

Schlussbericht 24. Februar 2014

Untersuchung von WP-Wassererwärmern in Einfamilienhäusern

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Technikumstrasse 21
6048 Horw

Autoren:

Reto von Euw
Franz Sidler
Daniel Wobmann
Iwan Plüss

Begleitperson:

Rita Kobler, Bundesamt für Energie BFE

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.

EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.energie-schweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	5
2.1	Ausgangslage	5
2.2	Projektziel.....	5
2.3	Vorgehensweise	5
2.4	Aufbau des Berichts.....	6
2.5	Nutzenergie – Endenergie - Primärenergie	7
2.6	Berücksichtigte Wärmequellen	8
3	Resultate und Diskussionen.....	9
3.1	Einfluss der unterschiedlichen Wärmequellen der WP-Wassererwärmer.....	9
3.2	Einfluss der Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels	17
3.3	Einfluss der Grösse des WP-Aufstellungsraums	24
3.4	Einfluss der gedämmten Kellerdecke.....	26
3.5	Einfluss der Klimastationen	31
4	Zusammenfassung der diskutierten Varianten	43
4.1	Gebäudetyp mit „schlechtem U-Wert“	43
4.2	Gebäudetyp mit „besserem U-Wert“	49
4.3	Konklusion	55
ANHANG.....		58
A.1	Gebäudetyp: „besserem U-Wert“ / Einfluss der unterschiedlichen Wärmequellen	58
A.2	Gebäudetyp: „besserem U-Wert“ / Einfluss der Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels	59
A.3	Grundlagen für thermische Raumsimulation	61

1 Zusammenfassung

In bestehenden Einfamilienhäusern wird oft das Brauchwarmwasser direkt-elektrisch erwärmt. Einige Stromlieferanten fördern zusammen mit anderen Organisationen den Ersatz dieser direkt-elektrisch betriebenen Brauchwarmwassererwärmern (Elektro-Wassererwärmer) durch effizientere Wärmepumpen-Wassererwärmer (WP-Wassererwärmer). Dabei erhoffen die Stromlieferanten, dass der Stromverbrauch für die Erzeugung des Brauchwarmwassers um bis zu zwei Drittel gesenkt werden kann.

Die Hochschule Luzern – Technik & Architektur wurde vom Bundesamt für Energie (BFE) beauftragt, das Energieeinsparpotential von WP-Wassererwärmern gegenüber Elektro-Wassererwärmern für die Gebäudekategorie Einfamilienhaus (EFH), zu untersuchen.

Die Berechnungen erfolgten mit dem dynamischen Gebäudesimulationstool IDA ICE. Es wurden zwei Einfamilienhaustypen (Gebäudehülle mit „schlechtem U-Wert“ und mit „besserem U-Wert“) an drei unterschiedlichen Klimastationen (Zürich, Davos und Lugano) untersucht. Die Gesamtbewertung erfolgt auf der Stufe der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und den Treibhausgasemissionen.

Die Ergebnisse des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ zeigen, dass sich bei einem Einsatz einer WP-Wassererwärmung die nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser reduzieren lassen. Je kleiner der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ ist, desto grösser ist die Energieeinsparung. Die grösste Energieeinsparung ist in Lugano (Alpensüdseite) möglich, dicht gefolgt von Zürich (Mittelland) und Davos (Bergregion). Die Treibhausgasemissionen verringern sich in einem kleineren Ausmass. Bezieht die Wärmepumpe die notwendige Verdampfungsenergie aus der Raumluft, wird Wärme vor allem aus den beheizten Räumen abgezogen. Dabei steigt der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ an und führt zu einem Mehraufwand für den Öl-Heizkessel. Dieser Effekt kann mit einer durchgehend gedämmten Kellerdecke jedoch massiv gesenkt werden.

Wird nur der Elektro-Wassererwärmer mit einem WP-Wassererwärmer ersetzt, können die jährlichen nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser zwischen 7 und 20% verringert werden. Wie oben bereits erwähnt, herrscht das grösste Energieeinsparpotential in Lugano (Alpensüdseite) und das geringste in Davos (Bergregion).

Die grösste Energiereduktion erreicht man mit einer WP-Wassererwärmung, welche die Verdampfungsenergie aus der Aussenluft bezieht (z.B. Split-Anlage). Diese sollte bis zu einer Aussenlufttemperatur von mindestens -5 °C das Wasser erwärmen. Wird dieser Bivalenzpunkt unterschritten, erwärmt ein Elektroheizeinsatz das Wasser direkt-elektrisch. Mit der Aussenluft als Energiequelle beeinflusst die Wassererwärmungsanlage die Raumlufttemperatur im Aufstellungsraum nicht, womit kein Wärmediebstahl und der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ nicht ansteigt.

Kommt eine Wärmepumpe zum Einsatz, welche die notwendige Verdampfungsenergie aus einem unbeheizten Raum bezieht, darf ein minimales Raumvolumen von 20 m^3 nicht unterschritten werden. Während dem Wärmepumpenbetrieb senkt sich die Raumlufttemperatur um 6 Kelvin. Mit der Temperaturreduktion fällt im Wärmepumpenverdampfer Kondenswasser an. Die Raumlufttemperatur steigt nach dem WP-Betrieb wieder an. Diese bleibt bei kalten Aussenlufttemperaturen jedoch zwischen 2 und 3 Kelvin unter der Raumlufttemperatur der Basisvariante. Offen ist, ob durch die Raumlufttemperaturabsenkung eine zu hohe relative Luftfeuchte im Raum festzustellen ist. Dies könnte zu Kondensatbildung an Innenwänden führen. Um präzisere Aussagen über die Wirkung dieser Wärmequelle „Raumluft in unbeheizten Räumen“ auf mögliche bauphysikalische Schäden machen zu können, wären weitere Untersuchungen empfehlenswert.

Die grösste Energieeinsparung lässt sich mit dem Dämmen der gesamten Kellerdecke erreichen. Dämmt man die Kellerdecke mit einer 10 cm dicken Dämmplatte ($\lambda = 0.035\text{ W/m}^2\text{K}$), können die Transmissionswärmeverluste (Q_T) um 17% reduziert werden. Weiter lassen sich die jährlichen Treibhausgasemissionen bis zu $3'000\text{ kg CO}_2\text{-eq}$ senken. Diese Reduktion entspricht einer jährlich gefahrenen Autostrecke von $23'000\text{ km}$.

Bei einer Kombination „Kellerdecke dämmen“ und „WP-Wassererwärmung“ ist eine Wärmepumpe mit einer Wärmequelle „Aussenluft“ vorzusehen. Da durch die Kellerdeckendämmung der Wärmediebstahl unterbunden wird, sinkt das Energiepotenzial in der Raumluft. Dies führt bei einer WP-Wassererwärmung mit Wärmequelle „Raumluft“ zu einer Reduktion der Leistungszahl (COP) und der Jahresarbeitszahl (JAZ).

Vergleicht man die beiden Gebäudetypen „schlechter U-Wert“ mit dem „besseren U-Wert“, stellt man fest, dass das Energieeinsparpotential aller berechneten Varianten gleichmässig um 2% voneinander abweicht. Insgesamt schneidet das besser gedämmte Gebäude besser ab. Die Einsparungen bei den jährlichen Treibhausgasemissionen sind hingegen bei beiden Gebäudetypen identisch.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage

In der Schweiz sind immer noch sehr viele direkt-elektrisch betriebene Brauchwarmwassererwärmer (Elektro-Wassererwärmer) im Einsatz. Mit etwa 800'000 Elektro-Wassererwärmern im Einsatz gehört diese Art von Wassererwärmung zu den grössten Stromverbrauchern im Haushalt. Sie machen ca. 8% des gesamten Schweizer Stromverbrauchs (ca. 4.8 TWh)¹⁾ aus. Mit den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE 2008) ist bei Wohnbauten der Neueinbau von direkt-elektrischen Wassererwärmern nur noch erlaubt, wenn das Brauchwarmwasser während der Heizperiode mit dem Wärmeerzeuger für die Raumheizung erwärmt resp. vorgewärmt wird. Ziel ist, dass das Brauchwarmwasser primär mittels erneuerbarer Energie erwärmt wird.

Manche kantonale Förderstellen und einige Elektrizitätsunternehmen fördern den Ersatz von Elektro-Wassererwärmern durch Wärmepumpen-Wassererwärmer. Mittels Förderbeiträgen motivieren sie die Kunden, ihre alten Elektro-Wassererwärmer durch WP-Wassererwärmer zu ersetzen. Solche Aktionen werden von verschiedensten Verbänden und Organisationen ideell unterstützt und gefördert. Ein Beispiel ist das Kommunikationsprojekt „Ersatz von Elektro-Wassererwärmern durch Warmwasser-Wärmepumpen“, welches von Gebäude-Klima Schweiz (GKS) lanciert und zusammen mit namhaften Branchenorganisationen wie suissetec, Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS), EnergieSchweiz sowie vom Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE) umgesetzt wird.

2.2 Projektziel

Beim Einsatz von effizienten WP-Wassererwärmern sind verschiedene Rahmenbedingungen zu beachten. Diese gilt es in diesem Projekt zu definieren. Es sind Rahmenbedingungen aufzuzeigen, welche erfüllt resp. geschaffen werden müssen, um eine direkt-elektrische Erwärmung des Brauchwarmwassers durch einen effizienten WP-Wassererwärmer ersetzen zu können.

2.3 Vorgehensweise

Aus den Baujahren 1980 bis 2000 wurden zwei Einfamilienhaustypen definiert. Diese beiden Gebäudetypen unterscheiden sich nur in der Gebäudehülle. Die Variante „schlechter U-Wert“ repräsentiert ein Gebäude aus dem Jahr 1980 und die Variante „besserer U-Wert“ ein Gebäude aus dem Jahr 1990.

Bezeichnung der Gebäudetypen:	U-Wert opake Gebäudeteile		U-Wert Fenster	
	Aussenwand	Dach	Glas	Rahmen
Variante: „schlechter U-Wert“	0.56 W/m ² K	0.48 W/m ² K	2.90 W/m ² K	3.00 W/m ² K
Variante: „besserer U-Wert“	0.30 W/m ² K	0.28 W/m ² K	2.90 W/m ² K	3.00 W/m ² K

Tabelle 1:

Übersicht der wichtigsten Parameter der Gebäudehülle, bei der Variante „schlechter U-Wert“ und „besserer U-Wert“

Die Ergebnisse basieren auf Simulationsberechnungen (Simulationstool: IDA ICE). Dabei werden die Basisvarianten, welche den Elektro-Wassererwärmer beinhaltet, sowie die unterschiedlichen WP-Wassererwärmer-Varianten berechnet und auf der Systemgrenze der „nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser“ miteinander verglichen.

Weiter wurde definiert, dass die Wärmeerzeugung für die Raumheizung mit einem nichtkondensierenden Oel-Heizkessel erfolgt. Deshalb wurde in einem weiteren Schritt die notwendige Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels untersucht. Hierbei werden ein offenes und ein geschlossenes System untersucht. Beim offenen System strömt die Verbrennungsluft via offen stehendem Kippfenster in den Technikraum ein. Hingegen bleibt das

¹⁾ Quelle: Fachartikel im HK-Gebäudetechnik Heft Nr. 9/12, „Warmwasser-Wärmepumpen als Ersatz für Elektro-Wassererwärmer“

Kippfenster im geschlossenen System zu und die Verbrennungsluft strömt in einem Kanalsystem dem Oel-Heizkessel zu.

Mit der Dämmung der Kellerdecke wurde eine weitere Sanierungsvariante im Zusammenhang der WP-Wärmequelle bei den unterschiedlichen Klimastationen untersucht.

Die simulierten Varianten werden wie folgt bezeichnet:

Nr.	Variantenbezeichnung	Quelle für WP	Verbrennungsluft Oelkessel
A	Basisvariante		
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	--	Kippfenster offen
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	--	Kippfenster geschlossen
B	Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)	Raumluft	
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumluft	Kippfenster offen
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Raumluft	Kippfenster geschlossen
C	Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)	Aussenluft	
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster (<6°C elektrisch-direkte WW)	Aussenluft	Kippfenster offen
2	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster (<-5°C elektrisch-direkte WW)	Aussenluft	Kippfenster offen
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (<6°C elektrisch-direkte WW)	Aussenluft	Kippfenster geschlossen
4	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (<-5°C elektrisch-direkte WW)	Aussenluft	Kippfenster geschlossen
D	Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)	Raumluft	
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumluft	Kippfenster offen
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Raumluft	Kippfenster geschlossen

Tabelle 2:

Übersicht der simulierten Varianten bei ungedämmter Kellerdecke

Nr.	Variantenbezeichnung	Quelle für WP	Verbrennungsluft Oelkessel
A	Basisvariante		
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	--	Kippfenster geschlossen
B	Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)	Raumluft	
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Raumluft	Kippfenster geschlossen
C	Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft) Verbrennungsluft geführt	Aussenluft	
5	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (<6°C elektrisch-direkte WW)	Aussenluft	Kippfenster geschlossen
6	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (<-5°C elektrisch-direkte WW)	Aussenluft	Kippfenster geschlossen
D	Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)	Raumluft	
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Raumluft	Kippfenster geschlossen

Tabelle 3:

Übersicht der simulierten Varianten bei gedämmter Kellerdecke

2.4 Aufbau des Berichts

Aufgrund der Lesbarkeit werden die Ergebnisse des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ im Hauptteil des Berichts und diejenigen Ergebnisse des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ im Anhang dargestellt. Vergleicht man die Ergebnisse dieser beiden Gebäudetypen, weichen diese immer gleichmässig voneinander ab. Deshalb gelten die im Hauptteil gemachten Aussagen auch für den Gebäudetyp „besserer U-Wert“.

Die Ergebnisse werden im Kapitel 3 „Resultate und Diskussion“ dargestellt. Es wurden folgende Einflüsse untersucht:

- **Wärmequellen der WP-Wassererwärmer**
- **Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels**
- **Grösse des WP-Aufstellungsraums**
- **gedämmte Kellerdecke**
- **Klimastation**

Im Kapitel 4 werden die Zusammenfassungen der diskutierten Varianten aufgezeigt.

Zuletzt sind im Anhang die Ergebnisse des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ abgebildet und sämtliche Grundlagen für die thermische Raumsimulation aufgeführt.

2.5 Nutzenergie – Endenergie - Primärenergie

Berechnet werden die jährlichen Nutzenergien für Raumheizung und Warmwasser (Q_h und Q_{ww}), die jährlichen Endenergien für Heizung und Warmwasser ($E_{F,hww}$) sowie die nicht erneuerbaren Primärenergien. Zwischen der Endenergie und der Nutzenergie befindet sich der Wirkungsgrad der Wärmeerzeuger. Beim Einsatz der WP-Wassererwärmung wird die Jahresarbeitszahl (JAZ) berücksichtigt. Die JAZ beschreibt das Verhältnis des gesamten Jahreswärmebedarfs für Warmwasser (Q_{ww}) zur gesamten aufgenommenen elektrischen Energie. Ihre Grösse ist von der Verdampfungsenergiequelle abhängig. Der Wirkungsgrad des nichtkondensierenden Oel-Heizkessels wird für alle Varianten als konstant 80% angenommen.

Weiter wird für die Wärmeproduktion des Warmwassers eine Warmwassertemperatur von 55 °C angenommen. Aus hygienischer Sicht ist diese Annahme für die Gebäudekategorie Wohnen-EFH unkritisch.

Die Primärenergie ergibt sich durch Multiplikation der Endenergie für Heizung und Warmwasser ($E_{F,hww}$) mit dem Primärenergiefaktor²⁾. Dabei werden nur die nicht erneuerbaren Energiequellen berücksichtigt. Die nicht erneuerbare Primärenergie quantifiziert den kumulierten Energieaufwand der fossilen und nuklearen Energieträger sowie Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern.

Die berechneten Varianten werden bei der Systemgrenze „nicht erneuerbare Primärenergie-Wärme“ miteinander verglichen. Dabei sind sämtliche Energien berücksichtigt, welche für die Wärmeproduktion für Heizung und Warmwasser notwendig sind.

Weiter werden die Treibhausgase ausgewiesen, welche die Energieträger emittieren. Die Treibhausgasemissionen²⁾ quantifizieren die kumulierten Wirkungen verschiedener Treibhausgase bezogen auf die Leitsubstanz CO₂.

Energie	Bezug		Primärenergie nicht erneuerbar [MJ]	Treibhausgas- emissionen [kg CO ₂ -eq]
	Grösse	Einheit		
Brennstoffe				
Heizöl EL	Endenergie	[MJ]	1.2300	0.08270
Elektrizität vom Netz				
CH-Verbrauhermix	Endenergie	[MJ]	2.6300	0.04130
Wasserkraft	Endenergie	[MJ]	0.0348	0.00351

Abbildung 1:

Berücksichtigte Parameter für die Berechnung der nicht erneuerbaren Primärenergie für Heizung und Warmwasser und der Treibhausgasemissionen; gemäss den Ökobilanzdaten im Baubereich (Stand Juli 2012)²⁾

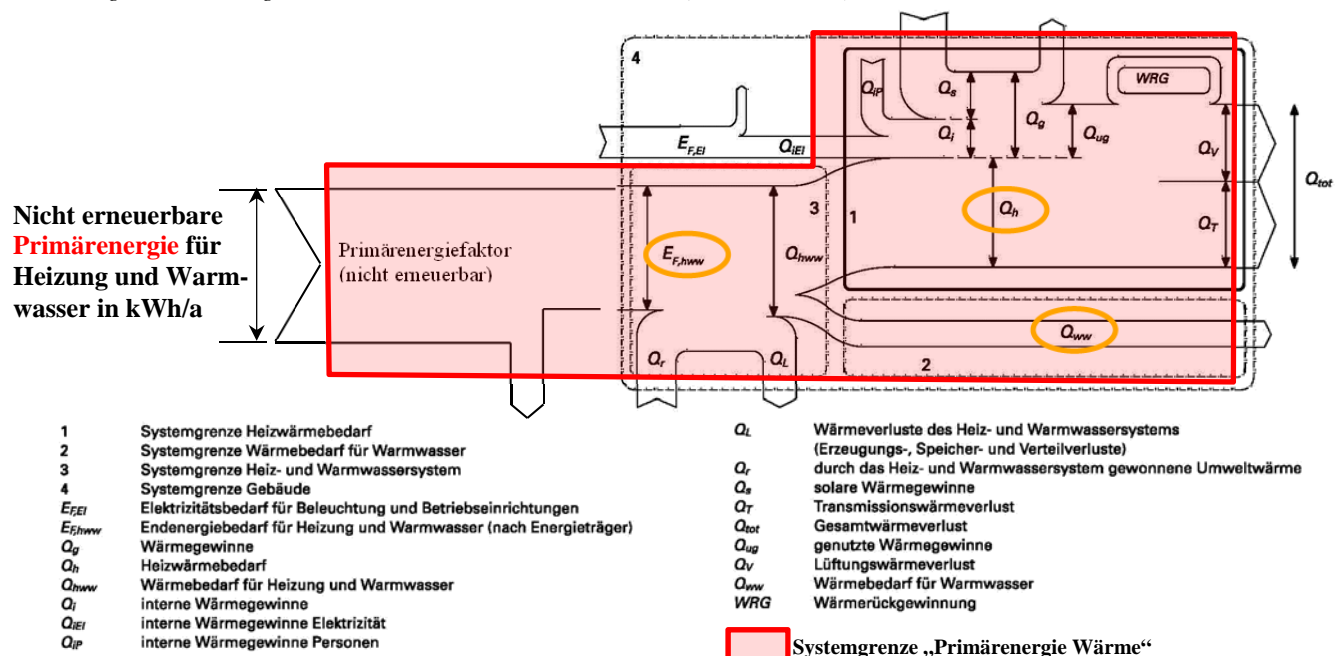


Abbildung 2:

Darstellung der Systemgrenze Primärenergie Wärme (Quelle: SIA 380/1-2009)

²⁾ nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren und Treibhausgasemissionen wurden aus den „Ökobilanzdaten im Baubereich“ Stand Juli 2012, gemäss KBOB, eco-bau und IPB, übernommen.

2.6 Berücksichtigte Wärmequellen

Auf dem Markt sind unterschiedliche Wärmepumpen erhältlich. Es gibt Kompaktanlagen und Split-Anlagen, welche im monovalenten oder im bivalenten Betrieb laufen. Bei monovalenten Anlagen stellt die Wärmepumpe in allen Betriebszuständen den erforderlichen Wärmeleistungsbedarf bereit. Hingegen erzeugt die Wärmepumpe im bivalenten Betrieb die Wärmeleistung nur bis zu einem bestimmten Betriebszustand – dem sogenannten Bivalenzpunkt. Wird dieser Bivalenzpunkt unterschritten, übernimmt ein zweiter Wärmeerzeuger (in diesem Fall der Elektroheizeinsatz im Wassererwärmer) die Deckung des Wärmeleistungsbedarfs.

2.6.1 Kompaktanlage mit der Wärmequelle „Raumlufte“ aus dem Technikraum

Bei der Kompaktanlage ist der Verdampfer und der Verflüssiger dem Warmwasserspeicher direkt aufgebaut. Diese Luft-Wasser-Wärmepumpe entzieht Wärme aus dem unbeheizten Technikraum im monovalenten Betrieb. Im Gegensatz zur Aussenluft-WP kann die Kompaktanlage von den Wärmequellen, welche in diesem Aufstellungsraum stehen (z.B. Abwärme des Heizkessels) und dem Wärmeeintrag der Nachbarsräume profitieren.

2.6.2 Split-Anlage mit der Wärmequelle „Aussenluft“

Die Split-Anlage entzieht der Aussenluft die Wärme. Nachteilig sind hierbei die saisonal tiefen Aussenlufttemperaturen und deren Luftfeuchte. So kann es sein, dass bei tiefen Aussenlufttemperaturen Reif und Eis am Verdampfer ansetzen. Mittels Abtaueinrichtung in der WP wird der vereiste Lamellen-Wärmeübertrager wieder abgetaut.

Eine Split-Anlage besteht aus zwei Teilen: einem Verdampfer (aussen aufgestellt) und einem Verflüssiger mit Verdichter (im Technikraum aufgestellt). Die beiden Teile sind mit Kältemittelleitungen verbunden.

In dieser Untersuchung wurde eine bivalente Anlage berücksichtigt. Dabei wurden zwei Varianten mit unterschiedlichen Bivalenzpunkten berechnet. In einer ersten Variante wurde er bei 6 °C, bei einer zweiten Variante bei -5 °C festgelegt.

Eine Kompaktanlage, bei der die Wärmequelle „Aussenluft“ mit Lüftungskanälen an den Verdampfer geführt wird, ist dem Split-Gerät bei dieser Studie gleich zu stellen.

2.6.3 Split-Anlage (resp. Kompaktanlage) mit der Wärmequelle „Raumlufte“ aus dem Wirtschaftsraum

Bei dieser Variante wird der Verdampfer im unbeheizten Wirtschaftsraum montiert. Der Wirtschaftsraum, welcher im Untergeschoss liegt, stellt die Waschküche mit Waschmaschine und Wäschetrockner dar.

Der Verflüssiger mit dem Verdichter steht wie bei der Variante „Kompaktanlage“ im Technikraum. Diese Variante profitiert von der Abwärme des Wäschetrockners (Kondensationstrockner ohne WP-Betrieb) und dem Wärmeeintrag der Nachbarräume. Durch dieses „Energiepotenzial“ läuft die Luft-Wasser-Wärmepumpe in unserer Untersuchung im monovalenten Betrieb.

Der Wärmeentzug aus dem Wirtschaftsraum kann auch mit einer Split-Anlage erfolgen. In dieser Variante Wärmequelle „Raumlufte“ wird zwischen der Split-Anlage und der Kompaktanlage nicht unterschieden.

3 Resultate und Diskussionen

3.1 Einfluss der unterschiedlichen Wärmequellen der WP-Wassererwärmer

Wichtigste Voraussetzung, um mit einer Wärmepumpe eine gute Jahresarbeitszahl (JAZ) zu erreichen, ist eine geeignete Energiequelle. Ihre Temperatur sollte möglichst hoch und konstant sein, damit eine kleine Temperaturdifferenz zwischen Energiequelle und Verflüssigertemperatur erreicht wird.

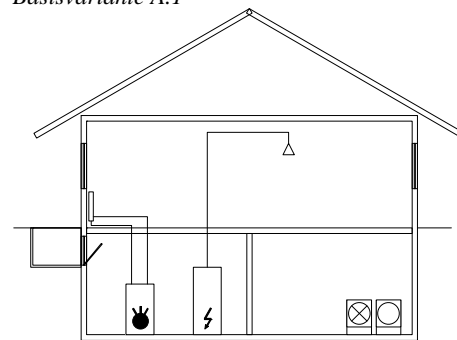
Dieser Untersuch erfolgte am Gebäudetyp EFH mit „schlechterem U-Wert“ und mit „besserem U-Wert“ bei der Klimastation Zürich (SMA).

Die Ergebnisse des Gebäudetyps EFH mit „besserem U-Wert“ sind im Anhang dargestellt.

3.1.1 Basisvariante A.1

Die Basisvariante A.1 umschreibt die Ausgangsvariante. Angenommen werden ein Einfamilienhaus (EFH) aus dem Jahr 1980 (mit schlechtem U-Wert) und ein EFH aus dem Jahr 1990 (mit einem besseren U-Wert). Die Wärmeerzeugung erfolgt mit einem nichtkondensierenden Ölheizkessel. Die notwendige Verbrennungsluft des Heizkessels strömt über ein offenes Kippfenster in die Technikzentrale. Das Warmwasser wird mit einem separaten direkt-elektrischen Wassererwärmer bereitgestellt. Der Wassererwärmer steht in der Technikzentrale im Untergeschoss.

Abbildung 3:
Basisvariante A.1



Basisvariante A.1: ungedämmte Kellerdecke	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
<i>Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert</i>						
Raumheizung (Heizöl EL)	25'139	31'424	0.80	0.0%	38'651	0.0%
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	0.0%	9'786	0.0%
Raumheizung und Warmwasser	28'134	35'145	0.80	0.0%	48'437	0.0%

Tabelle 4:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ der Basisvariante A.1

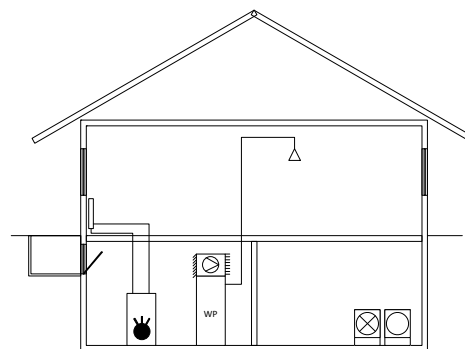
3.1.2 Variante B: Kompaktanlage mit der Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Technikraum

3.1.2.1 Variante B.1: Verbrennungsluft zum Heizkessel via Kippfenster

Der Elektrowassererwärmer wird mit einem WP-Wassererwärmer ausgewechselt. Die Verdampferwärme bezieht der WP-Wassererwärmer direkt aus der unbeheizten Technikzentrale im UG, dem Aufstellungsort des Wassererwärmers. Die notwendige Verbrennungsluft des Heizkessels strömt über ein offenes Kippfenster in den Heizraum.

Abbildung 4:

Variante B.1: Kompaktanlage mit offenem Kippfenster



Variante B.1:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert						
Raumheizung (Heizöl EL)	25'694	32'118	0.80	2%	39'505	2%
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'268	2.36	-66%	3'335	-66%
Raumheizung und Warmwasser	28'689	33'386	0.86	-5%	42'839	-12%

Tabelle 5:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ der Variante B.1

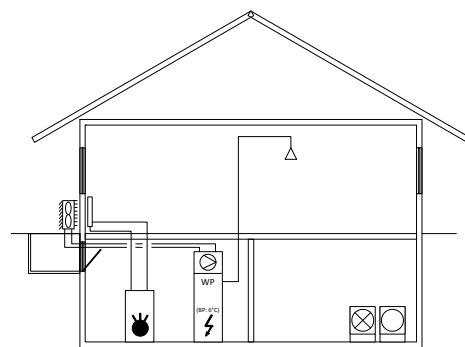
3.1.3 Variante C: Split-Anlage mit der Wärmequelle „Aussenluft“

3.1.3.1 Variante C.1: Bivalenzpunkt bei 6°C

Bei dieser Variante bezieht die Split-Anlage die notwendige Verdampfungsenergie direkt aus der Aussenluft. Dabei wird das Brauchwarmwasser bis zu einer Aussenlufttemperatur von 6 °C mit der Wärmepumpe erwärmt. Wird diese Temperatur unterschritten, erwärmt der Elektroheizeinsatz das Brauchwarmwasser direkt-elektrisch. Die notwendige Verbrennungsluft des Heizkessels strömt über ein offenes Kippfenster in den Heizraum.

