

---

# Energieverbund Zug Machbarkeitsstudie

## Übergeordneter Bericht

---

**Auftraggeber:**

Stadt Zug  
Kanton Zug

**Bearbeitungs-Team:**

Walter Fassbind, Stadt Zug  
Roland Grab, Hans Abicht AG  
Daniel Kaufmann, Hans Abicht AG

**Erstelldatum:**

17.04.2014

**Revidiert:**

**Verteiler:**

- Kanton Zug	1-fach
- Stadt Zug	1-fach
- Intern	1-fach

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1. Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>2. Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>3. Einleitung</b>	<b>8</b>
3.1 Ziel und Zweck der Machbarkeitsstudie	8
3.2 Grundlagen	8
3.3 Organisation	9
3.4 Systematik	10
<b>4. Studieninhalte</b>	<b>11</b>
4.1 Betrachtungsperimeter	11
4.2 Energie und Technik	11
4.3 Wirtschaftlichkeit	14
4.4 Projekt Fokus	15
4.5 Recht und Betreibermodell	15
4.6 Grundwasser	15
4.7 Seewasser	16
4.8 Smart Grid	17
4.9 Risiken	18
4.10 Umweltentlastung	19
4.11 Auswirkungen auf die Energie- und Klimaziele 2000-Watt-Gesellschaft	19
4.12 Gesellschaftspolitische Machbarkeit	19
4.13 Ähnliche Projekte	22
4.14 Möglicher Zeitplan und Realisierung	24
<b>5. Weiteres Vorgehen</b>	<b>24</b>
<b>6. Referenzdokumente</b>	<b>25</b>
<b>7. Anhang 1 Terminplanung</b>	<b>26</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Dokumentationsstruktur .....	10
Abbildung 2: Nutzungszonen der Etappe 1 mit Seewasserfassungen, Grundwasserbohrungen und Entwässerungskanal. ....	11
Abbildung 3: Zentralenleitung bei Seewasserfassung (Platzverhältnisse).....	12
Abbildung 4: Übersicht Leitungsführung Anergienetz (Plan Nr. 1325-18). ....	13
Abbildung 5: Schnittstelle Betreiber – Nutzer bei Nutzenergie.....	13
Abbildung 6: Schnittstelle Betreiber – Nutzer bei Endenergie.....	13
Abbildung 7: Terminplan.....	24

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Zusätzliche Grundlagen .....	9
Tabelle 2: Fachgruppen und Fachleute .....	9
Tabelle 3: Energiebedarf, mittleres Szenario auf Stufe Nutzenergie.....	11
Tabelle 4: Referenzen .....	25

## 1. Vorwort

Vorab geht ein Dank an die Projektbeteiligten der Studie. Einen speziellen Dank gebührt der Projektleitung und Autorengruppe sowie den Arbeitsgruppen und ihren wissenschaftlichen, technischen und rechtlichen Beratern für die gründliche und umfassende Arbeit. Ebenso geht der Dank an die Begleitgruppenmitglieder für ihre profunden Inputs. Und last but not least geht ein Dank an die Stadt Zug, an den Kanton Zug und die Wasserwerke Zug AG die mit ihrem vereinten Engagement Projekte dieser Grössenordnung überhaupt denkbar werden lassen.

*Energie ist die Wirksamkeit, die dem bloss Möglichen in die Wirklichkeit verhilft (Aristoteles).*

Die Stadt Zug hat mit ihrer Energie- und Klimastrategie eine Vorreiterrolle übernommen. Die grossen Potenziale sind bekannt, technische und finanzielle Möglichkeiten sind vorhanden. Nun gilt es Massnahmen einzuleiten und Projekte umzusetzen.

Die geografische Lage von Zug erfüllt hervorragende Voraussetzungen um grosse Teile der sich in den nächsten Jahren stark wandelnden Zentrumsquartiere zukünftig mit Wärme und Kälte zu versorgen, die hauptsächlich aus See- und Grundwasser gewonnen werden kann. Zudem verfügt der Wirtschaftsstandort Zug über ein modernes Energie- und Kommunikationsnetz, das nötige Knowhow und die Technologie um echte SmartGrid-Lösungen aufzubauen.

In Zusammenarbeit mit dem Kanton Zug, den Wasserwerken Zug AG, einer Hochschule und diversen spezialisierten Ingenieurunternehmen liegt nun eine detaillierte Ausarbeitung der wichtigsten Entscheidungsgrundlagen vor, um die Umsetzung eines Energieverbundes hinsichtlich der ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Aspekte, auf der politischen Ebene zu beurteilen.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie zu einem neuen Energieverbund der Stadt Zug ist eines der wichtigsten Schritte im Bestreben, sich von der Abhängigkeit fossiler Brennstoffe zu lösen und die Wärme- und Kälteproduktion aus lokalen, erneuerbaren Energiequellen zu decken und damit eine der wichtigsten Voraussetzungen zu schaffen um die angestrebten Nachhaltigkeitsziele von Stadt und Kanton Zug erreichbar zu machen

## 2. Zusammenfassung

Mit der Machbarkeitsstudie wurde geprüft, unter welchen Bedingungen mit Umweltwärme aus dem Zugersee und dem Tiefengrundwasser Wärme und Kälte erzeugt werden kann.

Der Betrachtungsperimeter für die Studie liegt primär im Zuger Stadtkern. Für eine umfassendere Beurteilungsmöglichkeit wurde der Betrachtungsperimeter jedoch erweitert vom Zugerseeufer bis in den Bereich der Baarer Gemeindegrenze. Die erweiterte Betrachtung bezieht sich im Wesentlichen auf die See- und Grundwassersimulationen sowie die Dimensionierung und die Wirtschaftlichkeitsberechnung.

### *Technische Machbarkeit*

Der Energieverbund besteht aus einem hydraulisch geschlossenen Versorgungsnetz, welches über Wärmetauscher mit Umweltwärme aus See- und Grundwasser versorgt wird. Für das Netz ist ein gerichtetes Zweileiternetz optimal. Das Netz schwankt saisonal in einem Temperaturbereich zwischen 8 °C und rund 16 °C wobei im Winter eine thermische Stützung notwendig ist. Die Nutzwärme wird mittels Wärmepumpen erzeugt und die Kälte kann über Wärmetauscher direkt geliefert werden. Die Leitungsführung ist speziell im inneren Stadtbereich genau zu prüfen und ausführlich zu planen.

### *Wirtschaftliche Machbarkeit*

Der spezifische Energiegestehungspreis ist abhängig vom Betreibermodell, den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, der Anschlussstrategie, der Betriebsorganisation und weiteren Einflüssen. Werden die Voraussetzungen entsprechend geschaffen und eine langfristige Betriebs- und Finanzierungssicht eingenommen, so kann der Energieverbund wirtschaftlich und gegenüber konventioneller Wärme- und Kälteerzeugung konkurrenzfähig betrieben werden. Die möglichen Energiepreise liegen bei:

- |                                       |                 |             |
|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| - Anergie bis an Gebäude:             | 7 – 9 Rp./kWh   | Endenergie  |
| - Wärme (im Gebäude, vor Verteilung): | 11 – 14 Rp./kWh | Nutzenergie |
| - Kälte (im Gebäude, vor Verteilung): | 19 – 21 Rp./kWh | Nutzenergie |

Für die erste Etappe entsteht ein Investitionsvolumen von rund 45 Mio. Franken. Darin enthalten sind zwei Seewasserafassungen welche bereits für die Leistungskapazität des Gesamtausbau dimensioniert sind. Die Investitionen für den Gesamtausbau belaufen sich auf rund 240 Mio. Franken.

Es ist ein Preismodell zu favorisieren, bei welchem Wärme und Kälte auf Stufe Nutzenergie geliefert wird. Dies ermöglicht die Quersubventionierung der Wärme mit der Kälte und somit konkurrenzfähige Energiepreise gegenüber konventioneller Wärme- und Kälteerzeugung.

Mögliche Förderbeiträge wurden in den Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht berücksichtigt. Es sollte geprüft werden, ob für das Projekt Fördergelder bezogen werden könnten (z.B. Klik). Fördergelder könnten speziell die ersten Betriebsjahre stark entlasten.

### *Smart Grid*

Das Potential bei der Stromkostenreduktion für den Betrieb des Netzes liegt bei 33% bis 45%. Die Umsetzung des Smart Grid muss als Konzept, vom Betreiber in der Organisation umgesetzt werden können. Eine separate „Smart Grid – Abteilung“ ist nicht wirtschaftlich.

### *Fokus*

Beim Projekt Fokus kann die Versorgungssicherheit mit der Seewassernutzung vor allem betreffend Kühlung massgeblich verbessert werden. Zusätzlich gewährleistet die Seewassernutzung eine langfristige Nutzung des Tiefengrundwassers, indem dank der ergänzenden Kühlung

mit Seewasser eine über das Jahr ausgeglichene Wärmebilanz der Grundwassernutzung erreicht werden kann. Diese Vorteile gelten nicht nur für die geplanten Neubauten, sondern auch für die bestehenden Verwaltungsbauten an der Aa. Mit den höheren Leistungsreserven des Energieverbundes kann die Technologie innerhalb der Gebäude einfach gehalten werden und Erneuerungen auch vereinfacht werden.

#### *Betreibermodell und Recht*

Nach Abklärungen der verschiedenen Betreibervarianten ist es empfehlenswert, die Planung/Betrieb mit der WWZ AG weiter zu verfolgen. Mehr zum Thema im Kapitel 4.5 Seite 15 und im Bericht Recht und Betreibermodell [3].

#### *Seewasser*

Die Berechnungen zeigen, dass die Wärme- und Kältenutzung keinen nennenswerten negativen Einfluss verursachen, sofern die effektive Nutzung die berechneten Szenarien nicht massiv überschreiten. Es besteht auch noch ausreichendes Nutzungspotential für andere, an den Zugersee anstossende Gemeinden. Wird beispielsweise Seewasser für die Kühlung von Prozesswärme genutzt, kann dies einen relevanten Einfluss auf das Ökosystem des Sees generieren. In diesem Fall wäre eine Nutzung genau zu prüfen. Mit dem Energieverbund besteht jedoch die Möglichkeit, Abwärme direkt, innerhalb des Verbundes, wieder zu nutzen, ohne dass diese in den Zugersee geleitet wird. Begleitend zum Betrieb des Anergienetzes ist ein Seewassermonitoring aufzustellen. Das Seewasser ist hydraulisch vom Energieverbund getrennt.

