

Asphaltkollektor EW Wald AG

Im Auftrag der Abteilung Energie des Amts für Abfall, Energie und Luft

Schlussbericht, 23. Dezember 2025

Auftragnehmer:

- Kriesi Energie GmbH, Ruedi Kriesi, Dr. sc. techn., Koordination, Messungen, Bericht
- Flückiger + Bosshard AG, Michael Streiff, Kollektorkonstruktion
- EW Wald AG, Daniel Diggelmann, Vertreter Bauherr

Inhalt:

Seite

Zusammenfassung	2
1. Einführung	3
2. Anordnung der Felder des Asphaltkollektors	4
3. Einbindung des Asphaltkollektors in die Haustechnik	5
a. Hydraulik, Schema	5
b. Steuerung	8
4. Aufbau des Kollektors	9
5. Einbau des Kollektors	9
6. Messeresultate	13
a. Kollektorertrag	13
b. Heizwärmebedarf versus Kollektorertrag und Abwärme der Raumkühlung	17
c. Diskussion des erhöhten Ertrags gegenüber der Simulation	18
d. Kollektor- und Erdsondentemperaturen, Eignung zur passiven Raumkühlung	19
e. Kühlwirkung durch den Kollektor für die Umgebung	23
7. Kollektorkosten, Zielwert	24
a. Kollektorkosten	24
b. Zielwert der max. idealen Kollektorkosten	25
 ANHANG	
I. Messinstallation	26
II. Durchfluss, Druckverlust und Volumen des Asphaltkollektors	27
III. Betriebspunkt der Kollektorpumpe	28
IV. Expansionsvolumen	29
V. Messungen der Hochschule Rapperswil HSR	30

Zusammenfassung

Im Jahr 2019 haben die Kriesi Energie GmbH und die Flückiger & Bosshard AG eine Studie zu Asphaltkollektoren zur Regeneration von Erdsonden erarbeitet („Potentialabschätzung Asphaltkollektoren«, AWEL 2019, Kriesi Energie GmbH, Flückiger & Bosshard AG). Diese lässt diese Technik als günstige Form der Sondenregeneration erwarten, mit grossem Potential im Hinblick auf die absehbare starke Erhöhung der Anzahl Wärmepumpen. Das durch die EW Wald AG durchgeführte und vom Kanton Zürich unterstützte Pilotprojekt nutzt die Erkenntnisse jener Arbeit. Das Projekt ist Teil des Massnahmenplans Verminderung der Treibhausgase des Kantons Zürich.

Die EW Wald AG hat 2022 mit ihrem Neubau einen Asphaltkollektor zur Regeneration der Erdsonden erstellt. Dieser ist in 17 Teilflächen mit insgesamt 262 m² aufgeteilt. Es war vorgesehen, die Kollektorrohre in Eisenraster einzubinden und zusammen mit diesen auf die Kiesunterlage zu legen. Aus Zeitgründen wurden die Kollektorrohre aber erst auf der Baustelle in die Raster eingesetzt und anschliessend mit Stahlrahmen und Kollektorrohren in Zementmörtel eingegossen. Die Rohre von je zwei Feldern werden gekoppelt und zu einem der beiden Schächte geführt. Während des Asphaltierens wurden die Rohre mit Wasser durchströmt, um ein Überhitzen zu vermeiden. Dieser Kollektoraufbau erlaubt eine Trennung der Rohre und des Zementmörtels am Ende ihrer Lebensdauer zum vollständigen Recycling des Asphalts.

Die Kollektorkosten lagen in diesem Projekt mit rund 400 Fr./m² wesentlich höher als erwartet. Hauptgrund ist die Unsicherheit aller Unternehmer, wodurch zu aufwendige Abläufe gewählt und zu teure Komponenten eingesetzt wurden. Für die Prüfung eines Nachfolgeprojekts in Pontresina im Herbst 2024 wurden die geplanten Kosten durch Vereinfachungen der Konstruktion jedoch unter den wirtschaftlichen Grenzwert gem. Kap. 7b. gesenkt. Das Projekt wurde nicht realisiert, weil sich die Strassenbreite als zu klein erwies.

Von Mitte April 2023 bis Oktober 25 wurden drei Regenerationsphasen gemessen. Dazu wurden einerseits Wärmezähler verwendet, andererseits separate Temperaturmessfühler in Vor- und Rücklauf des Kollektorkreislaufs. Aufgrund der Studie von 2019 wurde ein Ertrag von 120 kWh/m² erwartet. Tatsächlich wurden aber 193 bis 220 kWh/m² erreicht. Die Erklärung für die höheren Erträge liegt primär in der besseren Leitfähigkeit der Mörtelschicht um die Rohre gegenüber Kies und Asphalt, in die die Rohre ursprünglich hätten eingelegt werden sollen. Ein weiterer Grund dürfte in den tiefen Kollektortemperaturen liegen.

Obwohl der Kollektor deutlich kleiner gebaut wurde als geplant, übersteigt der Wärmege-
winn, zusammen mit der Raumkühlung, den Wärmebezug um 37%. Dies weil einerseits der Kollektor mehr Wärme liefert und andererseits der Wärmebedarf kleiner ist als aufgrund des SIA-Systemnachweises erwartet. Der Anteil der Raumkühlung beträgt erstaunlich hohe 42% des Wärmebezugs, der Anteil des Kollektors 95%.

Die Austrittstemperatur aus der Sonde stieg im Sommer maximal auf nur 19.5°C. Mit diesem Maximum unter 20°C hätte die Sonde trotz Regeneration während den drei Sommern mit rein passivem Wärmeaustausch zwischen Flächenheizung und Sonden zur Raumkühlung verwendet werden können, die Verwendung der Wärmepumpe als Kühlmaschine wäre damit hinfällig. Durch Einstellung des Kollektorertrags auf das Niveau des Wärmebezugs, inklusive Abwärme der Raumkühlung, liesse sich die Maximaltemperatur weiter senken.

Entgegen den Erwartungen ist die Kühlwirkung des Asphaltkollektors für eine Person neben der Strasse mit einer rund ¼ tieferen Wärmezufuhr durchaus spürbar, wie die Infrarotaufnahmen der Strassenoberfläche erwarten lassen.

Die bisher vergebliche Suche nach weiteren Pilotprojekten zeigt die Limite des an sich höchst interessanten Verfahrens – es gibt wenig Quartierstrassen, die neu gebaut oder bis zum Geröllkoffer erneuert werden. Damit müssten sich künftige Projekte vermehrt auf asphaltierte Plätze und Wege innerhalb einer Neubausiedlung stützen.

1. Einführung

Das Projekt basiert auf einer Studie zur Abschätzung des Potentials von Asphaltkollektoren von 2019 und ist Teil des Massnahmenplans Verminderung der Treibhausgase des Kantons Zürich.

Verschiedene Temperaturmessungen haben gezeigt, dass ältere Erdsonden entgegen früheren Annahmen oft nach 20 bis 30 Jahren auskühlen, insbesondere bei dichter Anordnung, so dass ein effizienter Betrieb der Wärmepumpen nicht mehr möglich ist. Dies lässt sich vermeiden, indem die Sonden durch Wärmezufuhr im Sommer regeneriert werden. Dazu bieten sich Wärmepumpen mit Quelle Aussenluft oder Sonnenkollektoren an. Da zur Erwärmung der Sonden im Sommer nur Temperaturen unter 20 bis 25°C nötig sind, eignen sich dazu auch unverglaste Sonnenkollektoren und insbesondere selbst Asphaltkollektoren, d.h. unter die Asphaltdecke eingelegte wasserführende Rohre. Durch ihre Einfachheit versprechen sie eine wirtschaftlich interessante Anwendung.

Im Jahr 2022 wurden der Neubau des EW Wald mit den Asphaltkollektoren erstellt und Messeinrichtungen eingebaut, um den Wärmeertrag und die Wirkung auf die Sonden Temperaturen zu belegen. Die ursprünglich geplante Kollektorfläche von 430 m² musste zur Reduktion der Kosten auf 262 m² reduziert werden. Durch die kleinere Fläche hat auch die Länge der Verteilungen und die Anzahl der Schächte abgenommen.

Im Frühjahr 23 wurden das System gleichzeitig mit dem Bezug des Gebäudes durch das EW Wald in Betrieb genommen und bis Herbst 25 drei Zyklen der Sondenregeneration gemessen.

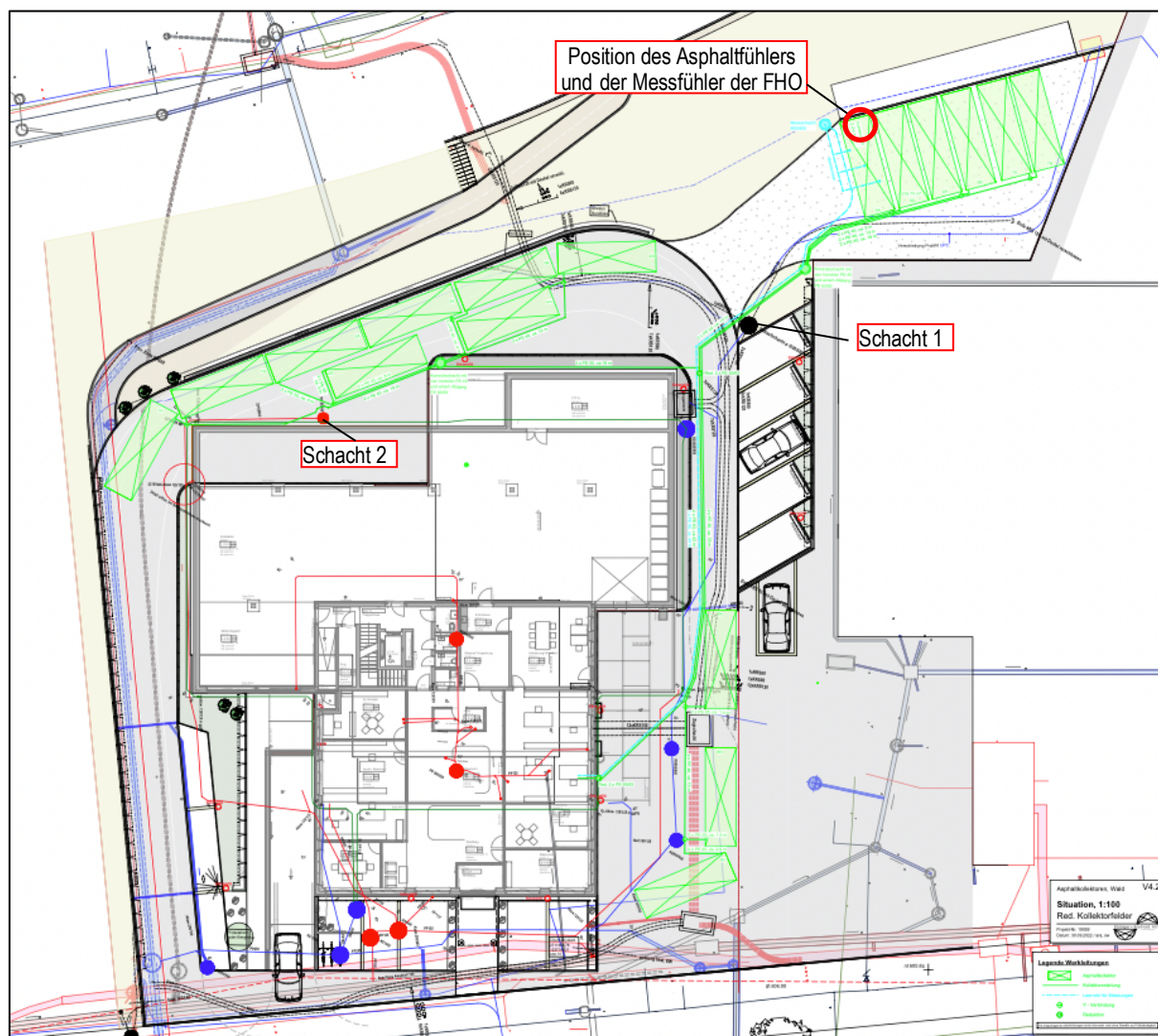
Die Steuerung der Kollektorpumpe erfolgte in den Sommermonaten 23 und 24 manuell, weil die übergeordnete Heizungssteuerung nicht bereit war. D.h. sie lief Mai bis September ununterbrochen, ca. ab anfangs Oktober nur noch 12 bis 20 Uhr. Dies erwies sich als problemlos, weil die Stunden mit zu kühlem Asphalt von Ende April bis Ende September sehr selten waren. Erst ab Sommer 2025 wurde sie entsprechend dem Schema in Kap. 3a. gesteuert. Obwohl die Pumpe 2025 im Mai nur zu 50% und im September zu 89% der Zeit lief, blieb die Übereinstimmung der aus den Temperaturdifferenzen und konstanten Durchflüssen berechneten Werte mit denen des Wärmezählers gut.

