

Energieinstitut Vorarlberg

Monitoringbericht Low-Tech Gebäude

Pilotprojekt Stallumnutzung Bechter

Dornbirn, 12. Dezember 2024

Inhaltsverzeichnis

1.	Beschreibung Pilotprojekt	3
2.	Zielsetzung des Monitorings	3
3.	Grundlegende Erläuterungen	4
4.	Monitoringsystem	4
5.	Effizienz Wärmepumpe	6
6.	Vergleich mit Simulation	9
7.	Energiebilanz Eisspeicher	15
8.	Temperatur- und Luftfeuchtemessung Wintergarten	20
9.	Monatliche Auswertung	24
10.	Quellen	26

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 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 [1] von:

- 2021: 01.01.2021 bis 31.12.2021 (insgesamt 365 Tage)
- 2022: 01.01.2022 bis 31.12.2022 (insgesamt 365 Tage)
- 2023: 01.01.2023 bis 31.12.2023 (insgesamt 365 Tage)
- 2024
 - Messung 01.01.2024 bis 31.08.2024 (insgesamt 244 Tage)
 - Messung 01.09.2024 bis 30.11.2024 (insgesamt 91 Tage) nicht repräsentativ, da Betriebsgebäude aktuell um einen Zubau erweitert wird und das Ausheizen des Estrichs im Zubau hohe Verbräuche verursacht.
 - **Keine** Abschätzung für 01.12.2024 bis 31.12.2024 (insgesamt 31 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.

Es werden die Messwerte aus dem Jahr 2021, 2022, 2023 und 2024 analysiert. Im Jahr 2024 werden nur die Monate Jänner bis August analysiert, da in den darauffolgenden Monaten aufgrund der Objekterweiterung und die dadurch erhöhten Verbräuche keine Aussage zur Effizienz gemacht werden können. Die Verbräuche von Dezember 2024 werden im Gegensatz zu den Monitoringberichten der Vorjahre nicht abgeschätzt.

4. Monitoringsystem

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

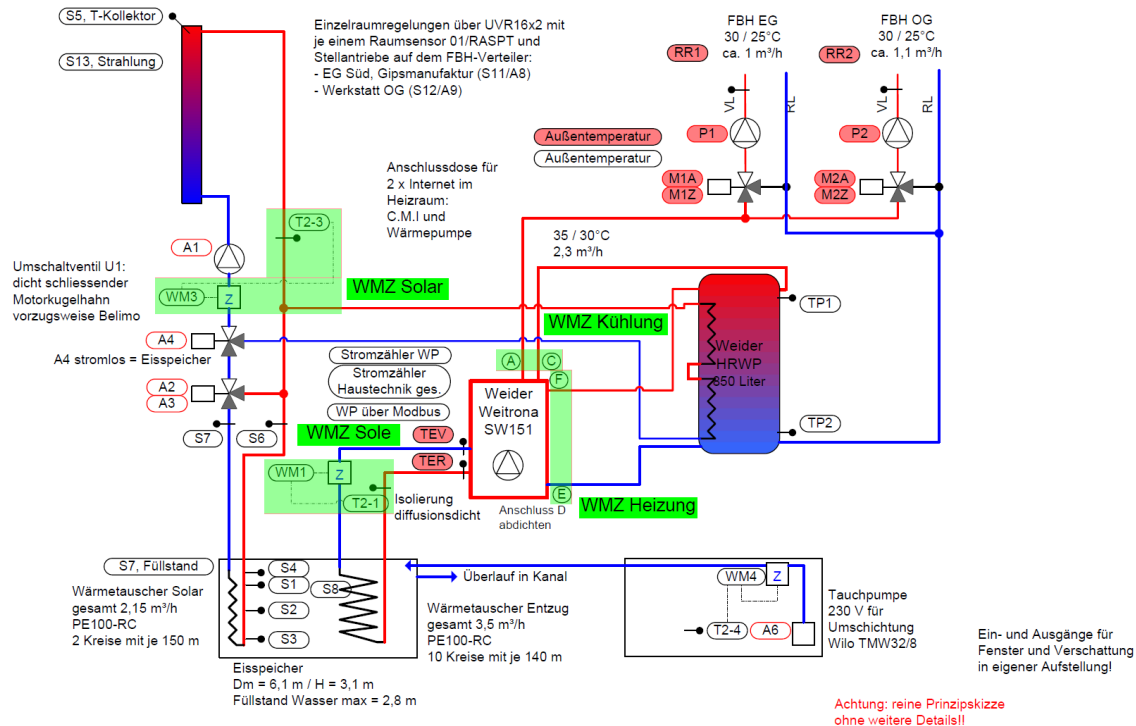


Abbildung 1: Prinzipskizze Haustechniksystem mit Wärmemengenzähler in Grün [2]

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, Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigt die gemessene Energiebilanz der Wärmepumpe (WMZ Sole, WMZ Heizung, Strom WP) als Monatswerte des Jahres 2021, 2022, 2023 und 2024. Die Summe aus WMZ Sole und Strom WP sollte eigentlich dem Wert von WMZ Heizung entsprechen. Die Summe (9.730 kWh + 2.770 kWh = 12.500 kWh) ist im Jahr 2021 jedoch um ca. 21% niedriger (12.500 kWh im Vergleich zu 15.912 kWh). Dasselbe gilt für die Jahre 2022, 2023 und 2024. 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 im Jahr 2021 von WMZ Heizung (in Tabelle 1 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.

Wie in Tabelle 4 ersichtlich, sind die gemessenen Wärme- und Strommengen im September, Oktober und November 2024 wesentlich höher als in den Jahren 2021, 2022 und 2023. Das Betriebsgebäude wird aktuell um einen Zubau erweitert und die hohen Verbräuche werden durch das Ausheizen des Estrichs im Zubau verursacht. Da dadurch keine Aussage zur Effizienz des bisherigen Betriebsgebäudes gemacht werden kann, werden im Jahr 2024 nur die Verbräuche der Monate Jänner bis August analysiert. Die gemessenen Werte der Monate September, Oktober und November sind in Rot dargestellt. Die Erfassung der Wärmemengenzähler war aufgrund des Umbaus im Oktober und November auch nicht möglich. Die Verbräuche von Dezember 2024 werden im Gegensatz zu den Monitoringberichten der Vorjahre nicht abgeschätzt. Dasselbe gilt für die Jahressummen. Die fehlenden Daten werden mit NV = nicht verfügbar gekennzeichnet.

Monate	WMZ Sole	WMZ Heizung	Strom WP
Jänner	2.515	4.397	823
Februar	1.030	1.799	336
März	1.268	2.233	399
April	354	626	114
Mai	143	274	62
Juni	0	0	0
Juli	0	0	0
August	104	237	20
September	159	137	30
Oktober	458	799	83
November	1.652	2385	361
Dezember	2.047	3025	543
Jahr	9.730	15.912	2.770

Tabelle 1: Energiebilanz Wärmepumpe in kWh - Jahr 2021

Monate	WMZ Sole	WMZ Heizung	Strom WP
Jänner	2.000	4.114	538
Februar	1.252	1.937	341
März	421	649	117,2
April	493	751	133
Mai	173	187	33
Juni	40	37	9
Juli	0	0	0
August	0	0	0
September	393	541	77
Oktober	111	254	22
November	1091	1.536	228
Dezember	1921	2.858	506
Jahr	7.895	12.864	2.004

Tabelle 2: Energiebilanz Wärmepumpe in kWh - Jahr 2022

Monate	WMZ Sole	WMZ Heizung	Strom WP
Jänner	2199	3.360	614
Februar	1339	2.054	379
März	859	254	234
April	438	1.082	115
Mai	239	152	62
Juni	20	37	5
Juli	-44	115	18
August	195	116	14
September	47	70	9
Oktober	237	358	44
November	1.409	2.251	298
Dezember	1.822	3.083	464
Jahr	8.760	12.931	2.254

Tabelle 3: Energiebilanz Wärmepumpe in kWh - Jahr 2023

Monate	WMZ Sole	WMZ Heizung	Strom WP
Jänner	1.978	3.403	526
Februar	1.057	1.790	279
März	848	1.442	228
April	513	879	138
Mai	12	19	3
Juni	134	212	34
Juli	117	200	35
August	0	0	0
September	2384	4.626	825
Oktober	NV	NV	633
November	NV	NV	635
Dezember	NV	NV	NV
Jahr	NV	NV	NV

Tabelle 4: Energiebilanz Wärmepumpe in kWh - Jahr 2024

Die folgende Tabelle 5, Tabelle 6, Tabelle 7 und Tabelle 8 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	8.429	1.558	5,4
April - Juni	900	176	5,1
Juli - September	374	50	7,5
Oktober - Dezember	6.609	987	6,3
Jahr	15.912	2.771	5,7