#### *Grundwasser*

Um die gesetzlichen Vorgaben bei der Grundwassernutzung einhalten zu können, muss die Wärmenutzung mittelfristig (innerhalb 5 – 10 Jahren) ausgeglichen sein. Diesbezüglich ist ein Messsystem zu installieren um die Energiemengen zu überwachen. Das chemisch aggressive Tiefgrundwasser ist hydraulisch vom Verbund getrennt. Die Leitungen und Armaturen der Grundwasserfassungen müssen mit entsprechenden Materialien ausgeführt werden, die dem Tiefgrundwasser standhalten. Bei der Wahl der Brunnenstandorte sind öffentliche Grundstücke aufgrund der Bewilligungsfähigkeit und Dienstbarkeitsrechten zu bevorzugen.

#### *Gesellschaftliche Faktoren und lokale Wertschöpfung*

Mit dem Energieverbund können wichtige Voraussetzungen geschaffen werden, um die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen. Die Abhängigkeit vom internationalen Energiemarkt zeigt sich als Risikofaktor in der Sicherung einer nachhaltigen Gesellschaftsentwicklung.

Beim Energieverbund Zug verbleiben 48% der Wertschöpfung regional. 46% verbleiben in der Schweiz und lediglich 6% gehen ins Ausland. Im Gegensatz zum Betrieb mit fossiler Energie wo 60% der Wertschöpfung im Ausland, 25% national und lediglich 15% lokal verbleiben. Der Energieverbund ist in der Ordnung einem Generationenprojekt gleichzusetzen. Ähnlich dem Aufbau der Trink- und Abwasser- oder Stromversorgungsnetze im vergangenen Jahrhundert.

#### *Ökologische Bedeutung und Einordnung in 2000Watt-Vision*

Im Hintergrund der Studie stehen die globalen Perspektiven eines zunehmend unsicheren Ressourcenhaushalts und den damit verbundenen Herausforderungen einer zukunftsfähigen Lokalwirtschaft. Die Regierungen von Stadt und Kanton Zug sind sich dieser Verantwortung bewusst und haben bereits im 2010 und 2011 - hinsichtlich ihrer Energie- und Klimapolitik entsprechende Strategiepapiere verabschiedet. Ebenso haben sich im Jahr 2011 die Wählerinnen und Wähler der Stadt Zug zu den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft bekannt und die Stadt Zug zur Einhaltung von quantitativen und qualitativen Zielen verpflichtet.

Rund 90% der in Zug verwendeten Energie muss im internationalen Energiemarkt eingekauft werden. 70% stammen aus fossilen Quellen und werden in Form von Öl, Gas oder Benzin im-

portiert. Schätzungsweise 100 Millionen Franken fließen so jährlich - alleine aus der Stadt Zug - ins ferne Ausland. Gleichzeitig sind diese Energieträger für 98% der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt Zug verantwortlich. Wobei 53% dem Bereich Wärme und 45% dem Bereich Mobilität zugeschrieben werden. Das neue Energienetz muss damit als eine der wichtigen Grundvoraussetzungen angesehen werden, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen von heute 7.6t pro Person und Jahr bis zum Jahr 2050 auf die angestrebten 2t zu reduzieren. Diese Zahlen machen deutlich, wie sehr der Erfolg einer nachhaltigen Gesellschaftsentwicklung vom Gelingen einer eigens kontrollierbaren Energiestrategie abhängig ist.

Der neue Energieverbund wird im Endausbau 1'000TJ Nutzenergie produzieren. Das entspricht rund zwei Drittel des Wärmebedarfes der heutigen Stadt Zug. Mit Wärmepumpen kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoss (gegenüber fossiler Wärmeerzeugung) um bis zu 80 % reduziert werden. Für die Stadt Zug werden somit jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen von rund 64'000 Tonnen erwartet. Für die Stadt mit 30'000 Einwohner (2050) lassen sich so über 2.1 Tonnen pro Person und Jahr errechnen. Die Umsetzung des Energieverbundes erfüllt eine der wichtigsten Voraussetzungen und leistet einen wesentlichen Beitrag um die Energie- und Klimaziele von Stadt und Kanton Zug zu erreichen ohne dass für die Wärme- und Kälteerzeugung höhere Kosten entstehen als bei konventioneller Erzeugung.

### 3. Einleitung

#### 3.1 Ziel und Zweck der Machbarkeitsstudie

Mit Bezug auf die Energie- und Klimaziele, sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen in der Stadt Zug die Wärme und Kälte mit lokal vorhandenen Ressourcen gedeckt werden kann.

Vier interdisziplinäre Arbeitsgruppen sollen aufzeigen, wie weit und unter welchen Bedingungen sich lokale Energiequellen (Seewasser, Grundwasser, Geothermie, Abwärme und Solarenergie) für den städtischen Wärme- und Kältebedarf eignen und wie sich Stromverbraucher an die speziellen Bedingungen im Elektrizitätsnetz ausrichten lassen (Smart Grid). Ebenso sollen die Anforderungen und Schnittstellen an die Betreiberorganisation und deren mögliche Rechtsform eruiert werden.

Im Fokus stehen die technische Machbarkeit bezüglich Leistung, Energie, Bau und Betrieb, die Investitionen und Betriebskosten sowie die Umweltwirkung bezüglich Ressourcen- und Klimaschutz.

Hierfür haben 8 Spezialisten-Teams in vier interdisziplinären Arbeitsgruppen die Machbarkeitsstudie erarbeitet:

- Grundwasseranalyse: Wyssling AG in Zusammenarbeit mit Jäckli AG
- Seewasseranalyse: EWAG, Horw
- Fokus: Ing. Büro Urs Steinemann
- Smart Grid: Misurio AG
- Energie, Leistung und technisches System: Hans Abicht AG (Gesamtleitung)
- Anergienetz und wissenschaftliche Begleitung: HSLU
- Tiefbau: Staubli Kurath und Partner AG
- Recht und Betreibermodell: Swisscontracting mit Rechtsdiensten der Stadt und dem Kanton Zug

In diesem übergeordneten Bericht sind die wesentlichen Teilergebnisse der einzelnen Gruppen zusammengefasst. Detailliertere Informationen sind in den einzelnen Teilberichten zu finden.

#### 3.2 Grundlagen

Fakten und Zahlen der Stadt Zug im Jahr 2012

Die verwendeten Grundlagen sind im Projekthandbuch [1] beschrieben. Zusätzlich verwendete Grundlagen sind:

Dokument	Version
Energiestrategie 2050 der Stadt Zug Ersteller: Stadt Zug, Walter Fassbind. <a href="http://www.google.ch/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=1&amp;ved=0CC0QFjAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.stadtzug.ch%2Fdl.php%2Fde%2F0d5lf-kxjofd%2FEnergiestrategie_2050.pdf&amp;ei=lonKUouuMMPnywPzr4GQBg&amp;usq=AFQjCNGt9F_d5dRE3PKh7Ubgh4Q_QrNubQ&amp;bvm=bv.58187178.d.bGQ&amp;cad=rja">http://www.google.ch/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=1&amp;ved=0CC0QFjAA&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.stadtzug.ch%2Fdl.php%2Fde%2F0d5lf-kxjofd%2FEnergiestrategie_2050.pdf&amp;ei=lonKUouuMMPnywPzr4GQBg&amp;usq=AFQjCNGt9F_d5dRE3PKh7Ubgh4Q_QrNubQ&amp;bvm=bv.58187178.d.bGQ&amp;cad=rja</a>	27. April 2010
Erneuerbare Energien im Kanton Zug: Stand heute und Perspektiven 2030. Schlussbericht. Ersteller: econcept, Reto Dettli, Noemi Rom, Mirjam Kosch. <a href="http://www.zg.ch/behorden/baudirektion/amt-fuer-umweltschutz/energiegewinnung-aus-wasser-boden-luft/downloads/erneuerbare-energien-im-kanton-zug-stand-heute-und-perspektiven-2030/at_download/file">http://www.zg.ch/behorden/baudirektion/amt-fuer-umweltschutz/energiegewinnung-aus-wasser-boden-luft/downloads/erneuerbare-energien-im-kanton-zug-stand-heute-und-perspektiven-2030/at_download/file</a>	21. Januar 2011



Dokument	Version
Energie im Kanton Zug 2011 Leitbild, Leitsätze, Massnahmen Ersteller: Kanton Zug, Regierungsratsbeschluss. <a href="http://www.google.ch/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=3&amp;ved=0CDkQFjAC&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.werz.hsr.ch%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fwerz.hsr.ch%2Fvernetzen%2Fpartner%2FEnergieleitbild_RRB_2011.pdf&amp;ei=v4jKUou-G871yAPa3IHwCQ&amp;usq=AFQjCNHqgF5I9FYpnsqToaZ31FwfcJ4s3A&amp;bvm=bv.58187178.d.bGQ&amp;cad=rja">http://www.google.ch/url?sa=t&amp;rct=j&amp;q=&amp;esrc=s&amp;source=web&amp;cd=3&amp;ved=0CDkQFjAC&amp;url=http%3A%2F%2Fwww.werz.hsr.ch%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2Fwerz.hsr.ch%2Fvernetzen%2Fpartner%2FEnergieleitbild_RRB_2011.pdf&amp;ei=v4jKUou-G871yAPa3IHwCQ&amp;usq=AFQjCNHqgF5I9FYpnsqToaZ31FwfcJ4s3A&amp;bvm=bv.58187178.d.bGQ&amp;cad=rja</a>	21. Juni 2011
Solarkataster für die Stadt Zug. Schlussbericht Ersteller: Meteotest, Daniel Klauser.	24. September 2012
Temperaturveränderungen und Phosphat-Eintrag durch Kühlwasser- sernutzung und Wärmeentnahme am Zugersee. Ersteller: eawag, Lorenz Jaun und Martin Schmid.	10. Oktober 2006
Liste der registrierten Heizleistung in der Stadt Zug. Diese beinhaltet: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gasheizungen</li> <li>- Ölheizungen</li> <li>- Holzheizung</li> </ul>	Stand: 26. Juni 2013 11. Juli 2013

