

Schlussbericht, 20. Dezember 2018

Sanierung von Wärmeverbänden

Ansatz zu ökologisch und ökonomisch vertretbaren Sanierungen von bestehenden fossilen Wärmeverbänden am Beispiel der Gemeinde Horw



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Joachim Ködel, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Diego Hangartner, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhalt

1	Zusammenfassung / Résumé	4
2	Ausgangslage.....	6
2.1	Das Programm "Thermische Netze"	6
2.2	Die Gemeinde Horw.....	6
2.3	Eckdaten der Wärmeverbände	9
3	Vorgehen Sanierungsstrategien.....	12
3.1	Konzept Warmwasseraufbereitung.....	16
3.2	Konzept Leitungen	16
3.3	Konzept Kühlung.....	17
4	Schlussfolgerung.....	19
5	Literaturverzeichnis	20

1 Zusammenfassung / Résumé

In der Gemeinde Horw im Kanton Luzern gibt es etwa ein Dutzend Wärmeverbände, welche verschiedene Quartiere der Gemeinde mit Wärme versorgen. Während knapp die Hälfte bereits auf Holz basieren, wird die andere Hälfte der Verbände mit fossilen Energieträgern wie Heizöl oder Gas betrieben. Die Hochschule Luzern war im Rahmen des Mandats «Umsetzung Energieplanung» mit den Betreibern der Wärmeverbände in Kontakt, um Sanierungsstrategien zu erarbeiten. In den meisten Fällen hat sich aus ökonomischen Gründen ergeben, dass der Gas- oder Ölkessel weiterhin für die Spitzendeckung beibehalten werden sollte. Die Grundlast kann idealerweise mit einem erneuerbaren Energieträger (z.B. Wärmepumpen, Holz etc.) abgedeckt werden (Abbildung 2). Ökologisch ist das durchaus vertretbar, denn mit 50% der Leistung würde der Gas- oder Ölkessel für die Spitzendeckung nur etwa 15% des Wärmebedarfs abdecken, während die Grundlast mit etwa 85% der Wärme durch einen erneuerbaren Energieträger abgedeckt würde. Die verschiedenen Sanierungsvorhaben sind derzeit in der Konzeptphase. Die ersten Sanierungen sollten bis 2020 erfolgen.

Vor Sanierung

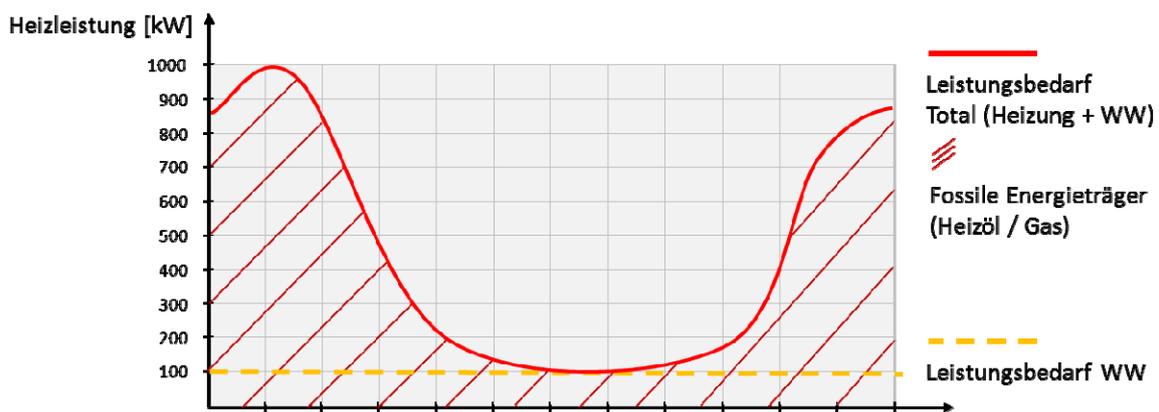


Abbildung 1: Heizlastkurve im Jahresverlauf vor der Sanierung der Heizanlage.

Nach Sanierung

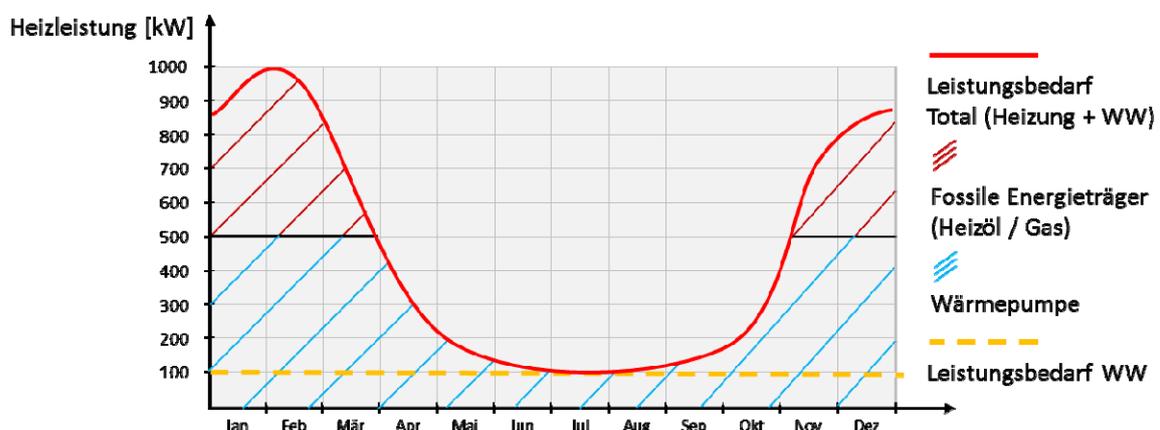


Abbildung 2: Heizlastkurve im Jahresverlauf nach der Sanierung der Heizanlage.

Une douzaine de petits chauffages à distance approvisionnent différents quartiers de la commune de Horw dans le canton de Lucerne. La moitié d'entre eux sont déjà alimentés par des énergies renouvelables. L'autre moitié, par contre, utilise des combustibles fossiles comme le mazout ou le gaz. Dans le cadre du mandat "mise en œuvre de la planification énergétique", la Haute École Spécialisée de Lucerne s'est mise en contact avec les exploitants des réseaux de chaleur afin de développer des stratégies d'assainissement. Dans la plupart des cas, pour des raisons économiques, il s'est avéré nécessaire de maintenir la chaudière à gaz ou à mazout pour couvrir les charges de pointe. La charge de base peut idéalement être couverte par une source d'énergie renouvelable (p. ex. pompes à chaleur, bois, etc.) (figure 2). D'un point de vue écologique, cela est envisageable, car avec 50% de la couverture de charge, la chaudière à gaz ou à mazout ne couvrirait qu'environ 15% de la demande de chaleur, tandis que la charge de base (50%) couvrirait environ 85% du besoin en chaleur. Les différents projets de rénovation sont actuellement en phase de conception. Les premières rénovations devraient être entamées d'ici à 2020.

