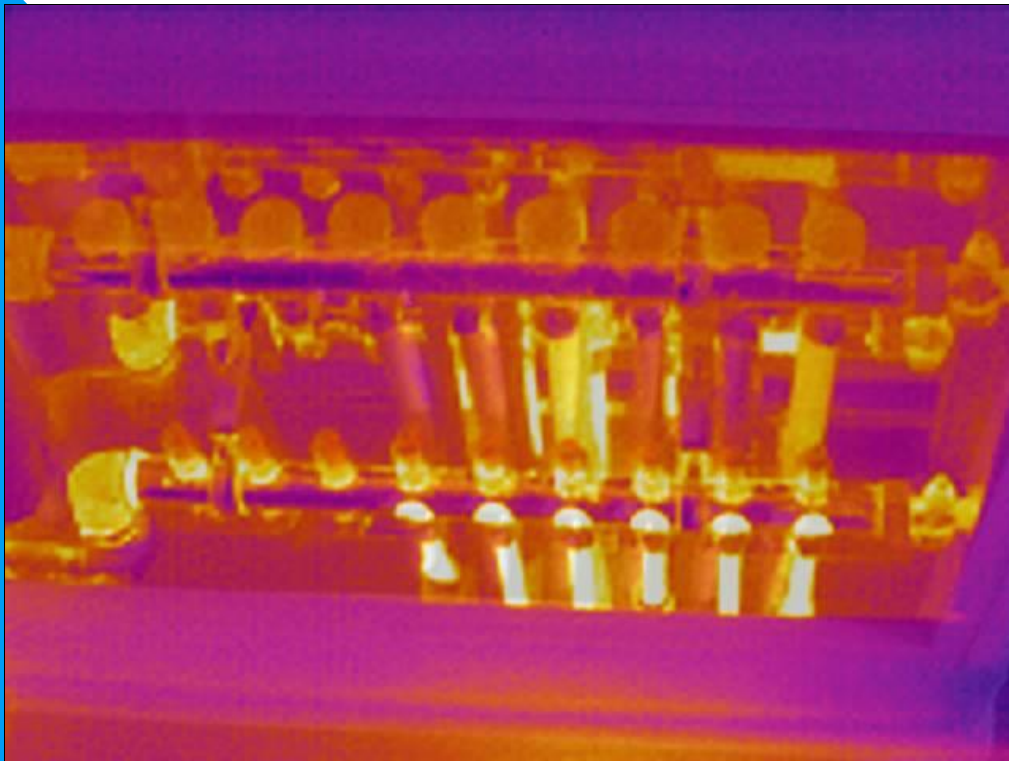




Kanton Zürich
Baudirektion
**Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft**
Energie
Energietechnik

Untersuchung der Fussbo- denheizung bei Neubauten

13. Juli 2018



**Projekt: Untersuchung der Fussbodenheizung bei Neubauten**

Auftraggeber: AWEL, Abteilung Energie Tel: 043 259 42 70
Abteilung Energie
Stampfenbachstrasse 12, 8090 Zürich
Hr. Christoph Gmür

Projektbearbeitung: Huber Energietechnik AG Tel: 044 227 79 78
Jupiterstrasse 26, 8032 Zürich
Arthur Huber, dipl. Ing. ETH/SIA *arthur.huber@hetag.ch*
Stefan Eberle, BSc FHO, Maschinen-Ing. *stefan.eberle@hetag.ch*

Ausgangslage: In der besonderen Bauverordnung 1 (BBV 1) des Kantons Zürich wird die maximale Vorlauftemperatur bei Fussbodenheizungen im Auslegefall auf 35 °C mit Thermostatventilen, bzw. 30°C ohne Thermostatventile festgelegt. Die Auslegung der Fussbodenheizung (FBH) erfolgt dabei in der Regel nach der Norm SIA 384/201. Zur Weiterentwicklung dieser energetischen Vorschriften hat das Amt für Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich die Untersuchung von Fussbodenheizungen in verschiedenen Objekten in Auftrag gegeben. Von besonderem Interesse ist dabei der Vergleich zwischen der Auslegung und Umsetzung in der Praxis. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Planungsgrößen zum Teil stark von der tatsächlichen Realisierung abweichen. Die Untersuchung der FBH dient dazu, allfällige Abweichungen zwischen Planung und Praxis festzuhalten und sofern vorhanden, Gründe dafür zu nennen.

Zielsetzung: Um Aufschluss darüber zu bekommen, wie sich die Situation in der Praxis darstellt, sollen 10 Objekte näher untersucht werden. Dabei sollen 3 zufällig ausgewählte, grössere Wohnüberbauungen mit jeweils mehreren Gebäuden systematisch untersucht werden. Bei den Gebäuden soll die Auslegung der Fussbodenheizung überprüft werden. Dabei sollen insbesondere die Auslegungskriterien, soweit möglich, festgestellt werden. In einem zweiten Schritt sollen bei allen Gebäuden Temperatur- und Infrarot-Messungen der Fussbodenheizung gemacht werden. Dabei sollen jeweils 2-3 Wohnungen untersucht werden (mittlere Wohnung und thermisch exponierte Wohnung). Zudem sollen bei den Objekten, bei denen die Vorlauftemperaturen über den gesetzlichen Vorlauftemperaturen liegen, die Ursachen für die Abweichungen ermittelt werden.

Zusätzlich sollen 7 weitere Gebäude mit spezifischen Eigenschaften und Problemen näher untersucht und die Ursachen der dabei festgestellten speziellen Probleme dargestellt werden.

Vorgehen:

Die Untersuchungen der Fussbodenheizung (FBH) in den einzelnen Wohnungen erfolgten immer nach einem ähnlichen Ablauf. Es wurden Merkmale, wie besonders grosse/kleine Fensterflächen, Teppiche, Möbel, Thermostateinstellung sowie diverse Temperaturen aufgenommen. Sofern die Bewohner zu Hause waren, folgte eine allgemeine Befragung zur FBH, beispielsweise wurde nach der Behaglichkeit sowie nach der üblichen Thermostateinstellung gefragt um das Nutzerverhalten besser einschätzen zu können.

Grundsätzlich wurde in allen Wohnungen Raum- und Bodentemperatur, die Verlegungen und die Vor- bzw. die Rücklauftemperatur der FBH protokolliert. Die Überprüfung der Verlegung und die Bodentemperaturmessung erfolgten mit einer Wärmebild Kamera. Ein Temperatursensor dient zur Messung der Raumtemperatur. Die Vor- und Rücklauftemperaturen konnten am Energiezähler im Heizkreisverteiler abgelesen werden.

Der Abschluss der Untersuchung erfolgte im Heizungsraum der Gebäude. Informationen wie die Art der Wärmeerzeugung oder Temperatur des Heizungsspeichers wurden aufgenommen. In einem Gespräch mit dem Hausmeister konnte der allgemeine Betrieb der Heizung abgeklärt werden.

Resultate:

Bei den 3 grossen Wohnsiedlungen haben 2 Wohnsiedlungen die gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Fussbodenheizungen gut eingehalten. Am besten war die Einhaltung bei der Wohnsiedlung, die von einem externen Qualitätssicherungs-Team auch über die Bauphase hinaus begleitet wurde.

Bei der Auslegung der Fussbodenheizungen wurde die Norm SIA 384/201 nur teilweise beachtet. Diese Norm scheint in der Praxis eine nur geringe Akzeptanz zu besitzen. Insbesondere der raumweise Wärmeleistungsbedarf für die Lüftung wird noch oft nach der alten Norm SIA 384/2 mit einem konstanten Luftwechsel berechnet. Auch bei den internen Wärmeströmen (Wohnbereich zu unbeheizten Erschliessungszonen, Wärmeverluste von Nassräumen) wird mehrheitlich über geschätzte Temperaturen und U-Werte gearbeitet und kaum je gerechnet. Insgesamt sind die Auswirkungen dieser „Normeninterpretationen“ der Planer auf die erforderlichen Vorlauftemperaturen und Verlegeabstände der Fussbodenheizungen aber gering.

Bei allen untersuchten Objekten stimmte der Verlegeabstand der Fussbodenheizungsrohre gut mit der Planung und den Verlegeplänen überein. Die Anordnung der Fussbodenheizungsrohre lässt sich heute auch im Betrieb mit sehr günstigen Infrarot-Kameras einfach überprüfen.

Die berechneten Durchflussraten der verschiedenen Heizkreise können nur mit einem korrekt durchgeführten, hydraulischem Abgleich erfolgreich eingestellt werden. Dies betrifft auch die Inbetriebnahme in Etappen.

Die häufig geäußerte Ansicht von „Heizungspraktikern“, dass die Wärmeverluste in Dachwohnungen generell grösser als berechnet seien, und es deshalb dort immer wieder Klagen über kalte Zimmer gäbe, konnte in dieser Form bei den untersuchten Neubauten nicht bestätigt werden. Die Klagen über kalte Dachwohnungen wurden in dieser Untersuchung zwar auch auf 2 Objekten angetroffen, diese konnten aber ausschliesslich auf fehlenden Durchfluss in der Fussbodenheizung infolge Luft in der Verteilung zurückgeführt werden. In einem Objekt wurde auf eine Entlüftungsstelle im Dachgeschoss ganz verzichtet. Bei beiden Objekten wurde daraufhin die Heizkurve hochgestellt, da die Ursache des Problems nicht erkannt wurde. Auch in diesem Fall könnte eine einfache, kostengünstige Infrarotaufnahme weiterhelfen.

Ohne entsprechende Entlüftungsstellen kann die Luft oft nur durch den Unternehmer mit speziellen Jet-Pumpen entfernt werden.

In 2 Objekten waren die Badezimmer direkt angrenzend an Schlafzimmer angeordnet, in denen die Raumthermostaten ganz zuge dreht waren. In beiden Fällen haben dann Reklamationen über ungenügende Badezimmer-Temperaturen zu einem Hochstellen der Heizkurve geführt.

Auch defekte oder falsch zugeordnete Raumthermostaten können dazu führen, dass ganze Zimmer nicht beheizt werden. Leider wird auch dabei allzu oft die Heizkurve hochgestellt, anstatt der Ursache auf den Grund zu gehen. Auch in diesem Fall könnten günstige Infrarot-Kameras bei der Fehlersuche helfen.

Durchleitungen von Fussbodenheizungs-Zuleitungen durch Schlafzimmer haben in mehreren Fällen zu Klagen der Bewohner geführt, dass die Raumtemperaturen im Schlafzimmer trotz voll zuge drehten Raumthermostaten kaum sinken. In einem Fall wurde dies dann durch ein ganztags offenes Kippfenster behoben, in einem zweiten Fall wurde gar der Heizungsverteiler in der bereits bewohnten Wohnung in den Gangbereich versetzt.

Heizverteiler, die Heizkreise mit Thermostatventilen und unregelmässige FBH-Heizkreise kombinieren, führen in Kombination mit zu hoch eingestellten Heizkurven regelmässig zu überheizten Wohnungen. Die nicht geregelten Heizkreise geben dann so viel Wärme ab, um die ganze Wohnung ohne die geregelten Heizkreise zu beheizen (die aufgrund der hohen Raumtemperaturen dann ganz abstellen). Dies wiederum kann paradoxerweise zu Klagen über kalte Fussböden (bei den geregelten Kreisen) führen. Von kalt empfundenen Fussboden-Temperaturen wird dann fälschlicherweise auf eine nicht funktionierende Heizung oder zu tief eingestellte Heizkurve geschlossen. Aus diesen Gründen geht die Empfehlung dahin, immer alle Heizkreise mit Thermostatventilen auszurüsten. Auch eine Information neuer Mieter über die Funktion einer Fussbodenheizung in einem gut wärmegeprägten Gebäude kann die Situation verbessern. In den meisten Fällen kann das Problem auch nachträglich durch einfaches Senken der Heizkurve behoben werden.

In verschiedenen, angetroffenen Gebäuden wird über die Fussbodenheizung auch gekühlt. Auch diese, sehr effektive und unterdessen bewährte Nutzung der Fussbodenheizung setzt voraus, dass alle Heizkreise mit (für den Heiz- und Kühlfall umstellbaren) Thermostatventilen ausgerüstet werden.

Gänzlich fehlende Raumthermostaten (bei Vorlauftemperaturen über 35°C) wurden nur in einem Fall angetroffen. Hier scheint die Private Ausführungskontrolle mehrheitlich zu greifen.

Immer wieder werden technische Speicher mit Wärmepumpen ohne ersichtlichen Grund um mehr als 10K höher geladen als die Wärmeabgabe es erfordern würde. In einer Mischgruppe wird dann die Vorlauftemperatur auf den gesetzlichen Wert reduziert. Dies führt dann zu einem unnötig schlechten Wirkungsgrad in der Wärmeerzeugung.

Bei verschiedenen Objekten fiel ausserdem das individuelle Benutzerverhalten auf. Dazu zählen zum Beispiel grosse, dicke Teppiche auf Parkettböden, die die Wärmeabgabe behindern. Einen direkten Zusammenhang mit zu hoch eingestellten Heizkurven konnte zwar nicht nachgewiesen werden, ist jedoch naheliegend.

Auch trocken verlegte Fussboden-Heizsysteme können mit sehr tiefen Vorlauftemperaturen betrieben werden, wenn die Gebäudehülle entsprechend gut gebaut ist und Planung und Ausführung sorgfältig durchgeführt werden.

Inhalt

1	Objekt 1: Zuleitungen durch Schlafzimmer	8
1.1	Minergie-Mehrfamilienhäuser	8
1.2	Wohnung B21: Zuleitungen durch Schlafzimmer, keine TV.....	9
1.3	Wohnung B31: Bad und Dusche ohne TV	11
1.4	Wohnung B32: Kalte Schlafzimmer neben Badzimmer	13
1.5	Wohnung C33: Wohnzimmer ohne Durchfluss.....	15
1.6	Schema Heizungsanlage und Funktionsbeschreibung	17
1.7	Heizungsräume von Haus B und C.....	19
1.8	Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH	21
1.9	Leistungsberechnung und Auslegung FBH	22
1.10	Fazit Objekt 1	24
2	Objekt 2: MFH mit Projektbegleitung	25
2.1	MFH mit exponierten Zimmern (im Bereich der Loggia)	25
2.2	Mittlere Wohnung Nr. 31, Objekt 2	26
2.3	Wohnung 72 im obersten Geschoss, Objekt 2	29
2.4	Wohnung 21, Nachbargebäude von Objekt 2.....	31
2.5	FBH und Lüftung während der Bauphase.....	32
2.6	Schema Heizungsanlage.....	33
2.7	Heizungsräume Objekt 2	34
2.8	Beschrieb Heizsystem und Lüftung	35
2.9	Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH	38
2.1	Fazit Objekt 2	39
3	Objekt 3: Mehrfamilienhaus	40
3.1	MFH mit unvollständigem hydraulischem Abgleich	40
3.2	Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH	40
3.3	Wohnung H23, 2. OG	45
3.4	Wärmeerzeugung und Technikzentrale	49
3.5	Unterstation untersuchter Gebäudeteil	50
3.6	Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH	51
3.7	Fazit Objekt 3	52

4	Objekt 4: REFH mit fehlender Entlüftung.....	53
4.1	Heizungsverteiler im EG für das OG und das DG.....	53
4.2	Fazit Objekt 4	55
5	Objekt 5: EFH mit kaltem Badezimmer.....	56
5.1	Kalte Schlafzimmer neben warmem Bad.....	56
5.2	Fazit Objekt 5	57
6	Objekt 6, MFH mit „kalter“ EG-Wohnung.....	58
6.1	Zu kalte EG – Wohnung?	58
6.2	Messungen.....	59
6.3	Fazit Objekt 6	59
7	Objekt 7, MFH mit überheizten Räumen.....	60
7.1	Heizverteiler unter Einbauschränk, nicht abgesperrte HK.....	60
7.2	Zu hoch eingestellte Heizkurve.....	61
7.3	Fazit Objekt 7	62
8	Objekt 8, Schulhaus, FBH trocken verlegt.....	63
8.1	Trocken verlegtes Fussbodenheizungssystem Therm38.....	63
8.2	Heizung mit 32°C bei -8°C Aussentemperatur.....	64
8.3	Kühlung mit Fussbodenheizung	64
8.4	Fazit Objekt 8	64
9	Objekt 9, EFH mit starken Wärmeverlusten	65
9.1	Dämmung, Wärmeverlust.....	65
9.2	Fazit Objekt 9	66
10	Objekt 10, MFH mit Geocooling.....	67
10.1	Überhitzte Wohnungen trotz Geocooling.....	67
10.2	Defekte Klemmleiste Heizen-Kühlen, Luft im DG-FBH	68
10.3	Fazit Objekt 10	69
11	Vergleich Thermografie-Kameras.....	70
11.1	Verwendete Messgeräte.....	70
11.2	Überblenden Foto/Infrarot bei der Testo 870.....	77
11.3	Fazit Messgeräte	78

1 Objekt 1: Zuleitungen durch Schlafzimmer

1.1 Minergie-Mehrfamilienhäuser

Objekt 1 besteht aus mehreren Mehrfamilienhäusern. Alle Gebäude der Überbauung sind Minergie zertifiziert. Die Wohnungen wurden zwischen Februar und März 2014 bezogen.



