

Energieinstitut Vorarlberg

Monitoringbericht Low-Tech Gebäude

Pilotprojekt Stallumnutzung Bechter

Dornbirn, im September 2022

Inhaltsverzeichnis

1.	Beschreibung Pilotprojekt	3
2.	Zielsetzung des Monitorings	3
3.	Grundlegende Erläuterungen	4
4.	Monitoringsystem	4
5.	Effizienz Wärmepumpe	5
6.	Vergleich mit Simulation	7
7.	Energiebilanz Eisspeicher	10
8.	Temperatur- und Luftfeuchtemessung Wintergarten	12
9.	Messwerte 2022	13

1. Beschreibung Pilotprojekt

Beim Pilotprojekt Stallumnutzung Bechter handelt es sich ursprünglich um einen alten Kuhstall, der von Architekt Georg Bechter saniert und als Büro und Leuchtenmanufaktur adaptiert wurde. Das Gebäude wurde bis auf die Primärkonstruktion abgetragen, anschließend wurde der Holzbau mit regionalen und nachwachsenden Rohstoffen wie etwa Holz und Lehm neu verkleidet. Vor der Südfassade befindet sich ein Wintergarten, welcher von den Mitarbeitern als Aufenthalts- und Besprechungsraum sowie Kaffeeküche genutzt wird. Die Glaselemente des Wintergartens lassen sich in den Sommermonaten öffnen um eine Überhitzung zu vermeiden.

Das Kernelement des Energiekonzepts ist ein Eisspeicher, der in der ehemaligen Jauchegrube installiert wurde und mit Brunnenwasser gespeist wird. Eine Wärmepumpe nutzt den Eisspeicher um das Gebäude in den Wintermonaten zu beheizen und in den Sommermonaten mithilfe von passiver Kühlung über einen Wärmetauscher zu temperieren. Das Wärme- bzw. Kälteabgabesystem ist eine Fußbodenheizung bzw. -kühlung, welche in den Lehmstampfboden des Gebäudes eingelegt ist. Die notwendige Wärmeenergie für den Eisspeicher in den Wintermonaten liefert die oberflächennahe Geothermie und ein in die Südfassade integrierter thermischer Solarkollektor mit ca. 27 m² Bruttokollektorfläche. Auf dem Dach des Gebäudes befindet sich eine PV-Anlage.

Das Gebäude hat eine Energiebezugsfläche nach PHPP von 629 m²_{EBF} und eine Nettogrundfläche (Nutzfläche, Funktionsfläche und Verkehrsfläche) von 623 m²_{NGF}.

2. Zielsetzung des Monitorings

Im Rahmen des Monitorings wird der generelle Endenergiebedarf des Heiz- und Warmwassersystems in Monatswerten über 3 Jahre gemessen.

Das Monitoringsystem erfasst die Wärmeerträge der Solaranlage in den Puffer- und den Eisspeicher, der Wärmeentzug der Wärmepumpe aus dem Eisspeicher und die Wärmelieferung der WP an den Pufferspeicher. Des Weiteren wird der Stromverbrauch der gesamten Haustechnik, insbesondere der Wärmepumpe aufgezeichnet.

Im Fokus des Monitorings steht die Energiebilanz des Eisspeichers aus Wärmezufuhr durch die Solaranlage, das umliegende Erdreich und Kälteenergienutzung für die Kühlung des Gebäudes und die Wärmeentnahme durch die Wärmepumpe.

In der Planungsphase des Projekts wurde der südorientierte Wintergarten simulationstechnisch analysiert. Aus diesem Grund werden in Winter- und Sommerwochen mit der mobilen Messeinheit des EIVs im Wintergarten Temperatur und Luftfeuchte gemessen und Rückschlüsse auf die Funktionsfähigkeit des südorientierten Wintergartens zur Pausennutzung gezogen und Vergleiche mit der Simulation aufgestellt.

3. Grundlegende Erläuterungen

Messung: Die Werte in den gelb hinterlegten Bereichen sind Messwerte von 01.01.2021 bis 31.12.2021 (insgesamt 365 Tage).

Ableitung: Die Werte in den blau hinterlegten Bereichen sind abgeleitete Werte die aus den Messwerten berechnet sind. Die Berechnung ist für die einzelnen Werte jeweils beschrieben.

Prognose: Die Werte in den grün hinterlegten Bereichen sind prognostizierte Simulationswerte mit dem Simulationstool Polysun.

Im ersten Abschnitt werden die Messwerte aus dem Jahr 2021 analysiert. Im zweiten Abschnitt werden die Messwerte aus dem Jahr 2022 bis inklusive August mit den 2021er-Messwerten verglichen.

4. Monitoringsystem

Die folgende Abbildung 1 zeigt die Prinzipskizze des Haustechniksystems mit der Position der Wärmemengenzähler in Grün.

