oder Holzgas. Verbrennungsmotoren für flüssige Brennstoffe können mit Diesel oder auch biogenen Treibstoffen wie Pflanzenölen, z.B. Rapsöl, betrieben werden.

Für Festbrennstoffe wie Holz oder auch Abwärme kommen im kleinen Leistungsbereich vereinzelt Stirling-Motoren oder Dampfmaschinen zum Einsatz, für grössere Anwendungen kommen Dampfprozesse, meist als Organic-Rankine-Cycle (ORC) mit organischen Arbeitsmedien, in Frage. Für den nachwachsenden Rohstoff Holz sind im grösseren Leistungsbereich hauptsächlich Gasmotoren mit vorgeschalteter Holzvergasung marktgängig, die bis zu einem Leistungsbereich von 500 kW reichen.

4.3.1 Technische Realisierung

Blockheizkraftwerke können auf dem Areal in einer oder mehreren Heizzentralen installiert werden, und die Wärme kann über ein Wärmenetz verteilt werden. Dafür kommen die gleichen Hausübergabestationen wie bei den anderen aufgeführten Wärmeverbundlösungen zum Einsatz.

Aus Gründen eines wirtschaftlichen Betriebs werden mindestens 4500, besser 6000 Betriebsstunden gefordert, was bei Neubauten bzw. sanierten Altbauten mit entsprechend niedrigem Wärmebedarf und verkürzten Heizperioden kritisch zu beurteilen ist. Je kleiner die Leistung des BHKW, des länger sollte die Laufzeit sein. Die Auslegung von BHKW erfolgt daher gestaffelt nach der geordneten Jahresdauerlinie des Wärmeleistungsbedarfs und die Systeme werden mit einem oder mehreren Spitzenlastkesseln kombiniert, die die höheren Lasten mit kurzen Laufzeiten abdecken. Weiterhin können Wärmespeicher in das System integriert werden, um längere Laufzeiten zu erzielen. Ein wirtschaftlicher Betrieb kann im Fall des Papierareals am ehesten für den ganzjährigen Warmwasserbedarf erzielt werden, der als Bandlast über das ganze Jahr anfällt.

Die Jahresdauerlinie kann durch Ordnen der einzelnen Lasten generiert werden. Da im Rahmen dieser Grobanalyse aber nur die Spitzenlast und der Jahresenergiebedarf vorliegen, wird als Näherung eine Summenhäufigkeit auf Grundlage der Aussentemperatur angesetzt. Dies ist für Altbauten eine gute Näherung, da die Heizlast vom Einfluss der Aussentemperatur dominiert wird. Bei Neubauten haben hingegen interne und externe Gewinne einen grösseren Einfluss, weshalb die Näherung je nach Anteil der Gewinnnutzung zu prüfen ist. Für eine Grobauslegung erlaubt die Näherung jedoch eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit.

Abbildung 7 zeigt die geordnete Jahresdauerlinie für unterschiedliche Heizgrenzen, was die verkürzten Heizperioden bei Neubauten widerspiegelt. Es wird deutlich, dass selbst bei einer Heizgrenze von 12 °C, was gemeinhin für Gebäude im MINERGIE®-Standard angesetzt wird und die sanierten Altbauten auf dem Areal repräsentieren kann, nur etwa 4500 Betriebsstunden für den Raumheizbedarf resultieren, so dass hier die Wirtschaftlichkeit schon kritisch zu beurteilen ist (blaues Rechteck).

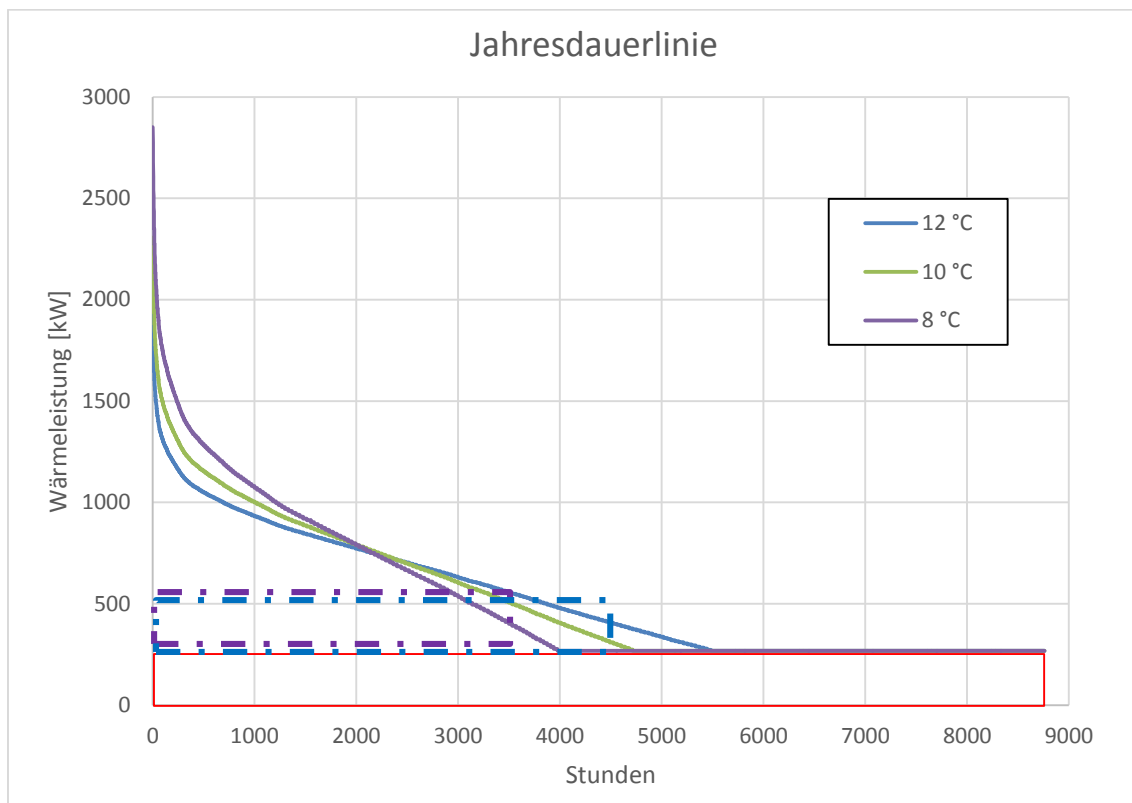


Abbildung 7: Jahresdauerlinie für 3 Temperaturen der Heizgrenze und Auslegungsoptionen

Überlagert ist allerdings der Warmwasserbedarf, der hier als über das Jahr konstante Bandlast mit 8760 h dargestellt ist. Tabelle 1 zeigt projizierte mittlere Laufzeiten in Abhängigkeit der Ausleistungsleistung des BHKW und die entsprechende Elektrizitäts- und Wärmeenergiebereitstellung bei dieser Auslegung für die mittlere Heizgrenze von 10 °C.

Tabelle 1: Laufzeiten und Energien des BHKW in Abhängigkeit der Auslegung

Th. Leistung [kW]	Ei. Leistung [kW]	Laufzeit [h]	Th. Energie [MWh]	Ei. Energie [MWh]
300	233	8'300	1931	2490
400	310	7'170	2224	2868
500	388	6'300	2443	3150
600	465	5'560	2587	3336
800	620	4'200	2606	3360

4.3.2 Wirtschaftlichkeit

Wie oben erwähnt ist für die Wirtschaftlichkeit eine hohe Auslastung des BHKW ausschlaggebend, weshalb für die Wirtschaftlichkeitsbewertung zwei Fälle betrachtet werden. Wie aus der Jahresdauerlinie in Abbildung 7 zu erkennen ist, ist bei Annahme einer Heizgrenze von 8 °C (12 °C) nur noch mit Laufzeiten einer zweiten BHKW-Einheit von 3500 h (4500 h) zu rechnen (gestrichetes Rechteck in lila (blau)). Bei Annahme eines gleichmässigen Warmwasserbedarfs für das Jahr ergibt sich aus dem Energiebedarf eine Bandlast des Warmwassers von 270 kW.

Fall 1 repräsentiert eine knappe Auslegung mit einer BHKW Leistung von 300 kW nach Tabelle 1. Damit kann der gesamte Warmwasserbedarf des Areals über das BHKW abgedeckt werden und es resultieren Laufzeiten von 8'300 Stunden. Bei diesen Laufzeiten werden nach Tabelle 1 bei einem Elektrizitätsanteil von 38% und einem thermischen Anteil von 49% gemäss den Durchschnittswerten bereits energetische Deckungsanteile von 50% des Wärmebedarfs des Papier Areals erreicht.

Fall 2 setzt sich aus zwei BHKW Modulen mit je 300 kW zu einer Auslegungsleistung von 600 kW zusammen. Für das zweite BHKW Modul werden dann nur noch kurze Laufzeiten von etwas über 3000 h erreicht. Werden die beiden BHKW Module jedoch im Wechsel betrieben, werden durch die hohen Warmwasserlaufzeit im Mittel 5600 Betriebsstunden nach Tabelle 1 erreicht, was noch wirtschaftlich darstellbar sein sollte. Die Investitionen sind zwar etwas höher, aber die Verfügbarkeit des BHKW ist besser. Mit dieser Auslegung kann die gesamte elektrische Energiemenge des Elektrizitätsbedarfs erzeugt werden, allerdings ist damit nicht zwangsläufig die Gleichzeitigkeit zwischen Bedarf und Erzeugung gegeben, die für eine vollständige Eigennutzung notwendig ist. Trotzdem wird hier als Näherung die Wirtschaftlichkeit als Ersatz des Netzbezugs berechnet.

