

AREAL EICHHOF WEST, KRIENS



Quelle: Eichhof West

2. Evaluationsstufe

Variantenstudie Energieversorgung (AUSZUG)

Auftraggeber:

Generalplaner:

Gebäudetechnik
HLKKS/MSR:

BVK – Personalvorsorge des Kantons Zürich
Real Estate Management
Obstgartenstrasse 21
8090 Zürich

S+B Baumanagement AG
Technikumstrasse 61
8401 Winterthur
Herr André Blattner

Polke Ziege von Moos AG
Ingenieure für Gebäudetechnik
Zollikerstrasse 6
8032 Zürich

Herr Florian Poppele
Herr Gianni Ligi

Projektmanager
PM Gebäudetechnik / Nachhaltigkeit

Telefon: 044 421 19 19
E-Mail: info@pzm.ch

Herr Stefan Gebhardt HK
Herr Oliver Liebheit PL
Frau Joelle Meier L

Telefon direkt: 044 421 19 25
Telefon direkt: 044 421 19 76
Telefon direkt: 044 421 19 73

VERSIONENVERLAUF

Version	Datum	Beschreibung	Änderung in Seite	Autor
1.0	15.04.2020	Erstfassung		ol/jm/sg

Zürich, 15. April 2020/ol/jm/sg
Polke Ziege von Moos AG

ppa. O. Liebheit i.A. J. Meier / S. Gebhardt

191800 10A K01_Energieerzeugung

Seite 2

1. GRUNDLAGEN

1.1 Ausgangslage

Für das Areal Eichhof West sollen verschiedene Energiesysteme untersucht werden. Dieser Bericht dient der Bauherrschaft als Entscheidungsgrundlage für die Wahl der Energieversorgung Wärme / Kälte.

Bereits im Jahr 2016 hat die Firma Brücker + Ernst AG den Perimeter des Areals nach möglichen Energiequellen untersucht. In einer ersten Evaluationsstufe (Bericht PZM «Variantenstudie Energieversorgung» vom 20.02.2020) wurden die die gemachten Aussagen aus dem Bericht ge-
gengeprüft und weiter ausgearbeitet. Dabei bildeten sich die Varianten A bis E. Die Variante A mit Grundwassernutzung stellt sich als attraktivste Variante heraus. Da die Bezugsmenge ge-
mäss Vorabklärungen nicht ausreichen wird, ist eine zusätzliche Variante F entstanden, welche Grundwasser und Erdwärmesonden kombiniert. Die Offerte der ewl für die Fernwärme und Kälteversorgung wird nun mit der eigenen Versorgung durch die Variante F verglichen. Die übrigen Varianten werden vollständigshalber erneut aufgeführt.

1.2 Vorgehen

Um die Konzeptvarianten auszuarbeiten wird das Areal einer Bedürfnisanalyse unterzogen. Aus der Analyse ergeben sich Kennwerte für Leistung und Energie. Anhand der Kennwerte ist es möglich die Konzeptvarianten auf verschiedene Kriterien zu bewerten. Mit der Standortanalyse lassen sich mögliche Energiequellen auf dem Areal ermitteln.

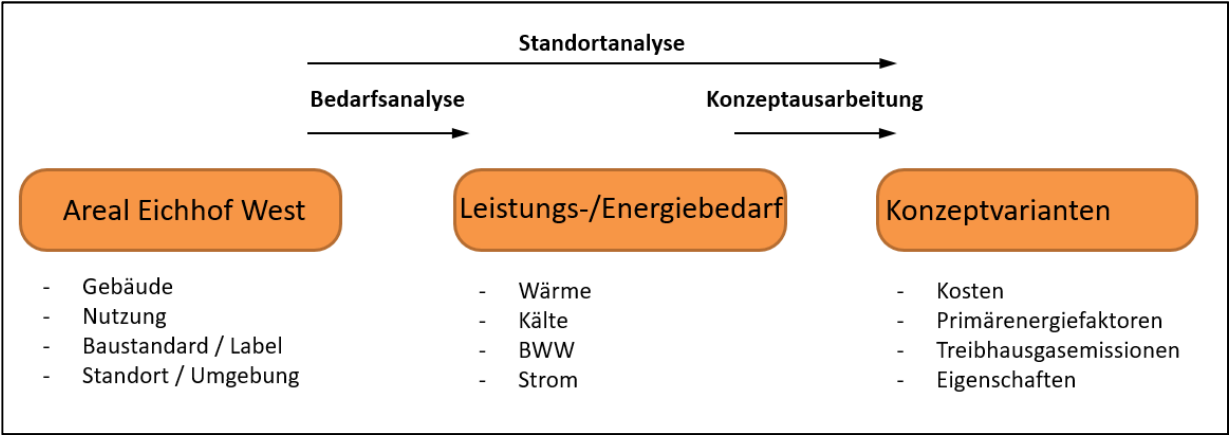


Abbildung 1: Vorgehensablauf

Die zweite Evaluationsstufe ist eine Erweiterung der Ersten und berücksichtigt die bis anhin ge-
machten Schritte in der Vorprojektplanung. Die Energieversorgung soll gesamtheitlich betrach-
tet werden, daher ist die elektrische und thermische Solarnutzung miteingebunden.

1.3 Auslegungsgrundlagen

Standort		Kriens LU
Aussenbedingungen		
Klimastation		Luzern
Sommer	32 °C	38% r.F.
Winter (Raumheizung)	-8 °C	-% r.F.
Systemtemperaturen Heizung		
Wohnungen (FBH)		35/30 °C
Gewerbe		40/30 °C
Lufterhitzer		40/30 °C
BWW		60 °C
Systemtemperaturen Kälte		
Raumkühlung (FBK, KD)		18/21 °C
Luftkühler		14/20 °C
Technische Kälte		14/19 °C

1.4 Vorgaben Bauherrschaft

Aus der Startsituation vom 14.01.2020 sind folgende Punkte in Bezug auf das Energiekonzept eingeflossen:

- Areal West wird unabhängig vom Areal Süd geplant
- Bauherrschaft strebt eine eigene Energieerzeugung mit Kosteninvestment an
- Baufeld A (WAS) wird in dem Energiekonzept mitberücksichtigt → separat ausgewiesen
- Baufeld A (WAS) besteht neu aus der Hauptnutzung Büro (höherer Kältebedarf, kleinerer BWB-Bedarf)
- Wohnungen sollen über die FBH eine Kühlmöglichkeit haben (Temperierung)
- Angestrebt wird das Energielabel SNBS Gold
- Es gilt die MuKE 14

Im Verlauf der Projektbearbeitung sind weiter folgende Punkte eingeflossen:

- Angestrebt wird das Energielabel Minergie A
- Der SIA Effizienzpfad 2040 soll erreicht werden
- Auf fossile Energieträger soll verzichtet werden

1.5 Planungsstand

Die Baufelder C und D befinden sich in der Vorprojektphase. Die Baufelder A und B sind noch auf dem Stand der Wettbewerbsphase. Das Baufeld D hat gegenüber den Grundlagen im Wettbewerb nur noch 50% der Wohnflächen. Entsprechend nimmt der Bedarf für dieses Baufeld ab. Das Baufeld C hat im Vorprojekt dieselben Flächenangaben wie im Wettbewerb.

1.6 Energielabels

SIA-Effizienzpfad Energie 2040

Der SIA-Effizienzpfad entspricht der 2000-Watt-Gesellschaft und regelt den Verbrauch von Treibhausgasemissionen und Primärenergie nicht erneuerbar in Erstellung, Betrieb und Mobilität. Für das Energiekonzept sind die Zielwerte des Betriebs massgebend.

Für Wohnbauten im Neubau gelten folgende Anforderungen:

- Treibhausgasemissionen $2.5 \text{ kg/m}^2_{\text{EBF}}$
- Primärenergie n. e. $200 \text{ MJ/m}^2_{\text{EBF}}$

Minergie A

Ein Minergie A Gebäude weist eine positive Energiebilanz über das Jahr aus. Dabei ist eine hohe Gestaltungsfreiheit gegeben, wie die Anforderungen erreicht werden können. Es ist keine erhöhte Anforderung an die Gebäudehülle vorgeschrieben, jedoch ist eine umfangreiche PV-Anlage für die positive Energiebilanz erforderlich.