Tabelle 1: Zusätzliche Grundlagen

### 3.3 Organisation

#### 3.3.1 Funktion und Verantwortlichkeiten

Die Funktion und die Verantwortlichkeiten sind im Projekthandbuch [1] beschrieben. Die Arbeitsgruppen sind folgendermassen aufgeteilt:

Fachgruppen	Fachleute
Technik Wärme – Kälte	Hans Abicht AG, Roland Grab und Daniel Kaufmann (Gesamtleitung) Ing. Büro US, Urs Steinemann Staubli, Kurath & Partner AG, Richard Staubli HSLU, Matthias Sulzer WWZ, Bruno Schwegler
Technik Vernetzung Smart Grid	Misurio, Karl Werlen HSLU, Matthias Sulzer WWZ, Bruno Schwegler
See- und Grundwasser	EAWAG, Martin Schmid Jäckli Geologie, Walter Labhart, stellvertretend für Dr. Lorenz Wyssling AG, Georg Wyssling
Recht	Swisscontracting, Ronny Brunner Rechtsdienst Stadt Zug, Nicole Nussberger Rechtsdienst Kanton Zug, Daniel Lienin

Tabelle 2: Fachgruppen und Fachleute

### 3.3.2 Terminplanung

Der Grobterminplan und die Meilensteine sind im Projekthandbuch [1] beschrieben. Der detaillierte Terminplan für die Fertigstellung der Studie ist im Anhang 1 zu finden.

### 3.3.3 Dokumentenstruktur Schlussdokumentation

Die Dokumentenstruktur der Schlussdokumentation ist folgendermassen gegliedert:

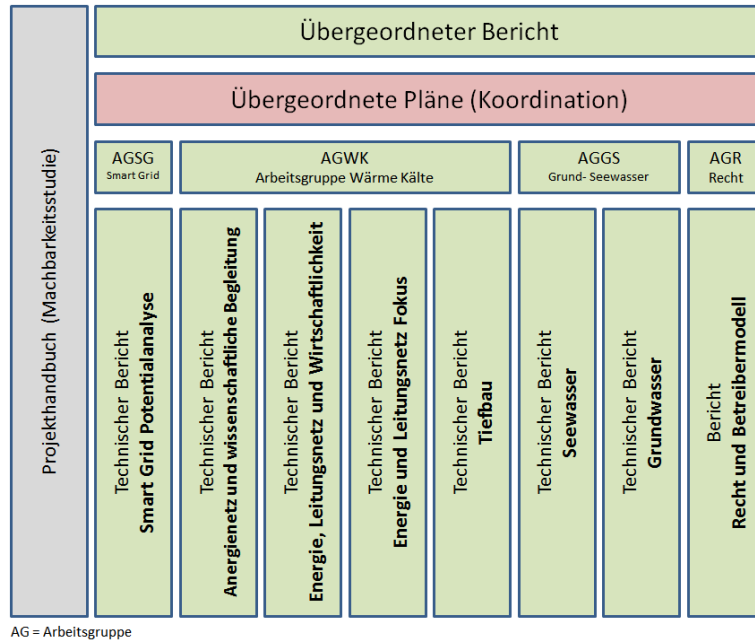


Abbildung 1: Dokumentationsstruktur

Wegweisend für alle zu erstellenden Dokumente ist das Projekthandbuch [1]. Die einzelnen Arbeitsgruppen erstellen je einen technischen Bericht / Dokumentation und falls notwendig zusätzlich Pläne und Schemas. Die wesentlichen Erkenntnisse der einzelnen Arbeitsgruppen werden von der Gesamtleitung in einem übergeordneten Bericht zusammengefasst. Zur Dokumentation gehören auch Gruppenübergreifende Pläne und Randbedingungen welche als Anhänge beigefügt sind. Auf das Kopieren von Inhalten wird möglichst verzichtet und mit Referenzen gearbeitet.

### 3.4 Systematik

Die Studie ist so aufgebaut, dass die Erkenntnisse und Werkzeuge auch auf andere (ähnliche) Gebiete mit Seeanschluss abgeleitet und nach folgendem Prozess verwendet werden kann:

1. Ermittlung des Energie- und Leistungsbedarfs
2. Definition der Randbedingungen
3. Berechnen und Auslegen des Systems
4. Durchführen der See- und Grundwassersimulationen
5. Berechnen des Smart-Grid Potentials
6. Ermitteln der Kosten und Berechnen der Wirtschaftlichkeit

Mit dem straffen Terminplan konnten nicht alle Arbeiten sequentiell abgearbeitet werden. Wo den Projektgruppen Grundlagedaten fehlten, wurden möglichst plausible Annahmen getroffen.

## 4. Studieninhalte

### 4.1 Betrachtungsperimeter

Es wurde eine repräsentative Zone in der Stadt Zug gewählt. Der Betrachtungsperimeter soll die Grundlage zur technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Machbarkeit liefern. Untenstehend die Übersicht auf welche sich die Machbarkeitsstudie bezieht. In der Zone enthalten sind die drei speziell betrachteten Ankerobjekte Fokus, Metall und Eichstätte. Eingefärbt sind die Nutzungszonen, Grundwasserbrunnen, Seewasserfassungen, der Meteorkanal, der geplante Stadttunnel, die Verteilungen und die Zentralenstandorte.

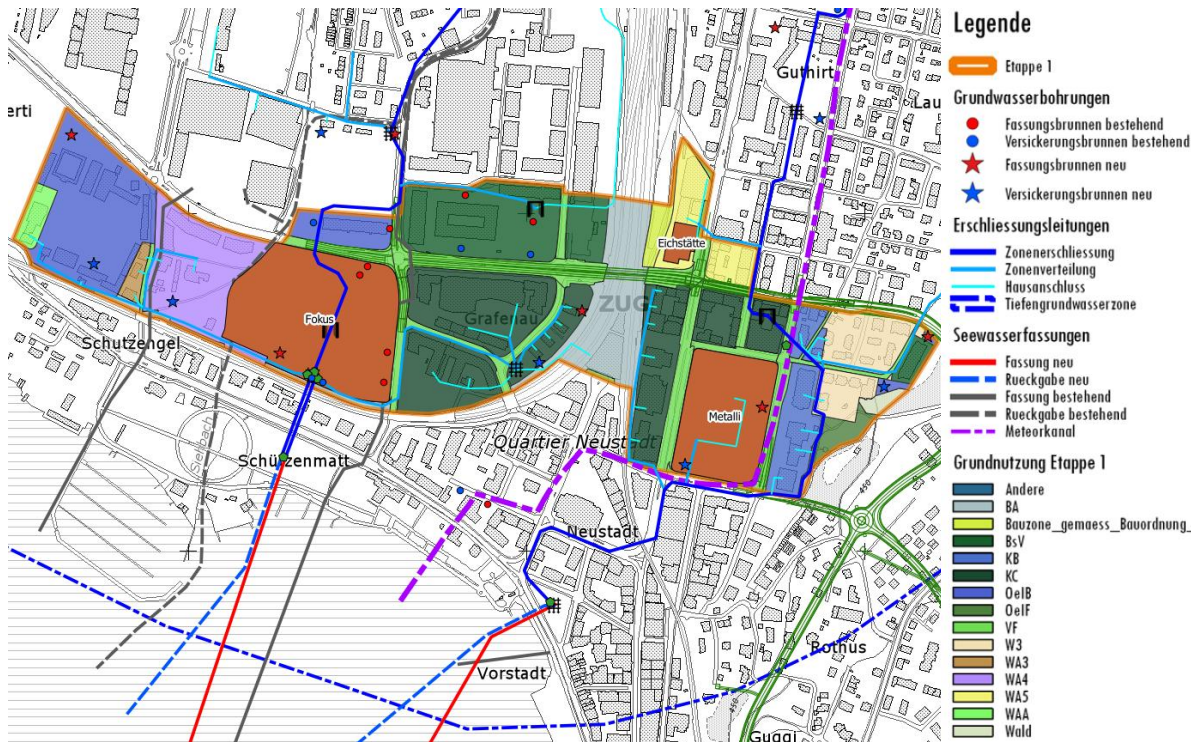


Abbildung 2: Nutzungszone der Etappe 1 mit Seewasserfassungen, Grundwasserbohrungen und Entwässerungskanal.

### 4.2 Energie und Technik

#### 4.2.1 Energiebedarf

Für die Energie- und Leistungsbedarfsermittlung wurden drei Szenarien erstellt; mit einem tiefen, mittleren und hohen Energiebedarf. Für die technischen und wirtschaftlichen Betrachtungen diene das mittlere Szenario.

Jahr	2020	2035	2050
Wärmebedarf, Szenario mittel	16'364 MWh	18'179 MWh	20'107 MWh
Kältebedarf, Szenario mittel	4'049 MWh	6'299 MWh	9'451 MWh

Tabelle 3: Energiebedarf, mittleres Szenario auf Stufe Nutzenergie.

#### 4.2.2 Bedarfsdeckung

Das Anergienetz wird primär mit Energie aus See- und Grundwasser versorgt. Rund die Hälfte des Wärmebedarfs wird mit Grundwasser gedeckt und die andere Hälfte mit Seewasser. Für den Kältebedarf wird rund 90% über Grundwasser gekühlt und rund 10% mit Seewasser.