Avant l'assainissement

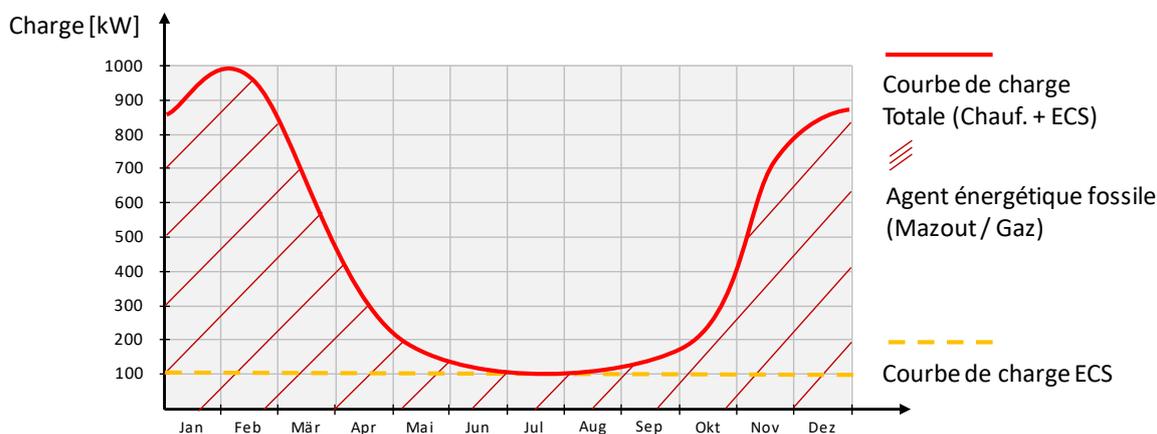


Figure 3: Courbe de charge annuelle avant l'assainissement de la chaudière.

Après l'assainissement

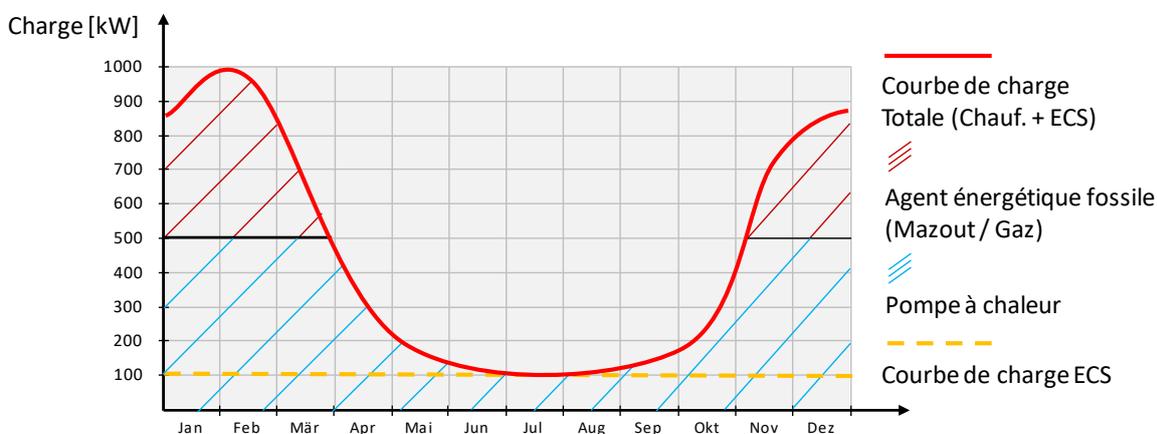


Figure 4: Courbe de charge annuelle après l'assainissement de la chaudière.

2 Ausgangslage

2.1 Das Programm “Thermische Netze”

Im Rahmen des BFE-Programmes «Thermische Netze» [1] werden Grundlagen zu technischen und nicht-technischen Themen erarbeitet. Bis anhin wurden vorwiegend Grundlagen für die Realisierung von neuen Netzen erarbeitet. Die Dokumentation von Projekten bezieht sich meist auf neue Netze. In Städten und Gemeinden gibt es viele Wärmeverbände (auch zentrale Gemeinschaftsheizungen), die mittelfristig saniert werden müssen und die heute meist fossil betrieben werden. Diese Netze weisen ein hohes Potential zur Einsparung von CO₂-Emissionen auf, wenn die Heizanlage ersetzt werden muss. Bei diesen Anlagen gilt es, eine ökologische sowie auch eine ökonomisch vertretbare Sanierung anzustreben.

In diesem Bericht wird am Beispiel der Gemeinde Horw im Kanton Luzern gezeigt, wie bei verschiedenen bestehenden Netzen vorgegangen wird, um den Übergang zu einem ökologischeren Netz wirtschaftlich zu ermöglichen. Die Vorgehensweise kann konzeptionell auch an anderen Standorten übernommen werden. Eine individuelle Betrachtung ist jeweils notwendig.

2.2 Die Gemeinde Horw

Horw ist seit 2007 Energiestadt und verfolgt im Energiebereich die Ziele der 2000-Watt Gesellschaft. Obwohl sich die Gemeinde auf einem Absenkpfad befindet, wird der Wärmebedarf heute noch zum grössten Teil fossil gedeckt. Der Anteil der fossilen Energieträger wie Heizöl und Erdgas soll bis 2035 auf max. 40 % des zukünftigen Endenergiebedarfes reduziert werden.

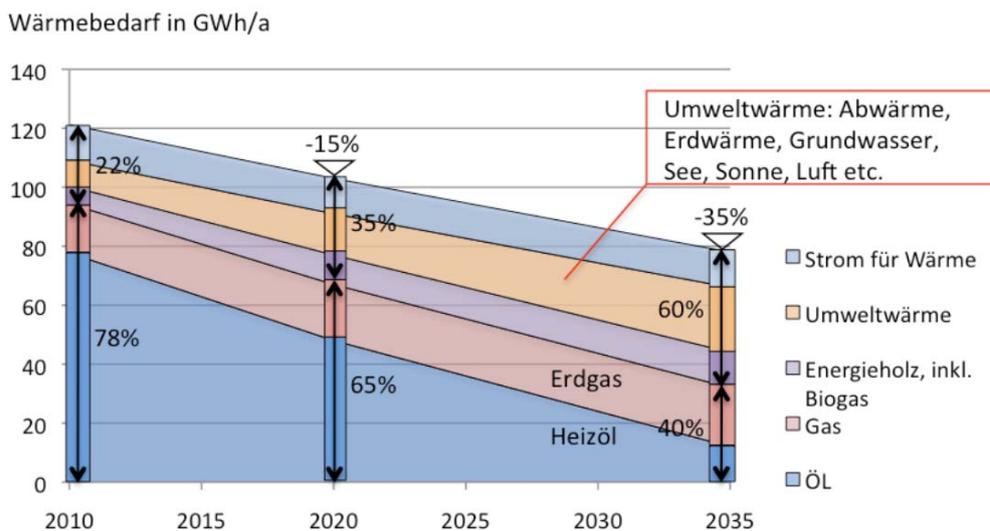


Abbildung 5: Absenkpfad des Wärmebedarfs der Gemeinde Horw bis 2035. [2]