Für Wohnbauten im Neubau gelten folgende Anforderungen:

- Minergie-Kennzahl $35 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ (gewichtete Energiezahl nach Minergie)
- Wärmedämmung gemäss MuKE

SNBS Gold

Der Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS 2.0) bewertet das gesamte Gebäude in breit gefächerten Kategorien. Die Bewertung erfolgt nach dem Schweizer Schulsystem mit den Noten 1-6. Für die Auszeichnung «Gold» ist eine Gesamtnote von 5.0 – 5.4 notwendig. Kriterien in Bezug auf die Energieversorgung sind wie beim SIA-Effizienzpfad die Treibhausgasemissionen und die Primärenergie nicht erneuerbar.

Für Wohnbauten im Neubau gelten für das Label «Gold» folgende Anforderungen:

- Treibhausgasemissionen $1.2 - 2.3 \text{ kg/m}^2_{\text{EBF}}$
- Primärenergie n. e. $20 - 39.9 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBF}}$ resp. $72 - 143 \text{ MJ/m}^2_{\text{EBF}}$

Aus den Kennzahlen ist erkennbar, dass die Anforderungen für SNBS Gold-Zertifizierung höher liegen als beim SIA-Effizienzpfad.

1.7 Bilanzgrenze

Die Bilanzgrenze umfasst für den Variantenvergleich nur die Energiequelle mit der Erzeugung/Umwandlung. Die weiteren Anlagekosten sind für alle Varianten identisch. Diese Bilanz ist deckungsgleich mit dem Angebot der ewl.

Inklusiv:

- Energiequelle mit Anbindung
- Wärmeerzeugung ohne Speicher
- BWW-Erzeugung ohne Speicher
- Kälteerzeugung ohne Speicher
- Regeneration (falls notwendig)

Exklusiv:

- Arealverteilung
- Gebäudeverteilung und Abgabesysteme
- BWW Speicher und BWW-Aufbereitung

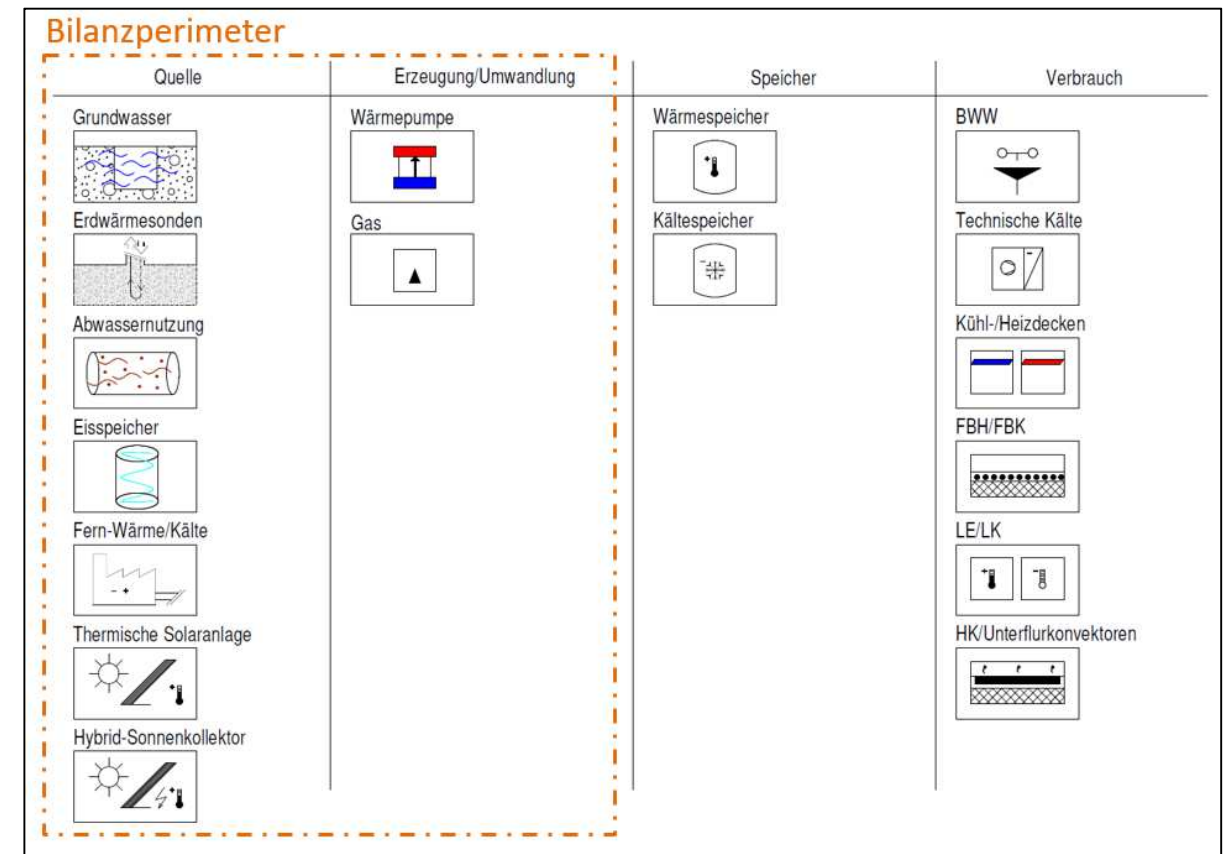


Abbildung 2: Bilanzgrenze

2. BEDARFSANALYSE

2.1 Grundlagen

Die Bedarfsanalyse basiert auf folgenden Grundlagen:

- Nutzung und Fläche pro Baufeld
- flächenbezogenen Kennzahlen (Zielwerte) nach SIA 2024 (2015)
- angepasste flächenbezogenen Kennzahlen gem. PZM (gelbe Markierung)
- Gleichzeitigkeitsfaktoren für die Erzeugung

Aus der Bedarfsanalyse resultieren Leistungs- und Verbrauchszahlen für:

- Raumheizung
- Raumkühlung
- Lüftung
- Brauchwarmwasser
- Strom (Beleuchtung und Betriebseinrichtungen)

Die detaillierte Zusammenstellung befindet sich im Anhang.

2.2 Bedarf

Der **Leistungsbedarf** nach Gewerk stellt sich wie folgt zusammen.

Tabelle 1: Leistungsbedarf nach Baufeldern

Baufeld	Wärme [kW]	BWW [kW]	Kälte [kW]	Elektro [kW]
A	260	30	470	185
B	220	85	190	135
C	120	50	50	35
D	120	50	50	35
TG	-	-	-	15
WP	-	-	-	240
Total	720	215	760	645

(Die Werte sind teilweise gerundet)

- Für das BWW wurden Ladezeiten von 8-10 h/d eingerechnet. Längere Ladezeiten würden eine zu geringe Spitzenleistung bedeuten und kürzere Ladezeiten eine punktuell höhere Belastung der Energiequelle.

Der **Energiebedarf** nach Gewerk stellt sich wie folgt zusammen:

Tabelle 2: Energiebedarf nach Baufeldern

Baufeld	Wärme [MWh]	BWW [MWh]	Kälte [MWh]	Elektro [MWh]
A	255	32	240	280
B	250	185	85	365
C	145	120	10	55
D	145	120	10	50
TG	-	-	-	10
WP	-	-	-	300
Total	795	457	345	1'060

(Die Werte sind teilweise gerundet)

- Der Kältebedarf beträgt 27% des Wärmebedarfs inkl. BWW.

3. ENERGIEKONZEPTE

Folgende Varianten wurden für das Energiekonzept untersucht:

- Ausgeschlossene Varianten
- Variante A: Grundwasser
- Variante B: Erdwärmesonden
- Variante C: Abwasserwärmenutzung
- Variante D: Eisspeicher
- Variante E: Fernwärme / Fernkälte (ewl)
- Variante F: Grundwasser kombiniert mit Erdwärmesonden

Alle Varianten ausser Variante «E» bestehen aus einer Energiequelle kombiniert mit einer Wärmepumpe. Nachfolgend ist jede Variante kurz erläutert.

3.1 Ausgeschlossene Varianten

Fossile Brennstoffe

Eine Lösung mit rein fossilen Brennstoffen entspricht nicht einem modernen Energiekonzept und ist nach MuEn14 ohne Kombination mit nachhaltigen Systemen (Solar/PV) nicht bewilligungsfähig. Die Nachhaltigkeitsfaktoren lassen keine SNBS Gold-Zertifizierung zu. Die Kälteerzeugung müsste separat erstellt werden. Die Energiepreise für Gas sind pro 1 kWh Wärme deutlich höher als bei Strom. Daher hat diese Variante auch keinen wirtschaftlichen Vorteil.