Bild 1: Der Neubau des EW Wald:



2. Anordnung der Felder des Asphaltkollektors

Bild 2: Position der 17 Kollektorfelder (grün dargestellt) östlich und nördlich des Gebäudes



Die ursprünglich 6 grösseren Felder im Kehrplatz in der SO-Ecke mussten auf 3 kleinere reduziert werden, weil die Auflagen des Nachbarn, auf dessen Grundstück diese Fläche liegt, nicht mehr akzeptierbar waren. Um die Zuleitungen zu verkürzen, wurden die Felder in der Strasse westlich zum Rohrlagerplatz in der NO-Ecke verlegt.

Die Gesamtfläche der 17 Felder beträgt $17 \times 15.4\text{m}^2 = 262\text{ m}^2$. Jedes Feld misst $2.2 \times 7\text{m}$ und verfügt über 1 Kreis à 70m Rohr.

Die Temperaturfühler im Asphalt zur Einschaltung der Pumpensteuerung und zur Analyse des Kollektorverhaltens liegen im westlichsten der 6 Felder in der NO-Ecke des Grundstücks.

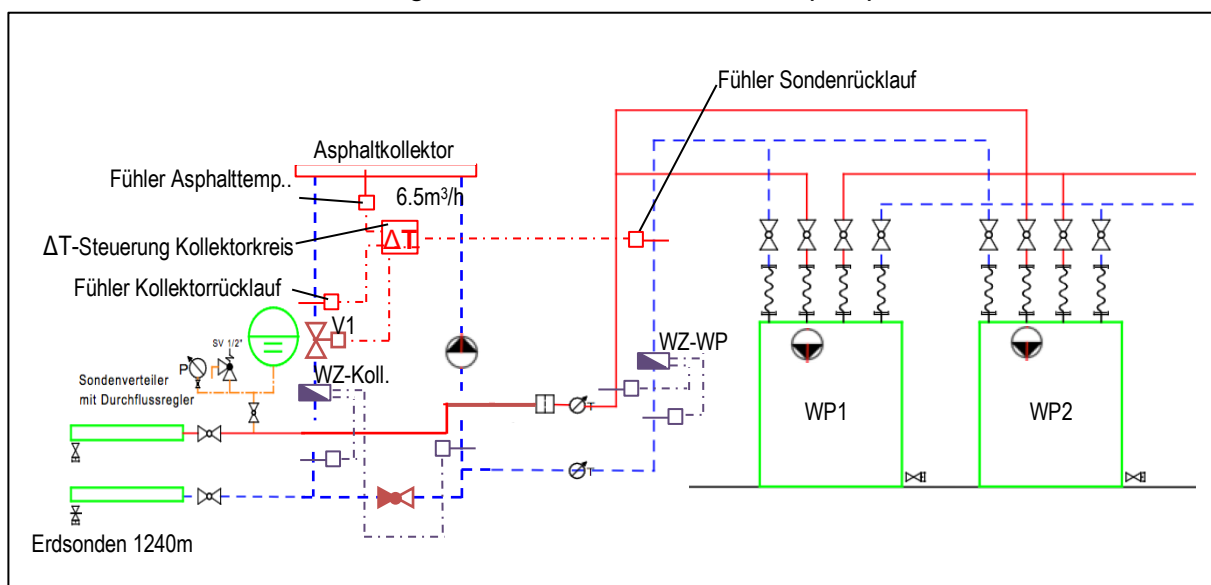
3. Einbindung des Asphaltkollektors in die Haustechnik

a. Hydraulik, Schema

Durch die Verkleinerung der Kollektorabmessungen gegenüber der ursprünglichen Planung ist auch der Durchfluss reduziert worden. Deshalb wird nur noch ein Teil der Wassermenge der Wärmepumpe über den Kollektor geführt. Das 2. elektrische Durchgangsventil im WP-Rücklauf wurde durch ein mechanisches Rückschlagventil ersetzt.

Nachdem die Messungen gezeigt haben, dass der Anteil der Raumkühlung an der regenerierten Wärmemenge hoch ist, weit höher als die Wärmeentnahme für die Warmwasserbereitung, würde eine Änderung des Schemas den Kollektorwirkungsgrad leicht erhöhen: Der Asphaltkollektor müsste die Flüssigkeit dem Vorlauf der Wärmepumpe entnehmen statt dem durch die Raumkühlung zeitweise wärmeren Rücklauf.

Bild 3: Schema der Einbindung des Kollektors in den Wärmepumpenkreis



Zum Schema: WZ-Koll: Wärmezähler im Kollektorkreis
 WZ-WP: Wärmezähler im Wärmepumpenkreis
 Kollektorkreis ein/aus: V1 offen/zu

Die Wärmezähler registrieren positive und negative Wärmemengen getrennt. Somit lassen sich aus den Angaben der beiden die gesamte Wärme-Einbringung und –Entnahme in und aus den Erdsonden berechnen.

Die Wärmezähler werden nicht wie ursprünglich vorgesehen als eigenständige Geräte gewählt, sondern ebenso wie die Differenztemperatursteuerung in das Gebäudeleitsystem integriert.

Bild 4: Die Fühler zur Einschaltung der Kollektorpumpe liegen mit grösserem Abstand zu den Rohren. Sie sollen nach einem kurzen Einschalten nicht reagieren, wenn der Vorlauf zur Zentrale im Moment noch kühler ist als der Sondenrücklauf.



Bild 5: Heizzentrale mit den beiden Ochsner Wärmepumpen mit 14 und 40 kW Heizleistung. Im Hintergrund die Anschlüsse der 6 Erdsonden.



Bild 6: Vor-und Rücklauf der 6 Erdsonden (noch ohne Wärmedämmung). Am Rücklauf angeschlossen sind die Abgänge zu den Kollektorfeldern. Zwischen den Abgängen ist das Rückschlagventil sichtbar, im Kollektorkreis im Vorlauf der Wärmezähler (WZ-Koll), das Durchgangsventil und die Umwälzpumpe.



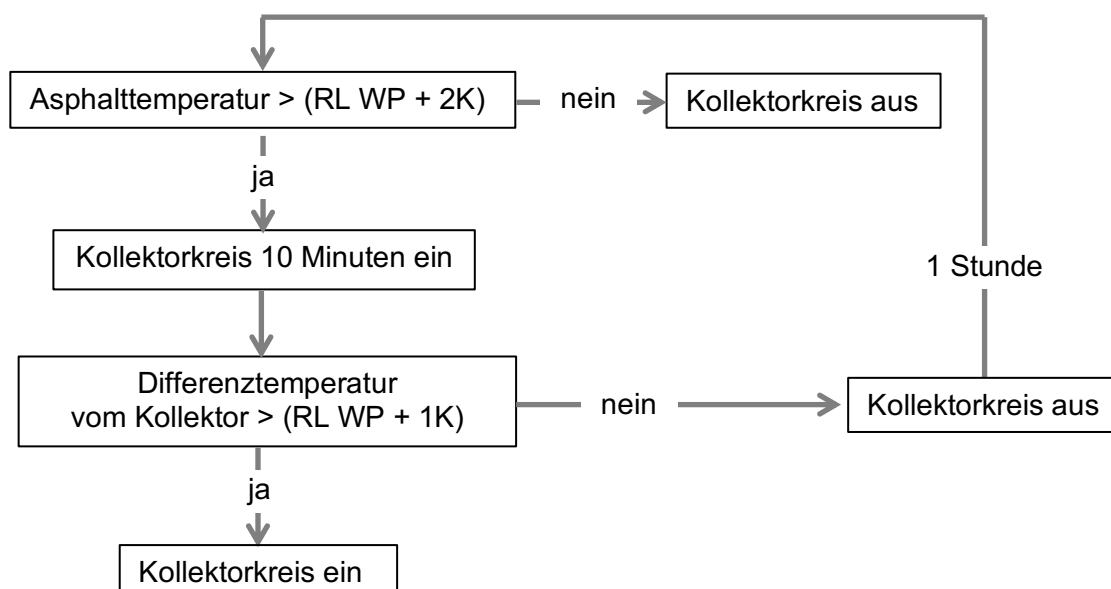
b. Steuerung:

Die Steuerung der Kollektorumwälzpumpe erfolgt über einen Differenzthermostaten zwischen Asphaltkollektor und Wärmepumpenrücklauf zur Sonde resp. Erdsondenaustritt.

Durch die unterschiedliche Beschattung des Kollektorfeldes wird es keinen eindeutigen Referenzpunkt für die Kollektormitteltemperatur geben. Die Temperatur des Wärmepumpenrücklaufs wird durch die Warmwasser-Bereitung täglich abgesenkt. In diesem Moment wird die Kollektorpumpe einschalten, wenn die Asphalttemperatur den WP-Rücklauf um 2K überschreitet.

Zum Ausschalten eignet sich der Wärmepumpenrücklauf schlecht, weil er bei abgeschalteter Wärmepumpe auf Raumtemperatur ansteigen kann. Deshalb wird dazu die Austrittstemperatur aus der Sonde verwendet.

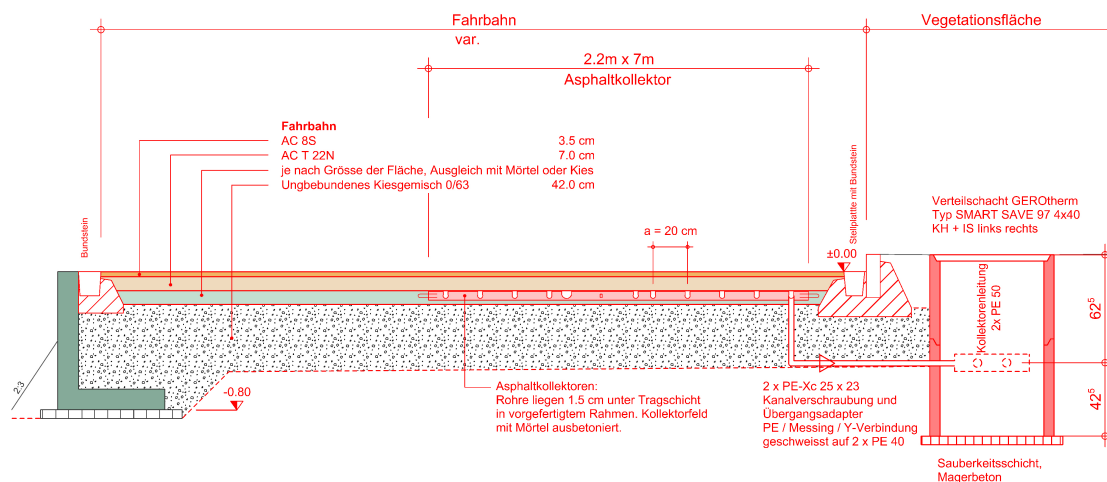
Diese Logik wird in das Leitsystem der Haussteuerung und Messwerterfassung integriert.



