

Oberstufe Bronschhofen Bahnhofstrasse 2 9552 Bronschhofen

Sanierungskonzept Gebäudetechnik
Wärmeerzeugung



2549 / Version 03 / 26. Juni 2021

Impressum

Nr.	2549
Objekt	Oberstufe Bronschhofen Bahnhofstrasse 2 9552 Bronschhofen
Bauherrschaft	Stadt Wil Departement Bau Umwelt und Verkehr Hauptstrasse 20 Postfach 56 9552 Bronschhofen
HLK- / Sanitäringenieur	Calorex AG Ingenieurbüro für Energietechnik Gallusstr. 35 CH-9500 Wil SG Telefon 071 913 27 70 www.calorex.ch
Verfasser	Richard Stolz / Raphael Herzog

Verteiler	Bauherrschaft Herr Mathias Schwarz
Version	2549 / 03 / 26.06.2021
Bezeichnung	2549\Journal\Berichte Studien\Sanierungskonzept Haustechnik Wärmeerzeugung.doc

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Vorwort	4
2.	Kurz-Zusammenfassung	5
2.1	Heizungsanlage	5
3.	Sanierungsvarianten Wärmeerzeugung	6
3.1	Grundlagen	6
3.1.1	Energieverbrauch und Leistung	6
3.1.2	Vorauswahl der zu untersuchenden Varianten	7
3.1.3	Energiepreise	8
3.2	Varianten	9
3.2.1	Variante 2: Wärmepumpe mit Erdwärmesonden, monovalent	9
3.2.4	Variante 5: Wärmepumpe mit Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent	11
3.3	Jahresbetriebskosten der Varianten	13
3.4	CO ₂ -Ausstoss der Varianten	14
3.5	Empfehlung Wärmeerzeugung	15
4.	Anhang	16

1. Einleitung und Vorwort

Am 28. Mai 2018 haben wir von der Bauherrschaft den Planungsauftrag für das Sanierungskonzept der Haustechnikmedien Heizung-Lüftung-Kälte-Sanitär erhalten haben.

Wir haben nachfolgendes Sanierungskonzept ausgearbeitet. Ziel dieses Arbeitspapiers und der Skizzen soll es sein, zusammen mit der Bauherrschaft, die Sanierungsvariante Wärmeerzeugung und die weiteren Sanierungsmassnahmen festzulegen, so dass anschliessend die weiteren Planungsarbeiten vorgenommen werden können.

Der Sanierungsbericht wurde am 19. Januar 2019 fertiggestellt und der Bauherrschaft zugestellt.

Im September 2020 hat die Bauherrschaft uns mitgeteilt, dass die Sanierungen an der Wärmeerzeugung im Jahr 2021 ausgeführt werden soll.

Die Stadt Wil hat 2019 den Klimanotstand ausgerufen. Die im Bericht aufgeführte Variante 1 mit einer Erdsonden Wärmepumpe / Gasheizkessel bivalent wurde von den Verantwortlichen der Stadt Wil als nicht mögliche Variante eingestuft. Der Einsatz von nichterneuerbaren Energieträgern ist nicht möglich.

Der Variantenvergleich Wärmeerzeugung soll entsprechend angepasst werden!

Wir haben im nachfolgenden Bericht den Variantenvergleich Wärmeerzeugung nochmals aufgeführt und mit einer zusätzlichen Variante ergänzt.

Am 09. Dezember 2020 wurde der revidierte Bericht Version 02 an die Bauherrschaft abgegeben.

Mit Telefon vom 16.06.2021 hat uns Herr Mathias Schwarz gebeten die beiden Varianten Erdwärmesonden / Luftkühler noch etwas genauer zu beschreiben.

Wir danken der Bauherrschaft für die Übertragung der Planungsarbeiten und hoffen, mit innovativen Lösungen zum guten Gelingen dieses Bauvorhabens beitragen zu dürfen.

Wir freuen uns auf die gemeinsame Lösungssuche und das entsprechende Optimieren unserer Konzeptvorschläge.

Für das Planungsteam

Calorex AG, 9500 Wil

Richard Stolz / Raphael Herzog

2. Kurz-Zusammenfassung

2.1 Heizungsanlage

Die bestehende Wärmeerzeugung hat die theoretische Lebensdauer grösstenteils erreicht, ist aber dank der guten Wartung noch in einem guten und funktionierenden Zustand. Trotzdem macht es Sinn, sich schon jetzt Gedanken darüber zu machen, welche Variante der Wärmeerzeugung bei einer Sanierung realisiert werden soll.

Wir haben deshalb die nachstehenden Sanierungsvarianten für Sie geprüft:

- Variante 1: Heizkessel Erdgas mit Wärmepumpe EWS bivalent*)
- Variante 1a: Heizkessel Erdgas mit Wärmepumpe EWS bivalent, 20% Biogasanteil*)
- Variante 1b: Heizkessel Erdgas mit Wärmepumpe EWS bivalent, 50% Biogasanteil*)
- Variante 2: Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent
- Variante 3: Holzpellets monovalent
- Variante 4: Hackschnitzel monovalent
- Variante 4: Wärmepumpe mit Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent

*) die Varianten 1, 1a, 1b sind gemäss den Verantwortlichen der Stadt Wil, aufgrund der Energiestrategie und des Klimanotstandes, nicht ausführbar.

Wir haben diese Varianten im nachfolgenden Variantenvergleich nicht mehr aufgeführt!

Im nachfolgenden Variantenvergleich haben wir aufgrund der Mitteilung der Bauherrschaft noch die Variante 2 + Variante 5 genauer aufgeführt. Die Varianten mit Holzheizungen wurden von Seiten Bauherrschaft ausgeschlossen.

Unsere Wirtschaftlichkeitsberechnung ergab die folgenden Resultate:

Investitionskosten (Fr.)

	Variante 2 Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent
Total Investitionskosten (Fr.)	534'000	472'000

Total der mittleren Jährlichen Kosten über die Betrachtungsdauer von 15 Jahren (Fr./Jahr)

	Variante 2 Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent
Betriebskosten	36'380	34'700
Kapitalkosten	28'210	29'490
Total	64'590	64'190

Kennwerte auf Stufe Nutzenergie (Rp. /kWh)

	Variante 2 Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent
Mittlere Wärmegestehungskosten pro kWh Nutzenergie	15.4	15.3

„Rang nach Wirtschaftlichkeit“

②

①

3. Sanierungsvarianten Wärmeerzeugung

3.1 Grundlagen

3.1.1 Energieverbrauch und Leistung

Nutzenergieverbrauch Ölheizkessel

Der durchschnittliche Ölverbrauch des Heizkessels, betrachtet über die letzten Jahre, liegt bei rund 35'500 Litern pro Jahr, woraus ein Energieverbrauch von rund 362'300 kWh/Jahr resultiert. Unter Berücksichtigung eines Jahresnutzungsgrades des Heizkessels (ohne Kondensationswärmenutzung) von 85% ergibt sich ein Nutzenergiebedarf für die Raumheizung und die Warmwasserproduktion von rund 308'000 kWh/Jahr.