Aussenluft-Wärmepumpe

Aussenluft könnte zu Heiz- und Kühlzwecken verwendet werden. Die Gesamteffizienz der Anlage ist deutlich geringer als von Energiequellen, die von den Aussenbedingungen abhängig sind (z.B. Erdsonden). Es werden grosse Anlagekomponenten (Rückkühler) im Freien benötigt. Die Komponenten benötigen bauliche Hilfskonstruktionen und es gehen Fläche für die Solaranlagen verloren. Die Schall-Emissionen sind ebenfalls kritisch in einem Wohngebiet.

Holz

Holz hat hervorragende Nachhaltigkeitswerte. Der Unterhalt der Anlage ist jedoch umfangreich und die Kälteerzeugung müsste separat erstellt werden. Der Energiepreise für 1 kWh Wärme ist für Holz 3x höher als der Strompreis in Kombination mit einer WP. Daher hat diese Variante auch keinen wirtschaftlichen Vorteil. Ein weiterer Punkt sind die Feinstaub-Emissionen, welche in städtischen Gebieten problematisch sind.

3.2 Variante A: Grundwasser

Auf dem Areal Eichhof West ist Grundwasser vorhanden, dieses bietet ein ideales Potenzial als Energiequelle. Mit einem spezifischen Energiepreis von 0.11 Rp/kWh Wärme, ist diese Variante die kostengünstigste Lösung. Nach ersten Abklärungen wird die Bezugsmenge nicht ausreichen. Die fehlende Quellenleistung (ca. 20%) muss anderweitig kompensiert werden. Das Grundwasser hat eine hohe Quelltemperatur (ca. 10°C), welches zu einem effizienten Wärmepumpenbetrieb führt. Eine saisonale Speicherung ist nicht möglich, da das Grundwasser eine Flussrichtung hat. Eine Regeneration ist daher nicht notwendig.

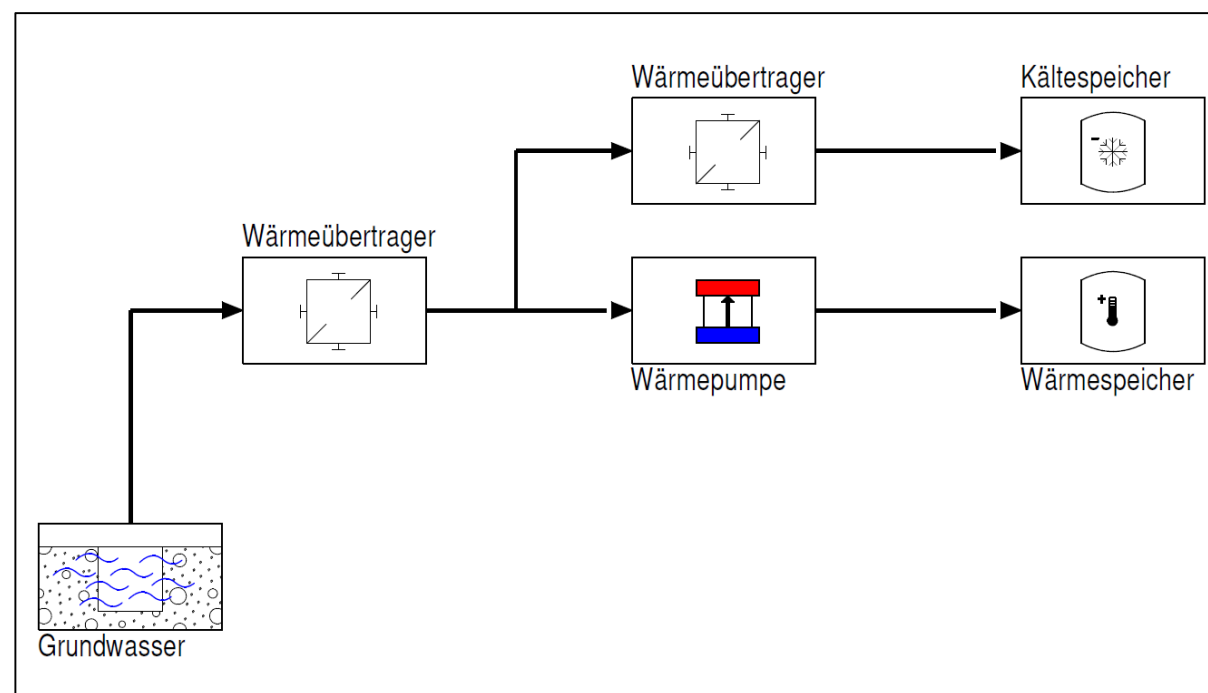


Abbildung 3: Konzeptschema Grundwasser

Kennzahlen

Verfügbarer Volumenstrom:	2.0 m ³ /min. (nach ersten Vorabklärungen)
Benötigter Volumenstrom:	2.4 m ³ /min.
Temperaturdifferenz Quell/Senke:	3 – 4 Kelvin
Investition:	843'000.- CHF (bei reiner Grundwassernutzung)
Spez. Energiepreis Wärme:	0.11 Rp. / kWh

3.3 Variante B: Erdwärmesonden

Erdsonden als Energiequelle sind auf dem Areal möglich. Durch die Hanglage und das Grundwasservorkommen ist der Bohrperimeter eingeschränkt und in einigen Flächen mit Auflagen versehen. Die EWS müssen unter der Bodenplatte der Tiefgarage gebohrt werden. Durch die vielen Bohrungen entsteht ein EWS-Feld, welches als saisonaler Speicher dient.

Der deutlich höhere Wärmeverbrauch führt zu einer Auskühlung des Erdreiches. Daher ist eine Regeneration notwendig. Diese kann z.B. durch hybride Sonnenkollektoren und Raumkühlung erfolgen. Mittels Simulation kann der optimale Bohrabstand und die Bohrtiefe ermittelt werden. Dadurch lassen sich die Bohrmeter optimieren (bis zu -30%).

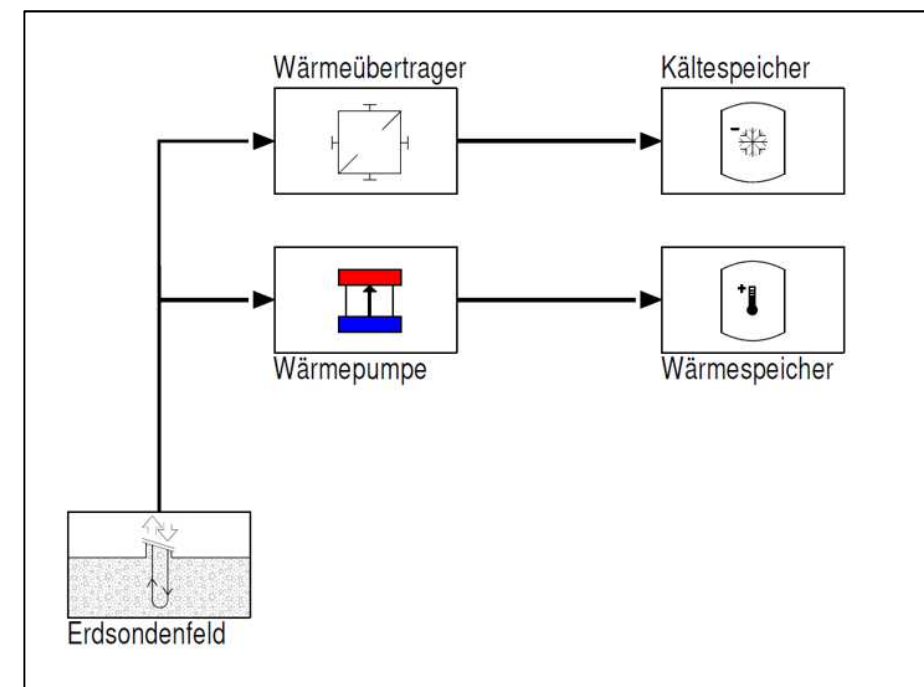


Abbildung 4: Konzeptschema Erdwärmesonden

Kennzahlen

Verfügbare Fläche:	12'000 m ²
Benötigte Fläche:	4'000 m ²
Bohrungen:	76 Stk. à 250m Tiefe
Regeneration:	Hybrid PV-Module (gesamte Dachfläche)
Investition:	4'140'000.- CHF
Spez. Energiepreis Wärme:	0.20 Rp. / kWh