### 4.2.3 Technisches System

In der Machbarkeitsstudie führen von den Seewasserfassungen zwei Hauptleitungen Richtung dem Baarer Gemeindegebiet. Sie versorgen ein je ein rund 700 m breites Einzugsgebiet (Siehe Plan Nr. 1325-16). Das Anergienetz schwankt in einem Temperaturbereich zwischen 8 bis 16 °C. Bei den Seewasserfassungen werden zentrale Niedertemperatur-Wärmepumpen eingesetzt um die Betriebstemperaturen im Netz sicherzustellen. Das Anergienetz ist hydraulisch ein in sich geschlossenes System, welches mit normalem Wasser gefüllt ist.

Für die angeschlossenen Gebäude wird die Nutzwärme mittels Wärmepumpen erzeugt. Die Kälte kann direkt über Plattentaucher genutzt werden. Rückkühlsysteme, wie sie heute auf Dächern und Fassaden üblicherweise anzutreffen sind, werden nicht mehr benötigt.

Das Anergienetz enthält Bauteile, die 50 bis 100 Jahre verbaut und in Betrieb sein werden. Bei der Dimensionierung des Systems wurde darauf geachtet, dass das System grosse Energie und Leistungsbedarfsschwankungen abdecken kann.

### 4.2.4 Zentralen Seewasser

Der Platzbedarf für eine Seewasserfassung inkl. Temperaturhochhaltung liegt für die erste Etappe bei 300 m<sup>2</sup> (21 x 14 m). Die Platzverhältnisse und Lokalitäten für den weiteren Ausbau sind vorweg zu prüfen und müssen nicht zwingend bei der Seewasserfassung selbst sein. Das Temperaturhochhaltungssystem nimmt je nach Technologie einen beträchtlichen Platzbedarf ein.



Abbildung 3: Zentralenleitung bei Seewasserfassung (Platzverhältnisse).

### 4.2.5 Leitungsführung

Für die Wahl der Leitungsführung wurden die Werkleitungspläne der verschiedenen Gewerke (Gas, Wasser, Strom, Telekommunikation) und der Strassensanierungsplan [22] der Stadt Zug berücksichtigt. Bei der Leitungswahl wurde die Querung von privaten Grundstücken möglichst vermieden (siehe auch Plan Nr. 1325-17 im Anhang). Querungen von privaten Grundstücken sind im Grundbuch mit Dienstbarkeiten festzuhalten. Dies gilt für den offenen Grabenbau wie auch für die grabenlose Bauart. Dienstbarkeiten gelten auch bis zu einer Tiefe von 500 m.

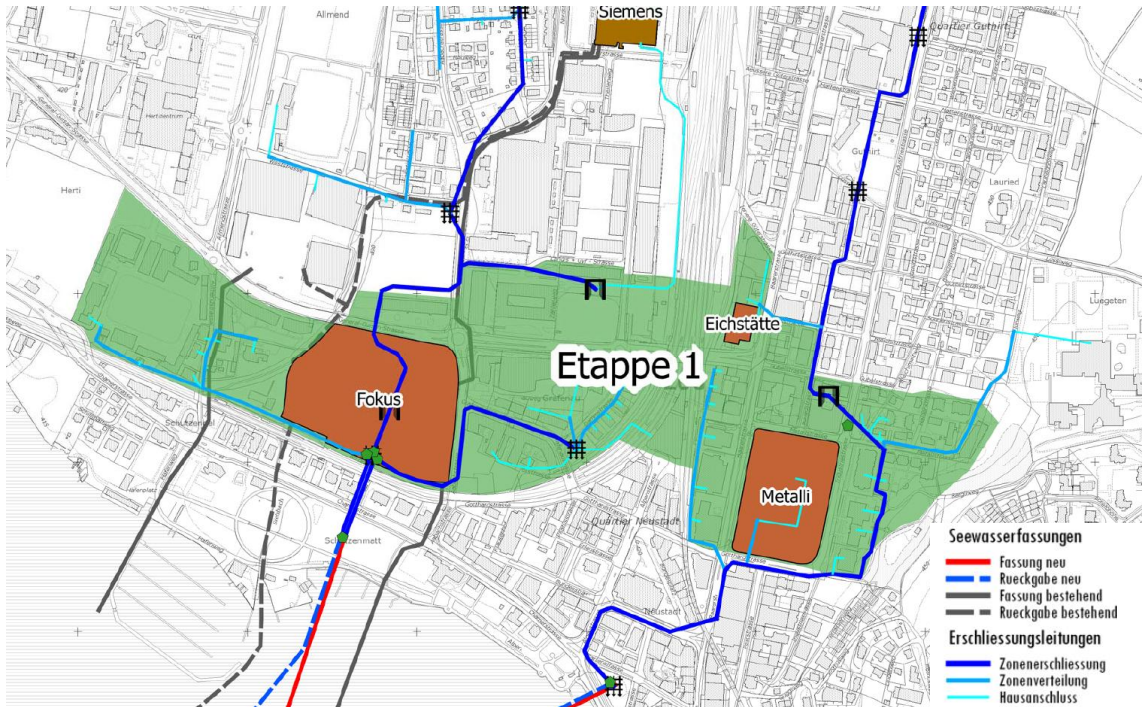


Abbildung 4: Übersicht Leitungsführung Anergienetz (Plan Nr. 1325-18).

#### 4.2.6 Schnittstellen für Nutzer

Der Kunde hat die Wahl zwischen zwei Angeboten. Er kann sich vom Betreiber Wärme und Kälte (Nutzenergie) liefern lassen oder er nutzt lediglich das Anergienetz als Endenergiequelle und baut und betreibt die notwendige Technik für Wärme und Kälte selbst.

##### Variante 1: Lieferung Nutzenergie

Die Gebäudetechnik wird bis an die Verteilung beim Kunden erstellt. Der Netzbetreiber ist für die Wärme- und Kälteerzeugung verantwortlich.

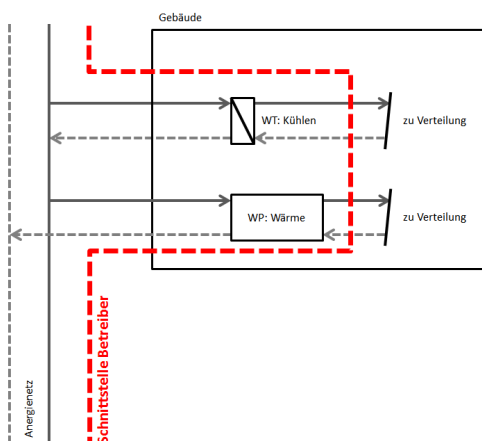


Abbildung 5: Schnittstelle Betreiber – Nutzer bei Nutzenergie.

##### Variante 2: Lieferung Endenergie

Die Gebäudetechnik wird vom Kunden erstellt und betrieben. Für die Wärme- und Kälteerzeugung ist er selbst verantwortlich.

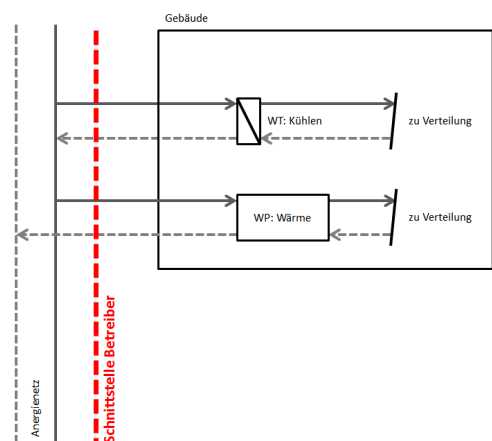


Abbildung 6: Schnittstelle Betreiber – Nutzer bei Endenergie.

#### 4.2.7 Leiterzahl und Fliessrichtung im Anergienetz

Ein 2-Leiter System ist aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen gegenüber einem 3-Leiter und 4-Leiter System vorzuziehen. Unter Umständen ist die Einbindung eines 1-Leiter Systems denkbar, insbesondere entlang der Industriestrasse bis zum See über das Quartier Neustadt, wo ein Entwässerungskanal in Planung steht.

Ungerichtete Netze erzielen einen höheren exergetischen Wirkungsgrad als gerichtete Netze, da im ungerichteten Netz eine höhere Temperaturspreizung zwischen den beiden Leitern erreicht wird. Bei voller Auslastung müssen aber im ungerichteten Netz die dezentralen Förderpumpen die hohen Druckverluste überwinden und verhältnismässig grosse Wassermassen in Bewegung bringen. Die kleinen am Netz angeschlossenen Förderpumpen der Wärmepumpen müssen folglich eine beträchtliche Druckerhöhung bei kleinstem Durchfluss herstellen. Solche Förderpumpen sind technisch aufwendig und hydraulisch schwierig einzubinden. Aus diesem Grund sollte das Netz gerichtet betrieben werden. Das heisst, alle Wärmepumpen, Kältemaschinen und Free-Cooling-Wärmetauscher beziehen ihre Energie aus demselben Leiter.

#### 4.2.8 Seewasserfassungen Tiefbau

Für den Endausbau des Energieverbundes der Stadt Zug werden zwei Seewasserfassungen benötigt. Die beiden Fassungen werden bereits für die 1. Ausbaustufe auf die Kapazität des Endausbaus dimensioniert. Die Fassungsleitungen haben einen Durchmesser von 1.2 m. Das Seewasser wird in 28 m Tiefe gefasst und in einen Uferschacht geleitet. Im Uferschacht wird dem Seewasser über Wärmetauscher Wärme entzogen (heizen) bzw. Wärme zugegeben (kühlen). Danach wird das Seewasser über Rückgabelleitungen wieder dem See zurückgegeben. Die Rückgabelleitungen führen das Rückgabewasser auf eine Tiefe von 26 m. Die vorliegende Studie zeigt, dass die Seewasserfassungen und -rückgaben technisch machbar und gemäss den ersten Gesprächen mit den kantonalen Fachstellen auch bewilligungsfähig sind.