Als Spitzenkessel ist die gleiche Gasheizung wie in Kap. 4.2.2 betrachtet worden, so dass der Spitzenkessel bei Ausfall des BHKW den gesamten Wärmebedarf bereitstellen könnte. Durch die geringe Leistung der BHKW Module von jeweils 10% wirkt sich diese Auslegung nicht allzu stark auf die Investitionskosten aus.

Die Anschaffungs- und Wartungskosten wurden als Richtpreise aus einer Marktuntersuchung von 46 Erdgas BHKW entnommen (ASUE, 2011). Für die verbrauchsgebundenen Kosten wurden neben dem Gaspreis auch die derzeitige CO₂-Abgabe von 60 CHF/t_{CO2} bzw. 1.093 Rp./kWh berücksichtigt. Für die Wirtschaftlichkeit ist neben der Laufzeit das BHKW das Verhältnis von Gaspreis zu Elektrizitätspreis entscheidend, da die höhere Investition des BHKW durch den Ersatz von Netzbezug ausgeglichen werden muss. Es wurden die aktuellen Preise des WWZ in Zug (WWZ, 2015), die in Anhang XX auszugsweise aufgeführt sind, zugrunde gelegt. Hierbei wurde konservativ gerechnet und nur der Arbeitspreis für den durch die Eigenproduktion des BHKW vermiedenen Netzbezug angesetzt, da für die Kategorie Wohnen und Kleingewerbe normalerweise kein Leistungspreis verrechnet wird. Des Weiteren wurde variiert, ob Netzbezug nur im 100% Hochtarif (7-22 Uhr) oder zu 50% Hoch- und Niedertarif vermieden wurde. 100% Hochtarif sind für lange BHKW Laufzeiten bzw. hohe Elektrizitätsanteile am Gesamtbedarf ggf. nicht erreichbar. Weiterhin wurde variiert, ob stabile Strompreise über die Nutzungsdauer oder die gleiche Inflation von 2% wie bei den Gaspreisen angesetzt wird. Als Gaspreis wurden die Preise in Anhang XXI (WWZ, 2015a) zugrunde gelegt. Für die einzelnen Fälle sind die Ergebnisse als Jahreserträge in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Wirtschaftlichkeitsbewertung BHKW

Fall 1 (300 kW _{th.}) [CHF]				Fall 2 (600 kW _{th.}) [CHF]			
A 50% Hochtarif		B 100% Hochtarif		A 50% Hochtarif		B 100% Hochtarif	
0%	2%	0%	2%	0%	2%	0%	2%
-59'200	-38'700	-34'000	67'200	-108'900	-7'000	-1'000	134'600

Tabelle 2 verdeutlicht vor allem die hohe Sensitivität der Wirtschaftlichkeit gegenüber Preisschwankungen. Bei steigenden Gaspreisen und konstanten Strompreisen – einem nicht unwahrscheinlichen Szenario - wird bei Ersatz mit 50% Niedertarif die Wirtschaftlichkeit nicht mehr erreicht. Für günstige Bedingungen von steigenden Elektrizitätspreisen und Ersatz im Hochtarif und Auslegung auf 20% der Wärmeleistung hingegen wird ein Jahresertrag von 134'600 CHF erwirtschaftet, womit eine sehr gute Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

4.3.3 Bewertung der Technologie

Vorteile	Hoher Brennstoffausnutzungsgrad Kombinierbar mit anderen regenerativen Wärmeerzeugern (z.B. Wärmepumpe) Unabhängigkeit auf dem Areal durch Eigenstromerzeugung
Nachteile	Einsatz fossiler Energie (Erdgas) Sensitiv gegenüber Preisänderungen und CO ₂ Abgabe (Erdgas) Rein fossile Versorgung gemäss Energieverordnung zu prüfen
Diskussion	<p>Bei günstigem Verhältnis von Gaspreis zu Elektrizitätspreis (im Hochtarif) lässt sich ein BHKW wirtschaftlich betreiben. Wird nach der Mindestgrenze der geforderten Laufzeiten um 5000 h ausgelegt, könnte die BHKW Leistung im Vergleich zur Auslegung auf die mittlere Warmwasserleistung ungefähr verdoppelt werden. Die Wirtschaftlichkeit reagiert für eine grössere Auslegung und Betrieb aber sensibler auf die Preisverhältnisse. Eine weitere Unsicherheit ist die CO₂-Abgabe auf Erdgas, die sich bereits in fünf Jahren bis 2020 auf von heute 60 CHF/t_{CO2} auf 120 CHF/t_{CO2} verdoppeln kann.</p> <p>Ein BHKW kann damit je nach Preiskonstellationen eine wirtschaftliche Systemvariante darstellen. Weitere Verbesserungen lassen sich mit einer Nutzung der Kondensationswärme des Abgases über den Brennwerteffekt erzielen, was bei den zu erwartenden niedrigen Rücklauftemperaturen von Neu- und sanierten Altbauten zu einem hohen Anteil möglich ist. Weiterhin könnte die Auslegung durch Integration von Speichern verbessert werden.</p> <p>Die mit Erdgas erzeugte Elektrizität des BHKW muss auf dem Papieri Areal allerdings mit Strom aus Wasserkraft als Netzbezug konkurrenzieren, was die ökologische Bilanz beeinflusst. Ökologisch wäre daher der Einsatz eines biogenen Brennstoffs vorzuziehen. Biogas ist jedoch derzeit noch sehr teuer (ca. doppelter Preis von Erdgas), was die Wirtschaftlichkeit in Frage stellt und die Lösung anfällig für Preisschwankungen macht. Der Einsatz von Festbrennstoffen wie Holz/Holzpellets erfordert die eingangs erwähnten Technologien wie Dampfturbinen oder –motoren. Alternativ kann eine vorgeschaltete Holzvergasung in Kombination mit einem Gasmotor eingesetzt werden, was im Leistungsbereich bis 500 kW ein marktgängiges System darstellt. Nach Herstellerangaben verringern sich aber der Wirkungsgrad auf etwa 80% und der Elektrizitätsanteil auf etwa 20%. Da die Wirtschaftlichkeit durch den Verkauf bzw. die Substitution von eingekauften durch selbsterzeugte Elektrizität erzielt wird, beeinflusst ein sinkender Elektrizitätsanteil ebenfalls die Wirtschaftlichkeit. Weiterhin sind die Preise für den Holzbrennstoff ausschlaggebend. Damit könnte aber eine CO₂-neutrale Versorgung erzielt werden.</p> <p>Da auf dem Areal auch ein Klimakältebedarf besteht, könnte eine Laufzeitverlängerung eines BHKW weiterhin durch die Kombination mit einer thermisch angetriebenen Absorptionskältemaschine erzielt werden, die eine weitere Wärmeabnahme des BHKW im Sommer gewährleistet. Allerdings liegt das Wärme-Kälte-Verhältnis bei 0.6-0.7. Es sollte daher zunächst geprüft werden, welcher Anteil der Klimakälte über meist wesentlich effizienteres Free-Cooling durch die direkte Nutzung von Umgebungskälte abgedeckt werden kann und welcher Anteil durch Kältemaschinen bereitgestellt werden muss. Alternativ ist auch ein Vergleich mit der Kälteerzeugung über Kompressionskälte zu betrachten.</p>

Darüber hinaus sind auch andere Systemkombinationen als BHKW und Spitzenkessel denkbar. Eine sehr energieeffiziente Kombination ist die Nutzung der BHKW-Elektrizität als Antrieb für eine Wärmepumpe, womit ein reiner Wärmeerzeuger entsteht und Brennstoffnutzungsgrade von typischerweise 175% erreicht werden. Allerdings steigen die Investitionen, da zwei tendenziell teure Energieerzeuger kombiniert werden, was die Wirtschaftlichkeit beeinflussen kann. Durch Aufteilung der BHKW Leistung kann weiterhin eine Leistungsanpassung an die Bauetappen erreicht werden, allerdings steigen die leistungsspezifischen Kosten kleiner BHKW.

4.4 Erdsondenfeld

Erdwärme ist vom Temperaturniveau her eine günstige Wärmequelle für Wärmepumpen und kann auch zur sommerlichen Hochtemperaturkühlung eingesetzt werden. Aufgrund des Leistungsbedarfs des Papieri Areals sind ein oder mehrere Erdsondenfelder notwendig. Erdsondenfelder können bei aktiver Regeneration im Sommer als saisonale Wärmespeicher betrieben werden, weshalb Erdwärmesondenfelder auch interessante Komponenten als Wärmespeicher für kalte Verteilnetze (Anergienetze) sind.

Da Erdwärmesonden den oberflächennahen Untergrund nutzen, sind sie genehmigungspflichtig. Nach GIS Informationssystem ist das Papieri Areal rot markiert, was eine Nutzung des Erdreichs ausschliesst. Vorabklärungen beim Amt für Umwelt haben allerdings ergeben, dass die Einordnung des Areals auf eine Bodenbelastung (belastete Zone) zurückgeht, so dass eine Nutzung prinzipiell doch möglich ist und auch von einer Genehmigung auszugehen ist (Amt für Umwelt, 2015).