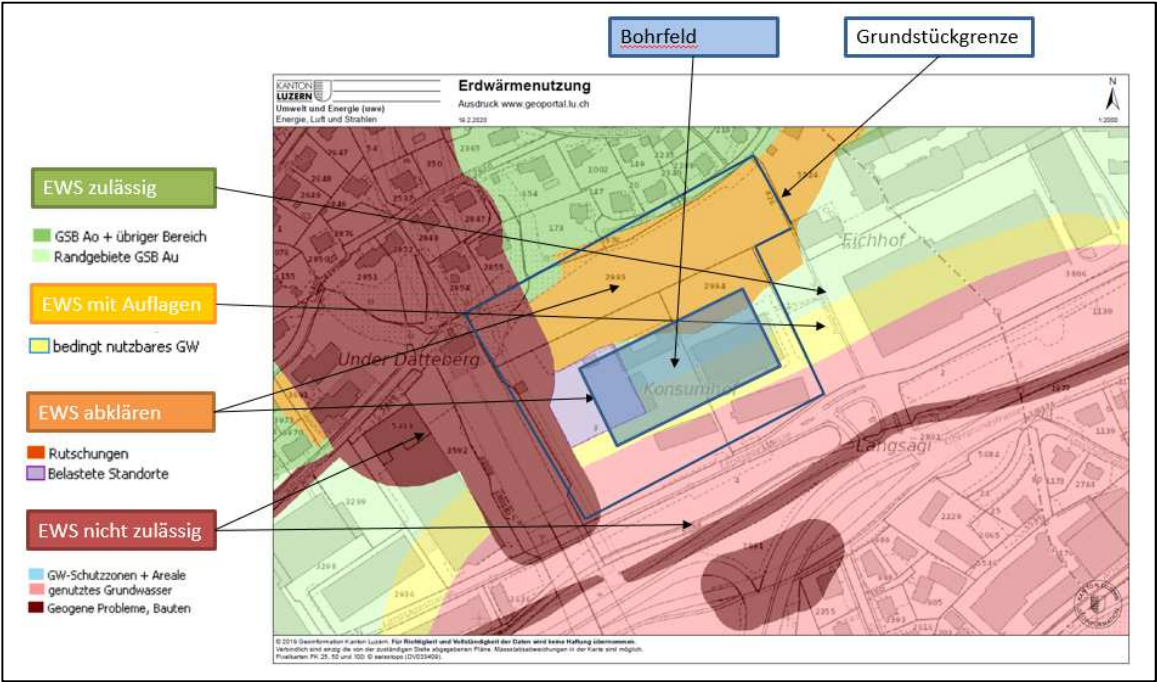


Abbildung 5: Auszug Geoportal EWS



Abbildung 6: vorgesehenes Bohrfeld

3.4 Variante C: Abwasserwärmenutzung

Die Abwasserwärmenutzung kann aufgrund des vorhandenen Potenzials realisiert werden. Der Unterhalt ist in Folge der Verschmutzung und Abnutzung aufwendig, entsprechend hoch sind auch die Unterhaltskosten. Bei Regenfall sinkt die Temperatur im Abwasserkanal, was Leistungseinbussen zur Folge hat. Wartungsarbeiten an der Energiequelle bedeuten auch immer einen eingeschränkten Betrieb oder sogar einen Betriebsunterbruch. Um diesen zu verhindern, müsste eine Stützheizung (z.B. Gaskessel oder Luft-WP) realisiert werden, welche zusätzliche Kosten zur Folge hätte.

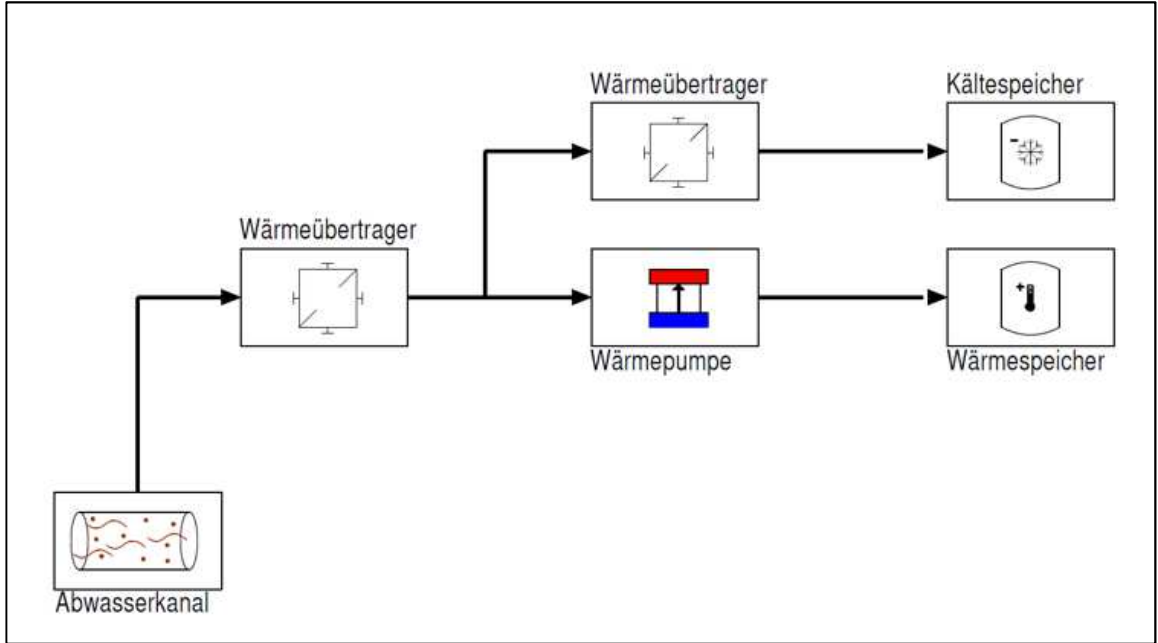


Abbildung 7: Konzeptschema Abwasserwärmenutzung

Kennzahlen	
Wärmepotenzial Abwasser:	625kW / 1'573 MWh
Fördermenge Abwasser:	Benötigt: 38 l/sec. Verfügbar: 50 l/sec.
Temperaturdifferenz Quell/Senke:	4 Kelvin
Investition:	1'250'000.- CHF
Spez. Energiepreis Wärme:	0.16 Rp. / kWh

3.5 Variante D: Eisspeicher

Die Variante Eisspeicher ist auch in grossem Stil möglich, wie Erfahrungsberichte zeigen. Die Erfahrungen tendieren dabei auf beide Seiten, von «ebenbürtig einer Erdsonde» bis zu «massiv erhöhtem Strombedarf».

Das Zusammenspiel zwischen Speicher, Solaranlage und Wärmepumpe, muss genau abgestimmt sein. Der Eisspeicher dient dabei als saisonaler Speicher. Im Sommer besteht die Gefahr der Überhitzung und im Winter kann der Speicher zu stark unterkühlen. Im Vergleich zu einem Erdsondenfeld, ist der Eisspeicher eine sensiblere Energiequelle. Dies erfordert eine komplexe Regulierung der unterschiedlichen Betriebsarten.

Der deutlich höhere Wärmeverbrauch führt zu einer Auskühlung des Speichers und dem umliegenden Erdreich. Daher ist eine Regeneration notwendig. Diese kann z.B. durch hybride Sonnenkollektoren und die Raumkühlung erfolgen. Die tiefer Quelltemperatur erlaubt einen weniger effizienten Einsatz der Wärmepumpe. Im Sommer kann es vorkommen, dass der Speicher überhitzt und ein Free-Cooling Betrieb nicht mehr möglich ist.

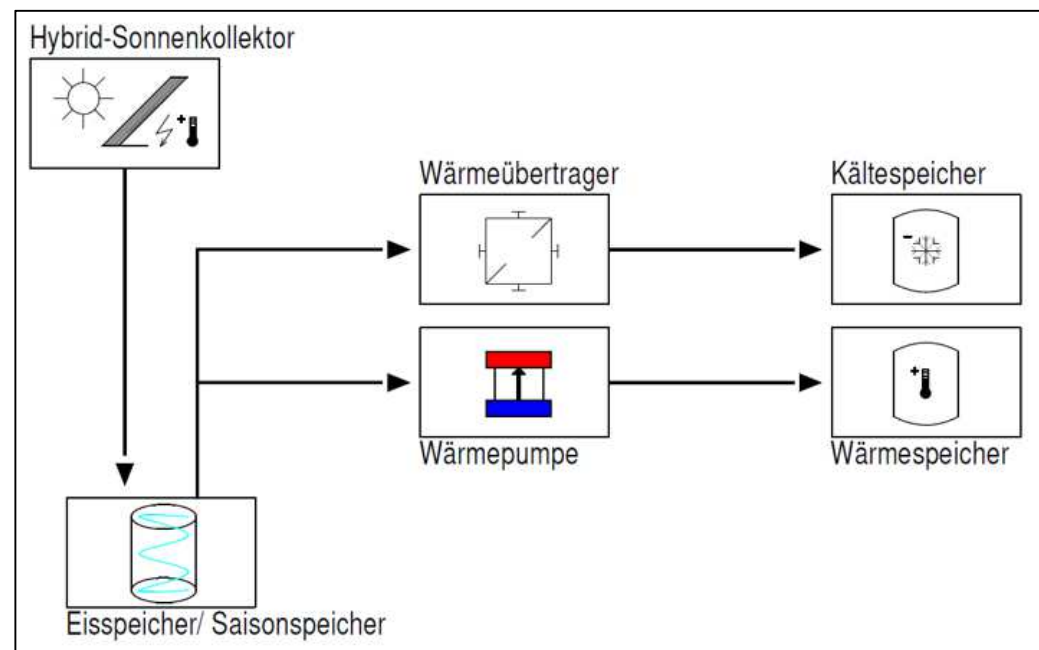


Abbildung 8: Konzeptschema Eisspeicher

Kennzahlen

Eisspeicher:	2 Speicher à jeweils 750 m ³ Höhe 4m, Durchmesser 15m
Regeneration:	Hybrid PV-Module (gesamte Dachfläche)
Investition:	2'760'000.- CHF
Spez. Energiepreis Wärme:	0.19 Rp. / kWh