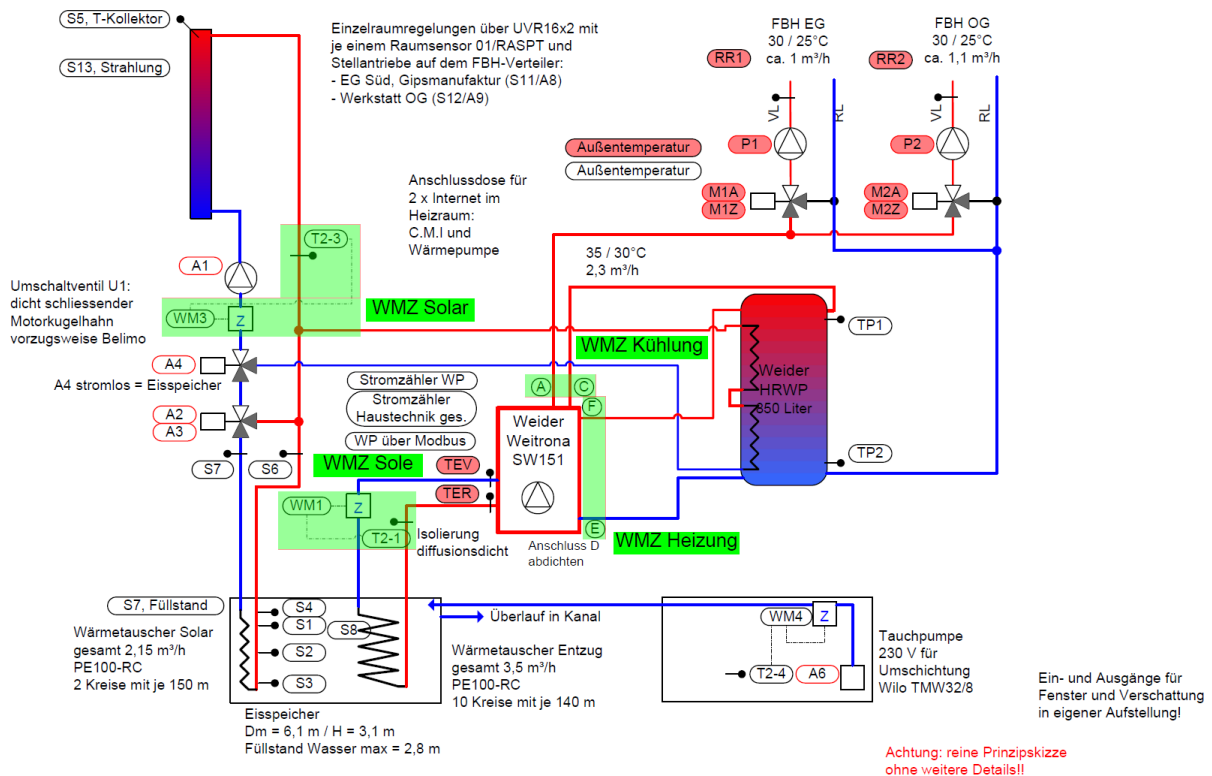


Abbildung 1: Prinzipskizze Haustechniksystem mit Wärmemengenzähler in Grün (Gerhard Ritter)

Folgende Wärmemengenzähler sind im Monitoringsystem enthalten.

- WMZ Solar: Solarthermische Energie an das System = Summe aus der Wärmemenge die direkt im Pufferspeicher genutzt werden kann und die Wärmemenge die in den Eisspeicher eingebracht wird. Die Eisspeicherladung war laut Gebäudetechnikplaner zwischen 29.3.2021 und 22.8.2021 abgeschaltet um die passive Kühlung in den Sommermonaten zu ermöglichen. Die Solarerträge von April bis August werden also direkt im Pufferspeicher genutzt.
- WMZ Sole: Aufgenommene Umweltwärme der Wärmepumpe aus dem Eisspeicher.
- WMZ Heizung: Erzeugte Wärmemenge der Wärmepumpe für Heizung.
- WMZ Kühlung: Passive Kühlenergie aus dem Eisspeicher über integrierten Wärmetauscher in Wärmepumpe.

Zusätzlich werden folgende Stromverbräuche im Monitoringsystem erfasst.

- Strom WP: Stromverbrauch der Wärmepumpe für Heizung.
- Hilfsstrom: Stromverbrauch der Nebenaggregate (verschiedene Pumpen)

Im Eisspeicher befinden sich zwei Temperaturfühler, deren Messwerte ebenfalls im Monitoringsystem aufgezeichnet werden.

- T unten: Temperatur in der unteren Hälfte des Eisspeichers
- T oben: Temperatur in der oberen Hälfte des Eisspeichers

Aufgrund des niedrigen Warmwasserwärmebedarfs durch Büronutzung erfolgt die Warmwasserbereitung über dezentrale Kleinboiler, deren Stromverbrauch nicht separat erfasst ist.

5. Effizienz Wärmepumpe

Die folgende Tabelle 1 zeigt die gemessene Energiebilanz der Wärmepumpe (WMZ Sole, WMZ Heizung, Strom WP) als Monatswerte des Jahres 2021. Die Summe aus WMZ Sole und Strom WP sollte eigentlich dem Wert von WMZ Heizung entsprechen. Die Summe (9.730 kWh + 2.771 kWh = 12.501 kWh) ist jedoch um ca. 22% niedriger (12.501 kWh im Vergleich zu 16.110 kWh). Das deutet darauf hin, dass beim WMZ Sole eine zu niedrige spezifische Wärmekapazität für das Frostschutz-Wasser-Gemisch hinterlegt ist und der Wärmemengenzähler deshalb einen zu geringen Wert erfasst.