4.4.1 Technische Realisierung

Die Einzelbohrungen der Erdwärmesonden werden zu Feldern angeordnet. Wie der Ausbau des Papieri-Areals kann auch das Bohren der Erdsondenfelder etappiert und den einzelnen Etappen entsprechend des Masterplans angepasst an die notwendige Heizleistung erweitert werden. Die Anordnung als Erdwärmesondenfeld hat eine Abschirmwirkung zum ungestörten Erdreich zur Folge, wodurch Erdsondenfelder als saisonale Speicher betrieben werden können, in dem der im Sommer zugeführte Überschuss an Regenerationswärme als Anhebung der Quellentemperatur in den Winter transferiert werden kann. Wenn allerdings Grundwasserströmungen vorliegen, kann die Wärmespeicherung durch Wärmeabfluss mit dem Grundwasser beeinflusst werden. Für die natürliche Regeneration muss der Sondenabstand mindestens 6 m betragen, neuere Untersuchungen gehen bei Langzeitnutzung von grösseren Abständen aus (Sprecher und Wagner, 2014).

Zur Grobdimensionierung wird eine spezifische Entzugsleistung oder eine spezifische saisonale Entzugsenergie zugrunde gelegt. Dazu ist die Heizlast mit einer angenommenen Arbeitszahl auf die notwendige Quellenleistung umzurechnen. Für die Neubauten und sanierten Altbauten des Papieri Areal ist von niedrigen Vorlauftemperaturen für den Heizbetrieb auszugehen.

Derzeitiger Stand der Technik für Niedertemperatursysteme sind Arbeitszahlen von 4.5-5, perspektivisch werden Arbeitszahlen von 6 in den nächsten 20 Jahren als realistisch angesehen. Mit steigender Arbeitszahl sinkt der Elektrizitätsbedarf, aber die Quellenenergie steigt bei gegebener Heizenergie.

Die Verteilung der entzogenen Wärme aus den Erdwärmesonden kann entweder als Wärmequelle in einem Anergienetz (kaltes Verteilnetz) und dezentralen Wärmepumpen oder mit einer zentralen Wärmepumpe auf das Nutzniveau angehoben werden und mittels eines Nahwärmenetzes (warmes Verteilnetz) zu den Nutzungen transportiert werden. Da auf dem Areal auch Kältebedarf besteht, könnte ein Anergienetz Vorteile aufweisen, da bei einem Anergienetz die Netztemperaturen ein allfällig gutes Temperaturniveau für die Rückkühlung im Sommer bieten und die Kühlleistung zur allfälligen Saisonalspeicherung im Erdreich beitragen kann.

4.4.2 Wirtschaftlichkeit

Für überschlägige Berechnung können für Erdwärmesondenfelder Kosten von 100 CHF/m_{EWS} als Abschätzung angesetzt werden (Rohner, 2006). Bei einem Heizenergiebedarf von ca. 4.7 GWh/a und einer saisonalen Entzugsleistung von 80 kWh/m (Erb, 2004) ergibt sich eine gesamte notwendige Sondenlänge von 48'950 m und damit eine Investition von 4.9 Mio. CHF. Es könnte beispielsweise ein Sondenfeld mit 300 Sonden mit ca. 200 m Sondenlänge installiert werden.

Als Abschätzung für die gesamten Anlagenkosten mit Installation und Wärmepumpe ergeben sich Kosten mit einer Heizlast von 3000 kW Gesamtinvestitionskosten von 7.5 Mio. CHF.

Mit einer Arbeitszahl von 6 ergibt sich ein Elektrizitätsaufwand für die Wärmebereitstellung von 783'000 kWh und damit Kosten von 172'300 CHF/a im Hochtarif. Unterhaltskosten fallen für die Instandhaltung der Wärmequelle und Wärmepumpe fast nicht an und werden daher vernachlässigt. Trotz der hohen Investitionskosten ergibt sich mit einer angenommenen Lebensdauer der Erdsonden von 50 Jahren und der Wärmepumpe von 20 Jahren ein Jahresertrag von -5'500 CHF über die Betrachtungsdauer von 30 Jahren. Wird ein spezieller Wärmepumpentarif für den Elektrizitätsbedarf der Wärmepumpe in Höhe des Niedertarifs angesetzt, wird sogar ein Jahresertrag von ca. 104'000 CHF erreicht.

4.4.3 Bewertung der Technologie

Vorteile	Nachhaltige Wärmequelle mit hohem erneuerbaren Anteil Angepasster Ausbau des Erdsondenfeldes mit den Bauetappen möglich Saisonale Wärmespeicherung im Erdreich möglich Free-cooling mit sehr hohen Effizienzen möglich Integrierbar in Anergienetz als saisonaler Wärmespeicher Mit regenerativem Strom aus PV oder Wasserkraft auf dem Areal CO ₂ -freie Wärmeversorgung möglich.
Nachteile	Hohe Investitionskosten, aber lange Lebensdauer Genehmigungspflichtig Regenerationsbedarf Flächenbedarf, allerdings allfällige Nutzung der Fläche auf den Erdsondenfeld möglich
Diskussion	Bei der obigen Betrachtung wurde eine hohe Arbeitszahl und damit ein grosses Sondenfeld postuliert. Bei grossen Sondenfeldern ist in der Regel eine Regeneration notwendig, um ein Absinken der Erdreichtemperatur bei mehrjährigem Wärmeentzug zu verhindern. Wenn aktiv regeneriert wird, d.h. mehr Wärme über das Jahr zugeführt als entzogen wird, kann die Erdreichtemperatur auch im Verlauf einiger Jahre erhöht werden. Bei einer solchen saisonalen Speicherung kann aufgrund des höheren Temperaturniveaus die Sondendimensionierung reduziert werden, was eine nennenswerte Reduktion der Investitionskosten bewirken kann. Beispiele zeigen, dass die gesamte Sondenlänge durch aktive Regeneration um ca. 40% reduziert werden kann (Huber, 2012). Für konkrete Aussagen sind genauere Analysen mittels Simulationen erforderlich. Eine Regeneration kann durch einen Free-Cooling Betrieb im Sommer und weitere Abwärmeequellen auf dem Areal unterstützt werden.

Obwohl die Lorze für die Gesamtversorgung für das Areal hinsichtlich einer direkten Nutzung für Heiz- und Kühlbedarf eher kritisch anzusehen ist, siehe Kap. 4.4, stellen die warmen Temperaturen im Sommer eine günstige Möglichkeit zur Regeneration eines Erdsondenfeldes dar, eventuell nach weiterer Aufwärmung durch Gebäuderückkühler im Sommer. In der Übergangszeit bietet die Temperatur der Lorze das Potenzial zur direkten Kühlung, falls keine Nutzung der Wärmeabfuhr für Heizzwecke möglich ist. Wird über Umkehrbetrieb der Wärmepumpe(n) aktiv gekühlt, kann das Erdsondenfeld mit der Rückkühlwärme regeneriert werden, soweit diese nicht für die Warmwassererzeugung genutzt wird. Durch Simultanbetrieb aus Heiz- und Kühlanwendungen kann die Arbeitszahl der Wärmepumpe weiter gesteigert werden, was die Wirtschaftlichkeit verbessert.

4.5 Wärme- und Kältenutzung aus der Lorze

Denkbar ist auch eine Wärme- und Kälteerzeugung mittels Wärmepumpen und Wasser aus der Lorze. Die Cham Paper Group Schweiz AG (respektive die damalige Papierfabrik Cham AG) besitzt gemäss der Regierungsrat Cham (1967) „*die Konzession für die Entnahme von Wasser aus der Lorze zu Fabrikationszwecken und zu Kühlzwecken.*“

Im Bereich der heutigen Wasserentnahme und Filterung/Reinigung ist eine neue Wasserentnahme zu realisieren. Das Flusswasser wird einer (oder mehreren) Wärmepumpen zugeführt. Die Wärmepumpe kühlt das Wasser aus der Lorze ab und liefert die Wärmeenergie für die Raumheizung und das Warmwasser. Dazu wird allerdings auch noch elektrische Energie benötigt. Zur Herstellung der Klimakälte läuft die Wärmepumpe quasi in umgekehrter Richtung. Das Wasser aus der Lorze wird dann erwärmt.

4.5.1 Technische Realisierung

Ob die heute gültigen Wasserrechte auch für die Kühlung und Beheizung des Papier-Areal bestand haben werden, ist keineswegs gesichert und muss zwingend abgeklärt werden.

Der Temperaturverlauf der Lorze ist nicht sehr günstig für diese Anwendung. Im Winter, wenn dem Flusswasser Wärme entzogen werden soll, beträgt seine Temperatur ca. 7 – 9° C. Dies bedeutet dass viel elektrische Energie benötigt wird, um Warmwasser zu erzeugen. Umgekehrt beträgt die Temperatur der Lorze im Sommer ca. 20 – 21° C, wenn dem Flusswasser Kälte entzogen werden soll. Eine direkte Raumkühlung mit Flusswasser (eine Systemtrennung ist natürlich gegeben) ist damit im Sommer nicht möglich. Es wird wiederum viel elektrische Energie zur Erzeugung der Klimakälte notwendig sein. Höchstwahrscheinlich würde der Temperaturverlauf der Lorze zu stark beeinflusst durch diese grosse Wärmequelle/-senke, welche die Überbauung darstellt.