3.6
Variante E:
Fernwärme / Fernkälte (ewl)

Ewl als Energiedienstleister im Raum Luzern, bieten im Gebiet des Areals Eichhof West eine Fernwärme- und Fernkälteversorgung an. Das Areal befindet sich im erweiterten Kundenperimeter, welcher noch in der Konzeptphase ist.

Dabei dient der Vierwaldstättersee im Horwer-Seebecken als Energiequelle. Mittels einem Zwischenkreislauf werden die Kundenzentralen erschlossen. Von diesen Kundenzentralen verkauft ewl hochwertige Wärme und Kälte an die Kunden. Die Firma ewl hat eine Offerte für das Areal Eichhof West erstellt.

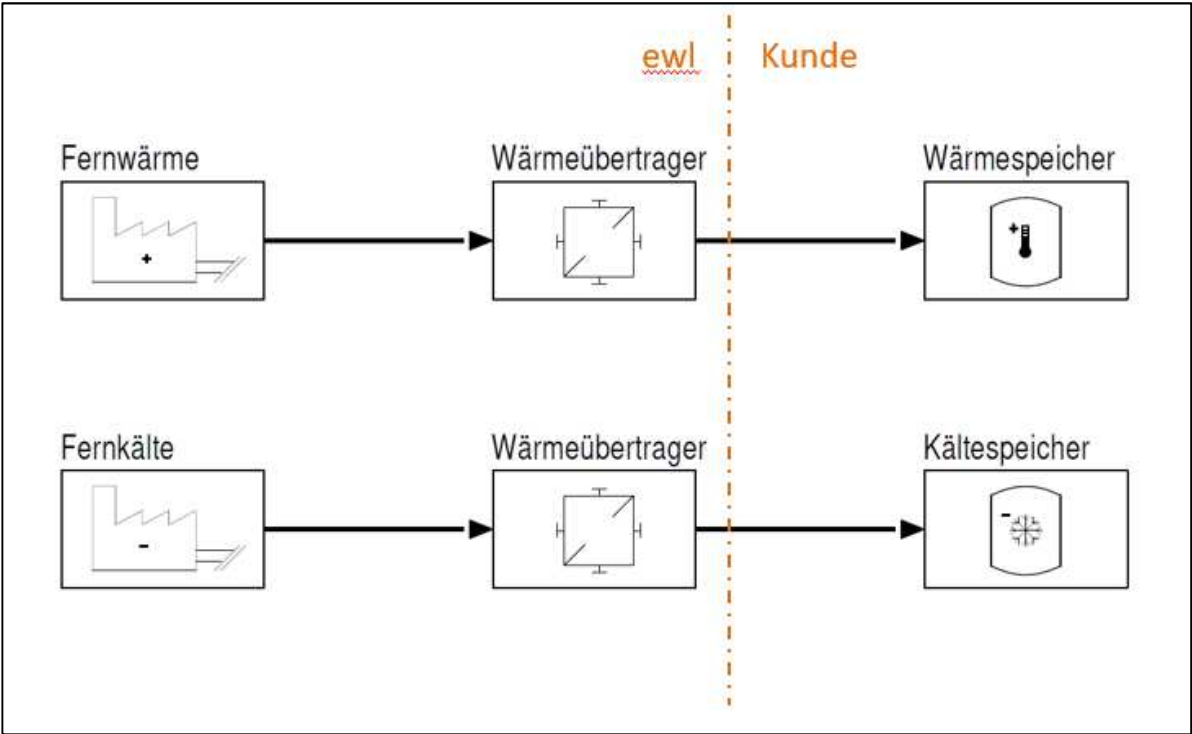


Abbildung 9: Konzeptschema Fernwärme / Fernkälte

Angebot

Bei der Offerte der ewl handelt es sich um ein Standardangebot, welches unterteilt ist in ein Angebot für Wärme und Kälte.

- Offerte Wärme 40 Nummer 22905
- Offerte Kälte permanent Nummer 22906

Anbei ist eine Zusammenstellung der Medientemperaturen und der Preise:

Tabelle 3: Medientemperaturen ewl

Medium	Vorlauftemp. [°C]	Rücklauftemp. [°C]
Wärme	RH 40 / BWW 65	30
Kälte	12	18

Tabelle 4: Anschluss- und Energiepreis ewl

Medium	Grundpreis [CHF/kW Mt.]	Grundpreis Total [MWh/a]	Energiepreis [Rp/kWh]
Wärme	10.72	118'863	10.18
Kälte	9.08	82'591	4.81
Total	-	201'454	-

Bemerkung: Der Leistungs- und Energiebedarf hat sich aufgrund der Projektentwicklung leicht verändert. Die neue Summe ist auf die vorgegebenen Grund- und Energiepreise aufgerechnet, um die Offerte mit den anderen Varianten vergleichen zu können.

3.7 Variante F: Grundwasser kombiniert mit Erdwärmesonden

Das Areal liegt über einem Grundwasservorkommen. Die vorabgeklärte Bezugsmenge liegt bei 2.0 m³/min. Diese reicht nicht aus, um den gesamten Wärmebedarf zu decken. Daher wird zusätzlich ein Erdsondenfeld vorgesehen. Das regionale Konzept Wärme Kälte Luzern Süd sieht bereits für das Areal Eichhof West eine Grundwassernutzung oder Pfahlfundation vor. Der Bericht befindet sich im Anhang – Seite 52.

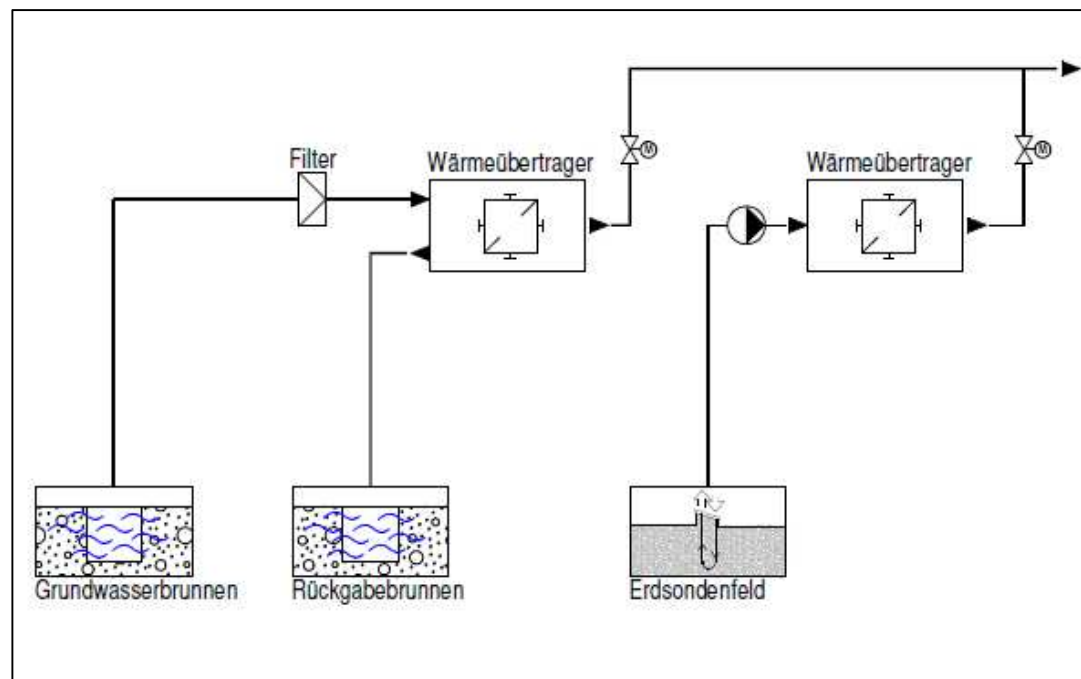


Abbildung 10: Konzeptschema Grundwasser mit Erdwärmesonden

Gebühren

Die Jahresgebühren liegen bei 4 Fr/Minutenliter für die Wärmenutzung und 8 Fr/Minutenliter für Kühlzwecke. Bei kombinierten Anlagen wird eine Mischrechnung anhand der bezogenen Energie durchgeführt. Für das Areal Eichhof West ergibt das einen Preis von 5 Fr/Minutenliter.