4. Aufbau des Kollektors

Die Asphaltüberdeckung der Kollektorrohre ist mit 7cm Trag- und 3.5cm Deckschicht ähnlich dem Bericht vom November 2019. Die Rohre sind nun aber nicht mehr im losen Kies, sondern in einer Zementmörtelschicht eingesetzt, um die Festigkeit weiter zu erhöhen, ohne die spätere Trennbarkeit zu gefährden. Die Wärmeleitfähigkeit des Gesamtaufbaus wird dadurch verbessert.

Bild 7: Schema des Kollektoraufbaus (Flückiger + Bosshard)



5. Einbau des Kollektors:

Bild 8: Zur Montage der Kollektorrohre werden Stahlrahmen geschweisst. Die Querprofile halten nicht nur die Rohre, sie verhindern auch ein Wegfließen des Zementmörtels bei geneigter Einbauposition. Dies ist auch der Grund, weshalb zur Vormontage nicht billigere Betongitter verwendet werden, wie sie für thermoaktive Decken üblich sind.

Die Längsprofile mussten in regelmässigen Abständen eingeschnitten werden, damit sich der Rahmen der Biegung der Strasse anpassen lässt.



Bild 9: Der komplette Kollektor wird an den Einbauort transportiert.

Es war vorgesehen, die Rohre in der Werkstatt einzubauen und die vorkonfektionierten Kollektoren auf die Baustelle zu liefern. Damit hätte der Rohreinbau bei mindestens ca. 18°C erfolgen können, damit sich die Rohre gut biegen lassen.

Aus terminlichen Gründen wurden die Rohre aber erst auf dem Installationsplatz auf der Baustelle eingebaut.



Bild 10: Das gleiche Feld wie in Bild 8 nach dem Einbau der Zementmörtelschicht, angepasst an die Krümmung der Strasse.



Bild 11: Zur Organisation der weiteren Arbeiten war der Wechsel zur Einlage der Rohre in eine Zementmörtelschicht eine grosse Vereinfachung, können die Felder nun doch nach dem Aushärten sofort mit schwerem Gerät befahren werden.



Bild 12: Einbringen des Zementmörtels mit dem Förderband



Bild 13: Die Rohre werden wenn möglich nicht belastet. Dank dem Abstand kann das Personal zwischen den Rohren stehen.



Bild 14: Sobald die Rohre überdeckt sind, müssen die Rohre zur gleichmässigen Verteilung der Mörtelschicht betreten werden.



Bild 15: Die Asphaltschicht wird mit einem Strassenfertiger eingebaut.



Bilder 16, 17: Während der Aufbringung der ca. 130°C heißen Asphaltschicht sind die Kunststoffrohre über die Schächte mit der Heizzentrale verbunden und werden von dort mit Kühlwasser durchströmt, um Überhitzen zu vermeiden. Anschliessend wurden die Rohre vollständig geleert und mit Frostschutz gefüllt. Die Schächte von HakaGerodur, Gerotherm Typ Smart, sind mit Abgleich-, Absperr- und Entlüftungsventilen versehen.

Die gewählte Rohrqualität von HakaGerodur:
5-Schicht Vollkunststoffrohr PE-Xc/EVOH/PE-Xc, 25x2.3mm



6. Messresultate

a. Kollektorsertrag

Tabelle 1a, 2023: Zur Bestimmung des Kollektorsertrags wurden einerseits die mit eigenen Messfühlern erfassten Vor- und Rücklauftemperaturen und die Durchflusswerte des Wärmezählers verwendet (Tabelle oben), andererseits die angezeigten Werte des Wärmezählers (Tabelle unten). Die Übereinstimmung ist sehr gut.

Im vergangenen ersten Betriebssommer wurde die Kollektorpumpe manuell geschaltet, weil die vorgesehene Steuerung der ganzen Haustechnik noch nicht in Betrieb war. Deshalb wurden auch kurze Phasen mit negativen Leistungen erhalten. Zur Bestimmung des Jahresertrags wurden 2023 nur die positiven Werte beigezogen. Die Differenz ist aber gering, wie die je letzten beiden Spalten der beiden Tabellen zeigen.

Die Erträge sind gegenüber dem Bericht von 2023 ab 26.9.23 leicht korrigiert, weil die Fühler bei nachts abgestellter Umwälzpumpe falsche Werte registrierten, wie erst im Rahmen der Auswertungen 2024 bemerkt. Zu den Werten des Wärmezählers wurde der Oktoberwert neu eingefügt.

Mit 219 kWh/m²a liegt der im Sommer 2023 gemessene Ertrag um 82% über dem mit der Simulation prognostizierten Wert 120 kWh/m² für 15cm Überdeckung (Bericht Potentialabschätzung Asphaltkollektoren vom 12.11.2019).

gem. mittl. Delta-T aus Messdosen (Durchfluss von WZ)								
2023/24	Stunden- zahl	Mittelwert Delta-T- Koll.	Mittelwert Delta-T- Koll, Werte >0.	Mittl. Leistung, kW	Mittl. Leistung, nur Werte >0, kW	Mittl. Leistung, W/m ²	Energie/ Monat, MWh	Energie/ Monat, MWh, nur >0
April, 27.-30./84 h	84.0	0.4	0.7	3.1	5.2	19.8	0.3	0.4
Mai	740.0	1.4	1.5	10.4	11.2	42.7	7.7	8.3
Juni	718.0	2.7	2.8	19.5	20.3	77.4	14.0	14.6
Juli	742.0	2.4	2.5	16.8	17.5	66.9	12.5	13.0
Aug	742.0	1.9	2.1	13.4	14.5	55.2	9.9	10.7
Sep (8 h/d ab 26.9.)	652.0	1.6	1.8	10.5	12.0	45.7	6.8	7.8
Okt (8 h/d bis 26.10.)	206.7	2.1	2.1	4.9	5.0	19.0	1.0	1.0
Jahr 2023	3884.7	1.8	1.9	11.2	12.2	46.7	52.2	55.8
							kWh/m2/a:	213

Kollektorkreis gem. Wärmezähler (ab 10.5.)									
2023/24	Mittl. Leistung, kW	Mittl. Delta-T, K	Mittl. Durch- fluss, m3/h	Leistung (Produkt), kW	Wasser- menge ges. m3/Mt.	Stunden- zahl, h	Energie/ Mt. (Produkt), MWh	Kühl- energie, reg. Wert, MWh	Heiz- energie, reg. Wert, MWh
April, 27.-30./84 h			6.6						
Mai	13.2	1.7	7	12.6	3261	466	5.9	5.9	0.26
Juni	22.8	3.1	6.8	22.3	4904	721	16.1	15.8	0.59
Juli	19.8	2.7	6.6	18.9	4891	741	14.0	14	0.62
Aug	16.9	2.3	6.6	16.1	4902	743	12.0	11.9	0.65
Sep (8 h/d ab 26.9.)	12.2	1.8	6.67	12.7	4298	644	8.2	8.24	0.53
Okt (8 h/d bis 26.10.)	2	0.5	6.7	3.6	977	146	0.52	1.46	0.01
Jahr 2023					22256.0	2920.2	56.1	57.3	2.7
						kWh/m2/a:	214	219	10

Tabelle 1b, 2024: Wiederum zeigt die obere Tabelle den Kollektorertrag auf Basis der mit den eigenen Messfühlern erfassten Vor- und Rücklauftemperaturen und der Durchflusswerte des Wärmezählers, die untere die Werte des Wärmezählers. Bis Mitte August funktionierten zwei Messfühler im Kollektorkreis nicht, weshalb für April bis August nur die Werte des Wärmezählers verfügbar sind (blaue Werte in oberer Tabelle). Nachdem die Übereinstimmung 2023 aber sehr gut war und auch im September 24 wieder gut ist, ist der resultierende Ertrag auch für 2024 zuverlässig. Die schlechte Übereinstimmung im Oktober muss im Zusammenhang mit dem intermittierenden Betrieb der Umwälzpumpe von 10 bis 20 Uhr und den absolut kleinen Wärmemengen stehen; beim Einschalten der Pumpe mittags verändern sich die Temperaturen rasch, so dass der übliche 2-Stunden-Rhythmus der Erfassung zu ungenau ist.

Auch im Sommer 24 wurde die Kollektorpumpe manuell geschaltet, weil die vorgesehene Steuerung der Haustechnik nach wie vor nicht in Betrieb ist. Deshalb wurden erneut auch Phasen mit negativen Leistungen erhalten, ausgelöst durch den Kühlbetrieb und die Warmwasserbereitung. Zur Bestimmung des Jahresertrags konnten 2024 nur die Werte des Wärmezählers verwendet werden.

Mit 198 kWh/m²a liegt der im Sommer 2024 gemessene Ertrag fast 10% unter dem Wert von 2023 von 219 kWh/m². Während 2023 die Zahl Sonnenstunden von April bis Oktober für Zürich 112% vom Standardwert betrug, lag er 2024 bei nur 88%, was den Unterschied zumindest plausibel macht.

gem. mittl. Delta-T aus Messdosen (Durchfluss von WZ)								
2023/24	Stunden- zahl	Mittelwert Delta-T- Koll.	Mittelwert Delta-T- Koll, Werte >0.	Mittl. Leistung, kW	Mittl. Leistg, nur Werte >0, kW	Mittl. Leist. W/m ²	Energie/ Monat, MWh	Energie/ Monat, MWh, nur >0
Apr (ab 19.4.)								1.5
Mai								7.6
Juni								10.0
Juli								13.5
Aug (ab 16.8.)	362.0	1.7	2.0	13.0	14.9	56.8	4.7	12.8
Sep	718.0	0.9	1.0	6.3	7.7	29.4	4.5	5.5
Okt	309.2	0.3	0.4	1.0	1.3	4.9	0.3	0.4
Jahr 2024		1.2	1.4	5.0	6.2	23.8		51.4
							kWh/m2/a:	196

a-T aus Messdosen (Dur Kollektorkreis gem. Wärmezähler (ab 10.5.))									
2023/24	Mittl. Leistung, kW	Mittl. Delta-T, K	Mittl. Durch- fluss, m3/h	Leistg. (Produkt), kW	Wasser- menge ges. m3/Mt.	Stunden- zahl, h	Energie/ Mt. (Produkt), MWh	Kühl- energie, reg. Wert, MWh	Heiz- energie, reg. Wert, MWh
Apr (ab 19.4.)	3.3	0.7	2.2	1.6	1568	713	1.2	1.5	0.86
Mai	10.5	1.4	6.72	10.0	4997	744	7.4	7.6	0.18
Juni	14.4	2	6.72	14.2	4841	720	10.3	9.95	0.44
Juli	19.1	2.6	6.71	18.5	4989	744	13.7	13.5	0.72
Aug (ab 16.8.)	18.7	2.6	6.71	18.5	4975	741	13.7	12.8	1.1
Sep	9.2	1.3	6.71	9.2	4872	726	6.7	5.7	0.92
Okt	1.6	0.5	6.71	3.6	2151	321	1.1	0.91	0.31
Jahr 2024					28393.0	2995.2	54.2	52.0	4.5
						kWh/m2/a:	207	198	17

Tabelle 1c, 2025: Wiederum zeigt die obere Tabelle den Kollektorertrag auf Basis der mit den eigenen Messfühlern bestimmten Vor- und Rücklauftemperaturen und der Durchflusswerte des Wärmezählers, die untere die Werte des Wärmezählers.