Tabelle 5: Arbeitszahl Wärmepumpe - Jahr 2021

Quartal	WMZ Heizung	Strom WP	Arbeitszahl WP
Jänner - März	6.700	996	6,7
April - Juni	975	175	5,6
Juli - September	541	77	7,0
Oktober - Dezember	4.648	756	6,1
Jahr	12.864	2.004	6,4

Tabelle 6: Arbeitszahl Wärmepumpe - Jahr 2022

Quartal	WMZ Heizung	Strom WP	Arbeitszahl WP
Jänner - März	5.668	1.227	4,6
April - Juni	1.271	181	7,0
Juli - September	300	41	7,4
Oktober - Dezember	5.692	806	7,1
Jahr	12.931	2.254	5,7

Tabelle 7: Arbeitszahl Wärmepumpe - Jahr 2023

Quartal	WMZ Heizung	Strom WP	Arbeitszahl WP
Jänner - März	6.635	1.032	6,4
April - Juni	1.110	174	6,4
Juli - September	4.826	861	5,6
Oktober - Dezember	NV	NV	NV
Jahr	NV	NV	NV

Tabelle 8: Arbeitszahl Wärmepumpe - Jahr 2024

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 2021 zwischen ca. 0,35 und 2,55 °C und im 1. Quartal 2023 zwischen ca. 0,6 und 1,4 °C (siehe Abbildung 4). Von Dezember 2021 bis April 2022 wurden keine Temperaturen aufgezeichnet. Die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe im Heizbetrieb ist in der Prinzipskizze in Abbildung 1 mit 35 °C angegeben. Die abgeleitete Arbeitszahl von 5,4 im 1. Quartal 2021 ist somit plausibel.

6. Vergleich mit Simulation

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

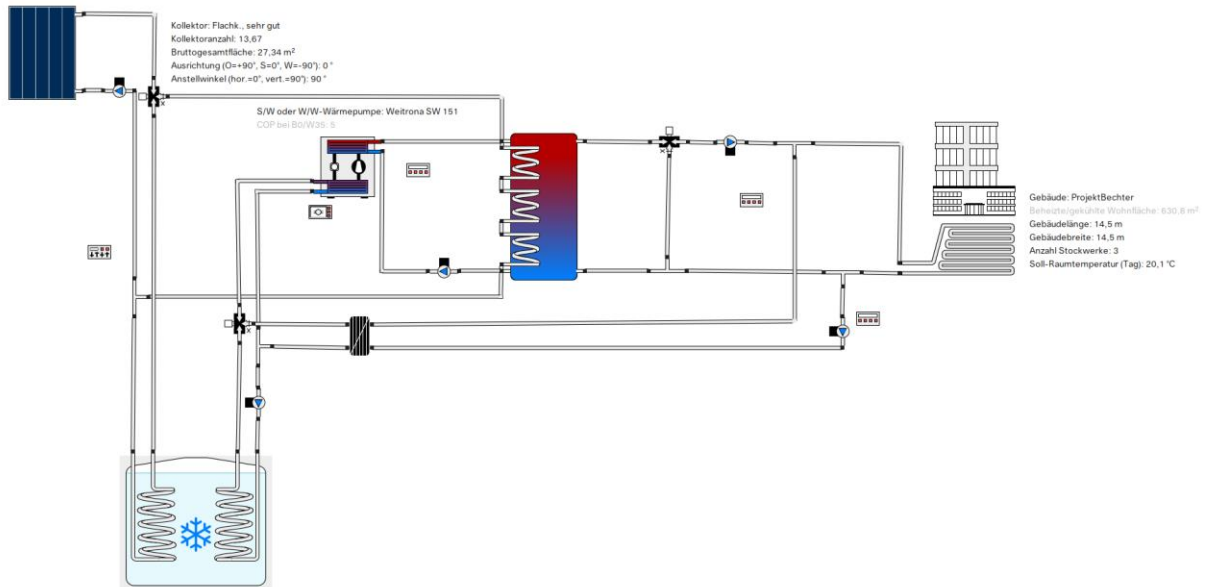


Abbildung 2: Simulationsmodell mit Polysun

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 9, Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12 zeigt die Messwerte von 2021, 2022, 2023 und 2024 im direkten Vergleich zu den Simulationsergebnissen in Tabelle 13.

Monate	WMZ Solar	WMZ Sole	WMZ Heizung	WMZ Kühlung	Strom WP
Jänner	961	2.515	4.397	NV	823
Februar	2.065	1.030	1.799	NV	336
März	1.918	1.268	2.233	NV	399
April	361	354	626	NV	114
Mai	289	143	274	NV	62
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	799	10	83
November	897	1.652	2385	15	361
Dezember	1.118	2.047	3025	23	543
Jahr	10.848	9.730	15.912	476	2.770

Tabelle 9: Messwerte der Wärmemengen- und Stromzähler in kWh - Jahr 2021

Monate	WMZ Solar	WMZ Sole	WMZ Heizung	WMZ Kühlung	Strom WP
Jänner	1.683	2.000	4.114	21	538
Februar	2.065	1.252	1.937	20	341
März	727	421	649	18	117
April	423	493	751	14	133
Mai	0	173	187	192	33
Juni	0	40	37	82	9
Juli	0	0	0	86	0
August	0	0	0	369	0
September	515	393	541	109	77
Oktober	1.073	111	254	8	22
November	822	1.091	1.536	14	228
Dezember	600	1.921	2.858	23	506
Jahr	7.908	7.895	12.864	956	2.004

Tabelle 10: Messwerte der Wärmemengen- und Stromzähler in kWh - Jahr 2022

Monate	WMZ Solar	WMZ Sole	WMZ Heizung	WMZ Kühlung	Strom WP
Jänner	546	2.199	3.360	21	614
Februar	1.931	1.339	2.054	21	379
März	328	859	254	17	234
April	330	438	1.082	19	115
Mai	132	239	152	82	62
Juni	191	20	37	636	5
Juli	114	-44	115	373	18
August	0	195	116	823	14
September	1.245	47	70	603	9
Oktober	932	237	358	247	44
November	556	1.409	2.251	15	298
Dezember	1.002	1.822	3.083	25	464
Jahr	7.307	8.760	12.931	2.880	2.254

Tabelle 11: Messwerte der Wärmemengen- und Stromzähler in kWh - Jahr 2023

Monate	WMZ Solar	WMZ Sole	WMZ Heizung	WMZ Kühlung	Strom WP
Jänner	1.331	1.978	3.403	25	526
Februar	635	1.057	1.790	23	279
März	562	848	1.442	24	228
April	491	513	879	20	138
Mai	254	12	19	14	3
Juni	233	134	212	435	34
Juli	0	117	200	867	35
August	245	0	0	708	0
September	1.078	2.384	4.626	344	825
Oktober	NV	NV	NV	NV	633
November	NV	NV	NV	NV	635
Dezember	NV	NV	NV	NV	NV
Jahr	NV	NV	NV	NV	NV

Tabelle 12: Messwerte der Wärmemengen- und Stromzähler in kWh - Jahr 2024

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 13: Simulationsergebnisse in kWh

Folgende Unterschiede ergeben sich bei den Werten.

WMZ Solar zu Solarertrag: Der simulierte Solarertrag ist um ca. 10% niedriger (2021), ca. 24% höher (2022), ca. 34% höher (2023) und ca. 39% höher (2024 Jänner bis August) 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 (2021), ca. 76% höher (2022), ca. 58% höher (2023) und ca. 70% höher (2024 Jänner bis August) 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. 9% höher (2021), ca. 34% höher (2022), ca. 34% höher (2023) und ca. 26% höher (2024 Jänner bis August) 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. Der Nutzkältebedarf ist in der Simulation um ca. +135% höher (2022), ca. 22% niedriger (2023) und ca. gleich hoch (2024 Jänner bis August) als der Messwert (WMZ Kühlung).

Strom WP: Der Stromverbrauch ist in der Simulation um ca. 23% höher (2021), ca. 71% höher (2022), ca. 52% höher (2023) und ca. 66% höher (2024 Jänner bis August) als der Messwert. Das liegt zum einen an der höheren abgegebenen Wärmeenergie der Wärmepumpe als auch der niedrigeren Eisspeichertemperatur im 1. Quartal in der Simulation (siehe Vergleich in Abbildung 4).

Die folgende Tabelle 14 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 14: Simulationsergebnisse Solarertrag für Puffer- und Eisspeicher in kWh

Mithilfe der Simulationsergebnisse aus Tabelle 14 lässt sich der direkt genutzte Anteil aus den gemessenen Solarerträgen abschätzen. Ab November 2023 wird der Solarertrag, der direkt im Pufferspeicher genutzt wird, getrennt gemessen. Aus den abgeschätzten bzw. gemessenen, direkt genutzten Solarerträgen (Pufferspeicher) und der erzeugten Wärmemenge der Wärmepumpe für Heizung (WMZ Heizung) lässt sich der Heizwärmeverbrauch des Gebäudes abschätzen, wie in Tabelle 15, Tabelle 16, Tabelle 17 und Tabelle 18 ersichtlich.