Alternative Grundwassernutzung

Falls die direkte Grundwassernutzung nicht umsetzbar ist, gibt es auch die Möglichkeit, die statische Pfahlfundation des Baukörpers energetisch zu aktivieren.

Dabei wird die Pfahlfundation mit Rohrleitungen versehen, ähnlich wie bei den Erdsonden. Das Grundwasser umströmt die Energiepfähle und gibt dabei die Energie indirekt an den Zwischenkreis ab. Eine Regeneration ist nicht notwendig, denn das Grundwasser fließt unterirdisch durch das Areal.

Die Energieeffizienz ist der einer Erdsondenlösung gleichgestellt. Die Kosten fallen ca. 15% höher aus als bei der Variante «F». Eine Simulation ist für dieses Vorhaben notwendig.

Planungsrisiken und Empfehlungen

Die Machbarkeit und mögliche Bezugsmenge des Grundwassers sind noch in Abklärung. Momentan läuft ein hydrogeologisches Gutachten.

Die effektive Bezugsmenge muss bei einem fortgeschritteneren Planungsstand definiert werden. Dazu müssen in jedem Bau Feld die Nutzung und die dazugehörige Fläche bekannt sein und dürfen nicht mehr allzu stark von der Vorgabe abweichen. Dies sollte im Verlauf des Vorprojektes der Fall sein.

Wenn die benötigte Wärmeleistung in der weiteren Planung noch weiter abnimmt und die Bezugsmenge ergiebig ist, könnte auf das zusätzliche Erdsondenfeld verzichtet werden.

Das weitere Vorgehen wurde mit dem Amt (uwe) abgeklärt. Sobald das geologische Gutachten vorhanden ist, kann entweder eine Vorbesprechung abgehalten werden oder das Konzessionsgesuch zur Vorprüfung eingereicht werden.

Bei Anlagen in dieser Grösse ist eine Temperaturüberwachung notwendig.

Die Brauerei Eichhof bezieht Grundwasser aus einem Brunnen stromabwärts. Es muss sichergestellt werden, dass keine Beeinflussung dieser Quelle stattfindet. Ein Beeinflussen definiert das uwe, wenn die Temperatur um mehr als 1 K abweicht. Entweder kann das Gespräch mit der Brauerei gesucht werden, dass sie eine höhere Temperaturabweichung zulassen oder die Temperaturbeeinflussung ist mittels Simulation rechnerisch nachzuweisen.

Die gesetzliche Anforderung der Temperaturdifferenz zwischen Entnahme und Rückgabe beträgt ± 3 K nach 100m im Abströmbereich. Wird die Anlage mit einer höheren Temperaturdifferenz betrieben, muss der Nachweis mittels Modellierung erbracht werden.

4.5 Nachhaltigkeit

In der Nachhaltigkeitsbetrachtung fließen die Faktoren Treibhausgasemissionen ($\text{kg CO}_2/\text{m}^2$) und Primärenergie nicht erneuerbar (MJ/m^2) gemäss SIA-Effizienzpfad 2040 und SNBS ein. Dabei enthalten sind die Werte für Raumwärme, Warmwasser und Kälte. Die Werte für die Lüftung, Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und Hilfsenergie sind separat dazuzurechnen. Für die Fernwärme / Fernkälte sind noch keine Angaben für die Primärenergie n. e. vorhanden.

Der Strom entspricht noch dem Standartmix. Durch die Berücksichtigung der PV-Stromproduktion und einem Anteil Ökostrom, lassen sich die Werte noch deutlich senken.

Die Varianten zeigen in den beiden Diagrammen ähnliche Werte auf. Im Punkt der Nachhaltigkeit sind sich alle Varianten praktisch gleichgestellt.