Abb. 1.1: *Ansicht der Nordfassaden, v.l.n.r. Haus A, Haus B, Haus C.*



Abb. 1.2: *Ansicht der Südfassaden, links das Haus D und rechts das Haus C.*

1.2 Wohnung B21: Zuleitungen durch Schlafzimmer, keine TV

Keine Thermostatventile,
Raumtemperatur
25°C – 26°C

Die Wohnung B21 befindet sich im dritten von insgesamt 4 Stockwerken und besitzt zwei Seiten mit Kontakt zur Aussenluft. Die Bewohner berichteten, dass die Wohnung generell sehr warm sei. Am stärksten betroffen ist das Elternschlafzimmer, in dem Raumtemperaturen bis zu 26 °C bei Aussentemperaturen um die 1 °C gemessen wurden.

Zuleitungen FBH
durch Schlafzimmer

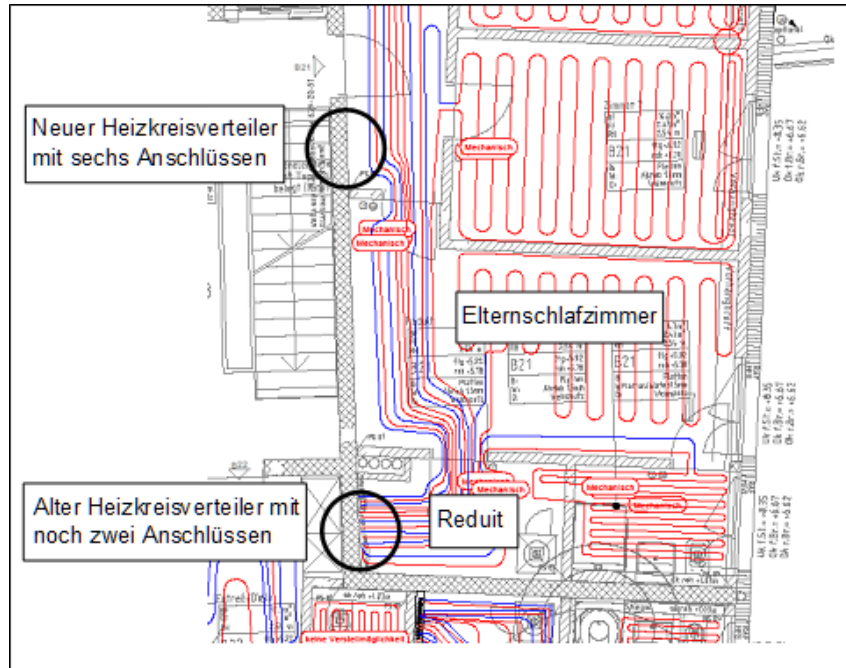


Abb. 1.3: Verlegeplan der FBH wie sie ursprünglich geplant wurde, eingekreist der alte und neue Heizkreisverteiler.

Nach Reklamationen der Bewohner wurde der Verteilkasten vom Redit hinter dem Schlafzimmer neben den Wohnungseingang verlegt. Dadurch verlaufen nicht mehr sämtliche Verteilleitungen durch das Schlafzimmer. Abb. 1.3 zeigt links den neuen Verteiler neben der Wohnungstür. Zu erkennen ist, dass nach dem Umbau in dieser Wohnung kein einziger Heizkreis mehr mit einem Thermostatventil ausgerüstet ist.

Keine Thermostatventile auf Heizungsverteiler



Abb. 1.4: Links der neu installierte Heizkreisverteiler im Gang, rechts der alte Heizkreisverteiler im Redit.

Vorlauftemperatur
FBH: 36 °C

Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmehähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 36 °C. Die Rücklauftemperatur lag bei 30 °C.



Abb. 1.5: Links der neu installierte Heizkreisverteiler im Gang, rechts der alte Heizkreisverteiler im Reduit.

Die Abb. 1.6 zeigt exemplarisch den Vergleich zwischen Ausführung und Auslegung der Fussbodenheizungsrohre. Es konnten keine grösseren Abweichungen zwischen Verlegeplan und tatsächlicher Verlegung ausgemacht werden.

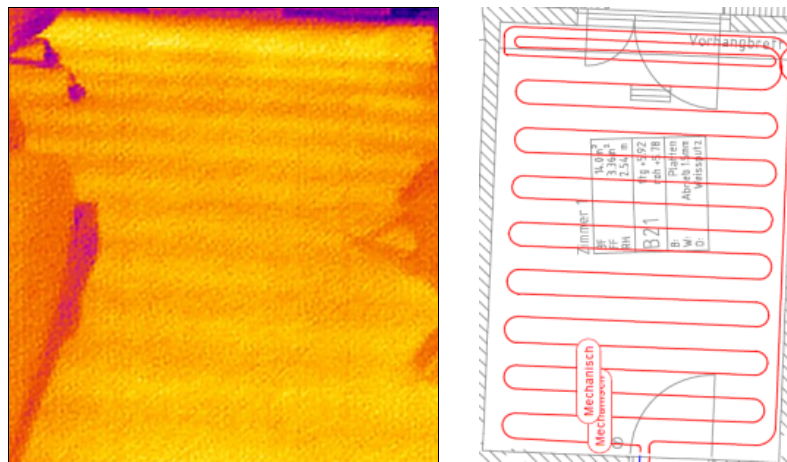


Abb. 1.6: Verlegung der Fussbodenheizungsrohre, links die Aufnahme mit der Thermografiekamera und rechts die Verlegungsplan.

Die Luftschächte der Komfortlüftung sind deutlich zu erkennen. Das Lüftungsgerät befindet sich auf dem Balkon. In Abb. 1.7 ist oben rechts die Zuluft deutlich zu erkennen.

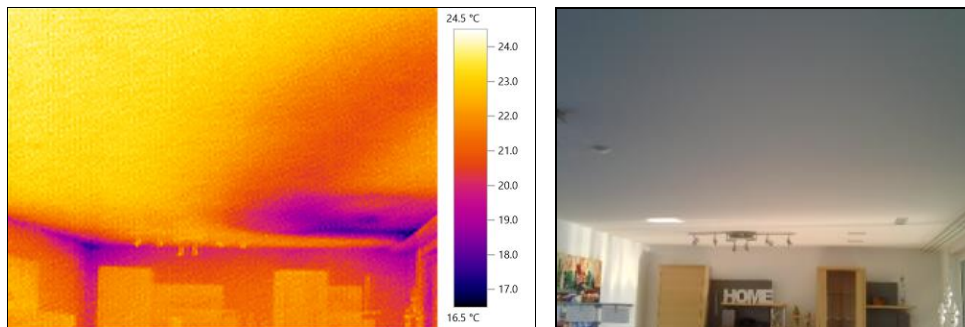


Abb. 1.7: Aufnahme der Decke, Verlauf der Lüftung und Zuluftschacht deutlich erkennbar, hinten links ist eine kalte Ecke erkennbar. Deckentemperatur leicht über Raumtemperatur.

1.3 Wohnung B31: Bad und Dusche ohne TV

Raumtemperatur
23°C - 24°C

Die Wohnung B31 ist eine Dachwohnung und besitzt zwei Seiten mit Kontakt zur Aussenluft. Der Boden in dieser Wohnung ist mit überdurchschnittlich vielen Möbel und Teppichen belegt. Zudem gaben die Bewohner an, die Thermostate auf eine durchschnittliche Raumtemperatur von ca. 23°C bis 24°C einzustellen. Die Einstellungen der Thermostate liegen dabei zwischen Stufe 3 und 4. Die Wohnung ist gegen Norden ausgerichtet.

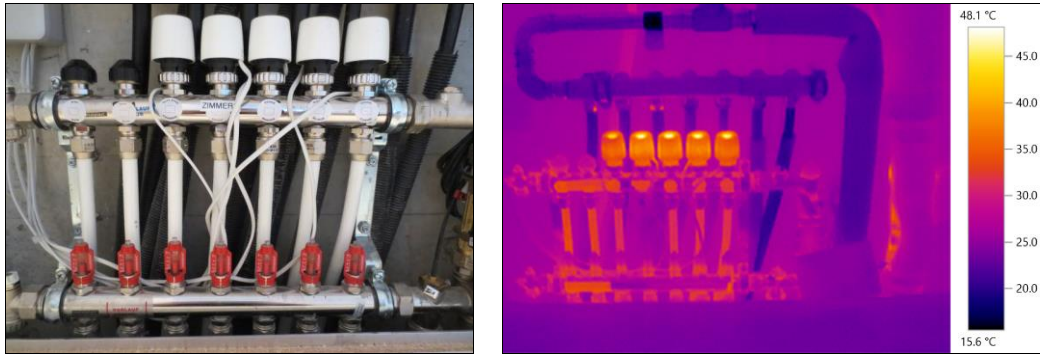


Abb. 1.8: Heizkreisverteiler mit Thermostatventilen, Bad und Dusche haben einen stetigen Durchfluss.

Wie in Abb. 1.8 zu sehen ist, sind für die beiden Heizkreise der beiden Bäder keine Thermostatventile installiert. Diese Heizkreise werden ständig durchflossen.

Vorlauftemperatur
FBH: 37°C

Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmezähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 37°C. Die Rücklauftemperatur lag bei 34°C.



Abb. 1.9: Wärmezähler der FBH mir Vor- und Rücklauftemperatur der FBH.

Bei der Begehung wurde festgestellt, dass im Wohnzimmer und in der Küche die Fussbodenheizung um 90° gedreht verlegt wurde. Ansonsten stimmen die Verlegepläne mit der ausgeführten Verlegung überein.

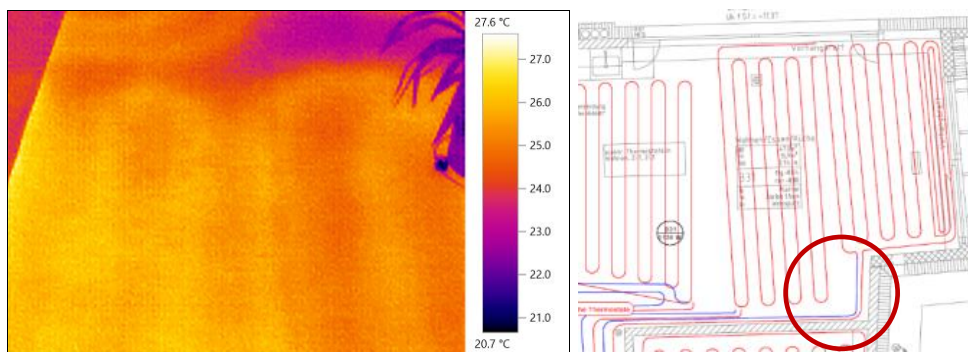


Abb. 1.10: Vergleich zwischen Planung und Ausführung der FBH. In der Wohnung B31 wurde in der Küche und im vorderen Wohnzimmerbereich die FBH im Vergleich zum Verlegeplan um 90° gedreht verlegt. Dies hat jedoch keinen Einfluss auf die Leistung der FBH.

Dämmende Wirkung von Teppichen

In Abb. 1.11 ist die Auswirkung eines Teppichs deutlich zu sehen. Während die Temperatur oberhalb der FBH ca. 26.5°C beträgt, liegt die Durchschnittstemperatur auf dem Teppich bei rund 24°C.

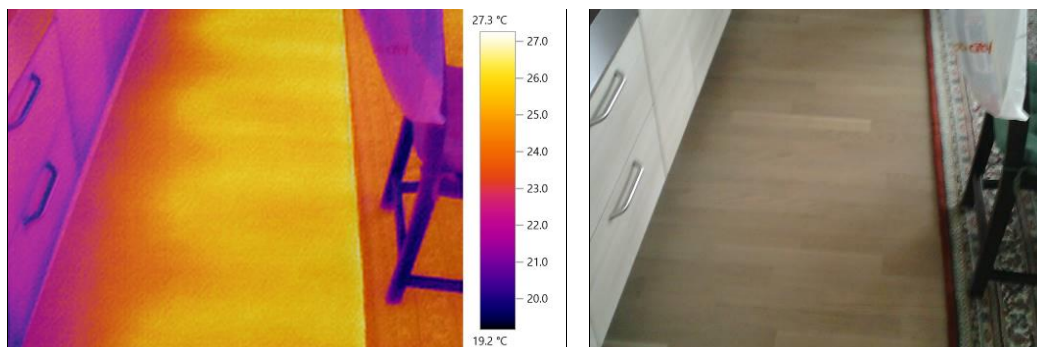


Abb. 1.11: Isolationseffekt von Teppichen auf der FBH.

1.4 Wohnung B32: Kalte Schlafzimmer neben Badzimmer

Die Wohnung B32 ist ebenfalls eine Dachwohnung und besitzt drei Seiten mit direktem Kontakt zur Aussenluft. Zudem weist diese Wohnung einen relativ grossen Anteil an Fensterflächen auf. Auch in dieser Wohnung ist ein grosser Teil der Bodenfläche durch Möbel und Teppiche abgedeckt.

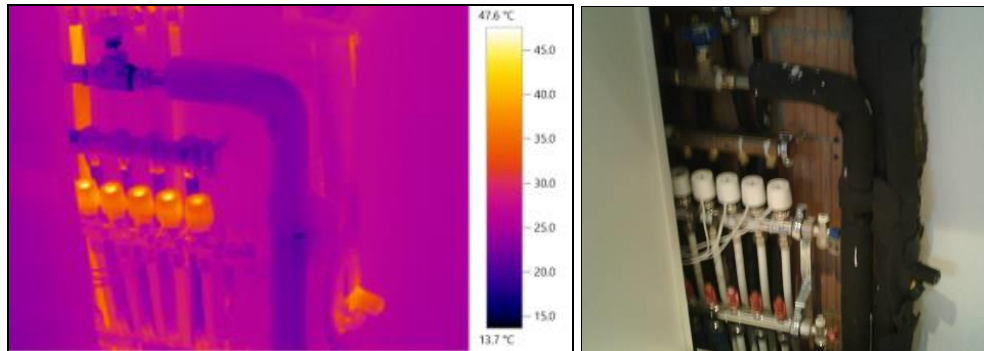


Abb. 1.12: Heizkreisverteiler der Wohnung B32.