Der Jänner- und Februar-Wert von WMZ Heizung (in Tabelle Blau hinterlegt) wurde nicht erfasst. Aus der Monatssumme von WMZ Sole und Strom WP und der oben beschriebenen Abweichung der restlichen Messwerte lassen sich die beiden Werte abschätzen.

Monate	WMZ Sole	WMZ Heizung	Strom WP
Jänner	2.515	4.258	823
Februar	1.030	1.742	336
März	1.268	2.233	399
April	354	626	114
Mai	143	274	63
Juni	0	0	0
Juli	0	0	0
August	104	237	20
September	159	137	30
Oktober	458	879	83
November	1.652	2.391	361
Dezember	2.047	3.332	543
Jahr	9.730	16.110	2.771

Tabelle 1: Energiebilanz Wärmepumpe in kWh

Die folgende Tabelle 2 zeigt quartalsweise und jährlich die aus dem Wärmemengenzähler „WMZ Heizung“ und dem Stromzähler „Strom WP“ abgeleiteten Arbeitszahlen der Wärmepumpe.

Quartal	WMZ Heizung	Strom WP	Arbeitszahl WP
Jänner – März	8.233	1.558	5,3
April – Juni	900	176	5,1
Juli – September	374	50	7,5
Oktober - Dezember	6.602	987	6,7
Jahr	16.110	2.771	5,8

Tabelle 2: Arbeitszahl Wärmepumpe

Die abgeleiteten Quartalsarbeitszahlen passen gut mit der, im Datenblatt der Wärmepumpe (Weitrona SW151 von Wieder Wärmepumpen) angegebenen, Leistungszahl von 5,0 für den Betriebspunkt B0W35 zusammen. Beispielsweise liegt die mittlere Eisspeichertemperatur im 1. Quartal zwischen ca. 0,35 und 2,55 °C (siehe Abbildung 3). Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe im Heizbetrieb ist in der Prinzipskizze in Abbildung 1 mit 35 °C angegeben. Die abgeleitete Arbeitszahl von 5,3 im 1. Quartal ist somit plausibel.

6. Vergleich mit Simulation

Die folgende Abbildung 2 zeigt das Simulationsmodell mit Polysun mit welchem die Verbrauchsprognose durchgeführt wurde.

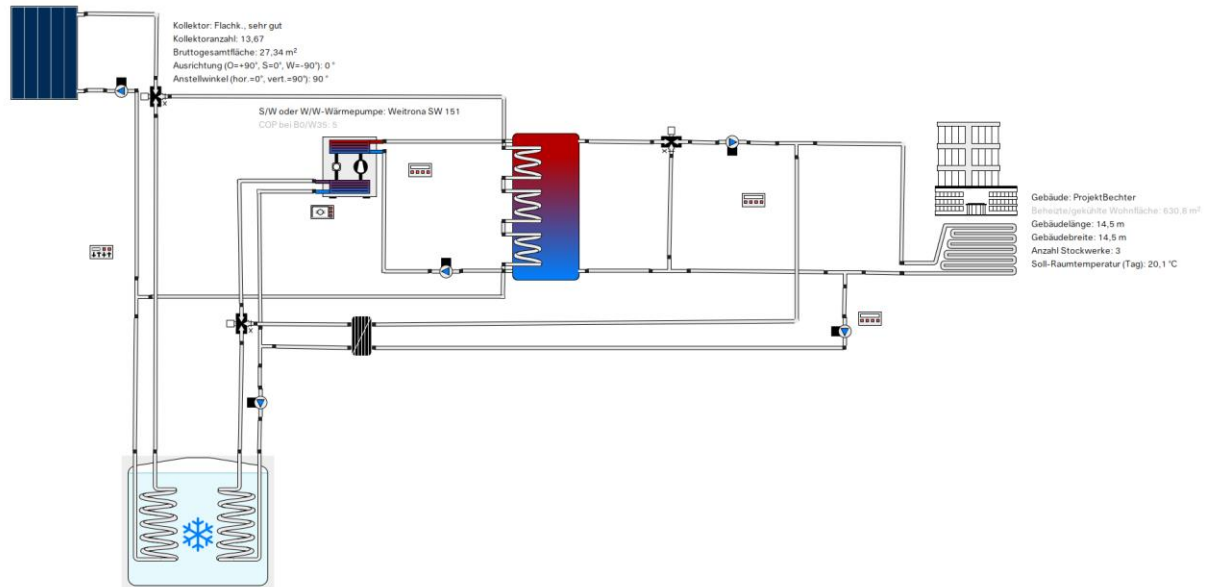


Abbildung 2: Simulationsmodell mit Polysun

Das Gebäudemodell wurde mithilfe einer PHPP-Berechnung justiert. Die PHPP-Berechnung ergibt für den Standort in Hittisau bei einer mittleren Raumtemperatur über das gesamte Gebäude von knapp über 20 °C (EG 18 °C, Werkstatt 20 °C und Büro 22 °C) einen Heizwärmebedarf von ca. 20.180 kWh bzw. 32 kWh/(m²_{EBFa}) bezogen auf die Energiebezugsfläche von 629 m²_{EBF}.