Über die Wärmetauscher in den Uferschächten wird das Wasser im Anergienetz gekühlt, bzw. erwärmt. Das Anergienetz besteht aus einem Zweileitersystem. Die Leitungen des Anergienetzes werden in den Strassenquerschnitten der Stadt Zug verlegt. Aufgrund der vorhandenen Leitungen im Boden sind die Platzverhältnisse teilweise sehr eng. Stellenweise müssen die Leitungen ausserhalb des Strassenquerschnittes geführt werden. Normalerweise werden die Leitungen in offener Grabenbauweise erstellt. An schwierigen Stellen kann auch die Methode des grabenlosen Leitungsbau zum Einsatz kommen. Die bisherigen Abklärungen zeigen, dass das für den Energieverbund erforderliche Leitungsnetz in der Stadt Zug erstellt werden kann. Örtlich werden die Platzverhältnisse jedoch sehr eng sein.

### 4.3 Wirtschaftlichkeit

Das Ziel des Energieverbundes ist, die Wärme und Kälte auf einem Preisniveau anbieten zu können, welches konkurrenzfähig gegenüber konventioneller Wärme- und Kälteerzeugung ist.

Der spezifische Energiegestehungspreis ist abhängig vom Betreibermodell, den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, der Anschlussstrategie, der Betriebsorganisation und weiteren Einflüssen. Werden die Voraussetzungen entsprechend geschaffen und eine langfristige Betriebs- und Finanzierungssicht eingenommen, so kann der Energieverbund wirtschaftlich und gegenüber konventioneller Wärme- und Kälteerzeugung konkurrenzfähig betrieben werden. Die Anschlussrate hat einen wesentlichen Einfluss auf die Energiegestehungskosten. Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden mit einer Anschlussrate von 34% (Jahr 2020) bis 50% (Jahr 2050) durchgeführt. Die möglichen Energiepreise liegen bei:

- |                                       |                 |             |
|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| - Anergie bis zum Gebäude:            | 7 – 9 Rp./kWh   | Endenergie  |
| - Wärme (im Gebäude, vor Verteilung): | 11 – 14 Rp./kWh | Nutzenergie |
| - Kälte (im Gebäude, vor Verteilung): | 19 – 2 Rp./kWh  | Nutzenergie |

Für die erste Etappe wird mit einem Investitionsvolumen von 45 Mio. Franken gerechnet. Darin enthalten sind die Seewasserefassungen welche bereits für die Leistungskapazität des Gesamtausbaus dimensioniert sind. Die Investitionen für den Gesamtausbau wurden auf 240 Mio. Franken berechnet.

#### **4.4 Projekt Fokus**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beim Projekt Fokus die Versorgungssicherheit mit der Seewassernutzung vor allem betreffend Kühlung massgeblich verbessert werden kann. Zusätzlich gewährleistet die Seewassernutzung eine langfristige Nutzung des Tiefengrundwassers. Dank der ergänzenden Kühlung mit Seewasser kann eine über das Jahr ausgeglichene Wärmebilanz der Grundwassernutzung erreicht werden. Diese Vorteile gelten nicht nur für die geplanten Neubauten, sondern auch für die bestehenden Verwaltungsbauten an der Aa. Mit den höheren Leistungsreserven des Energieverbundes kann die Technologie innerhalb der Gebäude einfach gehalten und Erneuerungen vereinfacht werden.

#### **4.5 Recht und Betreibermodell**

Der Energieverbund ist ein Generationenprojekt. Die Investitionen können nicht im üblichen Zeithorizont abgeschrieben werden. Es braucht einen Betreiber, der eine langfristige für ein solches Projekt übernimmt. Die Leistungen sind mit der Stromwirtschaft zu vergleichen.

Die Betreiberin muss einen langen Atem haben. Eine Aktiengesellschaft eines privaten Kostenträgers, Erstellers und Betreibers müsste bereit sein, über Jahrzehnten die Weiterentwicklung des Energieverbundes zu garantieren. Bei wirtschaftlich kurzfristigen Schwierigkeiten darf das Engagement nicht eingestellt oder ein Verkauf des Projektes in Erwägung gezogen werden.

Deshalb ist dafür ein Unternehmen zu wählen, welches stark in der Umgebung verankert ist und den langfristigen Bau, Betrieb und Unterhalt und die Finanzierung sicherstellt. Für das vorliegende Projekt stehen die Wasserwerke Zug AG im Vordergrund. Die Studie wurde in enger Zusammenarbeit mit den lokalem Energieversorger erarbeitet.

Der Betreiberin ist dafür eine Sondernutzungskonzession auszustellen. Das erlaubt der Betreiberin die Nutzung des öffentlichen Grundes und den Energieverbund wirtschaftlich zu betreiben.

#### **4.6 Grundwasser**

Das Tiefengrundwasser hat eine konstante Temperatur im Bereich von 14 – 15 °C. Dieses Tiefengrundwasser ist artesisch gespannt (steht unter Druck), liegt in einer Tiefe von 80-130 m und erstreckt sich über eine Fläche von über 10 km<sup>2</sup> von der Stadt Zug bis hinter Baar. Der Grundwassersee ist stationär. Es finden nur sehr geringe Zu- und Abflüsse über seine Ränder statt. Er wird bereits heute für die Beheizung und Kühlung verwendet. Aktuell wird netto 1.4 GWh/Jahr mehr thermische Energie eingetragen als wieder entzogen werden. Es überwiegen also die Kühlnutzungen.

Für die Untersuchung der Auswirkungen von thermischen Grundwassernutzungen auf das Tiefengrundwasser wurde ein Finite-Elemente-Modell aufgebaut, mit Annahmen hinterlegt und plausibilisiert. Es kann mit diesem Modell nachgewiesen werden, dass bei aktuell bestehenden Entnahme- und Rückgabeburgen keine unerlaubten Temperaturerhöhungen von  $> \pm 3$  °C im Umkreis von 100 m um den Rückgabeburgen zu erwarten sind. Letztere Anforderung ist in der «Wegleitung Grundwasserschutz» des BUWAL (heute BAFU) definiert. Grund ist, dass sich die Temperaturanomalien nur sehr langsam aufbauen und einen annähernd stationären Zustand erreichen. Rasche Durchbrüche bis zu den Entnahmeburgen sind daher nicht zu befürchten.

Der Energieverbund Zug soll das Potential des Tiefengrundwassers aktiv nutzen können. Die Bearbeitung umfasst deshalb drei verschiedene Szenarien mit je vier Entnahme- und Rückgabeburgen im Zuger Stadtgebiet, wovon zwei Szenarien im Bericht beschrieben werden. Die Resultate zeigen, dass Temperaturveränderungen im Grundwasser selbst nach 20 Jahren Betriebszeit und einer angenommenen Abkühlung/Erwärmung von 5-7 °C auf einen kleinen Perimeter um die Rückgabeburgen beschränkt bleiben, solange der thermische Eintrag und Entzug (Energiebilanz) im Jahresverlauf ausgeglichen bleibt. Sollte aber beispielsweise ein Blockheizkraftwerk zur Heizunterstützung im Energieverbund eingesetzt werden, so reduziert sich die thermische Entnahme bei gleichbleibendem Eintrag. Als Resultat findet eine geringfügige Erwärmung statt. Letztere bleibt aber auch nach 20 Jahren Betriebszeit immer noch in dem aus gewässerschutzrechtlicher Sicht zulässigen Bereich. Ausnahme bildet die Wärmeanomalie um den Rückgabeburgen des VZ2, wo bei gleich bleibender Nutzung in etwa 10 Jahren eine Überschreitung der zulässigen Temperaturänderung in 100 m Distanz um den Rückgabeburgen zu erwarten ist. Für die bestehende Nutzung VZ2 ist daher im Rahmen des EV Zug eine teilweise Kühlung mit Seewasser anzustreben. Dadurch können die thermischen Auswirkungen auf das Tiefengrundwasser minimiert und die gesetzlichen Vorgaben eingehalten werden.

Für eine nachhaltige Grundwassernutzung ist eine mittel- bis langfristig annähernd ausgeglichene Wärmebilanz wichtig. Mit dem Energieverbund besteht die Möglichkeit diese Energiebilanzen zu kontrollieren und auszugleichen. Damit können die gewässerschutzrechtlichen Vorgaben jederzeit eingehalten werden. Die nutzungsbedingte Temperaturdifferenz ist hinsichtlich der Einhaltung der 3°C-Regel von untergeordneter Bedeutung. Grundsätzlich sind auch grössere Temperaturdifferenzen als im numerischen Modell vorgegeben möglich, solange diese nicht zu betrieblichen Problemen (z.B. chemische und bakteriologische Reaktionen) führen.

Aufgrund der Heterogenität des Untergrundes besteht bei Bohrungen zur Erschliessung des Tiefengrundwassers grundsätzlich stets auch ein gewisses Risiko von nicht ausreichend ergiebigen Brunnen. Daneben können bohrtechnische Schwierigkeiten auftreten. Diese lassen sich aber durch eine sorgfältige Planung und Ausführung der Bohrungen minimieren.

## 4.7 Seewasser

Eine energetische Nutzung des Zugersees kann Auswirkungen auf die Temperaturen und Schichtungen im Zugersee haben. Mit der technischen Nutzung des Zugersees dürfen laut den Richtlinien der Gewässerschutzverordnung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen der Organismen im Zugersee auftreten.

Die Auswirkungen auf den ganzen See wurden zu diesem Zweck mit einem eindimensionalen physikalischen Seemodell für verschiedene Nutzungsszenarien berechnet. Die lokalen Auswirkungen auf die Zugersee wurden mit einer Wärmebilanzrechnung abgeschätzt.

Die Berechnungen zeigen, dass das mögliche Potenzial der Wärmenutzung um ein Mehrfaches über der im Rahmen des Energieverbundes Zug geplanten Nutzung liegt. Die berechnete Abkühlung beträgt für das maximale Szenario der Wärmenutzung in einem beschränkten Tiefenbereich von wenigen Metern einige Hundertstel Grad. Entsprechend ist mit keinen negativen Auswirkungen zu rechnen. Eine zusätzliche Wärmenutzung in der gleichen Grössenordnung in anderen Gemeinden wäre problemlos möglich. Aufgrund der erwarteten deutlichen Erwärmung des ganzen Sees kann die aktuell geplante Wärmenutzung, bei welcher der See insgesamt leicht abgekühlt wird, als positiver Beitrag zur Dämpfung der global wirksamen Klimaveränderungen auf den See betrachtet werden.