2025 wurde die Umwälzpumpe des Kollektorkreises anhand der gemessenen Temperaturdifferenzen geschaltet. Ausschaltungen erfolgten fast nur in den Monaten April, Mai und Oktober. Die Übereinstimmung der mit den Temperaturdifferenzen und konstantem Durchfluss über alle Stunden gerechneten Werte (Spalte Energie/Monat, MWh, nur >0) mit den Werten des Wärmezählers (Spalte Kühlenergie, reg. Wert, MWh) bleibt trotzdem auch für diese Monate erstaunlich gut.

Eine unerklärliche Ausnahme bildet der Monat Mai, zu dem aber auch die wärmezähler-internen Werte «Energie/Mt. (Produkt)» mit 3.8 MWh und «Kühlenergie» mit 6.12 MWh weit voneinander abweichen.

gem. mittl. Delta-T der Messdosen und Durchfluss des Wärmezählers								
2025	Stunden-zahl	Mittelwert Delta-T-Koll.	Mittelwert Delta-T-Koll, Werte >0.	Mittl. Leistung, kW	Mittl. Leistg, nur Werte >0, kW	Mittl. Leist. W/m ²	Energie/ Monat, MWh	Energie/ Monat, MWh, nur >0
Apr (ab 15.4.25)	718.0	0.9	0.9	6.3	3.5	13.4	4.5	2.5
Mai	742.0	1.5	1.6	11.4	11.5	43.9	8.4	8.5
Juni	718.0	2.6	2.6	19.0	19.4	73.9	13.7	13.9
Juli	742.0	2.0	2.0	14.5	14.8	56.6	10.8	11.0
Aug	743.0	1.9	1.9	13.8	14.3	54.5	10.3	10.6
Sep	718.0	0.8	0.9	6.2	6.6	25.3	4.5	4.8
Okt							0.7	
Jahr 2025		1.6	1.7	11.9	11.7	44.6	52.8	51.3
							kWh/m2/a:	196

Messdosen und Durchfl. Kollektorkreis gem. Wärmezähler (ab 15.4.)									
2025	Mittl. Leistung, kW	Mittl. Delta-T, K	Mittl. Durchfluss, m3/h	Leistg. (Produkt), kW	Wassermenge ges. m3/Mt.	Stunden-zahl, h	Energie/ Mt. (Produkt), MWh	Kühlenergie, reg. Wert, MWh	Heizenergie, reg. Wert, MWh
Apr (ab 15.4.25)	4.3	1	3.76	4.0	2697	717	2.9	2.85	0.21
Mai	8.3	1.3	3.71	5.1	2751	742	3.8	6.12	0.01
Juni	19.2	2.6	6.33	17.4	4556	720	12.6	13.6	0.18
Juli	15.6	2.1	6.66	14.8	4853	729	10.8	11.2	0.34
Aug	15.5	2.1	6.65	14.8	4950	744	11.0	11.1	0.38
Sep	7.4	1	6.16	6.5	4436	720	4.7	5.1	0.22
Okt								0.5	
Jahr 2025					24243.0	4371.7	45.7	50.5	1.3
						kWh/m2/a:	175	193	5

Bild 18: Die monatlichen Erträge bilden die Sonnenstunden, den Sonnenstand und die mittleren Aussentemperaturen ab. Das erklärt die sehr tiefen Werte in den Monaten April und Oktober. Im April werden primär die Aussentemperaturen, im Oktober der Schattenwurf sichtbar.

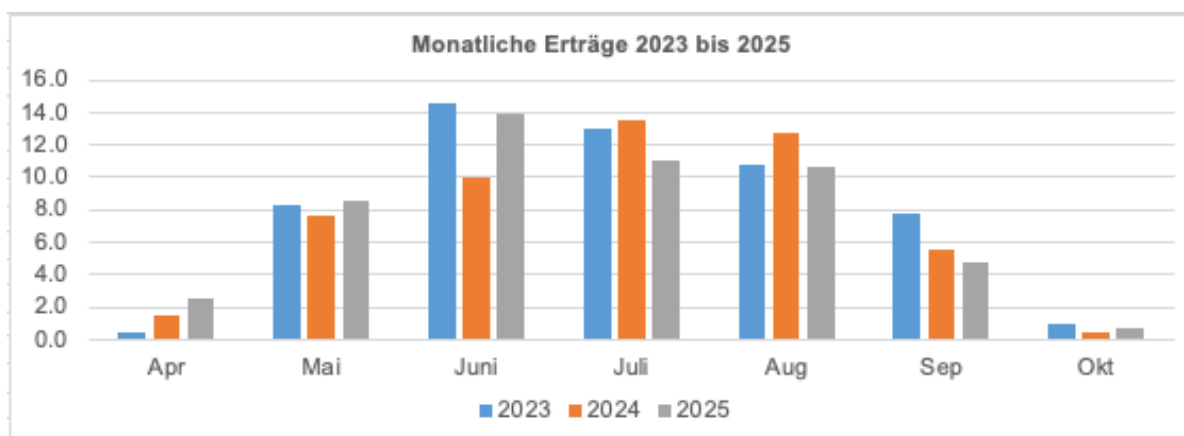


Tabelle 2, 2023-25: Vergleich der Wärmemengen aus Temperaturdifferenzen im 2 h-Mittel und Durchfluss mit den Werten des Wärmezählers: Weil die Temperaturen sehr träge ändern, unterscheiden sich die resultierenden Werte nur minimal. Die wetterabhängigen Abweichungen von 2024 und 2025 gegenüber 2023 sind mit -6.9 resp. -8.4% ebenfalls klein.

	mit Delta-T	von WZ	Abweich, %	Abweich, %
April-Okt 23, kWh/m2a	213.1	213	0.0	100.0
April-Okt 24, kWh/m2a	195.8	198	-1.3	-6.9
April-Okt 25, kWh/m2a	207.7	195	6.0	-8.4

Der **Stromverbrauch der Umwälzpumpe** von 212 W (sh. Anhang III) beträgt nur 1.3% des mittleren Wärmeertrags von April bis Oktober. Soll die Pumpe bei einem Pumpenstromanteil von 10% der Wärmeleistung abgestellt werden, ist dies bei einem Delta-T des Kollektorkreises von 0.3 K der Fall. Die Differenz kann aber auch etwas grösser gewählt werden, um ungenauen Temperaturfühlern entgegenzuwirken, da aufgrund der Speicherwirkung des Asphalts eine kleine Wärmeintragsleistung auch in Intervallen genutzt werden kann.

6b. Heizwärmebedarf versus Kollektorertrag und Abwärme der Raumkühlung

Tabelle 2a: Die Tabelle zeigt die monatlichen Heiz- und Kühlenergien im Solekreis der Wärmepumpen in den Sommern 23 bis 25. Der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung ist sehr ungenau, weil die Temperaturfühler des Wärmezählers etwa 0.2K systematische Abweichung aufweisen, was sich für die kleinen Heizwärmemengen im Sommer, wenn die Pumpe rund um die Uhr in Betrieb steht, sehr stark bemerkbar macht.

Der Wärmebezug für die Warmwasserbereitung ist im Sommer 25 aber tatsächlich deutlich tiefer als in den beiden Vorjahren, weil die dafür dominante Zirkulation nur noch 55 Stunden pro Woche eingeschaltet ist, gegenüber 168 Stunden bisher.

MWh	Mai-Sept. 23		Mai-Sept. 24		Mai-Sept. 25	
Monat	Kühl-en. ¹⁾	Heiz-en. ¹⁾	Kühl-en. ¹⁾	Heiz-en. ¹⁾	Kühl-en. ¹⁾	Heiz-en. ¹⁾
Mai	1.30	1.59	1.83	1.22	1.22	0.29
Juni	5.64	0.75	3.47	0.87	4.31	0.03
Juli	5.90	0.89	6.20	0.50	4.31	0.17
Aug	4.75	1.06	8.00	0.50	4.56	0.12
Sep.	3.93	0.82	3.50	1.30	1.71	0.16
Summe Mai-Sept	21.5	5.1	23.0	4.4	16.1	0.8

Tabelle 2b:

Obwohl der Kollektor deutlich kleiner gebaut wurde als geplant, übersteigt der Wärmegewinn den Bezug deutlich. Einerseits liefert der Kollektor mehr Wärme und andererseits ist der Wärmebedarf kleiner (gem. SIA-Systemnachweis $124.2 \text{ MJ/m}^2 / 2217 \text{ m}^2 \triangleq 76 \text{ MWh}$) als erwartet. Der Anteil der Raumkühlung am Wärmebezug beträgt beachtliche 39% für die Periode 23/24 und 42% für 24/25.

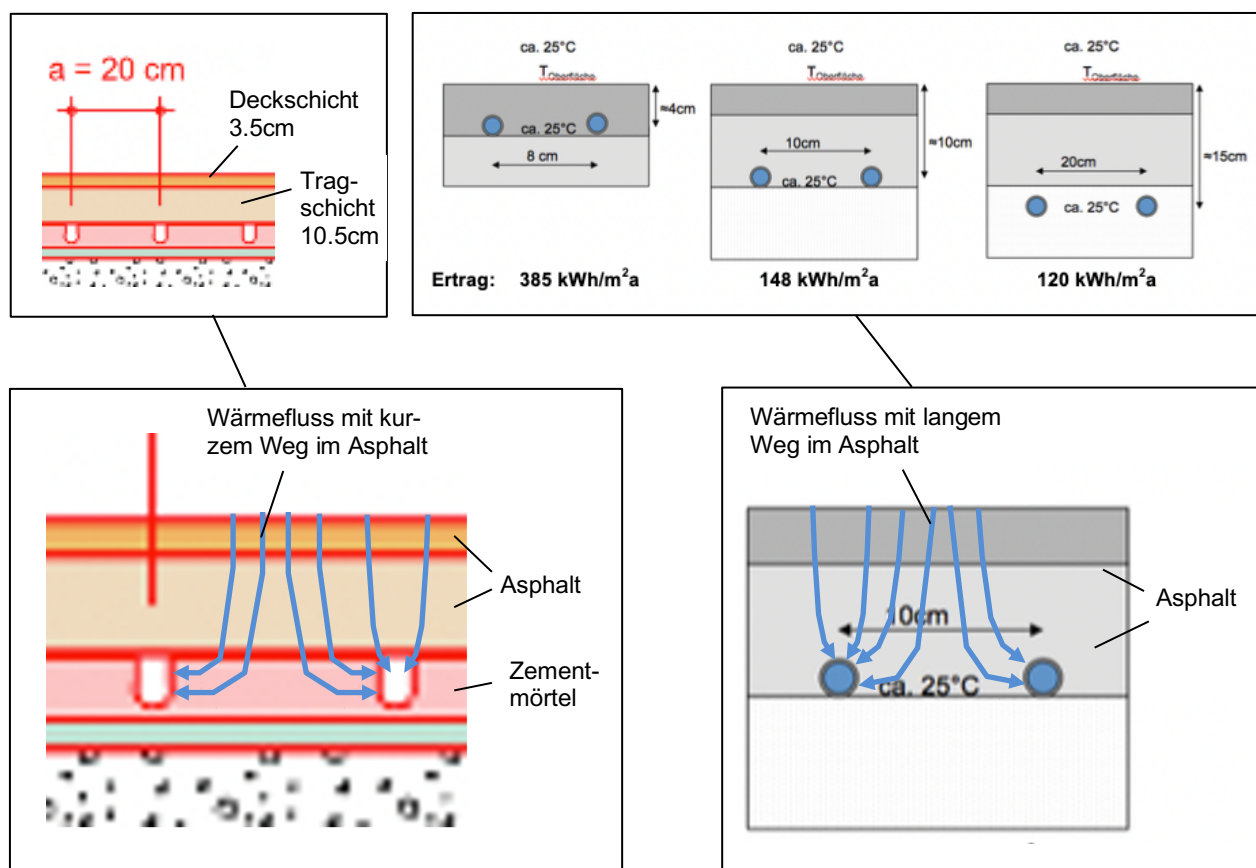
		Mai 23 - April 24	Mai 24 – April 25
Rücklieferung: Asphaltkollektor	MWh	56	51
Rücklieferung aus Raumkühlung	MWh	22	23
Rücklieferung gesamt	MWh	78	74
Wärmebezug	MWh	56	55
Rücklieferung netto	MWh	22	21
Anteil Rücklieferung am Wärmebezug	%	139	135
Anteil Rücklief.-Raumkühl. an W-bezug	%	39	42

6c. Diskussion des erhöhten Ertrags gegenüber der Simulation

Der Ertrag ist sehr stark von der Überdeckung der Kollektorrohre abhängig. Die aus Sicht des Wärmeertrags bevorzugte Variante mit direkt in den Asphalt eingelegten Kollektorrohren entfällt, weil diese nicht mehr vom Asphalt trennbar wären, ein vollständiges Recycling des Asphalts deshalb unmöglich. In der Ausführung liegen die Rohre mit ca. 20cm Abstand unter 10.5cm Asphalt plus ca. 3cm Zementmörtel. Die Stärke der Überdeckung liegt damit näher der rechten als der mittleren der simulierten Varianten.