Abbildung 5:

Variante C: Split-Anlage mit Wärmequelle „Aussenluft“



Variante C.1:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert						
Raumheizung (Heizöl EL)	25'122	31'403	0.80	0%	38'625	0%
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'111	1.42	-43%	5'552	-43%
Raumheizung und Warmwasser	28'117	33'514	0.84	-5%	44'177	-9%

Tabelle 6:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ für die Variante C.1

3.1.3.2 Variante C.2: Bivalenzpunkt bei -5°C

Ausser dem Bivalenzpunkt, wurden bei dieser Variante sämtliche Parameter von der Variante C.1 übernommen. In der Variante C.2 wird bei einer Aussenlufttemperatur kleiner als -5 °C auf den Elektroheizeinsatz umgeschaltet.

Variante C.2:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [-]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert						
Raumheizung (Heizöl EL)	25'105	31'381	0.80	0%	38'599	0%
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'263	2.37	-66%	3'322	-66%
Raumheizung und Warmwasser	28'100	32'644	0.86	-7%	41'921	-13%

Tabelle 7:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ für die Variante C.2

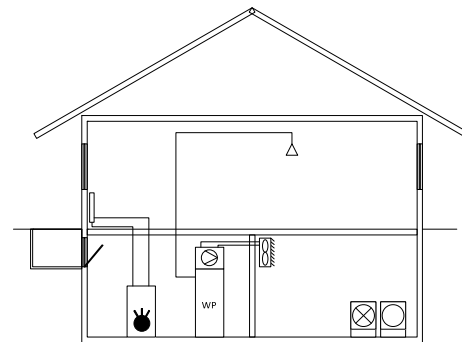
3.1.4 Variante D: Split-Anlage mit der Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Wirtschaftsraum

3.1.4.1 Variante D.1: Verbrennungsluft zum Heizkessel via Kippfenster

In der Variante D.1 wird die Energiequelle in der unbeheizten Waschküche (Wirtschaftsraum) näher untersucht. Das Splitgerät (resp. Kompaktanlage) entnimmt dem Wirtschaftsraum die notwendige Energie, um das Brauchwarmwasser auf die gewünschte Temperatur zu erwärmen. Die notwendige Verbrennungsluft des Heizkessels strömt über ein offenes Kippfenster in den Heizraum.

Abbildung 6:

Variante D.1: Split-Anlage mit Wärmequelle Wirtschaftsraum



Variante D.1:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [-]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert						
Raumheizung (Heizöl EL)	26'025	32'531	0.80	4%	40'013	4%
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'249	2.40	-66%	3'285	-66%
Raumheizung und Warmwasser	29'020	33'780	0.86	-4%	43'298	-11%

Tabelle 8:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ für die Variante D.1

3.1.5 Zusammenfassung: Einfluss Wärmequellen der WP-Wassererwärmern

In den untenstehenden Tabellen wird der Jahresenergiebedarf für Heizung und Warmwasser bei unterschiedlichen Systemgrenzen aufgeführt. Die nicht erneuerbaren Primärenergien werden mit der Basisvariante verglichen. Weiter werden bei allen Varianten die jährlichen Treibhausgasemissionen in Tonnen aufgeführt.

3.1.5.1 Gebäudetyp mit „schlechtem U-Wert“

Diese Untersuchungen basieren auf dem Gebäudetyp EFH mit „schlechterem U-Wert“ und der Klimastation Zürich (SMA).

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert							
		Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas	
Nr. Variantenbezeichnung		[kWh/a]	[kWh/a]	nicht erneuerbar [kWh/a]	zur Basisvariante Primärenergie	emissionen [t/a]	
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)							
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumheizung und Warmwasser	28'134	35'145	48'437	0%	9.9
		Raumheizung (Heizöl EL)	25'139	31'424	38'651	0%	9.4
		Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	9'786	0%	0.6
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)							
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumheizung und Warmwasser	28'689	33'386	42'839	-12%	9.8
		Raumheizung (Heizöl EL)	25'694	32'118	39'505	2%	9.6
		Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'268	3'335	-66%	0.2
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)							
1	Bivalenzpunkt bei 6°C	Raumheizung und Warmwasser	28'117	33'514	44'177	-9%	9.7
		Raumheizung (Heizöl EL)	25'122	31'403	38'625	0%	9.3
		Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'111	5'552	-43%	0.3
2	Bivalenzpunkt bei -5°C	Raumheizung und Warmwasser	28'100	32'644	41'921	-13%	9.5
		Raumheizung (Heizöl EL)	25'105	31'381	38'599	0%	9.3
		Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'263	3'322	-66%	0.2
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)							
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumheizung und Warmwasser	29'020	33'780	43'298	-11%	9.9
		Raumheizung (Heizöl EL)	26'025	32'531	40'013	4%	9.7
		Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'249	3'285	-66%	0.2

Tabelle 9:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen der berechneten Wärmepumpenvarianten des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“

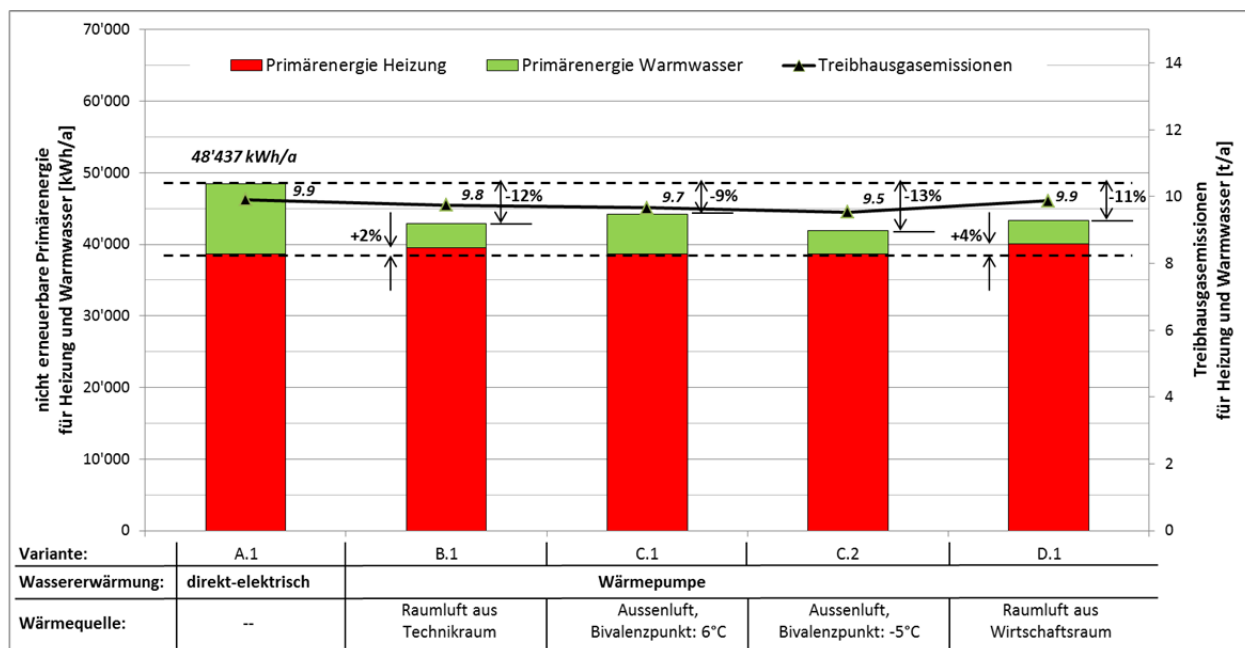


Abbildung 7:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert						
Nr.	Variantenbezeichnung		Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante Primärenergie
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)						
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	9'786	0%
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	3'721	129	-98.7%
	Wärmediebstehl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf		0	0	0	
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)						
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'268	3'335	-57.2%
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'268	44	-90.8%
	Wärmediebstehl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf		555	694	853	
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)						
1	Bivalenzpunkt bei 6°C	Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'111	5'552	-43.3%
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	2'111	73	-99.2%
	Wärmediebstehl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf		0	0	0	
2	Bivalenzpunkt bei -5°C	Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'263	3'322	-66.1%
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'263	44	-99.6%
	Wärmediebstehl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf		0	0	0	
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)						
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'249	3'285	-52.0%
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'249	43	-85.6%
	Wärmediebstehl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf		886	1'108	1'362	

Tabelle 10:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs nur für das Warmwasser und deren jährlichen Treibhausgasemissionen mit der Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft

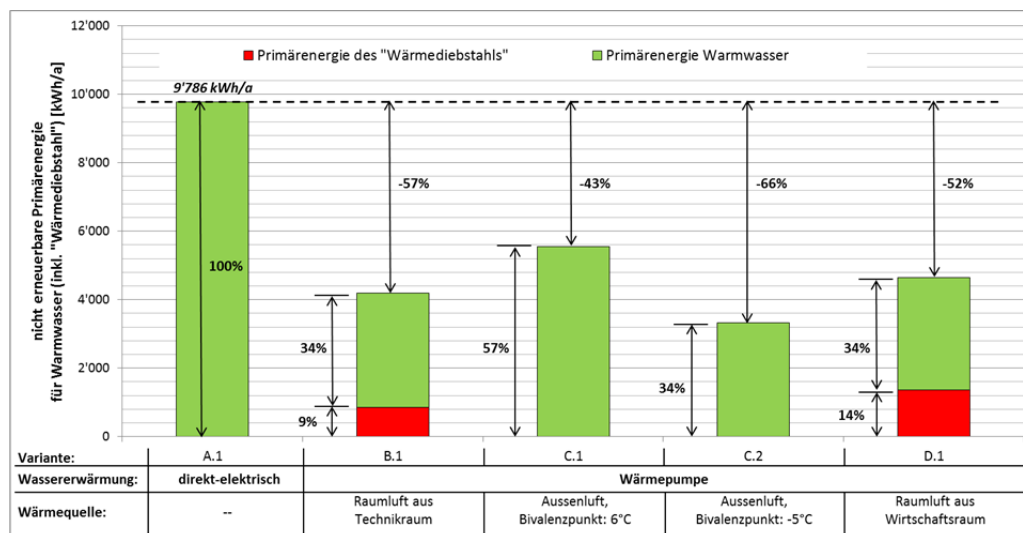


Abbildung 8:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH-Verbrauchermix

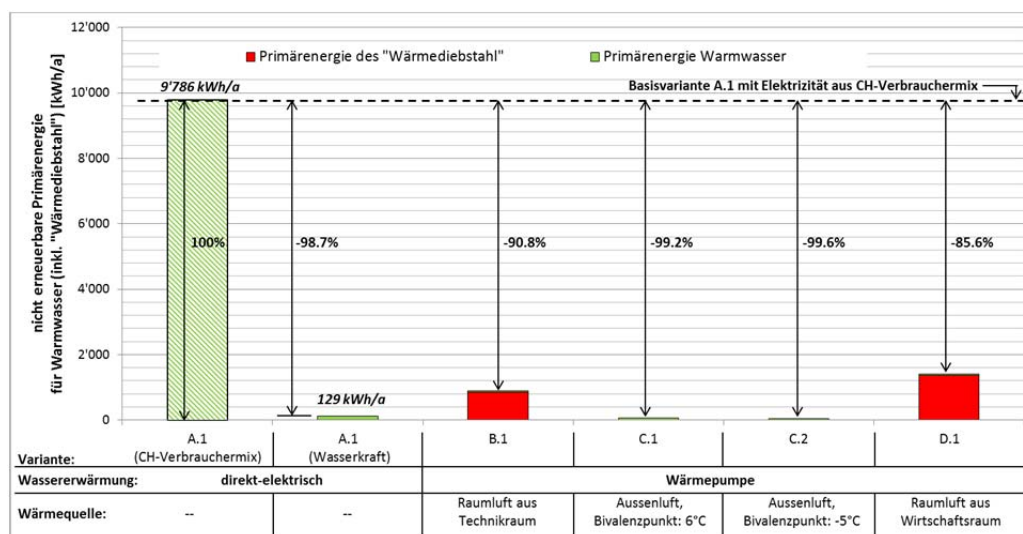


Abbildung 9:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus Wasserkraft

3.1.5.2 Gebäudetyp mit „besserem U-Wert“

Diese Untersuchungen basieren auf dem Gebäudetyp EFH mit „besserem U-Wert“ und der Klimastation Zürich (SMA). Weitere Daten dieses Gebäudetyps sind im Anhang 6.1 aufgeführt.

Zürich (SMA), schwere Bauweise und besserer U-Wert							
Nr. Variantenbezeichnung			Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung zur Basisvariante	Treibhausgas- emissionen
			[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	Primärenergie	[t/a]
A	Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)						
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumheizung und Warmwasser	22'631	28'266	39'977	0%	7.9
		Raumheizung	19'636	24'545	30'190	0%	7.3
		Warmwasser	2'995	3'721	9'786	0%	0.6
B	Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)						
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumheizung und Warmwasser	23'170	26'487	34'354	-14%	7.7
		Raumheizung	20'175	25'219	31'019	3%	7.5
		Warmwasser	2'995	1'268	3'335	-66%	0.2
C	Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)						
1	Bivalenzpunkt bei 6°C	Raumheizung und Warmwasser	22'615	26'637	35'721	-11%	7.6
		Raumheizung	19'620	24'525	30'166	0%	7.3
		Warmwasser	2'995	2'112	5'555	-43%	0.3
2	Bivalenzpunkt bei -5°C	Raumheizung und Warmwasser	22'596	25'764	33'458	-16%	7.5
		Raumheizung	19'601	24'501	30'137	0%	7.3
		Warmwasser	2'995	1'263	3'322	-66%	0.2
D	Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)						
1	Verbrennungsluft vom Technikraum via Kippfenster	Raumheizung und Warmwasser	23'494	26'872	34'799	-13%	7.8
		Raumheizung	20'499	25'624	31'517	4%	7.6
		Warmwasser	2'995	1'248	3'282	-66%	0.2

Tabelle 11:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen der berechneten Wärmepumpenvarianten des Gebäudetyps „besserer U-Wert“

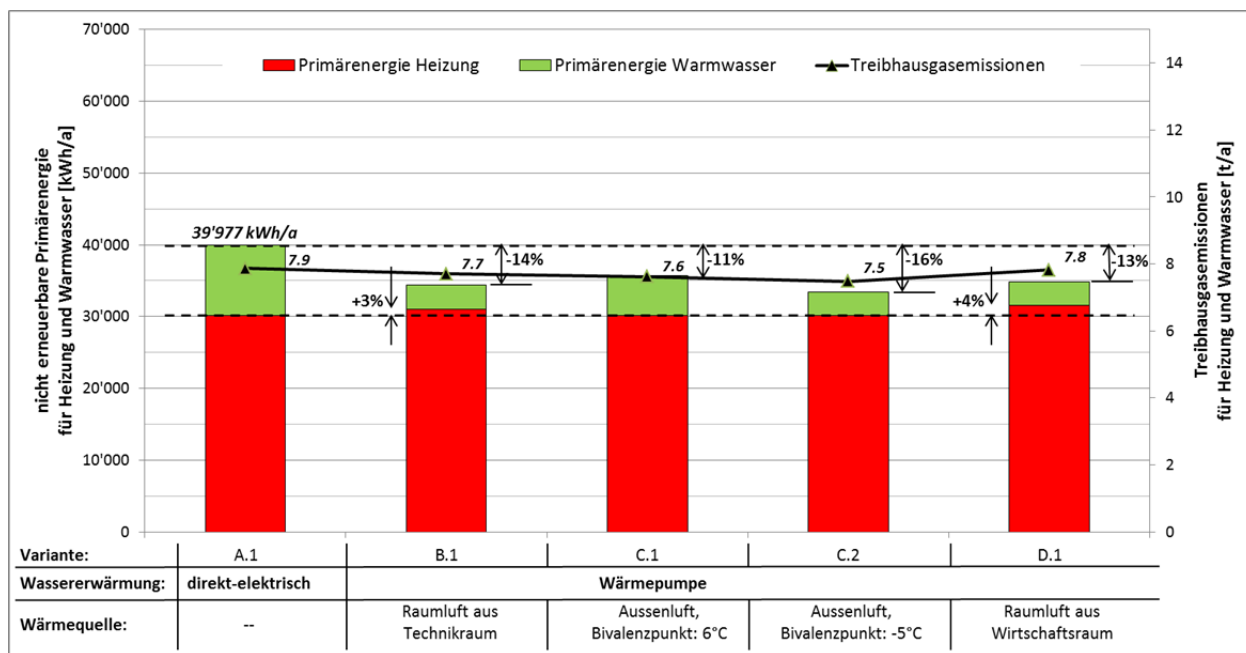


Abbildung 10:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen des Gebäudetyps „besserer U-Wert“

Schlussfolgerung 1:***Vergleich Basisvariante A.1 mit Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und A.1 mit Elektrizität aus Wasserkraft***

- In Abbildung 9 ist ersichtlich, dass eine hohe Einsparung an nicht erneuerbarer Primärenergie erreicht werden kann, wenn der direkt-elektrisch betriebene Brauchwarmwassererwärmer mit Elektrizität aus Wasserkraft betrieben wird. Die Einsparung an nicht erneuerbarer Primärenergie beträgt in diesem Fall rund 99%.

Vergleich Basisvariante A.1 mit Variante B.1 – Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)

- Der Austausch einer direkt-elektrisch betriebenen Brauchwarmwassererwärmung mit einer WP-Wassererwärmung reduziert die Primärenergie Wärme und die Treibhausgasemissionen. Bei der jährlichen nicht erneuerbaren Primärenergie für Heizung und Warmwasser beträgt die Reduktion 12%³⁾ (14%⁴⁾). Die jährlichen Treibhausgasemissionen reduzieren sich um 200 kg CO₂-eq, was 2,5% entspricht. Die grössere Energieeinsparung ist bei einem besser gedämmten Gebäude feststellbar.
- Durch den Einsatz eines WP-Wassererwärmers, wird die nicht erneuerbare Primärenergie bei einer Betrachtung der Systemgrenze „Warmwasser“ um 66% erheblich gesenkt (siehe Abbildung 8). Hingegen steigt der nicht erneuerbare Primärenergieanteil für Heizung und somit auch die Treibhausgasemissionen an. Diese Erhöhung der Primärenergie für die Heizung beträgt 9%.
- Der Anstieg der Primärenergie für die Heizung kann damit erklärt werden, dass der WP-Wassererwärmer einen Teil der Verdampfungsenergie von den beheizten Räumen bezieht, wodurch der Heizwärmebedarf ansteigt.
- Wird für den WP-Betrieb die Elektrizität aus Wasserkraft berücksichtigt, so sinkt der nicht erneuerbare Primärenergieanteil für das Warmwasser von 3'335 kWh/a (aus CH-Verbrauchermix) auf 44 kWh/a. Der Wärmediebstahl mit 853 kWh/a beträgt 20-mal mehr als der notwendige nicht erneuerbare Primärenergiebedarf für den Betrieb der Wärmepumpe.

Vergleich Basisvariante A.1 mit Variante C.1 – Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft; Bivalenzpunkt: 6 °C)

- Die nicht erneuerbare Primärenergie und die Treibhausgasemissionen werden mit WP-Wassererwärmern, welche die Verdampfungsenergie aus der Aussenluft beziehen, gesenkt.
- Liegt die Aussenlufttemperaturen unter 6 °C wird das zu erwärmende Wasser mit dem Elektroheizeinsatz direkt-elektrisch erwärmt. In diesem Fall wird das Energiepotential der Luftquelle nicht ausgenutzt und die Reduktion der nicht erneuerbaren Primärenergie für das Warmwasser fällt mit 43% geringer aus (siehe Abbildung 8). Wird zusätzlich der Anteil für den elektrischen Bedarf aus Wasserkraft berücksichtigt, so sinkt die nicht erneuerbare Energie primär für das Warmwasser auf 73 kWh/a (siehe Tabelle 10).
- Im Gegensatz zur Kompaktanlage kann mit einer Aussenluft-WP der Wärmediebstahl aus der Raumwärme verhindert werden. Demzufolge tangiert diese Brauchwarmwassererwärmung die Raumheizung nicht.
- Die Reduktionen der jährlichen Treibhausgasemissionen liegen bei ca. 300 kg CO₂-eq, was rund 4% entspricht.

Vergleich Basisvariante A.1 mit Variante C.2 – Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft; Bivalenzpunkt: -5 °C)

- Die Split-Anlage mit einer Wärmequelle „Aussenluft“ und einen Bivalenzpunkt von -5 °C erreicht die grösste Energieeinsparung. Die Energieeinsparung auf der Stufe der nicht erneuerbaren Primärenergie für Heizung und Warmwasser beträgt 13% (16%).
- Ebenfalls lassen sich die jährlichen Treibhausgasemissionen bei dieser Variante am meisten reduzieren; die jährliche Reduktion der Treibhausgase liegt bei 400 kg CO₂-eq bzw. 5%. Vergleicht man diese Treibhausgasreduktionen mit den CO₂-Emissionen eines Personenwagens (Annahme: 130 g CO₂/km), würden diese Einsparungen einer Fahrstrecke von gut 3'000 km entsprechen.
- Betrachtet man nur die Systemgrenze „Warmwasser“ (siehe Abbildung 8 und Abbildung 9), kann mit der Variante C.2 die grösste Einsparung der Primärenergie erzielt werden. Dieser erreicht man mit dem Betrieb der WP und dem direkt-elektrischen Heizelement mit Strom aus Wasserkraft. Dabei sinkt die nicht erneuerbare Primärenergie für Warmwasser auf 44 kWh/a.

³⁾ Ergebnisse ohne () gelten für den Gebäudetyp EFH mit „schlechtem U-Wert“

⁴⁾ Ergebnis in () gelten für den Gebäudetyp EFF mit „besserem U-Wert“

Vergleich Basisvariante A.1 mit Variante D.1 – Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)

- In dieser Variante wird untersucht, welchen Einfluss die Verdampfungsenergie aus dem Wirtschaftsraum haben kann. Die Reduktion der Primärenergie für Heizung und Warmwasser liegt bei dieser Variante bei 11% (13%) und fällt somit leicht tiefer aus, als in Variante B.1 (Kompaktanlage - Verdampfungsenergie aus dem Technikraum).
- Die Treibhausgasemissionen lassen sich dabei mit rund 1% am wenigsten reduzieren, was 100 kg CO₂-eq/a entspricht. Demzufolge ist das Energiepotential in der Luft des Wirtschaftsraums geringer als im Technikraum, da der WP-Wassererwärmer von den umliegenden Räumen die mehr Verdampfungsenergie abzieht. Man stellt in dieser Variante einen grösseren Wärmediebstahl fest. Die nicht erneuerbare Primärenergie für das Heizen erhöht sich um 4% bei einer Gesamtbetrachtung sinkt der Primärenergiebedarf um 14%.
- In Abbildung 8 ist ersichtlich, dass die nicht erneuerbare Primärenergie für das Warmwasser um zwei Drittel gesenkt werden kann. Wie schon im obigen Punkt erläutert wurde, sinkt hingegen die nicht erneuerbare Primärenergie über alles gesehen wegen dem „Wärmediebstahl“ nur um 14%.
- Durch den Wärmeentzug der Raumluft kann die Raumlufttemperatur unter die Taupunkttemperatur fallen. Dabei fällt am Wärmepumpenverdampfer Kondenswasser an und der Raum wird entfeuchtet.

3.2 Einfluss der Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels

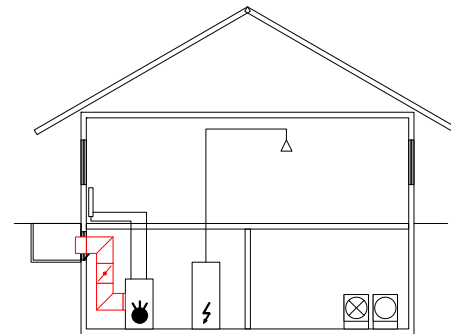
Im Kapitel 3.1 wurden die Wärmequellen für die WP-Wassererwärmung untersucht. Dabei wurde die notwendige Verbrennungsluft für den nichtkondensierenden Oel-Heizkessel mit einem offenen Kippfenster im Technikraum modelliert. Somit beeinflusst die Aussenluft den Energieinhalt der Luft im Technikraum.

In diesem Kapitel wird dieser Einfluss näher untersucht, weshalb in den folgenden Varianten die Verbrennungsluft über einen Kanal dem Oel-Heizkessel zugeführt wird und das Kippfenster das ganze Jahr geschlossen bleibt.

Gebäudetyp und Klimastation bleiben unverändert. In diesem Kapitel werden nur die Ergebnisse des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“ dargestellt. Diejenigen für den Gebäudetyp „besserer U-Wert“ werden im Anhang aufgeführt.

Abbildung 11:

Basisvariante A.2: Verbrennungsluft zum nichtkondensierenden Oel-Heizkessel geführt



3.2.1 Basisvarianten A

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[--]	nicht erneuerbar	Fenster offen /	emissionen	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. UG-Räume
				[kWh/a]	Fenster zu	[t/a]	[°C]	[°C]	[°C]
Basisvariante A.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'139	31'424	0.80	38'651	0%	9.4			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	28'134	35'145	0.80	48'437	0%	9.9			
Basisvariante A.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							11	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	24'900	31'125	0.80	38'284	-1%	9.3			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	27'895	34'846	0.80	48'070	-1%	9.8			

Tabelle 12:

Vergleich der Basisvarianten A.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und A.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

3.2.2 Varianten B: Kompaktanlage mit der Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Technikraum

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[--]	nicht erneuerbar	Fenster offen / Fenster zu	emissionen	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. UG-Räume
				[kWh/a]		[t/a]	[°C]	[°C]	[°C]
Variante B.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							2	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'694	32'118	0.80	39'505	0%	9.6			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'268	2.36	3'335	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	28'689	33'386	0.86	42'839	0%	9.8			
Variante B.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							3	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'586	31'983	0.80	39'338	0%	9.5			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'269	2.36	3'337	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	28'581	33'252	0.86	42'676	0%	9.7			

Tabelle 13:

Vergleich B.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und B.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

3.2.3 Varianten C: Split-Anlagen mit der Wärmequelle „Aussenluft“

3.2.3.1 Bivalenzpunkt bei 6 °C

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante C.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'122	31'403	0.80	38'625	0%	9.3			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'111	1.42	5'552	0%	0.3			
Raumheizung und Warmwasser	28'117	33'514	0.84	44'177	0%	9.7			
Variante C.3: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							11	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	24'888	31'110	0.80	38'265	-1%	9.3			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'094	1.43	5'507	-1%	0.3			
Raumheizung und Warmwasser	27'883	33'204	0.84	43'773	-1%	9.6			

Tabelle 14:

Vergleich C.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und C.3 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

3.2.3.2 Bivalenzpunkt bei -5 °C

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante C.2: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'105	31'381	0.80	38'599	0%	9.3			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'263	2.37	3'322	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	28'100	32'644	0.86	41'921	0%	9.5			
Variante C.4: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel									
Raumheizung (Heizöl EL)	24'863	31'079	0.80	38'227	-1%	9.3	11	9	8
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'256	2.38	3'303	-1%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	27'858	32'335	0.86	41'530	-1%	9.4			

Tabelle 15:

Vergleich C.2 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und C.4 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

3.2.4 Varianten D: Split-Anlagen mit der Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Wirtschaftsraum

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante D.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	2	8
Raumheizung (Heizöl EL)	26'025	32'531	0.80	40'013	0%	9.7			
Warmwasser (CH-Verbraucher mix)	2'995	1'249	2.40	3'285	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	29'020	33'780	0.86	43'298	0%	9.9			
Variante D.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							11	2	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'801	32'251	0.80	39'669	-1%	9.6			
Warmwasser (CH-Verbraucher mix)	2'995	1'233	2.43	3'243	-1%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	28'796	33'484	0.86	42'912	-1%	9.8			

Tabelle 16:

Vergleich D.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und D.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