Die folgende Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigt den direkten Vergleich der Mess- und Simulationsergebnisse.

Monate	WMZ Solar	WMZ Sole	WMZ Heizung	WMZ Kühlung	Strom WP
Jänner	961	2.515	4.258	NV	823
Februar	2.065	1.030	1.742	NV	336
März	1.918	1.268	2.233	NV	399
April	361	354	626	NV	114
Mai	289	143	274	NV	63
Juni	88	0	0	NV	0
Juli	0	0	0	NV	0
August	179	104	237	363	20
September	1.231	159	137	65	30
Oktober	1.741	458	879	10	83
November	897	1.652	2.391	15	361
Dezember	1.118	2.047	3.332	23	543
Jahr	10.848	9.730	16.110	476	2.771

Tabelle 3: Messwerte der Wärmemengen- und Stromzähler in kWh

Monate	Solarertrag	WP Quelle	WP Senke	Kühlung	Strom WP
Jänner	1.123	3.350	4.216	0	866
Februar	1.270	2.421	3.054	0	633
März	1.649	1.609	2.031	0	421
April	468	539	680	0	141
Mai	145	0	0	0	0
Juni	154	0	0	446	0
Juli	158	0	0	936	0
August	230	0	0	736	0
September	1.331	0	0	127	0
Oktober	1.286	491	577	0	86
November	1.036	2.227	2.693	0	466
Dezember	938	3.233	4.039	0	805
Jahr	9.788	13.872	17.289	2.245	3.418

Tabelle 4: Simulationsergebnisse in kWh

Folgende Unterschiede ergibt sich bei den Werten.

- WMZ Solar zu Solarertrag: Der simulierte Solarertrag ist um ca. 10% niedriger als der Messwert (WMZ Solar).
- WMZ Sole zu WP Quelle: Die aufgenommene Wärmeenergie der Wärmepumpe ist in der Simulation (WP Quelle) um ca. 43% höher als der Messwert (WMZ Sole). Das liegt wahrscheinlich an der fehlerhaften Wärmemengenerfassung durch eine zu niedrig hinterlegte, spezifische Wärmekapazität des Frostschutz-Wasser-Gemisches.
- WMZ Heizung zu WP Senke: Die abgegebene Wärmeenergie der Wärmepumpe ist in der Simulation (WP Senke) um ca. 7% höher als der Messwert (WMZ Heizung).
- WMZ Kühlung zu Kühlung: Ein Gesamtvergleich ist für das Jahr 2021 nicht möglich, da für Jänner bis Juli keine Werte vorliegen (NV = nicht verfügbar). In den restlichen Monaten wird der Nutzkältebedarf in der Simulation überschätzt.
- Strom WP: Der Stromverbrauch ist in der Simulation um ca. 23% höher als Messwert. Das liegt zum einen an der höheren abgegebenen Wärmeenergie der Wärmepumpe als auch der niedrigeren Eisspeichertemperatur im 1. und 2. Quartal in der Simulation (siehe Vergleich in Abbildung 4).

Die folgende Tabelle 5 zeigt welcher Anteil des Solarertrags in der Simulation direkt im Pufferspeicher und welcher für die Regeneration des Eisspeichers genutzt werden kann.

Monate	Solarertrag	Pufferspeicher	Eisspeicher	Anteil Puffer
Jänner	1.123	510	613	45,4%
Februar	1.270	489	781	38,5%
März	1.649	511	1.138	31,0%
April	468	468	0	100%
Mai	145	145	0	100%
Juni	154	154	0	100%
Juli	158	158	0	100%
August	230	230	0	100%
September	1.331	148	1.183	11,1%
Oktober	1.286	188	1.098	14,6%
November	1.036	459	577	44,3%
Dezember	938	508	430	54,2%
Jahr	9.788	3.970	5.818	40,6%

Tabelle 5: Simulationsergebnisse Solarertrag für Puffer- und Eisspeicher in kWh

Mithilfe dieser Anteile lässt sich diese Aufteilung auch für die gemessenen Solarerträge abschätzen, wie in Tabelle 6 ersichtlich. Aus den abgeschätzten, direkt genutzten Solarerträgen (Pufferspeicher) und der erzeugten Wärmemenge der Wärmepumpe für Heizung (WMZ Heizung) lässt sich der Heizwärmeverbrauch des Gebäudes abschätzen.

Monate	WMZ Solar	Pufferspeicher	Eisspeicher	WMZ Heizung	Heizwärme
Jänner	961	436	525	4.258	4.694
Februar	2.065	795	1.270	1.742	2.537
März	1.918	594	1.324	2.233	2.827
April	361	361	0	626	987
Mai	289	289	0	274	563
Juni	88	88	0	0	88
Juli	0	0	0	0	0
August	179	179	0	237	416
September	1.231	137	1.094	137	274
Oktober	1.741	254	1.487	879	1.133
November	897	397	500	2.391	2.788
Dezember	1.118	606	512	3.332	3.938
Jahr	10.848	4.136	6.712	16.110	20.246

Tabelle 6: Aufteilung des Solarertrags und Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs in kWh

Dieser Heizwärmeverbrauch passt sehr gut mit dem prognostizierten Heizwärmebedarf der PHPP-Berechnung von ca. 20.180 kWh überein.