- Die Zementmörtelschicht weist eine deutlich bessere Wärmeleitfähigkeit von 2.3 W/mK gegenüber 0.7 W/mK für Asphalt auf. Das bedeutet, dass der Wärmestrom weitgehend senkrecht durch die Asphaltschicht verläuft und horizontal weitgehend im Beton, wie in Bild 19 unten dargestellt. Die Strecke des Wärmeflusses im Asphalt wird damit kürzer.

Bild 19: Realisierter Kollektoraufbau (links) und 2019 simulierte Aufbauvarianten (rechts)



- Ein zweiter Grund liegt möglicherweise in der Differenz der Kollektortemperatur von Simulation und Messobjekt. Leider ist die Simulation von 2019 nicht mehr verfügbar, um dies zu verifizieren. Gemäss den neuen Simulationen des Instituts für Solartechnik der OST¹⁾ gibt es dazu eine ganz starke Abhängigkeit.

¹⁾ «AsphaltReg, Demonstration und Optimierung eines rezyklierbaren Asphaltkollektors zur Regeneration von Erdsonden» OST, SPF, Alexander Schmitt, Florian Ruesch, Kevin Meili, Schlussbericht Dezember 2025.

6d. Kollektor- und Erdsondentemperaturen, Eignung zur passiven Raumkühlung

Bild 20a: Folgende Temperaturkurven zeigen die Zeiten aktiver Raumkühlung in der Periode von 1. bis 9. Juli 23 anhand des heizungsseitigen Austritts der Wärmepumpe 2 (dunkelblaue Linie). Sinkt diese plötzlich ab, steigt die Eintrittstemperatur des Kollektors (rote Linie) und dessen Mitteltemperatur (grüne Linie, um ca. 5K) sowie die Wärmezufuhr zur Sonde (Absinken der hellblauen Linie). Da der Kollektor sehr träge reagiert, fällt seine Differenztemperatur (gelbe Linie) kurzzeitig ab, teils zu negativen Werten.

Überlagert führt die Warmwasserbereitung durch die WP1 zu Sprüngen der Eintrittstemperatur zum Kollektor. Schaltet WP1 ein, sinkt die Eintrittstemperatur zum Kollektor plötzlich, um bei Ausschalten wieder gleich rasch anzusteigen.

Im Mittel werden die Wärmezufuhr und -entnahme den erfassten Kollektorertrag nicht verfälschen, sondern nur beim Ein- und Ausschalten zu gegensätzlichen Sprüngen führen. Allerdings führen Wärmezufuhr und -entnahme zu erhöhten resp. abgesenkten Kollektormitteltemperaturen und damit zu veränderten Wärmeverlusten resp. -gewinnen mit der Umgebungsluft. Die Raumkühlung dürfte die ausgewiesenen Erträge des Kollektors damit etwas vermindern, die Warmwasserbereitung etwas erhöhen. Die Wirkung lässt sich nur schwer abschätzen.

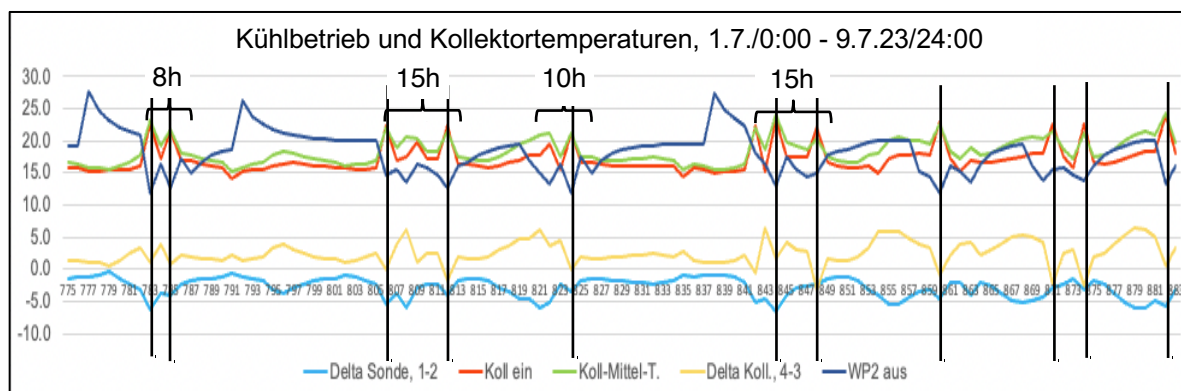


Bild 20b: In der Periode von 22.9. bis 30.9.24 wurde der Raum nicht mehr gekühlt. Die Sprünge der Temperaturen von Kollektor und Erdsonde sind eine Folge der Warmwasserbereitung. Diese lässt die Eintrittstemperatur in den Kollektor bei Betriebsbeginn sprunghaft absinken, bei Betriebsende wieder plötzlich ansteigen. Da die Betriebsphasen immer kurz sind, lässt sich die resultierende Abnahme der Mitteltemperatur mit dem gewählten 2-Stunden-Intervall der Temperaturerfassung nicht feststellen. Es werden deshalb auch bei weitem nicht alle Betriebsphasen gleich stark sichtbar.

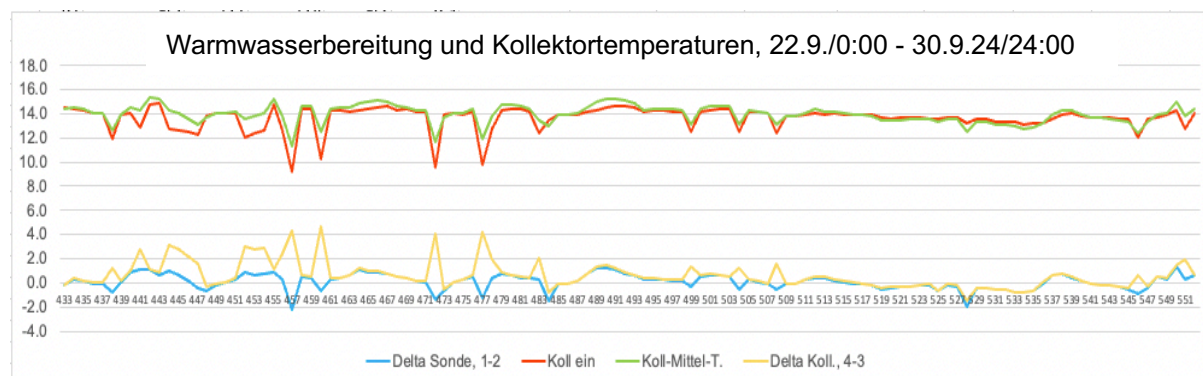
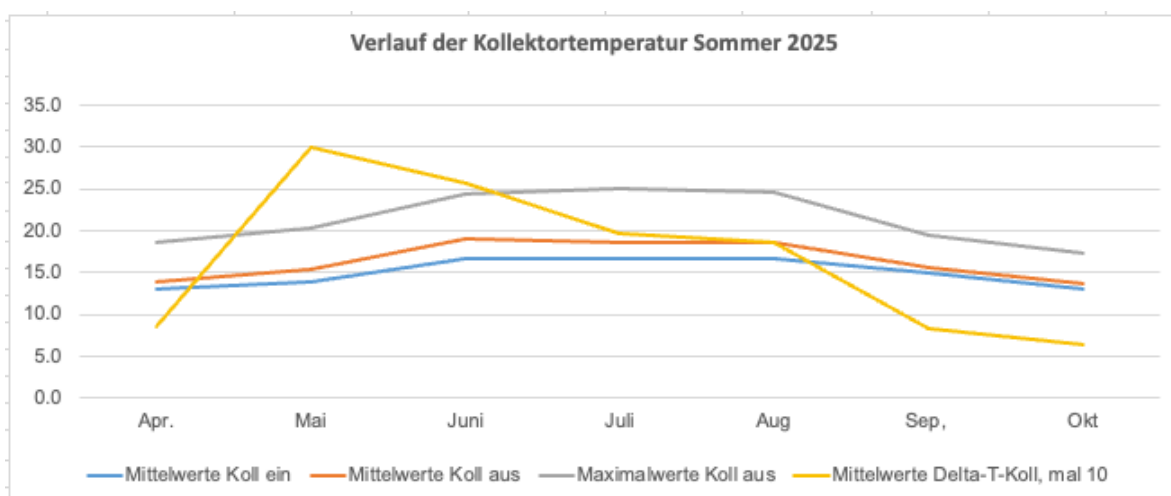
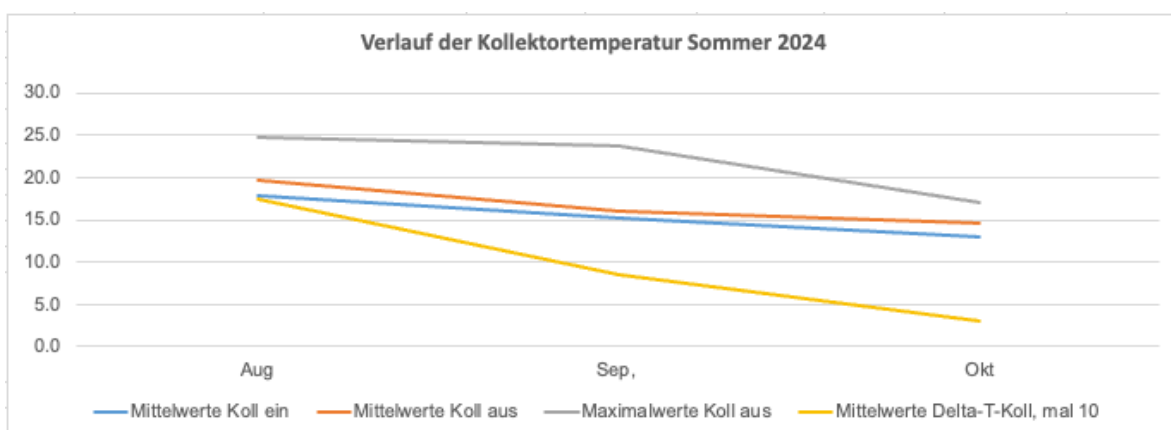
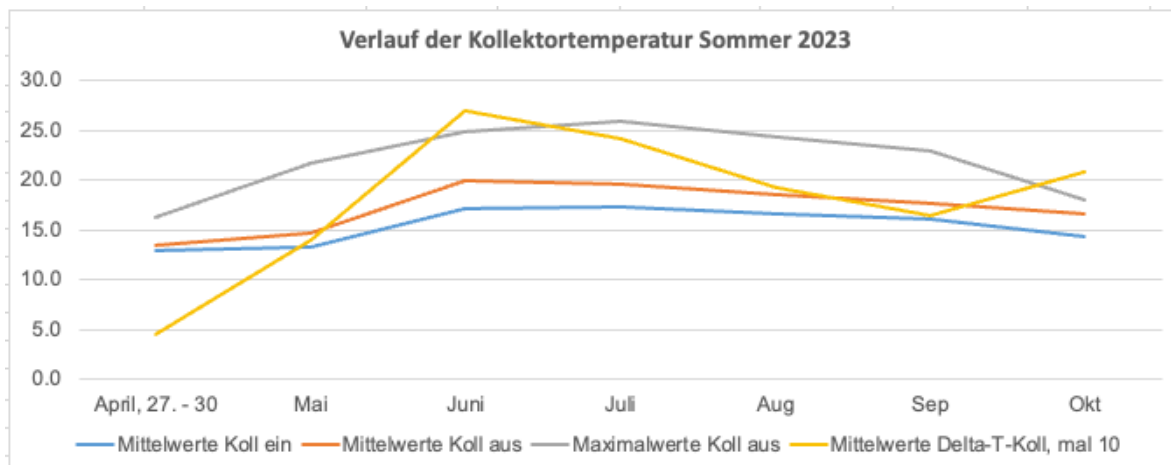