3.2.5 Zusammenfassung: Einfluss der Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels

3.2.5.1 Gebäudetyp mit „schlechtem U-Wert“

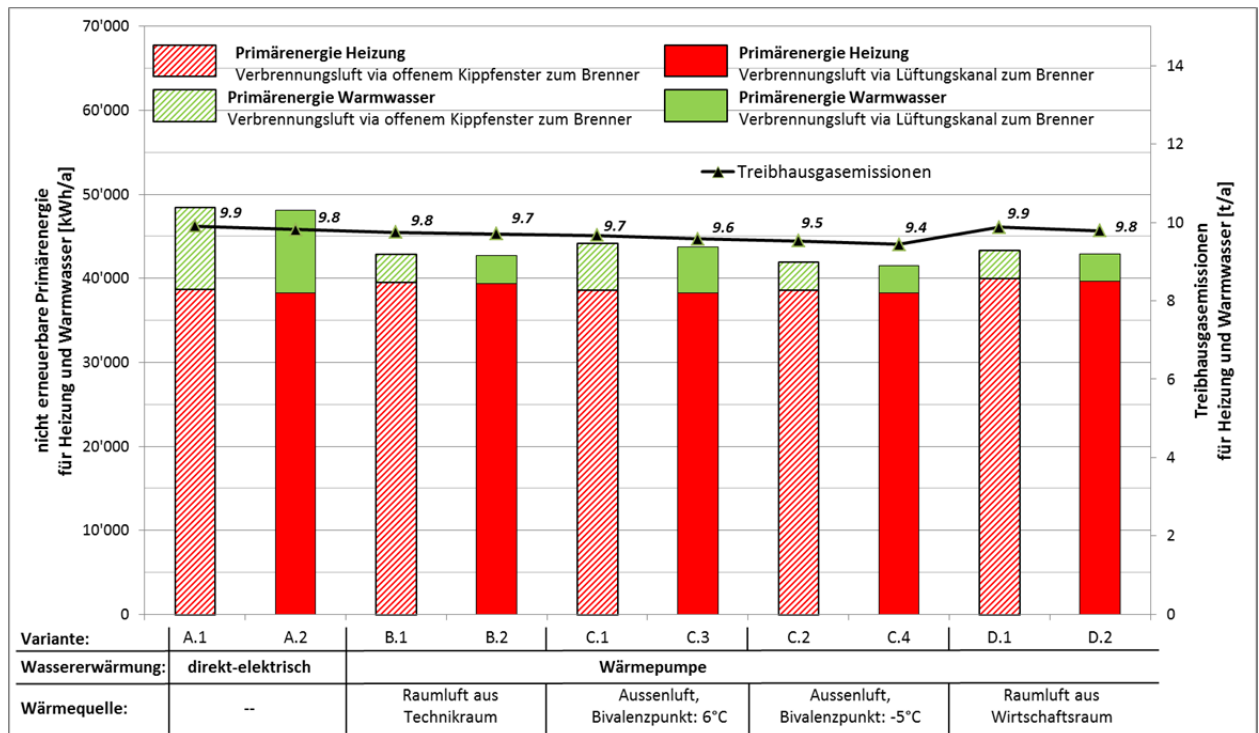


Abbildung 12:

Vergleich der nicht geführten (Kippfenster offen) und der geführten Verbrennungsluft (Kippfenster zu) zum Oel-Heizkessel des Gebäudetyps „schlechter U-Wert“

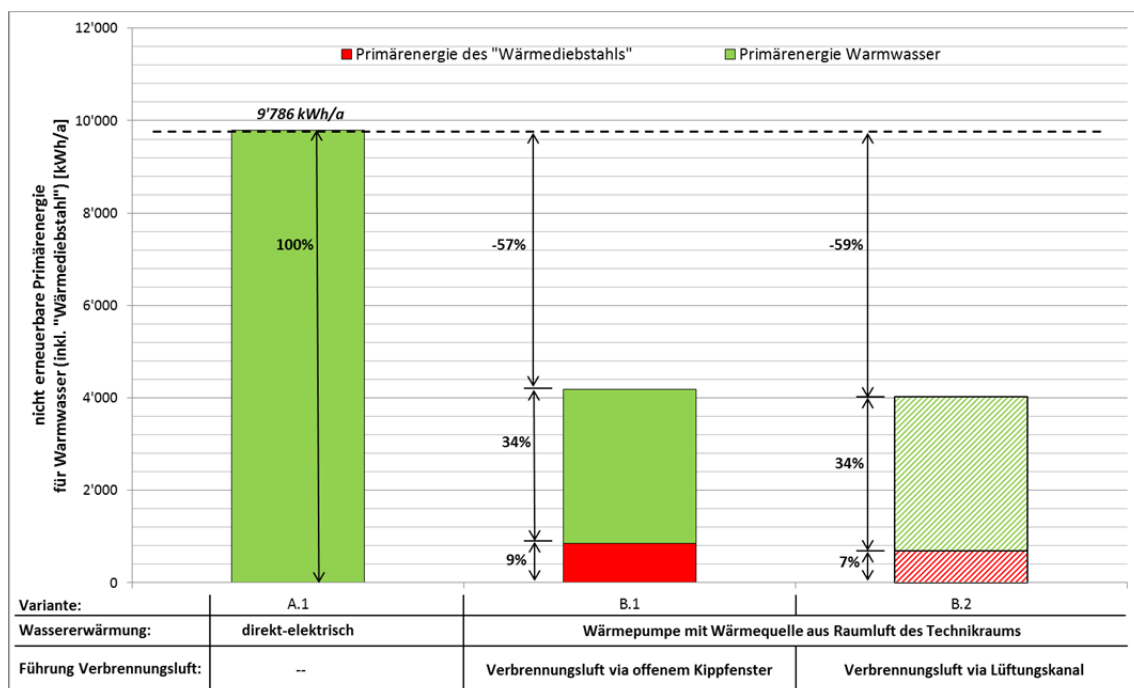


Abbildung 13:

Vergleich der geführten Verbrennungsluft bei der Wärmepumpe mit der Wärmequelle Raumluft aus dem Technikraum Systemgrenze: nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH-Verbrauchermix

3.2.5.2 Gebäudetyp mit „besserem U-Wert“

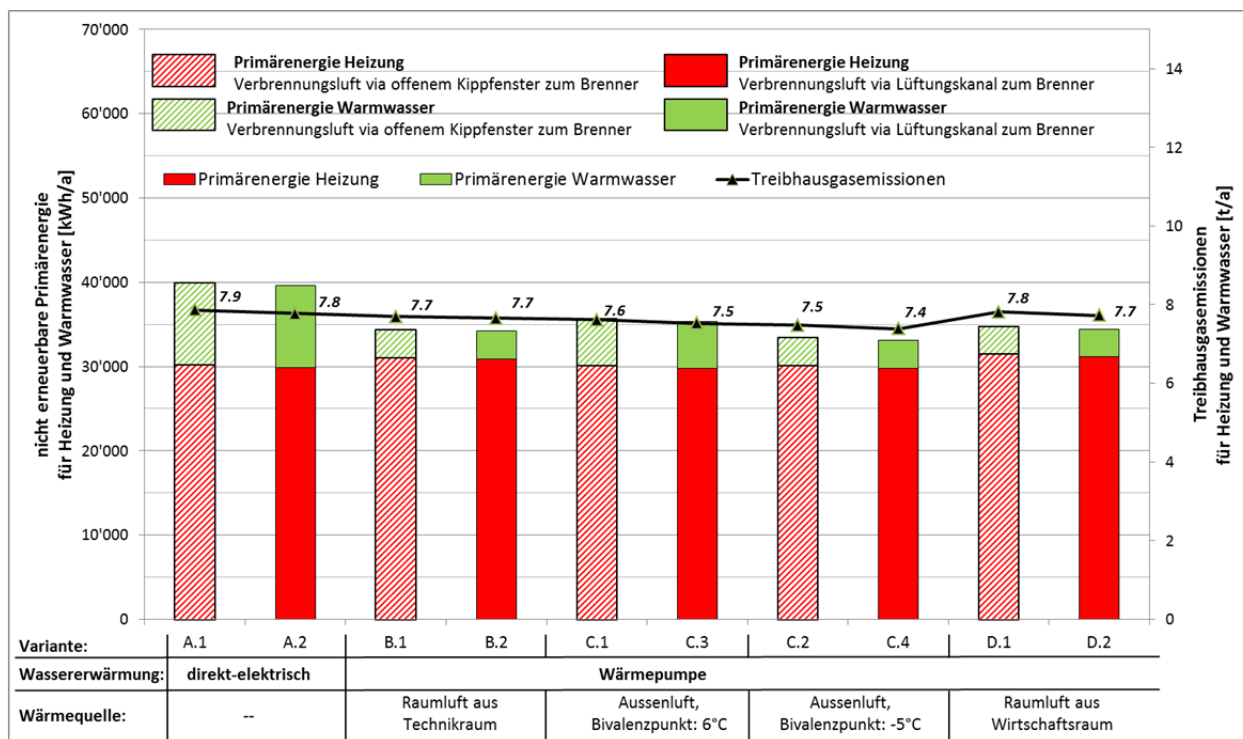


Abbildung 14:

Vergleich der nicht geführten (Kippfenster offen) und der geführten Verbrennungsluft (Kippfenster zu) zum Oel-Heizkessel des Gebäudetyps „besserer U-Wert“

3.2.6 Einfluss der Verbrennungsluftführung auf die Raumlufthtemperaturen im Technikraum

Die Varianten mit der Verbrennungsluftführung beeinflussen die Raumlufthtemperaturen im Technikraum unterschiedlich. Da die Raumlufthtemperatur die Effizienz der Wärmepumpe beeinflusst, wird in diesem Kapitel die Variante B „Kompaktanlage“ mit der Wärmequelle „Raumlufth“ aus dem Technikraum dargestellt.

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert							kleinst errechnete Raumlufthtemperatur		
	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [-]	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen [t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante B.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							2	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'694	32'118	0.80	39'505	0%	9.6			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'268	2.36	3'335	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	28'689	33'386	0.86	42'839	0%	9.8			
Variante B.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							3	9	8
Raumheizung (Heizöl EL)	25'586	31'983	0.80	39'338	0%	9.5			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'269	2.36	3'337	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	28'581	33'252	0.86	42'676	0%	9.7			

Tabelle 17:

Vergleich B.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und B.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

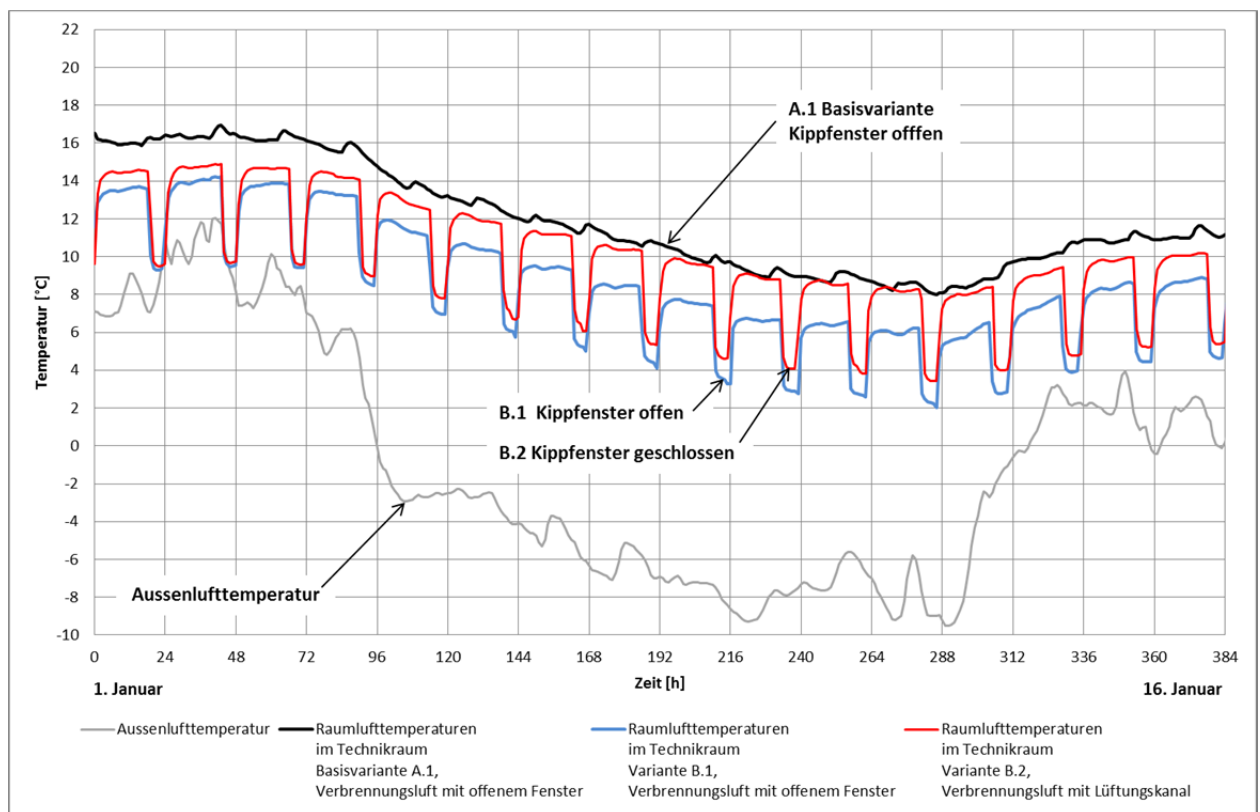


Abbildung 15:

Temperaturverlauf im Technikraum während dem 1. Januar bis 16. Januar im Vergleich der Basisvariante A.1 mit den Varianten B.1 und B.2 der Klimastation Zürich (SMA)

Davos, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [-]	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen [t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante B.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							0	7	6
Raumheizung (Heizöl EL)	37'813	47'266	0.80	58'137	0%	14.1			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'354	2.21	3'561	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	40'808	48'620	0.84	61'699	0%	14.3			
Variante B.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							2	7	6
Raumheizung (Heizöl EL)	37'634	47'043	0.80	57'862	0%	14.0			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'340	2.24	3'524	-1%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	40'629	48'383	0.84	61'386	-1%	14.2			

Tabelle 18:

Verhalten der Verbrennungsluftführung in Davos bei den Varianten Kompaktanlage mit der Wärmequelle „Raumluft aus Technikraum“ mit „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und mit „geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

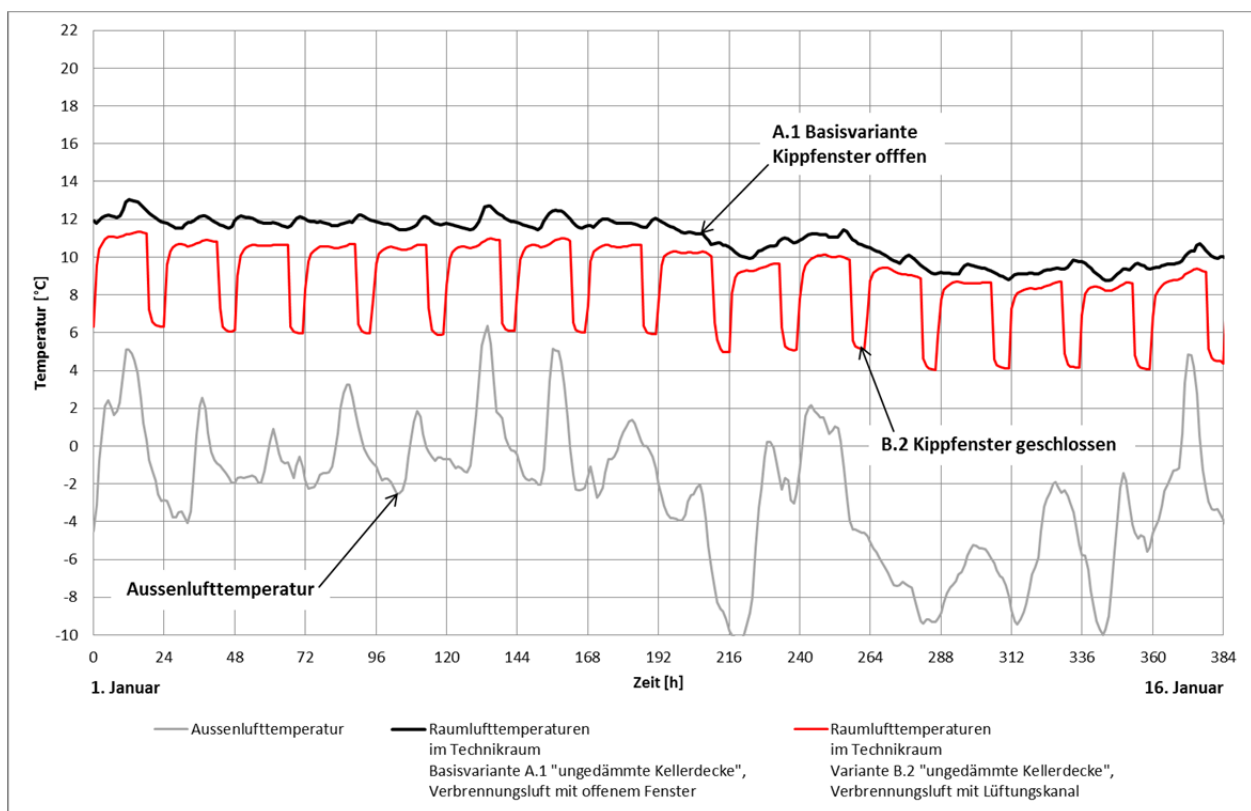


Abbildung 16:

Temperaturverlauf im Technikraum während dem 1. Januar bis 16. Januar im Vergleich der Basisvariante A.1 mit der Variante B.2 „Verbrennungsluft zum Brenner geführt“ der Klimastation Davos

Schlussfolgerung 2:

- Wird die Verdampfungsenergie aus dem Technikraum bezogen, sinkt in diesem Raum die Raumlufttemperatur während der Wassererwärmung. Die Raumlufttemperatur steigt nach dem WP-Betrieb wieder an. Diese bleibt bei kalten Aussenlufttemperaturen jedoch zwischen 2 und 3 Kelvin unter der Raumlufttemperatur der Basisvariante.
- Wird die Verbrennungsluft in einem Lüftungskanal direkt zum Oel-Heizkessel geführt, ist in den kalten Jahreszeiten die Raumlufttemperatur im Technikraum höher, als dies mit einem offenen Kippfenster der Fall wäre. Durch die höhere Raumlufttemperatur entstehen kleinere Transmissionswärmeverluste. Dadurch lässt sich die nicht erneuerbare Primärenergie für Heizung um 1% senken. Dies entspricht einer jährlichen Energiereduktion von rund 500 kWh.
- Die jährlichen Treibhausgasemissionen können mit der geführten Verbrennungsluft zum Oel-Heizkessel um 100 kg CO₂-eq, was rund 1% entspricht, gesenkt werden. Diese Treibhausgas-Reduktion entspricht einer Fahrstrecke von knapp 800 km.
- Bei warmen Aussenlufttemperaturen ist die Raumlufttemperatur in der Technikzentrale bei der Verbrennungsluftzufuhr mit offenem Kippfenster höher als bei der Verbrennungsluftzufuhr mit Lüftungskanal. Dies wechselt, sobald die Aussenlufttemperatur kälter ist als die Raumlufttemperatur in der Technikzentrale. Es kann gesagt werden, dass trotz kalter Raumlufttemperatur während den Wintermonaten die Jahresarbeitszahl der Kompaktanlage mit offenem Kippfenster mit rund 2.4 immer noch hoch ist.
- In Bergregionen kann bei einer Kompaktanlage mit einer Wärmequelle „Raumluft aus Technikraum“ die Raumlufttemperatur sehr niedrig sein. Ist das Kippfenster während den kalten Monaten noch offen, kann die Raumlufttemperatur während dem WP-Betrieb nahezu 0 °C betragen.
- Trotz dem geringen Energieeinsparpotential sollte zumindest in den Bergregionen die Verbrennungsluft über einen Kanal dem Brenner zugeführt werden.
- Betrachtet man nur die Systemgrenze „Warmwasser“ (Abbildung 13), so wird ersichtlich, dass der Strombedarf des WP-Wassererwärmers durch ein geschlossenes Kippfenster nicht gesenkt werden kann. Es hat somit keinen Einfluss auf die Effizienz der Wärmepumpe, ob die Verbrennungsluft für den Ölbrenner in einem Kanal zuströmt oder nicht.

3.3 Einfluss der Grösse des WP-Aufstellungsraums

In diesem Kapitel wird der Einfluss der Grösse des Aufstellungsraums näher untersucht. Dabei wird die Basisvariante A.1 mit der Variante B.1, Kompaktanlage (Wärmequelle: Raumluf aus dem Technikraum) verglichen. Zusätzlich wird die Einführung der Verbrennungsluft für den Oel-Heizkessel berücksichtigt. Dies wird mit der Variante B.2, Kompaktanlage mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel, dargestellt.

Die Untersuchungen basieren auf dem Gebäudetyp EFH mit „schlechtem U-Wert“ und der Klimastation Zürich (SMA).

Basisvariante A.1 Verbrennungsluft mit offenem Fenster				
Fläche des Technikraums	Primärenergie für Heizung und Warmwasser (nicht erneuerbar)	kleinst errechnete Raumlufthtemperatur		
[m ²]	[kWh/a]	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. Räume im Kellergeschoss
		[°C]	[°C]	[°C]
4	48'407	7	9	8
8	48'437	8	9	8
12	48'471	8	9	8
16	48'525	9	9	8

Tabelle 19:

Jährlicher Energiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie die kleinsten simulierten Raumlufthtemperaturen im Untergeschoss der Basisvariante A.1 – Primärenergiefaktor für Brennstoff Heizöl EL und Elektrizität aus CH-Verbrauchermix

Variante B.1 Kompaktanlage, Verbrennungsluft mit offenem Fenster				
Fläche des Technikraums	Primärenergie für Heizung und Warmwasser (nicht erneuerbar)	kleinst errechnete Raumlufthtemperatur		
[m ²]	[kWh/a]	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. Räume im Kellergeschoss
		[°C]	[°C]	[°C]
4	42'823	-1	8	8
8	42'839	2	9	8
12	42'926	4	9	8
16	43'072	5	9	8

Tabelle 20:

Jährlicher Energiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie die kleinsten simulierten Raumlufthtemperaturen im Untergeschoss der Variante B.1. – Primärenergiefaktor für Brennstoff Heizöl EL und Elektrizität aus CH-Verbrauchermix

Variante B.2 Kompaktanlage, Verbrennungsluft mit Lüftungskanal				
Fläche des Technikraums	Primärenergie für Heizung und Warmwasser (nicht erneuerbar)	kleinst errechnete Raumlufthtemperatur		
[m ²]	[kWh/a]	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. Räume im Kellergeschoss
		[°C]	[°C]	[°C]
4	42'767	1	8	8
8	42'676	3	9	8
12	42'708	5	9	8
16	42'796	6	9	8

Tabelle 21:

Jährlicher Energiebedarf für Heizung und Warmwasser sowie die kleinsten simulierten Raumlufthtemperaturen im Untergeschoss der Variante B.2. – Primärenergiefaktor für Brennstoff Heizöl EL und Elektrizität aus CH-Verbrauchermix

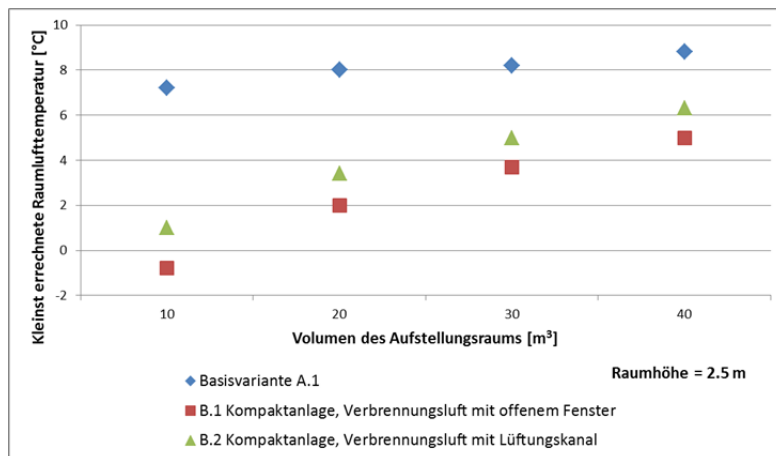


Abbildung 17:

Kleinste errechnete Raumlufthtemperatur im Aufstellungsraum, abhängig des Raumvolumens

Schlussfolgerungen 3:

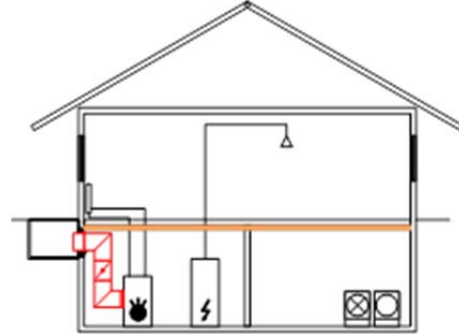
- Der jährliche Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser wird von der Grösse des Aufstellungsraums nicht nennenswert beeinflusst. Hingegen ist die tiefste errechnete Raumlufttemperatur abhängig vom Raumvolumen. Je kleiner das Raumvolumen, desto tiefer die minimale Raumlufttemperatur.
- Weiter ist zu bemerken, dass gewisse WP-Hersteller ihre Wärmepumpen mit einer bivalenten Betriebsweise einsetzen. In diesem Fall schaltet die Wärmepumpe bei einer definierten Quelltemperatur auf den Elektroheizeinsatz um. Damit wird das Wasser bei einer Temperatur unterhalb des Umschaltpunktes mit dem Elektroheizeinsatz direkt-elektrisch erwärmt. Ist das Raumvolumen des Aufstellungsraums zu klein und die Raumtemperatur deshalb unter dem Umschaltpunkt, könnte der Heizeinsatz etliche Stunden mehr im Jahr in Betrieb gehen. Je kleiner das Volumen des Aufstellungsraums ist, desto länger ist die Betriebsdauer des direkt-elektrischen Betriebs.
- Gewisse Hersteller von WP-Wassererwärmer führen in ihrem Katalog auf, dass das Raumvolumen des Aufstellungsraums nicht tiefer als 20 m^3 sein sollte. Wird dabei eine Raumhöhe von 2.5 m berücksichtigt, entspricht dieses Volumen einer Netto-Raumfläche von 8 m^2 . Ist der Aufstellungsraum von Kompaktanlagen kleiner als 8 m^2 , empfiehlt es sich, in die Türe des Aufstellungsraums unten und oben zwei unverschliessbare Luftöffnungen (z.B. $2 \times 100 \text{ cm}^2$) einzubauen. Durch diese Massnahme wird das Raumvolumen des Nachbarraums mitgenutzt. Dabei sind die Brandschutzvorschriften zu berücksichtigen.
- Wird die Verbrennungsluft für den Oel-Heizkessel mit einem Lüftungskanal zum Brenner geführt, kühlt sich der Aufstellungsraum nicht so weit ab, wie wenn die Verbrennungsluft über ein offenes Kippfenster in den Raum strömt (siehe Schlussfolgerung 2).

3.4 Einfluss der gedämmten Kellerdecke

In den vorhergehend untersuchten Varianten wurde festgestellt, dass bei innenliegend aufgestelltem Verdampfer ein Wärmediebstahl von beheizten Räumen entsteht. In diesem Kapitel wird dieser Wärmeeintrag mit einer durchgehend gedämmten Kellerdecke (10 cm dicken Dämmplatten mit $\lambda = 0.035 \text{ W/m}^2\text{K}$; U-Wert Kellerdecke = $0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$) minimiert. Die Untersuchung erfolgt an den beiden Gebäudetypen EFH mit „schlechtem U-Wert“ und mit „besserem U-Wert“ für die Klimastation Zürich (SMA).