Die Hochschule Luzern (HSLU) arbeitet im Auftrag der Gemeinde Horw an der Umsetzung der kommunalen Energieplanung. Die HSLU verfügt über ein Mandat bei der Gemeinde mit einer koordinativen und einer beratenden Funktion der Tätigkeiten im Bereich der Energieplanung und steht bei grösseren Überbauungen als Ansprechpartner zur Verfügung.

Horw verfügt über einen kommunalen Energieplan [2], in dem die verschiedenen Verbundgebiete und Eignungsgebiete mit den einzelnen Energieträgern dargestellt werden.

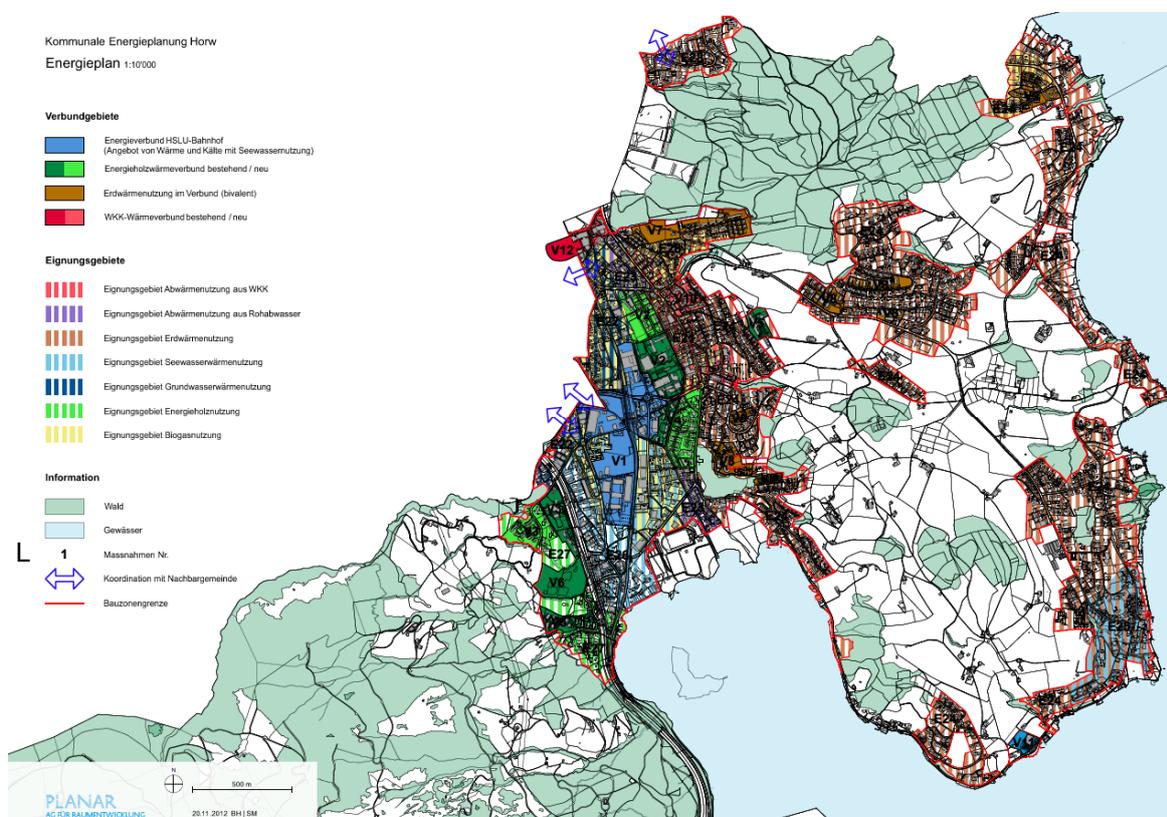


Abbildung 6: Kommunaler Energieplan der Gemeinde Horw mit Darstellung der möglichen Verbundgebiete und Eignungsgebiete. [2]

Tabelle 1: Verbund-Gebiete der Gemeinde Horw mit dem heutigen Energieträger.

Nr.	Verbund	Energieträger heute
V1	HSLU	Erdgas
V2	Wärmeverbund Allmend	Holz
V3	Wärmeverbund Spitz Rainli	Holz
V4	Wärmeverbund Korporation Horw	Holz
V5	Wärmeverbund Pflegeheim Kirchfeld	Holz
V6	Wärmeverbund Kleinwil / Unterschwändli	Holz
V7	Wärmeverbund Stirnrüti	Erdgas
V8	Wärmeverbünde: Schiltmatthalde, Krebsbärenhalde, Stegenrain, Stegenhalde, Stegenstrasse	Heizöl
V9	Wärmeverbund Stutzrain	Heizöl
V10	Wärmeverbund Rosenfeld	Heizöl
V11	EAWAG	Seewasser (+ WP)
V12	Wärmeverbund Brändi	Holz BHKW / Erdgas

Für die Gebiete am See und in der Ebene ist mit der Planung von LuzernSüd und dem Projekt Seenergy [3] ein Niedertemperaturnetz mit Seewassernutzung vorgesehen. Für die höherliegenden Gebiete sind teilweise individuelle Lösungen mit Erdwärmenutzung vorgesehen. Die bestehenden Holz-Wärmeverbände V2 bis V5 (grün) nutzen Biomasse aus der Region und sind für die Zukunft weiterhin mit diesem Energieträger angedacht.

In diesem Bericht werden beispielhaft drei kleine Wärmeverbände (V7-Stirnrüti, V8-Schiltmatthalde, V8-Stegenstrasse) beschrieben und ein methodischer und wirtschaftlicher Ansatz für die Sanierung der Heizanlage vorgestellt.