Vorlauftemperatur
FBH: 35°C

Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmehähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 35°C. Die Rücklauftemperatur lag bei 31°C.



Abb. 1.13: Wärmehähler der FBH mit Vor- und Rücklauftemperatur der FBH.

Benutzerabhängiges
Verhalten, kaltes
Schlafzimmer

Die Bewohner haben die Heizung im Schlafzimmer ausgeschaltet. Daraus resultieren eine sehr niedrige Bodentemperatur von ca. 15 °C und eine Raumtemperatur von 17 °C. Das Schlafzimmer verfügt angrenzend über ein kleines Badezimmer. Die Zuleitung der FBH für das Badezimmer verläuft durch das kalte Schlafzimmer. Gemäss den Bewohnern wurde das Badezimmer oft nicht richtig warm, weshalb das Bad mit einem Heizstrahler mit 1.5 kW Heizleistung ausgestattet ist.

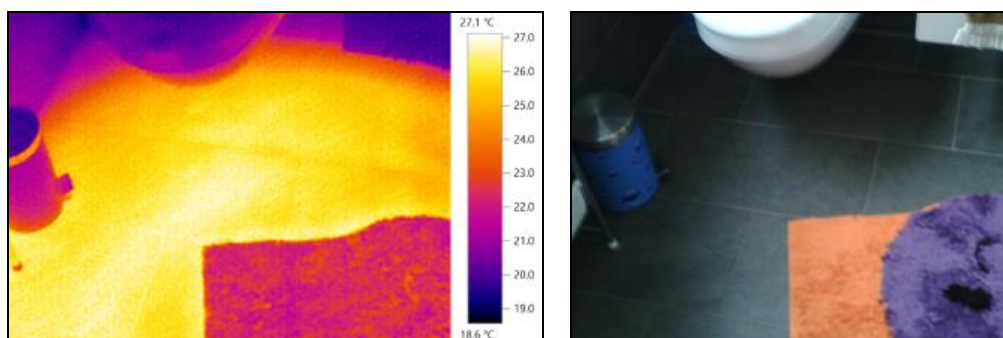


Abb. 1.14: FBH wird durch einen Teppich isoliert, dies beeinträchtigt die Leistungsabgabe im Bad zusätzlich.

Der Bewohner gaben an, dass die Teppiche im zweiten Bad speziell für FBH geeignet seien. Einen Dämmeffekt ist auch bei diesen Teppichen zu erkennen, jedoch fällt dieser wesentlich geringer aus als bei einem herkömmlichen Teppich.

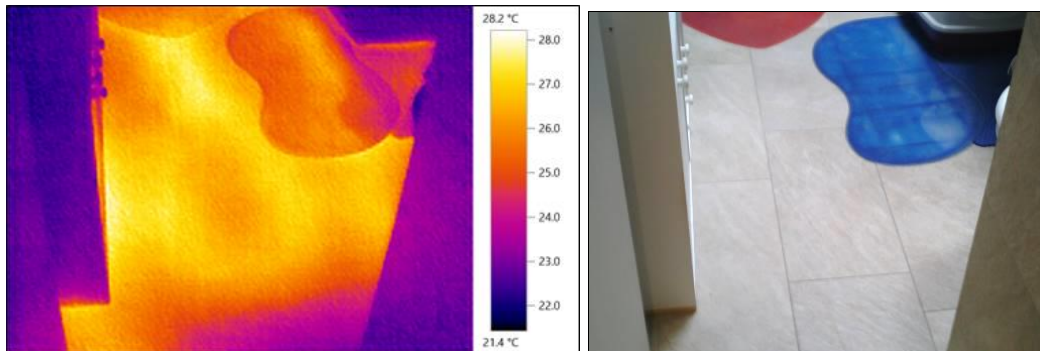


Abb. 1.15: Dämmeffekt bei Teppichen speziell für FBH

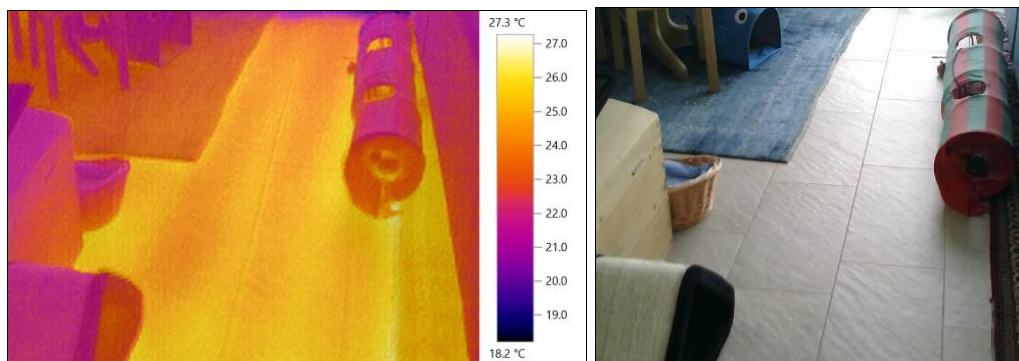


Abb. 1.16: Dämmeffekt durch Möbel und Teppich.

Auch in dieser Wohnung konnten keine grosse Abweichung zwischen Auslegung und Ausführung der FBH festgestellt werden.

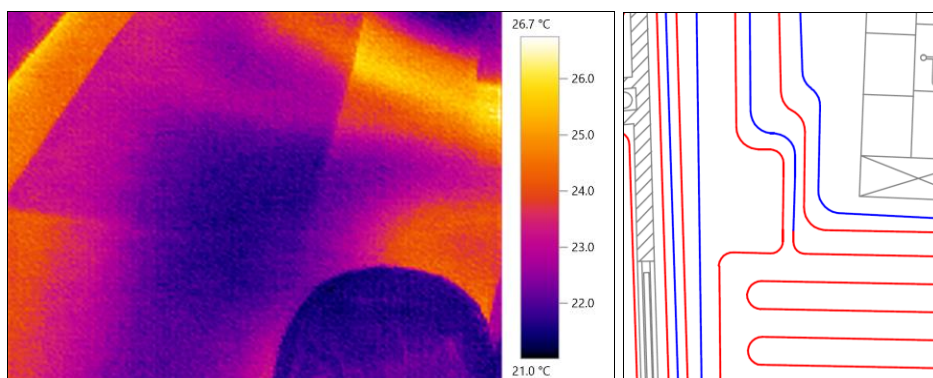


Abb. 1.17: Dämmeffekt durch Möbel und Teppich. Fläche ohne FBH deutlich kühler als die Umgebung.

1.5 Wohnung C33: Wohnzimmer ohne Durchfluss

Kaum Durchfluss,
Raumtemperatur
21.5°C

Die Wohnung C33 befindet sich im Haus C und ist ebenfalls eine Dachwohnung. Zwei Seiten der Wohnung haben Kontakt zur Aussenluft. Bei voll aufgedrehtem Thermostat lag die Raumtemperatur im Wohnbereich bei 21.5 °C. Bei einem Zimmer wurde festgestellt, dass kein Durchfluss der FBH stattfand, obwohl auch in diesem Zimmer der Thermostat auf dem Maximum eingestellt war. Die Temperatur in der Wohnung wurde dementsprechend als „eher kühl“ empfunden.

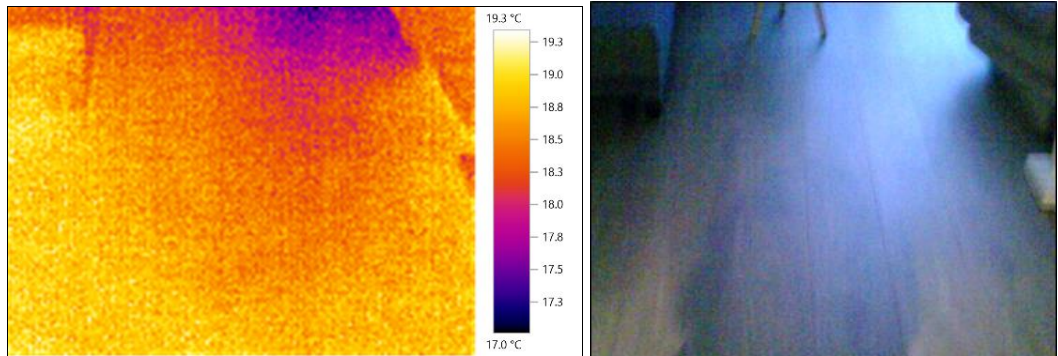


Abb. 1.18: Fussbodenheizung trotz voll aufgedrehtem Thermostat nicht aktiv, Bodentemperatur bei rund 18.5 °C.

Anhand des Wärmezählers konnte ein sehr geringer Energieverbrauch der Wohnung ausgemacht werden. Dieser lag im Vergleich zu anderen Dachwohnungen um ca. 40% tiefer.

Luft in Heizverteilung?

Abb. 1.19 zeigt die Durchflussmesser im Heizkreisverteiler. Nebst dem geringen Energieverbrauch fiel auch der grosse Temperaturunterschied zwischen Vor- und Rücklauf auf dem FBH-Verteiler ins Auge. Dieser betrug zum Zeitpunkt der Begehung ca. 10 °C. Auch dies ein Hinweis auf ungenügenden Durchfluss.

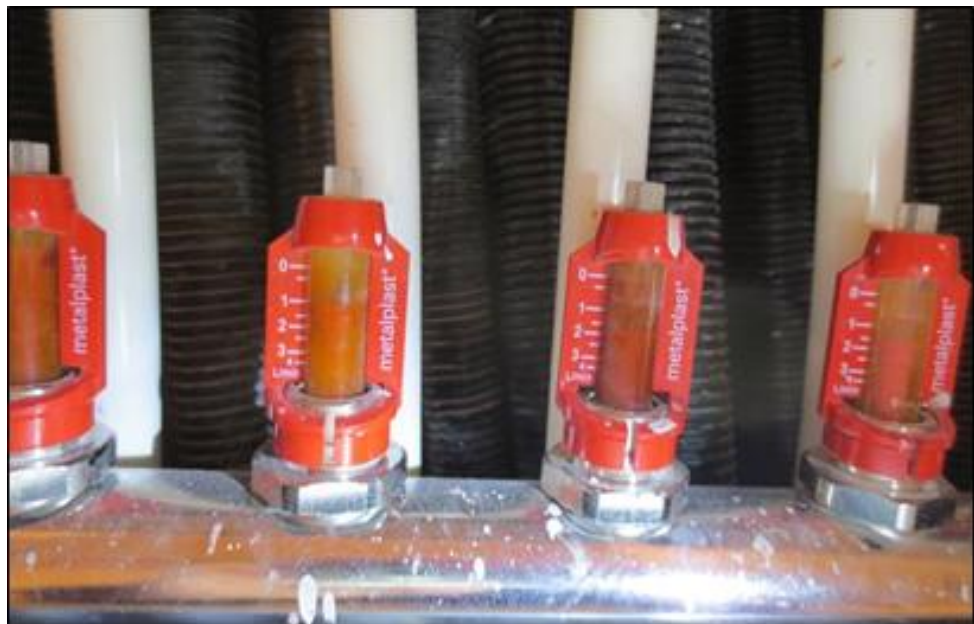


Abb. 1.19: Durchflussmesser im Heizverteiler

Vorlauftemperatur
FBH: 35°C

Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmehähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 35°C. Die Rücklauftemperatur lag bei 25°C.



Abb. 1.20: Wärmehähler der FBH mit Vor- und Rücklauftemperatur der FBH.

Der Heizkreis für das Badezimmer verläuft durch das Schlafzimmer. Die Bodentemperatur im Schlafzimmer liegt bei ca. 19°C. Dadurch beheizt der Heizkreis des Badezimmers zusätzlich auch das Schlafzimmer, was die effektive Heizleistung im Badezimmer verringert.

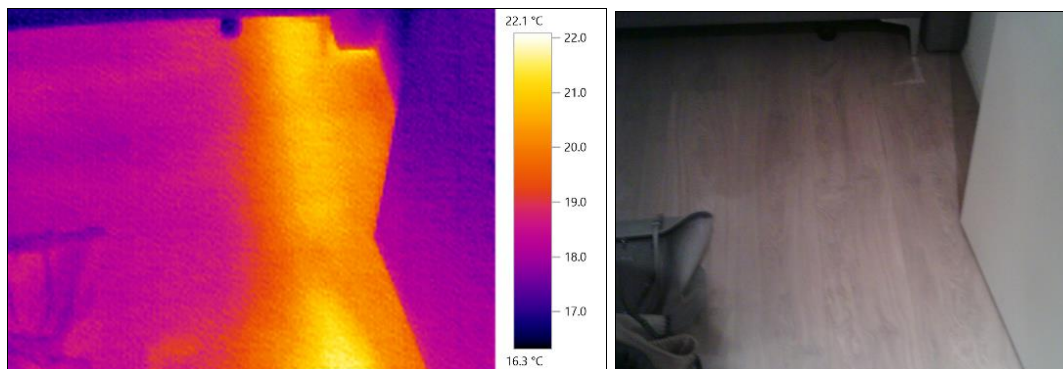


Abb. 1.21: Zuleitung von Badezimmer-Heizkreislauf, welches durch das kühle Schlafzimmer führt.

1.6 Schema Heizungsanlage und Funktionsbeschreibung

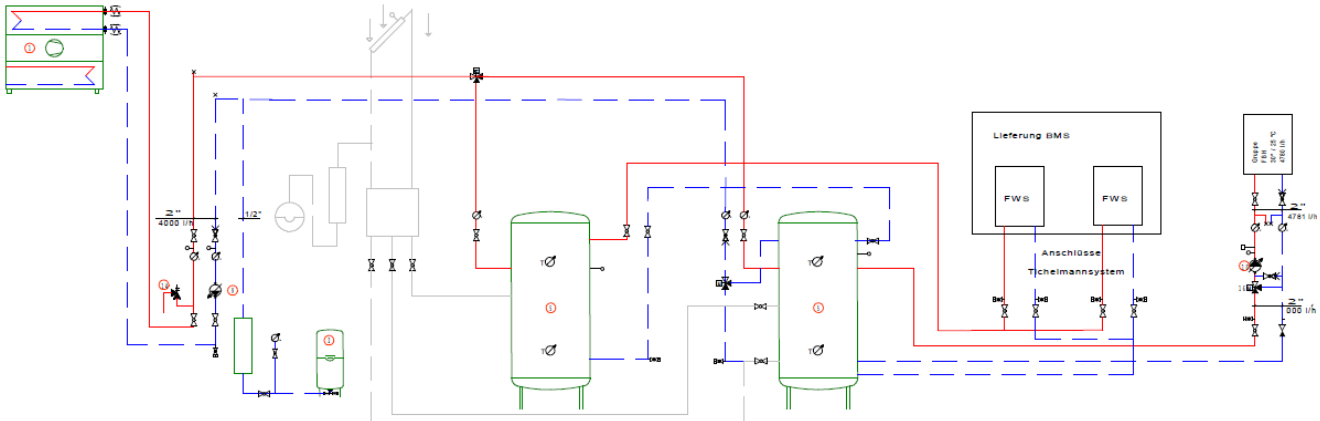


Abb. 1.22: Wärmeerzeugung Objekt 1

Die Abb. 1.22 zeigt das Prinzipschema des Heizsystems und gilt für beide Häuser. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe stellt mit der solarthermischen Anlage die benötigte Heizleistung bereit. Gespeichert wird die Wärme in zwei Speichern. Der linke Speicher wird für die Brauchwassererwärmung genutzt und der rechte Speicher vorwiegend für die FBH.

Nachfolgend ist der original Funktions- bzw. Regelbescrieb von der Firma Siemens Schweiz AG abgebildet. Die Fühler 1.53 B5 und 1.53 B6 konnten nicht eindeutig einem Sensor zugeordnet werden, weshalb diese nicht in das Prinzipschema mit eingefügt wurden.