Monate	WMZ Solar	Pufferspeicher	Eisspeicher	WMZ Heizung	Heizwärme
Jänner	1.683	436	525	4.397	4.833
Februar	2.065	795	1.270	1.799	2.594
März	727	595	1.324	2.233	2.827
April	423	361	0	626	987
Mai	0	289	0	274	563
Juni	0	88	0	0	88
Juli	0	0	0	0	0
August	0	179	0	237	416
September	515	137	1.094	137	274
Oktober	1.073	254	1.487	799	1.053
November	822	397	500	2385	2.782
Dezember	600	606	512	3025	3.631
Jahr	7.908	4.137	6.712	15.912	20.049

Tabelle 15: Aufteilung des Solarertrags und Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs in kWh - Jahr 2021

Monate	WMZ Solar	Pufferspeicher	Eisspeicher	WMZ Heizung	Heizwärme
Jänner	961	764	919	4.114	4.878
Februar	2.065	795	1.270	1.937	2.732
März	1.918	225	502	649	874
April	361	423	0	751	1.174
Mai	289	0	0	187	187
Juni	88	0	0	37	37
Juli	0	0	0	0	0
August	179	0	0	0	0
September	1.231	57	458	541	598
Oktober	1.741	157	916	254	411
November	897	364	458	1.536	1.900
Dezember	1.118	325	275	2.858	3.183
Jahr	10.848	3.111	4.797	12.864	15.975

Tabelle 16: Aufteilung des Solarertrags und Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs in kWh - Jahr 2022

Monate	WMZ Solar	Pufferspeicher	Eisspeicher	WMZ Heizung	Heizwärme
Jänner	546	248	298	3.360	3.608
Februar	1.931	743	1.188	2.054	2.797
März	328	102	226	254	356
April	330	330	0	1.082	1.412
Mai	132	132	0	152	284
Juni	191	191	0	37	228
Juli	114	114	0	115	229
August	0	0	0	116	116
September	1.245	138	1.107	70	208
Oktober	932	136	796	358	494
November	556	162	394	2.251	2.413
Dezember	1.002	384	618	3.083	3.467
Jahr	7.307	2.680	4.627	12.931	15.612

Tabelle 17: Aufteilung des Solarertrags und Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs in kWh - Jahr 2023

Monate	WMZ Solar	Pufferspeicher	Eisspeicher	WMZ Heizung	Heizwärme
Jänner	1.331	366	965	3.403	3.770
Februar	635	439	196	1.790	2.229
März	562	560	2	1.442	2.002
April	491	489	2	879	1.368
Mai	254	253	1	19	272
Juni	233	232	1	212	444
Juli	0	0	0	200	200
August	245	10	235	0	10
September	1.078	268	810	4.626	4.894
Oktober	NV	NV	NV	NV	NV
November	NV	NV	NV	NV	NV
Dezember	NV	NV	NV	NV	NV
Jahr	NV	NV	NV	NV	NV

Tabelle 18: Aufteilung des Solarertrags und Abschätzung des Heizwärmeverbrauchs in kWh - Jahr 2024

Der abgeschätzte Heizwärmeverbrauch von 2021 passt sehr gut mit dem prognostizierten Heizwärmebedarf der PHPP-Berechnung von ca. 20.180 kWh überein. Im Jahr 2022 und 2023 liegt der abgeschätzte Heizwärmeverbrauch um 20% bis 23% niedriger. Der gemessene Heizwärmeverbrauch im Jahr 2024

von Jänner bis August mit 10.295 kWh ist um ca. 16% niedriger (2021), ca. 4% höher (2022) und ca. 14% höher (2023).

7. Energiebilanz Eisspeicher

Die folgende Abbildung 3 zeigt den Jahresverlauf der Eisspeichertemperatur 2021 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).

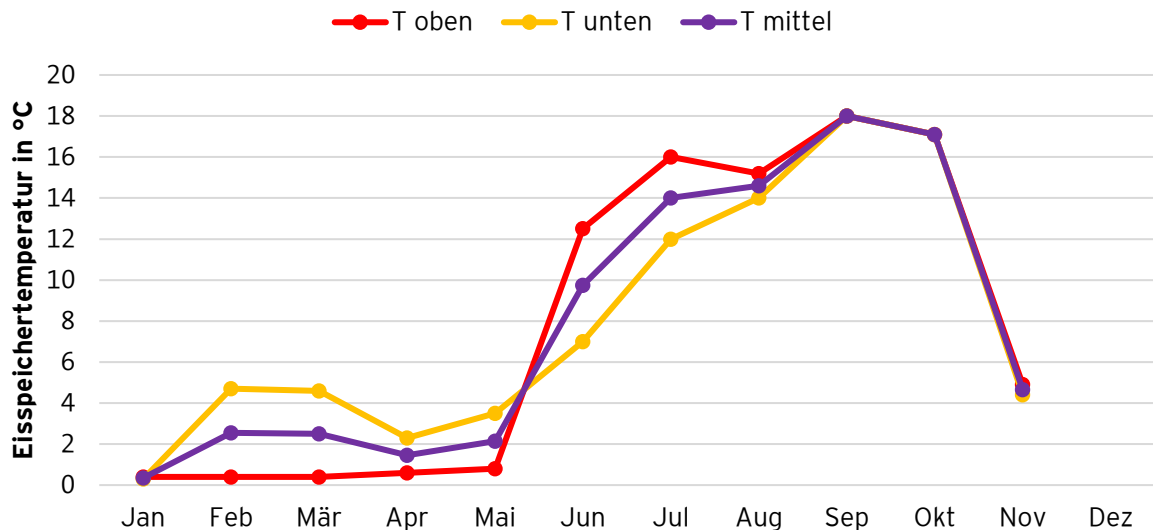


Abbildung 3: Eisspeichertemperatur in °C - Jahr 2021

Die folgende Abbildung 4 zeigt den direkten Vergleich zwischen der gemessenen, mittleren Eisspeichertemperatur (T mittel 2021, 2022, 2023 und 2024) und laut Simulation (T mittel Simulation). Von Dezember 2021 bis April 2022 wurden keine Temperaturen aufgezeichnet. Der starke Einbruch der mittleren Eisspeichertemperatur durch die erhöhten Verbräuche für das Ausheizen des Estrichs aufgrund der Objekterweiterung ist eindeutig ersichtlich.

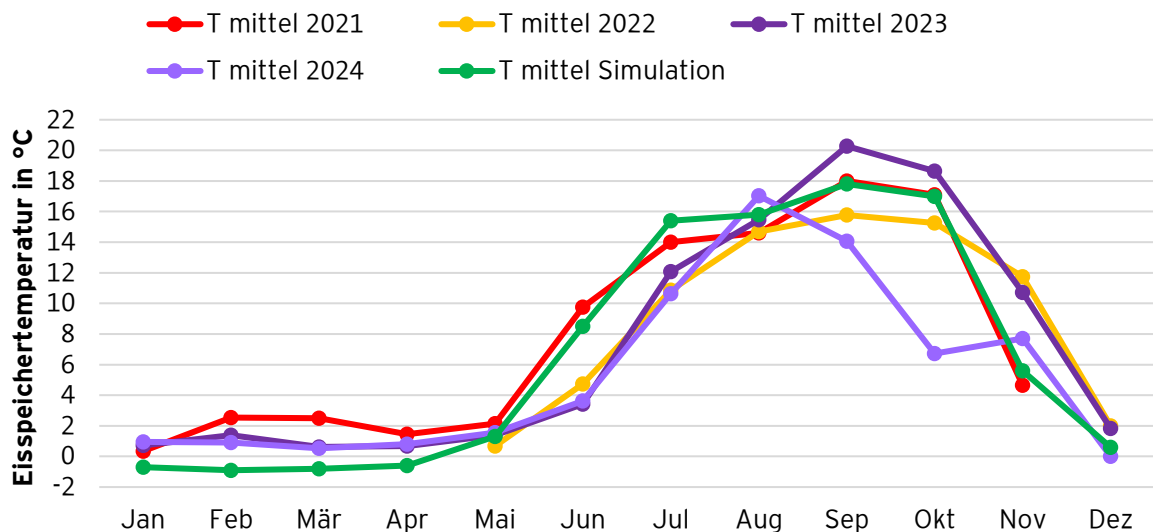


Abbildung 4: Vergleich mittlere Speichertemperatur Messung 2021, 2022, 2023 und 2024 und Simulation in °C

Aus den bisherigen Auswertungen lassen sich folgende Wärmeinputs und Wärmeoutputs des Eisspeichers ableiten, welche in Tabelle 19, Tabelle 20, Tabelle 21 und Tabelle 22 aufgeführt sind. Ein positiver Wert bedeutet, dass dem Eisspeicher Wärme zugeführt wird. Ein negativer Wert bedeutet, dass aus dem Eisspeicher Wärme abgeführt wird.