Abbildung 7: Die drei ausgewählten Wärmeverbände für die Untersuchung, V7-Stirnrüti (oben links), V8-Schiltmatthalde (unten), V8-Stegenstrasse (oben rechts). [2]

2.3 Eckdaten der Wärmeverbände

V07 Stirnrüti:

Anlage: Gaskessel + Elektroboiler (WW)

Heizleistung: 250 kW

Baujahr: 1995

Typ / EBF: Wohnsiedlung MFH und EFH, 8'850 m²

Wärmeverteilung: VL-Netz bei 75 °C, Fussbodenheizung VL < 40 °C



Heizzentrale

Die Heizanlage steht im Keller des nordöstlicheren Gebäudes auf der rechten Seite. Ein Strang versorgt die drei MFH nördlich der Stirnrütistrasse und ein anderer Strang versorgt die Bauten südlich der Stirnrütistrasse. Die Wohnsiedlung stammt aus den 1990er Jahren. Der Warmwasserbedarf wird dezentral über Elektroboiler aufbereitet. Bei drei MFH stehen mit der Fernleitung betriebene Zentralboiler im Einsatz. Der Gaskessel aus dem Jahr 1995 soll demnächst ersetzt werden.

V08 Schiltmatthalde:

Anlage: Ölheizung + Elektroboiler (WW)

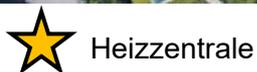
Heizleistung: 300 kW

Baujahr: 1988

Typ: 18 Reihen-EFH und ein MFH

Wärmeverteilung: VL-Netz bei 60 °C. Ältere Häuser mit Radiatoren.

Neue Liegenschaften mit Fussbodenheizung.



Heizzentrale

Diese Siedlung besteht aus 18 Reihen-Einfamilienhäuser und einem MFH, welche an der Gemeinschaftsheizung angeschlossen sind. Die Siedlung stammt aus den späten 1980er Jahren. Punktuelle Sanierungen an der Bausubstanz haben stattgefunden. Zwei Dächer sind mit einer thermischen Solaranlagen zur WW-Unterstützung bedeckt.

V08 Stegenstrasse:

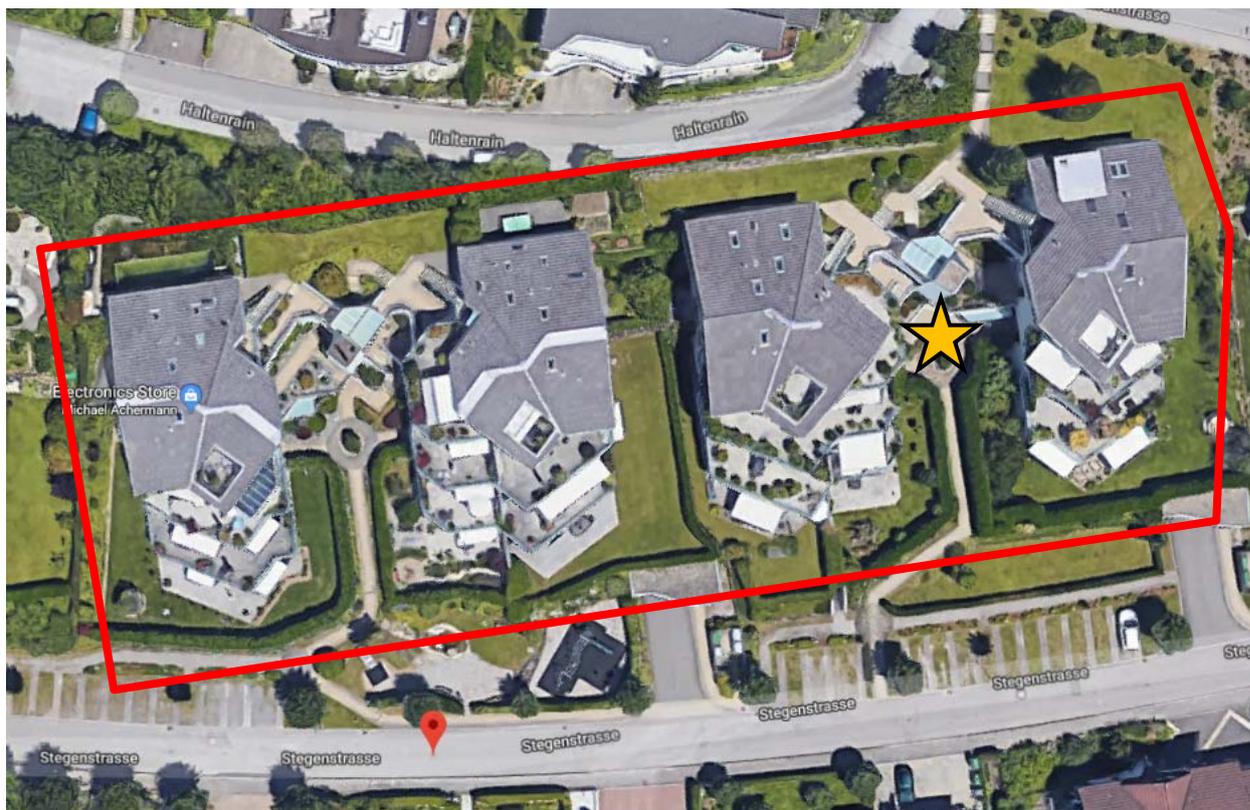
Anlage: Ölheizung + Elektroboiler (WW)

Heizleistung: 130 kW

Baujahr: 2002

Typ: 4 MFH, Terrassenwohnungen

Wärmeverteilung: Fussbodenheizungen VL < 40 °C.



 Heizzentrale

Vier MFH sind für die Raumwärmeversorgung an der gemeinsamen Ölheizung angeschlossen. Die Terrassenwohnungen der MFH haben alle eine Fussbodenheizung. Der Warmwasserverbrauch wird dezentral über Elektroboiler gedeckt. Ein Heizöltank von 25'000 Liter ist vorhanden.

3 Vorgehen Sanierungsstrategien

Von der Gemeinde wird frühzeitig das Gespräch mit dem Anlagenbetreiber, der Verwaltung und dem Liegenschaftseigentümer gesucht, um dem Risiko vorzubeugen, bei einem ersten Schaden an der Heizanlage einen Ersatz durch eine identische fossile Heizung zu erwirken. Es wird anhand eines bestehenden Wärmeverbands, V8-Schiltmatthalde, eine mögliche Sanierungsstrategie dargestellt, die für ähnliche Wärmeverbände in gleicher Weise angewendet werden kann. Zuerst wird der Heizwärmebedarf der zukünftigen Anlage ermittelt. Die notwendige Leistung der zukünftigen Anlage ist meistens kleiner als die der heutigen Anlage, da sie 1) in der ursprünglichen Ausführung oft überdimensioniert wurde, 2) in der Zwischenzeit punktuelle Sanierungen an der Bausubstanz vorgenommen wurden und 3) der Einfluss der Klimaerwärmung zu einem geringeren Heizwärmebedarf führt. Im Fall der Schiltmatthalde konnte anhand des real gemessenen Wärmeverbrauchs und Umrechnung über die Jahresvolllaststunden festgestellt werden, dass der neue Heizleistungsbedarf bei 200 kW anstatt der bisherigen 300 kW liegt. Danach wird die kumulierte Heizlastkurve dargestellt (Abbildung 8). Die Heizlastkurve zeigt den kumulierten Leistungsbedarf einer Anlage übers Jahr. Im Ist-Zustand wird der Gesamtwärmebedarf für die Raumheizung mit Heizöl gedeckt. Warmwasser wird mit dem Elektro-Boiler aufbereitet. Die Heizlastkurve zeigt bei den betrachteten Bauweisen einen ähnlichen Verlauf, unabhängig von der Bauperiode [4], und kann somit gut für ähnliche Objekte übertragen werden.