Funktionsbescrieb Wärmeerzeugung

Die Einschaltung der Wärmepumpe erfolgt wenn der obere Fühler 1.53 B1 im BWW Speicher Wärme verlangt. Die Umschaltventile 1.53 y1 und 1.53 y2 werden auf BWW Ladung geschaltet. Die Ausschaltung erfolgt durch den unteren Fühler 1.53 B5 des BWW Speichers. Bei der BWW Ladung wird der obere Drittel des Technischen Speichers durch umschalten der oben genannten Ventile mitgeladen, damit eine Volumenvergrößerung des BWW Speichers erfolgt.

Die Einschaltung der Wärmepumpe erfolgt wenn der obere Fühler 1.53 B2 des Technischen Speichers Wärme verlangt. Die Umschaltventile 1.53 y1 und 1.53 y2 werden auf Ladung Technischer Speicher geschaltet. Die Ausschaltung erfolgt durch den unteren Fühler 1.53 B6 des Technischen Speichers.

Die Ladung des BWW Speichers hat immer Priorität.

Übersteigt der Rücklauffühler der Wärmepumpe eine Grenztemperatur wird die Wärmepumpe abgestellt damit sie nicht in den Hochdruck geht.

Abb. 1.23: Originaler Funktionsbescrieb der Wärmeerzeugung, erstellt von der Firma Siemens Schweiz AG.

Wie aus dem Schema ersichtlich, erwärmt eine thermische Solaranlage die beiden Speicher. Die Solaranlage ist jeweils auf den entsprechenden Dächern installiert und besteht aus verglasten Flachkollektoren. In der Energiebereitstellung wird die Solaranlage priorisiert.



Abb. 1.24: Verglaste Flachkollektoren von Haus B, im Vordergrund der Dachdurchbruch für die Steigleitungen.

Aus dem Gespräch mit dem Hausmeister ist hervorgegangen, dass die Wärmepumpen aller Häuser nach ca. einem Jahr ausgetauscht wurden. Grund dafür war gemäss Hausmeister die zu kleine Dimensionierung der Wärmepumpe. Trotz des Austauschs beklagten sich Bewohner von Haus B über zu tiefe Warmwassertemperaturen. In den Rohren des Vorlaufs der Speicher ist eine elektrische Begleitheizung installiert.



Abb. 1.25: Anschluss des Heizbands auf dem Vorlauf der Speicher, Regelgerät auf dem Dach.

Speicherladung
auf 45°C

1.7 Heizungsräume von Haus B und C

Die Luft-Wasser-Wärmepumpe erhitzt den Brauchwarmwasser-Speicher und den technischen Speicher. Der technische Speicher wird für die FBH genutzt. Bei beiden Häusern liegt die Temperatur des technischen Speichers bei ca. 45 °C. Dieses Wasser wird anschliessen mit dem Rücklauf der FBH auf 35 °C runtergemischt.



Abb. 1.26: links: Vor- und Rücklauf der FBH, rechts: Temperaturmessung des Vorlaufs.



Abb. 1.27: links: Übersicht des Heizungsraums mit Speicher, rechts: Frischwasserstationen für die Brauchwarmwassererwärmung.



Abb. 1.28: Frischwasserstation mit Wärmetauscher und interner Pumpe.

Die Warmwasser-Erwärmung erfolgt mit zwei Frischwasserstationen. In den Stationen ist ebenfalls die Pumpe für die Warmwasser-Zirkulation installiert.

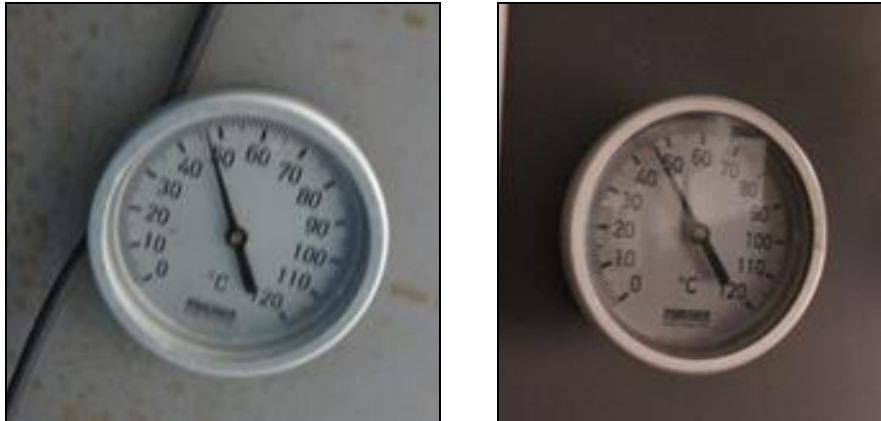


Abb. 1.29: links: Vor- und Rücklauf der FBH, rechts: Temperaturmessung des Vorlaufs.

Der Kreislauf des Brauchwarmwassers ist mit einer Warmwasserzirkulation ausgestattet.

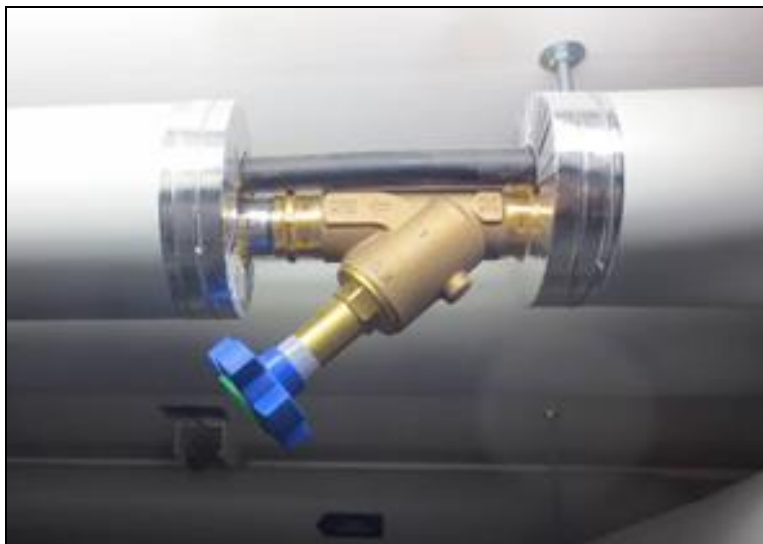


Abb. 1.30: Rücklauf (schwarzer Schlauch) der Warmwasserzirkulation im Heizungsraum.

1.8 Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH

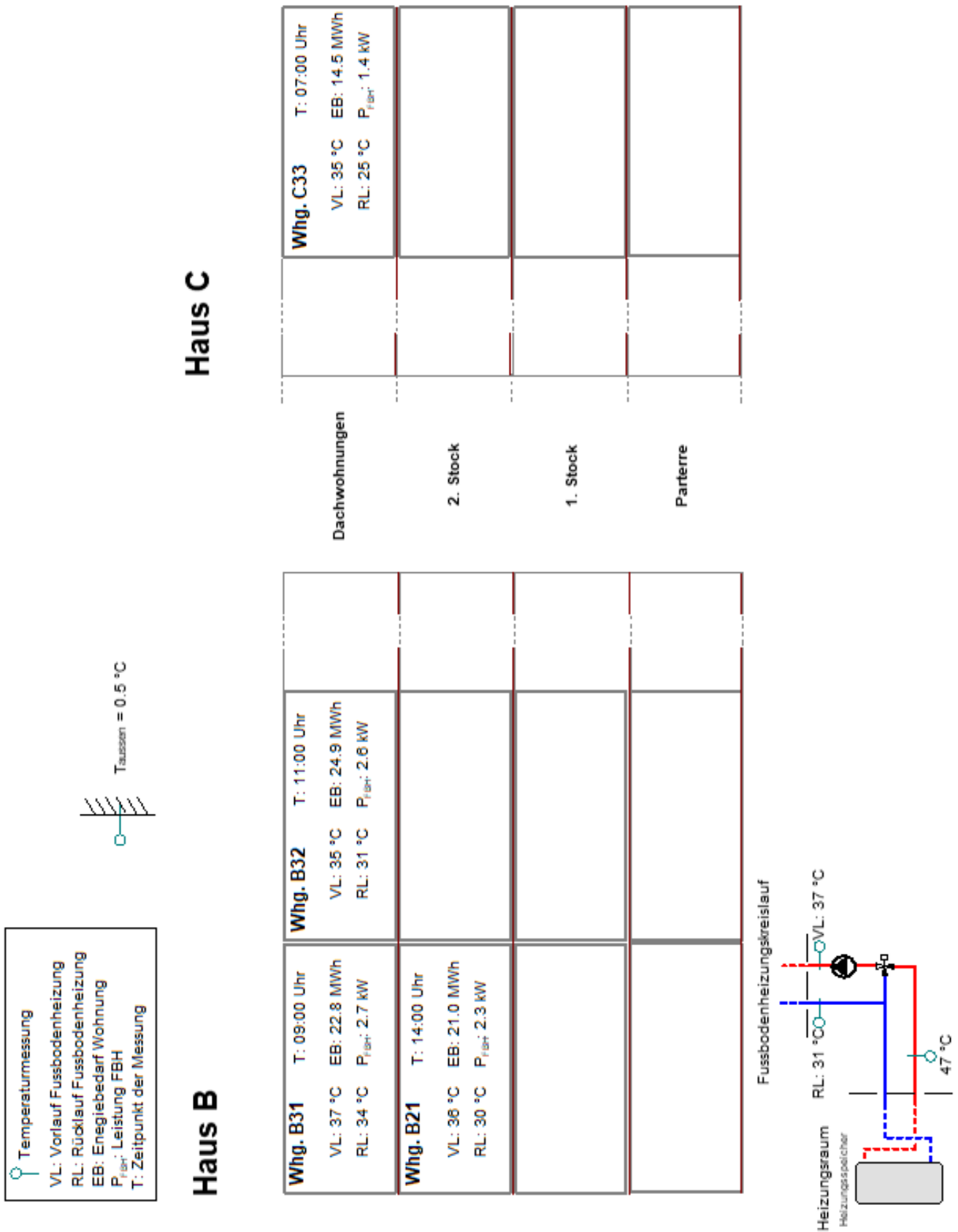


Abb. 1.31: Wohnungsübersicht von Haus B, inkl. Wohnung C33 von Haus C

1.9 Leistungsberechnung und Auslegung FBH

Die Grundlage für die Planung der FBH liegt in der Berechnung der Heizleistung nach SIA 384.201.

Als exemplarisches Beispiel wurde die Heizlastberechnung nach SIA 384.201 eines Badezimmers analysiert. Ebenfalls wurde die Dimensionierung der FBH anhand zwei Zimmern plausibilisiert.

Leistungsbedarf
Lüftung nicht nach
Norm SIA 384/201
berechnet

Bei der Überprüfung der Heizleistungsberechnung wurden folgende Punkte festgestellt:

- Die U-Werte für innenliegende Wände wurden mit 0.8 bis 1.0 W/(m²K) (siehe Nr.1, Abb. 1.32) erfasst, was eher tief ist.
- Die Soll-Temperatur in der Dusche und im Bad beträgt 24 °C (siehe Nr.2, Abb. 1.32), was nicht mehr aktuell ist.
- Gewinne über die Decke wurden vernachlässigt.
- Annahme der Temperatur in Treppenhaus von 18 °C (siehe Nr. 3, Abb. 1.32).
- Infiltration über die Fenster wurde nicht berücksichtigt (siehe Nr. 4, Abb. 1.32).
- Bei der Lüftung wurde trotz einer mechanischen Lüftung nur mit dem Mindestluftwechsel von 0.3 h⁻¹ gerechnet (siehe Nr. 5, Abb. 1.32). Die mechanische Wohnungslüftung wurde in der Berechnung nicht berücksichtigt.
- Die Wärmerückgewinnung der mechanischen Lüftungsanlage wurde nicht berücksichtigt.

Die Dimensionierung der FBH wurde für zwei Räume der Wohnung B31 plausibilisiert. Bis auf kleine Abweichungen stimmt die berechnete Länge der Fussboden-Heizungsrohre mit der verlegten Länge überein.

Norm-Heizlast nach SIA 384.201
16a-16d Neubau Wohnungsüberbauung
 16.06.2012

Raum-Heizlast	SIA 384.201
----------------------	-------------

Gebäude	003	Haus B
Geschoss	3	Dachgeschoss 3
Raum	B31	Bad

2	Norm-Innentemperatur	θ_{int}	24 °C	innenliegender Raum	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Geometrie			Lüftung		
	Breite	b_R	m	Mindest-Luftwechsel	n_{Min}	0.3 h ⁻¹
	Länge	l_R	m	Luftwechselrate	n_{50}	0.0 h ⁻¹
	Raumgrundfläche	A_R	5.6 m ²	Abschirmungskoeffizient	e	0.02
	Geschosshöhe	h_G	2.50 m	Höhe über Erdreich	h	1.06 m
	Deckenstärke	s_R	0.38 m	Höhenkorrekturfaktor	ϵ	1.00
	lichte Raumhöhe	h_R	2.12 m	Zuluftvolumenstrom	\dot{V}_{su}	m ³ /h
	Raumvolumen	V_R	11.9 m ³	-Temperatur	θ_{su}	°C
	Erdreich			-Temp.- Reduktionsfaktor	$f_{V,su}$	
	Tiefe der Bodenplatte	z	0.00 m	Abluftvolumenstrom	V_{ex}	m ³ /h
	Erdreich berührter Umfang	P	m	-Temperatur	$\theta_{mech,inf}$	°C
	B'-Wert <input type="checkbox"/> raumweise	B'	m	-Temp.- Reduktionsfaktor	$f_{V,mech,inf}$	
	Temp. Reduktionsfaktor	f_{g2}	0.44 -			
	Zeitkonstante	τ	760 h	Norm-Außentemp. Korr.		K

Transmissionswärmeverlust															
Orientierung	Bauteil	Anzahl	Breite	Länge / Höhe	Bruttofläche	Abzugsfläche	Nettofläche	grenz an	angrenzende Temperatur	Korrektur-Faktoren	U-Wert	Korrekturwert Wärmebrücken	korrigierter U-Wert	Wärmeverlust-Koeffizient	Transmissions-Wärmeverlust
W/(m ² ·K)															
W	IW	1	5.30	2.50	13.2	0.0	13.2	b	18	0.17	0.80		0.80	1.8	64
	IW	1	5.30	2.50	13.2	2.0	11.2	b	20	0.11	1.00		1.00	1.2	45
	IT	1	1.01	2.00	2.0	0.0	2.0		20	0.11	1.80		0.80	0.4	15
H	DA	1	2.37	2.37	5.6	0.0	5.6		-12	1.00	0.15		0.15	0.8	30
Total														Φ_T	154

Lüftungswärmeverlust					
5	Mindest - Luftwechsel	\dot{V}_{Min}	3.6 m ³ /h	$\Phi_{V,min}$	43
	natürliche Infiltration	\dot{V}_{inf}	0.0 m ³ /h	$\Phi_{V,inf}$	0
	mechanischer Zuluftvolumenstrom	$\dot{V}_{su} \cdot f_{V,su}$	0.0 m ³ /h	$\Phi_{V,su}$	0
	Abluftvolumenüberschuss	$\dot{V}_{mech,inf} \cdot f_{V,mech,inf}$	0.0 m ³ /h	$\Phi_{V,mech,inf}$	0
	thermisch wirks. Volumenstrom	\dot{V}_i	3.6 m³/h		
Total Lüftungswärmeverlust		H_V	1.21 W/K	Φ_V	43 W
Netto - Heizlast			35.13 W/m ²		16.57 W/m ³
Zusatz - Aufheizleistung				Φ_{RH}	0 W
Norm - Heizlast				Φ_{HL}	197 W

Abb. 1.32: Auszug aus den Berechnungen der Norm-Heizlast, Bsp. Bad.