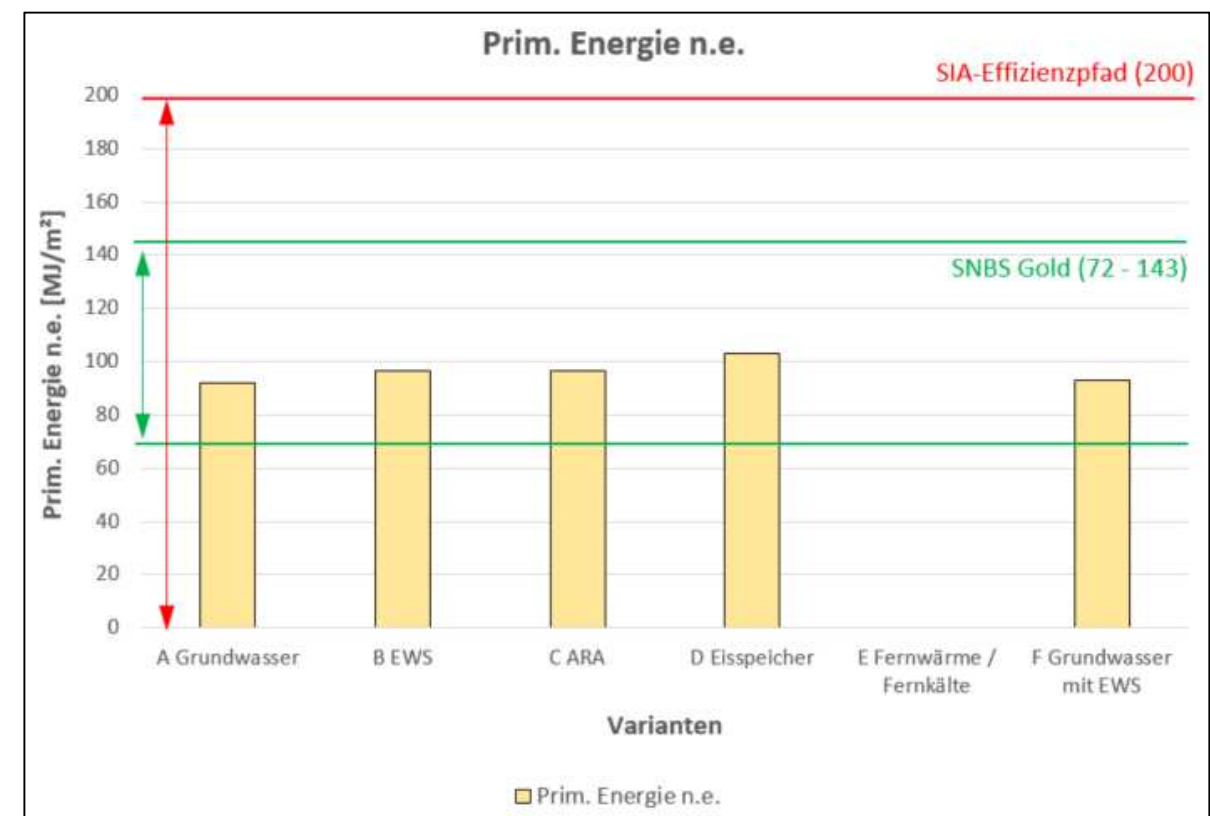


Abbildung 15: Primärenergie nicht erneuerbar

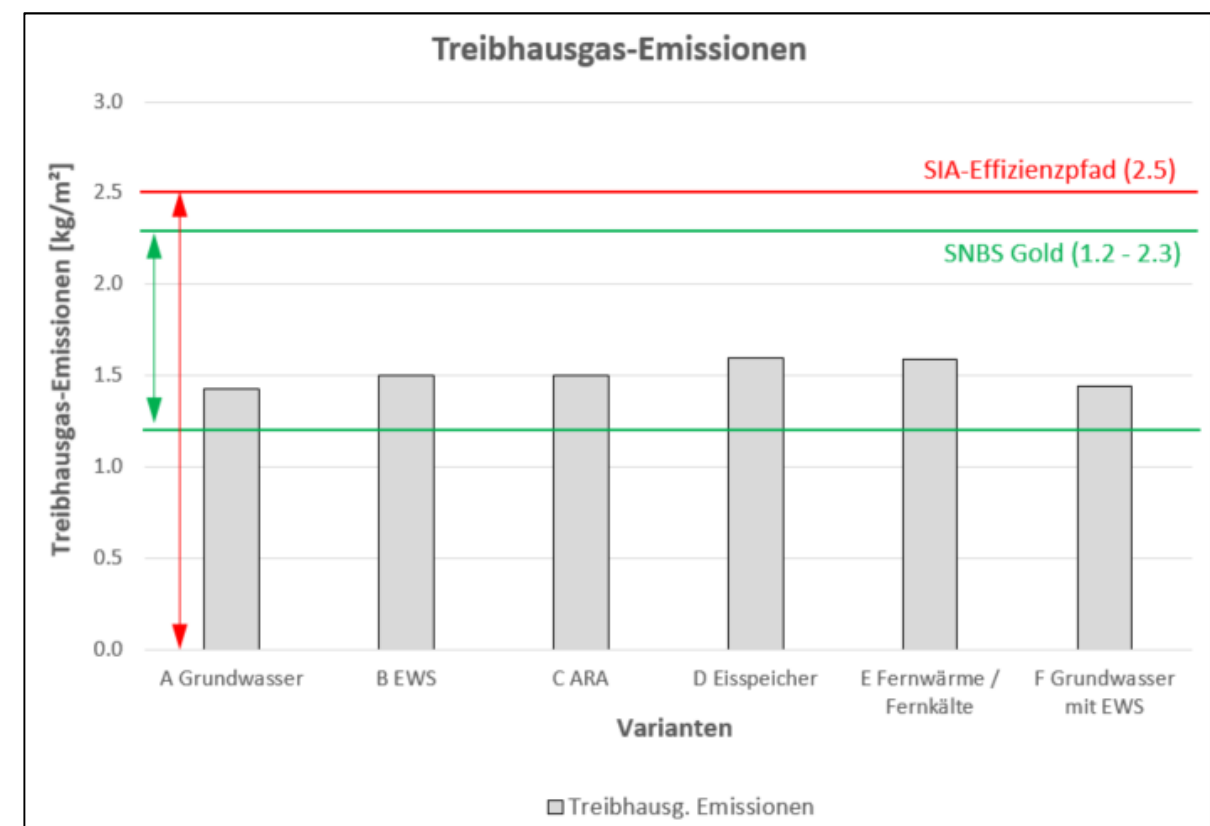


Abbildung 16: Treibhausgasemissionen

5. ERSCHLIESSUNGSKONZEPT

Wir empfehlen eine zentrale Wärmeaufbereitung mit Unterstationen in jedem Baufeld, wie die nachfolgende Abbildung zeigt.

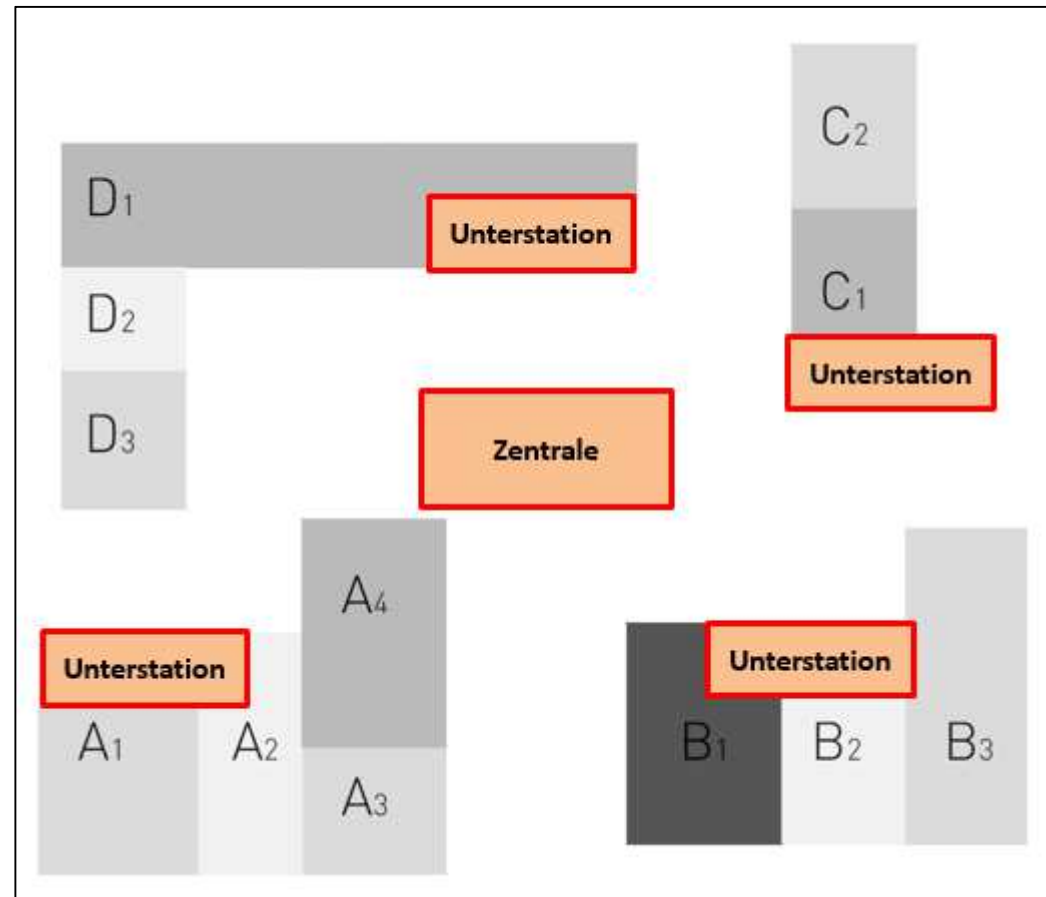


Abbildung 18: Erschliessungskonzept

Leistungsreserven

Im Vorprojekt müssen mit der Bauherrschaft mögliche Leistungsreserven für Wärme und Kälte definiert werden.

Zentrale Wärmeaufbereitung:

- Raumwärme und Raumkälte
- Hauptverteilung Baufelder

Unterstationen:

- Feinverteilung
- BWW-Aufbereitung (WP und Speicher und Frischwasserstationen)

Merkmale:

- Zentrale Geräteanordnung
- Redundanz durch mehrere Apparate (WP, Pumpen)
- Bessere Ausbaufähigkeit
- Leicht höhere Verteilverluste gegenüber der dezentralen Anordnung

Bemerkung:

Eine zentrale BWW-Erzeugung empfehlen wir nicht. Die Verteilverlust sind wesentlich höher als in der Heizung. Die Druckverluste in den Sanitär-Verteilleitungen werden zu hoch.

Kältemittel

Bei dieser Anlagegrösse ist der Einsatz von nachhaltigen Kältemitteln für die Wärmepumpe erforderlich. In Frage kommen natürliche Kältemittel (CO₂, Ammoniak) oder HFO (R1234ze). Die Bauherrschaft wünscht den Einsatz von HFO. Alle Kältemittel erfordern ein Sicherheitskonzept mit einer Gaswarnanlage, Signalisation, Sturmlüftung und Ex-Schutz. Damit die Sicherheitsmassnahmen möglichst eingedämmt sind, ist pro Wärmepumpe ein separater Raum vorgesehen.

Der Platzbedarf für die Sturmlüftung ist bereits in die Angabe der Technikflächen eingeflossen. Die weitere detaillierte Ausarbeitung wird im Verlaufe des Vor- und Bauprojekt präzisiert.

Die Hochtemperatur-Wärmepumpen für das BWW können aufgrund der geringen Leistung mit Standardkältemitteln betrieben werden.

6. THERMISCHE SOLARANLAGE

Die thermische Solaranlage unterstütz die Brauchwarmwasserproduktion. Dadurch kann im Sommer die Hochtemperatur-Wärmepumpe entlastet werden. Der Einsatz von Primärenergie lässt sich dadurch ebenfalls vermindern

Brauchwarmwasserbedarf

Der Brauchwarmwasserbedarf ist für alle Baufelder nach SIA 385/2 ausgelegt. Das bedeutet einen durchschnittlichen Brauchwarmwasserbedarf pro Person von 45 l/d (erhöhter Standard) und folgende durchschnittliche Personenbelegung pro Wohnung:

Tabelle 5: Personenbelegung Wohnung

Wohnungsgrösse	Personen
1.5	1.2
2.5	1.8
3.5	2.1
4.5	2.5
5.5	3.0

Die angegebenen Personenbelegung und der BWW-Bedarf richten sich an die Bauherrschaft als Vorschlag und sind durch diese zu bestätigen. Die Werte können auch pro Baufeld individuell definiert werden z.B. anhand von Erfahrungen aus anderen Bauvorhaben. Entscheidend für die Definition des Warmwasserbedarfes sind Ausbaustandart, Preissegment der Wohnung und der Zweck z.B Studentenwohnung, soziales Wohnen etc.