Für die Abschätzung der lokalen Auswirkungen in der Zugersee ist in erster Linie die maximale Wärmelast an einzelnen heissen Sommertagen entscheidend. Über längere Zeiträume wird das Wasser in der Bucht mit dem offenen See innerhalb zwei bis drei Tagen ausgetauscht. Nach den Abschätzungen in diesem Bericht sollte eine Wärmelast von rund 50 MW zu einer mittleren Erwärmung in einer 2 m dicken Schicht von rund 0.17 °C führen. Sollte in Zukunft eine Nutzung des Sees zu Kühlzwecken in dieser Grössenordnung in Betracht gezogen werden, wären die lokalen Auswirkungen zunächst bei geringerer Wärmelast auszumessen, oder falls dies nicht möglich ist, die Ausbreitung einer lokalen Einleitung in die Bucht mittels Tracerversuchen vorgängig zu untersuchen.



Für die geplanten Nutzungsszenarien ist kein signifikanter Einfluss auf die Phosphorflüsse und damit auf die Produktivität im See zu erwarten. Sollte aber eine Nutzung in Betracht gezogen werden, bei welcher der Eintrag von erwärmtem Wasser die aktuell geplanten Mengen deutlich überschreitet, dann wäre eine Tieferlegung der Rückleitung in Betracht zu ziehen, um eine Zunahme der Primärproduktion im unteren Bereich der Sprungschicht zu verhindern.

## 4.8 Smart Grid

Der Energieverbund Zug bezweckt die Maximierung der Effizienz für die Energieversorgung der Stadt Zug. Ein zentrales Element ist der Anergieverbund zur optimalen Verwendung von Energiequellen, wie Seewasser, Grundwasser, Geothermie, Abwärme und Sonnenkraft. In diesem Kontext soll die Smart Grid Potentialanalyse aufzeigen, wie die Flexibilität des Verbunds verwertet werden kann und wie hoch die dabei möglichen Ertragspotentiale sind.

Die Analyse zeigt ein jährliches Ertragspotential von nahezu 400'000 CHF pro Jahr für die Verwertung der Flexibilität der thermischen Speicher für die Ausbautetappe 1 des Energieverbunds Zug. Dies würde einer Einsparung von 45% der Stromkosten für den Betrieb des Anergienetzes und der Wärmepumpen für die Wärmeversorgung entsprechen. Im Vollausbau beträgt die Einsparung immer noch rund 33%. Das Ertragspotential erscheint interessant für eine vertiefte Analyse. Bei der Berechnung des Ertragspotentials wurden Risiken für fehlerhafte Preisprognosen und die Transaktionen am Markt berücksichtigt. Das im Idealfall mögliche Ertragspotential ohne diese Risiken wäre etwa doppelt so hoch. Nicht berücksichtigt wurden der Einfluss von neuen oder geänderten Marktregeln, die zukünftige Entwicklung der Strompreise und die Kosten für den Systembetrieb.

Die Steuerung flexibler Lasten als Teil des Smart Grid leistet einen wertvollen Beitrag zur Energiewende. Die Bandenergieproduktion konventioneller Kraftwerke (Kernkraftwerke, fossile Kraftwerke) wird zunehmend ersetzt durch neue erneuerbare Energien wie Photovoltaik und Windkraft mit stochastischem Einspeiseprofil. Die stochastische Charakteristik muss durch Flexibilität ausgeglichen werden, um einen stabilen Netzbetrieb zu gewährleisten und Blackouts zu vermeiden. Thermische Speicher stehen in ausreichendem Mass zur Verfügung und können als virtuelle Speicher genutzt werden. Dieses Potential muss im Rahmen der Entwicklung des Smart Grid unbedingt genutzt werden.

Bei der Analyse für den Energieverbund Zug wurden zwei relevante Potentiale analysiert:

1. *Potential WP*: Die thermischen Warmwasserspeicher, die technischen Speicher und die thermische Trägheit der Gebäudestruktur können aus Sicht der Stromversorgung als virtueller Speicher betrachtet werden. Dank dieser Flexibilität kann die Energiebeschaffung zu den günstigsten Zeitpunkten erfolgen und die Leistungsreserve kann als sogenannte Systemdienstleistung (SDL) angeboten werden. Damit kann ein zusätzlicher Ertrag erzielt werden.
2. *Potential WKK*: Für die Spitzenlastdeckung ist für die Etappe 1 der Bau eines Wärme Kraft Kopplung Kraftwerkes (WKK) geplant. Mit diesem Kraftwerk kann ebenfalls die Leistungsreserve als SDL verwertet werden.

Für die Potentialanalyse wurden die Wärmepumpen und die Speicher in einem Pool zusammengefasst. Eine Jahressimulation mit ¼-stündlichen Preisen für den Strom und SDL-Preisen für das Jahr 2012 liefert die genannten Ergebnisse. Das Modell berücksichtigt Risiken im Rahmen des Bieterprozesses und Kosten bei der Abwicklung der Geschäfte. Die Entwicklung der Marktpreise wurde jedoch nicht untersucht. Man geht davon aus, dass die Strompreise noch einige Jahre auf tiefen Niveau verharren und dann langsam anziehen. Bei den SDL-Preisen stellt man einen markanten Anstieg von 2012 auf 2013 fest. Trotzdem gibt es hier Unsicherheiten über die zukünftige Marktentwicklung. Da aber der Bedarf nach Flexibilität vorhanden ist und in Form von thermischen Speichern zur Verfügung steht, ist zu erwarten, dass das Potential für die Verwertung der Flexibilität auch in der Zukunft nachhaltig bestehen bleibt.

Die Implementierung eines Systems für die Abschöpfung des Potentials erfordert ein bidirektionales Kommunikationssystem mit Zugriff auf alle Anlagen. Die Kosten des Kommunikationssystems können nicht alleine durch die Verwertung der Flexibilität gedeckt werden, d.h. die Verwer-

tung der Flexibilität ist als Zusatznutzen für das bestehende oder geplante Kommunikationssystem zu verstehen.

Die Entwicklung eines Geschäftsmodells bedeutet Pionierarbeit, weil solche Systeme noch nicht standardmässig in Betrieb sind. Eine Schätzung der Kosten ist im Rahmen dieser Potentialanalyse nicht möglich. Wichtig ist, dass die Trennlinie mit den Endkunden am richtigen Ort verläuft, d.h. der Systembetreiber benötigt einen direkten Zugriff auf die Wärmepumpen und muss den Zustand der thermischen Speicher kennen. Der Endkunde braucht eine Garantie, dass die Komfortvorgaben eingehalten werden.

Das System fokussiert auf die Verwertung der Flexibilität und nicht auf die Einsparung von Energie. Dank der vorausschauenden Charakteristik des Regelsystems ist trotzdem eine Einsparung möglich, wie die Erfahrung aus ähnlichen Analysen zeigt. Ein Beitrag an die CO<sub>2</sub>-Reduktion wird geleistet, weil Dank der Bewirtschaftung von flexiblen Lasten weniger CO<sub>2</sub> emittierende Kohlekraftwerke notwendig sind, um das Netz zu stabilisieren und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

## 4.9 Risiken

Es wurden verschiedene Projektrisiken evaluiert. Einer der Hauptrisiken Risiken ist die **Leitungsführung**. Der Strassenkörper ist an vielen Stellen durch verschiedene Werkleitungen belegt. Dieser Aspekt muss bei der Leitungsführung miteinbezogen und in der nächsten Projektphase vertieft untersucht werden.

Eine **Bauverzögerung** ist ebenfalls ein Risiko für das Projekt. Kann der Energieverbund nicht innerhalb nützlicher Frist Wärme und Kälte anbieten gehen mögliche Grossabnehmer als Kunden verloren. Grosse Wärme- und Kältebezüge ermöglichen es, die für die Anfangsphase wichtige kritische Absatzmenge zu erreichen, um die Wärme und Kälte wirtschaftlich konkurrenzfähig verkaufen zu können. Um eine schnelle Umsetzung zu ermöglichen wurden im „Bericht Recht und Betreibermodell“ [3] mögliche Umsetzungs- und Betreibervarianten geprüft.

Bezüglich den **Grundwasserbrunnen** besteht das Risiko, dass diese versanden. Im Technischen Bericht [4] „Energie Leitungsnetz und Wirtschaftlichkeit“ ist in Abbildung 12, Seite 19 die Zone gezeigt, in welcher das Versandungsrisiko für Grundwasserbrunnen erhöht ist. Bei den Verwaltungsbauten an der Aa zeigten sich bei einem Entnahmebrunnen und einem Rückgabebrunnen reduzierte Kapazitäten, welche sich aber in den letzten zehn Jahren stabil verhalten haben. Ein Brunnenpaar im evangelischen Kirechenzentrum ist versandet und ist zur Zeit nicht mehr in Betrieb. Bestehende Brunnen im Gebiet des GIBZ, der Kantonsschule und dem Spital laufen problemlos. Im Vergleich zu älteren bestehenden Brunnen gibt es heute verbesserte Bohrtechniken, welche die Gefahr der Versandung verringern. Das Konzept des Energieverbundes berücksichtigt das Versandungsrisiko und kann vereinzelt Ausfälle von Grundwasserbrunnen verkraften. Der Kostenanteil eines Grundwasserbrunnens liegt im Bereich von 3% des Investitionsvolumens der Startphase.