Bild 21: Der Temperaturanstieg im Kollektor bewegt sich im Monatsmittel von 0.5 K (April 23) bis 3 K im Mai 25 (10-fache Werte dargestellt zur besseren Ablesbarkeit). Die kleine Temperaturdifferenz wurde gewählt, um die Wärmeverluste klein zu halten. Die maximale Austrittstemperatur aus dem Kollektor beträgt 25°C, 26°C nur einmal im Juli 23, im Monatsmittel aber bis maximal 20°C im Juni 23, liegt also im Bereich der mittleren Aussentemperatur von ebenfalls 20°C in diesen Monaten. Die für den Wärmeverlust an die Umgebung verantwortliche Oberflächentemperatur des Asphalts liegt aber wesentlich höher, wie Abschnitt 6e. zeigt.



Verlauf der Sondentemperatur und Raumkühlung:

Bild 22, oberes Diagramm: Die Regeneration der Erdsonden hebt deren Temperaturniveau im Sommer stark an, mit einem maximalen Monatsmittelwert von 18.4° im Juli 23 und von 18.9° im August 24. Im Verlauf des Winters 23/24 sinkt deren Mitteltemperatur auf ein immer noch erfreulich hohes minimales Monatsmittel von 10°C im Januar 24 und 10.3°C im Januar 25 ab.

Die Austrittstemperatur des Kollektors entspricht der Eintrittstemperatur in die Sonde. Deren Maximum erreicht 25°C im Juli 23, das im Sommer 24 nicht mehr ganz erreicht wurde, als Folge der deutlich tieferen Sonnenstunden. Die Austrittstemperatur aus der Sonde steigt im August 23 und 24 maximal auf nur 19°C, im Juli 25 auf 19.5°C. Mit diesen Maxima unter 20°C hätte die Sonde trotz der Regeneration während beider Sommer zur passiven Raumkühlung über die Flächenheizung verwendet werden können. Würden die Erdsonden nur entsprechend dem Wärmebedarf regeneriert, statt wie hier mit 137%, so würde die Sondenaustrittstemperatur tiefer ausfallen.

Bild 22, unteres Diagramm: Man würde erwarten, dass die Monatsmitteltemperatur der Sonden bei grösserer Wärmezufuhr steigt und bei grösserer Wärmeentnahme sinkt. Tatsächlich steigt sie aber meist auch, wenn die Wärmeentnahme sinkt und sie sinkt auch, wenn die Wärmezufuhr abnimmt. Dies folgt aus dem für den Wärmeabfluss ins Erdreich notwendigen Temperaturgefälle, das bei grossen monatlichen Leistungen grösser ist als der Anstieg des sondenferneren Erdreichs.

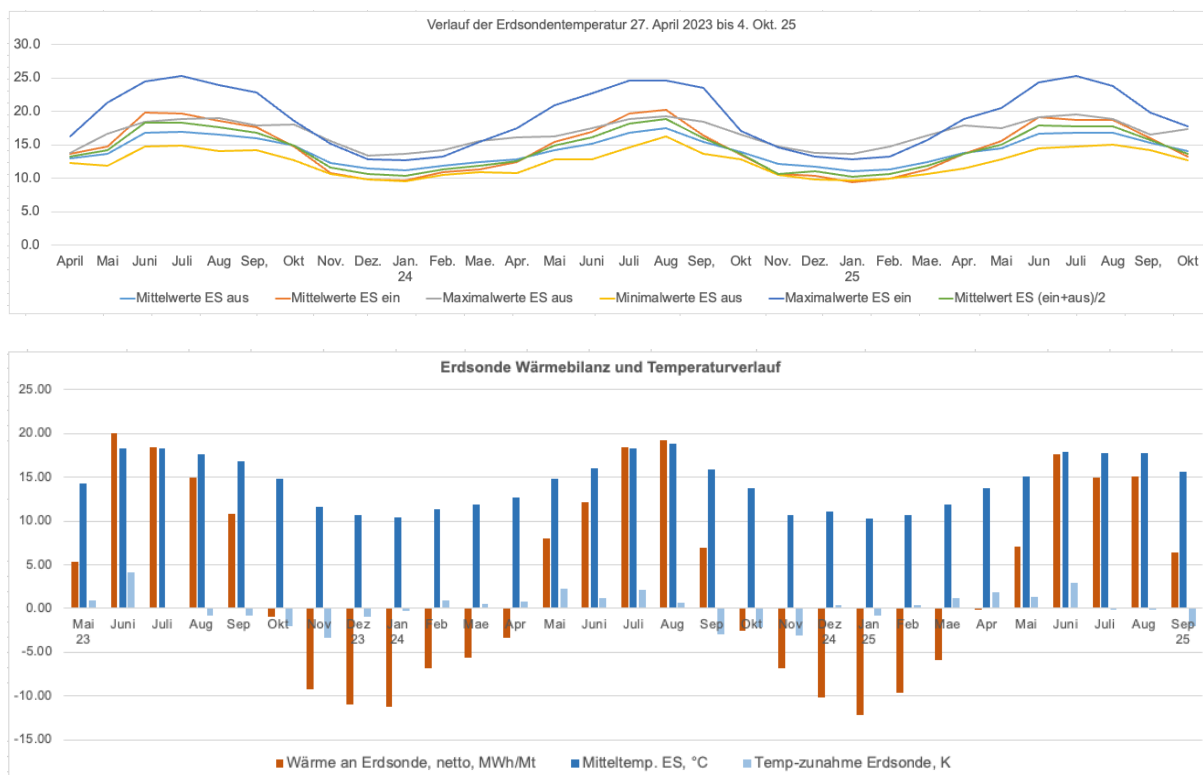


Tabelle 3: Vergleich der Sondentemperatur mit anderen Projekten zur Erdsondenregeneration. Die mittleren Sommertemperaturen der drei Erdsonden sind sich sowohl im Sommer wie auch im Winter sehr ähnlich.

Hingegen liegt der Maximalwert der Sondentemperatur in Wald deutlich tiefer als in den anderen beiden Fällen, was durchaus den Erwartungen entspricht, da einerseits der Asphaltkollektor träge reagiert und die Wärmeabfuhr rund um die Uhr stattfinden kann, mit Ausnahme kurzer Momente mit starkem Anstieg der Kollektoreintrittstemperatur durch die aktive Raumkühlung (sh. Bild 20). Andererseits ist die Erdsondenlänge in Wald im Vergleich zu den anderen beiden Projekten sehr gross. Das erklärt auch den geringeren Abfall der Sondenmittemperatur im Mittel des kältesten Monats gegenüber dem Haus Bargezi.

	Bericht ¹⁾	EFH Bargezi ²⁾	EW Wald
Kollektortyp	PVT-Kollektor	Sonnenkollektor unverglast	Asphaltpoll.
Jährlicher Wärmebezug/Sondenmeter	44.4MWh/500m = 88 kWh/m/a	25.4MWh/320m = 79 kWh/m/a	56MWh/1240m = 40 kWh/m/a
Verhältnis Regeneration/Wärmebezug:	104 %	140%	137%
Mittlere Sondentemperatur* Okt.-Apr.:	12.8°C	12.5°C	11.8
Mittlere Sondentemperatur* Mai-Sep.:	18.0°C	16.3°C	17.0°C
Mittlere Sondentemperatur Maximalwerte Sommer:	24°C	27°C	18.9°C
Mittlere Sondentemperatur, Minimalwert Monatsmittel Winter	-	6.2°C	10.3°C

* Mittelwert zwischen Vor- und Rücklauf

- ¹⁾ Lennart Rogenhofer, ETH Zürich, und Pascal Leumann, ewz: Vergleich verschiedener Energieerzeugungskonzepte in vier Mehrfamilienhäusern; BFE, EWZ, kant. Baudirektion Zürich, Schlussbericht 6.12.2018.
- ²⁾ Messprojekt Regeneration der Erdsonden mit Sonnenkollektor des EFH Bargezi, Kriesi Energie GmbH, Schlussbericht Dez. 2025

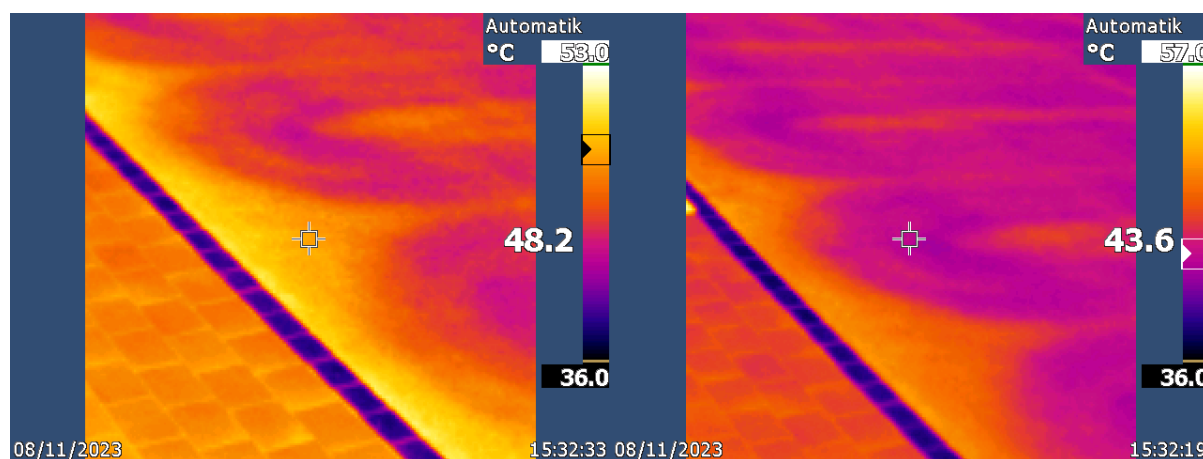
6e. Kühlwirkung durch den Kollektor für die Umgebung

Beispiel des wolkenlosen 11.8.23, Aussentemperatur 28°C:

Zur Bestimmung der Kühlwirkung wird die Differenz des Strahlungsaustauschs der Strassenoberfläche ohne zu mit eingelegten Rohren und einem schwarzen Körper im Schatten, d.h. mit z.B. 28°C, verwendet.