7. Energiebilanz Eisspeicher

Die folgende Abbildung 3 zeigt den Jahresverlauf der Eisspeichertemperatur im unteren (T unten) und oberen Bereich (T oben). Es ist eindeutig ersichtlich in welchen Monaten dem Eisspeicher durch Solarerträge und passive Kühlung mehr Wärme zugeführt als entnommen wird und die Temperaturen deutlich ansteigen (Mai bis September).

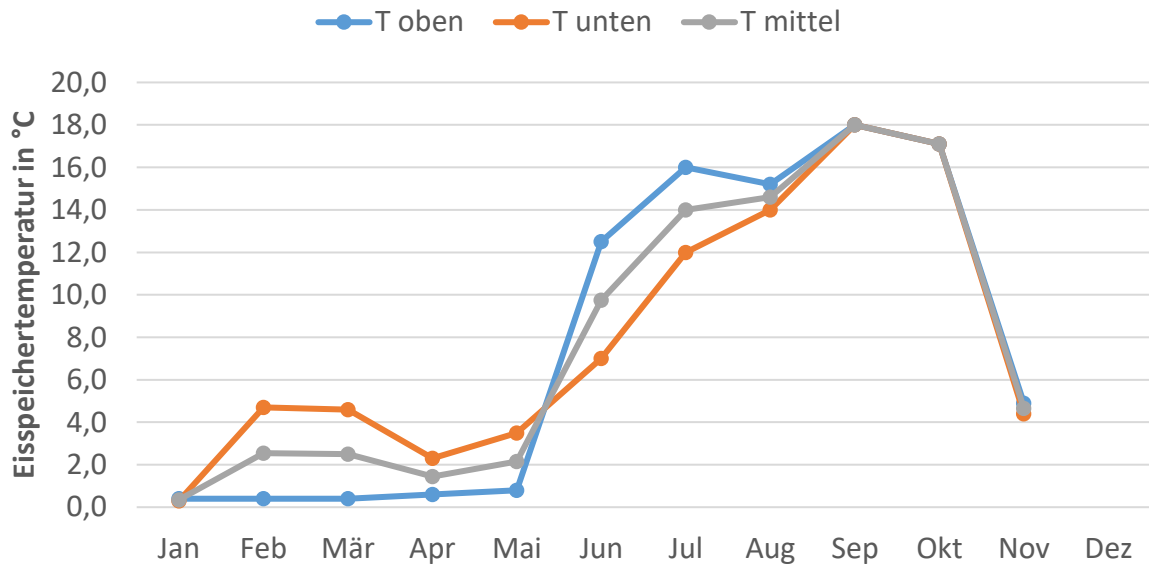


Abbildung 3: Eisspeichertemperatur in °C

Die folgende Abbildung 4 zeigt den direkten Vergleich der mittleren Eisspeichertemperatur (T mittel) gemessen und laut Simulation (T mittel Simulation).

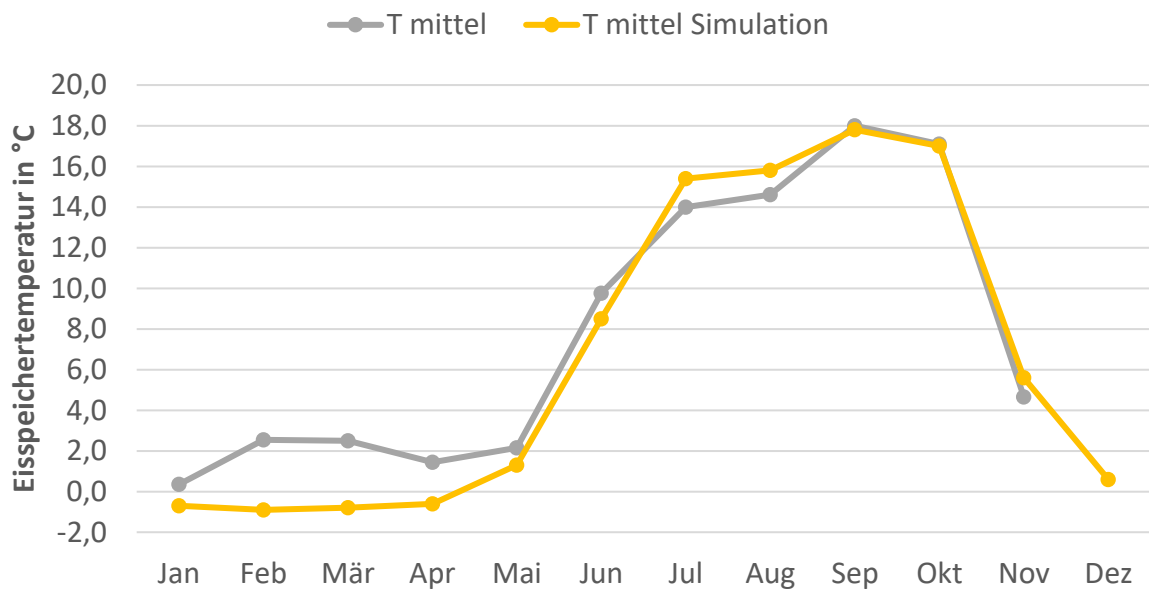


Abbildung 4: Vergleich mittlere Speichertemperatur Messung und Simulation in °C

Aus den bisherigen Auswertungen lassen sich folgende Wärmeinputs und Wärmeoutputs des Eisspeichers ableiten, welche in Tabelle 7 aufgeführt sind. Ein