- Solar: abgeschätzte bzw. berechnete (direkt genutzter Anteil gemessen) Solarerträge an den Eisspeicher aus Tabelle 15, Tabelle 16, Tabelle 17 und Tabelle 18
- WP Quelle: Wärmeentnahme durch die Wärmepumpe als Differenz zwischen WMZ Heizung und Strom WP aus Tabelle 9, Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12
- Kühlung: Nutzkältebedarf des Gebäudes WMZ Kühlung aus Tabelle 9, Tabelle 10, Tabelle 11 und Tabelle 12

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 2021, Dezember 2023 und von Dezember 2021 bis Mai 2022 kann die Wärmebilanz des Eisspeichers nicht ermittelt werden, da sowohl für Dezember 2020 und Dezember 2024 sowie von Dezember 2021 bis Mai 2022 keine Temperaturmessdaten vorliegen (NV = nicht verfügbar).

Monate	Erdreich	Solar	WP Quelle	Kühlung	Bilanz
Jänner	+ NV	+ 525	- 3.574	NV	NV
Februar	+ 402	+ 1.270	- 1.463	NV	+ 209
März	+ 505	+ 1.324	- 1.834	NV	- 5
April	+ 413	0	- 513	NV	- 100
Mai	+ 279	0	- 212	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	- 857	+ 1.487	- 716	+ 10	- 86
November	+ 341	+ 500	- 2.024	+ 15	- 1.183
Dezember	+ NV	+ 512	- 2.482	+ 23	NV

Tabelle 19: Eisspeicherbilanz in kWh - Jahr 2021

Monate	Erdreich	Solar	WP Quelle	Kühlung	Bilanz
Jänner	NV	+ 919	- 3.576	+ 21	NV
Februar	NV	+ 1.270	- 1.596	+ 20	NV
März	NV	+ 502	- 532	+ 18	NV
April	NV	0	- 618	+ 14	NV
Mai	NV	0	- 154	+ 192	NV
Juni	- 440	0	- 28	+ 82	+ 386
Juli	- 667	0	0	+ 86	+ 581
August	- 734	0	0	+ 369	+ 365
September	- 205	+ 458	- 464	+ 109	+ 102
Oktober	- 642	+ 916	- 232	+ 8	- 50
November	+ 1.169	+ 458	- 1.308	+ 14	- 333
Dezember	+ 2.981	+ 275	- 2.352	+ 23	- 927

Tabelle 20: Eisspeicherbilanz in kWh - Jahr 2022

Monate	Erdreich	Solar	WP Quelle	Kühlung	Bilanz
Jänner	+ 2.547	+ 298	- 2.746	+ 21	- 120
Februar	+ 403	+ 1.188	- 1.675	+ 21	+ 63
März	- 150	+ 226	- 20	+ 17	- 73
April	+ 943	0	- 967	+ 19	+ 5
Mai	- 59	0	- 90	+ 82	+ 67
Juni	- 798	0	- 32	+ 636	+ 194
Juli	- 1.099	0	- 96	+ 373	+ 822
August	- 1.043	0	- 102	+ 823	+ 322
September	- 2.106	+ 1.107	- 61	+ 603	+ 457
Oktober	- 574	+ 796	- 314	+ 247	- 155
November	+ 2.297	+ 394	- 1.953	+ 15	- 753
Dezember	+ 2.820	+ 618	- 2.619	+ 25	- 844

Tabelle 21: Eisspeicherbilanz in kWh - Jahr 2023

Monate	Erdreich	Solar	WP Quelle	Kühlung	Bilanz
Jänner	+ 1.970	+ 965	- 2.877	+ 25	- 83
Februar	+ 1.296	+ 196	- 1.511	+ 23	- 4
März	+ 1.225	+ 2	- 1.214	+ 24	- 37
April	+ 693	+ 2	- 741	+ 20	+ 26
Mai	- 71	+ 1	- 16	+ 14	+ 72
Juni	- 455	+ 1	- 178	+ 435	+ 197
Juli	- 1.367	0	- 165	+ 867	+ 665
August	- 1.551	+ 235	0	+ 708	+ 608
September	+ 2.928	+ 810	- 3.801	+ 344	- 281
Oktober	NV	NV	NV	NV	- 698
November	NV	NV	NV	NV	+ 92
Dezember	NV	NV	NV	NV	NV

Tabelle 22: Eisspeicherbilanz in kWh - Jahr 2024

Die folgende Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigt die mittlere Eisspeichertemperatur (T mittel 2021, T mittel 2022, T mittel 2023 und T mittel 2024) im Vergleich zur mittleren Grundwassertemperatur an der Messstation in Egg (T GW 2021, T GW 2022, T GW 2023 und T GW 2024) [3] sowie die mittlere Erdreichtemperatur laut Simulation (T Erde Simulation).

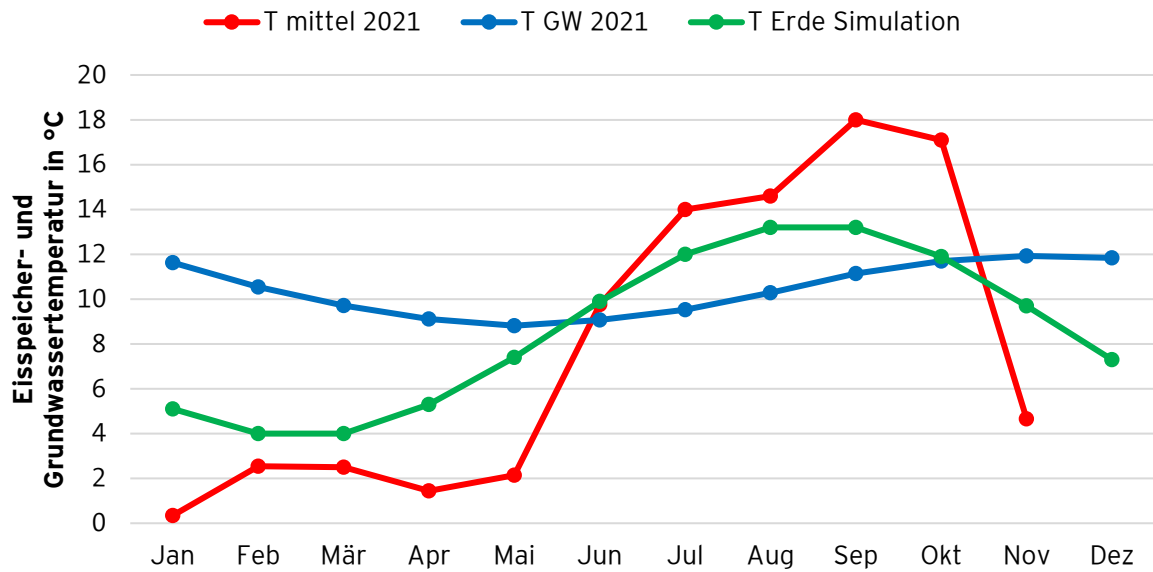


Abbildung 5: Vergleich Eisspeicher- (T mittel 2021) und Grundwassertemperatur (T GW 2021) [3] sowie mittlere Erdoberflächtemperatur laut Simulation (T Erde Simulation) in °C - Jahr 2021

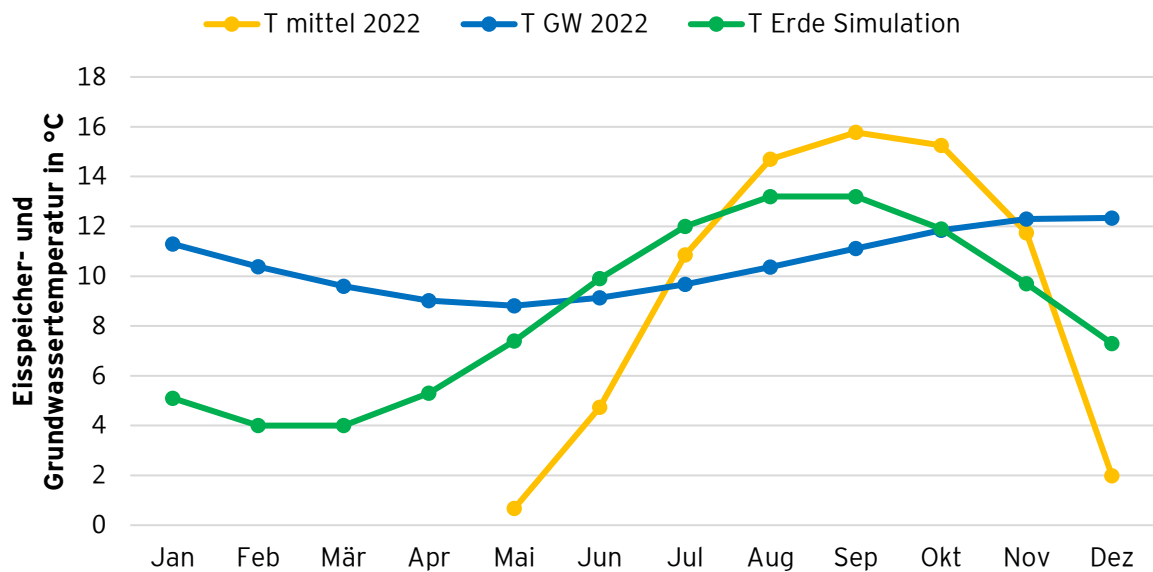


Abbildung 6: Vergleich Eisspeicher- (T mittel 2022) und Grundwassertemperatur (T GW 2022) [3] sowie mittlere Erdoberflächtemperatur laut Simulation (T Erde Simulation) in °C - Jahr 2022