Bei der **Seewassernutzung** besteht das Risiko einer unzulässigen Erwärmung aufgrund von höherem Kältebedarf. Es wurden Seewassersimulationen durchgeführt welche dem 8-Fachen Kältebedarf des maximalen Szenarios entsprechen. (Es wird von einem Energiebedarf ausgegangen, der dem mittleren Szenario entspricht). Die Berechnungen zeigten, dass bei einem Energiebedarf des 8-Fachen des maximalen Szenarios die Erwärmung des Zugersees in einen Bereich von 0.5 bis 0.8 °C kommt. Sollte der Kältebedarf auf entsprechende Energiemengen ansteigen, sind die ökologischen Auswirkungen auf den Zugersee mit erhöhter Aufmerksamkeit zu verfolgen. Diese Berechnungen gehen davon aus, dass 100% des Kältebedarfs mit Seewasser gedeckt wird. Der Betrieb des Energieverbundes ist so ausgelegt, dass rund 90% des Kältebedarfs über Grundwasser gekühlt wird und nicht mit Seewasser. Dies ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass die Energiebilanz im Grundwasser langfristig ausgeglichen sein muss, um eine dauerhafte Grundwassernutzung gewährleisten zu können. Allgemein besteht aufgrund der Nutzungszonen im Stadtgebiet nachwievor eine höheren Wärmebedarf als Kältebedarf. Sollte sich aufgrund von Prozesswärme erhöhter Kältebedarf aufweisen, kann dieser in erster Linie im Energieverbund direkt wieder für die Wärmeaufbereitung genutzt werden, ohne dass das See- oder Grundwasser belastet wird.

## 4.10 Umweltentlastung

Heute werden die Gebäude in der Stadt Zug mehrheitlich mit Öl (~50%) und Gas (~40%) beheizt. Die restlichen 10% mit Holz, Strom und Wärmepumpen. Durch die Beheizung der Gebäude über den Energieverbund kann der CO<sub>2</sub>-Ausstoss um 38% reduziert werden (mittleres Szenario). Das mittlere Szenario berücksichtigt eine Anschlussrate von 45%. Das Potential der CO<sub>2</sub>-Reduktion liegt bei 78% wenn alle Gebäude an den Energieverbund angeschlossen würden.

Bei der Kälteerzeugung wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoss um 41% reduziert wenn über den Energieverbund gekühlt wird. Das Potential liegt bei 77% wenn alle Gebäude an den Energieverbund angeschlossen würden. Der Einfluss des CO<sub>2</sub>-Ausstosses ist - absolut gesehen - bei der Kälteerzeugung wesentlich kleiner als bei der Wärmeerzeugung.

## 4.11 Auswirkungen auf die Energie- und Klimaziele 2000-Watt-Gesellschaft

Die Erreichung der Energie- und Klimaziele hängt wesentlich mit dem Erfolg bei der Reduktion fossiler Energieträger zusammen. Das Ziel muss sein, die Wärme- und Kälteerzeugung aus erneuerbaren Quellen zu bedienen, idealerweise mit lokal vorhandenen Ressourcen. Ein lokaler Wärmeverbund, gespeisen aus See- und Grundwasser, als Niedertemperaturnetz realisiert, erfüllt diese Erwartungen in jeder Hinsicht. Die Kälteerzeugung ist zwar wirtschaftlich interessanter, hat aber auf die Klimaziele einen geringeren Einfluss. Bei der Umsetzung ist es wichtig, dass ein Preis- und Anschlussmodell gewählt wird, das die Energie- und Klimaziele berücksichtigt.

Mit dem Energieverbund wird der Stadt Zug die Möglichkeit geboten, diese mit erneuerbarer Umweltenergie zu versorgen. Dieser bietet das Potenzial, die Ziele des Absenkpades der 2000-Watt-Gesellschaft mit dem Etappenziel im Jahr 2050 zu erreichen und ebenfalls das Endziel im Jahr 2150 zu erfüllen.

- Der Endenergiebedarf lässt sich um 500 bis 1'000 Watt pro Person reduzieren
- Der CO<sub>2</sub>-Ausstoss lässt sich um 1.3 bis 2.5 Tonnen pro Person reduzieren

Der Energieverbund ist ein nachhaltiges System, welches mit der Kombination von Wärme, Kälte und Elektrizität langfristig flexibel auf Nutzungsänderungen eingehen kann. Er trägt einen Teil dazu bei, untragbare ökologische, gesundheitliche und wirtschaftliche Schäden zu verhindern.

*Aus Technischer Bericht Energie Leitungsnetz und Wirtschaftlichkeit*

## 4.12 Gesellschaftspolitische Machbarkeit

### 4.12.1 Lokale Wertschöpfung

Bei der Betrachtung der regionalen Wertschöpfung entstehen auf verschiedenen Stufen Effekte die genutzt werden können:

- Vorleistungen (Entwicklung der Technologie, Forschung + Ausbildung, Finanzwirtschaft)
- Bei der Realisierung (Planung, Produktion von Komponenten, Bau)
- Beim Betrieb und Unterhalt der Systeme
- Folgeleistungen (tiefere Energiekosten der Betriebe erhöht deren Marktchancen, Einkommens- und Konsumeffekte; langfristige Sicherung der Arbeitsplätze, Mittel die beim Projekt eingenommen wurden, werden in der Region wieder ausgegeben.)
- Wertsteigerung der Liegenschaften (Durch den effizienten und umweltfreundlichen Betrieb werden Gebäude eine Wertsteigerung erfahren, Anforderungen von Energie- und Nachhaltigkeitslabels (Minergie, LEED, BREAM, DGNB, usw) können einfacher erreicht werden.)
- Wertsteigerung von Immobilien-Portfolios von Pensionskassen, Immobilienfirmen, usw. (In den Geschäftsberichten werden die CO<sub>2</sub>-Raten des Portfolios aufgeführt, Stakeholders profitieren von den Wertsteigerungen)
- Folgeschäden vermindert (durch die qualitative Verbesserung der Stadtluft werden Atemwegserkrankungen reduziert und Gebäude erreichen eine längere Lebensdauer)

- Kompetenzen können in andere Regionen transferiert werden. (Produkte, Planung, Betrieb)
- Verminderung der Abhängigkeit vom Import fossiler Energieträger (Geopolitische Einflüsse auf Energieressourcen, die Wirkung von Preiserhöhungen wird vermindert)
- Die Betreiberin des Energieverbundes und deren Aktionäre werden von der Diversifikation und der regionalen Verankerung profitieren. (Nachhaltigkeit und Ertragssteigerung)

Ausserregionale- oder internationale Kapitalbeteiligungen lassen beträchtliche Mittel aus der Region abfliessen. Damit mehr finanzielle Mittel in der Region verbleiben, bedarf es einer starken regionalen Beteiligung.

Aus Untersuchungen von bestehenden Energieregionen<sup>1</sup> kann abgeleitet werden, dass beim Energieverbund Zug, 48% der Wertschöpfung regional, 46% in der Schweiz verbleiben und sich lediglich 6% ins Ausland verschiebt. Im Gegensatz zum Betrieb mit fossiler Energie wo 60% der Wertschöpfung im Ausland, 25% national und lediglich 15% lokal verbleiben.

Auswirkungen in der <b>Realisationsphase</b> <sup>2</sup>		[CHF]	Anzahl Mannjahre regional (250'/MA pro Jahr)
Konventionell	Erstellkosten 1. Etappe	21 Mio	13 Mannjahre
	Erstellkosten Endausbau	120 Mio	72 Mannjahre
Energieverbund	Erstellkosten 1. Etappe	45 Mio	86 Mannjahre
	Erstellkosten Endausbau	240 Mio	460 Mannjahre

**Fazit: In der Realisationsphase werden in der Region mindestens fünfmal mehr Mannjahre zur regionalen Wertschöpfung beitragen.**

Auswirkungen in der <b>Betriebsphase</b> (Verringerung der Auslagerung ins Ausland)		[CHF]	Anzahl Mannjahre regional (250'/MA pro Jahr)
Konventionell	Umsatz 1. Etappe	4.3 Mio/a	10 MA pro Jahr im Ausland
	Umsatz Endausbau	17 Mio/a	41 MA pro Jahr im Ausland
Energieverbund	Umsatz 1. Etappe	3.5 Mio/a	1 MA pro Jahr im Ausland
	Umsatz Endausbau	6.0 Mio/a	1.5 MA pro Jahr im Ausland

**Fazit: In der Betriebsphase werden Verschiebungen der Wertschöpfung ins Ausland um das 10- bis 25-fache reduziert.**

Der Energieverbund trägt neben dem regionalen Nutzen auch deutlich zur regionalen Wertschöpfung bei.

#### 4.12.2 Einordnung des Projektes

Der Energieverbund Zug unterscheidet sich von den konventionellen Fernheizanlagen dadurch, dass der Energieverbund mit sogenannter Anergie arbeitet, welche für Heizzwecke nicht direkt genutzt werden kann. Es wird keine Hochtemperatur Energie in Wasser- oder Dampfform angeboten. Dadurch, dass sich die Anergietemperatur im Bereich der Erdwärme bewegt, entstehen sehr geringe Verluste oder Gewinne aus dem Erdreich. Alleine durch den Wegfall der Leitungsverluste verbessert sich die Effizienz des Energieverbundes Zug um 10-15%.

<sup>1</sup> Bundesamt für Raumentwicklung ARE Regionalökonomische Potenziale und Erfolgsfaktoren für den Aufbau und Betrieb von Energieregionen

<sup>2</sup> Annahme gleicher Lohn + GK Kosten wie in der Schweiz

Ein weiterer Nachteil von konventionellen Fernheizanlagen ist, dass nur Wärme verteilt wird. Ein allfälliger Bedarf an Kühlenergie muss konventionell mit Kältemaschinen und Rückkühlern auf dem Dach oder an der Fassade erzeugt werden.

Gegenüber konventioneller Technik wird die Wärme nicht zentral aufbereitet und danach verteilt. Bei konventionellen, hochtemperatur-Wärmeverbänden muss die Betriebstemperatur dabei auf den Nutzer mit dem höchsten Temperaturbedarf angehoben werden, was in der Regel dem Gebäude mit der am schlechtesten gedämmten Gebäudehülle entspricht. Diese hohe Betriebstemperatur wird zu allen Objekten geführt, auch wann dazu kein Bedarf ist.

Beim EVB Zug wird die Wärme nach Bedarf in den Gebäuden mittels Wärmepumpen auf das notwendige Temperaturniveau angehoben. Dadurch kann der Betrieb nach Bedarf gefahren werden.