Nutzenergieverbrauch Wärmepumpe

Auf der Kondensatorseite der Wärmepumpe ist ein Wärmehähler installiert. Nach Aussage des technischen Dienstes zeigt der Wärmehähler per Ende August 2018 einen Wert von 1590.48 MWh an. Bei diesem Wert handelt es sich um die produzierte Wärmenergie der Wärmepumpe seit dem Jahre 2004. Zur Berechnung des Nutzenergiebedarfes pro Jahr haben wir in unseren Berechnungen mit 170 Monaten gerechnet. Daraus resultiert ein Nutzenergiebedarf für die Raumheizung und die Warmwasserproduktion von rund 112'300 kWh/Jahr. Auf Grund der vorhandenen Erdwärmesonden (10 x 150 m) ergibt diese eine Entzugsleistung von rund 75 kWh/Meter Erdsonde und Jahr, was absolut realistisch ist.

Benötigte Heizleistung

Der totale Nutzenergiebedarf für die Raumheizung und die Warmwasserproduktion liegt bei rund 420'300 kWh/Jahr. Unter Berücksichtigung der Heizgradtage resultiert eine benötigte Heizleistung von total ca. 300 kW.

3.1.2 Vorauswahl der zu untersuchenden Varianten

Grundsätzlich wären sehr viele Wärmeerzeugervarianten wünschenswert oder möglich. Im Sinne der besseren Übersicht und Verständlichkeit wurde mit nachfolgender Matrix eine Vorauswahl über die weiter zu untersuchenden Varianten getroffen.

System	Verfolgen?	Begründung/Hinweise
Heizkessel Heizöl oder Erdgas monovalent	Nein	<ul style="list-style-type: none"> • Es sind bereits Erdwärmesonden vorhanden, welche weiter genutzt werden können und sollten. • Ökologische Verschlechterung gegenüber momentanem Betrieb.
Heizkessel Heizöl mit Wärmepumpe und Erdwärmesonden bivalent	Nein	<ul style="list-style-type: none"> • Nur leichte Verbesserung der Ökobilanz durch einen Heizkessel mit Kondensationswärmenutzung. • Realisierung eines Erdgasanschlusses ist möglich, wodurch der CO₂-Ausstoss markant verbessert werden könnte.
Heizkessel Erdgas mit Wärmepumpe und Erdwärmesonden bivalent	Ja Variante 1 Nein	<ul style="list-style-type: none"> • Realisierung eines Erdgasanschlusses ist möglich. • Reduktion des CO₂-Ausstosses gegenüber der bestehenden Wärmeerzeugung. • "tiefe" Investitionskosten • Zukauf von Biogas jederzeit möglich, wodurch sich der CO₂-Ausstoss noch weiter verringern würde. (Varianten 1a bis 1c) <p>Gemäss Entscheid Bauherrschaft nicht erwünscht</p>
Wärmepumpe mit Erdwärmesonden, monovalent	Ja Variante 2	<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzliche Erdwärmesonden dürfen gebohrt werden • Keine Abgasanlage mehr notwendig und dadurch kein CO₂-Ausstoss vor Ort. • Durch die hohen Vorlauftemperaturen schlechterer Wirkungsgrad der Wärmepumpe.
Luft/Wasser – Wärmepumpe monovalent oder bivalent	Ja Variante 5	<ul style="list-style-type: none"> • eine Luft/Wasser - Wärmepumpenanlage nicht möglich. • Bivalente Anlagen sind möglich • Es sind bereits Erdwärmesonden vorhanden, welche weiter genutzt werden können und sollten.
Heizkessel Holzpellets, monovalent	Ja Variante 3	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Neutral • Geeignet für hohe Vorlauftemperaturen • Nachwachsender Rohstoff • Mehr Aufwand im Unterhalt für den Hauswart (Ascheentleerung, etc.) als bei Erdgas und Wärmepumpe • Zusätzlicher Lagerraum für die Holzpellets notwendig. <p>Gemäss Mitteilung Bauherrschaft vom 16.06.21 soll diese Variante nicht weiterverfolgt werden</p>
Heizkessel Hackschnitzel, monovalent	Ja Variante 4	<ul style="list-style-type: none"> • Im vorliegenden Leistungsbereich ist ein wirtschaftlicher Betrieb möglich. • Für die Anlieferung von Schnitzel müsste ein zusätzlicher Weg erstellt werden. • Es müsste ein zusätzlicher Raum für das Schnitzelsilo erstellt werden! • Allenfalls Vergrößerung der Anlage für den Anschluss umliegender Liegenschaften möglich. • hohe Investitionskosten <p>Gemäss Mitteilung Bauherrschaft vom 16.06.21 soll diese Variante nicht weiterverfolgt werden</p>
Heizkessel Stückholz monovalent oder bivalent	Nein	<ul style="list-style-type: none"> • Im vorliegenden Leistungsbereich ist kein wirtschaftlicher Betrieb möglich. • Grosser Aufwand für den Hauswart für Unterhalt und Betrieb/Naschschub
Fernwärme	Nein	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Fernwärmeverbund vorhanden oder in absehbarer Zeit geplant.
Solaranlage	Nein	<ul style="list-style-type: none"> • Für Warmwasser Turnhalle allenfalls denkbar. Allerdings ist ein wirtschaftlicher Betrieb nur sehr schwer realisierbar. Besser die bestehende Photovoltaikanlage erweitern und den Strom für den Eigenbedarf nutzen.

Verglichen werden die Wärmeerzeugungsvarianten nur bis zur Schnittstelle der Wärmeverteilung (Oberkante Absperrungen beim Heizverteiler), inkl. der Sanierung der Unterstation im Neubau.

Im Kapitel 4.2 sind die einzelnen Varianten näher beschrieben und bewertet. Die detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung ist im Anhang dieses Dokuments zu finden.

Allenfalls wäre auch ein gemeinsamer Kleinwärmeverbund mit der neu geplanten Überbauung auf der gegenüberliegenden Strassenseite sowie dem Ebnet Saal und dem Kirchgemeindezentrum an der Industrietrasse möglich!! Falls dies für die Stadt Wil eine mögliche Lösung wäre, empfiehlt sich momentan eine Sanierung mit möglichst geringen Investitionskosten.

3.1.3 Energiepreise

Dem Variantenvergleich wurden die nachfolgenden Energiepreise zu Grunde gelegt:

Elektrizität:

Die Elektropreise entsprechen den Tarifen der Technischen Betriebe Wil, Standard-Basistarif, Qualität "tbw. öko. aquaCH", inkl. aller Abgaben und 7.7% MwSt., gültig ab 01 Januar 2021.

Arbeitspreis = 21.70 Rp. /kWh Hochtarif
16.90 Rp. /kWh Niedertarif

Erdgas:

Der Erdgaspreis entspricht den Tarifen der Technischen Betriebe Wil, für monovalente Anlagen und Verbrauch bis max. 500'000 kWh/a, gültig ab 01 Januar 2019, inkl. CO₂-Abgabe und 7.7% MwSt.