positiver Wert bedeutet, dass dem Eisspeicher Wärme zugeführt wird. Ein negativer Wert bedeutet, dass aus dem Eisspeicher Wärme abgeführt wird.

- Solar: abgeschätzten Solarerträge an den Eisspeicher aus Tabelle 6
- WP Quelle: Wärmeentnahme durch die Wärmepumpe als Differenz zwischen WMZ Heizung und Strom WP aus Tabelle 3
- Kühlung: Nutzkältebedarf des Gebäudes WMZ Kühlung aus Tabelle 3

Die Wärmebilanz des Eisspeichers lässt sich aus der Änderung der mittleren Eisspeichertemperaturen zwischen den Monaten ableiten. Der Eisspeicher hat mit einem Durchmesser von 6,1 m und einer Wasserfüllstandhöhe von 2,8 m eine Wassermasse von 81,8 t. Die mittlere Temperatur des Eisspeichers liegt immer im positiven Bereich, weshalb vereinfacht die spezifische Wärmekapazität von Wasser für die Abschätzung der Wärmebilanz verwendet werden kann. Im Jänner und Dezember kann die Wärmebilanz des Eisspeichers nicht ermittelt werden, da sowohl für Dezember 2020 und Dezember 2021 keine Temperaturmessdaten vorliegen (NV = nicht verfügbar).

Monate	Erdreich	Solar	WP Quelle	Kühlung	Bilanz
Jänner	+ NV	+ 525	- 3.435	NV	NV
Februar	+ 345	+ 1.270	- 1.406	NV	+ 209
März	+ 505	+ 1.324	- 1.834	NV	- 5
April	+ 412	0	- 512	NV	- 100
Mai	+ 278	0	- 211	NV	+ 67
Juni	- NV	0	0	NV	+ 722
Juli	- NV	0	0	NV	+ 404
August	- 89	0	- 217	+ 363	+ 57
September	- 729	+ 1.094	- 107	+ 65	+ 323
Oktober	- 787	+ 1.487	- 796	+ 10	- 86
November	+ 332	+ 500	- 2.030	+ 15	- 1.183
Dezember	+ NV	+ 512	- 2.789	+ 23	NV

Tabelle 7: Eisspeicherbilanz in kWh

Die folgende Abbildung 5 zeigt die mittlere Eisspeichertemperatur im Vergleich zur mittleren Grundwassertemperatur an der Messstation in Egg (T GW) sowie die mittlere Erdreichtemperatur laut Simulation (T Erde Simulation).

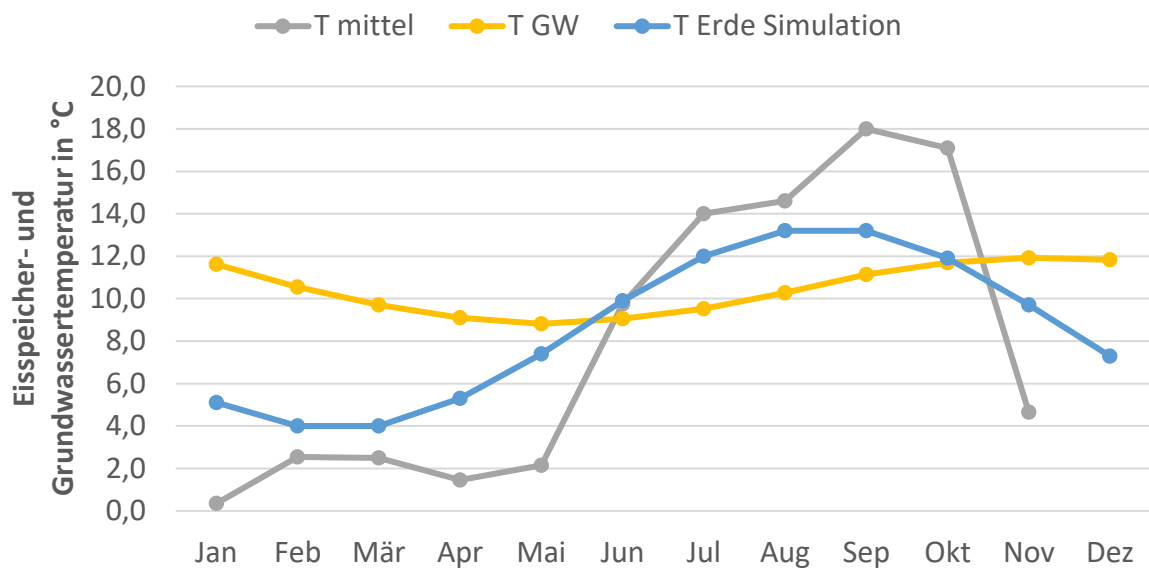


Abbildung 5: Vergleich Eispeicher- und Grundwassertemperatur (Wasser Online Vorarlberg, Station Egg 30.1.06, Daten 2021) sowie mittlere Erdreichtemperatur laut Simulation in °C