Abbildung 18:

Darstellungsbeispiel der Basisvariante A.3 mit durchgehend gedämmter Kellerdecke



3.4.1 Gebäudetyp mit „schlechtem U-Wert“

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
Nr. Variantenbezeichnung	Warmwasser Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie (nicht erneuerbar)	Raumheizung Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie (nicht erneuerbar)	Primärenergie für H und WW (nicht erneuerbar)	Abweichung zur Basisvariante A.3, Primärenergie	Treibhausgas- emissionen
	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]		[t/a]
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)									
2 ungedämmte Kellerdecke, Kipfenster zum Technikraum offen	2'995	3'721	9'786	25'139	31'424	38'651	48'437		9.9
3 gedämmte Kellerdecke, Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	3'721	9'786	19'898	24'873	30'593	40'379	0%	8.0
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)									
3 Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	1'386	3'645	20'053	25'066	30'831	34'477	-15%	7.7
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)									
5 Bevalenzpunkt: 6°C, Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	2'127	5'594	19'902	24'878	30'599	36'193	-10%	7.7
6 Bevalenzpunkt: -5°C, Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	1'266	3'330	19'901	24'876	30'598	33'927	-16%	7.6
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)									
3 Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	1'361	3'579	20'125	25'156	30'942	34'522	-15%	7.7

Tabelle 22:

Vergleich der Basisvarianten mit den unterschiedlichen Wärmequellen bei „gedämmter Kellerdecke“ – Primärenergiefaktor für Brennstoff Heizöl EL und Elektrizität aus CH-Verbrauchermix

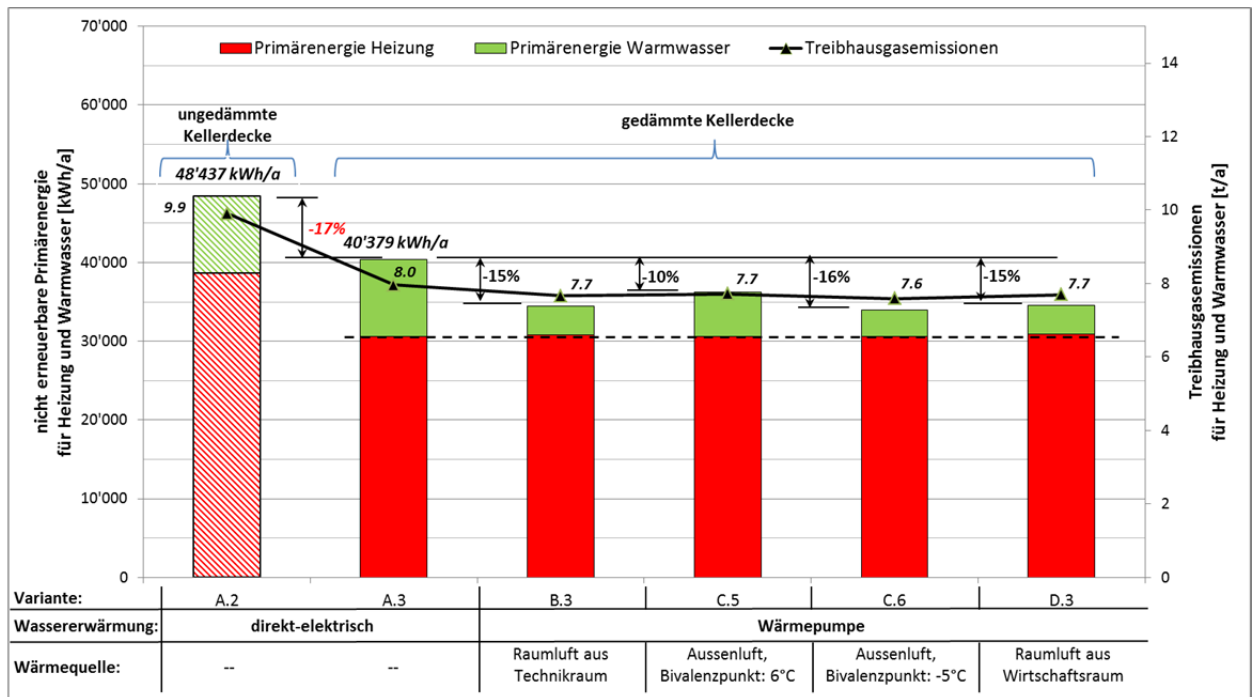


Abbildung 19:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert			
Nr. Variantenbezeichnung	kleinst errechnete Raumlufthtemperatur		
	Technikraum [°C]	Wirtschafts- raum [°C]	restl. Räume im Kellergeschoss [°C]
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)			
2 ungedämmte Kellerdecke	8	9	8
3 gedämmte Kellerdecke	7	5	3
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)			
2 ungedämmte Kellerdecke	3	9	8
3 gedämmte Kellerdecke	-3	3	2
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)			
3 Bevalenzpunkt: 6°C, ungedämmte Kellerdecke	11	9	8
5 Bevalenzpunkt: 6°C, gedämmte Kellerdecke	7	5	3
4 Bivalenzpunkt: -5°C, ungedämmte Kellerdecke	11	9	8
6 Bivalenzpunkt: -5°C, gedämmte Kellerdecke	7	5	3
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)			
2 ungedämmte Kellerdecke	11	2	8
3 Verbrennungsluft zum Brenner geführt	7	-4	2

Tabelle 23:

Vergleich tiefst simulierte Raumlufthtemperaturen im unbeheizten Kellergeschoss bei der Klimastation Zürich (SMA)

Zürich (SMA), schwere Bauweise und schlechter U-Wert							
		Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	
Nr. Variantenbezeichnung		[kWh/a]	[kWh/a]	nicht erneuerbar [kWh/a]	zur Basisvariante Primärenergie	emissionen [t/a]	
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt) gedämmte Kellerdecke							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	3'721	9'786	0%	0.55
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	3'721	129	-98.7%	0.05
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'386	3'645	-60.3%	0.21
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'386	48	-97.1%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	155	194	238		0.06	
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)							
5	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei 6°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	2'127	5'594	-42.8%	0.32
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	2'127	74	-99.2%	0.03
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
6	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei -5°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'266	3'330	-66.0%	0.19
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'266	44	-99.5%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'361	3'579	-59.9%	0.20
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'361	47	-95.9%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	227	284	349		0.08	

Tabelle 24:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs nur für das Warmwasser und deren jährlichen Treibhausgasemissionen mit der Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft

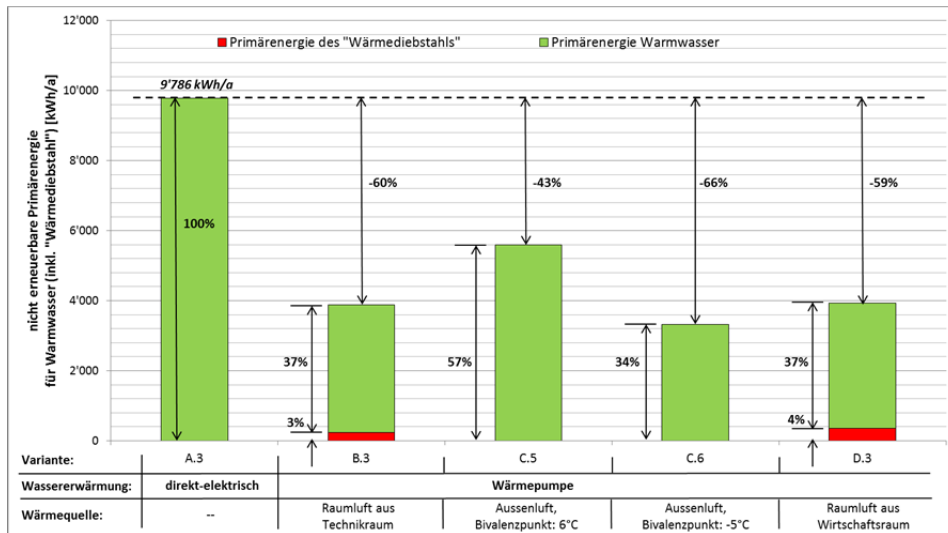


Abbildung 20:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH Verbrauchermix

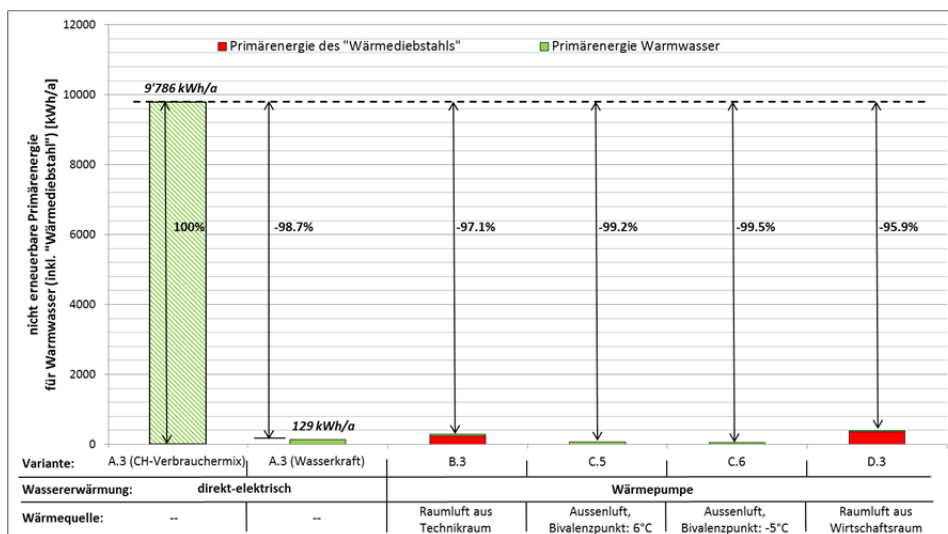


Abbildung 21:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus Wasserkraft

3.4.2 Gebäudetyp mit „besserem U-Wert“

Zürich (SMA), schwere Bauweise und besserer U-Wert									
Nr. Variantenbezeichnung	Warmwasser		Primärenergie (nicht erneuerbar) [kWh/a]	Raumheizung		Primärenergie (nicht erneuerbar) [kWh/a]	Primärenergie für H und WW (nicht erneuerbar) [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante A.3, Primärenergie	Treibhausgas- emissionen [t/a]
	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]		Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]				
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)									
2 ungedämmte Kellerdecke	2'995	3'721	9'786	19'399	24'249	29'826	39'612		7.8
3 gedämmte Kellerdecke	2'995	3'721	9'786	14'431	18'039	22'188	31'974	0%	5.9
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)									
3 Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	1'387	3'648	14'574	18'218	22'408	26'055	-19%	5.6
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)									
5 Bivalenzpunkt: 6°C, Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	2'109	5'547	14'432	18'040	22'189	27'736	-13%	5.7
6 Bivalenzpunkt: -5°C, Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	1'267	3'332	14'430	18'038	22'186	25'518	-20%	5.6
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)									
3 Verbrennungsluft zum Brenner geführt	2'995	1'362	3'582	14'636	18'295	22'503	26'085	-18%	5.6

Tabelle 25:

Vergleich der Basisvarianten mit den unterschiedlichen Wärmequellen bei „gedämmter Kellerdecke“

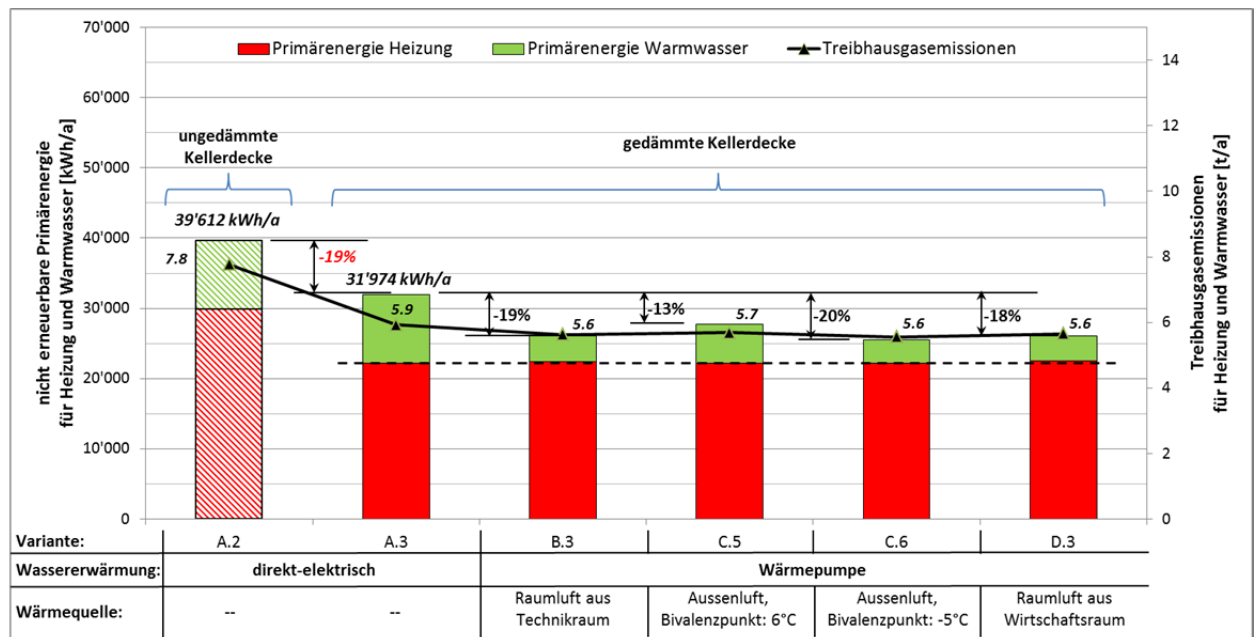


Abbildung 22:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen

Zürich (SMA), schwere Bauweise und besserer U-Wert			
Nr. Variantenbezeichnung	kleinst errechnete Raumlufthtemperatur		
	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. Räume im Kellergeschoss [°C]
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt)			
2 ungedämmte Kellerdecke	11	9	8
3 gedämmte Kellerdecke	7	4	3
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)			
2 ungedämmte Kellerdecke	3	9	8
3 gedämmte Kellerdecke	-3	3	2
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)			
3 Bevalenzpunkt: 6°C, ungedämmte Kellerdecke	11	9	8
5 Bevalenzpunkt: 6°C, gedämmte Kellerdecke	7	5	3
4 Bivalenzpunkt: -5°C, ungedämmte Kellerdecke	11	9	8
6 Bivalenzpunkt: -5°C, gedämmte Kellerdecke	7	5	3
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)			
2 ungedämmte Kellerdecke	11	2	8
3 Verbrennungsluft zum Brenner geführt	6	-4	2

Tabelle 26:

Vergleich tiefst simulierte Raumlufthtemperaturen im unbeheizten Kellergeschoss bei der Klimastation Zürich (SMA)

Schlussfolgerungen 4:

- Wird die Kellerdecke mit 10 cm dicken Dämmplatten ($\lambda = 0.035 \text{ W/m}^2\text{K}$) gedämmt, reduziert sich der jährliche Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser bei einem schlecht gedämmten Gebäude um 17% und bei einem gut gedämmten Gebäude um 19% (siehe Abbildung 19 und Abbildung 22). Diese Reduktion erfolgt, ohne dass eine Anpassung am Wassererwärmer vorgenommen wird. Bei einer gedämmten Kellerdecke werden die Transmissionsverluste, welche durch die Kellerdecke resultieren, massiv reduziert.
- Wird zusätzlich zu der gedämmten Kellerdecke ein WP-Wassererwärmer eingesetzt, reduziert sich die jährliche nicht erneuerbare Primärenergie für Heizung und Warmwasser nochmals um 10 bis 20%. Die grössere Energieeinsparung ist bei einem besser gedämmten Gebäude feststellbar.
- Bei einer gedämmten Kellerdecke kann die Kompaktanlage nicht mehr vom Wärmeeintrag der beheizten Räume profitieren. Der fehlende Wärmeeintrag, von dem der Verdampfer profitierte, hat zur Folge, dass der Energieinhalt der Luft kleiner ist und somit die WP mit einer schlechteren Jahresarbeitszahl (JAZ) läuft.
- Durch den fehlenden Wärmeeintrag von den beheizten Räumen sind die gemessenen Raumlufthtemperaturen im unbeheizten Kellergeschoss bis zu 5 Kelvin tiefer. Demzufolge ist der Energieinhalt der Luft für eine Wärmepumpe mit einer Wärmequelle „Raumlufth“ um einiges geringer. Die Raumlufthtemperatur kann im Betrieb einer WP-Wassererwärmung mit einer Wärmequelle „Raumlufth“ unter die Taupunkttemperatur fallen. Dabei kann es zu Kondenswasserbildung am Verdampfer kommen.
- Split-Anlagen mit der Wärmequelle „Aussenluft“ werden durch eine Kellerdeckendämmung nicht beeinflusst.
- In Abbildung 20 und Abbildung 21 werden die nicht erneuerbaren Primärenergien des Warmwassers mit einem Energieträger aus dem CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft miteinander verglichen. Wechselt man bei einem direkt-elektrisch betriebenen Wassererwärmer den Energieträger vom CH-Verbrauchermix auf Wasserkraft, kann die nicht erneuerbare Primärenergie für das Warmwasser um rund 99% gesenkt werden. Wird zusätzlich noch ein WP-Wassererwärmer mit der Wärmequelle „Aussenluft“ berücksichtigt, so lässt sich die nicht erneuerbare Primärenergie des Warmwassers um weitere 0.5% weiter reduzieren. Durch den Wärmediebstahl bei einer WP-Wassererwärmung mit einer Wärmequelle „Raumlufth“ wird die Primärenergieeinsparung um 2 bis 3% schlechter als bei einem direkt-elektrisch betriebenen Wassererwärmer; die Einsparung der nicht erneuerbaren Primärenergie liegt zwischen 96 und 97%.

3.5 Einfluss der Klimastationen

Der Primärenergieverbrauch wird ebenfalls vom Standort beeinflusst. Neben der Klimastation Zürich (SMA) wurden sämtliche Varianten mit den Klimastationen Lugano und Davos simuliert. Die berücksichtigten Klimastationen repräsentieren folgende Regionen:

- Klimastation Zürich (SMA): Mittelland
- Klimastation Lugano: Alpensüdseite
- Klimastation Davos: Bergregionen

In diesem Kapitel wurde nur noch der Gebäudetyp EFH mit „schlechtem U-Wert“ untersucht. Dabei wird im Technikraum die Verbrennungsluft mit einem Luftkanal dem Oel-Heizkessel zugeführt. Somit bleibt das Kippfenster das ganze Jahr geschlossen.

3.5.1 Klimastation „Davos“ - Bergregionen

3.5.1.1 Mit ungedämmter Kellerdecke

Davos, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad [--]	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante A.2, Primärenergie	Treibhausgas- emissionen [t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Basisvariante A.2: direkt-elektrische Wassererwärmung							9	7	6
Raumheizung (Heizöl EL)	36'764	45'955	0.80	56'525	0%	13.7			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	39'759	49'676	0.80	66'311	0%	14.2			
Variante B.2: monovalente Kompaktanlage, Wärmequelle: Raumluft aus Technikraum							2	7	6
Raumheizung (Heizöl EL)	37'634	47'043	0.80	57'862	2%	14.0			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'340	2.24	3'524	-64%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	40'629	48'383	0.84	61'386	-7%	14.2			
Variante C.3: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: 6°C)							9	7	6
Raumheizung (Heizöl EL)	36'743	45'929	0.80	56'492	0%	13.7			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'711	1.10	7'130	-27%	0.4			
Raumheizung und Warmwasser	39'738	48'640	0.82	63'622	-4%	14.1			
Variante C.4: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: -5°C)							9	7	6
Raumheizung (Heizöl EL)	36'719	45'899	0.80	56'455	0%	13.7			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'599	1.87	4'205	-57%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	39'714	47'498	0.84	60'661	-9%	13.9			
Variante D.2: monovalente Split-Anlage, Wärmequelle: Raumluft aus Wirtschaftsraum							9	1	6
Raumheizung (Heizöl EL)	37'913	47'391	0.80	58'291	3%	14.1			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'297	2.31	3'411	-65%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	40'908	48'688	0.84	61'702	-7%	14.3			

Tabelle 27:

Vergleich der Varianten mit ungedämmter Kellerdecke

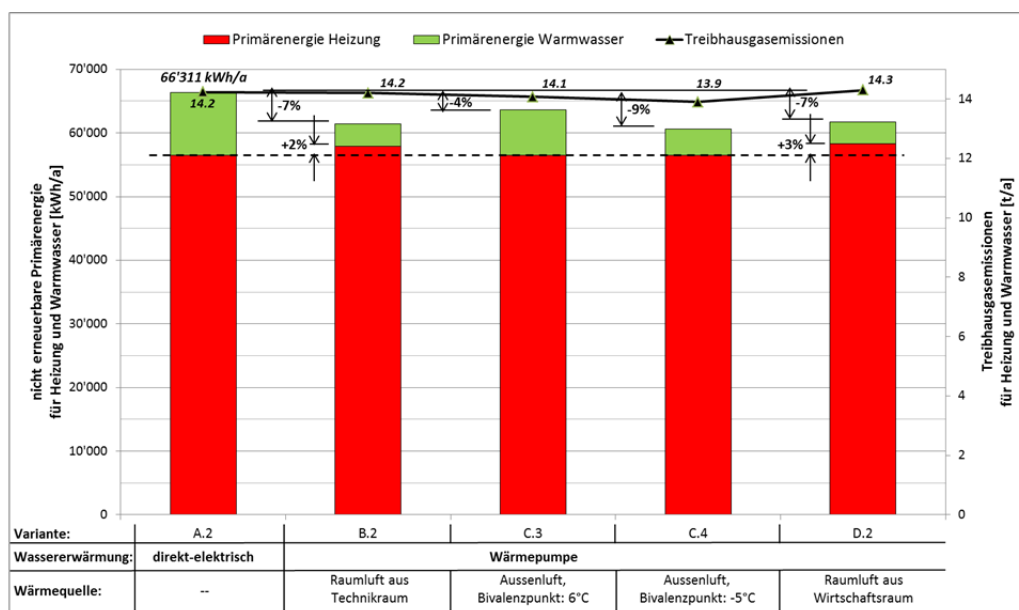


Abbildung 23:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen der Varianten mit ungedämmter Kellerdecke

Davos, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							
		Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	
Nr. Variantenbezeichnung		[kWh/a]	[kWh/a]	nicht erneuerbar [kWh/a]	zur Basisvariante Primärenergie	emissionen [t/a]	
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt) ungedämmte Kellerdecke							
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	3'721	9'786	0%	0.55
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	3'721	129	-98.7%	0.05
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)							
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'340	3'524	-50.3%	0.20
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'340	47	-85.9%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	870	1'088	1'338		0.32	
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei 6°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	2'711	7'130	-27.1%	0.40
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	2'711	94	-99.0%	0.03
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
4	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei -5°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'599	4'205	-57.0%	0.24
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'599	56	-99.4%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)							
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'297	3'411	-47.1%	0.19
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'297	45	-81.5%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	1'149	1'436	1'767		0.43	

Tabelle 28:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs nur für das Warmwasser und deren jährlichen Treibhausgasemissionen mit der Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft

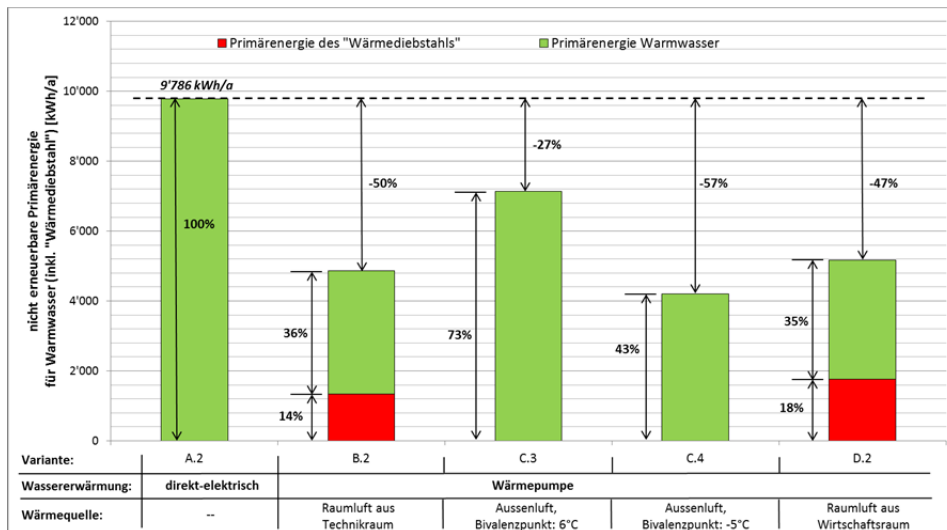


Abbildung 24:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH Verbrauchermix

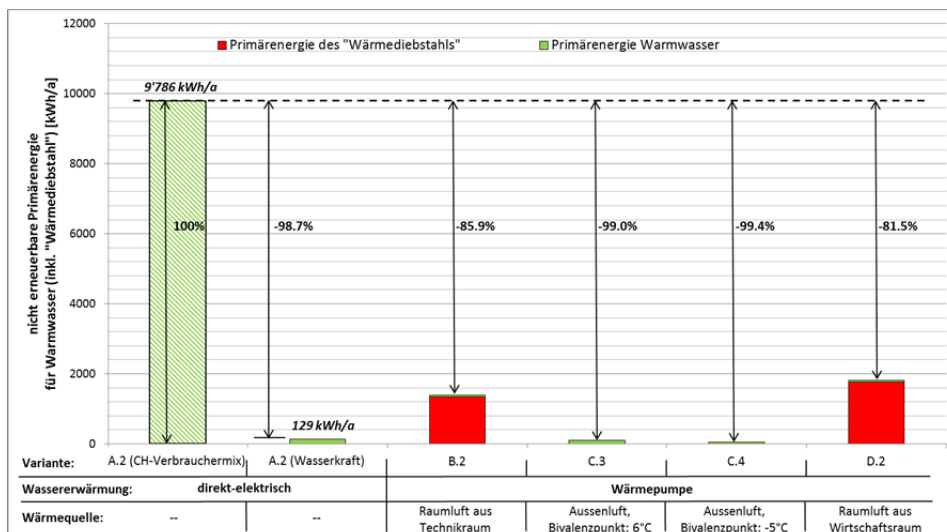


Abbildung 25:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus Wasserkraft

3.5.1.2 Mit gedämmter Kellerdecke

Der Wärmeeintrag vom beheizten zum unbeheizten Geschoss wird mit einer durchgehend gedämmten Decke (10 cm Dämmplatten $\lambda = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$) massiv minimiert.

Davos, schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung zur Basisvariante A.3, Primärenergie	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Basisvariante A.3: direkt-elektrische Wassererwärmung							4	1	1
Raumheizung (Heizöl EL)	29'197	36'496	0.80	44'890	0%	10.9			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	32'192	40'217	0.80	54'677	0%	11.4			
Variante B.3: monovalente Kompaktanlage, Wärmequelle: Raumluft aus Technikraum									
Raumheizung (Heizöl EL)	29'399	36'749	0.80	45'201	0%	10.9	-6	0	0
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'500	2.00	3'945	-60%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	32'394	38'249	0.85	49'146	-10%	11.2			
Variante C.5: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: 6°C)									
Raumheizung (Heizöl EL)	29'207	36'509	0.80	44'906	0%	10.9	4	1	1
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	2'811	1.07	7'393	-24%	0.4			
Raumheizung und Warmwasser	32'202	39'320	0.82	52'299	-4%	11.3			
Variante C.6: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: -5°C)									
Raumheizung (Heizöl EL)	29'216	36'520	0.80	44'920	0%	10.9	4	1	1
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'642	1.82	4'318	-56%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	32'211	38'162	0.84	49'238	-10%	11.1			
Variante D.3: monovalente Split-Anlage, Wärmequelle: Raumluft aus Wirtschaftsraum									
Raumheizung (Heizöl EL)	29'505	36'881	0.80	45'364	0%	11.0	3	-10	-1
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'472	2.03	3'871	-60%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	32'500	38'353	0.85	49'235	-10%	11.2			

Tabelle 29:

Vergleich der Varianten mit gedämmter Kellerdecke

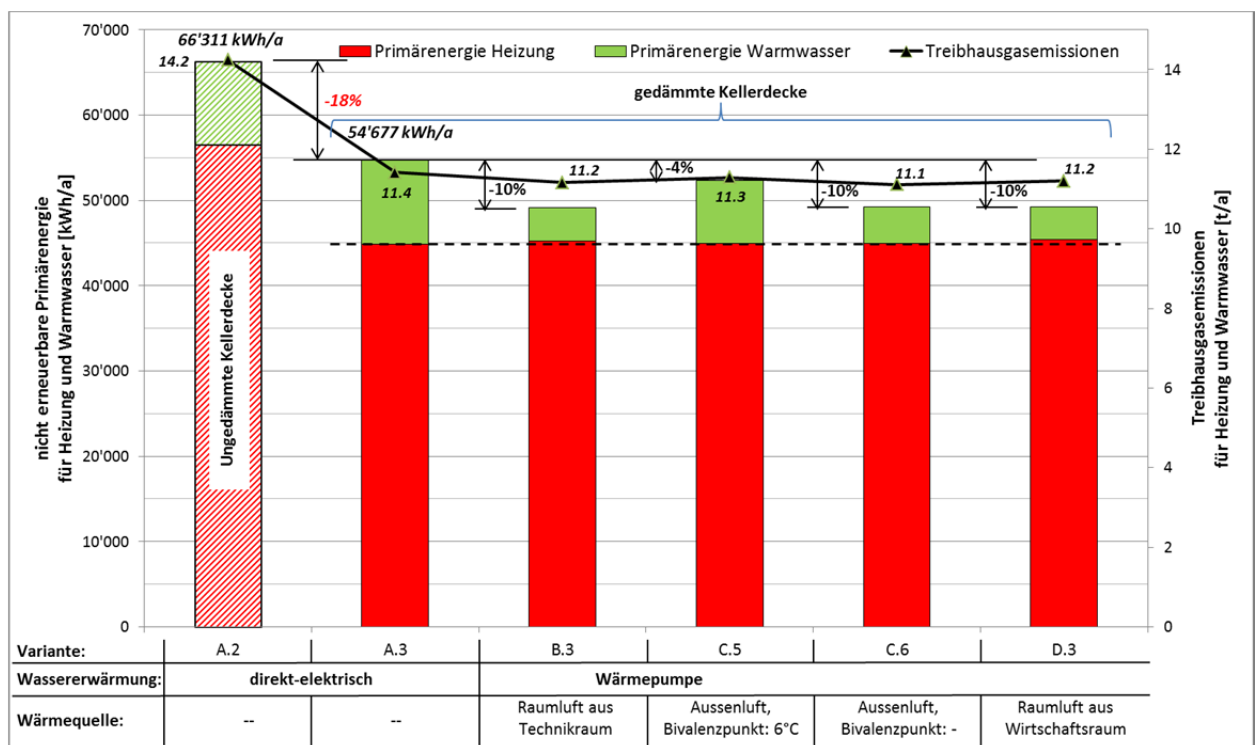


Abbildung 26:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen der Varianten mit gedämmter Kellerdecke