1.10 Fazit Objekt 1

In allen Wohnungen von Objekt 1 konnte nur eine kleine Differenz zwischen Planung und Ausführungen der FBH festgestellt werden. In der der Küche der Wohnung B31 ist die Verlegung um 90° gedreht, was jedoch keinen Einfluss auf die Leistung der FBH hat. Ein Unterschied der Verlegung zwischen Dachwohnungen und den restlichen Wohnungen konnte nicht festgestellt werden.

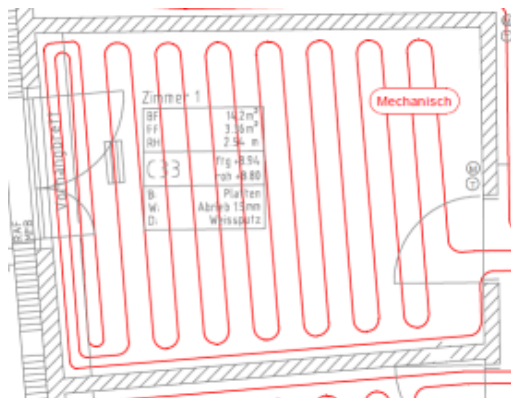


Abb. 1.33: FBH Zimmer DG.

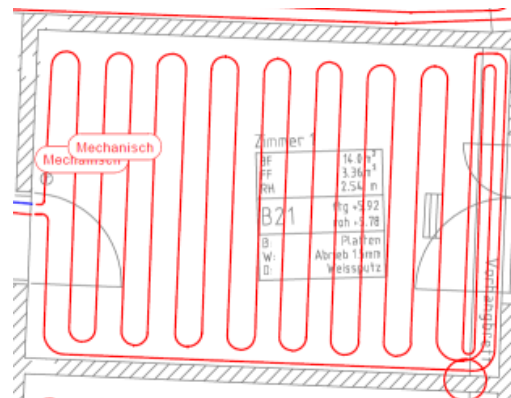


Abb. 1.34: FBH Zimmer 2.OG.

Die Vorgabe an die Vorlauftemperatur beträgt maximal 35 °C im Auslegefall. Es konnten Vorlauftemperaturen zwischen 36 °C und 37 °C, festgestellt werden.

In der Wohnung B21 wurde nachträglich der FBH-Verteiler versetzt. Der Verteilerkasten wurde ursprünglich im Schlafzimmer installiert. Dies führte zur Überhitzung des Schlafzimmers und des Gangs, da alle Zuleitungen durch das Schlafzimmer verliefen. Nach der Bemängelung der Bewohner, wurde der Verteilerkasten in den Gang verlegt. Jedoch sind im neuen Verteilerkasten keine Thermostatventile installiert. Durch die fehlenden Thermostatventile ist nun jeder Heizkreis stetig durchflossen.

In der Wohnung C31 wurde festgestellt, dass ein Zimmer trotz aufgedrehtem Thermostat nicht durchflossen wurde. Zusätzlich konnte eine hohe Temperaturspreizung und ein geringer Durchfluss festgestellt werden (vermutlich Luft im Heizkreis).

Der technische Heizungsspeicher im Heizungsraum weist eine Temperatur von knapp 50 °C auf. Für die FBH wird das Wasser im Speicher mit dem Rücklauf auf die gewünschte Temperatur (30-35 °C) runtergemischt.

Die Berechnung des raumweisen Heizleistungsbedarfs erfolgte zwar nach dem Raster der SIA 384/201, da aber wesentliche Eingaben wie Zu- und Abluftmenge, n50-Wert und Temperaturreduktionsfaktor nicht eingegeben wurden, wurde faktisch mit dem Minimalluftwechsel $n=0.3$ 1/n gerechnet, wie in der nicht mehr gültigen Norm SIA 384/2.

2 Objekt 2: MFH mit Projektbegleitung

2.1 MFH mit exponierten Zimmern (im Bereich der Loggia)

Auch beim zweiten, untersuchten Objekt handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus. Die Häuser wurden nach den Vorgaben des Minergie-Eco-Standards erstellt. Der Bezugstermin der Wohnungen war zwischen einem und zwei Jahren vor der Untersuchung. Bei diesem Objekt gab es eine externe, energetische Projektbegleitung.



Abb. 2.1: links: Ost-Ansicht mit Hauseingang von Objekt 2, recht: Baugleiches Haus mit Aussenansicht der Loggia (rote Markierung). Diese ist umgeben von drei Fenster. Die Dachwohnung besitzt keine Loggia.

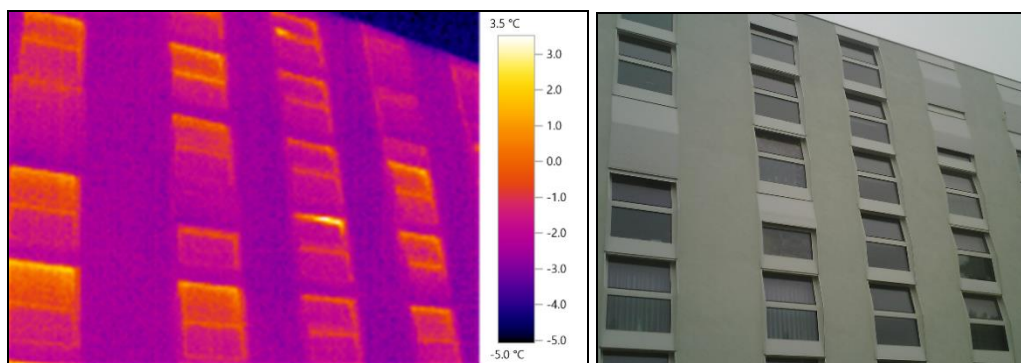


Abb. 2.2: Thermografie-Aufnahme der Ost-Fassade von Objekt 2

2.2 Mittlere Wohnung Nr. 31, Objekt 2

Die Wohnung 31 liegt im vierten von insgesamt acht Stockwerken. Drei Seiten der Wohnung haben Kontakt zur Aussenluft. Zudem besitzt die Wohnung eine beheizte Loggia (Loggia mit 2 komplett verglasten Seiten zur Aussenluft).

Thermostaten voll
Aufgedreht,
Raumtemperatur
24°C



Abb. 2.3: Alle Thermostate auf maximaler Einstellung.

Die Befragung der Bewohner hat ergeben, dass bis zum Zeitpunkt der Messungen keine Probleme mit der FBH aufgetreten sind. In der Wohnung lag die durchschnittliche Raumtemperatur bei ca. 24 °C. Auffallend war, dass sämtliche Thermostate in der Wohnung auf das Maximum eingestellt waren.

Vorlauftemperatur
FBH: 30.5°C



Abb. 2.4: Wärmehähler der FBH mit Vorlauftemperatur.

Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmehähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 30.5°C. Die Rücklauftemperatur lag bei 28.1°C.

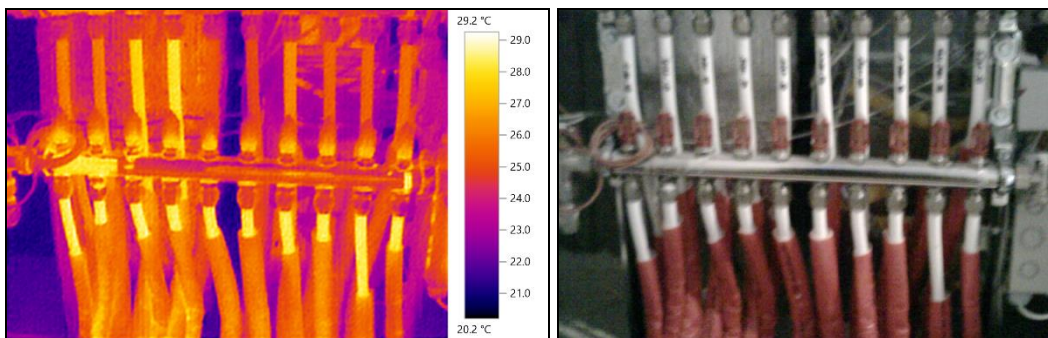


Abb. 2.5: Heizkreisverteiler der Wohnung, sämtliche Heizkreise weisen aufgrund der voll aufgedrehten Thermostate Durchfluss auf. Alle Heizkreise verfügen über Thermostatventile.

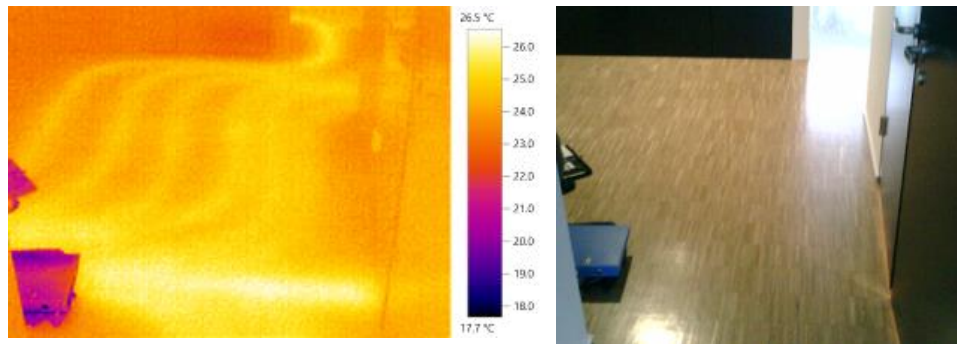


Abb. 2.6: Verteilung des Heizkreises durch den Gang. Der Heizkreisverteilkasten befindet sich in der Wärmebildaufnahme links unten.

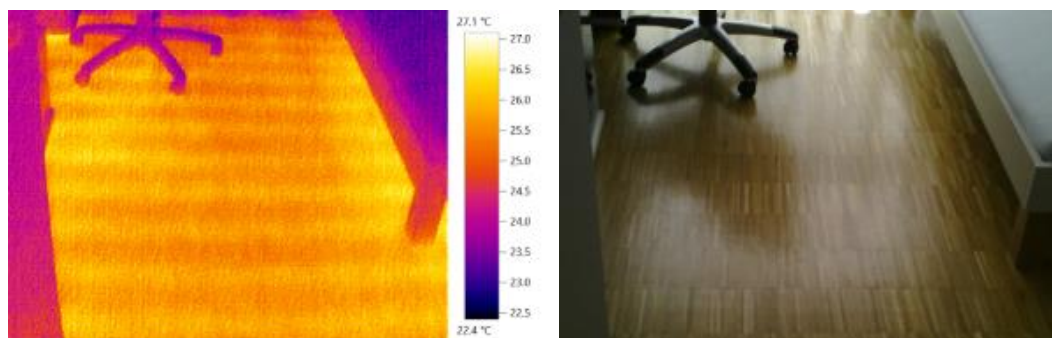


Abb. 2.7: Verlegung FBH Kinderzimmer 1.

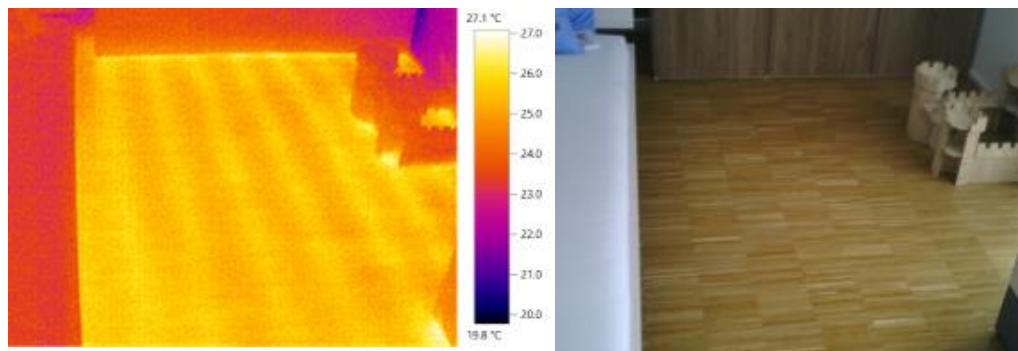


Abb. 2.8: Verlegung FBH Kinderzimmer 2.

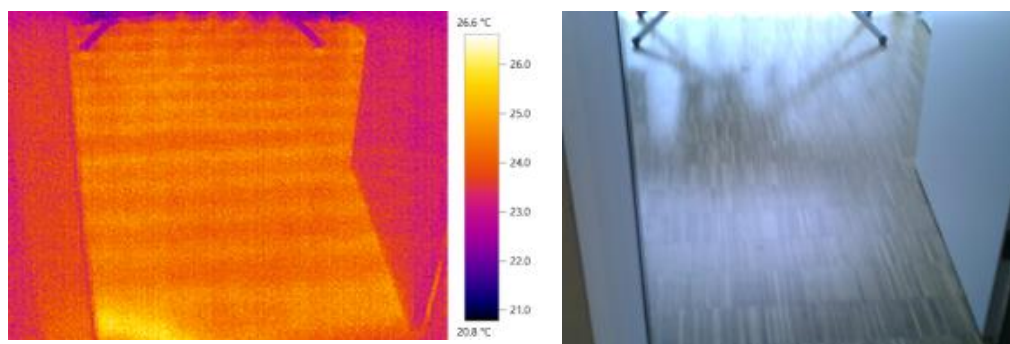


Abb. 2.9: Verlegung FBH Elternschlafzimmer.

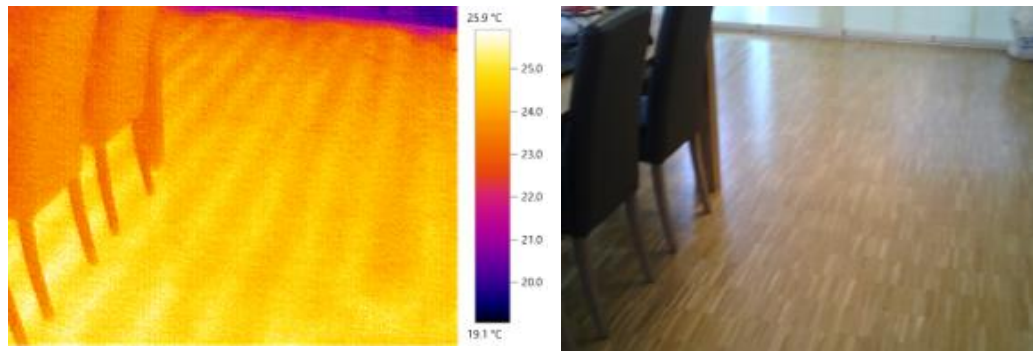


Abb. 2.10: Verlegung FBH Küche.

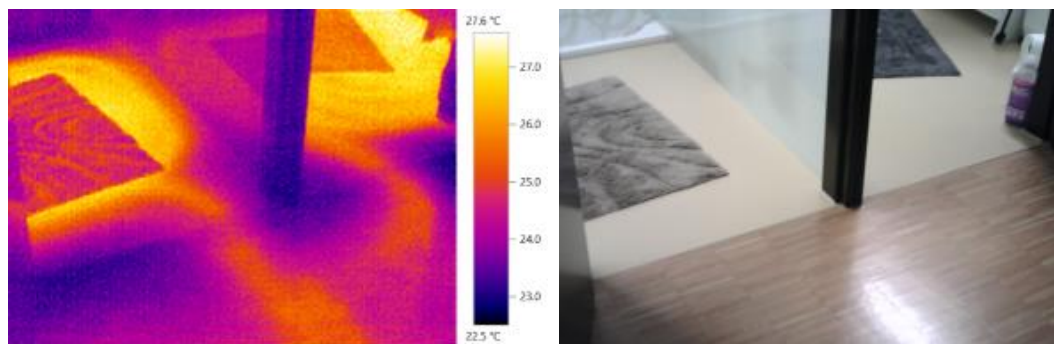


Abb. 2.11: Verlegung FBH Dusche (links) und Bad (rechts). Die beiden Teppiche haben einen starken Dämmeffekt.