Für Gebäude mit grösserer Entfernung zum See, wurde eine Seewassernutzung schnell unwirtschaftlich. Ebenso wenn der Standort oder die Grösse der Gebäude eine Grundwassernutzung nicht zulies. Dazu kommt, dass im Bereich des Baarerbeckens eine Energiegewinnung mit Erdsonden nicht zulässig ist.

Mit dem EVB Zug kann direkt nutzbare Kühlenergie den Gebäuden zugeführt werden, ohne eine mechanische Kälteerzeugung anzuwenden. Zudem kann der Rückkühlteil der konventionellen Anlagen entfallen. Damit werden Dachflächen von der Technik entlastet und nutzbar. Ebenso werden Geräte an Fassaden zur Abwärmeabführung nicht mehr benötigt. Das Stadtbild wird harmonischer und enttechnisiert. Dies wird nicht nur den Architekten entgegenkommen.

In der Schweiz sind vereinzelte Gebäude mit einer Seewasseranlage oder mit einer Grundwasseranlage ausgerüstet. Welche für Wärme und Kältenutzung genutzt wird. Kombinierte Anlagen werden bislang noch nicht eingesetzt.

Mit dem kombinierten Nutzen des Seewassers und des Grundwassers kann zukünftig allen Nutzern eine umweltfreundliche Energie angeboten werden. Diese Energie kann individuell nach Bedarf auf das notwendige Temperaturniveau angehoben werden. Gleichzeitig kann die gleiche Energieform als Kühlenergie direkt genutzt werden. Dazu kommt der Vorteil, dass der CO<sub>2</sub>-Ausstoss stark reduziert wird. Die Energie wird zudem wirtschaftlich zur Verfügung gestellt und hat den Vorteil, dass die Ausland-Abhängigkeit, insbesondere von fossilen Energieträgern, stark reduziert wird. In der Langfristperspektive betrachtet kann man festhalten, dass sich die Energiekosten reduzieren werden, um so mehr Gebäude an das System angeschlossen werden.

### *Generationenprojekt*

In der Schweiz wurden grössere Generationenprojekte im Bereich Energie (Wasserkraft, AKW, Strom- oder Gastransitleitungen) oder Verkehr (Bahn oder Autobahnen, Strassen, Tunnels) realisiert.

Die Stadt Zug hat in der Vergangenheit – auf ihre Grösse umgesetzt – ähnliche Generationenprojekte realisiert:

Im Bereich der Energie:

- neues Gasnetz mit Konzessionserteilung an WWZ
- Stromnetz mit Konzessionserteilung an WWZ
- Altstadtfernheizung als Hochtemperatur-System

Im Bereich Infrastrukturen:

- Abwassernetz; Aktuell Umrüstung auf Trennsystem Schmutzwasser / Meteorwasser
- Trinkwassernetz mit Konzessionserteilung an WWZ
- Swisscom, TV, usw.

Im Bereich Verkehr:

- Strassennetz
- Parkleitsystem

Bei den Sportbauten die Sportanlagen

- Herti (Leichtathletik, Fussball, Eishockey, Curling)
- Schützenmatt
- Riedmatt, usw.

Bei den Schulanlagen die Anlagen:

- Guthirt
- Neustadt
- Burgbach
- Daheim
- Herti
- Riedmatt
- Oberwil, usw.

Im Bereich Abfallentsorgung ist der Ökihof und die Gründung des Verbandes ZEBA erwähnenswert.

Der EVB Zug ist ebenso als ein Generationenprojekt zu betrachten. Dabei ist Langfristigkeit und Nachhaltigkeit vor den kurzfristigen Nutzen zu stellen. Bei allen Generationenprojekten ist die Ortsverbundenheit, das Vertrauen der Nutzer und die Glaubwürdigkeit entscheidend. Ein Generationenprojekt muss technisch machbar, bezahlbar und akzeptiert sein.

#### 4.13 Ähnliche Projekte

Standort	Quelle	Bemerkungen
Stadt Schlieren	Wärme & Kätleverbund	
Dietikon	ARA	
Frauenfeld	kalte Abwärme ARA	Start Oktober 2013
Aurich D	kalte Abwärme ARA	
Trimbach	Tunnelwasser	
Wien	Abwasser / WKK	
Helsinki	Meerwasser / Abwasser WKK / WP zentral / dezentral	
Unterterzen CH	Grundwasser PLT / Wasser Ethanol PLT WP	15.5 Rp./kWh ohne Wasserzins
Adliswil	ARA	
St. Moritz	ARA / Seewasser	
Genf	ARA / Seewasser	
Biel	ARA / Seewasser	
Fribourg	Seewasser	Planungsphase
Zürich	div. Seewasser	
Visp	Flusswasser und Abwärme	In Betrieb

Tabelle : Ähnliche Projekte.

Der Energieverbund Zug weist zu den obigen Objekten folgende Abweichungen auf:

- Nutzung von zwei erneuerbaren Quellen (See- und Grundwasser)
- Energie- und Leistungsbedarf rund 10 – 50 mal grösser
- Integration von Smart-Grid

## 4.14 Möglicher Zeitplan und Realisierung

Mit einem geeigneten Betreibermodell ist eine erste Wärme- und Kälteabgabe im Jahr 2018 realisierbar.

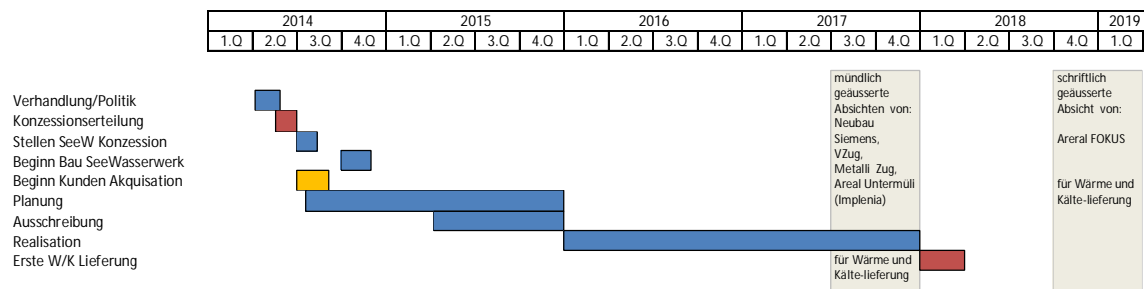


Abbildung 7: Terminplan.

## 5. Weiteres Vorgehen

Nachdem Stadt- und Regierungsrat informiert sind, ist die Medienorientierung und folgender Umsetzungsprozess zu planen:

1. Organisation Stadt/Kanton aufbauen	Aufbau PQM Interessenvertreter Stadt / Kanton Juristische Begleitung Terminplan aufstellen
2. Erteilung Sondernutzungskonzession	Mit der WWZ Gespräche zur Erteilung der Sondernutzungskonzession vorantreiben.
3. Gesuch für Seewasserfassungen stellen	Die WWZ kann die Bau- und Konzessionsgesuche für die beiden Seewasserfassungen stellen. Der Bau kann somit voraussichtlich ab 2015 begonnen werden.
4. Umsetzung	In der Machbarkeitsstudie wurde am Beispiel der Etappe 1 die technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht. Die Resultate sind in dieser Studie ausgewiesen.  Für das weitere Vorgehen ist der Bauablauf so zu wählen, dass die beiden Seewasserwerke und die beiden Haupttrassen zu V-Zug an der Industriestrasse und zum Unterfeld an der Nordstrasse umgehend realisiert werden können.  Damit kann eine Akquisition mit neuen Kunden schnell umgesetzt werden.
5. Akquisition	Mit den möglichen Kunden Zug Estate, V-Zug, Siemens, Implenia, ZKB, Eichstätte, Sudan, City-Group usw. sollen im 2014 Gespräche geführt und Absichtserklärungen zum Anschluss an das Netz eingeholt werden. Ebenso mit der Stadt Zug und dem Kanton  Daneben sind Infoveranstaltungen und direkte Gespräche mit GU, Architekten und Planer zu führen.
6. Siemensareal	Auf Seite Siemens besteht das Interesse, die bestehenden Seewasserleitungen zu Verkaufen. Mit der Besitzerin sollen über das Nahwärmenetz im Siemensareal Kaufverhandlungen aufgenommen werden.
7. Bestehende Anlagen mit Seewasser /Grundwasser	Mit diesen Besitzern sollen Informationsgespräche und Ablösemöglichkeiten besprochen werden. Betriebssicherheit und Redundanzen sollen die Vorteile sein.



## 6. Referenzdokumente

[Nr.]	Dokumentenbezeichnung	Version
[1]	Energieverbund Zug Projekthandbuch (Machbarkeitsstudie)	1.0 / 12.08 2013
[2]	Übergeordneter Bericht	
[3]	Bericht Recht und Betreibermodell	
[4]	Technischer Bericht Energie Leitungsnetz und Wirtschaftlichkeit	
[5]	Technischer Bericht Anergienetz und wissenschaftliche Begleitung	
[6]	Technischer Bericht Wärme Kälte FOKUS	
[7]	Technischer Bericht Tiefbau	
[8]	Technischer Bericht Grundwasser	
[9]	Technischer Bericht Seewasser	
[10]	Technischer Bericht Smart Grid Potentialanalyse	
[11]	Anleitung Trendanalyse	26.11.2013
[12]	Anleitung Kosten EVerbund	11.02.2014
[13]	Kosten EVerbund	Version 8
[14]	Ergebnis Trendanalyse Energieverbrauch	26.11.2013
[15]	Vordimensionierung Rohrleitung	07.02.2014
[16]	Definition Energie und Leistung	24.02.2014
[17]	Definition Rohrleitungen Leistungskategorien	21.10.2013
[18]	Stellungnahme AWW	19.02.2014
[19]	Lastprofile	19.01.2014
[20]	Versicherung Übersicht	04.06.2002
[21]	Risikoanalyse	16.10.2013
[22]	Strassensanierungsplan und Werkleitungen	20.03.2014

Tabelle 4: Referenzen

# 7. Anhang 1 Terminplanung

Die Machbarkeitsstudie wurde vom Juni 2013 bis April 2014 durchgeführt.