Davos, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							
		Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	
Nr. Variantenbezeichnung		[kWh/a]	[kWh/a]	nicht erneuerbar [kWh/a]	zur Basisvariante Primärenergie	emissionen [t/a]	
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt) gedämmte Kellerdecke							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	3'721	9'786	0%	0.55
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	3'721	129	-98.7%	0.05
		Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'500	3'945	-56.5%	0.22
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'500	52	-96.3%	0.02
		Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	202	253	311		0.08
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)							
5	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei 6°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	2'811	7'393	-24.5%	0.42
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	2'811	98	-99.0%	0.04
		Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00
6	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei -5°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'642	4'318	-55.9%	0.24
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'642	57	-99.4%	0.02
		Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'472	3'871	-55.6%	0.22
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'472	51	-94.6%	0.02
		Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	308	385	474		0.11

Tabelle 30:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs nur für das Warmwasser und deren jährlichen Treibhausgasemissionen mit der Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft

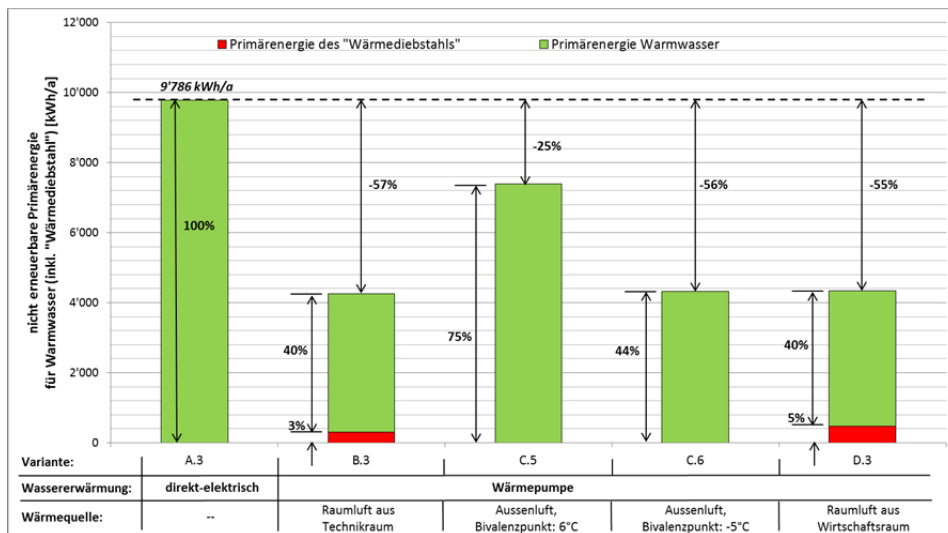


Abbildung 27:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH Verbrauchermix

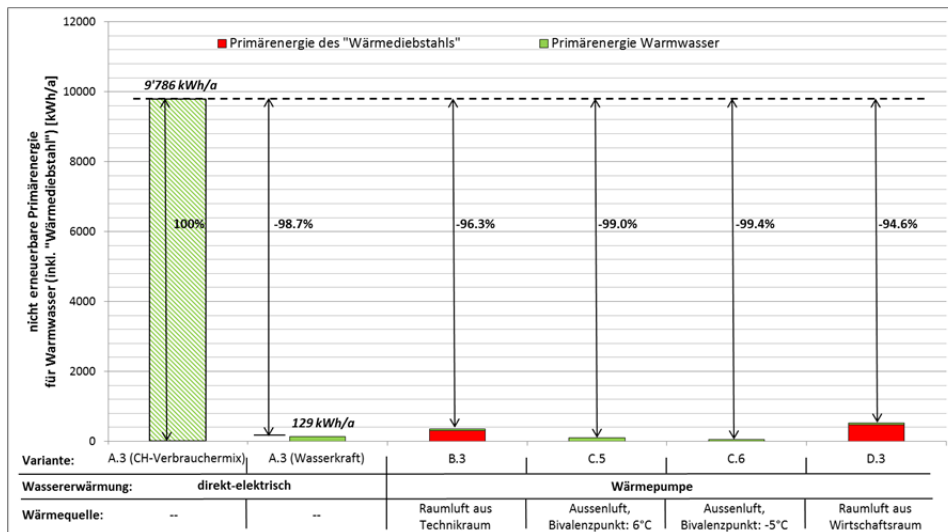
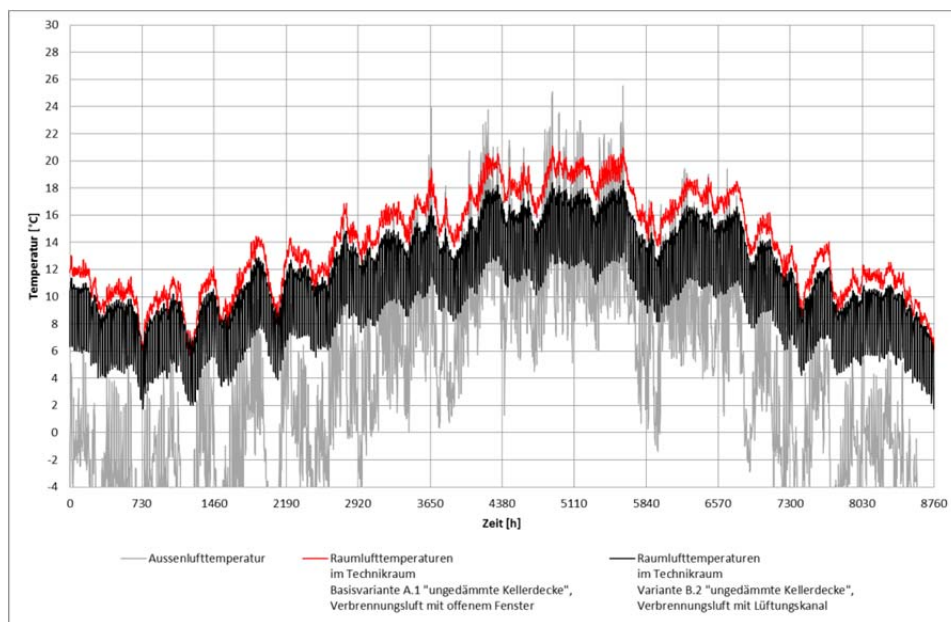
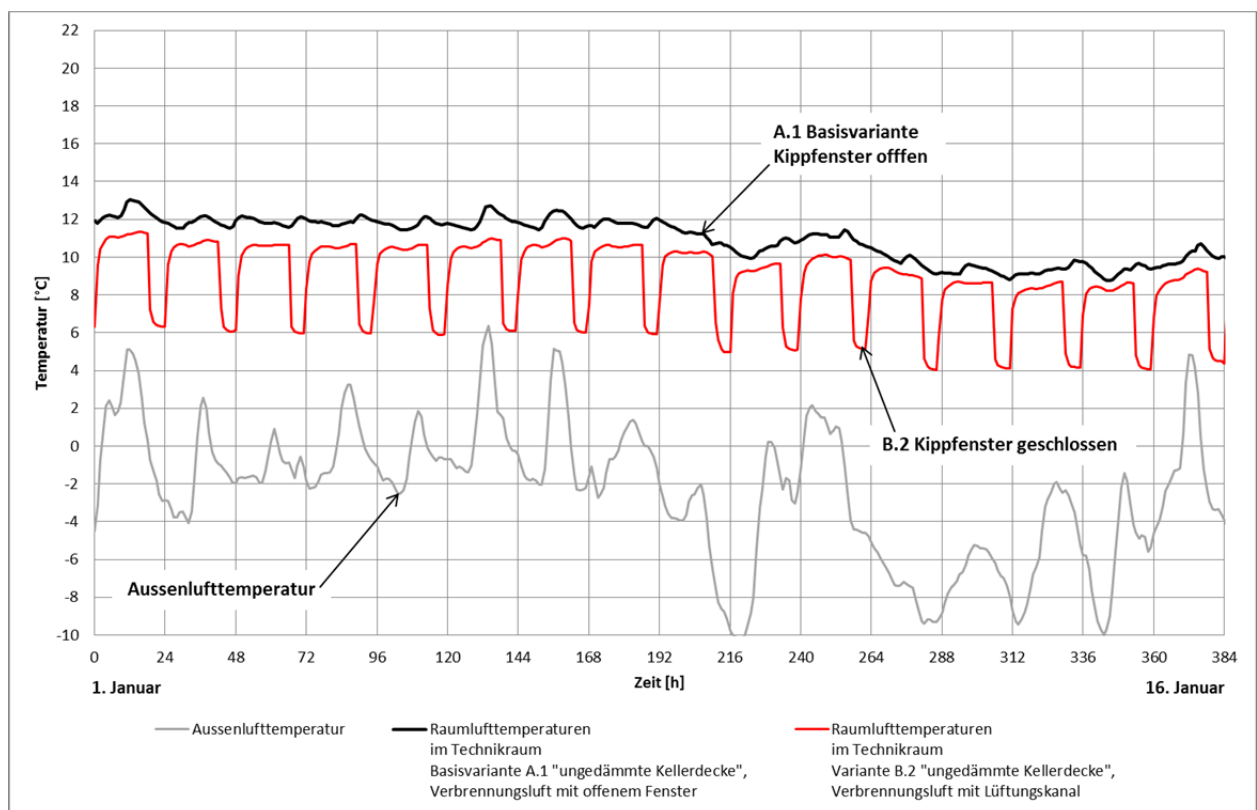


Abbildung 28:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus Wasserkraft

**Abbildung 29:**

Jahres-Temperaturverlauf im Technikraum im Vergleich der Basisvariante A.1 „ungedämmte Kellerdecke und Verbrennungsluft mit offenem Kippfenster“ mit der Variante B.2 „ungedämmte Kellerdecke und Verbrennungsluft mit Lüftungskanal“

**Abbildung 30:**

Temperaturverlauf im Technikraum während dem 1. Januar bis 16. Januar im Vergleich der Basisvariante A.1 mit der Variante B.2 „Verbrennungsluft zum Brenner geführt“

Schlussfolgerungen 5:

- In Davos liegt die jährliche Primärenergieeinsparung für Heizung und Warmwasser bei einem Elektro-Wassererwärmetauscher durch einen WP-Wassererwärmer zwischen 4 und 10%. Dabei wird mit einer Split-Anlage, welche die Verdampfungsenergie von der Aussenluft bezieht, am meisten eingespart.
- Die Treibhausgasemissionen lassen sich durch eine Split-Anlage mit der Wärmequelle „Aussenluft“ senken. Die jährliche CO₂-Reduktion beträgt bei dieser Variante rund 500 kg CO₂-eq.
- Dämmt man die Kellerdecke mit einer 10 cm dicken Dämmplatten, lässt sich am meisten Energie einsparen. Die Energiereduktion liegt bei einer durchgehend gedämmten Kellerdecke bei 18% und die Treibhausgase lassen sich jährlich um 3'000 kg CO₂-eq reduzieren (entspricht ca. 22'000 PKW-km).
- Bei der Kompaktanlage (Variante B.2) senkt sich die Raumlufttemperatur im Technikraum im Betriebsfall um 6 Kelvin. In diesem Fall wurde während dem WP-Betrieb die tiefste Raumlufttemperatur von 2 °C errechnet. Die Raumlufttemperatur steigt nach dem WP-Betrieb wieder an. Sie bleibt aber bei kalten Aussenlufttemperaturen ungefähr 2 bis 3 K unter der Raumlufttemperatur der Basisvariante. Hier ist zu bemerken, dass in den Bergregionen tiefere Aussenlufttemperaturen herrschen als im Mittelland und auf der Alpensüdseite. In der Simulation werden in der Klimastation Davos rund 3'200 Stunden pro Jahr ausgewiesen, bei denen die Aussenlufttemperatur unter 0 °C liegt. Somit sollten in Bergregionen Split-Anlagen eingesetzt werden, bei denen sich am Verdampfer auch bei tiefen Aussenlufttemperaturen kein Eis bilden kann. Alternativ werden bivalent laufende Wärmepumpen empfohlen. Dabei sollte der Bivalenzpunkt möglichst tief gewählt werden.
- Wird die nicht erneuerbare Primärenergie des Warmwassers berücksichtigt, dann ist bei ungedämmten Kellerdecken der Wärmediebstahl hoch. Dieser liegt bei WP-Wassererwärmern mit der Wärmequelle „Raumluft“ bei 14% resp. 18%. Der elektrische Energiebedarf lässt sich aber um zwei Drittel reduzieren, so dass die Gesamtreduktion des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs für das Warmwasser zwischen 25 und 57% liegt (siehe Abbildung 24 und Abbildung 27). Das grösste Einsparpotential weist der WP-Wassererwärmer mit einer Wärmequelle „Aussenluft“ und einem Bivalenzpunkt bei -5°C aus; Reduktion der nicht erneuerbaren Primärenergie von 57%.
- In der Abbildung 25 und Abbildung 28 wird die nicht erneuerbare Primärenergie des Warmwassers mit einem Energieträger aus Wasserkraft dargestellt. Wechselt man bei einem direkt-elektrisch betriebenen Wassererwärmer den Energieträger vom CH-Verbrauchermix auf Wasserkraft, kann die nicht erneuerbare Primärenergie für das Warmwasser um rund 99% gesenkt werden. Wird zusätzlich noch ein WP-Wassererwärmer mit der Wärmequelle „Aussenluft“ berücksichtigt, lässt sich die nicht erneuerbare Primärenergie des Warmwassers um weitere 0.5% reduzieren.

3.5.2 Klimastation „Lugano“ - Alpensüdseite

3.5.2.1 Mit ungedämmter Kellerdecke

Lugano, schwere Bauweise und schlechter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung zur Basisvariante A.2, Primärenergie	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Basisvariante A.2: direkt-elektrische Wassererwärmung							14	12	12
Raumheizung (Heizöl EL)	16'464	20'581	0.80	25'314	0%	6.1			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	19'459	24'302	0.80	35'100	0%	6.7			
Variante B.2: monovalente Kompaktanlage, Wärmequelle: Raumluft aus Technikraum							7	11	12
Raumheizung (Heizöl EL)	17'011	21'263	0.80	26'154	3%	6.3			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'213	2.47	3'190	-67%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	20'006	22'476	0.89	29'344	-16%	6.5			
Variante C.3: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: 6°C)							14	12	12
Raumheizung (Heizöl EL)	16'443	20'554	0.80	25'281	0%	6.1			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'635	1.83	4'300	-56%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	19'438	22'189	0.88	29'581	-16%	6.4			
Variante C.4: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: -5°C)							15	12	12
Raumheizung (Heizöl EL)	16'429	20'537	0.80	25'260	0%	6.1			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'108	2.70	2'914	-70%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	19'424	21'645	0.90	28'174	-20%	6.3			
Variante D.2: monovalente Split-Anlage, Wärmequelle: Raumluft aus Wirtschaftsraum							14	5	12
Raumheizung (Heizöl EL)	17'180	21'475	0.80	26'414	4%	6.4			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'181	2.54	3'107	-68%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	20'175	22'656	0.89	29'521	-16%	6.6			

Tabelle 31:

Vergleich der Varianten mit ungedämmter Kellerdecke

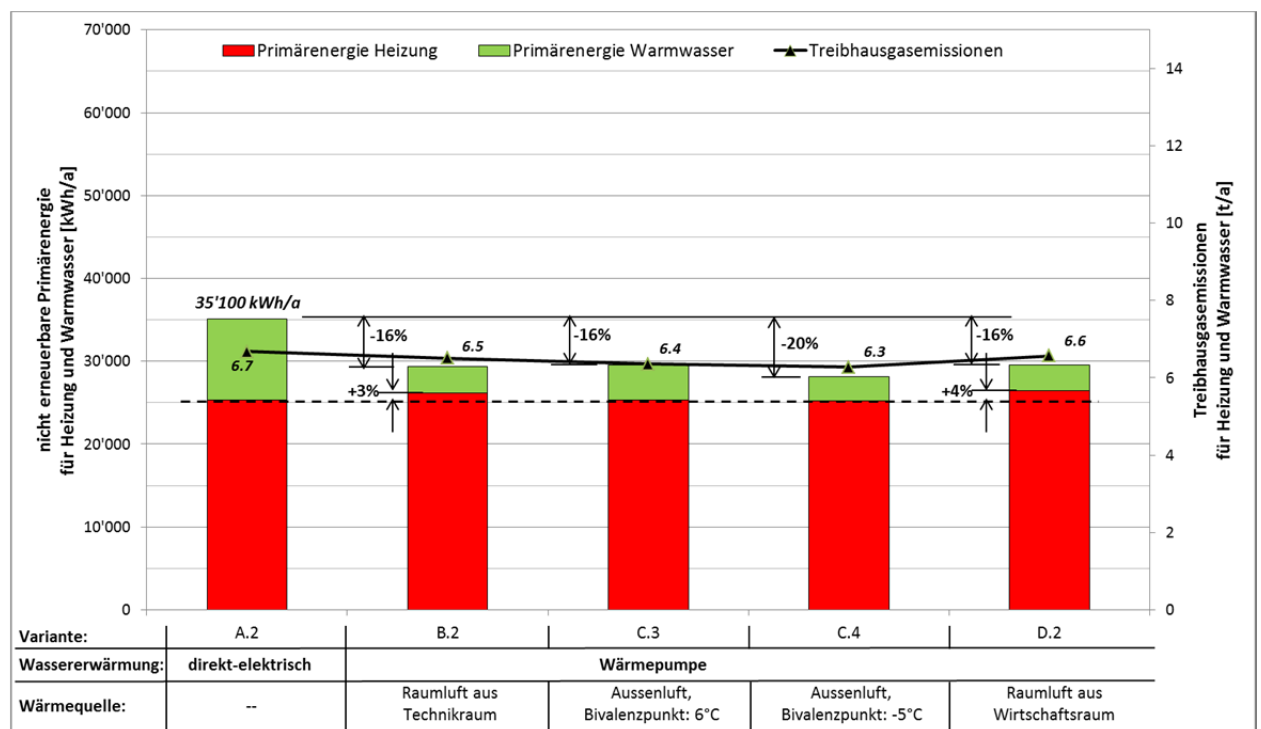


Abbildung 31:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen der Varianten mit ungedämmter Kellerdecke

Lugano, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							
		Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	
Nr. Variantenbezeichnung		[kWh/a]	[kWh/a]	nicht erneuerbar	zur Basisvariante	emissionen	
				[kWh/a]	Primärenergie	[t/a]	
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt) ungedämmte Kellerdecke							
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	3'721	9'786	0%	0.55
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	3'721	129	-98.7%	0.05
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)							
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'213	3'190	-58.8%	0.18
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'213	42	-91.0%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	546	683	840		0.20	
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei 6°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'635	4'300	-56.1%	0.24
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'635	57	-99.4%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
4	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei -5°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'108	2'914	-70.2%	0.16
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'108	39	-99.6%	0.01
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)							
2	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'181	3'107	-57.0%	0.18
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'181	41	-98.3%	0.01
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	716	894	1'100		0.27	

Tabelle 32:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs nur für das Warmwasser und deren jährlichen Treibhausgasemissionen mit der Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft

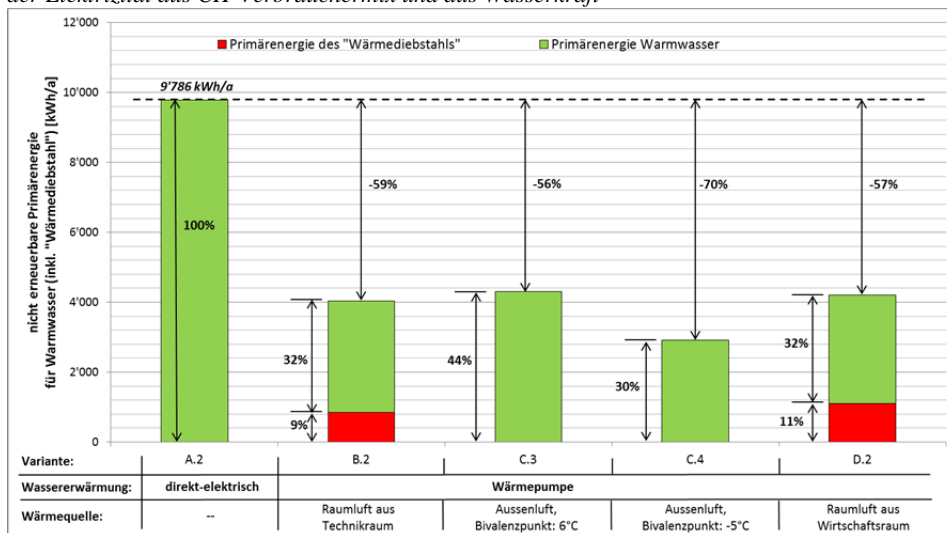


Abbildung 32:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH Verbrauchermix

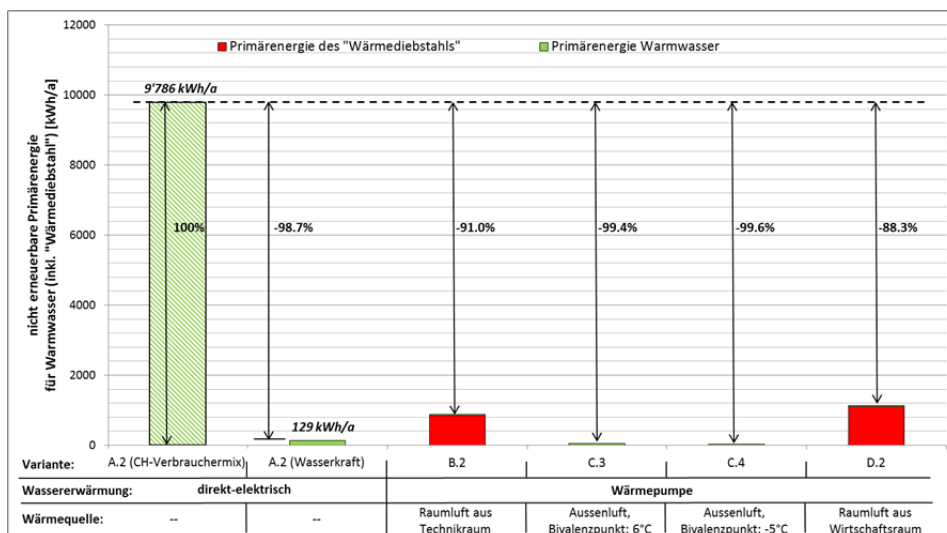


Abbildung 33:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus Wasserkraft

3.5.2.2 Mit gedämmter Kellerdecke

Der Wärmeeintrag vom beheizten zum unbeheizten Geschoss wird mit einer durchgehend gedämmten Decke (10 cm Flumroc-Dämmplatten $\lambda = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$) massiv minimiert.

Lugano, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung zur Basisvariante A.3, Primärenergie	Treibhausgas-emissionen	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. UG-Räume
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	[°C]	[°C]	[°C]
Basisvariante A.3: direkt-elektrische Wassererwärmung							11	8	7
Raumheizung (Heizöl EL)	12'937	16'172	0.80	19'891	0%	4.8			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	15'932	19'893	0.80	29'678	0%	5.4			
Variante B.3: monovalente Kompaktanlage, Wärmequelle: Raumluft aus Technikraum							1	7	7
Raumheizung (Heizöl EL)	13'065	16'331	0.80	20'087	0%	4.9			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'311	2.28	3'448	-65%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	16'060	17'642	0.91	23'534	-21%	5.1			
Variante C.5: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: 6°C)							11	8	7
Raumheizung (Heizöl EL)	12'936	16'170	0.80	19'889	0%	4.8			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'630	1.84	4'287	-56%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	15'931	17'800	0.90	24'176	-19%	5.1			
Variante C.6: bivalente Split-Anlage, Wärmequelle: Aussenluft (Bivalenzpunkt: -5°C)							11	8	7
Raumheizung (Heizöl EL)	12'939	16'174	0.80	19'894	0%	4.8			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'116	2.68	2'936	-70%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	15'934	17'290	0.92	22'830	-23%	5.0			
Variante D.3: monovalente Split-Anlage, Wärmequelle: Raumluft aus Wirtschaftsraum							10	-4	6
Raumheizung (Heizöl EL)	13'123	16'404	0.80	20'177	0%	4.9			
Warmwasser (CH-Verbrauchermix)	2'995	1'289	2.32	3'391	-65%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	16'118	17'693	0.91	23'568	-21%	5.1			

Tabelle 33:

Vergleich der Varianten mit gedämmter Kellerdecke

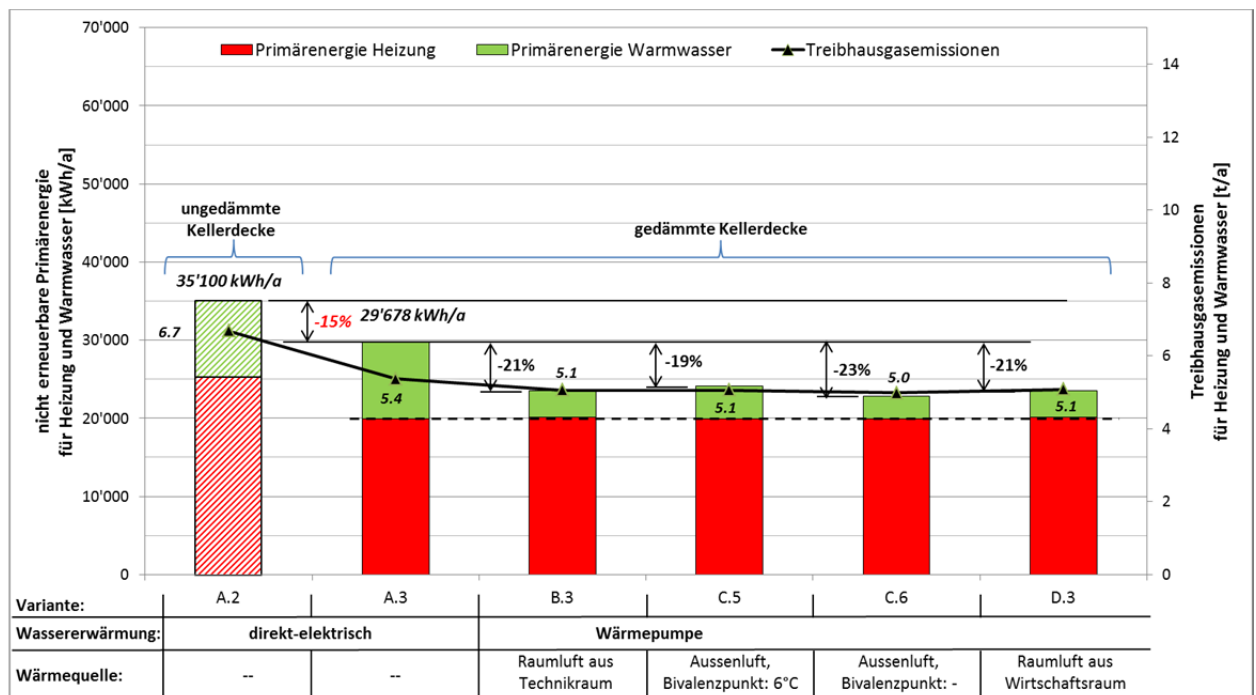


Abbildung 34:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser und der jährlichen Treibhausgasemissionen der Varianten mit gedämmter Kellerdecke

Lugano, schwere Bauweise und schlechter U-Wert							
		Nutzenergie	Endenergie	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	
Nr. Variantenbezeichnung		[kWh/a]	[kWh/a]	nicht erneuerbar [kWh/a]	zur Basisvariante Primärenergie	emissionen [t/a]	
A Basisvariante (Wassererwärmung 100% elektrisch-direkt) gedämmte Kellerdecke							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	3'721	9'786	0%	0.55
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	3'721	129	-98.7%	0.05
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
B Kompaktanlage (Wärmequelle: Technikraum)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'311	3'448	-62.8%	0.19
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'311	46	-97.5%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	127	159	195		0.05	
C Split-Anlage (Wärmequelle: Aussenluft)							
5	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei 6°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'630	4'287	-56.2%	0.24
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'630	57	-99.4%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
6	Verbrennungsluft zum Brenner geführt (Bivalenzpunkt bei -5°C)	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'116	2'936	-70.0%	0.17
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'116	39	-99.6%	0.01
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	0	0	0		0.00	
D Split-Anlage (Wärmequelle: Wirtschaftsraum)							
3	Verbrennungsluft zum Brenner geführt	Warmwasser (CH-Verbrauch)	2'995	1'289	3'391	-62.4%	0.19
		Warmwasser (Wasserkraft)	2'995	1'289	45	-96.6%	0.02
	Wärmediebstahl -> Zusätzlicher Heizwärmebedarf	186	232	286		0.07	

Tabelle 34:

Zusammenfassung des Jahresheizwärmebedarfs nur für das Warmwasser und deren jährlichen Treibhausgasemissionen mit der Elektrizität aus CH-Verbrauchermix und aus Wasserkraft