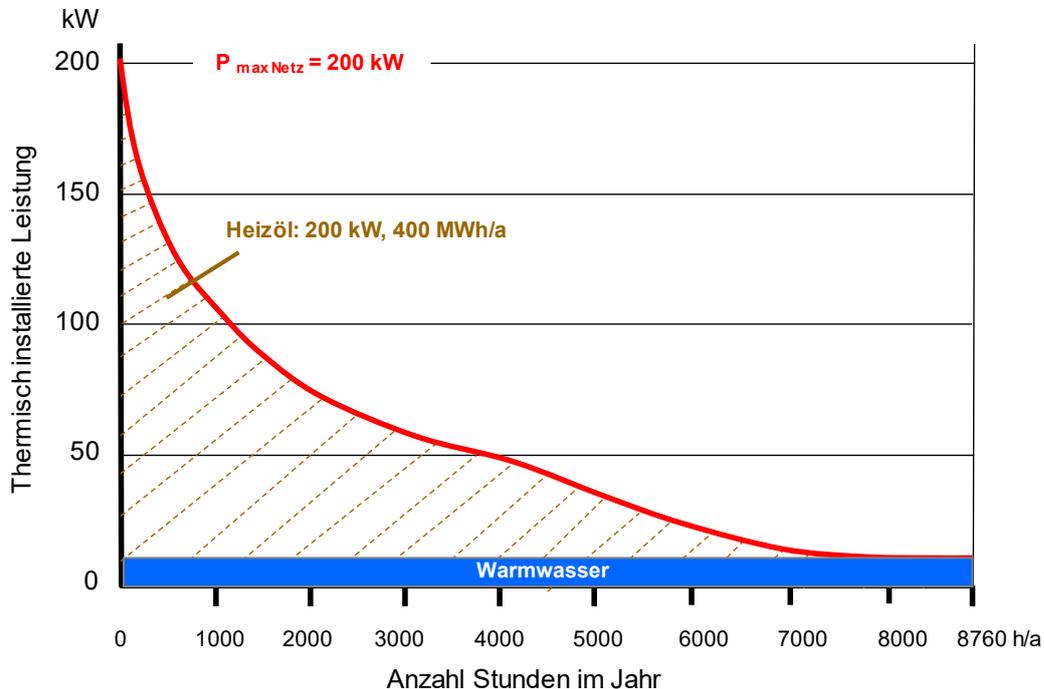


Abbildung 8: Kumulierte Heizlastkurve im Ist-Zustand der Liegenschaft Schiltmatthalde (V8) in

Horw mit der Deckung des Heizwärmebedarfs über Heizöl und WW dezentral über Elektroboiler.

Aus Abbildung 9 ist ersichtlich, dass mit 50% der Leistung (Grundlast) etwa 85% des Wärmebedarfs abgedeckt werden kann und mit den restlichen 50% Leistung (Spitzenlast) lediglich 15% des

Wärmebedarfs gedeckt werden muss. Somit ist es aus wirtschaftlichen wie auch aus Effizienzgründen sinnvoll, eine Wärmepumpe nicht auf die Gesamtleistung zu dimensionieren. Die Wärmepumpe erfährt eine spezifisch höhere Nutzungsdauer. Die Kosten zur CO₂-Vermeidung bleiben gering.

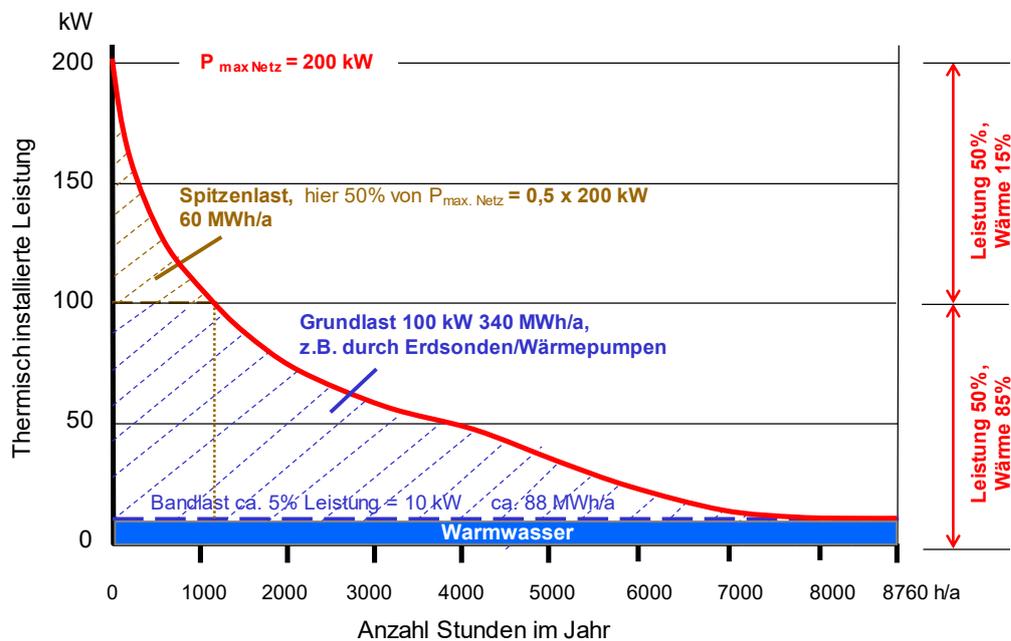


Abbildung 9: Bivalentes Sanierungskonzept mit Wärmepumpen zur Grundlastdeckung und Heizöl zur Spitzendeckung.

In der kalten Jahreszeit muss die Anlage während rund 1000 Stunden die Spitzenlast abdecken. Die Grundlast deckt die wärmeren Tage und den über das Jahr kontinuierlichen Warmwasserbedarf. Zur Deckung der Grundlast können idealerweise Erdsonden- oder Grundwasserwärmepumpen eingesetzt werden. Die Eignungsgebiete für Erdsonden können anhand von GIS-Karten ermittelt werden (Siehe Abbildung 10).