Thermische Solaranlage

Am Standort Eichhof West wurden mittels des Simulationsprogramms «Polysun» vier Referenzberechnungen durchgeführt. Die detaillierten Berechnungsergebnisse befinden sich im Anhang.

Berechnungsgrundlagen

- 20 Personen (erhöhter Standard)
- Brauchwarmwassernutzung ohne Heizung
- Flachkollektor
- Aufstellwinkel: 47°, Ausrichtung: Süd

Tabelle 6: Auswertung Auslegung thermische Solaranlage

Index	Kollektorfläche [m²]	Ertrag [kWh]	Deckungsgrad [%]	Ertrag pro Fläche [kWh/m²]	Kosten [CHF/kWh]
1	10.5	6'043	33	576	3.82
2	14.7	8'038	43	547	3.84
3	21.0	10'457	55	498	4.02
4	31.5	13'373	69	425	4.59

Auswertung

Aus den Ergebnissen der Simulation ist zu erkennen, dass bei steigendem Jahresdeckungsgrad der thermische Ertrag pro m² Kollektor abnimmt. Grund dafür ist die Überproduktion an sonnigen, ertragreichen Tagen.

Das nachfolgende Diagramm zeigt in den vier Referenzpunkten in Orange den Ertrag pro m² Kollektorfläche und in Grün die Kosten pro kWh Solarertrag in Bezug auf den Deckungsgrad. Die dazugehörige Linie bildet den Trend dar.

Weil der Ertrag bei einem höherem Deckungsgrad prozentual abnimmt muss mehr Kollektorfläche installiert werden. Es ist erkennbar, dass zwischen 40 – 50% Deckungsgrad die Investitionskosten exponentiell zunehmen.

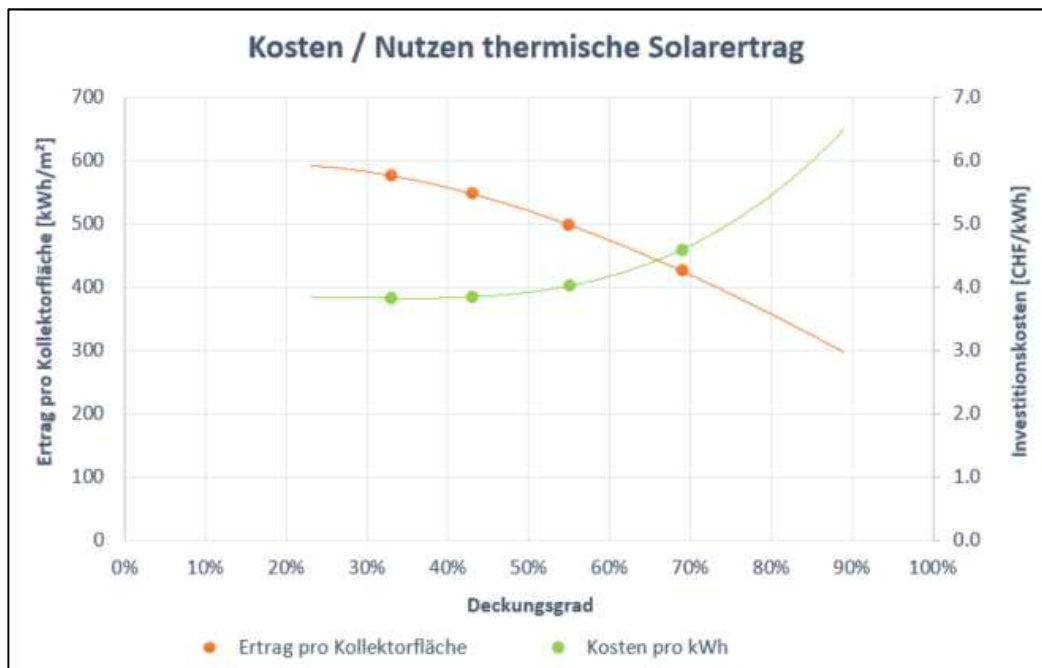


Abbildung 19: Kosten / Ertrag thermische Solaranlage

Wir empfehlen daher einen Deckungsgrad von 40% für die Brauchwarmwasserproduktion zu wählen, welcher ein ideales Kosten/Nutzen-Verhältnis bildet.

Das ergibt einen thermischen Jahresertrag von 550 kWh/m² Kollektorfläche. Dies entspricht 0.7 m² Kollektorfläche pro Person. Pro Baufeld ergeben sich folgende Kollektorflächen:

Tabelle 7: Flächenbedarf thermische Solaranlage

Baufeld	Planungsstand	Kollektorfläche [m²]
A	Wettbewerb	50
B	Wettbewerb	220
C	Vorprojekt	100
D	Vorprojekt	100

Speicher

Die Speicher werden im Minimum auf einen halben Tagesbedarf ausgelegt. Das grosse Volumen erlaubt eine hohe Speicherung des Solarertrages. Dabei wird ein Teil der produzierten Wärme direkt verbraucht und die restliche Wärme kann für die Nacht zwischengespeichert werden.

PV und thermische Solaranlage

Die thermische Solaranlage steht für die Nutzung der Dachflächen in Konkurrenz mit der PV-Anlage. Eine PV-Anlage produziert um die 120 kWh/m², durch den Einsatz einer WP (JAZ 3.5) kann daraus 420 kWh Wärme produziert werden. Dieser Wert liegt 23% unter dem Ertrag einer thermischen Solaranlage. Daher lohnt es sich, einen Teil der PV-Fläche für eine thermische Solaranlage vorzusehen. Zudem muss bei einer direkten Wärmenutzung über die thermische Solaranlage keine WP betrieben werden und keine Energiequelle z.B. Grundwasser gefördert werden, was die effizienz der thermischen Solaranlage nochmals verstärkt.

Heizungsunterstützung

Eine Heizungsunterstützung wäre an sonnigen kalten Tagen durch intelligente Regler mit Wettervorhersage und Verbrauchertrends möglich. Dabei muss sichergestellt werden, dass nicht zu viel hochwertige Wärme in das Heizungsnetz übergeht, die dem Brauchwarmwasser später fehlen.

7. PV-ANLAGE

Die PV Simulation mit Eigenverbrauch berücksichtigt die gesamte Dachfläche. Daraus lässt sich eine Grössenordnung für das Solarpotenzial der Dachflächen ermitteln.



Abbildung 20: PV-Fläche

Grundlagen

- 60% der Dachfläche belegt
- Module Verschattungsverlust >10% wurden entfernt
- PV-Fläche 3'235 m²
- Anzahl Module 1'939 Stk.

Auswertung

- Leistung 630 kWp
- Ertrag 602'000 kWh
- Anteil Eigenverbrauch 85 %

Durch den hohen Anteil Eigenverbrauch ist eine Amortisation von unter 10 Jahren zu erwarten.

Um das Minergie A-Label zu erreichen reicht der Ertrag der Dachfläche noch nicht aus. Die Architektur hat nun den Auftrag, die Fassaden in West, Süd und Ost-Ausrichtung für eine mögliche PV-Nutzung zu prüfen. Durch einen höheren Anteil an Solarfläche wird der Eigenverbrauch sinken.

Eigenverbrauchsoptimierung

Um den Eigenverbrauch zu maximieren und möglichst viel Solarstrom selbst zu verbrauchen, ist ein übergeordnetes Management erforderlich. Dieses schaltet Verbraucher automatisch zu, sobald ein Solarstromüberschuss besteht. Dadurch kann mehr Strom direkt verbraucht werden, was die Amortisationszeit der PV-Anlage reduziert.

Mögliche Verbraucher sind z.B.:

- Ladung der Heizungsspeicher (Überhitzung)
- Elektroautos
- Haushaltsgeräte (von Hand - Sensibilisierung der Nutzer)
- Batteriespeicher

ZEV (Zusammenschluss zum Eigenverbrauch)

Das Thema ZEV soll unabhängig der Energieerzeugung in einer separaten Runde ausgearbeitet werden. Hierbei steht von der Seite Elektroplanung Laurent Iseli (TLP AG) im Vordergrund.