- Der Strahlungsaustausch ΔE erfolgt proportional zur 4. Potenz der absoluten Temperaturen der beiden Oberflächen:
 $\Delta E: \quad \varepsilon \times (((T_{o1}/100)^4 - (T_u/100)^4) - (((T_{o2}/100)^4 - (T_u/100)^4))$
- Temperaturen:
 Asphaltoberfläche ohne Rohre $T_{o1} = 273 + 48.2 = 321.2K$
 Asphaltoberfläche mit Rohren $T_{o2} = 273 + 43.6 = 316.6$
 Umgebung, Person $T_u = 273 + 28 = 301K$
- Relativer Austausch $\Delta E/E$: $\Delta E / \varepsilon \times (((T_{o1}/100)^4 - (T_u/100)^4) =$
 $= ((3.212^4 - 3.01^4) - (3.166^4 - 3.01^4)) / (3.212^4 - 3.01^4)$
 $= ((106.4 - 82.1) - (100.5 - 82.1)) / (106.4 - 82.1)$
 $= (24.3 - 18.4) / 24.3 = \mathbf{24\%}$

Bild 23: Entgegen den Erwartungen ist die Kühlwirkung des Asphaltkollektors für eine Person neben der Strasse mit einer rund ¼ tieferen Wärmezufuhr durchaus spürbar.



7. Kollektorkosten, Zielwert

a. Kollektorkosten

Tabelle 4: Gegenüber den Abschätzungen im Bericht von 2019 lag bereits der Planungswert des Kollektors in Wald 59% höher und die Ausführung schliesslich 315%. Dank dem 1.7-fach höheren Ertrag steigt aber auch der wirtschaftlich gleichwertige Preis, so dass die Ausführung noch 160% zu teuer ausgefallen ist.

		Bericht 2019				Planung Wald		Ausführung Wald	
		300m ²		pro m ²		430m ²	pro m ²	262	pro m ²
				120kWh/m ²	200kWh/m ²				200kWh/m ²
1	Baustelleneinrichtung								
	10% von Bausumme	6963	6963	23.2	23.2		5165	12.0	
2	Vorbereitungsarbeiten		2790	0.0	9.3		11590	27.0	
	Abtragung, Entsorgung Kies 6cm	1290		4.3					
	Rohplanie	1500		5.0					
3	Asphaltkollektor		9275	0.0	30.9		24480	56.9	60077
	Lieferung	6500		21.7					
	Verlegung	2500		8.3					
	Ergänzung Kies	275		0.9					
4	Vor-/Rücklauf, Zentrale	175	175	0.6	0.6				7993
5	Übergabeschacht	3500	3500	11.7	11.7		15500	36.0	12638
6	Längsleitungen		5830	0.0	19.4		11650	27.1	23211
7	Elektroinstallationen			0.0				0.0	5000
Kosten gesamt			28533	95.1	95.1	159	68385	159.0	108919
8	Abschlüsse, Belagsarbeiten	22335	22335	74.5	74.5		44000	102.3	

Die zu hohen Kosten dieses ersten ausgeführten Kollektors sind ein Resultat der unvermeidlichen Unsicherheiten, die bei der Ausführung eines Pilotprojektes entstehen. Aus Vorsicht werden dann zuverlässigere, aber halt teurere Lösungen gewählt. Rund 10% Reduktion ergeben sich bereits, weil die Nachrechnung ergeben hat, dass die Abgrenzung der Kollektorkosten nicht korrekt war.

Zur Klärung der Machbarkeit eines Anschlussprojekts im Herbst 2024 in Pontresina wurden die Kollektorkonstruktion, die Führung der Anschlussrohre und die Wahl der Schächte durch die Autoren nochmals deutlich vereinfacht. Das senkte die geplanten Kosten bis unter den wirtschaftlichen Zielwert gemäss dem Nachfolgekapitel 7b. Das Projekt konnte leider trotzdem nicht realisiert werden, weil sich die Breite des Strässchens im Verhältnis zum hohen Wärmebedarf der angrenzenden älteren Bauten als zu klein erwies.

b. Zielwert der max. idealen Kollektorkosten

Im Bericht Potentialabschätzung Asphaltkollektoren, AWEL 2019, Kriesi Energie GmbH, Flückiger & Bosshard AG, wurden anhand einer Musteranlage einer Mehrfamilienhaussiedlung die Sondenlängen für 50 Jahre Nutzungsdauer ohne und mit vollständiger Regeneration und gleiche Jahresarbeitszahl berechnet. Im Minimum steht damit die Kosteneinsparung durch die kürzeren Sonden zur Finanzierung des Asphaltkollektors zur Verfügung. Dies würde einem Idealfall entsprechen, bei dem die Investitionen mit und ohne Regeneration gleich hoch sind.

Tatsächlich hat die Lösung mit Regeneration aber einen wesentlich höheren Wert, da das Erdreich in diesem Fall nach 50 Jahren immer noch die Ausgangstemperatur besitzt und die Sonden voraussichtlich weiter genutzt werden können, während es ohne Regeneration ausgekühlt wäre und eine neue Wärmeerzeugung erstellt werden müsste.

Tabelle 5: Notwendige Grösse des Asphaltkollektors mit den Daten der Musteranlage:

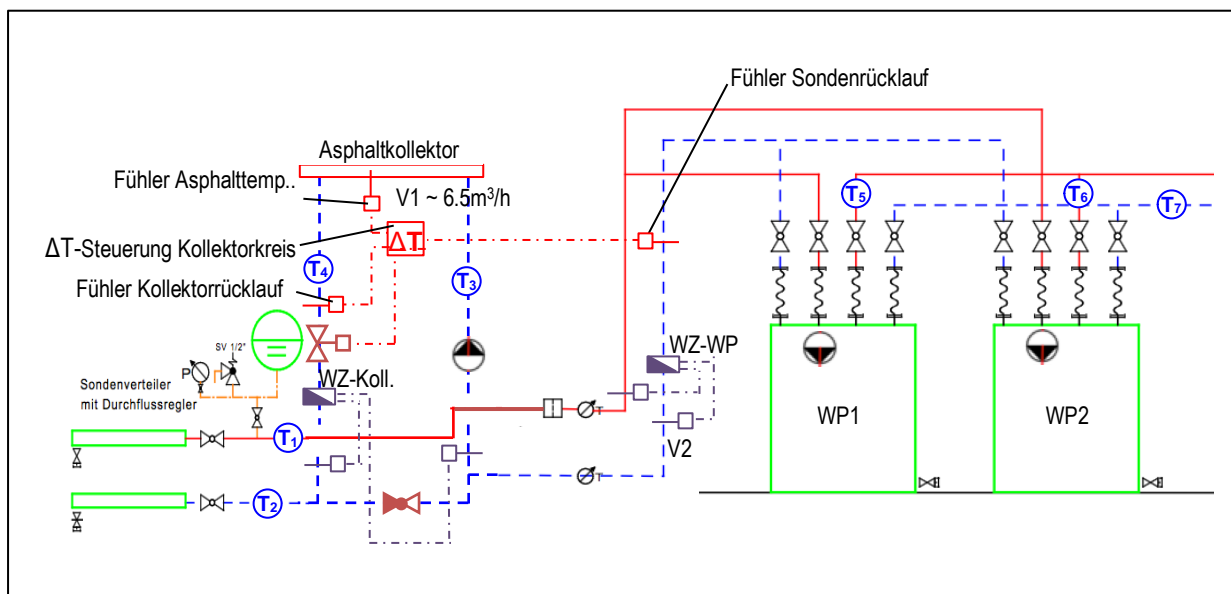
Komponente	Anlage	pro kW
Heizleistung:	478 kW	1 kW
Wärmebezug aus Sonde:	890 MWh	1.9 MWh
Wärmeabgabe: (entsprechend 2400 h/a)	1186 MWh	2.4 MWh
Sondenlänge, ohne Regeneration, 50 Betriebsjahre:	20'000 m	42.1 m
Sondenlänge, mit vollst. Regeneration, 50 Betriebsjahre:	6'500 m	13.6 m
Differenz der Sondenlänge:	13'500 m	28.5 m
Differenz der Sondenkosten (Fr. 70.-/m)		1995 Fr.
Fläche Asphaltkollektor (1.9MWh/220 kWh/m ² a):		8.6 m ²

Folgerungen für die im Idealfall maximalen Asphaltkollektorkosten:

Ideale max. Kollektorkosten, 1995 Fr./8.6m²: 231 Fr./m²

ANHANG:

I. Messinstallationen

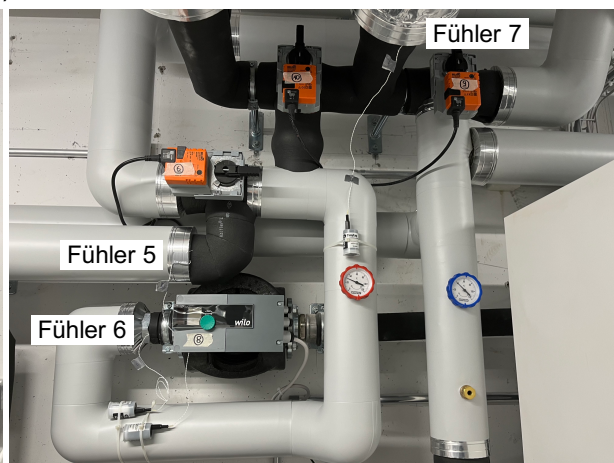
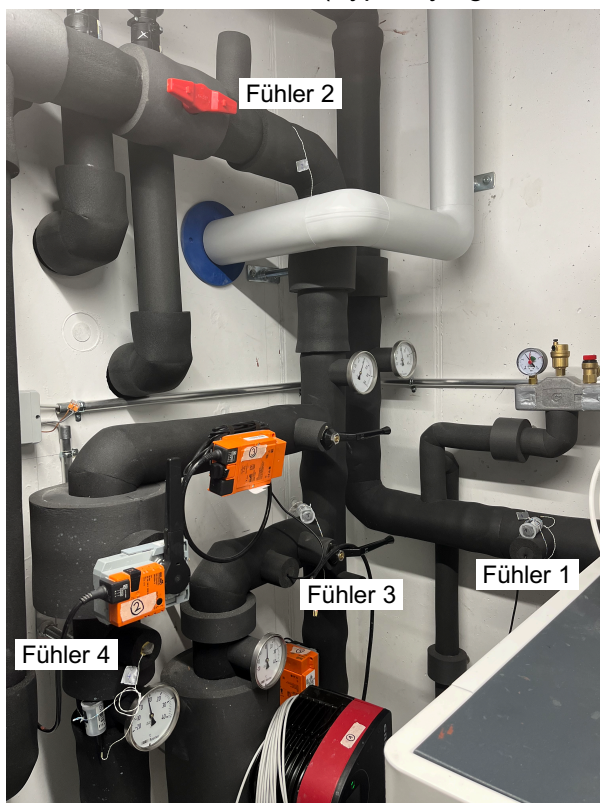


Wärmemengen:

- von Kollektor: $V1 * (T_4 - T_3)$
- von Erdsonde: $V2 * (T_1 - T_2)$
- zur Erdsonde: $V2 * (T_2 - T_1)$

V2 wird 2 Niveaubereiche haben, je nachdem, ob WP1 oder WP2 ein.