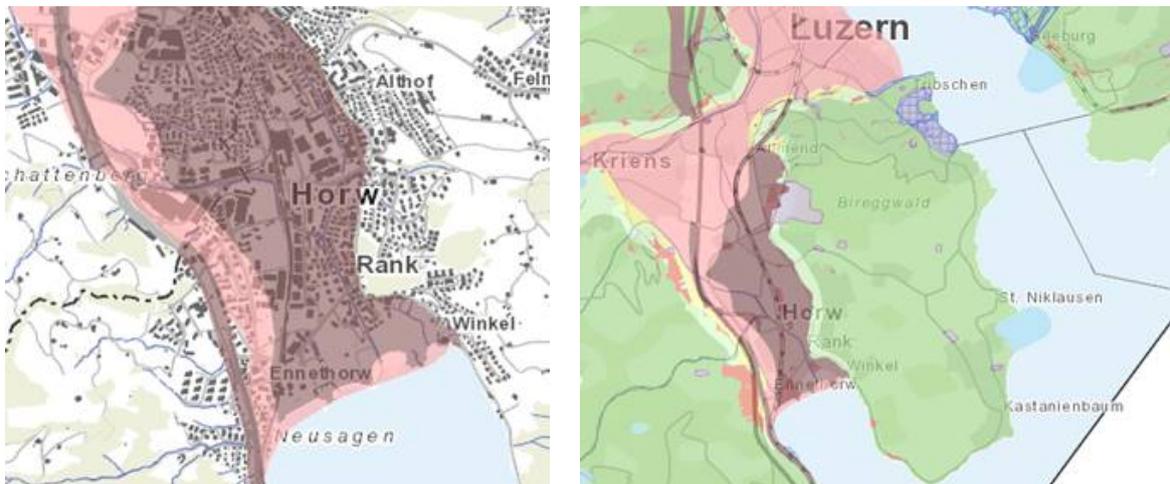


Abbildung 10: Auszug aus GIS-Karten. Rot und dunkel rot dargestellt sind die nicht zulässigen Gebiete für Erdwärmesonden in Horw (links). Grün dargestellt, die zulässigen gebiete (rechts). [5]

Gebiete mit Grundwasservorkommen sind prinzipiell für Erdwärmesonden nicht zulässig. Aussenluftwärmepumpen sind aufgrund der geringen Effizienz im Winter, und vor allem bei grösseren Anlagen, wenn möglich zu vermeiden. Holz kann ebenfalls zur Grundlastdeckung eingesetzt werden. Ein bis anhin installierter, eventuell überdimensionierter fossiler Heizkessel kann gewöhnlich mittelfristig als Spitzenkessel weiterbetrieben werden (Abbildung 11).

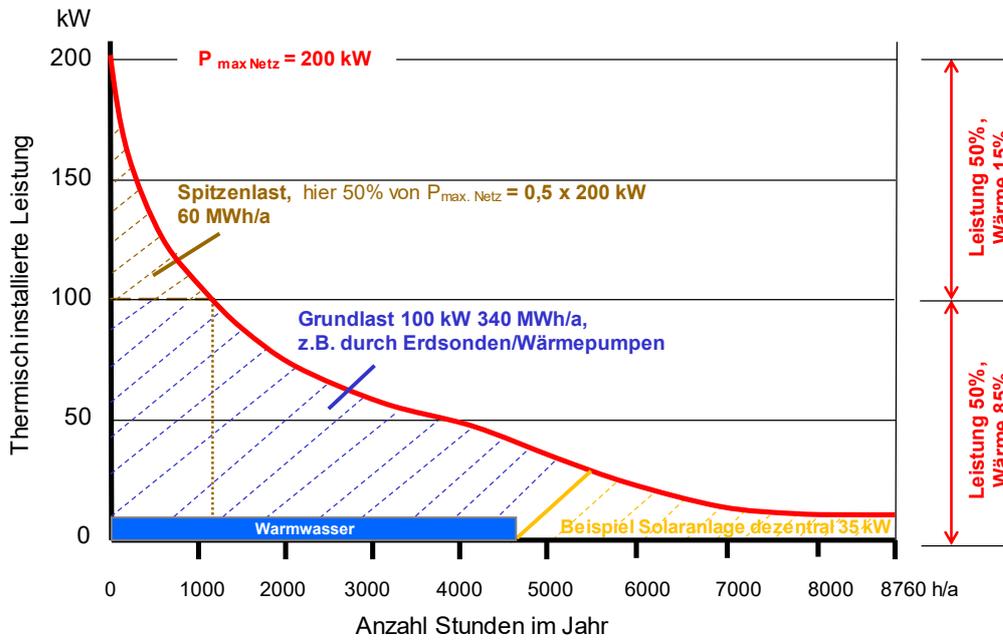


Abbildung 11: Bivalentes Sanierungskonzept mit Wärmepumpen zur Grundlastdeckung und Heizöl zur Spitzendeckung mit möglichem Zusatz einer thermischen Solaranlage für die Deckung des Warmwassers im Sommer.

Optional kann ein Teil der Grundlast im Sommer über eine thermische Solaranlage gedeckt werden. In Abbildung 12 werden die Investitionen für den Ersatz der Heizölanlage (V1) und die für den Einsatz einer Erdsonden-Wärmepumpen (bivalent V2 oder monovalent V3) dargestellt.

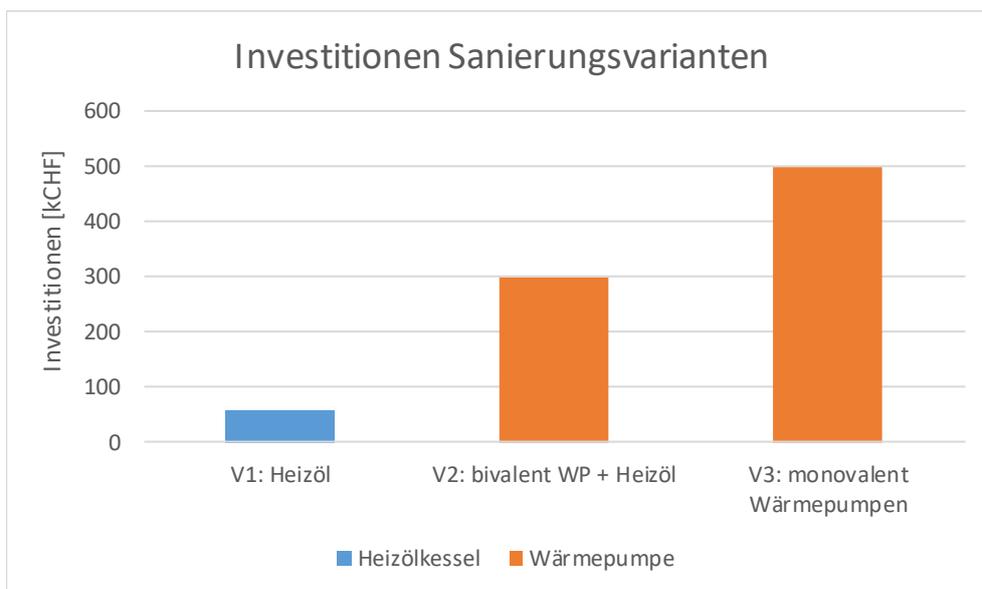


Abbildung 12: Investitionen für die Anlage der verschiedenen Sanierungsvarianten am Beispiel des Wärmeverbands Schiltmatthalde (Leistung 200 kW). Datengrundlage: Heizkostenvergleichsrechner HSLU. [6]