Die heutige Wasserfassung aus der Lorze und dessen Filtrierung befindet sich entlang des Gebäudes der ehemaligen Papiermaschinen 1 und 2. Das entnommene Wasser wird zu Produktions- und Kühlzwecken verwendet und nach einer ersten mechanischen Reinigung zur kommunalen ARA geleitet.

Abbildung 8: Die Papierfabrik Cham Schutzzumfang, Amt für Denkmalpflege und Archäologie

4.5.2 Wirtschaftlichkeit

Eine genaue Wirtschaftlichkeitsberechnung zu dieser Technologie liegt nicht vor. Zu viele Unsicherheiten und ungünstige Bedingungen liegen vor. Bei Annahme einer niedrigen, bei den vorliegenden Bedingungen jedoch einer konservativen Betrachtung der Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3 der Wärmepumpe werden jährlich knapp 1'600'000 kWh elektrische Energie für Wärmezeugung benötigt. Dies generiert Kosten von rund 270'000 CHF. Die Unterhaltskosten werden aufgrund der Verschmutzung der Wärmetauscher durch das Flusswasser aber eher hoch ausfallen. Bekanntlich sind die Investitionskosten deutlich höher als bei einer Gasheizung derselben Leistungsklasse.

4.5.3 Bewertung der Technologie

Vorteile	Tiefe Betriebsmittelkosten Nähe zur Energiequelle (Fluss)
Nachteile	Ungünstiger Temperaturverlauf der Lorze Viel zusätzliche elektrische Energie notwendig Eventuell nachteilige Folgen für den Lebensraum Lorze Aufwändigere Hausinstallation notwendig Hohe Investitionskosten
Diskussion	Eine mögliche Variante mit solarer Warmwassererzeugung (benötigt Alternative/Zusatz im Winter), Raumheizung mittels Wärmepumpe und Flusswasser und Klimakälte mittels Flusswasser ist auch denkbar. Durch die solare Warmwassererzeugung reduziert sich die freie Dachfläche für Photovoltaik. In den Gebäuden muss wohl viel Wärmetauscher Fläche installiert werden um mit tiefen Vorlauftemperaturen arbeiten zu können. Es ist durchaus möglich, dass sich der Temperaturverlauf der relativ kleinen Lorze durch den Energieentzug für die grosse Überbauung Papieri-Areal zu stark verändert. Es ist deshalb erst zu klären, welche Abkühlung der Lorze im Winter überhaupt gestattet ist.

4.6 Photovoltaik

Bei der Photovoltaik (PV) werden Sonnenstrahlen direkt in elektrische Energie umgewandelt. Die aus Halbleitermaterial bestehenden Solarzellen erzeugen einen Gleichstrom, welcher mit Hilfe eines Wechselrichters in Wechselstrom umgewandelt werden kann. Dies ist notwendig, um die erzeugte Energie ins öffentliche Elektrizitätsnetz einzuspeisen oder die elektrische Installation im Haus direkt zu versorgen. Um geeignete Spannungen zu erhalten, werden die einzelnen Solarzellen seriell zu einem Solarmodul (Solarpanel) geschaltet.

4.6.1 Technische Realisierung

Alle bereits bestehenden Flachdächer gehören explizit zu den Gebäuden mit Schutzzumfang. Bei der momentanen Betrachtung wurden deshalb nur auf den Neubauten PV-Anlagen vorgesehen. Es ist aber durchaus denkbar, dass bei flacher Aufstellung und somit schlechter Sichtbarkeit der Solarpanels, PV-Anlagen auf den Flachdächern der schützenswerten Bauten möglich sind. Für diese gilt allerdings eine Bewilligungspflicht, welche bei Neubauten sonst nicht existiert.

Zur Berechnung der einzelnen Energieerträge und Spitzenleistungen wurde der PV Calculator der Firma METEOTEST verwendet. Dieser basiert auf den Wetterdaten der meteonorm, einer global meteorologische Datenbank mit Monats-, Stunden- und Minuten-Werte für jeden Ort der Welt. Jedes einzelne Gebäude wurde separat gerechnet, um die Dachflächen und Gebäudeausrichtung zu berücksichtigen. Der Randabstand von 0,5 m, genauso wie der gegenseitige Abstand der Module zur Verhinderung der Beschattung, wurde bei allen Dächern und Aufstellungsvarianten miteinbezogen. Bei den Fassaden der fünf Hochhäuser wurde die Annahme getroffen, dass zwei Drittel der gesamten Fassadenfläche mit PV-Modulen belegt werden kann. An allen anderen Fassaden wurden bei dieser Grobanalyse keine Photovoltaikanlagen vorgesehen.

4.6.2 Wirtschaftlichkeit

Die Installationskosten und auch die Unterhaltskosten wurden gemäss den aktuellsten Referenzkosten des Branchenverbandes Swissolar kalkuliert. Jedes Gebäude wurde dabei einzeln betrachtet. Die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) wurde mit Hilfe des Tarifrechners von swissgrid (der nationalen Netzgesellschaft) angesetzt. Angenommen wurde eine Inbetriebnahme der Anlage im Jahre 2018. Unter diesen Bedingungen beträgt die KEV ca. 18 Rp/kWh. Für eine Fassade (integrierte Anlage) beträgt die KEV sogar 21.6 Rp/kWh. Eine Einmalvergütung kommt bei den betrachteten Anlagengrössen nicht in Frage. Bei der Lebensdauer der PV-Anlage wird mit 25 Jahren gerechnet, auch wenn heute von einer längeren Lebensdauer ausgegangen werden kann. Wechselrichter müssen bereits früher ersetzt werden, was allerdings in den Unterhaltskosten enthalten ist.

4.6.3 Bewertung der Technologie

Vorteile	Produktion und Bedarf der Energie vor Ort Keine Betriebsmittelkosten Etablierte Technologie Erneuerbare, praktisch unerschöpfliche Energiequelle Beliebig erweiterbar / etappierbar Energieerzeugung gleichzeitig zu Energiebedarf Büro, Gewerbe und Gastro
-----------------	--

Nachteile	Energieertrag im Winter geringer Energieertrag nicht steuerbar Lange Wartelisten für KEV
Diskussion	<p>Bei der Aufstellung der Solarpanels wurden verschiedene Varianten geprüft / gerechnet. Werden die Panels nach Süden ausgerichtet und im Winkel von 30° aufgestellt, ist der Energieertrag pro Panel maximal. Jedoch können aufgrund der gegenseitigen Beschattung weniger Panels pro m² Dachfläche installiert werden. Da sich die Modulkosten in den letzten Jahren massiv verringert haben (und dies wohl in Zukunft noch weiter tun werden), lohnt sich zumindest die Betrachtung einer Steigerung der Modulfläche. Es wurden die Varianten Süd 30°, Süd 10° und Ost/West 10° für das Gebäude G9a miteinander verglichen. Die Variante Ost/West 10° stellt dabei die Maximierung der Modulfläche dar.</p> <p>Um bei einem Wegfall der KEV bei PV-Anlagen (mit diesem Szenario ist zukünftig durchaus zu rechnen) nicht überrascht zu werden, wurde die Wirtschaftlichkeit auch mit „normalen“ Stromkosten gerechnet. Dabei hilft die gesetzliche Möglichkeit des Eigenverbrauchs. Dieser kann über das ganze Papieri-Areal bei 80% angenommen werden. Er liesse sich noch erhöhen, wenn Ladestationen für Elektromobilität in den Tiefgaragen der Gewerbe / Büro Gebäude installiert würden. Alle Varianten sind selbst ohne KEV noch wirtschaftlich. Würde beim Strompreis der Hochtarif eingesetzt (die PV-Anlage produziert schliesslich während dieser Tarifzeit Strom), liegt dieser gar höher als die KEV! Es wurde mit gleichbleibenden Strompreisen über die ganze Lebensdauer von 25 Jahren gerechnet.</p> <p>Zurzeit ist noch die Variante Süd 30° die wirtschaftlichste. Da zukünftig geringere Investitionskosten zu erwarten sind, wurde die Variante Süd 10° für die weitere Betrachtung der Eigenverbrauchsquote gewählt. Diese Variante stellt auch bezüglich der gegenseitigen Beschattung durch die Gebäude und die Beschattung durch den Horizont im Osten und Westen die beste Lösung dar. Einzig auf den fünf Hochhäusern würde auch eine Ost/West Ausrichtung der PV-Module weder durch andere Gebäude noch durch den Horizont beschattet.</p> <p>An den Südfassaden der fünf Hochhäuser ist unbedingt auch eine PV-Fassade zu prüfen. Die Realisierbarkeit hängt allerdings sehr stark von der Bauweise der Gebäude ab. Können PV-Module anstelle einer Glasfassade installiert werden (was heute durchaus möglich/sinnvoll ist), verringern sich die Investitionskosten massiv.</p> <p>Eine gegenseitige Beschattung der Gebäude muss zwingend im Detail geklärt werden. Der Schattenwurf eines Gebäudes auf eine PV-Anlage kann diese sehr schnell in die Unwirtschaftlichkeit treiben.</p> <p>In den Anhängen XIII bis XXI sind alle Berechnungen zur Photovoltaik zu finden.</p>

4.7 Flusswasserkraftwerk

Auf dem Fabrikgelände der Cham Paper Group Schweiz AG steht bereits ein Flusskraftwerk. Die zwei Francis Turbinen aus den Jahren 1909 und 1923 können mechanisch gekuppelt werden und treiben eine Transmission mit Wellen und Riemen an. Seit 1923 wird damit ein Generator angetrieben, welcher elektrische Energie erzeugt. Der Generator steht allerdings nicht im Turbinenhaus über der Lorze, sondern im Holländergebäude am Ende der Transmission. Alle früher direkt ab dieser Transmission angetriebenen Maschinen wurden demontiert.