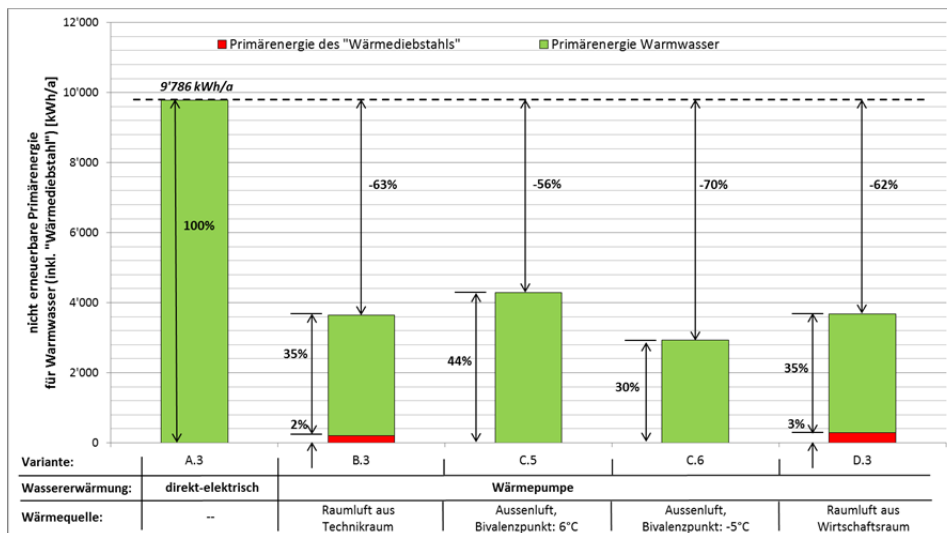


Abbildung 35:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus dem CH Verbrauchermix

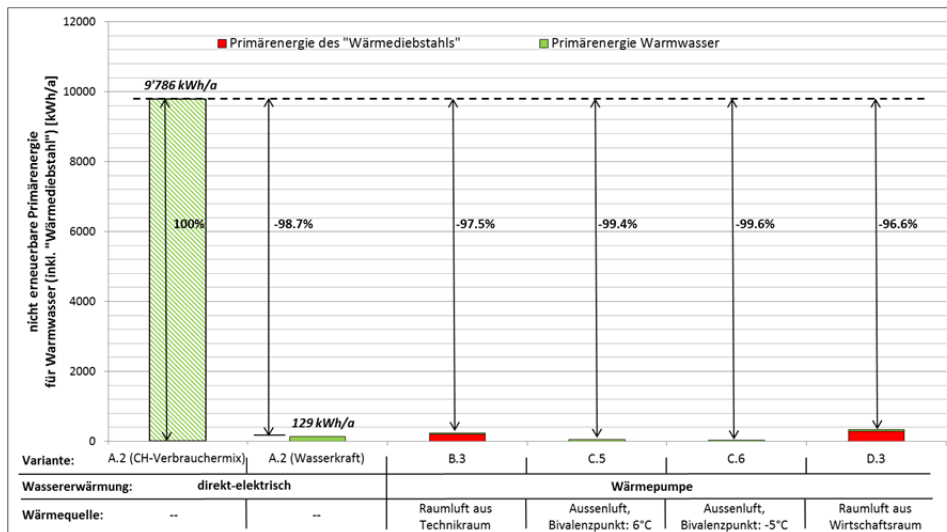


Abbildung 36:

Vergleich der nicht erneuerbaren Primärenergien nur für das Warmwasser mit Elektrizität aus Wasserkraft

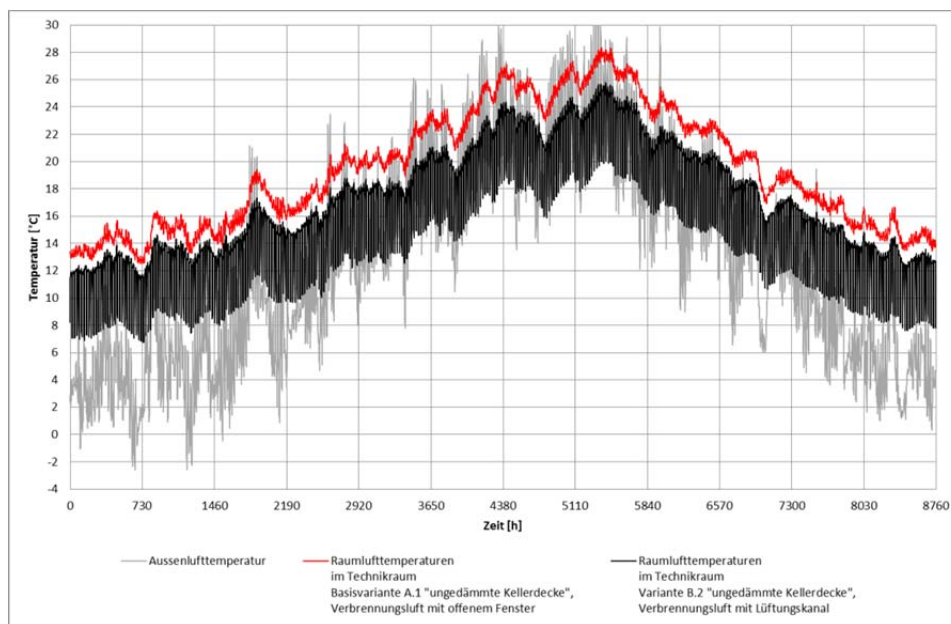


Abbildung 37:

Jahres-Temperaturverlauf im Technikraum im Vergleich der Basisvariante A.1 „ungedämmte Kellerdecke und Verbrennungsluft mit offenem Kippfenster“ mit der Variante B.2 „ungedämmte Kellerdecke und Verbrennungsluft mit Lüftungskanal“

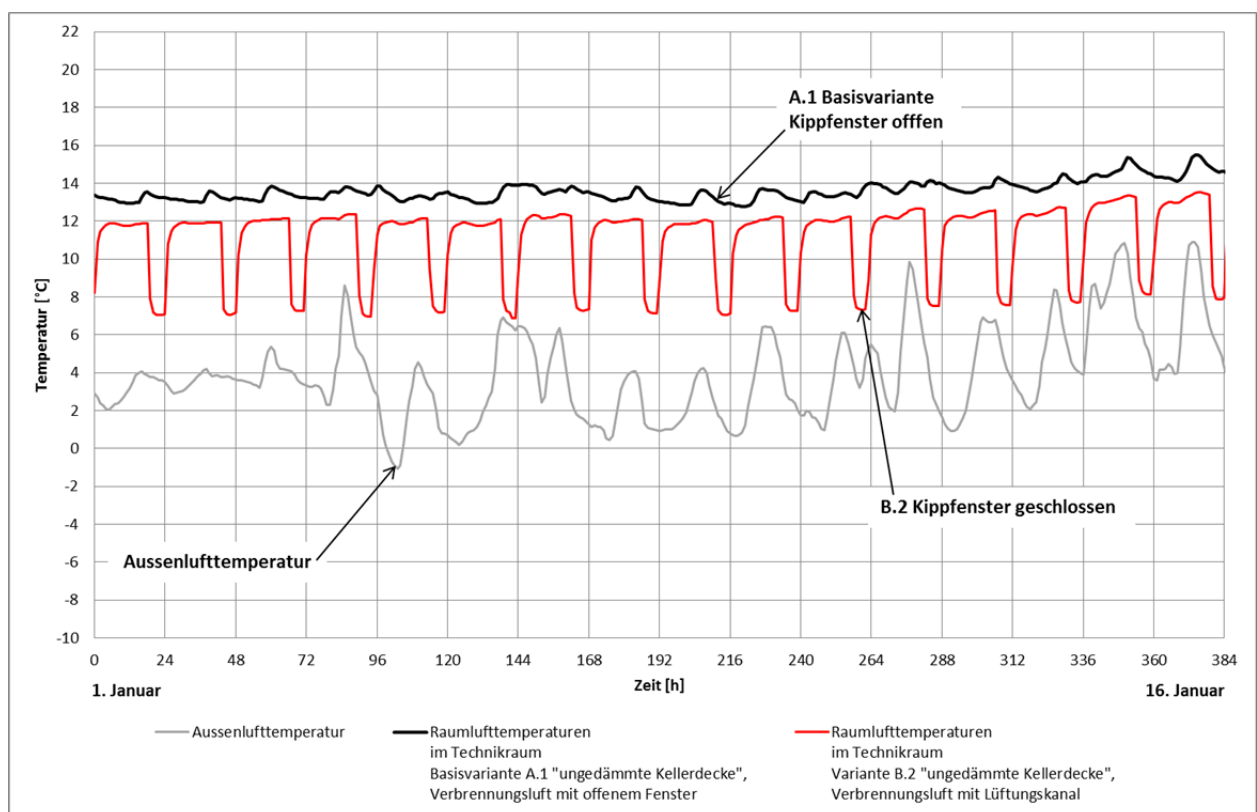


Abbildung 38:

Temperaturverlauf im Technikraum während dem 1. Januar bis 16. Januar im Vergleich der Basisvariante A.1 mit der Variante B.2 „Verbrennungsluft zum Brenner geführt“

Schlussfolgerungen 6:

- Ersetzt man in Lugano den Elektro-Wassererwärmer mit einem WP-Wassererwärmer, so kann zwischen 16 bis 23 % Energie eingespart werden. Dabei liegt das grösste Einsparpotential bei der Split-Anlage, welche die Verdampfungsenergie aus der Aussenluft (Bivalenzpunkt bei -5°C) bezieht.
- Weiter lassen sich die jährlichen Treibhausgase bis zu 500 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ senken.
- Wird neben der WP-Wassererwärmung die gesamte Kellerdecke gedämmt, lassen sich die jährlichen Primärenergien für das Heizen um zusätzlich 15 % reduzieren. Da durch die Dämmung der Kellerdecke der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ sinkt, treten weniger Treibhausgase aus dem Oel-Heizkessel aus und die jährlichen Treibhausgase können um 1'500 kg $\text{CO}_2\text{-eq}$ reduziert werden (entspricht ca. 12'000 PKW-km).
- In Lugano werden gerade 80 Stunden registriert, in welchen die Aussenlufttemperaturen tiefer als 0°C liegen. Diese Situation begünstigt den Einsatz von Split-Anlagen mit aussenliegendem Verdampfer mit einer Wärmequelle „Aussenluft“.
- Wird die nicht erneuerbare Primärenergie des Warmwassers berücksichtigt, so können ähnliche Schlussfolgerungen gemacht werden wie bei den Klimastationen Zürich und Davos. Auch bei dieser Variante ist bei ungedämmten Kellerdecken der Wärmediebstahl hoch; dieser liegt bei WP-Wassererwärmern mit der Wärmequelle „Raumluft“ bei 9% resp. 11%. Der elektrische Energiebedarf lässt sich aber um zwei Drittel reduzieren, so dass die Gesamtreaktion des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs für das Warmwasser zwischen 56 und 70% liegt (siehe Abbildung 32 und Abbildung 35). Das grösste Einsparpotential weist der WP-Wasser-erwärmer mit einer Wärmequelle „Aussenluft“ und einem Bivalenzpunkt bei -5°C aus; Reduktion der nicht erneuerbaren Primärenergie von 70%.
- In der Abbildung 33 und Abbildung 36 wird die nicht erneuerbare Primärenergie des Warmwassers mit einem Energieträger aus Wasserkraft dargestellt. Wechselt man bei einem direkt-elektrisch betriebenen Wassererwärmer den Energieträger vom CH-Verbrauchermix auf Wasserkraft, kann die nicht erneuerbare Primärenergie für das Warmwasser um rund 99% gesenkt werden.

4 Zusammenfassung der diskutierten Varianten

In den nachstehenden Tabellen werden die Reduktionspotentiale der diskutierten Varianten zusammengefasst.

4.1 Gebäudetyp mit „schlechtem U-Wert“

Im Gebäudetyp mit „schlechtem U-Wert“ werden folgende U-Werte berücksichtigt:

Bezeichnung der Gebäudetypen:	U-Wert opake Gebäudeteile		U-Wert Fenster	
	Aussenwand	Dach	Glas	Rahmen
Variante: „schlechter U-Wert“	0.56 W/m ² K	0.48 W/m ² K	2.90 W/m ² K	3.00 W/m ² K

4.1.1 Klimastation „Zürich“ - Mittelland

Untersuchte Einflüsse		Wärmequelle der WP-Wassererwärmung				
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Variante B.1	Variante C.1	Variante C.2	Variante D.1
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluf (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Oel-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster

Mittelland (Klimastation: Zürich)						
Warmwasser	Nutzenergie	[kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie	[kWh/a]	3'721	1'268	2'111	1'249
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	9'786	3'335	5'552	3'285
	Jahresarbeitszahl (JAZ)	[-]		2.36	1.42	2.40
Raumheizung	Nutzenergie	[kWh/a]	25'139	25'694	25'122	25'105
	Endenergie	[kWh/a]	31'424	32'118	31'403	31'381
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	38'651	39'505	38'625	40'013
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	48'437	42'839	44'177	43'298
Abweichung zur Basisvariante A.1		[%]	0%	-12%	-9%	-13%
Treibhausgasemissionen		[t CO ₂ -eq/a]	9.9	9.8	9.7	9.5

Tabelle 35:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „offenes Kippfenster“ in Bezug der Wärmepumpen-Wärmequellen bei ungedämmten Kellerdecken

Untersuchte Einflüsse		durchgehend gedämmter Kellerdecke					
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluf (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Oel-Heizkessel:		via offenem Kipfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal

Mittelland (Klimastation: Zürich)									
Warmwasser	Nutzenergie	[kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995		
	Endenergie	[kWh/a]	3'721	3'721	1'386	2'127	1'361		
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	9'786	9'786	3'645	5'594	3'330		
	Jahresarbeitszahl (JAZ)	[-]			2.16	1.41	2.37		
Raumheizung	Nutzenergie	[kWh/a]	25'139	19'898	20'053	19'902	19'901		
	Endenergie	[kWh/a]	31'424	24'873	25'066	24'878	25'156		
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	38'651	30'593	30'831	30'599	30'598		
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	48'437	40'379	34'477	36'193	33'927		
Total		nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	48'437	40'379	34'477	36'193	33'927	34'522
Abweichung zur Basisvariante A.1		[%]	0%	-17%	-29%	-25%	-30%	-29%	
Treibhausgasemissionen		[t CO ₂ -eq/a]	9.9	8.0	7.7	7.7	7.6	7.7	

Tabelle 36:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „geschlossenem Kippfenster“ in Bezug der durchgehend gedämmten Kellerdecke und den Wärmepumpen-Quellen



Abbildung 39:

Zusammenfassung der Klimastation „Zürich“ - Mittelland

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumlufttemperaturen				
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Variante B.1	Variante C.1	Variante C.2	Variante D.1
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster

Mittelland (Klimastation: Zürich)						
Technikraum	[°C]	8	2	8	8	8
Wirtschaftsraum	[°C]	9	9	9	9	2
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	8	8	8	8	8

Tabelle 37:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumlufttemperatur im Kellergeschoss bei nicht gedämmter Kellerdecke

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumlufttemperaturen					
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.2	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal

Mittelland (Klimastation: Zürich)							
Technikraum	[°C]	11	7	-3	7	7	7
Wirtschaftsraum	[°C]	9	5	3	5	5	-4
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	8	3	2	3	3	2

Tabelle 38:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumlufttemperatur im Kellergeschoss bei gedämmter Kellerdecke

4.1.2 Klimastation „Davos“ - Bergregionen

Untersuchte Einflüsse		Verbrennungsluft des Öl-Heizkessels					
Variantenbezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.2	Variante B.2	Variante C.3	Variante C.4	Variante D.2
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal
Bergregionen (Klimastation: Davos)							
Warmwasser	Nutzenergie [kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie [kWh/a]	3'721	3'721	1'340	2'711	1'599	1'297
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	9'786	9'786	3'524	7'130	4'205	3'411
	Jahresarbeitszahl (JAZ) [-]			2.24	1.10	1.87	2.31
Raumheizung	Nutzenergie [kWh/a]	37'122	36'764	37'634	36'743	36'719	37'913
	Endenergie [kWh/a]	46'403	45'955	47'043	45'929	45'899	47'391
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	57'075	56'525	57'862	56'492	56'455	58'291
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	66'861	66'311	61'386	63'622	60'661	61'702
Abweichung zur Basisvariante A.1 [%]		0%	-1%	-8%	-5%	-9%	-8%
Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -eq/a]		14.4	14.2	14.2	14.1	13.9	14.3

Tabelle 39:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „geschlossenem Kippfenster“ in Bezug der Wärmepumpen-Quellen bei ungedämmten Kellerdecken

Untersuchte Einflüsse		durchgehend gedämmter Kellerdecke					
Variantenbezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal
Bergregionen (Klimastation: Davos)							
Warmwasser	Nutzenergie [kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie [kWh/a]	3'721	3'721	1'500	2'811	1'642	1'472
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	9'786	9'786	3'945	7'393	4'318	3'871
	Jahresarbeitszahl (JAZ) [-]			2.00	1.07	1.82	2.03
Raumheizung	Nutzenergie [kWh/a]	37'122	29'197	29'399	29'207	29'216	29'505
	Endenergie [kWh/a]	46'403	36'496	36'749	36'509	36'520	36'881
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	57'075	44'890	45'201	44'906	44'920	45'364
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	66'861	54'677	49'146	52'299	49'238	49'235
Abweichung zur Basisvariante A.1 [%]		0%	-18%	-26%	-22%	-26%	-26%
Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -eq/a]		14.4	11.4	11.2	11.3	11.1	11.2

Tabelle 40:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „geschlossenem Kippfenster“ in Bezug der durchgehend gedämmten Kellerdecke und den Wärmepumpen-Quellen

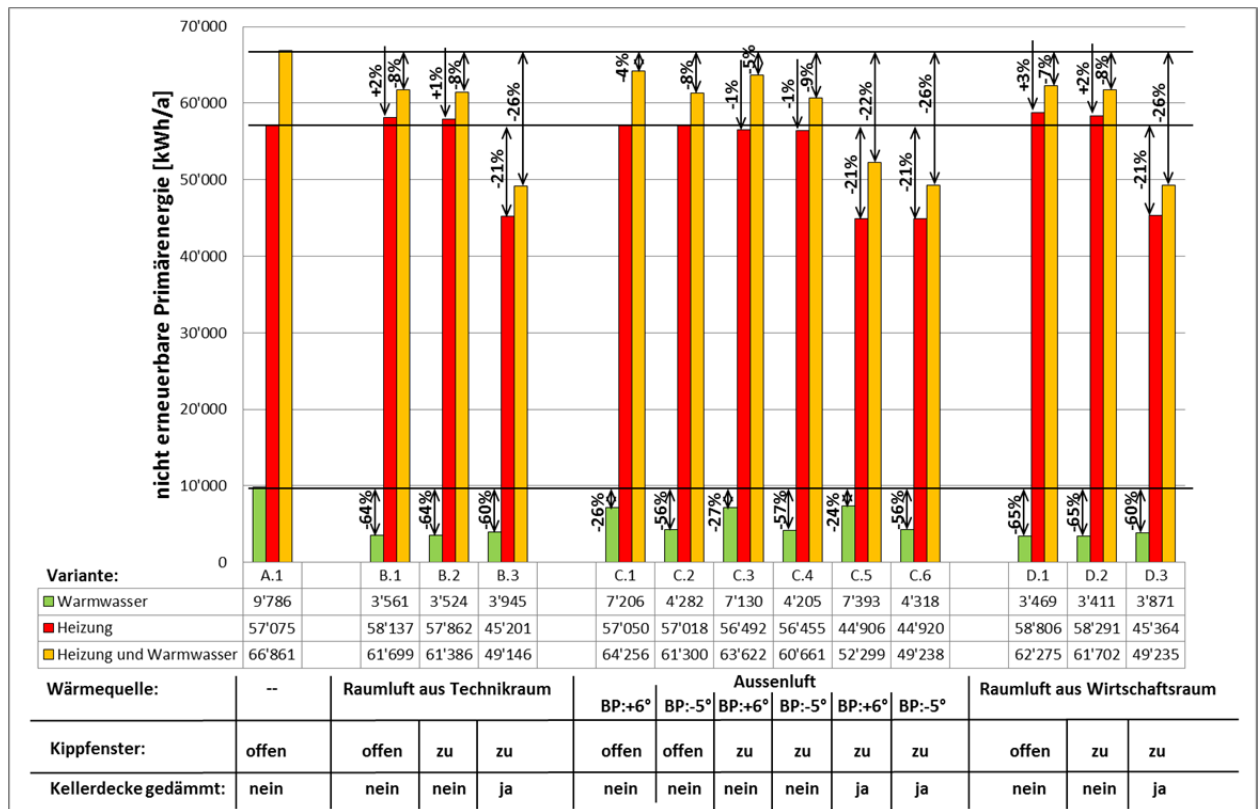


Abbildung 40:

Zusammenfassung der Klimastation „Davos“ - Bergregionen

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumlufttemperaturen				
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Variante B.1	Variante C.1	Variante C.2	Variante D.1
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster

Bergregionen (Klimastation: Davos)						
Technikraum	[°C]	5	0	5	5	6
Wirtschaftsraum	[°C]	8	7	8	8	1
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	6	6	6	6	6

Tabelle 41:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumlufttemperatur im Kellergeschoss bei nicht gedämmt Kellerdecke

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumlufttemperaturen					
Variantebezeichnung:	Basisvariante A.2	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3	
Wassererwärmung:	elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage	
Wärmequelle für WP:	keine	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)	
Betriebsweise:	monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent	
Kellerdecke:	ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	

Bergregionen (Klimastation: Davos)						
Technikraum	[°C]	9	4	-6	4	3
Wirtschaftsraum	[°C]	7	1	0	1	-10
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	6	1	0	1	-1

Tabelle 42:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumlufttemperatur im Kellergeschoss bei gedämmt Kellerdecke

4.1.3 Klimastation „Lugano“ - Alpensüdseite

Untersuchte Einflüsse		Verbrennungsluft des Öl-Heizkessels					
Variantenbezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.2	Variante B.2	Variante C.3	Variante C.4	Variante D.2
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal
Alpensüdseite (Klimastation: Lugano)							
Warmwasser	Nutzenergie [kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie [kWh/a]	3'721	3'721	1'213	1'635	1'108	1'181
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	9'786	9'786	3'190	4'300	2'914	3'107
	Jahresarbeitszahl (JAZ) [-]			2.47	1.83	2.70	2.54
Raumheizung	Nutzenergie [kWh/a]	16'644	16'464	17'011	16'443	16'429	17'180
	Endenergie [kWh/a]	20'805	20'581	21'263	20'554	20'537	21'475
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	25'590	25'314	26'154	25'281	25'260	26'414
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	35'376	35'100	29'344	29'581	28'174	29'521
Abweichung zur Basisvariante A.1 [%]		0%	-1%	-17%	-16%	-20%	-17%
Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -eq/a]		6.7	6.7	6.5	6.4	6.3	6.6

Tabelle 43:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „geschlossenem Kippfenster“ in Bezug der Wärmepumpen-Quellen bei ungedämmten Kellerdecken

Untersuchte Einflüsse		durchgehend gedämmter Kellerdecke					
Variantenbezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal
Alpensüdseite (Klimastation: Lugano)							
Warmwasser	Nutzenergie [kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie [kWh/a]	3'721	3'721	1'311	1'630	1'116	1'289
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	9'786	9'786	3'448	4'287	2'936	3'391
	Jahresarbeitszahl (JAZ) [-]			2.28	1.84	2.68	2.32
Raumheizung	Nutzenergie [kWh/a]	16'644	12'937	13'065	12'936	12'939	13'123
	Endenergie [kWh/a]	20'805	16'172	16'331	16'170	16'174	16'404
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	25'590	19'891	20'087	19'889	19'894	20'177
	nicht erneuerbare Primärenergie [kWh/a]	35'376	29'678	23'534	24'176	22'830	23'568
Abweichung zur Basisvariante A.1 [%]		0%	-16%	-33%	-32%	-35%	-33%
Treibhausgasemissionen [t CO ₂ -eq/a]		6.7	5.4	5.1	5.1	5.0	5.1

Tabelle 44:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „geschlossenem Kippfenster“ in Bezug der durchgehend gedämmten Kellerdecke und den Wärmepumpen-Quellen

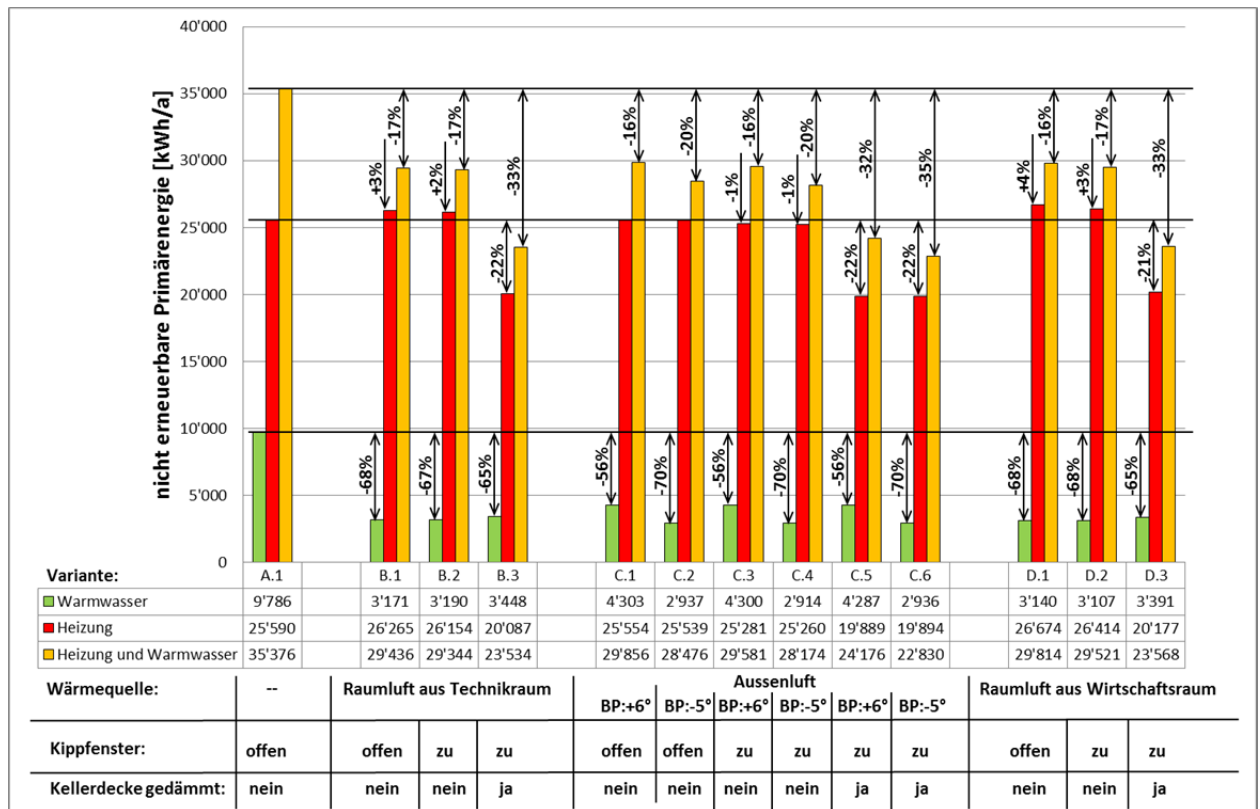


Abbildung 41:

Zusammenfassung der Klimastation „Lugano“ - Alpensüdseite

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumlufttemperaturen				
Variantenbezeichnung:	Basisvariante A.1	Variante B.1	Variante C.1	Variante C.2	Variante D.1	
Wassererwärmung:	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage	
Wärmequelle für WP:	keine	Raumluft (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluft (Wirtschaftsr.)	
Betriebsweise:	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent	
Kellerdecke:	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	

Alpensüdseite (Klimastation: Lugano)						
Technikraum	[°C]	13	6	13	13	12
Wirtschaftsraum	[°C]	12	12	12	12	4
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	12	12	12	12	12

Tabelle 45:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumlufte Temperatur im Kellergeschoss bei nicht gedämmt Kellerdecke

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumlufteemperaturen				
Variantenbezeichnung:	Basisvariante A.2	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3
Wassererwärmung:	elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:	keine	keine	Raumlufte (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumlufte (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:	monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:	ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt
Verbrennungsluft zum Öl-Heizkessel:	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal

Alpensüdseite (Klimastation: Lugano)						
Technikraum	[°C]	14	11	11	11	13
Wirtschaftsraum	[°C]	12	8	7	8	-4
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	12	7	7	7	6

Tabelle 46:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumlufte Temperatur im Kellergeschoss bei gedämmt Kellerdecke

4.2 Gebäudetyp mit „besserem U-Wert“

Im Gebäudetyp mit „besserem U-Wert“ werden folgende U-Werte berücksichtigt:

Bezeichnung der Gebäudetypen:	U-Wert opake Gebäudeteile		U-Wert Fenster	
	Aussenwand	Dach	Glas	Rahmen
Variante: „schlechter U-Wert“	0.30 W/m ² K	0.28 W/m ² K	2.90 W/m ² K	3.00 W/m ² K

Untersuchte Einflüsse		Wärmequelle der WP-Wassererwärmung				
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Variante B.1	Variante C.1	Variante C.2	Variante D.1
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluf (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Oel-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster