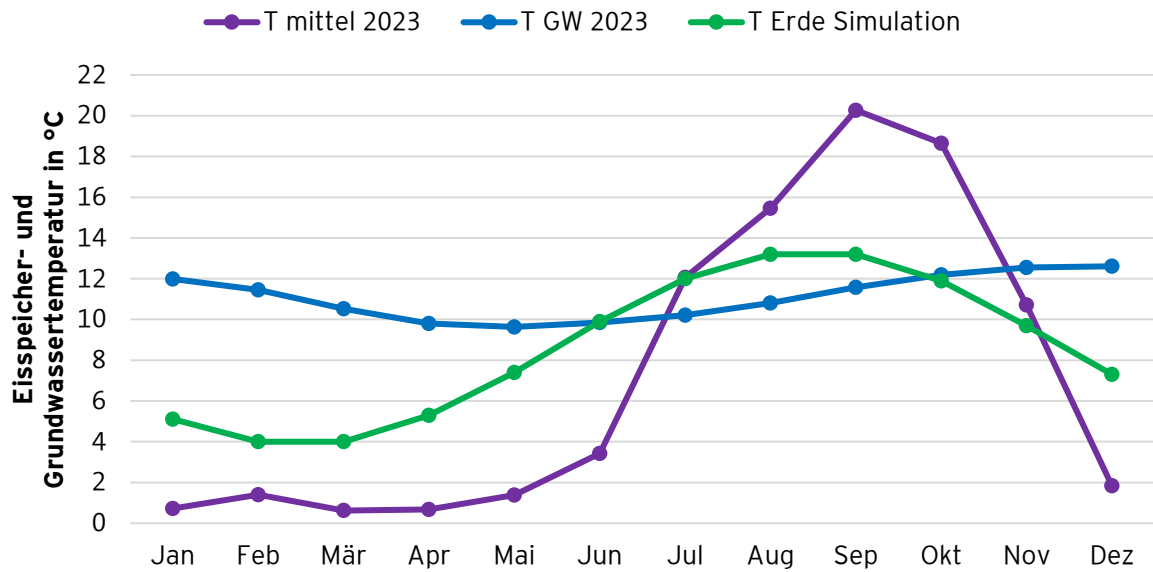


Abbildung 7: Vergleich Eisspeicher- (T mittel 2023) und Grundwassertemperatur (T GW 2023) [3] sowie mittlere Erdoberflächtemperatur laut Simulation (T Erde Simulation) in °C - Jahr 2023

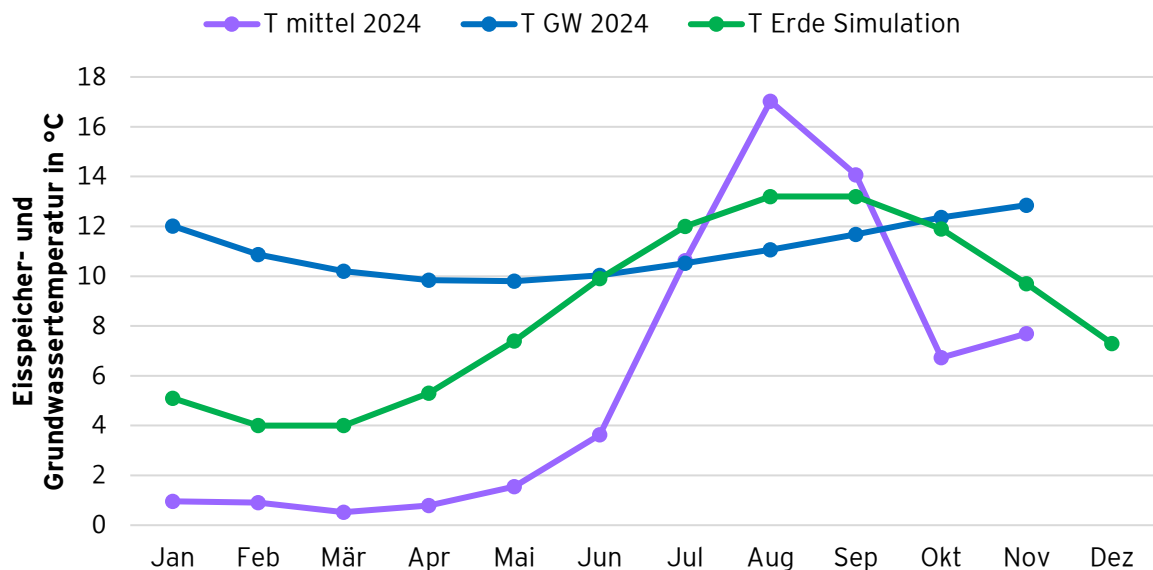


Abbildung 8: Vergleich Eisspeicher- (T mittel 2024) und Grundwassertemperatur (T GW 2024) [3] sowie mittlere Erdoberflächtemperatur laut Simulation (T Erde Simulation) in °C - Jahr 2024

Daraus lässt sich abschätzen in welchen Monaten der Eisspeicher Wärme aus dem umliegenden Erdreich aufnimmt und in welchen er Wärme abgibt, wie in der Tabelle 19, Tabelle 20, Tabelle 21 und Tabelle 22 in Spalte „Erdreich“ dargestellt. Aus der Wärmebilanz des Eisspeichers 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 Eisspeicherbilanz möglich ist.

Für die Monate Jänner bis Mai 2021 ist angenommen, dass das Gebäude keinen Nutzkältebedarf hat, da in diesen Monaten keine Messwerte vom WMZ

Kühlung vorliegen. In den Monaten Juni und Juli 2021 sollte der Nutzkältebedarf des Gebäudes jedoch größer sein als die abgeschätzte Eisspeicherwärmebilanz in diesen Monaten, da die Temperatur im Eisspeicher zunimmt, keine Solarerträge in den Eisspeicher eingebracht werden und das umliegende Erdreich laut Abschätzung kühler sein sollte als die Temperatur im Eisspeicher.

8. Temperatur- und Luftfeuchtemessung Wintergarten

Von 19.01.2024 12:00 bis 02.02.2024 12:00 wurde eine Temperatur- und Luftfeuchtemessung des Wintergartens durchgeführt. Der Wintergarten ist vollflächig mit Einscheibenverglasung umgesetzt.

Die folgende Abbildung 10 zeigt die vor Ort gemessene Außentemperatur und Wintergarteninnentemperatur während des Messzeitraums. Die Globalstrahlung während dieses Zeitraums ist der Mittelwert der Stationsdaten Alberschwende und Sulzberg von GeoSphere Austria Data Hub [4]. Das Diagramm zeigt eindeutig, dass die Innentemperatur des Wintergartens bei Solareinstrahlung stark ansteigt und sobald sie ausbleibt wieder stark abfällt und sich der Außentemperatur annähert. Durch die Lage und den Aufbau des Wintergartens konnte nicht vermieden werden, dass während des Messzeitraums Solarstrahlung auf das Messgerät fällt. Dadurch erwärmt sich das Messgerät während der Einstrahlung, was die hohen gemessenen Spitzentemperaturen erklärt. Die tatsächliche Lufttemperatur ist jedoch nicht so hoch wie im Diagramm dargestellt.