Tarif "tbw. basis.erdgas" 100% fossil = 7.04 Rp. /kWh
Tarif "tbw.biogas" 20% Biogasanteil = 12.04 Rp. /kWh für 20% des Gesamtverbrauches
Tarif "tbw.biogas" 50% Biogasanteil = 12.04 Rp. /kWh für 50% des Gesamtverbrauches
Tarif "tbw.biogas" 100% Biogasanteil = 12.04 Rp. /kWh
Grundpreis pro Zähler = 43.08 Fr. / Monat

Holzpellets:

Durchschnittspreise von 24 schweizweiten Pellets Lieferanten der Monate Januar 2013 bis Dezember 2017, für eine Lieferung von 3 Tonnen, gemäss www.pelletspreis.ch, inkl. Lieferung, inkl. 7.7% MwSt.

Holzpellets = 8.90 Rp. /kWh

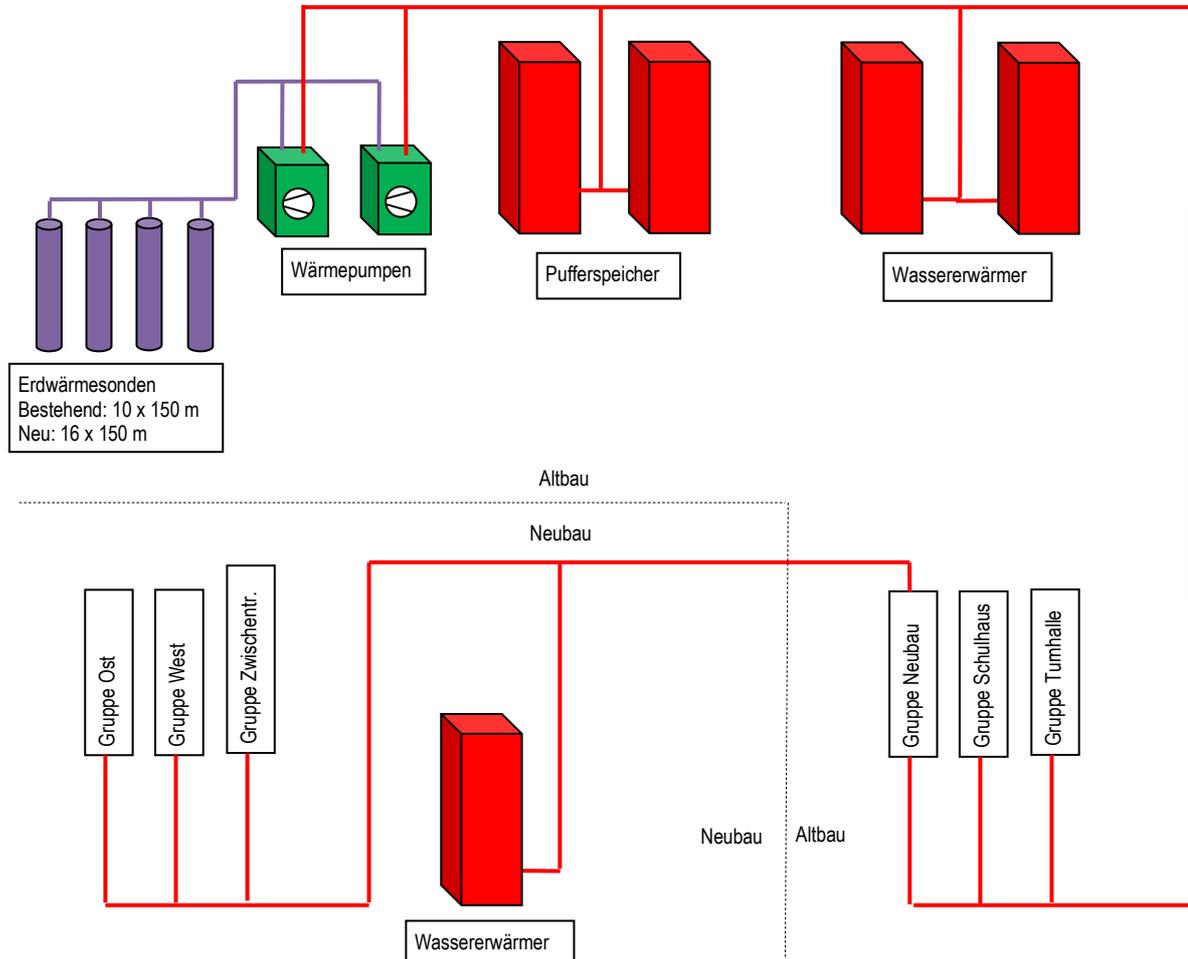
Hackschnitzel:

Richtpreis gemäss gemeinsamer Empfehlung von "Wald Schweiz", "Holzenergie Schweiz", "Holzindustrie Schweiz" und "Forstunternehmer Schweiz, Mischpreis von Grünschnitzeln und trockenen Schnitzeln, Tarifjahr 2017/2018, Lieferung franko Silo, Abrechnungsmodell nach Wärmemenge, inkl. 7.7% MwSt.

Hackschnitzel = 5.70 Rp. /kWh

3.2 Varianten

3.2.1 Variante 2: Wärmepumpe mit Erdwärmesonden, monovalent



Beschrieb:

Die bestehende Wärmeerzeugung bestehend aus Ölheizkessel und Sole/Wasser-Wärmepumpe wird inklusive den Wassererwärmern, den Pufferspeichern, der Kaminanlage und der Expansionsanlage demontiert und fachgerecht entsorgt. Der Heizverteiler bleibt grundsätzlich bestehend, es werden aber sämtliche Regelkomponenten und alle Umwälzpumpen ersetzt. Die Erdwärmesonden inkl. den Verbindungsleitungen bis und mit Soleverteiler bleiben ebenfalls bestehend. Die bestehende Öltankanlage wird ausser Betrieb genommen, gereinigt, demontiert und fachgerecht entsorgt. Das noch vorhandene Heizöl wird vorgängig abgesaugt und in einen anderen Öltank einer Gemeindeliegenschaft umgelagert.

In der Unterstation des Neubaus wird der Wassererwärmer demontiert und fachgerecht entsorgt, sowie sämtliche Regelkomponenten und die Umwälzpumpen auf dem Heizverteiler ersetzt.

In der Heizzentrale werden zwei neue Wärmepumpen installiert, welche in einem monovalenten Betrieb die gesamte Wärmeenergie für das gesamte Schulareal produziert. Für die Energiegewinnung gelangen Erdwärmesonden zum Einsatz. Die bestehenden Erdwärmesonden werden dabei weiterverwendet und mit zusätzlichen, neuen Erdwärmesonden ergänzt. Die eingesetzten Pufferspeicher garantieren die geforderten Laufzeiten der Wärmepumpe.

Eine neue Expansionsanlage sorgt für optimale Druckverhältnisse im gesamten Heizsystem.