Die Turbinen inklusive Regelung, der Wasserbau, die Transmission und der Generator sind immer noch im Originalzustand und produzieren jährlich ca. 850'000 kWh elektrische Energie, welche in das 3,3 kV Mittelspannungsnetz des Fabrikareals eingespeist werden. Bei einem Netzausfall im Jahre 2009 versagten die wenigen Schutzvorrichtungen und der Steuerkasten mit Generatorschalter wurde irreparabel beschädigt. Seit 2010 läuft das Kraftwerk mit einem neuen Generatorschalter und einem neuen Steuerkasten mit erweiterten Schutzfunktionen und Regelungen.

Das Flusskraftwerk nutzt zusammen mit der Wasserentnahme zur Papierproduktion das gesamte nutzbare Wasser der Lorze. Eine Fischtreppe ist nicht vorhanden.

4.7.1 Technische Realisierung

Das Ingenieurbüro Staubli, Kurath & Partner AG wurde damit beauftragt, das bestehende Grobkonzept für den Umbau des vorhandenen Kraftwerks zu überprüfen und zu vertiefen. Bis zum heutigen Zeitpunkt liegen noch keine detaillierten Angaben vor, welche in diese Analyse hätten einfließen können. Grundsätzlich sind vier Szenarien denkbar, die im Folgenden erklärt werden:

Status Quo: Das KW bleibt bestehen wie es ist und produziert weiterhin Strom.

Mittelfristig wird das Mittelspannungsnetz auf dem Fabrikareal stillgelegt. Die Netzinfrastruktur mit der unüblichen Nennspannung von 3'300 Volt ist ca. 60-jährig, auf eine energieintensive Industrie ausgelegt und für eine Wohn- und Gewerbeüberbauung nicht mehr betreibbar. Somit ist der Status Quo mittelfristig nicht haltbar.

Sanierung: Das KW wird sanft saniert, gemäss den denkmalpflegerischen Vorgaben.

Bei einer Sanierung müsste ein neuer Generator mit 400 V Nennspannung installiert und die staatlich geforderte Fischgängigkeit mit einer Fischtreppe realisiert werden. Das Turbinenhaus und der Wasserbau müssten aufgrund ihres Alters saniert werden. Dies wird hohe Kosten verursachen, welche im Rahmen dieser Grobanalyse nicht einmal ansatzweise evaluiert werden konnten. Der Energieertrag dürfte sich erfahrungsgemäss um ca. 10% steigern.

Neubau: Ein neues, effizientes KW wird anstelle des bestehenden gebaut.

Auch ein Neubau des Kraftwerkes konnte im Rahmen dieser Grobanalyse nicht detailliert betrachtet werden. Die Kosten hierfür sind momentan nicht einmal grob abschätzbar. Allerdings wurden drei ehemalige Kraftwerke flussabwärts an die WWZ (Wasser Werke Zug) veräussert und von dieser im vergangenen Jahrzehnt erneuert. Es wird aufgrund von Erfahrungen davon ausgegangen, dass sich der Energieertrag gegenüber heute rund verdoppeln liesse. Dies bestätigt auch die Berechnung im Anhang XXVI.

4.7.2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit konnte im Umfang dieser Grobanalyse nicht ausgerechnet werden. Bei Erhalt der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) von 25 Rp/kWh und einer Jahresproduktion von 1'700'000 kWh wird sie aber sicher gegeben sein. Die KEV wurde mit Hilfe des Tarifrechners von swissgrid (der nationalen Netzgesellschaft) angesetzt.

Bei einer Nutzungsdauer von 20 Jahren (die Anlage kann bedeutend länger betrieben werden), einem hohen Kalkulationszinssatz von 5% und hoch angesetzten jährlichen Unterhaltskosten von 20'000 CHF ist eine maximale Investition von 5'000'000 CHF noch wirtschaftlich. So teuer wird ein Neubau keinesfalls ausfallen.

Bei eher realistischen 3'500'000 CHF Investitionskosten und 3,5% Kalkulationszins ergibt sich ein Rendite von 9.8% und ein Netto-Jahresertrag von knapp 160'000 CHF.

Falls sich ein Neubau bereits mit 2'500'000 CHF realisieren lässt, ergibt sich bei einem Kalkulationszinssatz von 3,5% gar eine Rendite von 15.5% und ein Netto-Jahresertrag von 234'000 CHF.

Eine Sanierung ergibt selbst bei niedrig angenommenen Investitionen von 1'800'000 CHF und einem Kalkulationszinssatz von 3,5% eine negative Rendite von -0.5% und einen negativen Netto-Jahresertrag von -41'000 CHF.

Die detaillierten Wirtschaftlichkeitsrechnungen gemäss SIA 480 für alle Varianten (inklusive Sanierung) befinden sich im Anhang XXVII.

4.7.3 Bewertung der Technologie

Vorteile	<ul style="list-style-type: none">Erneuerbare EnergiequelleVorhandener KraftwerkstandortBestehendes ehehaftes Recht zur Nutzung der Wasserkraft vorhandenLokale Energieproduktion und –nutzungGünstige Energiequelle
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">Investition in Erneuerung notwendigZugänglichkeit zum Kraftwerk (nur via andere Gebäude)Ökologische stehen denkmalpflegerischen Interessen entgegen
Diskussion	<p>Eine Detailanalyse, respektive eine detaillierter Vergleich der Varianten Sanierung und Neubau muss erst noch vorgenommen werden. Dazu müssen konkrete Offerten zu den einzelnen Lösungen eingeholt werden. Denkbar ist auch eine Kombination aus Neubau und Stilllegung/Erhalt. Aus denkmalpflegerischer Sicht ist der Erhalt der älteren Turbine und des Turbinenhauses ausreichend. Anstelle der zweiten Turbine könnte somit ein neues Kraftwerk innerhalb des alten Turbinenhauses gebaut werden. Mit dieser Lösung lässt sich der Energieertrag aber wohl kaum verdoppeln.</p> <p>Noch besser wären ein Neubau des Kraftwerks und eine Ausstellung von alten Teilen/Apparaten des alten Kraftwerks im neuen Turbinenhaus.</p> <p>Die Umsetzung der Fischgängigkeit wird vom Bundesamt für Umwelt entschädigt, jedoch nur wenn nicht gleichzeitig ein Ausbau der Kraftwerksanlage erfolgt. Eine Fischgängigkeit muss zwingend wieder hergestellt werden, unabhängig von der Entwicklung des Kraftwerks.</p> <p>Um eine kostendeckende Einspeisevergütung zu erhalten (ca. 25 Rp/kWh), muss ein bestehendes Kraftwerk nach dem 1. Januar 2006 erheblich erweitert (vergrössert) oder erneuert (modernisiert) worden sein. Davon ist bei einem Neubau definitiv auszugehen.</p>

5 Schlussfolgerungen und Fazit

Schlussfolgerungen

Im Rahmen dieser Grobanalyse konnte mit Hilfe des SIA Merkblatts 2024 eine realistische Abschätzung des gesamten Energie- und Leistungsbedarfs für die Nutzungen Raumheizung, Warmwasser, Gebäudekühlung und Elektrizität auf dem Papieri-Areal getroffen werden, was in dieser frühen Planungsphase die Erarbeitung eines Energiekonzeptes überhaupt erst ermöglicht. Eine Sensitivitätsanalyse durch die Variation der Flächenanteile der verschiedenen Raumnutzungen bestätigte eine gewisse Stabilität der errechneten Leistungs- und Energiewerte. Sie zeigt aber auch auf, dass Änderungen der Nutzungen einen Einfluss auf den Energiebedarf haben und somit bei fortschreitender Bauplanung berücksichtigt werden müssen.

Auf Grundlage dieser Daten wurden verschiedene Energiekonzepte für die Versorgung des Areals betrachtet. Die ausgearbeiteten Varianten orientieren sich an den Absprachen mit dem Auftraggeber, den Gegebenheiten vor Ort und dem Stand der Technik.

Wärmeverbund ewz

Die Versorgung mit Wärme und Kälte des Wärmeverbunds Cham ist für das Papieri-Areal während der einzelnen Etappen wie auch im Endausbau-Stadium möglich. Mit den verglichenen Technologien ist diese Variante auch aus wirtschaftlicher Sicht interessant. Nebst der sehr guten Etappierbarkeit sind bei dieser Technologie der geringe CO₂-Ausstoss und damit eine gute Umweltverträglichkeit und der geringe Platzbedarf hervorzuheben. Diese Lösung wurde aufgrund der bekannten Energiepreise als Referenzvariante für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der anderen Varianten zugrunde gelegt. Im Vergleich zu einer reinen Gasheizung kann bei einer Inflation von 2%/a ein positiver Jahresertrag des Wärme- und Kälteverbundes erzielt werden.