Position der Messfühler (Typ Tinytag TK-4023):



- Fühler 1: Von Erdsonde
- Fühler 2: Zur Erdsonde
- Fühler 3: Zum Kollektor
- Fühler 4: Von Kollektor
- Fühler 5: Von WP 1
- Fühler 6: Von WP 2
- Fühler 7: Zu den WPs

II. Durchfluss, Druckverlust und Volumen des Asphaltkollektors:

Gesamtfläche 17 Felder: $17 \times 15.4\text{m}^2 = 262\text{m}^2$,

Fläche pro Kollektorfeld: $2.2\text{m} \times 7\text{m} = 15.6\text{m}^2$

Rohrlänge pro Feld: 70m

Rohre HakaGerodur: d 25x2.3mm, 5-schichtig, PE-Xc/EVOH/PE-Xc

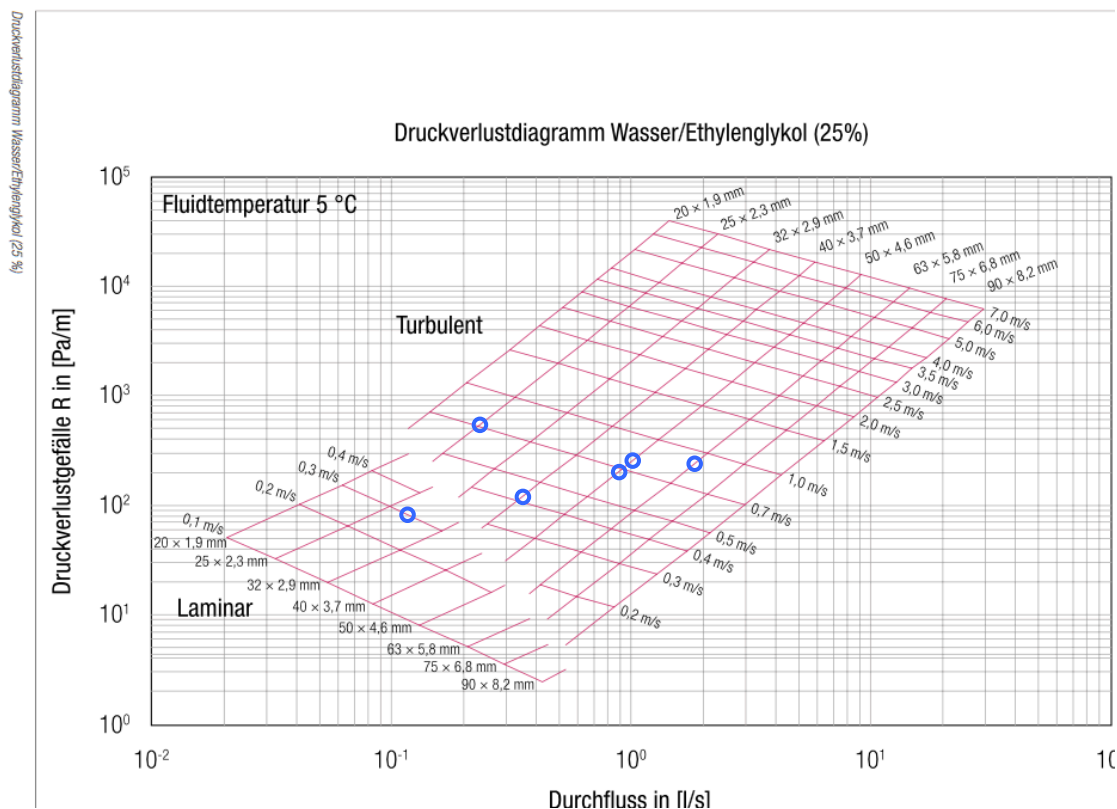
Delta-Tmax Kollektor: 4 K

Daten der Rohrabschnitte:

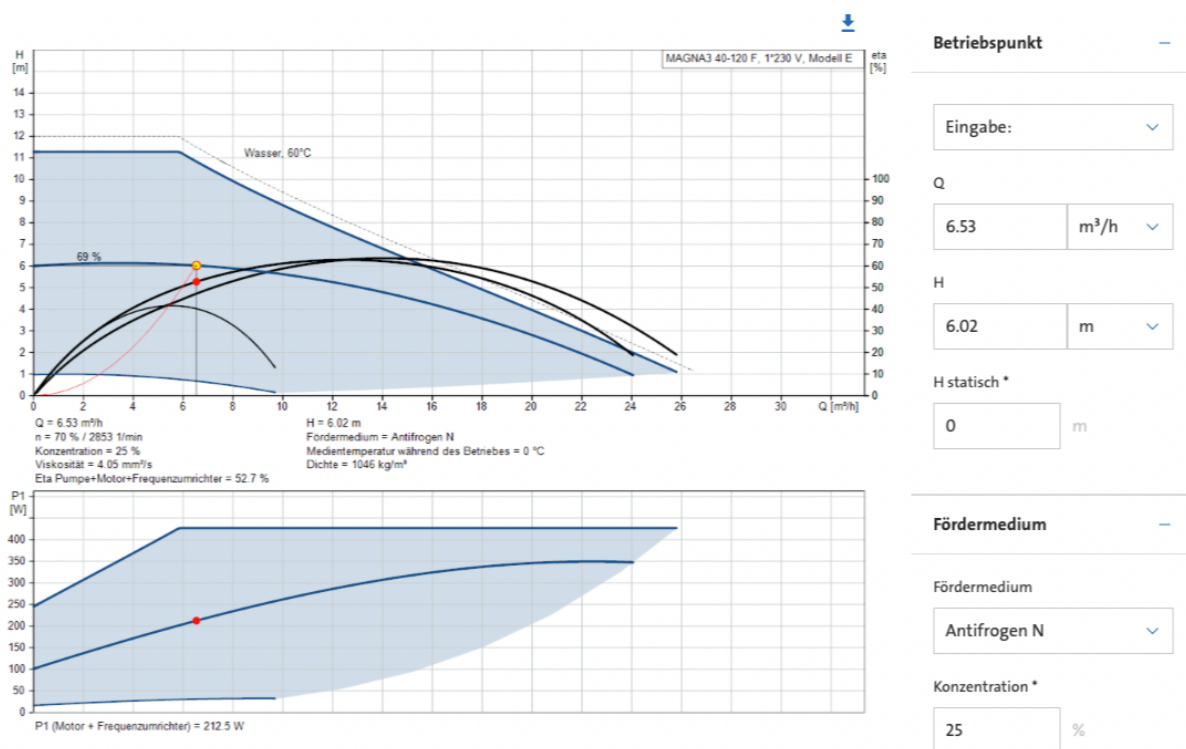
Rohr	Durchfluss, l/s /m³/h	Druckverlust Pa/m	Rohrlänge, m	Druckverlust längster Strang, bar	Inhalt, Liter
PE25x2.3	0.11	85	70	0.06	17x23=391
PE25x2.3	0.22	550	2x18	0.2	12
	0.22		2x (12 + 20 + 12 + 5 + 8 + 13) = 140		46
PE40x3.7	0.33	120	2x43	0.1	71
PE50x4.6	1.0	240	2x10	0.05	25
PE50x4.6	0.89	200	2x18		46
PE63x5.8	1.8	230	2x36	0.16	150
gesamt	1.8 / 6.5			0.57	740

Druckverlusttabelle Rehau Raugao Erdwärmekollektoren mit 23% Ethylenglykol bei 5°C. Im normalen Betrieb wird die Temperatur fast immer höher liegen, Viskosität und Druckverlust also tiefer.

Werte Umwälzpumpe Asphaltkollektor: 6.5 m³/h – 0.6 bar;



III. Betriebspunkt der Kollektorpumpe: Grundfos Magna 3, 40-120 f (6.5 m³/h, 0.6bar, Stromverbrauch 212 W)



IV. Expansionsvolumen:

Temperaturbereich, max/min: 30/-8°C

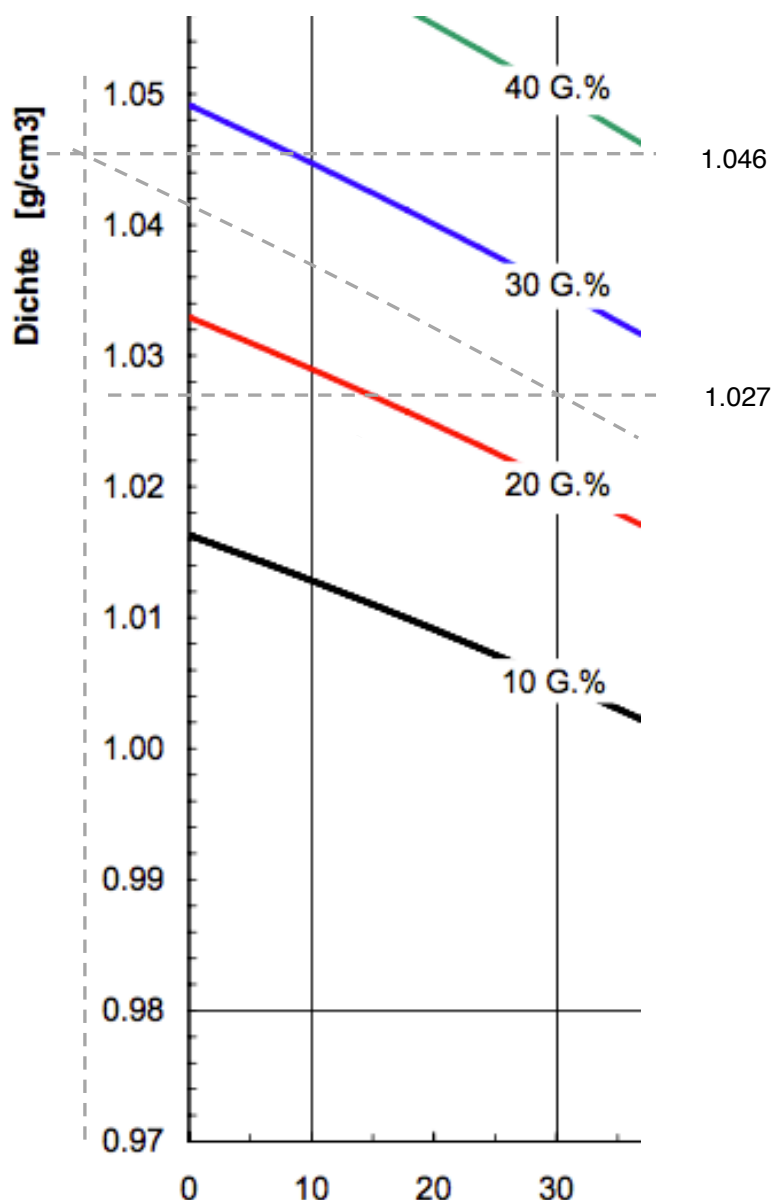
Dichteunterschied 25% Ethylenglykol: $(1.046\text{g/cm}^3 - 1.027\text{g/cm}^3) / 1.027\text{g/cm}^3 = 1.9\%$

D.h. Zu kompensierendes Expansionsvolumen für Kollektor und Sammelrohre: 15 Liter

* sh. Anhang

Alle Abgänge in den Schächten A und B müssen mit Drosselementen ausgerüstet werden, um die gleichen Temperaturspreizungen der einzelnen Felder einstellen zu können.

Auszug aus Diagramm Ethylenglykol Dichte/Temperatur:



V. Messungen der HSR

Unter dem westlichsten Element des Kollektorfelds auf der Nord-Ostseite des Gebäudes (sh. Bild 2) wurden 30cm unter den Rohren und in der Ebene der Rohre Messfühler angebracht. Weitere Fühler der Fachhochschule OST sollen später über dieser Stelle die Asphalttemperatur messen. Die Fühler werden zur Datenerfassung mit Kabeln mit der Zentrale verbunden.

Die im Bild sichtbaren Fühler der Fachhochschule sind im gleichen Feld wie die Steuerfühler an den Rohren und im Erdreich montiert. Die beiden nach oben wegführenden Kabel sind mit den Steuerfühlern, sichtbar in Bild 4, verbunden.



Der Schlussbericht wurde im Dezember 25 abgeschlossen.