Aus der Graphik ist ersichtlich, dass der Ersatz des Ölkessels durch einen neuen Ölkessel die Variante mit den geringsten Investitionen darstellt. Tankanlage und Kamin müssen im besten Fall nicht ersetzt werden, so dass sich die Kosten für einen 200 kW Kessel auf ca. 60'000 CHF begrenzen. Die Erdsonden-Wärmepumpen inkl. Bohrungen kosten für eine 100 kW Anlage rund 300'000 CHF. Für eine 200 kW Anlage werden Investitionen von rund 500'000 CHF benötigt. Die Preisangaben stammen aus dem Heizkostenvergleichsrechner [6]. In Abbildung 13 werden die Wärmegestehungskosten der unterschiedlichen Varianten dargestellt.

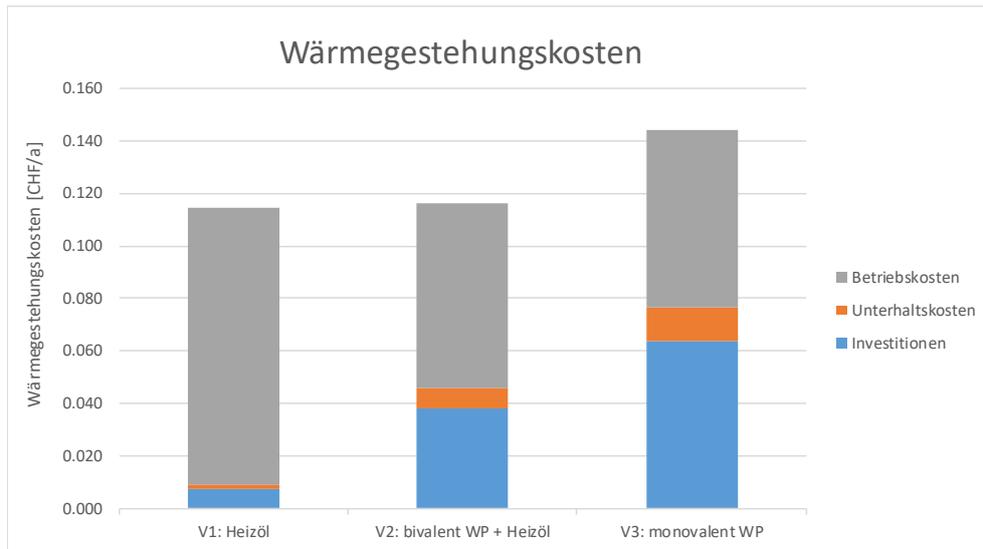


Abbildung 13: Wärmegestehungskosten der untersuchten Sanierungsvarianten am Beispiel des Wärmeverbands Schiltmattstrasse.

Aus Abbildung 13 kann festgestellt werden, dass die Wärmegestehungskosten von Variante 1 und 2 in etwa der gleichen Höhe liegen, obwohl die Investitionen für Variante 1 viel tiefer liegen. Zu sehen ist, dass die Varianten 2 und 3 tiefere Energiekosten haben. Die monovalente Variante 3 mit Wärmepumpe zeigt hingegen hohe Wärmegestehungskosten. Da die Kosten von Variante 1 und 2 sehr ähnlich sind, kann als Entscheidungskriterium der ökologische Mehrwert herangezogen werden (siehe Treibhausgasemissionen in Abbildung 14). Es wurde mit einer JAZ von 3.5 für die Variante 2 und JAZ 3 für die Variante 3 gerechnet, da in der letzten Variante die Spitzenlasten gedeckt werden müssen. Der Preis pro kWh Heizöl ist mit 9 Rp. und die elektrische Energie mit 14. Rp./kWh eingerechnet.

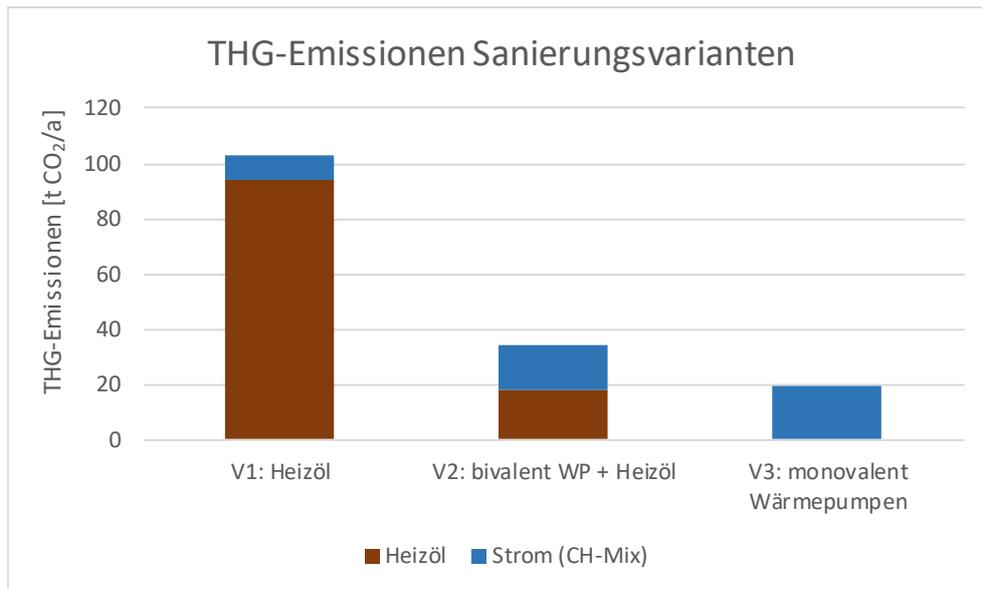


Abbildung 14: THG-Emissionen für die drei Sanierungsstrategien am Beispiel des Wärmeverbands Schiltmatthalde. Datengrundlage KBOB 2009/1:2016 [7].