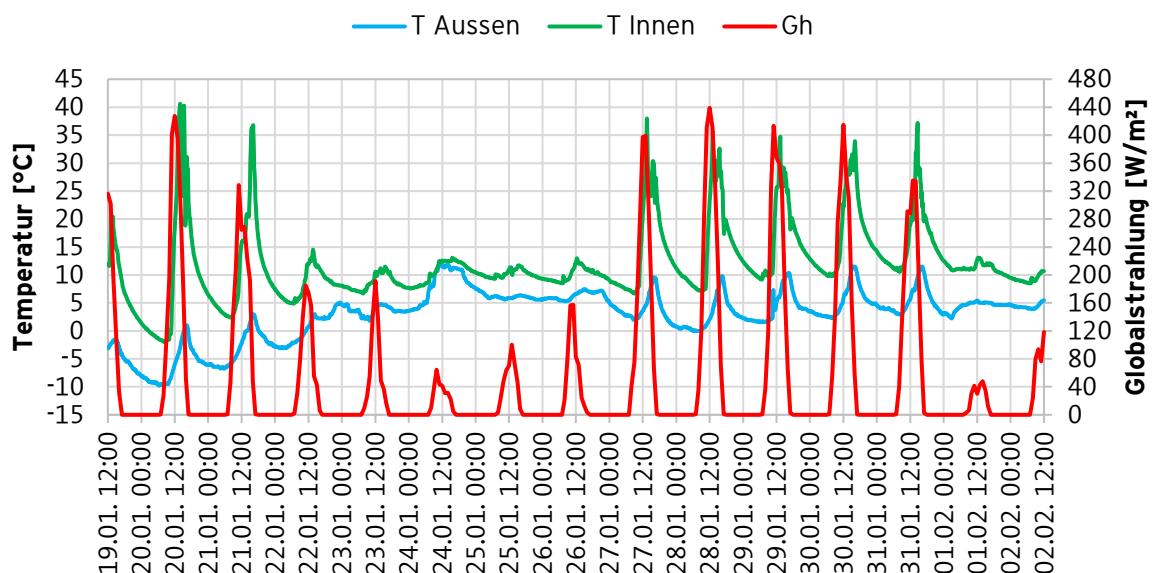


Abbildung 9: Messung Wintergarten 19.01.2024 bis 02.02.2024 - Außentemperatur (T Aussen, Messung vor Ort), Innentemperatur (T Innen, Messung vor Ort) und Globalstrahlung (Gh) [4]

Während der Planungsphase und Projektbegleitung im Rahmen des Projekts Low Tech wurde eine dynamische Gebäudesimulation des Wintergartens in

verschiedenen Varianten (Ein- und Zweischeibenverglasung, Teil- und Vollverglasung, normale und erhöhte Luftdichtheit) durchgeführt. Die Klimadaten, die für die Simulation verwendet wurden, wurden mit Meteororm für den tatsächlichen Gebäudestandort mit Horizontverschattung generiert. Die folgende Abbildung 10 zeigt das Ergebnis der dynamischen Gebäudesimulation (Einscheibenverglasung, Vollverglasung, normale Luftdichtheit) für einen zweiwöchigen Zeitraum, bei dem die Außentemperatur und die Globalstrahlung annähernd dem Messzeitraum entsprechen. Der gemessene Wintergarteninnentemperaturverlauf ist vergleichbar mit den Simulationsergebnissen. Die hohen Spitzentemperaturen ergeben sich in der Simulation nicht, da die Innentemperatur dort mit Fensterlüftung auf maximal 25 °C begrenzt wird.

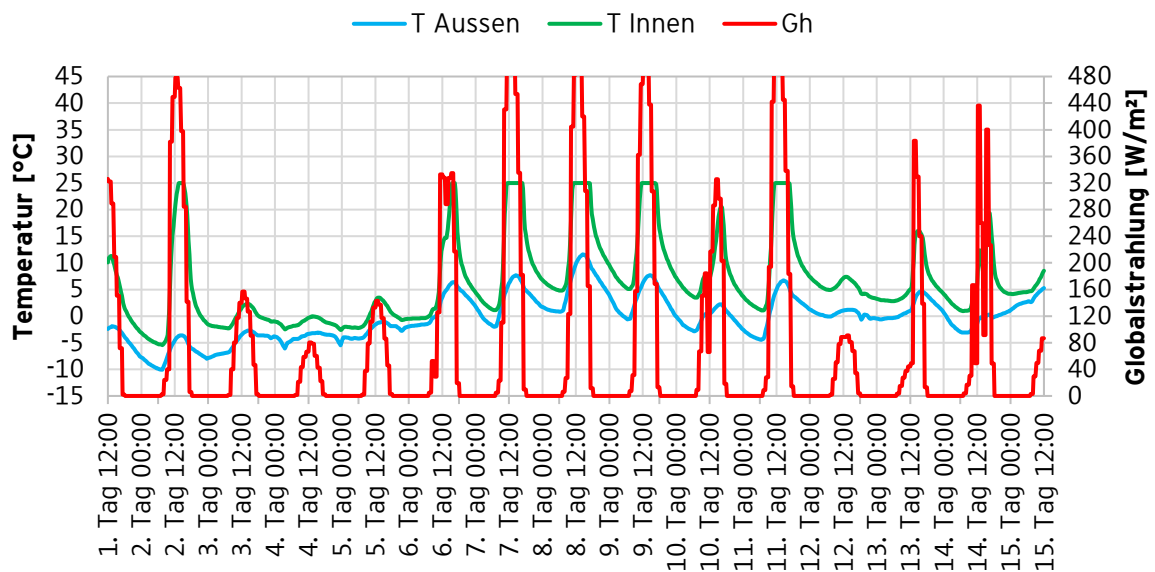


Abbildung 10: Simulation Wintergarten - Außentemperatur (T Aussen, Meteorormdaten für Gebäudestandort), Innentemperatur (T Innen, Simulation) und Globalstrahlung (Gh, Meteorormdaten für Gebäudestandort)

Eine Büronutzung ist üblicherweise von Montag bis Freitag von 8:00 bis 17:00. Der Start (19.01.2024) und das Ende (02.02.2024) des Messzeitraums war jeweils ein Freitag. Die Wintergarteninnentemperatur ist stark von der Außentemperatur und der Solarstrahlung abhängig. Es ist Zufall ob ein Werktag mit Büronutzung einen milden oder kühlen Außentemperaturverlauf hat und ob es ein klarer oder bewölkter Tag ist. Aus diesem Grund wird bei der Berechnung der Nutzungsstunden über 10, 15 und 20 °C jeder Tag des Messzeitraums als theoretischer Nutzungstag angesehen.

- Nutzungszeit bei theoretisch täglicher Nutzung: 126 h
- Nutzungszeit mit T Innen > 10 °C: ca. 96 h, ca. 76%
- Nutzungszeit mit T Innen > 15 °C: ca. 41 h, ca. 33%
- Nutzungszeit mit T Innen > 20 °C: ca. 34 h, ca. 27%

Während der Planungsphase wurde mit dem Bauherr Architekt Georg Bechter eine minimale Temperatur von 15 °C im Wintergarten als Grenzwerte für die Nutzbarkeit definiert. Der Wintergarten wird als Teeküche und wenn es die Temperatur zulässt für den Aufenthalt während der Mittagspause und als Begegnungszone genutzt. Die Messung zeigt, dass während des Messzeitraums ca. ein Drittel der Nutzungsstunden bei theoretisch täglicher Nutzung eine

Lufttemperatur über 15 °C hat. Das ist etwas höher als die prognostizierten Nutzungsstunden mit der dynamischen Gebäudesimulation während der Planungsphase: bei ca. 19% (Jänner) und ca. 30% (Februar) der Nutzungsstunden ist die Innentemperatur über 15 °C, wie in Abbildung 11 ersichtlich.

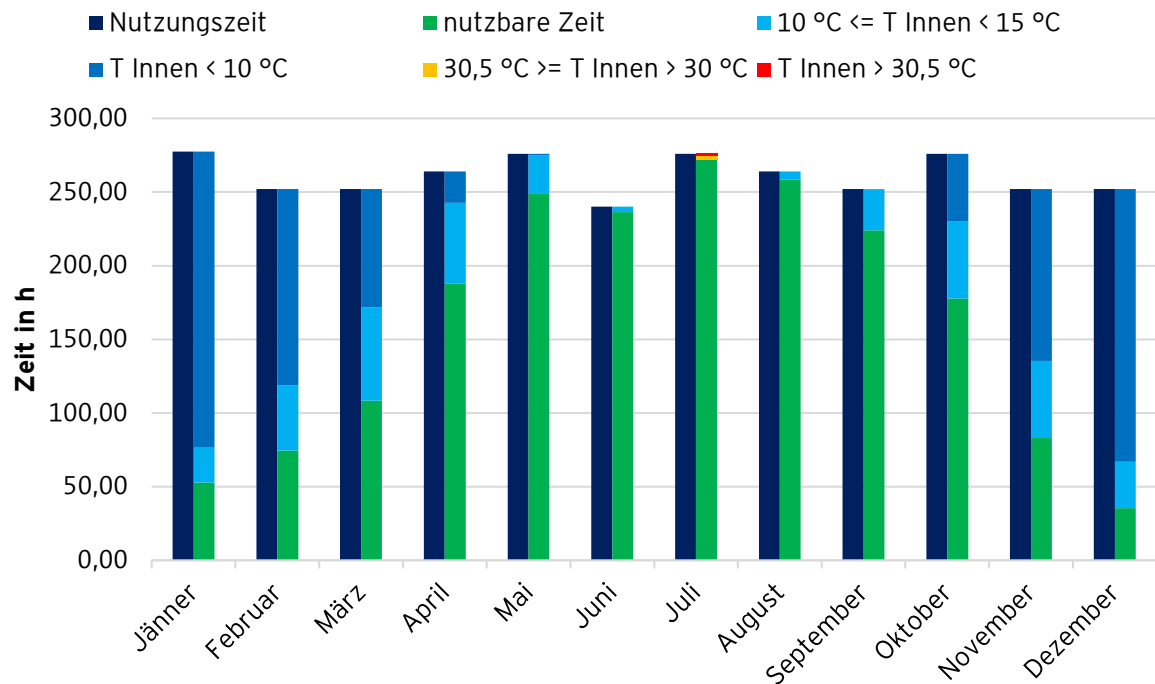


Abbildung 11: Simulation Wintergarten - Nutzbarkeit

Die folgende Abbildung 12 zeigt die gemessene relative Feuchte außen und innen während des Messzeitraums. Die relative Feuchte im Wintergarten verhält sich gegensätzlich zur Innenraumlufttemperatur: geringe relative Feuchte bei hoher Innenraumlufttemperatur und umgekehrt. Folgende Minimal-, Mittel- und Maximalwerte ergeben sich während des theoretischen täglichen Nutzungszeitraums.