Das benötigte Trinkwarmwasser wird in neuen Wassererwärmern erstellt, welche über die Wärmepumpe erwärmt werden.

Am bestehenden Heizverteiler werden, wie bereits erwähnt, sämtliche Umwälzpumpen und Regelkomponenten ersetzt. Die neue Regulierung übernimmt sämtliche nötigen Regel- und Steuerfunktionen. Achtung: die Kosten für die neue Regulierung sind in den Investitionskosten dieser Variante nicht enthalten.

In der Unterstation des Neubaus wird ein neuer Wassererwärmer installiert, welcher ganzjährig über die Wärmeerzeugung in der Technikzentrale des Altbaus erwärmt wird. Am bestehenden Heizverteiler werden sämtliche Umwälzpumpen sowie die kompletten Regelkomponenten ersetzt.

Der jährliche CO₂-Ausstoss dieser Variante (inkl. Strom) beläuft sich auf rund 5 To/Jahr.

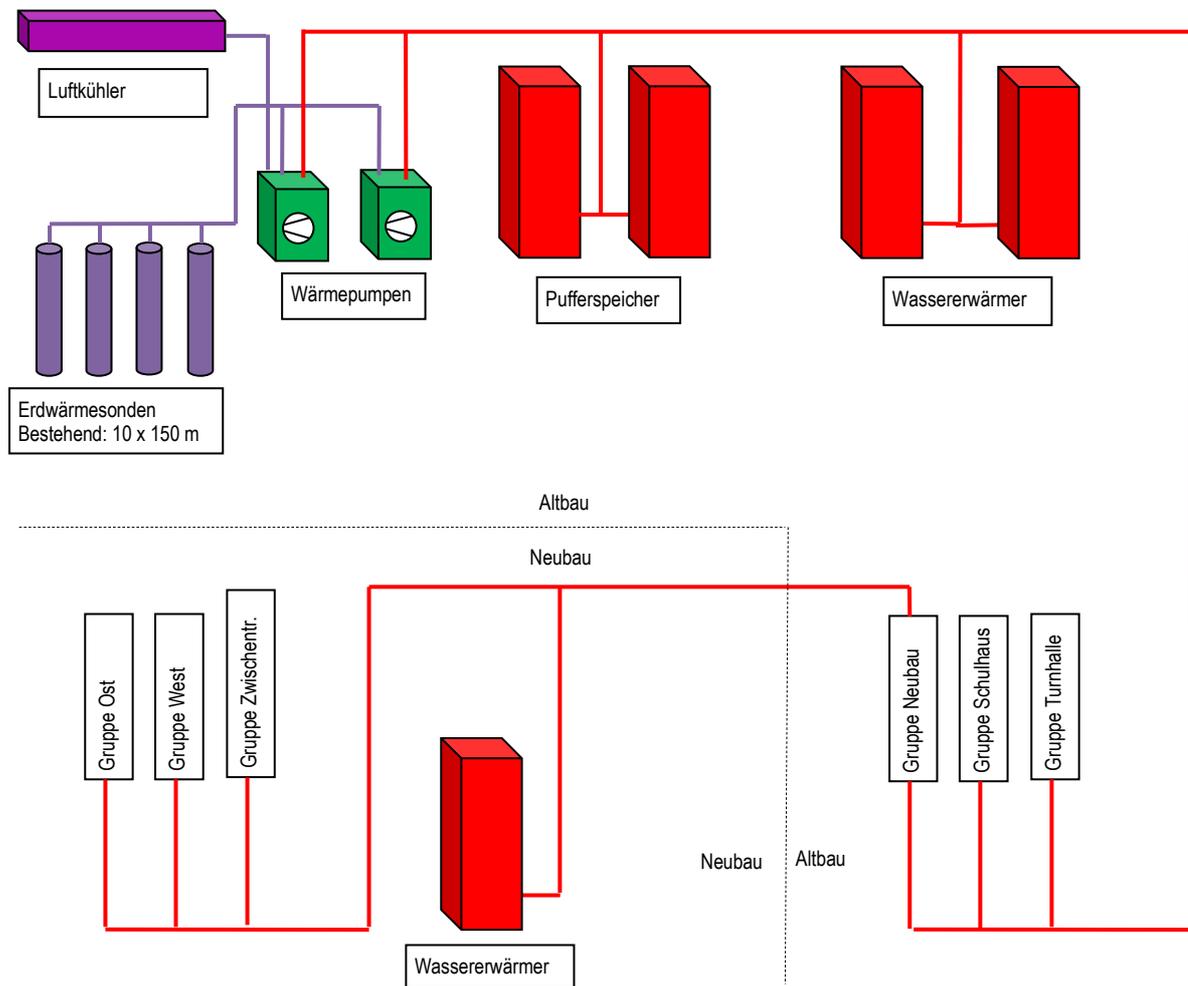
Variante mit Tiefenbohrungen

Mit einer einfachen Anfrage an das Amt für Umwelt wurde die Machbarkeit von Tiefenbohrungen von Bohrtiefen zwischen 400 – 500 m abgeklärt. Gemäss Auskunft AFU Kt. St. Gallen werden Tiefenbohrungen begrüsst und wären im Grundsatz möglich.

Bei Tiefenbohrungen wäre 5 Bohrungen à 480 m notwendig.

Kostenmässig würden diese Bohrungen ca. Fr. 280'000.- kosten. Das sind Mehrkosten von ca. 80'000.- - 90'000.- gegenüber konventioneller Erdwärmesondenbohrungen. Mit Tiefenbohrungen sinkt die finanzielle Wirtschaftlichkeit dieser Variante.

3.2.4 Variante 5: Wärmepumpe mit Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent



Beschrieb:

Die bestehende Wärmeerzeugung bestehend aus Ölheizkessel und Sole/Wasser-Wärmepumpe wird inklusive den Wassererwärmern, den Pufferspeichern, der Kaminanlage und der Expansionsanlage demontiert und fachgerecht entsorgt. Der Heizverteiler bleibt grundsätzlich bestehend, es werden aber sämtliche Regelkomponenten und alle Umwälzpumpen ersetzt. Die Erdwärmesonden inkl. den Verbindungsleitungen bis und mit Soleverteiler bleiben ebenfalls bestehend. Die bestehende Öltankanlage wird ausser Betrieb genommen, gereinigt, demontiert und fachgerecht entsorgt. Das noch vorhandene Heizöl wird vorgängig abgesaugt und in einen anderen Öltank einer Gemeindeliegenschaft umgelagert.

In der Unterstation des Neubaus wird der Wassererwärmer demontiert und fachgerecht entsorgt, sowie sämtliche Regelkomponenten und die Umwälzpumpen auf dem Heizverteiler ersetzt.

In der Heizzentrale wird eine neue Wärmepumpe installiert, welche in einem bivalenten Betrieb die gesamte Wärmeenergie für das gesamte Schulareal produziert. Für die Energiegewinnung gelangen die bestehenden Erdwärmesonden zum Einsatz. Die bestehenden Erdwärmesonden werden dabei weiterverwendet und mit einem neuen Luftkühler ergänzt. Die eingesetzten Pufferspeicher garantieren die geforderten Laufzeiten der Wärmepumpe.