Daraus lässt sich abschätzen in welchen Monaten der Eispeicher Wärme aus dem umliegenden Erdreich aufnimmt und in welchen er Wärme abgibt, wie in der Tabelle 7 in Spalte „Erdreich“ dargestellt. Aus der Wärmebilanz des Eispeichers und den Wärmeinputs und Wärmeoutputs lässt sich Wärmeentnahme aus dem Erdreich und die Wärmeabgabe an das Erdreich abschätzen. In den Monaten Jänner und Dezember ist das jedoch nicht möglich, da in diesen Monaten keine Abschätzung der Eispeicherbilanz möglich ist.

Für die Monate Jänner bis Mai wird angenommen, dass das Gebäude keinen Nutzkältebedarf hat, da in diesen Monaten keine Messwerte vom WMZ Kühlung vorliegen. In den Monaten Juni und Juli sollte der Nutzkältebedarf des Gebäudes jedoch größer sein als die abgeschätzte Eispeicherwärmebilanz in diesen Monaten, da die Temperatur im Eispeicher zunimmt, keine Solarerträge in den Eispeicher eingebracht werden und das umliegende Erdreich laut Abschätzung kühler sein sollte als die Temperatur im Eispeicher.

8. Temperatur- und Luftfeuchtemessung Wintergarten

Derzeit wurde noch keine Temperatur- und Luftfeuchtemessung des Wintergartens durchgeführt. Die Messung ist für die kommende Heizperiode geplant.

9. Messwerte 2022

Die folgende Abbildung 6 zeigt den Endenergieverbrauch für Heizung (Strom WP) und Hilfsstrom für das Jahr 2021 und 2022 jeweils bezogen auf die Nettogrundfläche von 623 m²_{NGF}.

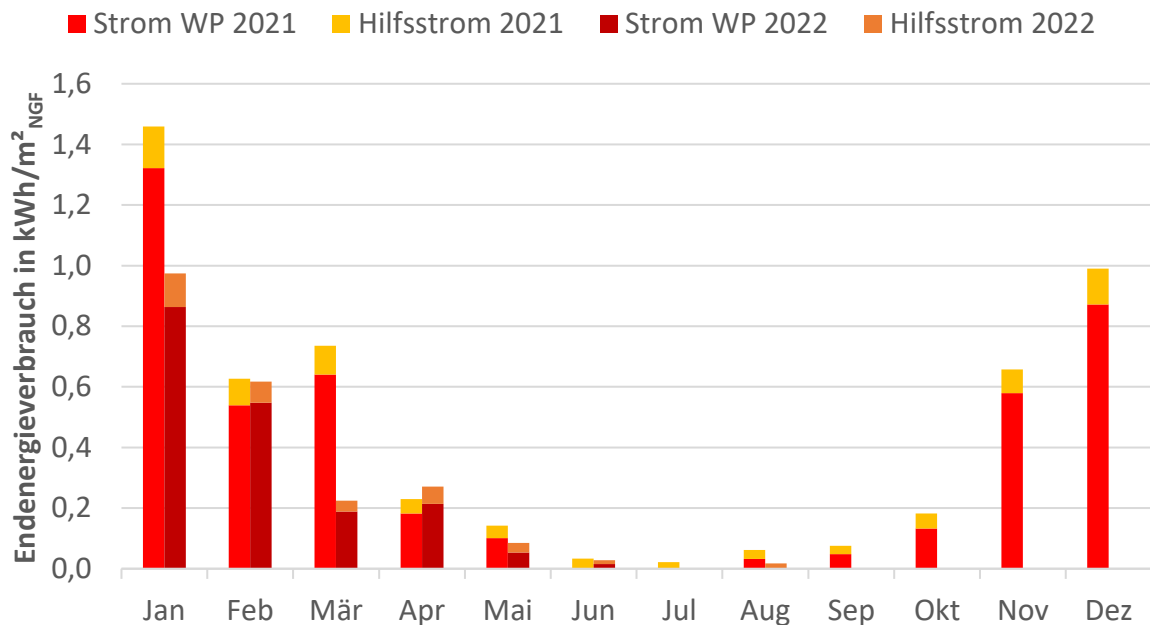


Abbildung 6: Vergleich Endenergieverbrauch Heizung und Hilfsstrom 2021 und 2022 in kWh/m²_{NGF}

Der direkte Vergleich zeigt, dass der Endenergieverbrauch für Heizung im Jahr 2022, insbesondere im Jänner und März, deutlich geringer ausfällt als im Jahr 2021. Die Reduktion lässt sich durch eine um mehr als 2 K höhere Monatsmitteltemperatur an der Messstation in Sulzberg sowohl im Jänner als auch im Februar erklären, wie in Abbildung 7 dargestellt. Im Jänner lässt sich die Reduktion zusätzlich durch den höheren Solarertrag erklären, wie in Abbildung 8 ersichtlich.