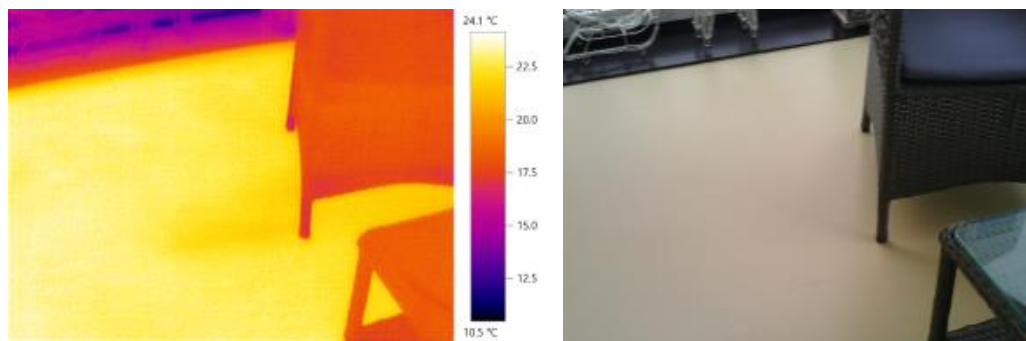


Abb. 2.12: Verlegung FBH Loggia. Die Loggia ist umgeben von drei Fenstern. Die Loggia kann mit einer Schiebetüre aus Glas vom Rest der Wohnung abgegrenzt werden.

2.3 Wohnung 72 im obersten Geschoss, Objekt 2

Die Wohnung 72 befindet sich im obersten Geschoss. Drei Seitenwände und die Wohnungsdecke bzw. das Dach haben Kontakt zur Aussenluft. Auch in dieser Wohnung sind bis zum Zeitpunkt der Messung keine Probleme mit der FBH aufgetreten. Die Dachwohnung verfügt nicht über eine Loggia.

Kipfenster offen,
Thermostaten voll
Aufgedreht,
Raumtemperatur
23.5°C

Wie in der Wohnung zuvor, waren alle Thermostate auf das Maximum eingestellt. Gleichzeitig waren im Wohnzimmer zwei Fenster gekippt. Die durchschnittliche Raumtemperatur betrug rund 23.5°C.



Abb. 2.13: links: Thermostat auf maximaler Einstellung, rechts: Raumtemperaturmessung, durchschnittlich Raumtemperatur liegt bei rund 23.5°C.

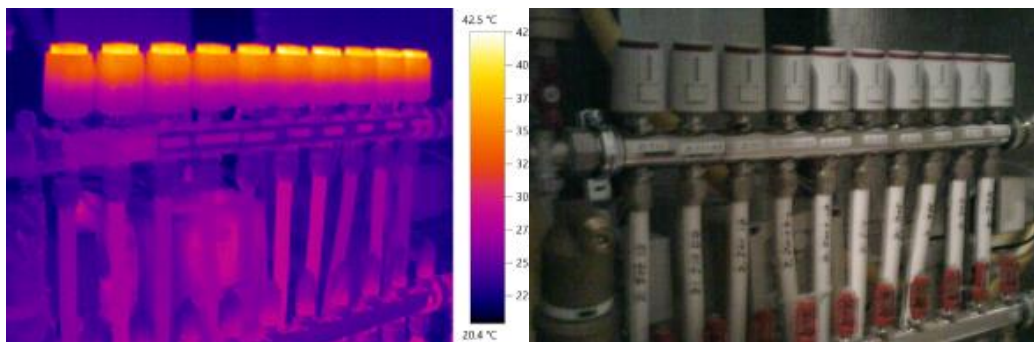


Abb. 2.14: Heizkreisverteiler, Durchfluss bei allen Heizkreisen. Alle Heizkreise verfügen über Thermostatventile.

Vorlauftemperatur
FBH: 30.6°C



Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmezähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 30.6°C. Die Rücklauftemperatur lag bei 27.8°C.

Abb. 2.15: Wärmezähler der FBH mit Vorlauftemperatur.

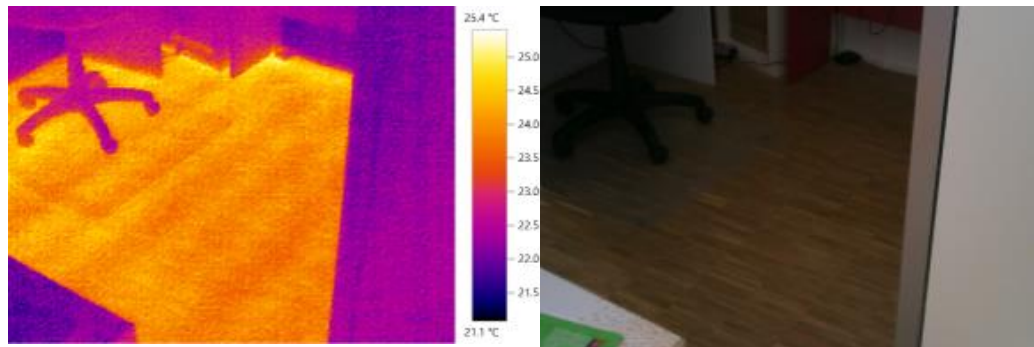


Abb. 2.16: Verlegung FBH Kinderzimmer 1.

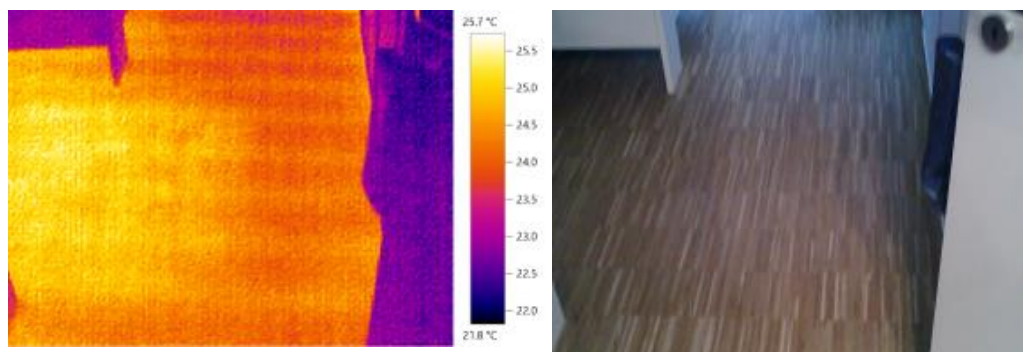


Abb. 2.17: Verlegung FBH Kinderzimmer 2.

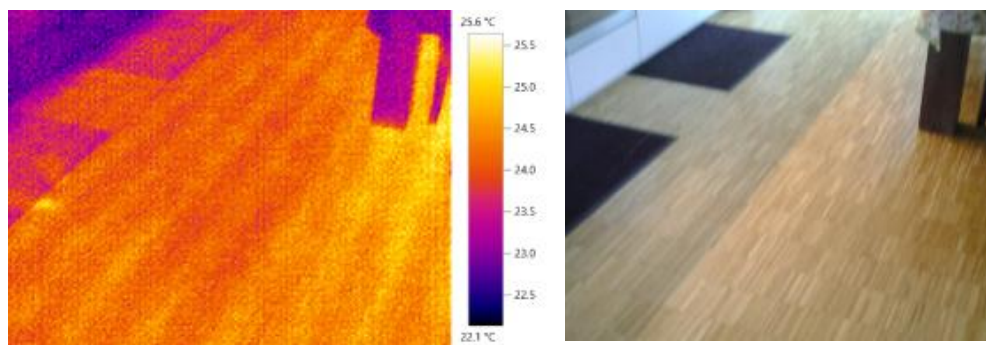


Abb. 2.18: Verlegung FBH Küche.

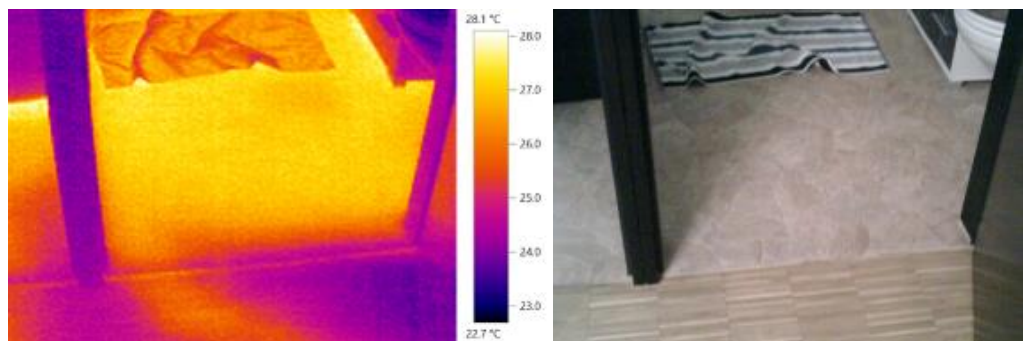


Abb. 2.19: Verlegung FBH Bad, Linoleum auf dem Parkettboden hat praktisch keinen Dämmeffekt.

2.4 Wohnung 21, Nachbargebäude von Objekt 2

Die Wohnung 21 befindet sich im 1. Stock und hat drei Seiten mit Kontakt zur Aussenluft. Bei der Befragung der Bewohner wurden ein kühles Raumklima in der Nacht, sowie leichte Zugerscheinungen durch die Lüftung angegeben. Während der Messung wurden Raumtemperaturen von ca. 24 °C gemessen. Auch in dieser Wohnung waren sämtliche Thermostate auf das Maximum eingestellt.

Raumtemperatur
24°C
Klagen über Nach-
tabenkung



Die Vorlauftemperatur der FBH konnte am Wärmehähler der Wohnung abgelesen werden und betrug zum Zeitpunkt der Begehung 30.6 °C. Die Rücklauftemperatur lag bei 28.5 °C.

Abb. 2.20: Wärmehähler der FBH mit Vorlauftemperatur.

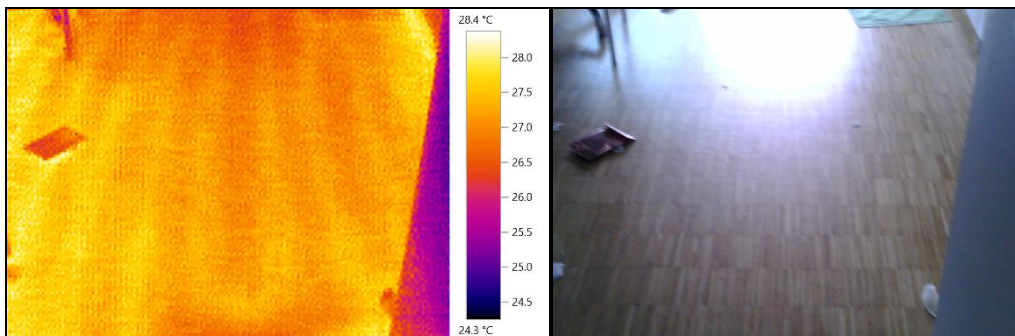


Abb. 2.21: Verlegung FBH Küche.

Die Loggia ist wie in den anderen Wohnungen auch hier beheizt. Abb. 2.22 zeigt, dass in der Loggia mindestens gleich hohe Bodentemperaturen wie im Badzimmer herrschen.

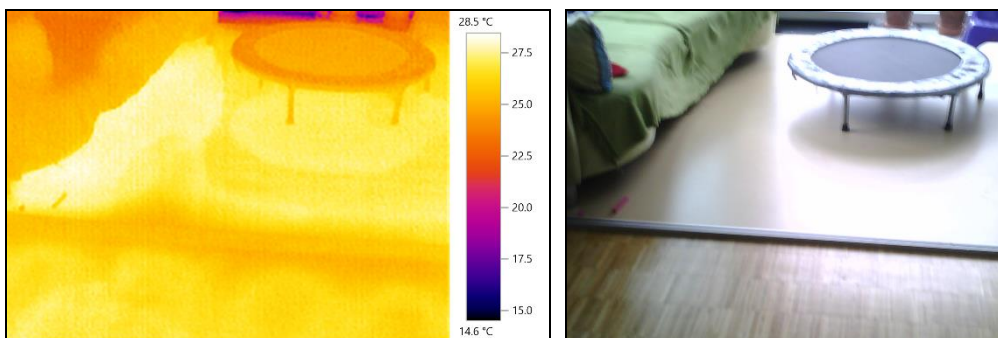


Abb. 2.22: FBH in der Loggia, auffallend sind die hohen Bodentemperaturen.

2.5 FBH und Lüftung während der Bauphase

Abb. 2.23 zeigt die Verlegung der FBH exemplarisch für alle Wohnungen von Objekt 2.

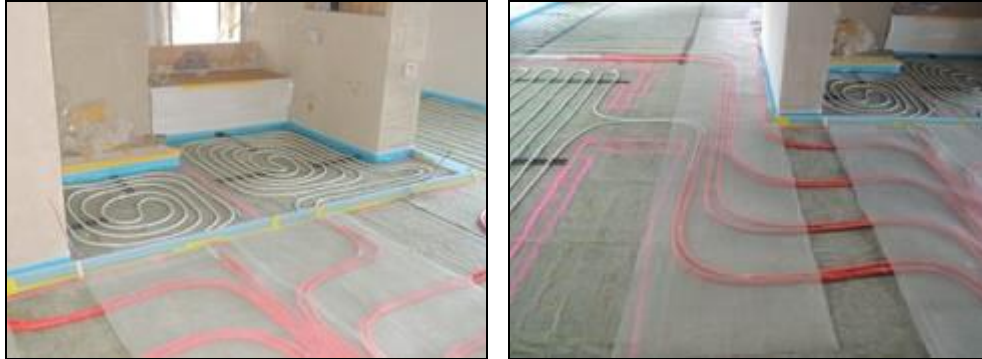


Abb. 2.23: Fussbodenheizungsrohren im Gang und direkt nach dem Heizkreis-verteiler.



Abb. 2.24: Verlegung der Fussbodenheizungsrohre.



Abb. 2.25: links: Lüftungsanschluss pro Wohnung- Im Gleichen Schacht ist die Steigleitung für die FBH untergebracht, rechts: Abgänge aus dem Heizkreisverteiler.