Blockheizkraftwerk

Als weitere Technologie wurde eine effiziente, aber fossile Energieversorgung als Wärme-Kraft-Kopplung mit Erdgas-Blockheizkraftwerk betrachtet. Dafür wurden acht verschiedene Varianten in Abhängigkeit der Auslegung, des Verhältnisses Gas- Strompreis und des Ersatzes des Netzbezugs im Hoch- oder Niedertarif betrachtet. Als Ergebnis der Berechnungen fällt die hohe Sensitivität hinsichtlich den zukünftigen Energiepreisen auf. Die Erdgas-Variante kann je nach Preisentwicklung der Energieträger eine gute Wirtschaftlichkeit erreichen. Der Einsatz fossiler Energie ist jedoch für die ökologische Bewertung fraglich, die im Rahmen dieser Grobanalyse aber nicht im Detail durchgeführt wurde. Des Weiteren sind durch Optimierung der Systemkonfiguration, etwa durch Brennwertnutzung, Speicherintegration oder Kopplung mit Absorptionskälte noch Kostenpotenziale zu erschliessen und es besteht die Möglichkeit des Einsatzes biogener Brennstoffe, womit sich eine CO₂-neutrale Versorgung des Areals erreichen liesse. Ein Einsatz von Biogas ist bei derzeitigen Preisen jedoch nicht wirtschaftlich.

Erdsondenfeld

Ein Erdsondenfeld mit Wärmepumpe weist als monovalente Lösung sehr hohe Investitionskosten auf, erzielt aber über den gewählten Betrachtungszeitraum von 30 Jahre durch die lange Lebensdauer des Erdsondenfeldes, die mit 50 Jahren angesetzt wurde, trotzdem positive Jahreserträge. Durch die sehr guten Arbeitszahlen könnte durch Kombination mit einer regenerativen Elektrizitätserzeugung sogar ein CO₂-freier Betrieb rea-

lisiert werden. Zu beachten bei einem Erdsondenfeld ist die Regeneration des Erdreichs, eine Wärmezufuhr im Sommer zur Stabilisierung der Erdreichtemperatur, dem Wärme entzogen wird. Erdsondenfelder bieten allerdings bei aktiver Regeneration auch die Möglichkeit einer saisonalen Speicherung (Erhöhung der Erdreichtemperatur durch aktive Wärmezufuhr). Diese könnte auf dem Papieri Areal mit Wärme aus der Lorze realisiert werden. Durch diese aktive saisonale Speicherung liessen sich die Investitionen aller Wahrscheinlichkeit nach noch deutlich reduzieren und von Synergien zur Deckung des Kühlbedarfs ist bei einem kalten Verteilnetz (Anergienetz) auszugehen. Dazu wären aber detaillierte Simulationen notwendig.

Wärme- und Kältenutzung aus der Lorze

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte eine Wärmenutzung nicht abschliessend beurteilt werden, da die Genehmigung der Wassernutzung mit den zuständigen Behörden nicht hinreichend abgeklärt werden konnte.

Für eine monovalente Wärme- und Kältenutzung sind die Wassermengen aus der Lorze aufgrund der Grösse des Papieri-Areals nicht ausreichend. Die Technologie könnte für eine bivalente Nutzung aufgrund der tiefen zu erwartenden Betriebskosten interessant sein. Die Temperaturniveaus im Winter und der Übergangszeit deuten auf gute Arbeitszahlen einer Wärmepumpe hin. In der Übergangszeit könnte die Lorze zur direkten Kühlung (Free-Cooling) der Gebäude verwendet werden.

Photovoltaik

Eine Installation von Photovoltaik-Anlagen auf den Flachdächern der Neubauten wird dringend empfohlen. Diese können wirtschaftlich betrieben werden. Abhängig vom Realisierungszeitpunkt, also abhängig von künftigen Modulkosten, KEV und dem zur Verfügung stehenden Investitionskapital kann die Aufstellung und damit die Anzahl der PV-Module angepasst werden. Jedes Gebäude kann dabei auch einzeln betrachtet werden, in Abhängigkeit des jeweiligen Bautermins. Je nach Variante und Einbezug von PV-Fassaden an Hochhäusern kann der Eigenversorgungsgrad des gesamten Papieri-Areals mit Strom zwischen 29.9% und 47.1% in der Jahresbilanz erreichen. Noch weiter erhöhen liesse sich der Eigenversorgungsgrad, wenn auch auf den Flachdächern der schützenswerten Bauten PV-Anlagen realisiert würden, was allerdings Baubewilligungen erfordert.

Flusswasserkraftwerk

Für die Erhöhung des Eigenversorgungsgrades mit Strom um weitere 52.1% muss das bestehende Flusswasser-Kraftwerk neugebaut werden. Dies ist dank der kostendeckenden Einspeisevergütung wirtschaftlich und sehr ökologisch. Eine Sanierung erhöht den Eigenversorgungsgrad um 26.1%, so dass die Wirtschaftlichkeit nicht gegeben ist. Es müssen im weiteren Verlauf des Projekts die denkmalpflegerischen Belange am Kraftwerk geklärt werden.

Fazit

Im Auftrag für diese Grobanalyse sollte die Eignung verschiedener Technologien hinsichtlich technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht werden. Gemäss Pflichtenheft wurden einzelne Technologien betrachtet. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass für die spezifischen Rahmenbedingungen auf dem Papieri Areal keine der untersuchten Technologien ausgeschlossen werden kann.

Zum Beispiel würden sich für das Erdsondenfeld die Investitionen verringern, wenn die Lorze mit als Wärmequelle für die Regeneration des Erdreichs eingesetzt wird.

Alle Technologien müssen in einem weiteren Schritt einer Feinanalyse auf Basis von Lastprofilen unterzogen werden, wodurch sich Änderungen der jetzigen Bewertung ergeben können. Die noch zu untersuchenden Punkte sind in Kapitel 6 aufgeführt.

Als nächster wichtiger Schritt müssen die einzelnen Technologien zu sinnvollen Szenarien verbunden werden. Diese Szenarien sind notwendig, da die unterschiedlichen Technologien sich gegenseitig beeinflussen und sich durch Kombinationen Synergieeffekte nutzen lassen. Beispiele dafür sind unter anderem:

- Wärmeverbund ewz mit Photovoltaik und Wasserkraftwerk
- Erdsondenfeld in Kombination mit Wärmenutzung der Lorze
- Erdsondenfeld mit Free-Cooling
- Stromproduktion des Blockheizkraftwerk mit Photovoltaik bzw. Wasserkraftwerk

**Vollversorgung
 Papieri Areal
 Cham**

Beispiel: Vollversorgung Wärmeverbund ewz, PV und Wasserkraft

Mit einer Anbindung des Papieri-Areals an den Wärmeverbund Cham in Kombination mit einem elektrischen Eigenversorgungsgrad von 99.2% kann die Energieversorgung realisiert werden. Diese Einschätzung bezieht sich allerdings auf einen Energieverbrauch entsprechend der SIA 2024, einem Neubau des Flusskraftwerkes und einer hohen Flächenausnutzung durch PV-Anlagen. Diese Variante ist in Abbildung 9 als Energieflussdiagramm dargestellt. Ein hoher Eigenversorgungsgrad reduziert die Belastung des Versorgungsnetzes und damit auch dessen Ausbau und Kosten. Die Konzepte zur Energieversorgung sind parallel zum Bebauungsplan weiterzuentwickeln.

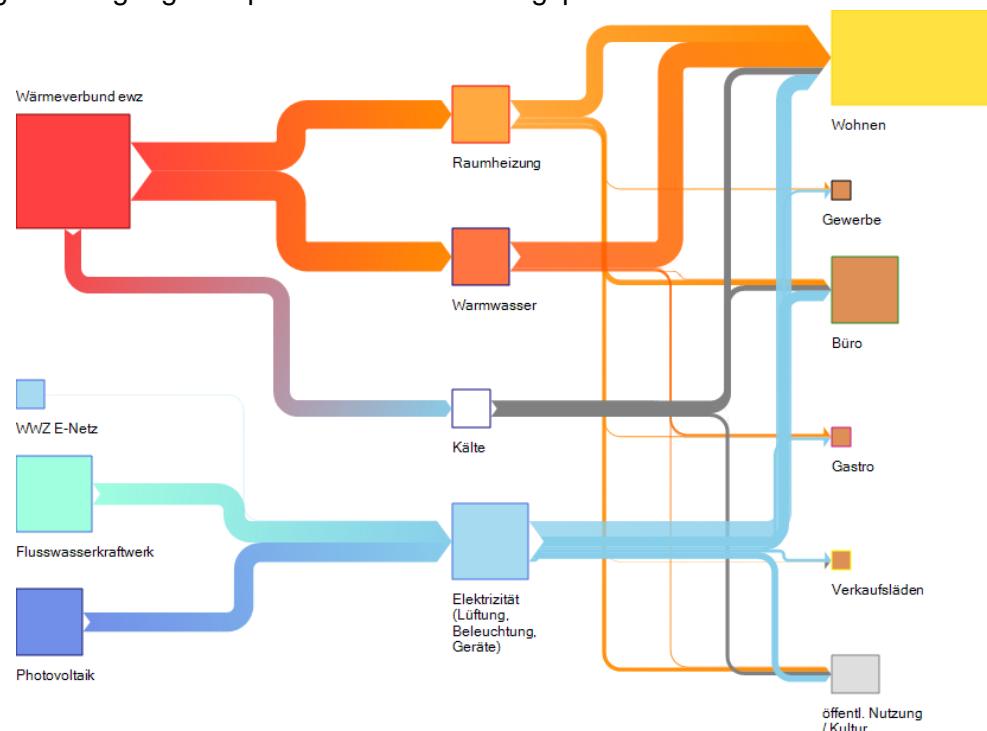


Abbildung 9: Energieflussdiagramm: Deckung des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien

6 Ausblick

In den folgenden Punkten werden weiterführende Fragestellungen und Untersuchungen zu einzelnen Technologien und deren Kombinationsmöglichkeiten aufgeführt.