- Minimalwert: 10%
- Mittelwert: 49%
- Maximalwert: 80%

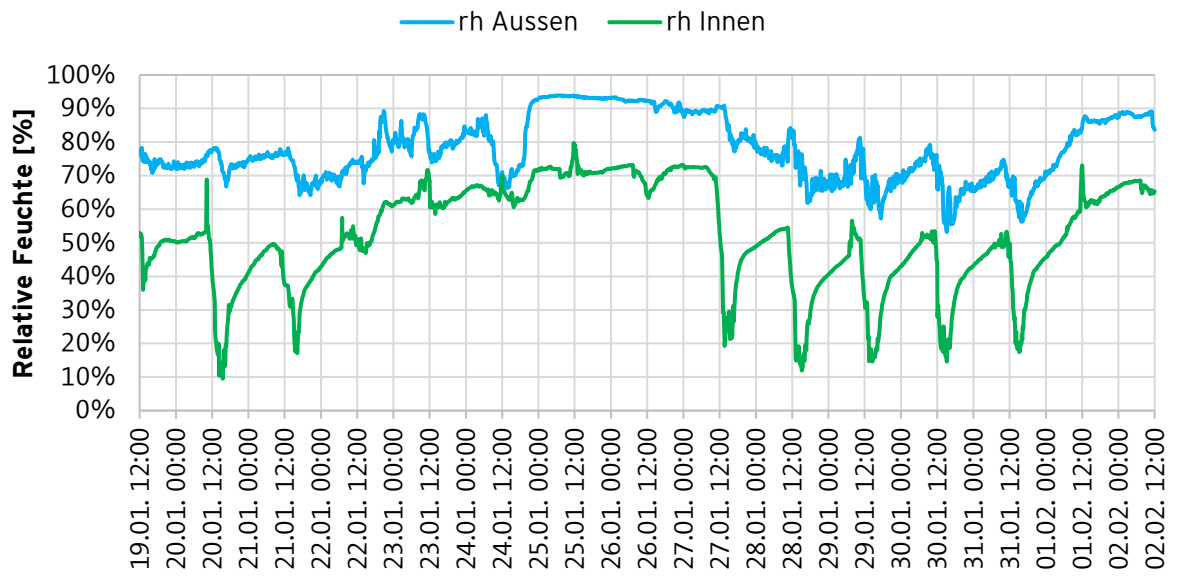


Abbildung 12: Messung Wintergarten 19.01.2024 bis 02.02.2024 - relative Feuchte Außen (rh Aussen, Messung vor Ort) und Innen (rh Innen, Messung vor Ort)

9. Monatliche Auswertung

Die folgende Abbildung 13 zeigt den Endenergieverbrauch für Heizung (Strom WP) und Hilfsstrom für das Jahr 2021, 2022, 2023 und 2024 jeweils bezogen auf die Nettogrundfläche von 623 m²_{NGF}.

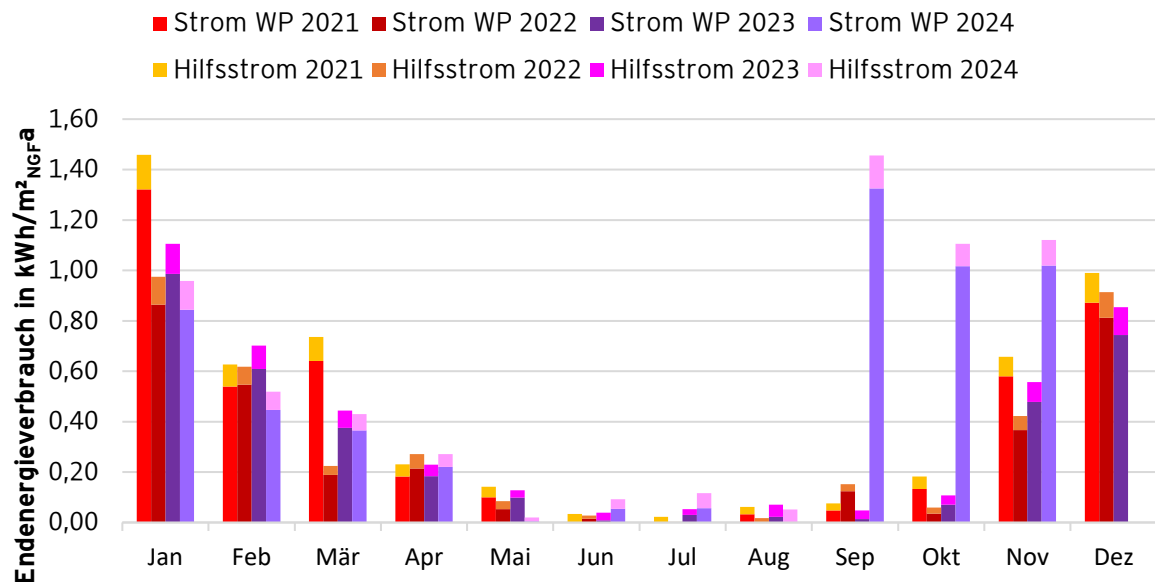


Abbildung 13: Vergleich Endenergieverbrauch Heizung und Hilfsstrom 2021, 2022, 2023 und 2024 in kWh/m²_{NGF}

Der direkte Vergleich zeigt, dass der Endenergieverbrauch für Heizung im Jahr 2022 und 2023, insbesondere im Jänner und März, geringer ausfällt als im Jahr 2021. Die erhöhten Verbräuche für das Ausheizen des Estrichs aufgrund der Objekterweiterung im September, Oktober und November 2024 ist eindeutig ersichtlich.

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 14 dargestellt. Im Jänner 2022 lässt sich die Reduktion zusätzlich durch den höheren Solarertrag erklären, wie in Abbildung 15 ersichtlich.

Folgender Endenergieverbrauch für Heizung und Hilfsstrom ergibt sich für die Jahre 2021, 2022 und 2023.

- Endenergieverbrauch Heizung
 - 2021: 4,4 kWh/(m²_{NGF}a)
 - 2022: 3,2 kWh/(m²_{NGF}a)
 - 2023: 3,7 kWh/(m²_{NGF}a)
- Hilfsstrom
 - 2021: 0,8 kWh/(m²_{NGF}a)
 - 2022: 0,6 kWh/(m²_{NGF}a)
 - 2023: 0,7 kWh/(m²_{NGF}a)

Um die Effizienz im Jahr 2024 beurteilen zu können wird der Endenergieverbrauch für Heizung und Hilfsstrom von Jänner bis August mit den Verbräuchen der Vorjahre verglichen. Die Werte von 2024 liegen zwischen den Werten

der Vorjahre. Das Betriebsgebäude hat also auch im Jahr 2024 sehr geringen Endenergieverbräuche.

- Endenergieverbrauch Heizung (Jänner bis August)
 - 2021: 1.754 kWh
 - 2022: 1.171 kWh
 - 2023: 1.440 kWh
 - 2024: 1.242 kWh
- Hilfsstrom (Jänner bis August)
 - 2021: 308 kWh
 - 2022: 212 kWh
 - 2023: 286 kWh
 - 2024: 290 kWh

Die gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung und Hilfsstrom sind um ein Vielfaches geringer als typische Endenergieverbräuche von Bürogebäuden wie in den Benchmarkwerten in Abbildung 16 dargestellt. Dabei handelt es sich aber um konventionell beheizte Gebäude ohne Wärmepumpe. Die dargestellten Benchmarkwerte des Endenergieverbrauchs für die Wärmeerzeugung (Heizung) liegen zwischen 53 und 153 kWh/(m²_{NGFA}). Werden die Benchmarkwerte durch die mittlere Arbeitszahl der Wärmepumpe von 5,8 (Mittelwert 2021 bis 2023) geteilt ergibt sich ein Verbrauchsbereich von 9,1 bis 26,4 kWh/(m²_{NGFA}), welcher besser für den Vergleich mit den gemessenen Endenergieverbräuchen geeignet ist. Die gemessenen Verbräuche liegen auch hier deutlich darunter.