Mittelland (Klimastation: Zürich)						
Warmwasser	Nutzenergie	[kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie	[kWh/a]	3'721	1'268	2'112	1'248
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	9'786	3'335	5'555	3'282
	Jahresarbeitszahl (JAZ)	[-]		2.36	1.42	2.40
Raumheizung	Nutzenergie	[kWh/a]	19'636	20'175	19'620	19'601
	Endenergie	[kWh/a]	24'545	25'219	24'525	25'624
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	30'190	31'019	30'166	31'517
	Total					
Abweichung zur Basisvariante A.1		[%]	0%	-14%	-11%	-16%
Treibhausgasemissionen		[t CO ₂ -eq/a]	7.9	7.7	7.6	7.5

Tabelle 47:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „Kippfenster offen“ in Bezug der Wärmepumpen-Wärmequelle bei ungedämmten Kellerdecken

Untersuchte Einflüsse		Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels				
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.2	Variante B.2	Variante C.3	Variante D.2
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)
Kellerdecke:		ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt
Verbrennungsluft zum Oel-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal

Mittelland (Klimastation: Zürich)						
Warmwasser	Nutzenergie	[kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie	[kWh/a]	3'721	3'721	2'094	1'233
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	9'786	9'786	5'507	3'243
	Jahresarbeitszahl (JAZ)	[-]		2.36	1.43	2.43
Raumheizung	Nutzenergie	[kWh/a]	19'636	19'399	19'383	19'359
	Endenergie	[kWh/a]	24'545	24'249	24'229	24'199
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	30'190	29'826	30'848	29'764
	Total					
Abweichung zur Basisvariante A.1		[%]	0%	-1%	-14%	-12%
Treibhausgasemissionen		[t CO ₂ -eq/a]	7.9	7.8	7.7	7.5

Tabelle 48:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „Kippfenster geschlossen“ in Bezug der Wärmepumpen-Wärmequelle bei ungedämmten Kellerdecken

Untersuchte Einflüsse		durchgehend gedämmter Kellerdecke				
Variantebezeichnung:		Basisvariante A.1	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante D.3
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:		keine	keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft
Betriebsweise:		monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)
Kellerdecke:		ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt
Verbrennungsluft zum Oel-Heizkessel:		via offenem Kippfenster	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal

Mittelland (Klimastation: Zürich)						
Warmwasser	Nutzenergie	[kWh/a]	2'995	2'995	2'995	2'995
	Endenergie	[kWh/a]	3'721	3'721	2'109	1'362
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	9'786	9'786	5'547	3'332
	Jahresarbeitszahl (JAZ)	[-]		2.16	1.42	2.20
Raumheizung	Nutzenergie	[kWh/a]	19'636	14'431	14'574	14'432
	Endenergie	[kWh/a]	24'545	18'039	18'218	18'040
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	30'190	22'188	22'408	22'189
	Total					
Abweichung zur Basisvariante A.1		[%]	0%	-20%	-35%	-31%
Treibhausgasemissionen		[t CO ₂ -eq/a]	7.9	5.9	5.6	5.7

Tabelle 49:

Vergleich der Basisvarianten A.1 mit den Varianten „Kippfenster offen“ in Bezug der Wärmepumpen-Quellen bei gedämmten Kellerdecke

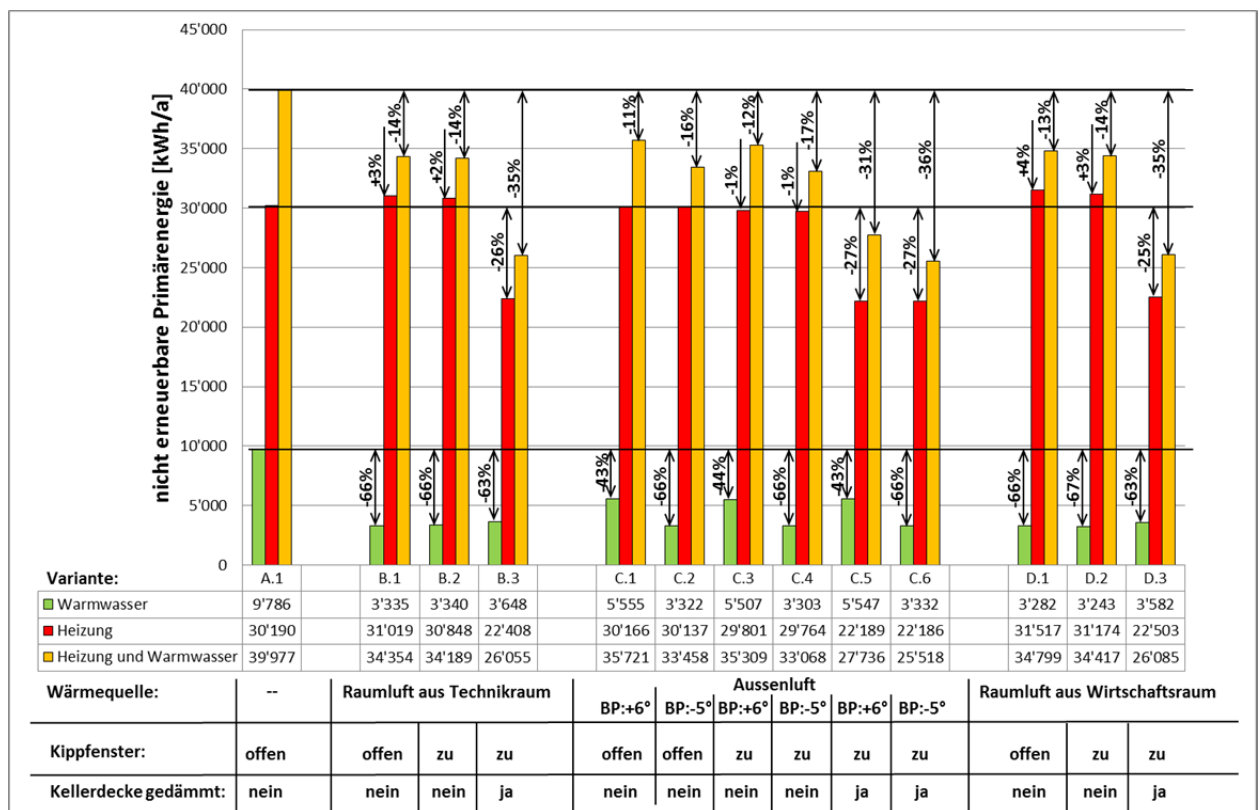


Abbildung 42:

Zusammenfassung der Klimastation „Lugano“ - Alpensüdseite

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumluf temperatures				
Variantenbezeichnung:	Basisvariante A.1	Variante B.1	Variante C.1	Variante C.2	Variante D.1	
Wassererwärmung:	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage	
Wärmequelle für WP:	keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluf (Wirtschaftsr.)	
Betriebsweise:	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent	
Kellerdecke:	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	
Verbrennungsluf zum Oel-Heizkessel:	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	via offenem Kippfenster	

Mittelland (Klimastation: Zürich)						
Technikraum	[°C]	8	2	8	8	8
Wirtschaftsraum	[°C]	9	9	9	9	2
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	8	8	8	8	8

Tabelle 50:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumluf temperature im Kellergeschoss bei nicht gedämmt Kellerdecke

Untersuchte Einflüsse		kleinst errechnete Raumluf temperatures				
Variantenbezeichnung:	Basisvariante A.2	Basisvariante A.3	Variante B.3	Variante C.5	Variante C.6	Variante D.3
Wassererwärmung:	elektrisch-direkt	elektrisch-direkt	Kompaktanlage	Split-Anlage	Split-Anlage	Split-Anlage
Wärmequelle für WP:	keine	keine	Raumluf (Technikraum)	Aussenluft	Aussenluft	Raumluf (Wirtschaftsr.)
Betriebsweise:	monovalent	monovalent	monovalent	bivalent (BP = 6°C)	bivalent (BP = -5°C)	monovalent
Kellerdecke:	ungedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt	gedämmt
Verbrennungsluf zum Oel-Heizkessel:	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal	via Lüftungskanal

Mittelland (Klimastation: Zürich)		kleinst errechnete Raumluf temperatures				
Technikraum	[°C]	11	7	-3	7	6
Wirtschaftsraum	[°C]	9	5	3	5	-7
restl. Räume im Kellergeschoss	[°C]	8	3	2	3	2

Tabelle 51:

Variantenvergleich in Bezug der kleinsten errechneten Raumluf temperature im Kellergeschoss bei gedämmt Kellerdecke

4.3 Lösungsstrategien

Untenstehend werden mögliche Lösungsstrategien aufgelistet, welche in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Szenarien eingeteilt sind.

Kurzfristige Lösung:

<i>Voraussetzungen:</i>	<i>Mögliche Massnahmen:</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudesanierung ist in den nächsten 10 Jahren nicht geplant - Gebäude mit jährlichem Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser $> 60 \text{ kWh/m}^{25}$) - Alter des elektrischen Wassererwärmers < 25 Jahre - Alter der Heizungsanlage > 25 Jahre - Nutzungsalter des Gebäudes > 25 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elektro-Wassererwärmer wird nicht ersetzt ➤ Einkauf des elektrischen Stroms aus erneuerbarer Energiequellen (z.B. aus Wasserkraft)

Mittelfristige Lösung:

<i>Mögliche Voraussetzungen:</i>	<i>Mögliche Massnahmen:</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudesanierung ist nicht geplant - Gebäude mit jährlichem Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser $< 60 \text{ kWh/m}^2$ - Alter des elektrischen Wassererwärmers > 25 Jahre - Ersatz eines defekten Elektro-Wassererwärmers - Alter der Heizungsanlage < 25 Jahre - Nutzungsalter des Gebäudes < 25 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elektro-Wassererwärmer wird durch Wärmepumpen-Wassererwärmer ersetzt ➤ Aufstellungsraum des WP-Wassererwärmers gegen beheizte Räume dämmen, falls der Heizkessel mit fossilem Brennstoff betrieben wird

Längerfristige Lösung:

<i>Mögliche Voraussetzungen:</i>	<i>Mögliche Massnahmen:</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Gebäudesanierung ist geplant - Gebäude mit jährlichem Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser $> 100 \text{ kWh/m}^2$ - Alter des elektrischen Wassererwärmers > 25 Jahre - Alter der Heizungsanlage > 25 Jahre - Nutzungsalter des Gebäudes > 25 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elektro-Wassererwärmer ist im Heizungssystem zu integrieren und/oder solarer Wärme ist zu nutzen ➤ Gebäude energetisch sanieren

⁵⁾ Bezogen auf die beheizte Geschossfläche

4.3.1 Direkt-elektrische Wassererwärmer mit erneuerbaren Energiequellen betrieben

Bei einer kurzfristigen Lösung besteht die Möglichkeit, den elektrischen Strom aus erneuerbaren Energiequellen (z.B. Wasserkraft) einzukaufen. Diese Lösungsstrategie wird empfohlen, wenn keine Gebäudesanierung vorgesehen ist und der Elektro-Wassererwärmer nicht zwingend ersetzt werden muss. Mit dieser Variante lässt sich die Endenergie für die Wassererwärmung nicht reduzieren. Hingegen lässt sich die nicht erneuerbare Primärenergie für das Warmwasser und die Treibhausgasemissionen erheblich reduzieren.

Untersuchte Energiequelle für den elektrischen Strom			
Variantenbezeichnung:		Basisvariante A1	
Wassererwärmung:		elektrisch-direkt	elektrisch-direkt
Energiequelle:		CH-Verbrauchermix	Wasserkraft
P-Faktor (nicht erneuerbar) in MJ Primärenergie / MJ Endenergie		2.6300	0.0346
Treibhausgasemissionen in kg CO ₂ -eq / MJ Endenergie		0.04130	0.00351

Klimastationen: Zürich / Davos / Lugano			
Warmwasser	Nutzenergie	[kWh/a]	2'995
	Endenergie	[kWh/a]	3'721
	nicht erneuerbare Primärenergie	[kWh/a]	9'786
	Abweichung	[%]	-98.7%
	Treibhausgasemissionen	[kg _{CO₂-eq} /a]	553
	Abweichung	[%]	-91.5%

Tabelle 52:

Energiequellen für den elektrischen Strom des Elektro-Wassererwärmers für die Klimastationen Zürich, Davos und Lugano

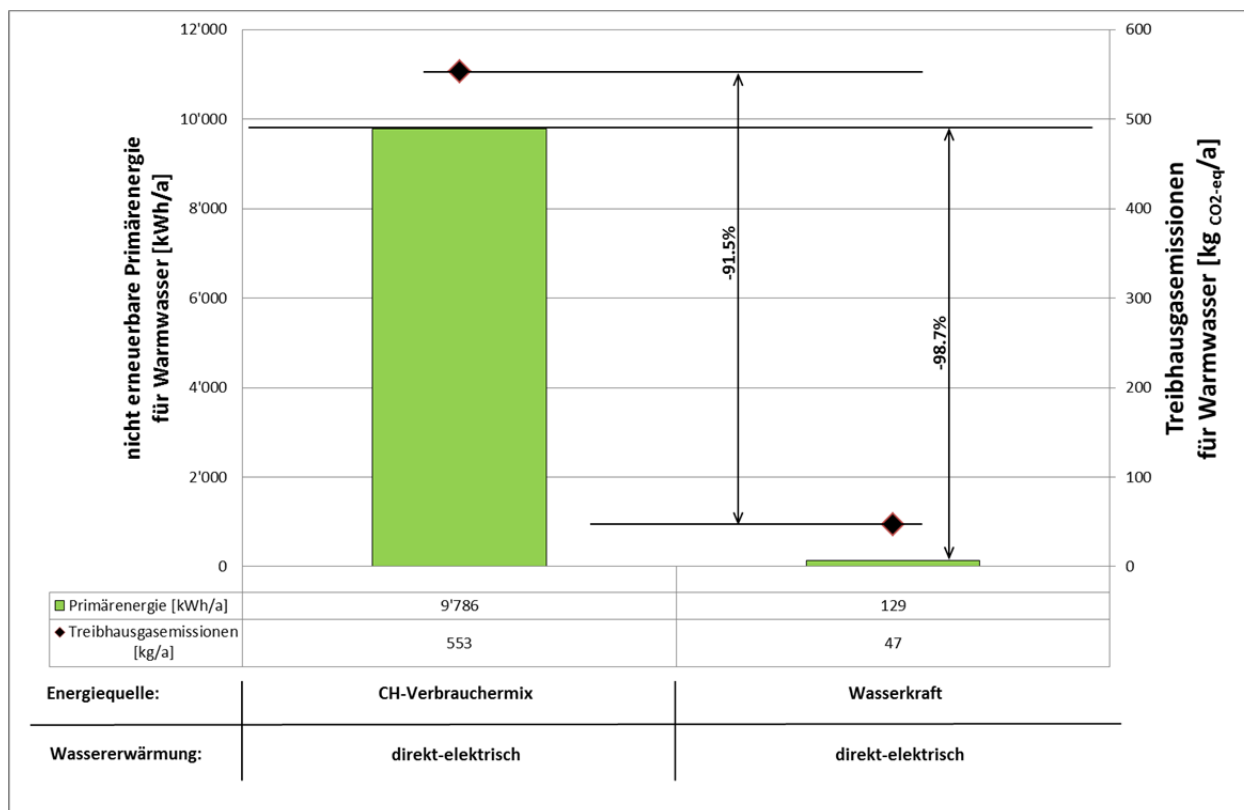


Abbildung 43:

Zusammenfassung des elektrischen Stroms des Elektro-Wassererwärmers

4.3.2 Einsatz von Wärmepumpen-Wassererwärmern

Untenstehend werden die drei effizientesten Wärmequellen für einen WP-Wassererwärmer-Betrieb dargestellt. Weiter wird aufgeführt, welche Massnahmen zusätzlich berücksichtigt werden sollten; diese Aufzählung ist nicht abschliessend.

1. Grösstes Energieeinsparpotenzial: Kompakt- oder Splitanlage mit Aussenluftnutzung

Was ist zu berücksichtigen:

- Bivalente Betriebsweise mit einem Bivalenzpunkt von mindestens -5°C
- Verbrennungsluft für den fossilen Heizkessel ist mit einem Kanal zum Brenner zu führen
- Bei einer Kompaktanlage, ist die Aussenluft mittels Kanal zum Verdampfer zu führen
- Luftseitiger Kurzschluss ist zu verhindern
- Der nicht erneuerbare Primärenergieanteil für Heizung wird mit einer gedämmten Kellerdecke zusätzlich gesenkt
- Die Installationsanleitungen der Lieferanten sind zu beachten

2. Zweitgrösstes Energieeinsparpotenzial: Kompaktanlage mit Innenluftnutzung aus Technikraum

Was ist zu berücksichtigen:

- Raumvolumen des Aufstellungsraums muss mindestens 20 m^3 betragen
- Verbrennungsluft für den fossilen Heizkessel ist mit einem Kanal zum Brenner zu führen
- Aufstellraum muss sauber sein (frei von Staub und ätzenden Gasen)
- Luftseitiger Kurzschluss ist zu verhindern
- Aufstellungsraum muss frostsicher sein
- Falls der Heizkessel mit fossilem Brennstoff betrieben wird, ist der Aufstellungsraum gegen beheizte Räume zu dämmen
- Die Installationsanleitungen der Lieferanten sind zu beachten

3. Drittgrösstes Energieeinsparpotenzial: Kompakt- oder Splitanlage mit Innenluftnutzung aus Wirtschaftsraum

Was ist zu berücksichtigen:

- Raumvolumen des Aufstellungsraums muss mindestens 20 m^3 betragen
- Genügend Abwärme (z.B. Geräte, Erdwärme) muss vorhanden sein
- Aufstellraum muss sauber sein (frei von Staub und ätzenden Gasen)
- Luftseitiger Kurzschluss ist zu verhindern
- Aufstellungsraum muss frostsicher sein
- Evtl. Wirtschaftsraum von aussen belüften
- Falls der Heizkessel mit fossilem Brennstoff betrieben wird, ist der Aufstellungsraum gegen beheizte Räume zu dämmen
- Falls Kompaktanlage im Nebenraum aufgestellt wird, muss ein Kanalsystem für Zu- und Ab- luft vorgesehen werden
- Die Installationsanleitungen der Lieferanten sind zu beachten

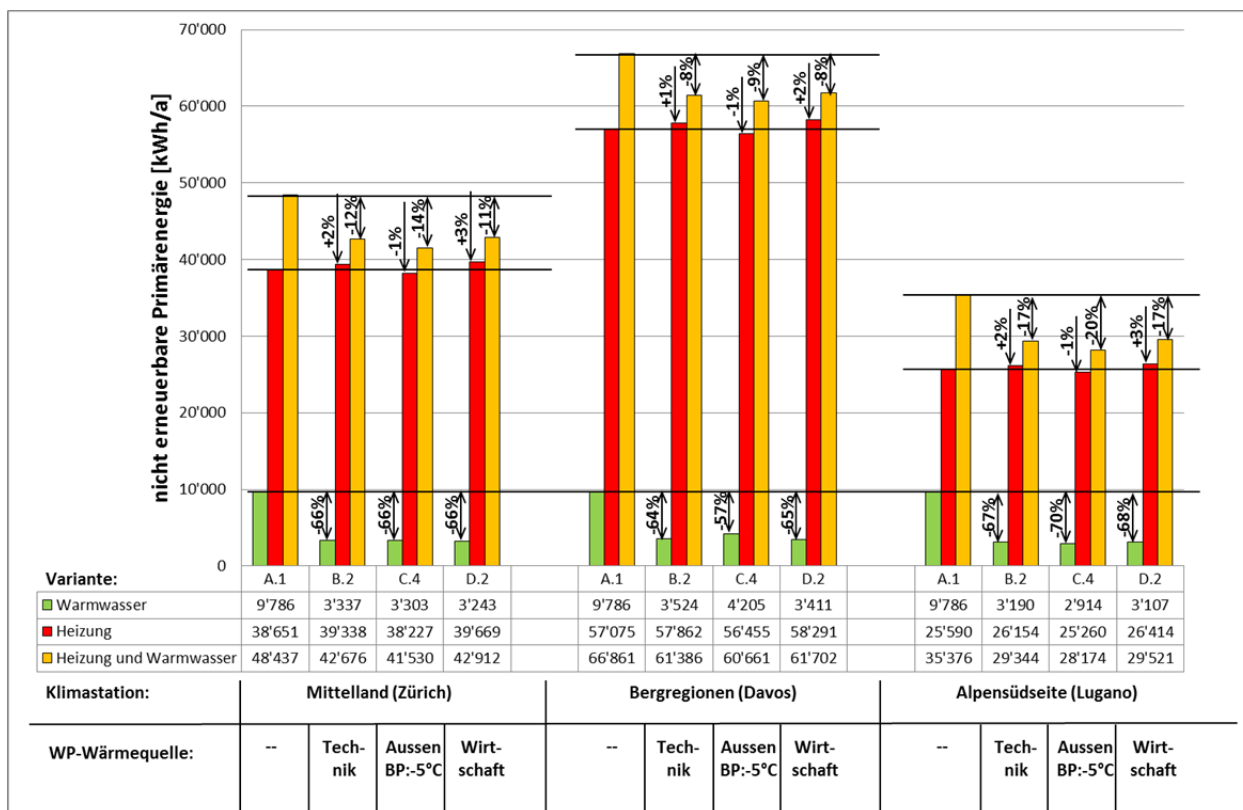


Abbildung 44:

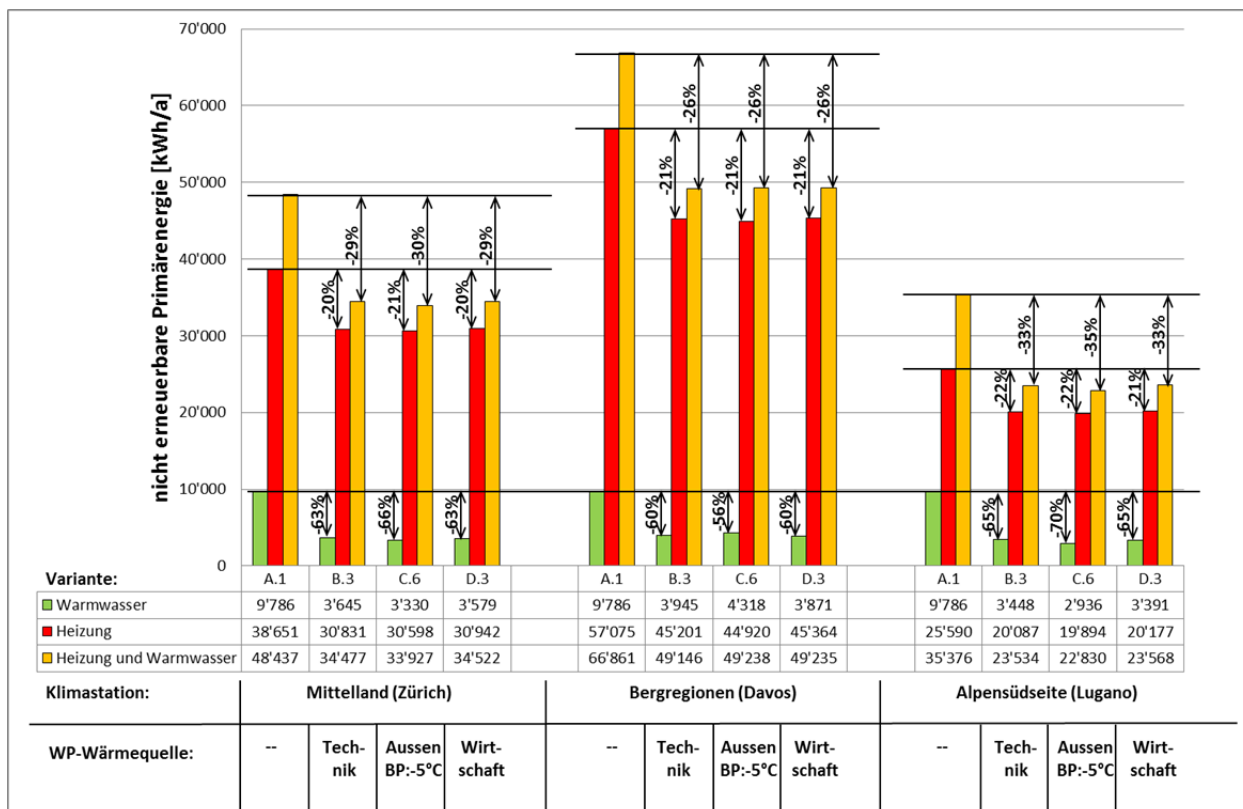
Zusammenfassung der WP-Wärmequellen mit ungedämmtem Kellergeschoss und Kippfenster geschlossen (Ausnahme: A.1)

Abbildung 45:

Zusammenfassung der WP-Wärmequellen mit gedämmtem Kellergeschoss und Kippfenster geschlossen (Ausnahme: A.1)

4.4 Konklusion

- Bei den Wärmepumpentypen lassen sich mit einer Split-Anlage (resp. Kompaktanlagen), welche die Verdampfungsenergie aus der Aussenluft bezieht, die grössten Energieeinsparungen erzielen. Der nicht erneuerbare Primärenergieanteil für das Warmwasser kann mit einer WP-Wassererwärmung um zwei Drittel gesenkt werden. Da der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ einiges grösser ist als der Wärmebedarf für das Warmwasser $[Q_{ww}]$, lässt sich der nicht erneuerbare Primärenergieanteil für die Heizung und Warmwasser zusammen zwischen 7 und 20 % reduzieren. Die grösste Reduktion wird in Lugano (Alpensüdseite) mit einem Bivalenzpunkt von mindestens -5 °C erzielt. Dafür lassen sich bei dem Einsatz eines WP-Wassererwärmers die jährlichen Treibhausgasemissionen mit 500 kg $\text{CO}_2\text{-eq/a}$ eher geringfügig um 4% reduzieren.
- Wird die Kellerdecke nicht gedämmt, kann eine Kompaktanlage resp. Split-Anlage, welche die Verdampfungsenergie der Raumluft entzieht, eingesetzt werden. Dabei kann die Wärmepumpe durch den Wärmeeintrag der beheizten Geschosse profitieren. In diesem Fall steigt der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ um bis zu 4 % an. Trotzdem reduzieren sich die nicht erneuerbaren Primärenergien für Heizung und Warmwasser bei dieser Wärmequelle um 8 bis 17 %. Die grösste Einsparung erfolgt bei einem Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf $[Q_h]$. Die Reduktion der Treibhausgasemissionen wird durch den Mehraufwand der Öl-Heizung kompensiert.
- Kompaktanlagen (resp. Split-Anlagen) mit einer Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Wirtschaftsraum weisen ähnliche Reduktionen aus wie Kompaktanlagen, welche die Verdampfungsenergie aus dem Technikraum beziehen. Bei dieser Anlage wird die Raumlufttemperatur im Wirtschaftsraum um ca. 3 Kelvin reduziert. Je nach Luftfeuchtigkeit kann dabei der Wirtschaftsraum entfeuchtet werden und beim Verdampfer fällt Kondensat an. Weiter ist zu berücksichtigen, dass durch die Reduktion der Raumlufttemperatur der relative Feuchtegehalt im Raum ansteigen wird und dadurch bauphysikalische Schäden entstehen können. Diese Problematik wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht.
- Bei WP-Wassererwärmern mit einer Wärmequelle „Raumluft“ muss das Raumvolumen, bei dem die notwendige Energie für den Verdampfer entzogen wird, 20 m^3 betragen. Ansonsten läuft die Wärmepumpe mit einem schlechteren COP. Ein zu kleines Raumvolumen kann ebenfalls zu einer Raumauskühlung führen.
- Die Verbrennungsluft für die Öl-Feuerung sollte mit einem Lüftungskanal in die Verbrennungskammer geführt werden. Die Energiereduktion bei geführter Verbrennungsluft ist mit einem Prozent zwar gering, dafür herrschen während den kalten Tagen höhere Raumlufttemperaturen im Technikraum, wodurch der Heizwärmebedarf positiv beeinflusst wird.
- Die grösste Energie- und Treibhausgasreduktion kann mit der Dämmung der Kellerdecke erreicht werden. Dabei verkleinert man die Transmissionswärmeverlust $[Q_T]$ vom beheizten zum unbeheizten Geschoss massiv. Das Reduktionspotenzial liegt bei 17 %. Ebenfalls werden durch diese Massnahme die jährlichen Treibhausgasemissionen zwischen 1'300 und 3'000 kg $\text{CO}_2\text{-eq/a}$ reduziert; diese CO_2 -Reduktionen entsprechen 10'000 bis 23'000 PKW-km. Die grösste Reduktion ist bei Gebäuden mit grösserem Heizwärmebedarf $[Q_h]$ wie in Davos (Bergregionen) erkennbar. Da bei der gedämmten Kellerdecke der Wärmeeintrag vom beheizten zum unbeheizten Geschoss stark gesenkt wird, fehlt für eine Wärmepumpe mit der Wärmequelle „Raumluft“ der Energieinhalt der Raumluft für einen effizienten Betrieb. Deshalb ist bei einer gedämmten Kellerdecke vorzugsweise eine WP-Anlage mit der Wärmequelle „Aussenluft“ einzusetzen.
- Je kleiner der Heizwärmebedarf $[Q_h]$ ist, desto grösser ist die Energieeinsparung mit einem WP-Wassererwärmer. Die grösste Energieeinsparung ist in Lugano (Alpensüdseite) möglich, jedoch dicht gefolgt von Zürich (Mittelland) und Davos (Bergregion). Bei den Treibhausgasemissionen sieht dies anders aus. Werden die Transmissionswärmeverluste durch das Dämmen der Kellerdecke reduziert, kann in Davos die grösste Reduktion der Treibhausgase erreicht werden.