Lastprofile mit Simulation

Durch vereinfachte Simulation der geplanten Gebäude zur Präzisierung des Leistungsbedarfs für Heizwärme, Warmwasser, Kühlung und Elektrizität in Abhängigkeit der einzelnen Ausbautetappen können genauere Lastprofilen zur Auslegung und Identifikation von Gleichzeitigkeiten im Bedarf zugrunde gelegt werden. Ein Beispiel eines Lastprofils eines Reihemehrfamilienhauses, das von der WWZ zur Verfügung gestellt wurde, ist in Abbildung 10 dargestellt.

Wasserwerke Zug AG
 Chollerstrasse 24
 6301 Zug

HWM Lastprofil RMFH
 Diagramm


 Vereinigt mit Lebensqualität

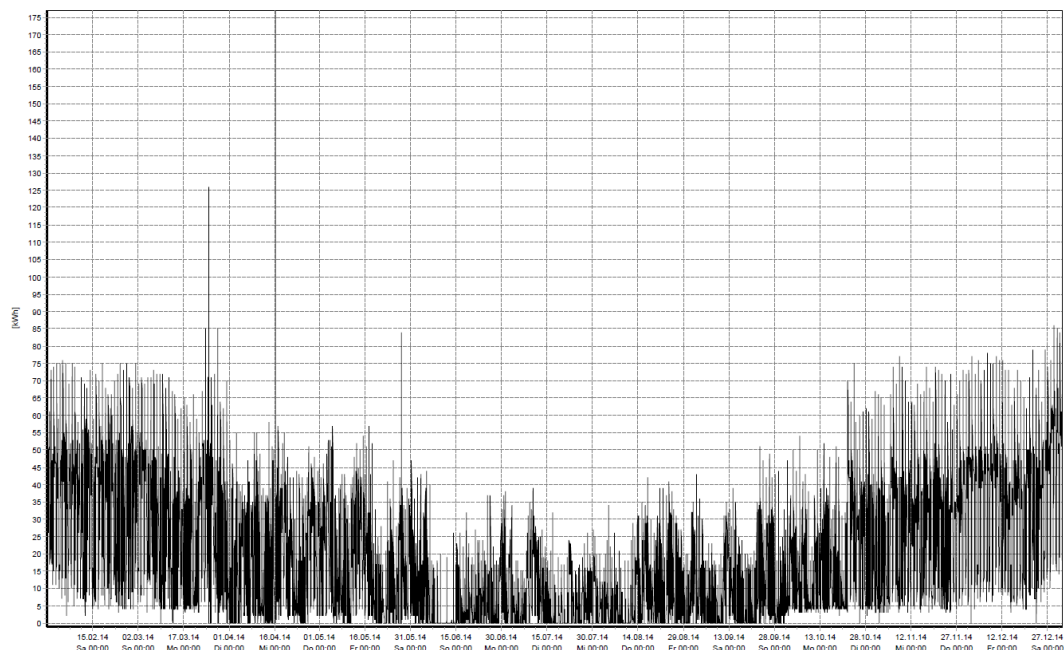


Abbildung 10: Lastprofil eines Reihemehrfamilienhaus (von der WWZ zur Verfügung gestellt)

Auf Grundlage dieser Lastprofile können genauere Auslegungen vorgenommen werden und die folgenden Detailuntersuchungen für die einzelnen Varianten ausgewertet werden:

Erdwärmesonden

- Simulation des Verhaltens des Erdsondenfeld mit/ohne Regeneration bzw. saisonale Speicherung
- Präzisierung der Auslegung und Kostenschätzung des Erdsondenfeldes mit/ohne Regeneration
- Investitionskosten des Erdsondenfeldes mit Regeneration
- Prüfung der Saisonspeicherung im Erdsondenfeld bei Regeneration mit der Lorze
- Prüfung der Regeneration durch erdgekoppelten Free-Cooling Betrieb
- Auswertung Simultanbetrieb Heizen und Kühlen

- Blockheizkraftwerk**
 - Präzisierung der Auslegung und der Wirtschaftlichkeitsrechnung des BHKW auf Grundlage von Lastprofilen für Heizwärme, Warmwasser und Kälte
 - Auswertung der BHKW Laufzeiten bei Kopplung mit Absorptionskältemaschine
 - Auswertung der Laufzeit mit Speicher
 - Wirtschaftlichkeit bei Kombination erdgekoppelte Wärmepumpe und BHKW

- Gebäudekühlung**
 - Ermittlung der Free-cooling Potenziale und der Notwendigkeit für mechanische oder thermisch angetriebene Kühlung
 - Einsatz der Lorze zum Free-Cooling

- Wärme- und Kältenutzung aus der Lorze**
 - Klärung der Nutzungsrechte
 - Berücksichtigung des Tier- und Naturschutzes (z.B. Fischtreppe)
 - Prüfung der Kombinationsmöglichkeiten als bivalente Systemkomponente

- Photovoltaik**
 - Untersuchung der gegenseitigen Verschattung der Gebäude
 - Klärung von alternativen Dachnutzungen (Dachterrassen)
 - Betrachtung der Nutzung von Fassaden für Photovoltaik
 - Klärung der Bewilligungen für Photovoltaik auf denkmalgeschützte Bauten

- Flusswasserkraftwerk**
 - Klärung der denkmalpflegerischen Anforderungen
 - Berücksichtigung des Tier- und Naturschutzes (z.B. Fischtreppe)

- Gesamtkonzept**
 - Kombinationsmöglichkeiten der Technologien zu Szenarien
 - Optimierung der Szenarien hinsichtlich auf Effizienz, Kosten und Ökologie

7 Literatur und Quellenverzeichnis

Informationen zur Überbauung

Amt für Denkmalpflege. 2015. Die Papierfabrik Cham, Wasserkraftwerk Obermühle Baugeschichte, Detailinventar und Schutzzumfang vom Kanton Zug, Bericht der Direktion des Innern, Amt für Denkmalpflege und Archäologie, 16. Februar 2015, Zug

Amt für Denkmalpflege. 2014. Die Papierfabrik Cham Schutzzumfang, Bericht des Kantons Zug, Direktion des Innern, Amt für Denkmalpflege und Archäologie, 18. Dezember 2014, Zug

Durena AG. 2014. Machbarkeitsstudie Wärmeverbund Cham mit Pavatex & ARA-Wärme, Bericht der Durena AG im Auftrag der Gemeinde Cham, 10. März 2014, Lenzburg

Einwohnergemeinde Cham. 2015. Arealentwicklung Papieri-Areal, Dokumentation Planungsprozess, Richtprojekt der Einwohnergemeinde Cham und der Cham Paper Group Schweiz AG, 25. März 2015, Cham

Ernst Basler + Partner. 2014. Schlussbericht Testplanung Entwicklung Papieri-Areal Cham Ernst Basler + Partner im Auftrag der Einwohnergemeinde Cham und der Cham Paper Group Schweiz AG, 20 Juni 2014, Zürich

Nussbaumer und Boltshauser. 2015. Masterplan Papieri-Areal, Albi Nussbaumer Architekten, Zug und Boltshauser Architekten, Zürich, Stand 19. Januar 2015

Regierungsrat Zug. 1967. Bereinigung der Rechte der PAPIERFABRIK CHAM AG, Cham, betreffend der Nutzung der Wasserkraft und der Wassernutzung zu Fabrikationszwecken an der Lorze gemäss dem Protokoll des Regierungsrates des Kantons Zug, 30. Juni 1967, Zug.