Eine neue Expansionsanlage sorgt für optimale Druckverhältnisse im gesamten Heizsystem.

Das benötigte Trinkwarmwasser wird in neuen Wassererwärmern erstellt, welche über die Wärmepumpe erwärmt werden.



Am bestehenden Heizverteiler werden, wie bereits erwähnt, sämtliche Umwälzpumpen und Regelkomponenten ersetzt. Die neue Regulierung übernimmt sämtliche nötigen Regel- und Steuerfunktionen. Achtung: die Kosten für die neue Regulierung sind in den Investitionskosten dieser Variante nicht enthalten.

In der Unterstation des Neubaus wird ein neuer Wassererwärmer installiert, welcher ganzjährig über die Wärmeenergie in der Technikzentrale des Altbaus erwärmt wird. Am bestehenden Heizverteiler werden sämtliche Umwälzpumpen sowie die kompletten Regelkomponenten ersetzt.

Der jährliche CO₂-Ausstoß dieser Variante (inkl. Strom) beläuft sich auf rund 4.8 To/Jahr.

3.3 Jahresbetriebskosten der Varianten

Für sämtliche Varianten wurden die Jahresbetriebskosten mit Berücksichtigung der Kapital-, Energie- und Wartungskosten berechnet.

Resultate Varianten ohne KEPZ (ohne kalkulatorische Energiepreis- bzw. Umweltzuschläge)

Kostengenauigkeit +/- 25%

Sämtliche Kosten inkl. 7.7% MwSt.

Die Kosten wurden auf Grund von Erfahrungszahlen, Katalogpreisen und Lieferantentofferten ermittelt.

	Variante 2 Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent
Total Investitionskosten (Fr.)	534'000	472'000

Investitionskosten (Fr.)

Total der mittleren Jährlichen Kosten über die Betrachtungsdauer von 15 Jahren (Fr./Jahr)

(Kostensteigerung für Wartung, Bedienung und Unterhalt von 1%)

(Realer Kalkulationszinssatz von 3.0%)

	Variante 2 Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent
Wart.- Bedien.- und UH-Kosten	4'920	4'110
Energiekosten	31'460	30'590
Betriebskosten	36'380	34'700
Kapitalkosten	28'210	29'490
Total	64'590	64'190

Kennwerte auf Stufe Nutzenergie (Rp. /kWh)

	Variante 2 Wärmepumpe mit Erdwärmesonden monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent
Mittlere Wärmegestehungskosten pro kWh Nutzenergie	15.4	15.3

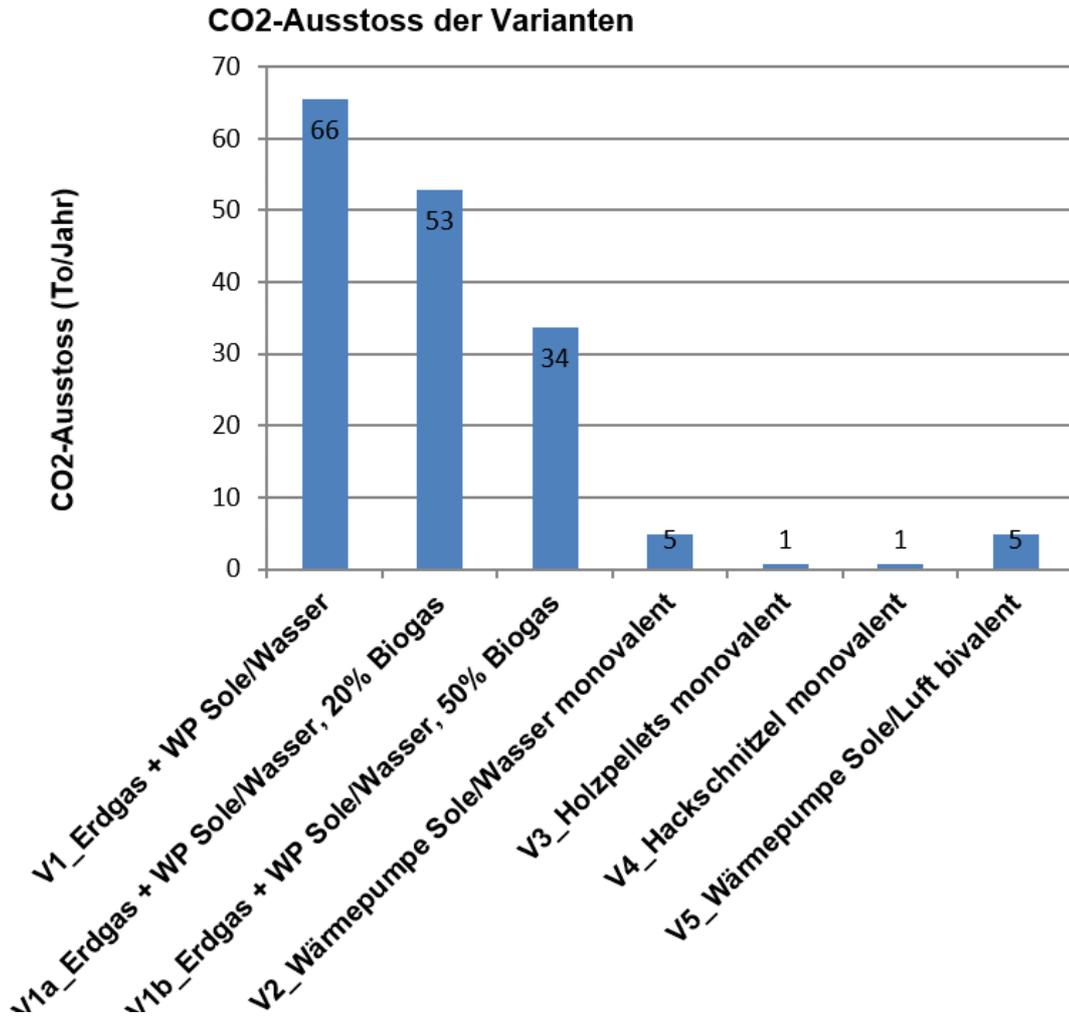
„Rang nach Wirtschaftlichkeit“

①

①

4.4 CO2-Ausstoss der Varianten

Der nachfolgenden Tabelle kann für jede Variante der jährliche CO2-Ausstoss in Tonnen/Jahr entnommen werden.



4.5 Empfehlung Wärmeerzeugung

Durch die Bauherrschaft wurde entschieden, dass die Varianten 1 mit Erdgas oder Biogasanteil, gemäss Variantenvergleich vom Januar 2019, keine Lösungen sind.

Am 16.06.2021 wurde uns von der Bauherrschaft mitgeteilt, dass aufgrund verschiedener Überlegungen die im Bericht vom 09.12.2020 aufgeführten «Holzvarianten» Variante 3 / Variante 4 nicht weiterverfolgt werden.