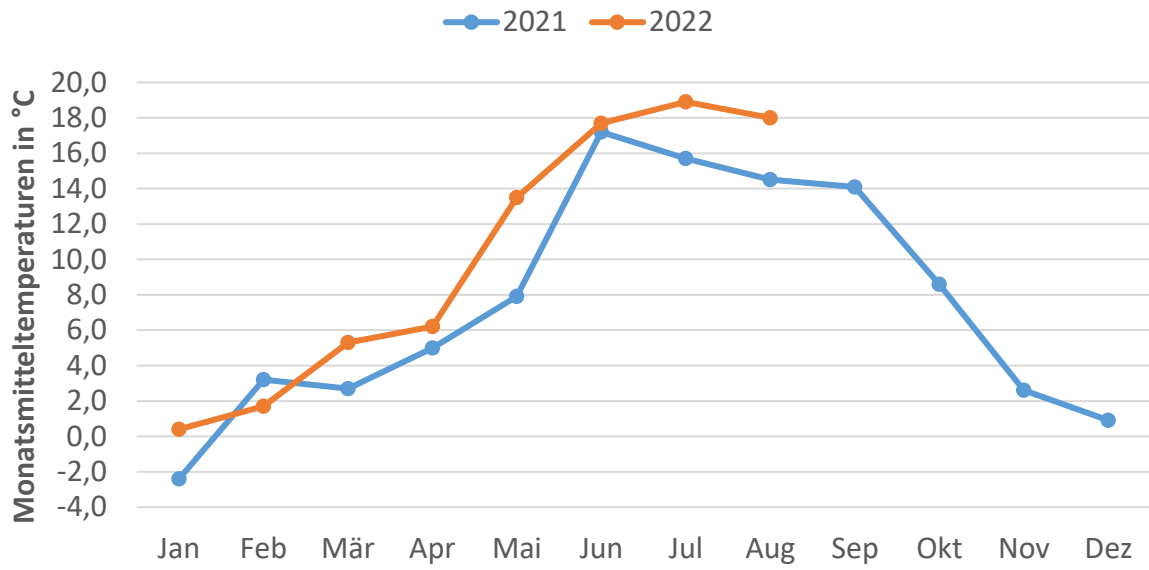


Abbildung 7: Vergleich Monatsmitteltemperaturen 2021 und 2022 (ZAMG Data Hub, Station Sulzberg)

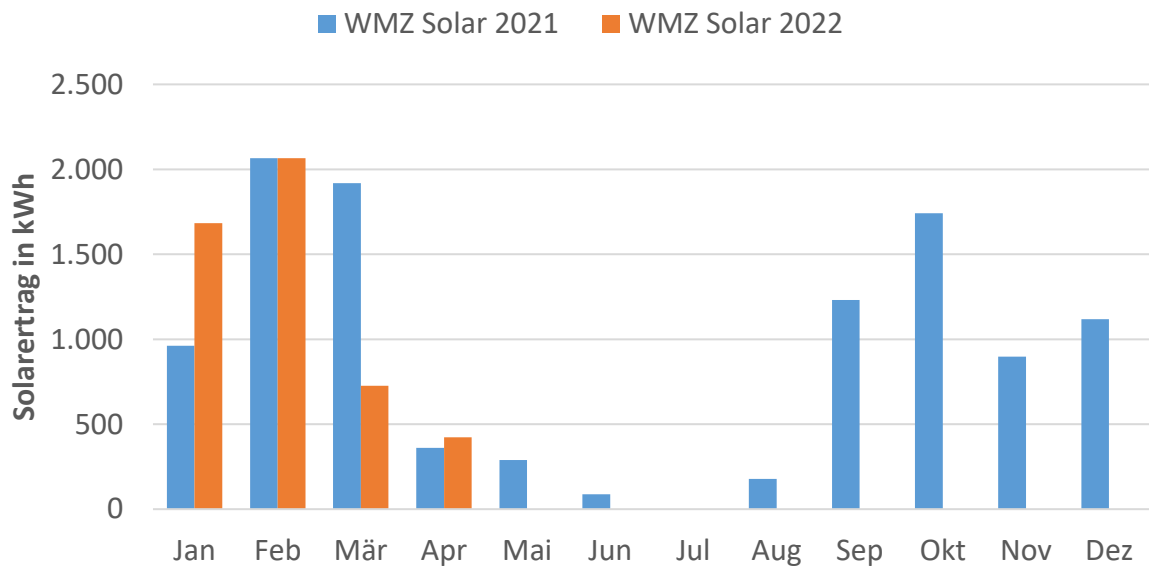


Abbildung 8: Vergleich Solarertrag 2021 und 2022 in kWh

Impressum

Herausgeber: Energieinstitut Vorarlberg, 6850 Dornbirn, www.energieinstitut.at

Verfasser: Thomas Roßkopf-Nachbaur

Erscheinungsdatum: 30.09.2022