Die Darstellung der Treibhausgas-Emissionen zeigt, dass mit der Variante 2 rund 60 Tonnen CO₂ Emissionen gegenüber Variante 1 gespart werden. Variante 3 kann gegenüber Variante 2 weitere ca. 15 Tonnen CO₂ einsparen. Diese Variante ist jedoch wirtschaftlich uninteressant und folglich schwer umsetzbar.

3.1 Konzept Warmwasseraufbereitung

In der Schiltmatthalde, Stirnrüti und Stegenstrasse werden derzeit überall dezentrale Elektro-Boiler eingesetzt. Wärmepumpen können Wärme für Warmwasser von > 60 °C bereitstellen. Somit könnte die Warmwasseraufbereitung auch mit dem Einsatz von Wärmepumpen zentral oder dezentral erfolgen. Falls die Warmwasseraufbereitung bereits dezentral erfolgt, wäre ein Konzept unter Einbezug von dezentralen Trinkwarmwasser-Wärmepumpen möglich.

3.2 Konzept Leitungen

Bestehende Wärmeverbände und Gemeinschaftsheizungen sind ausgestattet mit einem Wärmeverteilnetz, ausgeführt als im Raum verlegte oder erdverlegte isolierte Leitungen, oft als Kunststoffmantelleitungen mit Metall- oder Kunststoff-Medienrohren. Je nach Betriebsweise des Verteilnetzes weist dieses auch bei fälligem Heizungersatz noch eine hinreichende Qualität für einen weiteren Betrieb auf. Kunststoffmantelrohre haben zwar eine geplante Lebensdauer von typisch 30 Jahren. Bei mässiger thermischer Beanspruchung (z.B. max. 80 °C anstatt 90 °C oder 100 °C) und bei entsprechender Wasserqualität kann von einer wesentlich längeren Lebensdauer des Verbundes ausgegangen werden. Ein Wärmeverteilnetz mit einem Alter von 30 Jahren kann somit eventuell weitere 30 Jahre ohne Einschränkungen betrieben werden. Zweckmässig ist hierfür, die Verteilnetzqualität von Spezialisten prüfen zu lassen.

Ein vorhandenes Netz, welches bisher für eine Gemeinschaftsheizung oder einen fossil betriebenen Wärmeverbund genutzt wurde, und dessen Qualität noch für einen Weiterbetrieb geeignet befunden wird, stellt einen grossen Kapitalwert dar. Falls solch ein Netz für eine Versorgung weiterverwendet werden kann, ergeben sich andere, zusätzliche Möglichkeiten für ein zentral ausgerichtetes Energiekonzept. Da moderne Versorgungskonzepte tendenziell tiefere Betriebstemperaturen aufweisen als traditionelle fossile Versorgungen, kann das vorhandene Netz, sofern die Netzleistung genügt, mit neuen Parametern betrieben werden. So kann das Netz einer bisherigen Gemeinschaftsheizung mit Parametern VL = 85 °C, RL = 60 °C mit neuen Parametern, z.B. VL = 65 °C, RL = 45 °C, oder mit noch tieferen Parametern betrieben werden. Aufgrund der reduzierten Temperaturspreizung ergeben sich eventuell reduzierte Netzleistungen. Ob diese genügt, muss fallweise bestimmt werden.

Die grosse Chance der Weiternutzung eines bestehenden Netzes liegt in der Anwendbarkeit einer zentralen ökologisch interessanten Versorgung durch z.B. zentrale Wärmepumpe mit Erdsonden oder Grundwasser. Die Überlegung, ein bestehendes Netz weiter zu betreiben, oder das Netz zu demontieren, muss dringend im Zusammenhang mit dem neuen Energiekonzept angesehen werden.

3.3 Konzept Kühlung

Mit steigenden Temperaturen und häufigeren Hitzesommern steigt das Interesse und der Bedarf an Kühlung auch für Wohnbauten [8]. Bei der Erstellung eines Energiekonzepts wird öfters, zusätzlich zu einem Heizkonzept, ein Kühlkonzept gewünscht.

Beim Einsatz von Erdsonden-Wärmepumpen bietet sich die Möglichkeit an, im Sommer, mittels eines Wärmetauschers, das Erdsondenfeld für freie Kühlung zu nutzen.

Es wurde im Verbund Stirnrüti eine Konzeptstudie von Basler & Hofmann mit drei Varianten untersucht mit einer optionalen Einbindung von Geocooling (freecooling) bei den Varianten mit Einsatz von Erdsonden:

- V1 Gaskesseleratz
- V2 Erdsonden-Wärmepumpen mit Spitzenlast Gaskessel (mit Option Geocooling)
- V3 Erdsonden-Wärmepumpen / Dezentrale BWW-WP (mit Option Geocooling)

4 Schlussfolgerung

Die konzeptionellen Überlegungen bei den Wärmeverbänden / Gemeinschaftsheizanlagen in der Gemeinde Horw zeigen, dass neue Versorgungskonzepte im Fall eines anstehenden altersbedingten Heizungsersatzes durchaus zu wirtschaftlich interessanten Lösungen führen können, die zudem ökologisch einem einfachen Heizungsersatz deutlich überlegen sind. Die in der Gemeinde Horw zur Ausführung empfohlenen Konzepte können durchaus in vielen anderen Gemeinden ebenfalls geprüft werden. Von grossem Nutzen hierfür ist die Erstellung einer kommunalen räumlichen Energieplanung sowie eine konsequente Information der Betreiber von Verbänden und Gemeinschaftsheizungen. Bedeutend für die Erstellung von entsprechenden Versorgungskonzepten ist der zeitgerechte Einbezug von Know-how-Trägern.

Grosse Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit von zukünftigen Energiekonzepten ist die Prüfung des möglichen Weiterbetriebes bereits vorhandener Wärmenetze, da diese ggf. einen hohen Kapitalwert darstellen. Ebenfalls wichtig für eine gute Wirtschaftlichkeit ist gerade im Falle zentral versorgter Strukturen die Prüfung eines bivalenten Konzeptes unter Einbezug bereits bestehender Einrichtungen.

5 Literaturverzeichnis

- [1] www.energieschweiz.ch/thermische-netze
- [2] Hoesli B., *Kommunale Energieplanung Horw*, Planar, März 2013
- [3] www.ewl-luzern.ch/privatkunden/energie/see-energie/
- [4] Faessler J., *Introduction à la formation et généralités sur l'énergie*, Formation continue UNIGE, November 2007
- [5] <https://www.geo.lu.ch/map/erdwaermenutzung>
- [6] <https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/zip/software-tools/ige-formular-heizkostenre/>, Hochschule Luzern, Swisspower, 2017
- [7] Ökobilanzdaten im Baubereich, KBOB, 2009/1:2016
www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html
- [8] Settembrini G. et al., *ClimaBau – Planen angesichts des Klimawandels*, HSLU, BFE, Dezember 2017