Mit nachstehender Matrix haben wir die Wärmepumpen Varianten versucht zu vergleichen.

Variante 1: Erdsonden monovalent

In der aufgeführten Variante sind in den Kosten «normale» Erdwärmesonden eingerechnet. Tiefenbohrungen würden ca. 80'000.- - 90'000.- teurer werden.

Vorteile	Nachteile
Unsichtbares System	Hoher baulicher Aufwand in der Umgebung. Grosse Teile der Rasenflächen sind betroffen.
Keine Schallemissionen im Freien	Grosser Zeitbedarf für Bohrungen. Es ist mit ca. 25 – 30 Tagen Bohrzeit zu rechnen.
Technisch ausgereift	Momentan haben Firmen eine sehr grosse Auslastung. Dies kann sich allenfalls auf die Offertpreise auswirken.
	Viele Bohrungen im Untergrund. Auswirkungen auf den Untergrund sind nicht bekannt.
	Aus Lärmgründen sind die Bohrungen während der Schulzeit schwierig auszuführen.

Variante 2: Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luftkühler bivalent

Vorteile	Nachteile
Schnelle Montage der Anlage	baulicher Aufwand für Platzierung Rückkühler
Rückkühler kann jederzeit bei einer Störung revidiert bzw. serviciert werden.	Schallemissionen im Freien
Es wird Umweltenergie «Luft» verwendet.	Sichtbares System (muss allenfalls kaschiert werden).
Kombination mit bestehender Erdsondenanlage ist energieeffizient möglich.	
Arbeiten an Rückkühler und Zuleitung sind auch während dem Schulbetrieb möglich, da keine Lärmintensiven Arbeiten notwendig sind.	

Fazit / Empfehlung:

Die neu zusätzlich aufgeführte Variante Wärmepumpe Erdwärmesonden / Luft-Wasser bivalent liegt aufgrund der Berechnungen betreffend der Wärmegestehungskosten auf dem ersten Platz.

Wir sind der Ansicht, dass die Variante 5 mit dem Einbau eines aussen aufgestellten Luftkühlers eine sinnvolle Lösung darstellen kann. Gemeinsam muss sicherlich der geeignete Standort für den Rückkühler festgelegt werden.

Wir empfehlen aufgrund unserer Überlegungen die Variante 5 Wärmepumpe Erdsonden / Luftkühler bivalent umzusetzen.

4. Anhang

Detaillierte Wirtschaftlichkeitsberechnung zu Sanierungsvarianten Wärmeerzeugung.

Beurteilung von Energiesystemen				
1. Projektinformationen				
Anlageort / -bezeichnung:	9552 Bronschhofen			
Objektbezeichnung	Oberstufe Bronschhofen			
Projektnummer	2549			
	Varianten 2 - 4			
Bearbeitete Aufgabenstellung:	Wärmeerzeuger- ohne KEPZ Systeme			
Beauftragter	Calorex AG, 9500 Wil			
Tel. / Fax	T 071 913 27 70			
Sachbearbeiter	Raphael Herzog			
Bearbeitungsdatum:	28.01.2019			
2. Antrag für die Weiterbearbeitung				
Variante:	siehe Bericht			
Entscheidbegründung:	siehe Bericht			
3. Grundlegendaten				
Allgemeine Inflationsrate (reale Betrachtungsweise)				0.0%
Realer Kalkulationszinssatz				3.0%
Reale Wartungs-, Bedienungs- und UH-Kostensteigerung				1.0%
Energiepreise und Energiekostensteigerung				
Energieträger	Effektiver Arbeitspreis [Rp/kWh]	Zuschlag für Umweltkosten [Rp/kWh]	Berechnungspreis [Rp/kWh]	Reale Kostensteigerung pro Jahr [%]
Elektr. (HT)	21.7 Rp/kWh		21.7 Rp/kWh	1.0 %
Elektr. (NT)	16.9 Rp/kWh		16.9 Rp/kWh	1.0 %
Erdgas	7.0 Rp/kWh		7.0 Rp/kWh	1.5 %
Biogasanteil	12.0 Rp/kWh		12.0 Rp/kWh	1.5 %
Holzpellets	8.9 Rp/kWh		8.9 Rp/kWh	1.0 %
Hackschnitzel	5.7 Rp/kWh		5.7 Rp/kWh	0.5 %

ohne KEPZ

Oberstufe Bronschhofen

Zusammenfassung Variantenvergleich

Variantenbeschreibung / Energieproduktion und Auswirkungen

Variantenbeschreibung	Variante 2 Wärmepumpe Sole/ Wasser monovalent	Variante 3 Holzpellets monovalent	Variante 4 Hackschnitzel monovalent	Variante 5 Wärmepumpe Sole/ Luft monovalent
Variantenbezeichnung				
Energieproduktion [MWh/ a]				
Raumw.+Wamw.(Stufe Nutzenergie)	420 MWh/a	420 MWh/a	420 MWh/a	420 MWh/a
Elektro (Stufe Nutzenergie)				
Auswirk. auf E.buchhaltung [M]				
Verbrauch fossiler Energie				
Verbrauch regenerierbarer Energie	290.9 MWh/a	560.3 MWh/a	560.3 MWh/a	276.5 MWh/a
Verbrauch elektr. Energie Wärmepro	147.5 MWh/a	19.5 MWh/a	20.4 MWh/a	143.5 MWh/a
Verbrauch elektr. Energie Transport				

Total der heutigen jährlichen Kosten

Kostenart	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wart., Bedien. und UH-Kosten [Fr.]	4 560	7 640	8 200	3 810
Energiekosten [Fr.]	29 180	53 730	35 440	28 380
Betriebskosten [Fr.]	33 740	61 370	43 640	32 190
Kapitalkosten [Fr.]	28 210	24 040	33 240	29 490
Total [Fr.]	61 950	85 410	76 880	61 680

Total der mittleren jährlichen Kosten über die Betrachtungsdauer

Es sollen nur Varianten mit gleicher Betrachtungsdauer untereinander verglichen werden.