2.6 Schema Heizungsanlage

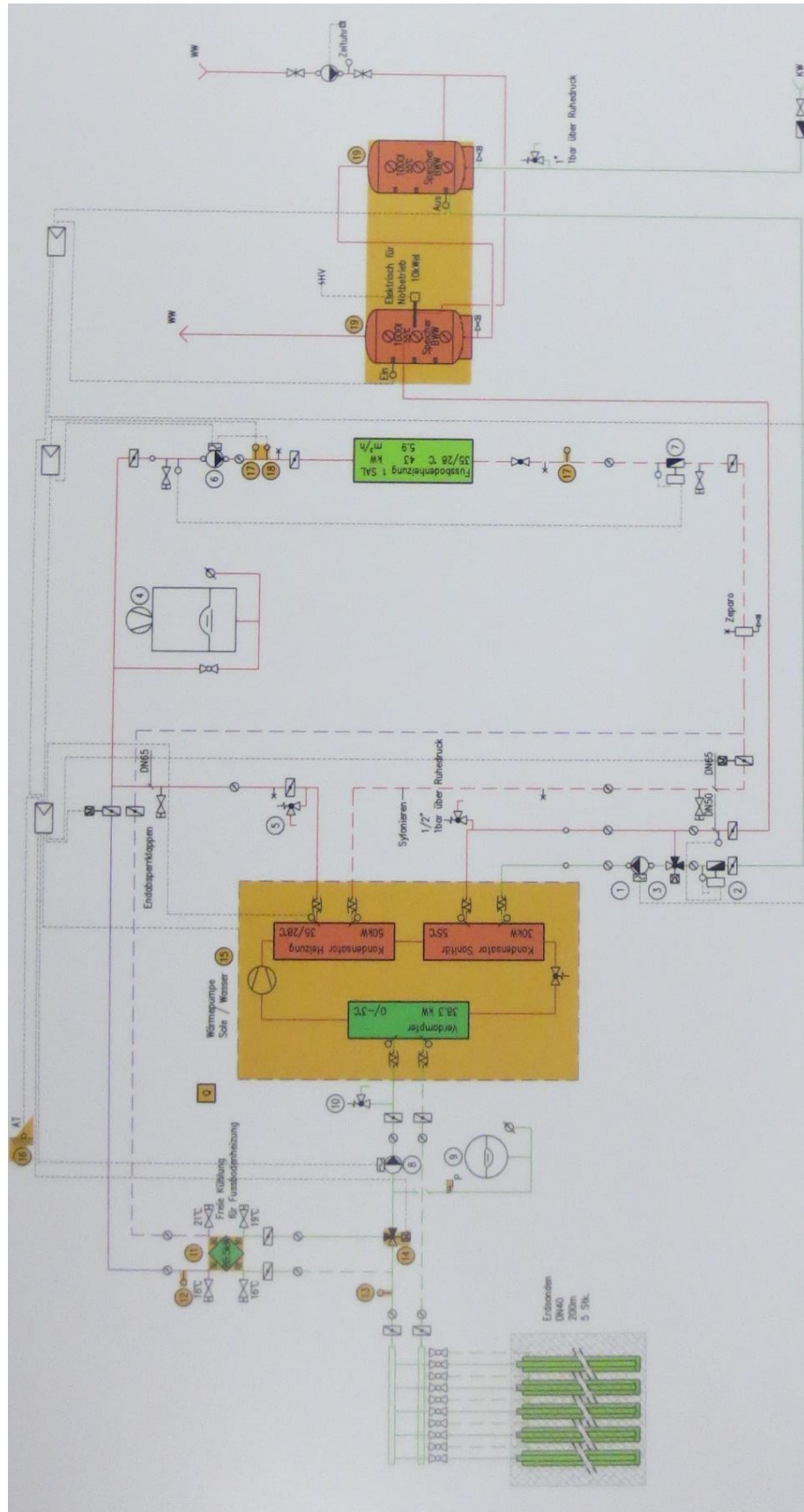


Abb. 2.26: Prinzipschema der Heizungsanlage.

2.7 Heizungsräume Objekt 2

Wärmepumpe ohne
technische Speicher

Eine 50 kW Sole-Wasser-Wärmepumpe beheizt das Gebäude und erwärmt zwei Warmwasserspeicher mit je 1250 Litern Inhalt. Als Wärmequelle dienen je fünf 200 m tiefe Erdwärmesonden. Ein technischer Speicher für die Heizung wurde nicht verbaut.



Abb. 2.27: Links, die beiden Warmwasserspeicher und rechts die Sole-Wasser-Wärmepumpe der Firma Scheco.



Abb. 2.28: Scheco Wärmepumpe mit Anschluss an der Erdwärmesonden, FBH und der Warmwasser-speicher.

2.8 Beschrieb Heizsystem und Lüftung

Geocooling im Sommer

Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 50 kW Heizleistung deckt den Energiebedarf für die Brauchwarmwassererwärmung und den Heizenergiebedarf. Als Wärmequelle kommen je fünf Erdwärmesonden à 200 m Tiefe zum Einsatz. Im Sommer wird Wärme über die FBH aus den Wohnungen in das Erdreich eingespeist. Dies erfolgt über ein Freecooling, die je nach Kühlkurve vom System zugeschaltet wird. Das Brauchwarmwasser wird pro Wohnung in zwei Warmwasserspeicher mit 1250 Litern Inhalt gespeichert. Ein Heizungsspeicher kommt nicht zum Einsatz.

Komfortlüftung ohne Einstellmöglichkeit

Jedes Gebäude verfügt über eine zentrale Komfort-Lüftungsanlage. Eine individuelle Einstellung der Lüftung durch die Bewohnung der einzelnen Wohnungen kann nicht vorgenommen werden.

Leitsystem

Von einem zentralen Leitsystem können die Heizsysteme und Lüftungen aller Gebäude der Wohnsiedlung überwacht und gesteuert werden.

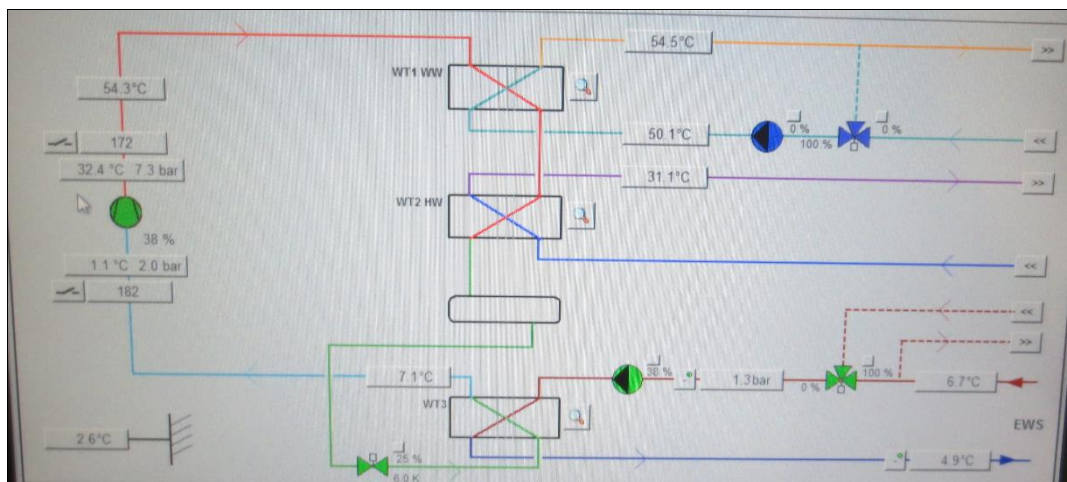


Abb. 2.29: Schematische Darstellung der Wärmepumpe aus dem Leitsystem (Teil 1).

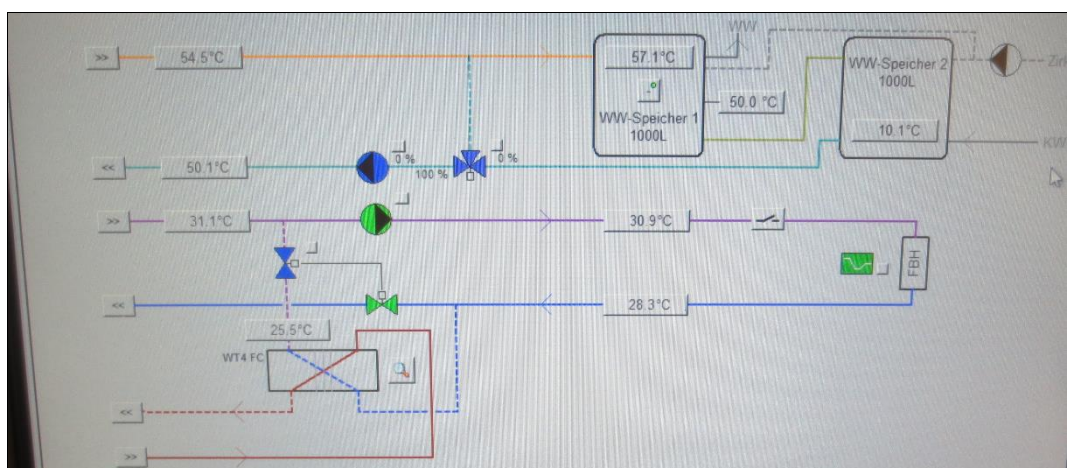


Abb. 2.30: Schematische Darstellung des Heizsystems aus dem Leitsystem (Teil 2) mit dem Wärmetauscher für das Freecooling und den beiden Warmwasserspei

Die eingestellte Heizkurve entspricht den gesetzlichen Vorgaben. Bei der Auslegungstemperatur von -8°C weist der Vorlauf der FBH eine Temperatur von 35°C auf. Aus Abb. 2.31 bzw. Abb. 2.32 können die entsprechenden Zahlen herausgelesen werden.

Heizkurve gemäss gesetzlichen Vorgaben eingestellt

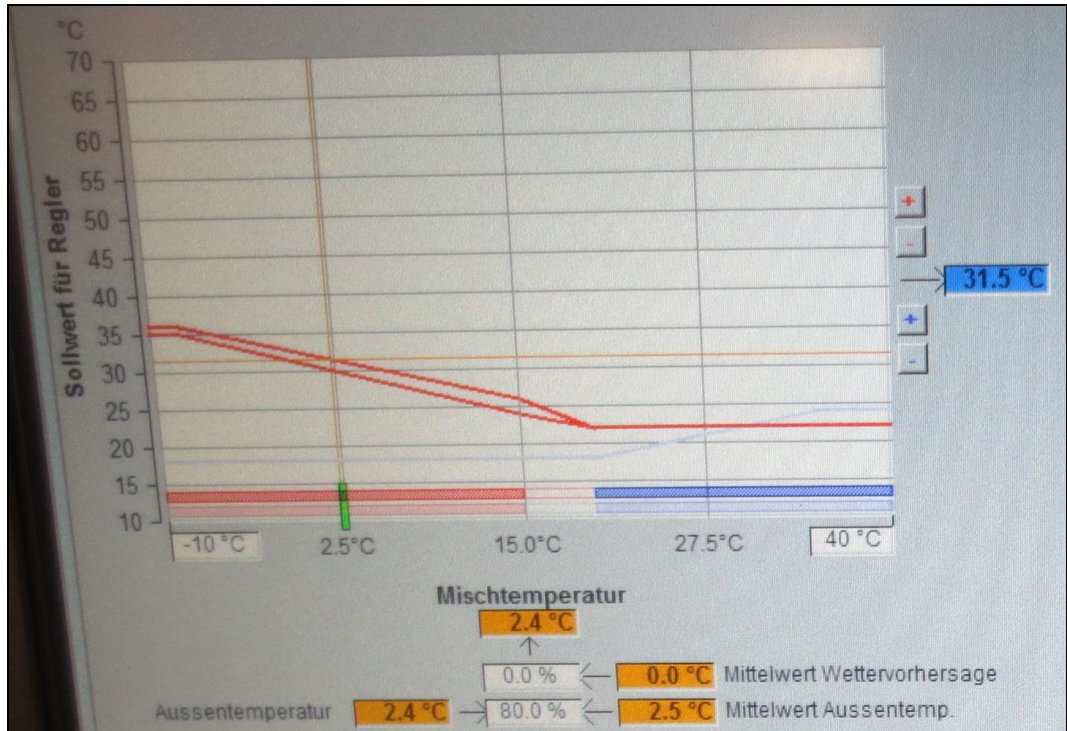


Abb. 2.31: Heiz- (rot) und Kühlkurve (blau) mit entsprechenden Grenztemperaturen.

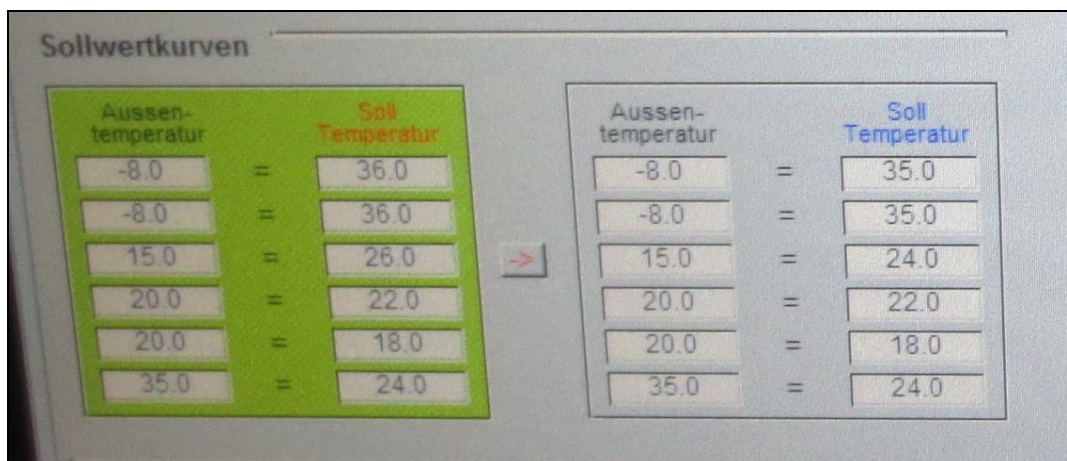


Abb. 2.32: Eingabe der Heizkurve.

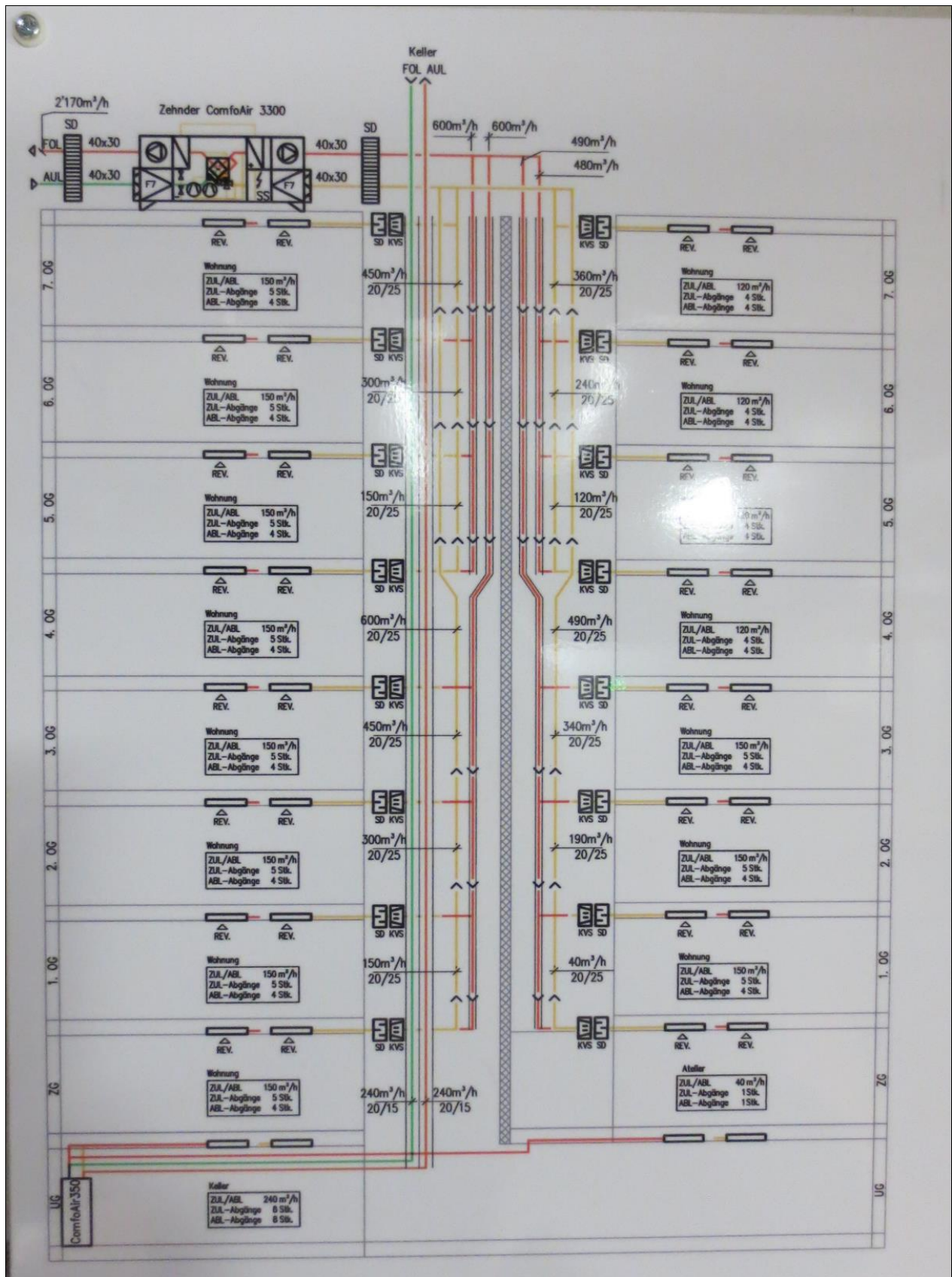


Abb. 2.33: Prinzipschema der Zentrale Lüftungsanlage der Wohnsiedlung. Für den Keller ist eine separate Lüftung installiert.