Ryser Ingenieure. 2012. Studie ARA Wassernutzung vom 9.07.2012, Bern

Informationen zu Technologien und Wirtschaftlichkeit

ASUE. 2011. BHKW Kenndaten 2011, Module, Anbieter, Kosten, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Berlin

Amt für Umwelt. 2015. Telefonische Auskunft zur Genehmigung der Nutzung von Erdwärme auf den Papieri Areal, Amt für Umwelt, Zug

Erb, M. 2004. Potenzial zur Kostenreduktion durch optimale Systemwahl ohne Komforteinbusse – „small & simple is beautiful, Tagungsband 11. Tagung des BFE Forschungsprogramms Umgebungswärme, 23. Juni 2004, Burgdorf

Huber. 2012. Solare Regeneration von Erdsondenfeldern, Vortrag Swisssolar, Huber Energietechnik AG, Zürich

Rohner, E. 2006. Erdwärmesonden und Energiepfähle zum Heizen und Kühlen von Gebäuden, Vortrag Energieapero Beider Basel, Basel

Sprecher, F., Wagner, R. 2014. Potenzial von Erdwärmesonden im urbanen Raum am Beispiel der Stadt Zürich, Tagungsband 20. Wärmepumpentagung, 25. Juni 2014, Burgdorf

WERZ. 2015. Pflichtenheft WERZ Beratungs- und Engineering- Auftrag Papieri Areal Cham, Institut für Wissen, Energie und Rohstoffe Zug, 22.1.2015, Zug.

WWZ. 2015. Strompreis 2015, WasserStrom Basis, WWZ Energie AG, Zug

WWZ. 2015. Gaspreise 2015, WWZ Energie AG, Zug

Normen

SIA 2024. 2014. Schlusssentwurf Merkblatt SIA 2024 Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik, Stand 4. August 2014, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich

SIA 480. 2004. Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau, Schweizerischer Ingenieur und Architektenverband, Zürich

Tools

SIA-Tool Wirtschaftlichkeit gemäss SIA 480 Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau

elsankey pro für die Erstellung von Energieflussdiagrammen

Internetseiten

www.swissolar.ch => PV-Calculator und Referenzkosten PV

www.admin.bafu.ch => Gesetze und Verordnungen zum Thema Energie

www.wwz.ch => Energiepreise

www.swissgrid.ch => KEV Tarifrechner

www.zugmap.ch => Geodaten zum Papieri-Areal

8 Verzeichnisse

8.1 Abbildungen

Abbildung 1: Modellfoto Richtprojekt Papieri-Areal	7
Abbildung 2: Flächenanteile der Nutzflächen nach Masterplan für Variante 1	10
Abbildung 3: Energieflussdiagramm, Energiebedarf Papieri Areal	11
Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch Papieri Areal	12
Abbildung 5: Absoluter Jahres-Energieverbrauch Papieri Areal	13
Abbildung 6: Spezifischer Energieverbrauch Papieri Areal	14
Abbildung 7: Jahresdauerlinie für 3 Temperaturen der Heizgrenze und Auslegungsoptionen	20
Abbildung 8: Die Papierfabrik Cham Schutzzumfang, Amt für Denkmalpflege und Archäologie	26
Abbildung 9: Energieflussdiagramm: Deckung des Energiebedarfs mit erneuerbaren Energien	33
Abbildung 10: Lastprofil eines Reihenmehrfamilienhaus (von der WWZ zur Verfügung gestellt)	34

8.2 Tabellen

Tabelle 1: Laufzeiten und Energien des BHKW in Abhängigkeit der Auslegung	20
Tabelle 2: Wirtschaftlichkeitsbewertung BHKW	21

8.3 Symbole, Formelzeichen, Einheiten

Einheiten	°C	Celsius; Einheit für Temperatur
	kW	Kilowatt; Einheit der Leistung; 1 kW = 1'000 Watt
	kWh	Kilowattstunde; Einheit der Energie oder Arbeit
	kWh/a	Kilowattstunden pro Jahr; Einheit für den jährlichen Energieverbrauch
	kW _{peak}	Spitzenleistung in Kilowatt; wird oft bei Solarmodulen verwendet
	m ²	Quadratmeter; Flächeneinheit
	MWh	Megawattstunden; entspricht 1'000 kWh
	V	Volt; Einheit der elektrischen Spannung

8.4 Abkürzungen

Abkürzungen		
	ARA	Abwasser-Reinigungs-Anlage
	BHKW	Blockheizkraftwerk
	CAS	Certificate of Advanced Studies
	CO ₂	Kohlendioxid
	CPG	Cham Paper Group
	EWS	Erdwärmesonde
	ewz	Elektrizitätswerk der Stadt Zürich
	HT	Hochtarif oder Hochtemperatur
	JAZ	Jahresarbeitszahl
	KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung
	KW	Kraftwerk
	NGF	Nettogeschossfläche
	NT	Niedertarif oder Niedertemperatur
	PV	Photovoltaik
	RH	Raumheizung
	SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
	WKK	Wärme-Kraft-Kopplung
	WP	Wärmepumpe
	WW	Warmwasser
	WWZ	Wasserwerke Zug

8.5 Begriffe und Definitionen

Jahresarbeitszahl (JAZ)	<p>Kenngrosse für die Qualität, respektive Performance einer Wärmepumpe; Verhältnis der über ein Jahr abgegebenen Wärme zur aufgenommenen elektrischen Energie</p>
Anergienetz	<p>Wärmeverteilnetz auf niedrigem Temperaturniveau, auch als kaltes Verteilnetz bezeichnet</p>
Wärme-Kraft-Kopplung	<p>Wärme-Kraft-Kopplung bezeichnet die gleichzeitige Erzeugung von Elektrizität und Wärme</p>
Wärmetauscher	<p>Auch Wärmeübertrager genannt; Mit Hilfe eines Wärmetauschers kann Wärme von einem Medium an ein anderes übergeben werden, z.B. Luft / Wasser, schmutziges Wasser / sauberes Wasser, usw.</p>

Klimakälte	Kälte, welche durch technische Einrichtungen, wie Klimaanlage, zur Klimatisierung erzeugt wird.
Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV)	Schweizerisches Förderinstrument für erneuerbare Energien
Erneuerbare Energien	Energieträger, welche sich relativ schnell erneuern, respektive praktisch unerschöpflich zur Verfügung stehen. Dazu zählen Wasser, Sonne, Wind, Erdwärme, Bioenergie und Meeresenergie.
Blockheizkraftwerk (BHKW)	Blockheizkraftwerke sind häufig dezentral installierte Maschinen der Wärme-Kraft-Kopplung zur gleichzeitigen Erzeugung von Elektrizität und Wärme
Free-Cooling	Auch als freie Kühlung, direkte Kühlung oder natürliche Kühlung bezeichnet. Klimakälteerzeugung ohne Kältemaschine durch Nutzung von Umgebungspotenzialen wie kalter Nachtluft, Erdreich, Grundwasser etc. Als Energieaufwand fällt nur Energie für die Umwälzung des Kühlmediums an

Anhang

- I. Situationsplan (gemäss Masterplan)
- II. Situationsplan (gemäss Masterplan; Detailnutzungen gemäss Annahmen Patrick Grab)
- III. Geschossflächen und Nutzungen (Gebäude 1a und 1b als Beispiele gemäss Masterplan)
- IV. Geschossflächen und Nutzungen (Gesamtübersicht gemäss Masterplan)
- V. Schutzzumfang (Gesamtübersicht gemäss Bericht der Denkmalpflege)
- VI. Strom- und Wärmebedarf des Areals (Berechnungstabelle)
- VII. Strom- und Wärmebedarf des Areals (Resultate Variante 1)
- VIII. Strom- und Wärmebedarf des Areals (Resultate Variante 2)
- IX. Wärmeverbund Cham (Prinzipschema gemäss Machbarkeitsstudie Durena)
- X. Wärmeverbund Cham (Disposition Heizzentrale gemäss Machbarkeitsstudie Durena)
- XI. Wärmeverbund Cham (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XII. Variantenvergleich Wärmeverbund Cham (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XIII. Blockheizkraftwerk (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XIV. Blockheizkraftwerk Fälle (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XV. Wärmepumpe mit Erdsondenfeld (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XVI. Photovoltaik (Kalkulation Gebäude 9a, Ausrichtung Süd, 30° geneigt)
- XVII. Photovoltaik (Kalkulationsvergleiche Gebäude 9a)
- XVIII. Photovoltaik (Kalkulation Gebäude 7a, Fassade)
- XIX. Photovoltaik (KEV Berechnung)
- XX. Photovoltaik (Berechnung Strompreis)
- XXI. Gaspreise (Berechnung Gasheizung und BHKW)
- XXII. Photovoltaik (KEV Vergütungssätze und Referenzkosten gemäss Swissolar)
- XXIII. Photovoltaik (Wirtschaftlichkeitsrechnung nach SIA 480)
- XXIV. Photovoltaik (Wirtschaftlichkeitsrechnung nach SIA 480)
- XXV. Photovoltaik (Leistung und Ertrag alle neuen Gebäude, Süd 10° geneigt)
- XXVI. Flusskraftwerk (Wassermengen 2014 Lorze)
- XXVII. Flusskraftwerk (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XXVIII. Flusskraftwerk (Wirtschaftlichkeitsrechnung gemäss SIA 480)
- XXIX. Energieflussdiagramm (geringe Selbstversorgung: PV Süd 30°, Flusskraftwerk bestehend)
- XXX. Energieflussdiagramm (hohe Selbstversorgung: PV Süd 10° & Südfassaden Hochhäuser, Flusskraftwerk Neubau)
- XXXI. Energieflussdiagramm (unbestimmte Wärmequelle, Flusswasser & WP zur Kälteerzeugung, PV Süd 10° & Fassaden, neues KW)