Betrachtungsdauer [Jahre]: 15 15 15 15

Kostenart	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Wart., Bedien. und UH-Kosten [Fr.]	4 920	8 240	8 840	4 110
Energiekosten [Fr.]	31 460	57 920	36 940	30 590
Betriebskosten [Fr.]	36 380	66 160	45 780	34 700
Kapitalkosten [Fr.]	28 210	24 040	33 240	29 490
Total [Fr.]	64 590	90 200	79 020	64 190

Investitionskosten

Total [Fr.]	534 000	415 000	593 000	472 000
--------------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Kennwerte auf Stufe Nutzenergie

	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Mittl. Wärmegebungskosten	15.4 Rp./ kWh	21.5 Rp./ kWh	18.8 Rp./ kWh	15.3 Rp./ kWh

ohne KEPZ		Oberstufe Bronschhofen		
Variante 2 Wärmepumpe Sole/Wasser monovalent				
Jährliche Kapitalkosten		(Kapitalzins, real: 3.0 %)		
Bau- / Anlageteil	Investitionsausgaben [Fr.]	Nutzungsdauer [Jahre]	Annuit.-faktor	Heutige jährl. Kosten
Demontagen Heizung	8 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	310 Fr.
Wärmeerzeugung komplett	240 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	16 130 Fr.
Zusätzliche Erdwärmesonden	193 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	7 500 Fr.
Bauliche Arbeiten inkl. Gräben EWS	15 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	580 Fr.
Sanitärinstallationen	5 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	340 Fr.
Elektroinstallationen	18 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	1 210 Fr.
Demontage und Entsorgung Oeltank	10 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	390 Fr.
Honorare	30 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	1 170 Fr.
Unvohergesehenes	15 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	580 Fr.
Total	534 000 Fr.	35 Jahre		28 210 Fr.
Jährliche Wartungs-, Bedienungs- und UH-Kosten (W+B)				
Bau- / Anlageteil	Anlagewert (ALG) [Fr.]	Jährliche Kosten		Heutige jährl. Kosten
		Pauschal [Fr.]	in [%] ALG	
Service und Unterhaltskosten	456 000 Fr.		1.0 %	4 560 Fr.
Total	(Proz. Anteil für W+B von Investitionskosten: 0.9 %)			4 560 Fr.
Jährliche Energiekosten				
Energieträger	Grundgebühre [Fr./a]	Verbrauch [kWh/a]	Berechnungspreis Energie	Heutige jährl. Kosten
Elektrizität		—	—	—
Elektr. (HT)		88 523 kWh/a	21.7 Rp/kWh	19 210 Fr.
Elektr. (NT)		59 014 kWh/a	16.9 Rp/kWh	9 970 Fr.
Erdgas		0 kWh/a	7.0 Rp/kWh	
Biogasanteil		0 kWh/a	12.0 Rp/kWh	
Holzpellets		0 kWh/a	8.9 Rp/kWh	
Hackschnitzel		0 kWh/a	5.7 Rp/kWh	
		0 kWh/a		
		0 kWh/a		
Total				29 180 Fr.
Total der jährlichen Kosten		Progr, vorschlag Betrachtungsdauer		20 Jahre
Betrachtungsdauer* für Berechnung:		15 Jahre	Option: Eingabe Betrachtungsdauer: 15 Jahre	
	Kostensteigerung (real)	Mittelwertfaktoren	Heutige jährl. Kosten	Mittl. jährliche Kosten über die Betrachtungsdauer
Kapitalkosten	—	—	28 210 Fr.	28 210 Fr.
W+B und UH-Kosten	1.0 %	1.078	4 560 Fr.	4 920 Fr.
Elektr. (HT)	1.0 %	1.078	19 210 Fr.	20 710 Fr.
Elektr. (NT)	1.0 %	1.078	9 970 Fr.	10 750 Fr.
Holzpellets	1.5 %			
Hackschnitzel	1.5 %			
Holzpellets	1.0 %			
Hackschnitzel	0.5 %			
0.0 %	0.0 %			
Betriebskosten	(W+B-, UH- und Energiekosten)		33 740 Fr.	36 380 Fr.
TOTAL	(Kapital- + Betriebskosten)		61 950 Fr.	64 590 Fr.

ohne KEPZ		Oberstufe Bronschhofen		
Variante 3		Holzpellets monovalent		
Jährliche Kapitalkosten		(Kapitalzins, real: 3.0 %)		
Bau- / Anlageteil	Investitionsausgaben [Fr.]	Nutzungsdauer [Jahre]	Annuit.-faktor	Heutige jährl. Kosten
Demontagen Heizung	8 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	310 Fr.
Wärmeerzeugung komplett	210 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	14 120 Fr.
Bauliches, inkl. Ausbau Pelletssilo	78 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	3 030 Fr.
Kaminanlage Heizkessel	12 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	810 Fr.
Abgasfilter und Entaschung	35 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	2 350 Fr.
Sanitärinstallationen	7 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	470 Fr.
Elektroinstallationen	15 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	1 010 Fr.
Demontage und Entsorgung Oeltank	10 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	390 Fr.
Honorare	25 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	970 Fr.
Unvorhergesehenes	15 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	580 Fr.
Total	415 000 Fr.	30 Jahre		24 040 Fr.
Jährliche Wartungs-, Bedienungs- und UH-Kosten (W+B)				
Bau- / Anlageteil	Anlagewert (ALG) [Fr.]	Jährliche Kosten		Heutige jährl. Kosten
		Pauschal [Fr.]	in [%] ALG	
Service und Unterhaltskosten	332 000 Fr.		2.0 %	6 640 Fr.
Kaminfeger		1 000 Fr.		1 000 Fr.
Total		(Proz. Anteil für W+B von Investitionskosten: 1.8 %)		7 640 Fr.
Jährliche Energiekosten				
Energieträger	Grundgebühr [Fr./ a]	Verbrauch [kWh/ a]	Berechnungspreis Energie	Heutige jährl. Kosten
Elektrizität		—	—	—
Elektr. (HT)		11 712 kWh/a	21.7 Rp/kWh	2 540 Fr.
Elektr. (NT)		7 808 kWh/a	16.9 Rp/kWh	1 320 Fr.
Erdgas		0 kWh/a	7.0 Rp/kWh	
Biogasanteil		0 kWh/a	12.0 Rp/kWh	
Holzpellets		560 288 kWh/a	8.9 Rp/kWh	49 870 Fr.
Hackschnitzel		0 kWh/a	5.7 Rp/kWh	
		0 kWh/a		
		0 kWh/a		
Total				53 730 Fr.
Total der jährlichen Kosten		Progr, vorschlag Betrachtungsdauer		32 Jahre
Betrachtungsdauer* für Berechnung:		15 Jahre	Option: Eingabe Betrachtungsdauer:	15 Jahre
	Kostensteigerung (real)	Mittelwertfaktoren	Heutige jährl. Kosten	Mittl. jährliche Kosten über die Betrachtungsdauer
Kapitalkosten	—	—	24 040 Fr.	24 040 Fr.
W+B und UH-Kosten	1.0 %	1.078	7 640 Fr.	8 240 Fr.
Elektr. (HT)	1.0 %	1.078	2 540 Fr.	2 740 Fr.
Elektr. (NT)	1.0 %	1.078	1 320 Fr.	1 420 Fr.
Holzpellets	1.5 %			
Holzschnitzel	1.5 %			
Holzpellets	1.0 %	1.078	49 870 Fr.	53 760 Fr.
Hackschnitzel	0.5 %			
0.0 %	0.0 %			
Betriebskosten	(W+B-, UH- und Energiekosten)		61 370 Fr.	66 160 Fr.
TOTAL	(Kapital- + Betriebskosten)		85 410 Fr.	90 200 Fr.