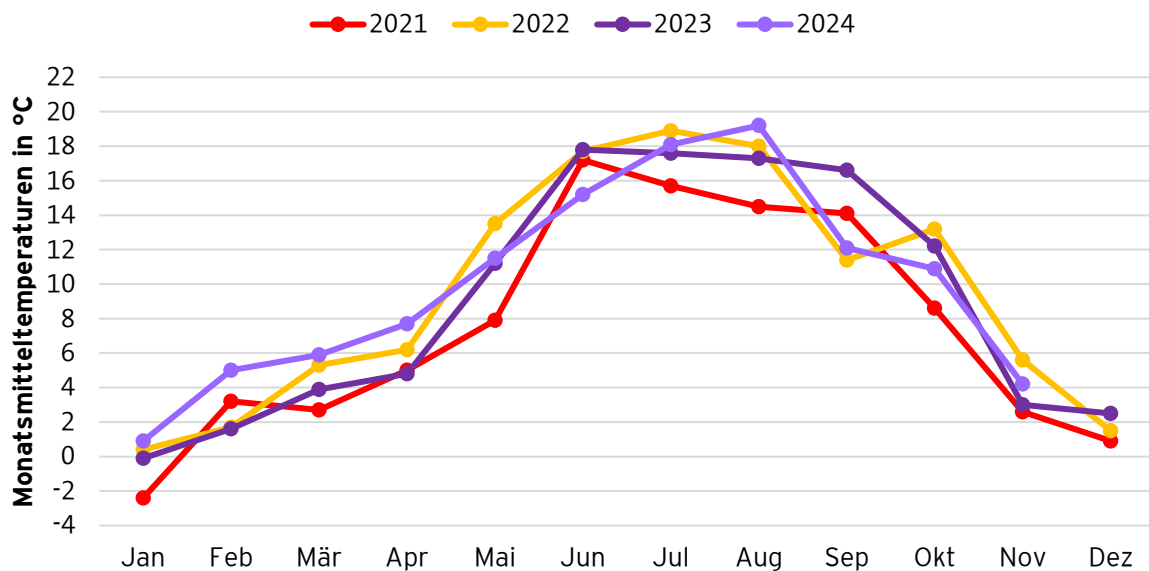


Abbildung 14: Vergleich Monatsmitteltemperaturen 2021, 2022, 2023 und 2024 [5]

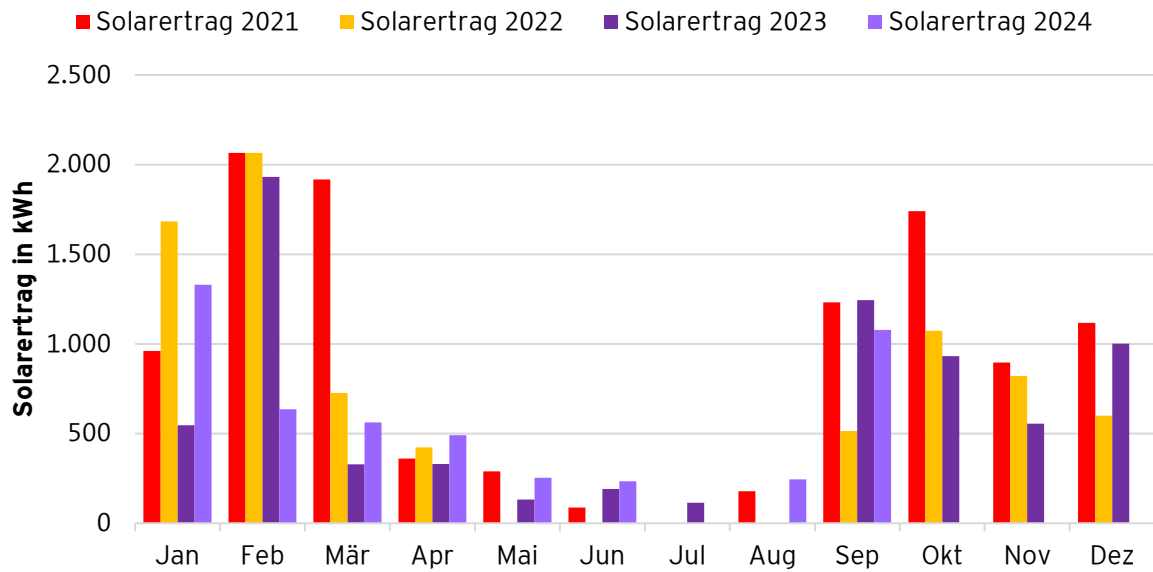


Abbildung 15: Vergleich Solarertrag 2021, 2022, 2023 und 2024 in kWh

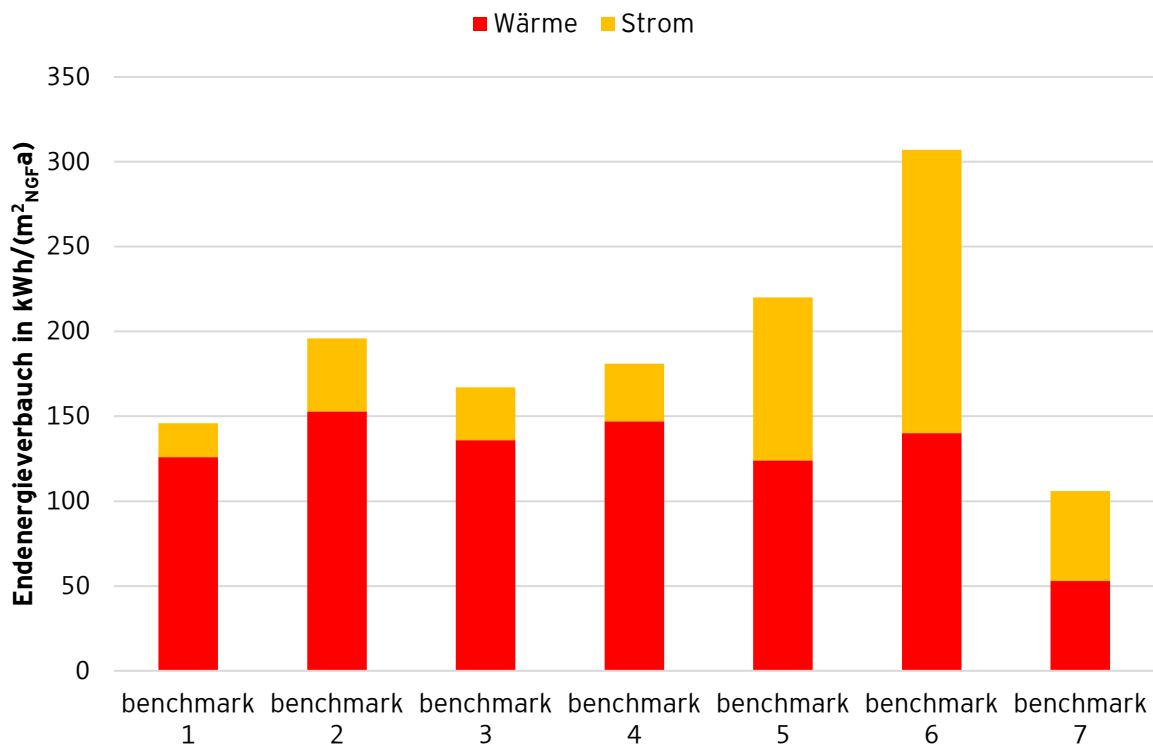


Abbildung 16: Benchmark-Werte des spezifischen Endenergieverbrauchs von Bürogebäuden [6]

10. Quellen

[1] Energiemonitoring Dorf 135a Hittisau, energyControl

[2] Funktionsschema Bechter Georg Dorf Hittisau, Technisches Büro Gerhard Ritter, 9.6.2020

[3] Wasser Online Vorarlberg, Station Egg 30.1.06, Daten 2021, 2022, 2023 und 2024

[4] GeoSphere Austria Data Hub, Messstation Stundendaten, Globalstrahlung, Mittelwert Station Alberschwende 11135 und Sulzberg 8301, 19.01.2024 bis 02.02.2024

[5] GeoSphere Austria Data Hub, Messstation Monatsdaten, Außentemperatur, Station Sulzberg 8301, Jahr 2021, 2022, 2023 und 2024

[6] K. Voss et al., 2005. Bürogebäude mit Zukunft. Köln: TÜV-Verlag.

Impressum

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

Verfasser: Thomas Roßkopf-Nachbaur

Erscheinungsdatum: 12.12.2024