Symbolzeichen

Symbole

λ	Wärmeleitfähigkeit [W/m·K]
COP	Leistungszahl [-]
T_{aussen}	Aussentemperatur [°C]
E_h	Endenergiebedarf für Heizung [kWh/a]
E_{ww}	Endenergiebedarf für Warmwasser [kWh/a]
E_{hww}	Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser [kWh/a]
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² ·K]
c_p	Spezifische Wärmekapazität [J/kg·K]
R_{se}	Wärmeübergangswiderstand gegen aussen [m ² ·K/W]
R_{si}	Wärmeübergangswiderstand gegen innen [m ² ·K/W]
h_i	Wärmeüberganskoeffizient Innen [W/m ² K]
h_e	Wärmeüberganskoeffizient Aussen [W/m ² K]
g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad [-]
τ_{solar}	Direkteinstrahlungstransmission [-]
n_L	Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle [h ⁻¹]

Wärmeübergangskoeffizienten

Indices

WP	Wärmepumpe
UG	Untergeschoss
EG	Erdgeschoss
OG	Obergeschoss
EFH	Einfamilienhaus
OK	Oberkannte
BW	Brauchwarmwasser
Mo	Montag
Mi	Mittwoch
Fr	Freitag

Referenzen

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 1991, 385/3
Warmwasserversorgungen für Trinkwasser in Gebäuden, Norm Ausgabe 1991, Zürich

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, 2006, Merkblatt 2024
Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie und Gebäudetechnik, Merkblatt Ausgabe 2006, Zürich

von Euw, Alimpic, Hildebrand, 2012, Gebäudetechnik – Systeme integral planen, Faktor Verlag AG, Zürich

Internet: www.topten.ch

KBOB, eco-bau und IPB, „Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1“, Stand Juli 2012

ANHANG

A.1 Gebäudetyp: „besserem U-Wert“ / Einfluss der unterschiedlichen Wärmequellen

In diesem Kapitel wird der Einfluss der unterschiedlichen Wärmequellen der WP-Wassererwärmern (dito Kapitel 3.1) des Gebäudetyps EFH mit „besserem U-Wert“ dargestellt.

A.1.1 Basisvariante A.1

Basisvariante A.1: ungedämmte Kellerdecke	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert						
Raumheizung	19'636	24'545	0.80	0.0%	30'190	0.0%
Warmwasser	2'995	3'721	0.80	0.0%	9'786	0.0%
Raumheizung und Warmwasser	22'631	28'266	0.80	0.0%	39'977	0.0%

Tabelle 53:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ der Basisvariante A.1

A.1.2 Variante B: Kompaktanlage mit der Wärmequelle „Raumlufte“ aus dem Technikraum

Variante B.1: Verbrennungsluft zum Heizkessel via Kippfenster

Variante B.1:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert						
Raumheizung	20'175	25'219	0.80	3%	31'019	3%
Warmwasser	2'995	1'268	2.36	-66%	3'335	-66%
Raumheizung und Warmwasser	23'170	26'487	0.87	-6%	34'354	-14%

Tabelle 54:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ der Variante B.1

A.1.3 Variante C: Split-Anlage mit der Wärmequelle „Aussenluft“

Variante C.1: Bivalenzpunkt bei 6°C

Variante C.1:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert						
Raumheizung	19'620	24'525	0.80	0%	30'166	0%
Warmwasser	2'995	2'112	1.42	-43%	5'555	-43%
Raumheizung und Warmwasser	22'615	26'637	0.85	-6%	35'721	-11%

Tabelle 55:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ für die Variante C.1

Variante C.2: Bivalenzpunkt bei -5°C

Variante C.2:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert						
Raumheizung	19'601	24'501	0.80	0%	30'137	0%
Warmwasser	2'995	1'263	2.37	-66%	3'322	-66%
Raumheizung und Warmwasser	22'596	25'764	0.88	-9%	33'458	-16%

Tabelle 56:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ für die Variante C.2

A.1.4 Variante D: Split-Anlage mit der Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Wirtschaftsraum

Variante D.1: Verbrennungsluft zum Heizkessel via Kippfenster

Variante D.1:	Nutzenergie [kWh/a]	Endenergie [kWh/a]	Wirkungsgrad/ JAZ [--]	Abweichung zur Basisvariante, Endenergie	Primärenergie nicht erneuerbar [kWh/a]	Abweichung zur Basisvariante, Primärenergie
Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert						
Raumheizung	20'499	25'624	0.80	4%	31'517	4%
Warmwasser	2'995	1'248	2.40	-66%	3'282	-66%
Raumheizung und Warmwasser	23'494	26'872	0.87	-5%	34'799	-13%

Tabelle 57:

Jahreswärmebedarf für Heizung und Warmwasser des Gebäudetyps „besserer U-Wert“ für die Variante D.1

A.2 Gebäudetyp: „besserem U-Wert“ / Einfluss der Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels

Wie in Kapitel 3.2 wird hier der Einfluss der Verbrennungsluft des Oel-Heizkessels des Gebäudetyps EFH mit „besserem U-Wert“ näher untersucht.

A 2.1 Basisvarianten

Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad	Primärenergie	Abweichung	Treibhausgas-	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	nicht erneuerbar [kWh/a]	Fenster offen / Fenster zu	emissionen [t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Basisvariante A.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	9	8
Raumheizung	19'636	24'545	0.80	30'190	0%	7.3			
Warmwasser	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	22'631	28'266	0.80	39'977	0%	7.9			
Basisvariante A.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							11	9	8
Raumheizung	19'399	24'249	0.80	29'826	-1%	7.2			
Warmwasser	2'995	3'721	0.80	9'786	0%	0.6			
Raumheizung und Warmwasser	22'394	27'970	0.80	39'612	-1%	7.8			

Tabelle 58:

Vergleich der Basisvarianten A.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und A.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

A 2.2 Variante B: Kompaktanlage mit der Wärmequelle „Raumluft“ aus dem Technikraum

Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. UG-Räume
							[°C]	[°C]	[°C]
Variante B.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							2	9	8
Raumheizung	20'175	25'219	0.80	31'019	0%	7.5			
Warmwasser	2'995	1'268	2.36	3'335	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	23'170	26'487	0.87	34'354	0%	7.7			
Variante B.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							3	9	8
Raumheizung	20'064	25'080	0.80	30'848	-1%	7.5			
Warmwasser	2'995	1'270	2.36	3'340	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	23'059	26'350	0.88	34'189	0%	7.7			

Tabelle 59:

Vergleich B.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und B.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

A 2.3 Variante C: Split-Anlage mit der Wärmequelle „Aussenluft“

Bivalenzpunkt bei 6 °C

Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante C.1: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	9	8
Raumheizung	19'620	24'525	0.80	30'166	0%	7.3			
Warmwasser	2'995	2'112	1.42	5'555	0%	0.3			
Raumheizung und Warmwasser	22'615	26'637	0.85	35'721	0%	7.6			
Variante C.3: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel							11	9	8
Raumheizung	19'383	24'229	0.80	29'801	-1%	7.2			
Warmwasser	2'995	2'094	1.43	5'507	-1%	0.3			
Raumheizung und Warmwasser	22'378	26'323	0.85	35'309	-1%	7.5			

Tabelle 60:

Vergleich C.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und C.3 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

Bivalenzpunkt bei -5 °C

Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert									
	Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
	[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum [°C]	Wirtschaftsraum [°C]	restl. UG-Räume [°C]
Variante C.2: Verbrennungsluft via Kippfenster							8	9	8
Raumheizung	1'9601	24'501	0.80	30'137	0%	7.3			
Warmwasser	2'995	1'263	2.37	3'322	0%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	22'596	25'764	0.88	33'458	0%	7.5			
Variante C.4: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel									
Raumheizung	19'359	24'199	0.80	29'764	-1%	7.2	11	9	8
Warmwasser	2'995	1'256	2.38	3'303	-1%	0.2			
Raumheizung und Warmwasser	22'354	25'455	0.88	33'068	-1%	7.4			

Tabelle 61:

Vergleich C.2 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und C.4 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

A 2.4 Variante D: Split-Anlage mit der Wärmequelle „Raumlufte“ aus dem Wirtschaftsraum

Zürich (SMA), schwere Bauweise und verbesserter U-Wert										
		Nutzenergie	Endenergie	Wirkungsgrad/ JAZ	Primärenergie nicht erneuerbar	Abweichung Fenster offen / Fenster zu	Treibhausgas- emissionen	kleinst errechnete Raumlufttemperatur		
		[kWh/a]	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]		[t/a]	Technikraum	Wirtschaftsraum	restl. UG-Räume
								[°C]	[°C]	[°C]
Variante D.1: Verbrennungsluft via Kippfenster								8	2	8
Raumheizung	20'499	25'624	0.80	31'517	0%	7.6				
Warmwasser	2'995	1'248	2.40	3'282	0%	0.2				
Raumheizung und Warmwasser	23'494	26'872	0.87	34'799	0%	7.8				
Variante D.2: mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel								11	2	8
Raumheizung	20'276	25'345	0.80	31'174	-1%	7.5				
Warmwasser	2'995	1'233	2.43	3'243	-1%	0.2				
Raumheizung und Warmwasser	23'271	26'578	0.88	34'417	-1%	7.7				

Tabelle 62:

Vergleich D.1 „Verbrennungsluft via Kippfenster“ und D.2 „mit geführter Verbrennungsluft zum Heizkessel“

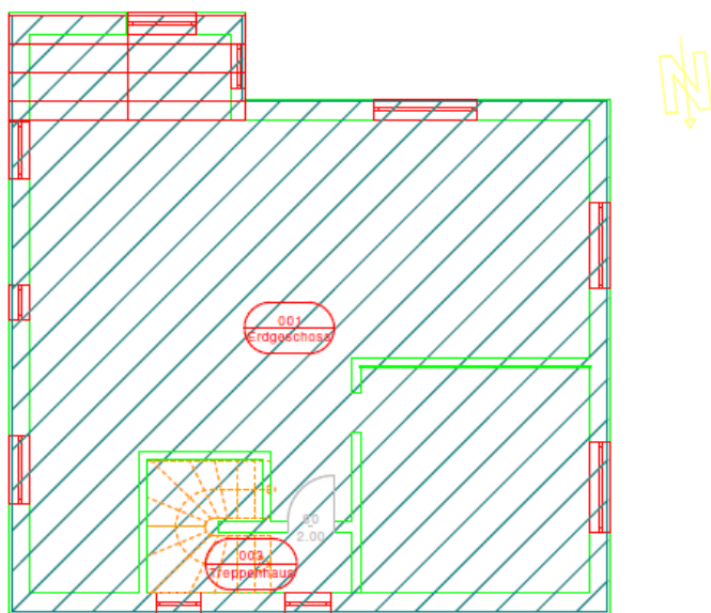


Abbildung 47:
Grundriss Erdgeschoss

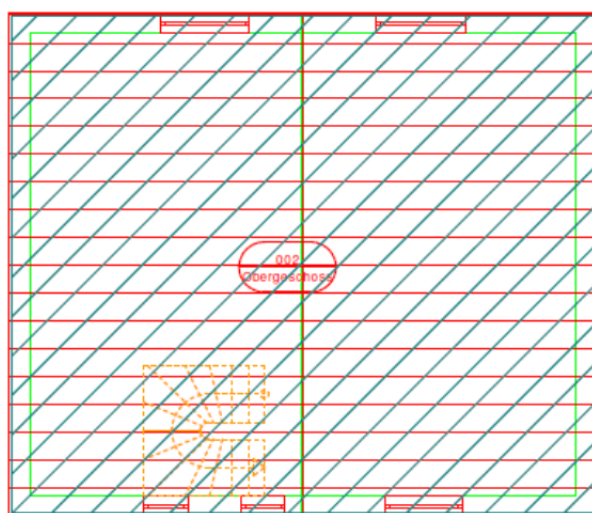


Abbildung 48:
Grundriss Obergeschoss

A 3.3 Gebäude und Zonen

Das Gebäude wird in die folgenden fünf Zonen eingeteilt. Die Flächen sind als Innenmasse angegeben.

Zone 1 UG: Keller Technik, unbeheizt, Basisvariante 8 m²; Varianten 4, 12, 16 m²

(mit Heizkessel und Warmwasseraufbereitung)

Zone 2 UG: Wirtschaftsraum unbeheizt 8 m²

Zone 3 UG: Keller unbeheizt, Basisvariante 81 m²; Varianten 85, 77, 73 m²; (Restliche Räume im UG)

Zone 4 EG: Wohnen EG beheizt, 99 m²

Zone 5 OG: Wohnen OG beheizt, 93 m²

Die Grundlagen für die Nutzung der Zonen werden aus der SIA 2024 entnommen.

Berechnung der Energiebezugsfläche

EBF nach SIA 461/1:

UG: 0 m²

EG: 99.5 m²

OG: 94.1 m²

Total: 193.6 m²

Wärmeerzeugung

Für die Heizung wird ein Standard Oel-Heizkessel (nichtkondensierend) mit 25 kW Leistung eingesetzt.

Das Brauchwarmwasser wird in der Basisvariante mit einem direkt-elektrischen Wassererwärmer in der Technikzentrale im Kellergeschoss erwärmt.

A 3.4 Gebäudehülle

Das Untergeschoss steht auf allen Seiten 1.5 Meter im Erdreich. (OK Bodenplatte)

Für die Berechnung des statischen U-Wertes wird mit $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und $R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ gerechnet. Dies entspricht $h_i = 7.7$ und $h_e = 25$.

Aussenwand Untergeschoss

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen. Dieser Aufbau gilt für sämtliche berechnete Varianten.

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Thermische Dämmung	0.04	30	1'030	0.0
Beton	2.5	2'400	1'000	0.2
Summe				0.25
U-Wert	W/m²K			3.7

Aussenwand Obergeschoss

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Variante „schlechter U-Wert“

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Putz	0.8	1'800	790	0.0015
Modulbackstein	0.44	1'100	940	0.15
Dämmung Isover BPM	0.04	30	1'030	0.04
Modulbackstein	0.44	1'100	940	0.12
Putz	0.8	1'800	790	0.0015
Summe				0.313
U-Wert	W/m²K			0.56

Variante „besserer U-Wert“

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Putz	0.8	1'800	790	0.0015
Modulbackstein	0.44	1'100	940	0.15
Dämmung Isover BPM	0.04	30	1'030	0.12
Modulbackstein	0.44	1'100	940	0.12
Putz	0.8	1'800	790	0.0015
Summe				0.373
U-Wert	W/m²K			0.30

Dach

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

a) Schlechter U-Wert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Holzfaserplatte	0.18	800	1'700	0.06
Hartschaumplatte (Dämmung)	0.04	25	1'450	0.06
Ziegel	0.58	1'500	840	0.04
Summe				0.16
U-Wert	W/m²K			0.48

b) Besserer U-Wert

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Holzfaserplatte	0.18	800	1'700	0.06
Hartschaumplatte (Dämmung)	0.04	25	1'450	0.12
Ziegel	0.58	1'500	840	0.04
Summe				0.22
U-Wert	W/m²K			0.28

Innenwände Keller

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Bachstein	0.24	860	1'000	0.25
Summe				0.25
U-Wert	W/m²K			0.83

Zwischendecke (OG zu EG)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Teppich	0.18	1'100	920	0.01
Leichtbeton	0.15	500	1'050	0.02
Beton	2.5	2'400	1'000	0.25
Flumroc-Dämmplatte	0.035	90	1030	0
Summe				0.28
U-Wert	W/m²K			2.18

Boden EG (gegen unbeheizt)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

a) Kellerdecke nicht gedämmt

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Teppich	0.18	1'100	920	0.01
Leichtbeton	0.15	500	1'050	0.02
Beton	2.5	2'400	1'000	0.25
Flumroc-Dämmplatte	0.035	90	1030	0
Summe				0.28
U-Wert	W/m²K			2.18

b) Kellerdecke gedämmt

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Teppich	0.18	1'100	920	0.01
Leichtbeton	0.15	500	1'050	0.02
Beton	2.5	2'400	1'000	0.25
Flumroc-Dämmplatte	0.035	90	1030	0.1
Summe				0.38
U-Wert	W/m²K			0.30

Boden UG (gegen Erdreich)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten.

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Schwere Dämmung	0.052	92	982	0.0
Beton	1.7	2'300	880	0.2
Summe				0.2
U-Wert	W/m²K			3.47

Aussentüren

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten.

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Spanplatte	0.19	900	1'700	0.05
Summe				0.05
U-Wert	W/m²K			2.3

Fenster

Die angenommen bestehenden Fenster bestehen aus einer Zweifachverglasung.

Bezeichnung	Wert	Einheit
U-Wert Glas	2.9	W/(m ² K)
U-Wert Rahmen	3.0	W/(m ² K)
Rahmenanteil	25	%
g-Wert	0.76	-
τ –solar	0.7	-

Kellerfenster:

Das Kellerfenster im Technikraum wird mit der Grösse 20 x 60 cm angenommen.

Bei den Varianten mit geöffnetem Kellerfenster wird es zu 100 % geöffnet.

Sonnenschutz

Es wird ohne äussere Beschattung wie Storen oder Rollläden gerechnet.

Externe Verschattung: Keine

Wärmebrücken

Es wird in allen Varianten mit den unten aufgeführten Wärmebrücken gerechnet.

Aussenwand – Geschossdecke	0.07 W/(m ² K)
Aussenwand – Innenwand	0.15 W/(m ² K)
Aussenwand – Aussenwand	0.07 W/(m ² K)
Leibung Fenster	0.09 W/(m ² K)
Anschluss Balkon	- W/(m ² K)

A 3.5 Systeme und Nutzungen

Systeme

System Basisvariante

Ölkessel

Leistung:	25 kW
Wärmeverlust Betrieb:	0.5 % (Abwärme in den Raum)
Wärmeverlust Standby:	60 W (Abwärme in den Raum in der Heizperiode 15.9. bis 15.5)
Systemtemperaturen:	60/50 °C (Bei Auslegung)
Nutzungsgrad:	0.8
Grundverbrauch Kessel:	0
Wärmeabgabe in Zonen:	Radiatoren
Verlust im Verteilsystem:	5 % davon 50 % Nutzbar in den Zonen

Elektro-Wassererwärmer

Wasserinhalt:	300 Liter
Warmwasser-Sollwert	55 °C (viele WP-Wassererwärmer sind auf 55°C eingestellt)
Dimensionen	Höhe 1.6 m, Durchmesser 0.5m (ohne Dämmung)
Leistung Elektroersatz:	4 kW
Nutzungsgrad:	1
U-Wert Speicher:	0.45 W/m ² K
Wärmeverlust Anschlüsse:	0.5 W/K

WP-Wassererwärmer

Modell:	Ähnlich dem Modell Kibernetik WPLW-KIB-BW-300L aus topten.ch
Wasserinhalt:	300 Liter
Warmwasser-Sollwert	55 °C (viele WP-Wassererwärmer sind auf 55°C eingestellt)
Dimensionen	Höhe 1.6 m, Durchmesser 0.5m (ohne Dämmung)
Heizleistung:	3.1 kW bei A15W55
Leistungsaufnahme Verdichter:	640 W
Leistungszahl:	2.9
Leistung Ventilator:	39 W
U-Wert Speicher:	0.45 W/m ² K
Wärmeverlust Anschlüsse:	0.5 W/K

Warmwasserbedarf

Wasserbedarf pro Person:	40 Liter (mittlerer Standard nach SIA 385-3)
Anzahl Personen:	4
Warmwassertemperatur:	55 °C für alle Varianten WP und Elektro (Norm ist 60°C)
Warmwasserprofil:	Gemäss Wohnbauten aus VSSH Handbuch 5, Trinkwasser, Blatt Nr. 2.2.8; 2.2.9 (unterschieden für: Mo-Do, Fr, Sa, So)

Regelung

Temperaturregelung in jeder einzelnen Zone mit Thermostatventilen (P-Regler)

Nutzungen

Die Daten zu den Nutzungen sind gemäss SIA MB 2024 festgelegt.

Nutzung Wohnen**Personen**

Belegung:	50 m ² /Person (0.02 P/m ²)
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo
Fahrplan:	siehe Kapitel A 3.7

Geräte

Leistung:	2.0 W/m ²
Langwelliger Strahlungsanteil:	20 %
Fahrplan:	siehe Kapitel A 3.7

Beleuchtung

Leistung	9.4 W/m ²
Lichtausbeute:	40 lm/W
Konvektiver Anteil:	30 %
Beleuchtungsstärke:	200 Lux
Fahrplan:	siehe Kapitel A 3.7

Nutzung Technik (im UG)**Personen**

Belegung:	0 m ² /Person
-----------	--------------------------

Geräte

Leistung Geräte:	gemäss Simulation (Berücksichtigt wird die Abwärme von Kessel, BW-Speicher und WP-Boiler)
Konvektiver Anteil:	100 %
Fahrplan:	gemäss Simulation

Beleuchtung

Leistung	0.0 W/m ²
Lichtausbeute:	35 lm/W
Konvektiver Anteil:	30 %
Beleuchtungsstärke:	100 Lux

Nutzung Wirtschaftsraum (im UG)**Personen**

Belegung: 0 m²/Person

Geräte

Tumbler Abwärme: 2240 W (Standard Kondensationstrockner ohne Wärmepumpe)
Dies entspricht einem ineffizientem Modell aus Topten.ch
Trocknungsdauer: 2 h
Häufigkeit Tumbler: 3 mal pro Woche (Mo, Mi, Fr; Quelle: VSE-Haushaltbefragung 2011)
Fahrplan: siehe Kapitel A 3.7
Waschmaschine Leistung: 0 W
Andere Geräte: 0 W
Konvektiver Anteil: 20 %

Beleuchtung

Leistung 0.0 W/m²
Lichtausbeute: 35 lm/W
Konvektiver Anteil: 30 %
Beleuchtungsstärke: 100 Lux

Nutzung Keller (im UG)**Personen**

Belegung: 0 m²/Person

Geräte

Leistung: 0.0 W/m²

Beleuchtung

Leistung 0.0 W/m²
Lichtausbeute: 35 lm/W
Konvektiver Anteil: 30 %
Beleuchtungsstärke: 100 Lux

A 3.6 Lüftungsanlage

Keine mechanische Belüftung

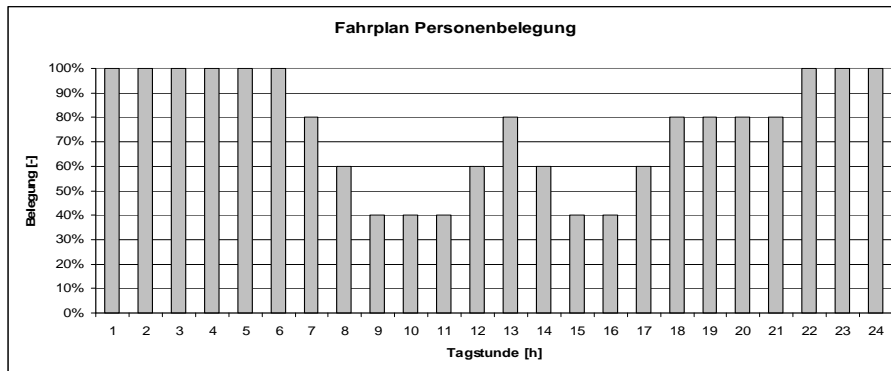
Natürliche Infiltration

n_L: 0.8 h⁻¹

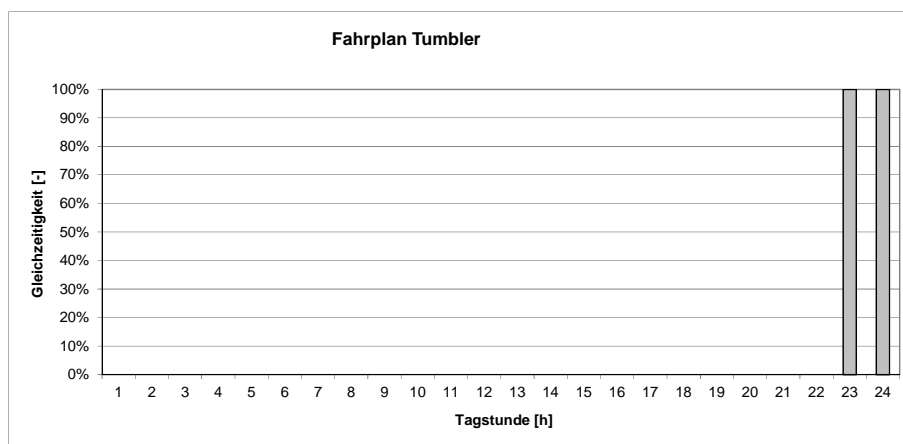
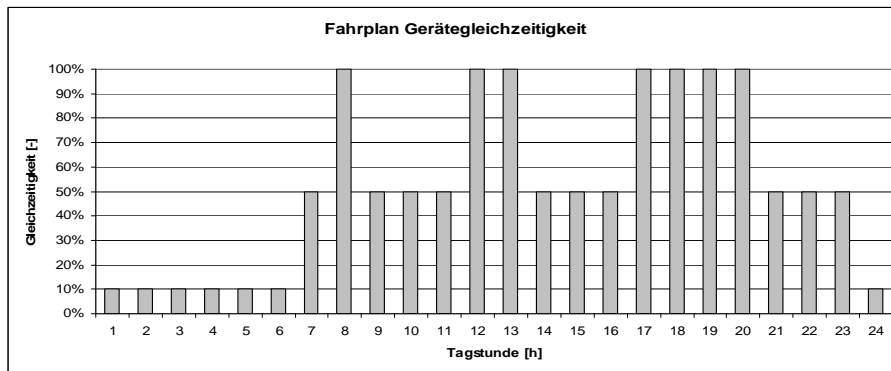
A 3.7 Fahrpläne

Nutzung Wohnen (Gemäss SIA 2024)

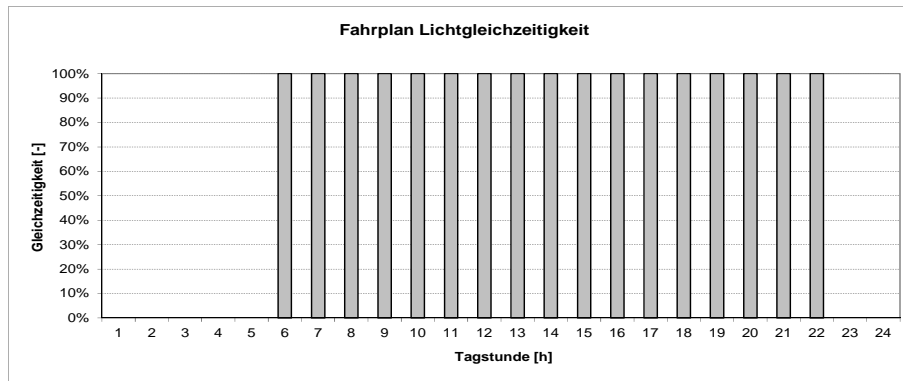
Personen



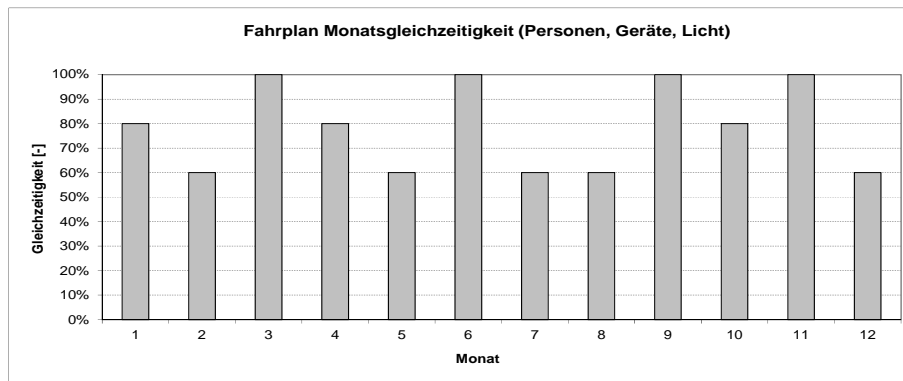
Geräte



Licht



Fahrplan Monatsgleichzeitigkeiten



EnergieSchweiz

Bundesamt für Energie BFE, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.energie-schweiz.ch