ohne KEPZ		Oberstufe Bronschhofen		
Variante 4		Hackschnitzel monovalent		
Jährliche Kapitalkosten		(Kapitalzins, real: 3.0 %)		
Bau- / Anlageteil	Investitionsausgaben [Fr.]	Nutzungsdauer [Jahre]	Annuit.-faktor	Heutige jährl. Kosten
Demontagen Heizung	8 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	310 Fr.
Wärmeerzeugung komplett	270 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	18 150 Fr.
Abgasfilter und Entaschung	53 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	3 560 Fr.
Kaminanlage Heizkessel	13 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	870 Fr.
Bauliches inkl. Neubau Schnitzelsilo	150 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	5 830 Fr.
Sanitärinstallationen	7 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	470 Fr.
Elektroinstallationen	17 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	1 140 Fr.
Demontage und Entsorgung Oeltank	10 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	390 Fr.
Honorare	50 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	1 940 Fr.
Unvorhergesehenes	15 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	580 Fr.
Total	593 000 Fr.	32 Jahre		33 240 Fr.
Jährliche Wartungs-, Bedienungs- und UH-Kosten (W+B)				
Bau- / Anlageteil	Anlagewert (ALG) [Fr.]	Jährliche Kosten		Heutige jährl. Kosten
		Pauschal [Fr.]	in [%] ALG	
Service und Unterhaltskosten	360 000 Fr.		2.0 %	7 200 Fr.
Kaminfeger		1 000 Fr.		1 000 Fr.
Total		(Proz. Anteil für W+B von Investitionskosten: 1.4 %)		8 200 Fr.
Jährliche Energiekosten				
Energieträger	Grundgebühr [Fr./ a]	Verbrauch [kWh/ a]	Berechnungspreis Energie	Heutige jährl. Kosten
Elektrizität		—	—	—
Elektr. (HT)		12 211 kWh/a	20.7 Rp/kWh	2 530 Fr.
Elektr. (NT)		8 141 kWh/a	11.9 Rp/kWh	970 Fr.
Erdgas		0 kWh/a	7.0 Rp/kWh	
Biogasanteil		0 kWh/a	12.0 Rp/kWh	
Holzpellets		0 kWh/a	8.9 Rp/kWh	
Hackschnitzel		560 288 kWh/a	5.7 Rp/kWh	31 940 Fr.
		0 kWh/a		
		0 kWh/a		
Total				35 440 Fr.
Total der jährlichen Kosten		Progr, vorschlag Betrachtungsdauer		32 Jahre
Betrachtungsdauer* für Berechnung:		15 Jahre	Option: Eingabe Betrachtungsdauer:	15 Jahre
	Kostensteigerung (real)	Mittelwert-faktoren	Heutige jährl. Kosten	Mittl. jährliche Kosten über die Betrachtungsdauer
Kapitalkosten	—	—	33 240 Fr.	33 240 Fr.
W+B und UH-Kosten	1.0 %	1.078	8 200 Fr.	8 840 Fr.
Elektr. (HT)	1.0 %	1.078	2 530 Fr.	2 730 Fr.
Elektr. (NT)	1.0 %	1.078	970 Fr.	1 050 Fr.
Holzpellets	1.5 %			
Holz-schnitzel	1.5 %			
Holzpellets	1.0 %			
Hackschnitzel	0.5 %	1.038	31 940 Fr.	33 160 Fr.
0.0 %	0.0 %			
0.0 %	0.0 %			
Betriebskosten	(W+B-, UH- und Energiekosten)		43 640 Fr.	45 780 Fr.
TOTAL	(Kapital- + Betriebskosten)		76 880 Fr.	79 020 Fr.

ohne KEPZ		Oberstufe Bronschhofen		
Variante 5 Wärmepumpe Sole/Luft monovalent				
Jährliche Kapitalkosten		(Kapitalzins, real: 3.0 %)		
Bau- / Anlageteil	Investitionsausgaben [Fr.]	Nutzungsdauer [Jahre]	Annuit.-faktor	Heutige jährl. Kosten
Demontagen Heizung	8 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	310 Fr.
Wärmeerzeugung komplett	368 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	24 740 Fr.
Zusätzliche Erdwärmesonden		50 Jahre	3.89 %	
Bauliche Arbeiten	16 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	620 Fr.
Sanitärinstallationen	5 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	340 Fr.
Elektroinstallationen	20 000 Fr.	20 Jahre	6.72 %	1 340 Fr.
Demontage und Entsorgung Oeltank	10 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	390 Fr.
Honorare	30 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	1 170 Fr.
Unvoehergesehenes	15 000 Fr.	50 Jahre	3.89 %	580 Fr.
Total	472 000 Fr.	25 Jahre		29 490 Fr.
Jährliche Wartungs-, Bedienungs- und UH-Kosten (W+B)				
Bau- / Anlageteil	Anlagewert (ALG) [Fr.]	Jährliche Kosten		Heutige jährl. Kosten
		Pauschal [Fr.]	in [%] ALG	
Service und Unterhaltskosten	380 700 Fr.		1.0 %	3 810 Fr.
Total		(Proz. Anteil für W+B von Investitionskosten: 0.8 %)		3 810 Fr.
Jährliche Energiekosten				
Energieträger	Grundgebühr [Fr./ a]	Verbrauch [kWh/ a]	Berechnungspreis Energie	Heutige jährl. Kosten
Elektrizität		—	—	—
Elektr. (HT)		86 000 kWh/a	21.7 Rp/kWh	18 660 Fr.
Elektr. (NT)		57 500 kWh/a	16.9 Rp/kWh	9 720 Fr.
Erdgas		0 kWh/a	7.0 Rp/kWh	
Heizöl		0 kWh/a	12.0 Rp/kWh	
Biogasanteil		0 kWh/a	8.9 Rp/kWh	
Fernwärme		0 kWh/a	5.7 Rp/kWh	
		0 kWh/a		
		0 kWh/a		
Total				28 380 Fr.
Total der jährlichen Kosten		Progr. vorschlag Betrachtungsdauer		32 Jahre
Betrachtungsdauer* für Berechnung:		15 Jahre	Option: Eingabe Betrachtungsdauer: 15 Jahre	
	Kostensteigerung (real)	Mittelwertfaktoren	Heutige jährl. Kosten	Mittl. jährliche Kosten über die Betrachtungsdauer
Kapitalkosten	—	—	29 490 Fr.	29 490 Fr.
W+B und UH-Kosten	1.0 %	1.078	3 810 Fr.	4 110 Fr.
Elektr. (HT)	1.0 %	1.078	18 660 Fr.	20 110 Fr.
Elektr. (NT)	1.0 %	1.078	9 720 Fr.	10 480 Fr.
Holzpellets	1.5 %			
Holzsplit	1.5 %			
Biogasanteil	1.0 %			
Fernwärme	0.5 %			
0.0 %	0.0 %			
0.0 %	0.0 %			
Betriebskosten	(W+B-, UH- und Energiekosten)		32 190 Fr.	34 700 Fr.
TOTAL	(Kapital- + Betriebskosten)		61 680 Fr.	64 190 Fr.