2.9 Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH

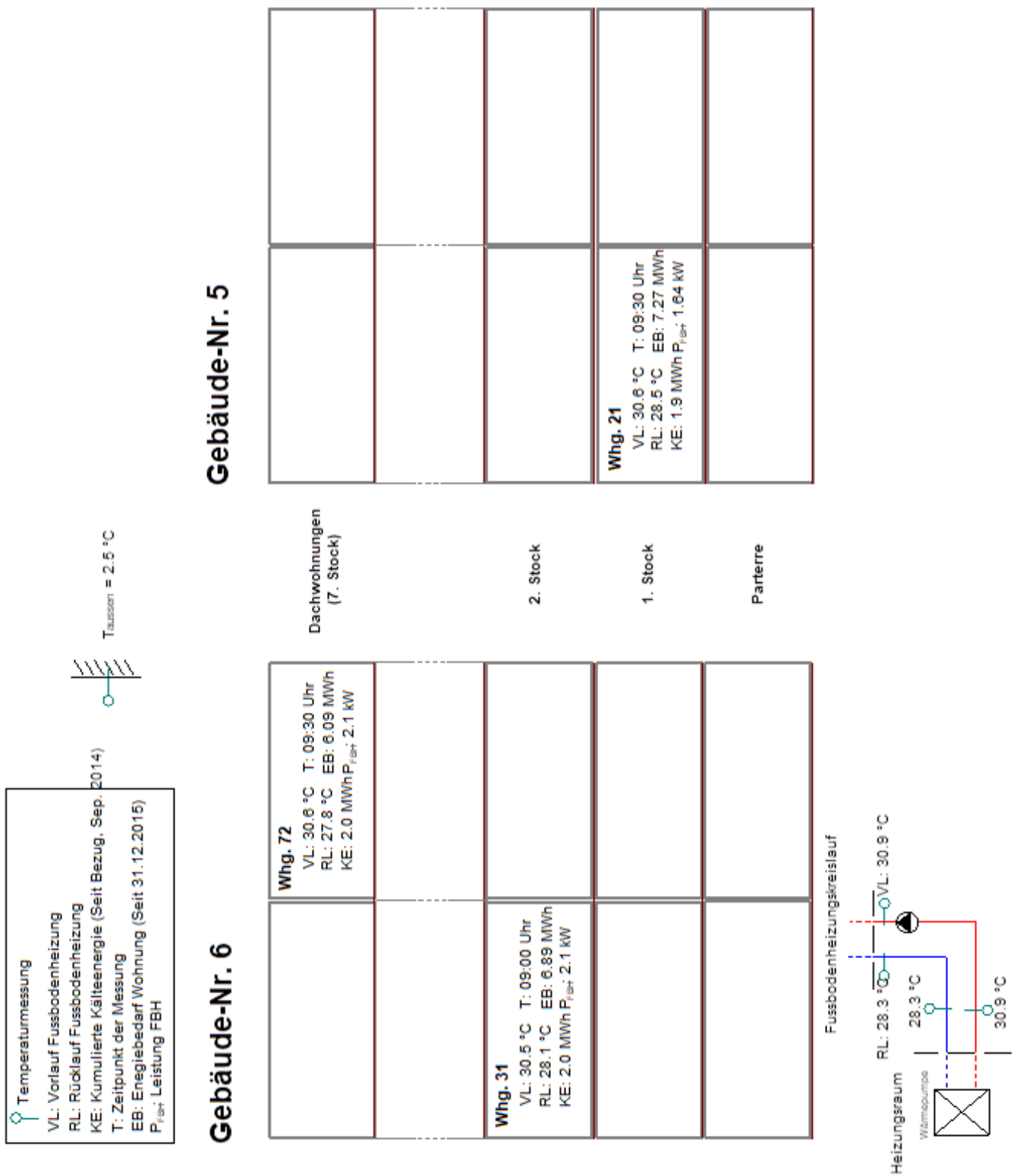


Abb. 2.34: Überblick der beiden untersuchten Gebäuden

2.1 Fazit Objekt 2

BBVI eingehalten	Die Vorgabe zur Vorlauftemperatur der FBH konnte eingehalten werden. Die eingestellte Vorlauftemperatur im Auslegefalls bei -8 °C Aussentemperatur betrug zum Zeitpunkt der Begehung 35 °C.
Nachtabsenkung führt zu Klagen	In den drei untersuchten Wohnungen waren sämtliche Thermostateinstellung auf dem Maximum, obwohl die Raumtemperaturen von den Bewohnern nicht als zu tief beurteilt wurden. Ein Hinweis auf dieses merkwürdige Benutzerverhalten könnte die Bemerkung der Bewohner über die unangenehm tiefen Raumtemperaturen in der Nacht darstellen, die vermutlich auf die Nachtabsenkung zurückzuführen ist. Der Grund, warum bei einem solch gut gedämmten Gebäude eine Nachtabsenkung eingestellt wurde, konnte nicht herausgefunden werden.
Hohe Raumtemperaturen	Die durchschnittlichen Raumtemperaturen lagen bei der Begehung zwischen 23 °C und 25 °C. Die gemessene Vorlauftemperatur stimmte mit der Heizkurve überein. Gemäss den Bewohnern verlief der Betrieb der FBH bis zum Zeitpunkt der Untersuchung ohne Probleme.
Externe QS zahlt sich aus	Der Betrieb der Heizungsanlage wird durch ein externes Büro überwacht und aufgezeichnet.

3 Objekt 3: Mehrfamilienhaus

3.1 MFH mit unvollständigem hydraulischem Abgleich

Die Überbauung in Zürich wird gerade fertiggestellt. Ein Teil der Überbauung befindet sich noch im Bau, andere Teile wurden bereits bezogen. Die untersuchten Wohnungen standen zum Zeitpunkt der Untersuchung leer und wurden noch nicht übergeben.



Abb. 3.1: Sicht auf die Fassade der Überbauung in Zürich.

Die Überbauung besteht aus einem grossen, zusammenhängendem Gebäude, welches in verschiedenen Gebäudeteile unterteilt und etappenweise fertiggestellt wird. Die Wärmeerzeugung erfolgt zentral und wird anschliessend auf Unterstationen der einzelnen Gebäudeteile verteilt. Die Übergabe der Technikzentrale war beim Zeitpunkt der Messung noch ausstehend. Aufgrund der bereits bezogenen Gebäudeteile war die Technikzentrale zum Zeitpunkte der Begehung schon einige Wochen in Betrieb.

3.2 Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH

Die Wohnung befindet sich im obersten Stockwerk und hat auf zwei Seiten sowie dem Dach Kontakt zur Aussenluft. An der Süd- und Westseite der Wohnung befinden sich Raumhohe Fenster. Die Decke besteht auch Sichtbeton. Der FBH-Verteiler befindet sich unter der Küchenkombination.

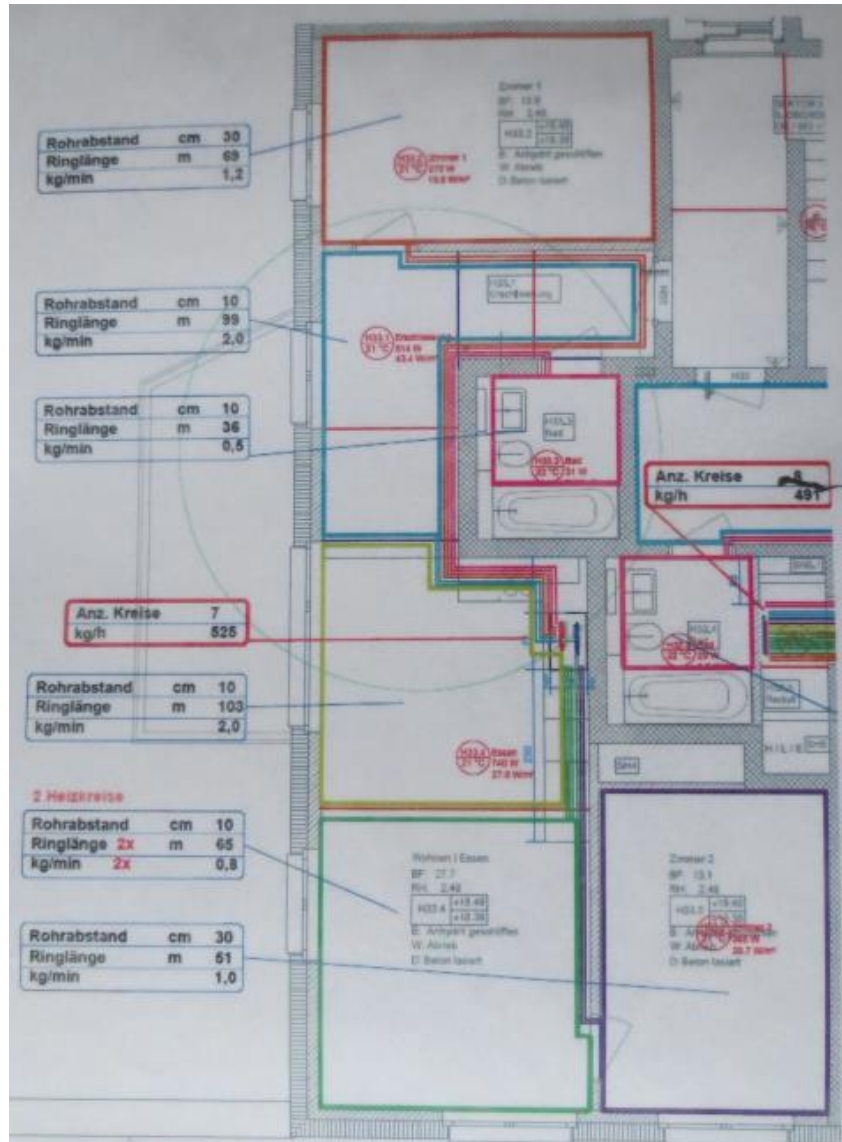


Abb. 3.2: Grundriss Wohnung H33 mit Auslegung FBH

Alle Thermostate in der Wohnung waren auf Stufe 2 oder 3 (von maximal 5 Stufen) eingestellt. Bei Ankunft wurde nur das Badezimmer und ein weiteres Zimmer (von Total 2 Zimmern) aktiv beheizt. Die Heizkreise der anderen Zimmer- und Wohnbereiche wurden nicht durchflossen.



Abb. 3.3: Fenster der Westseite und Heizungsverteiler unter Spülbecken in der Küchenkombination

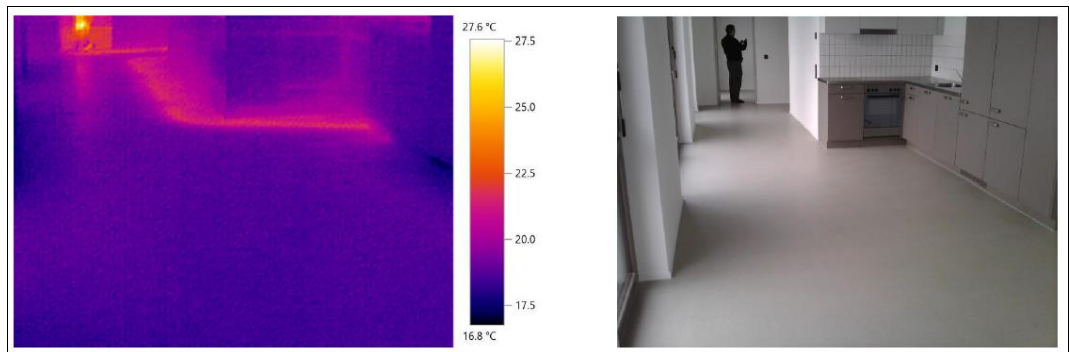


Abb. 3.4: Zuleitung von Verteiler (unter Spülbecken) ins Badezimmer (im Gang) und in Zimmer 1.

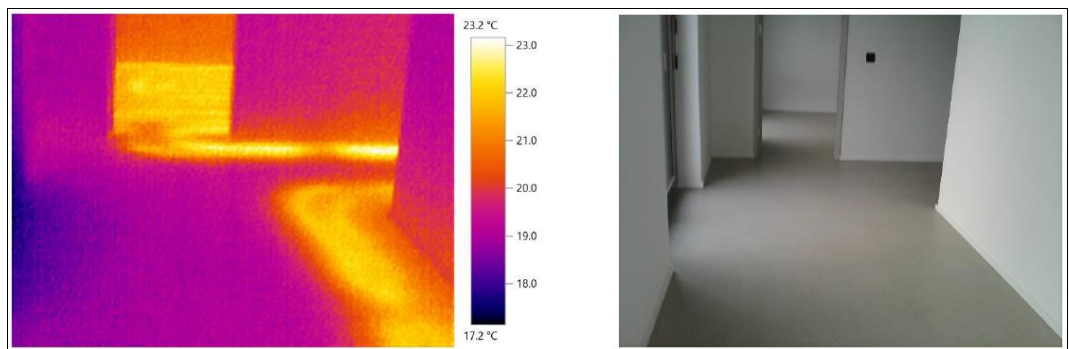


Abb. 3.5: Zuleitung von Verteiler ins Badezimmer (im Gang) und in Zimmer 1.

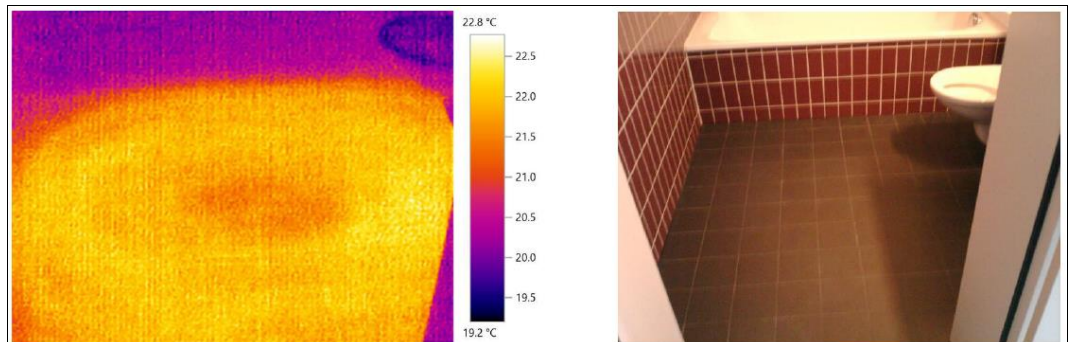


Abb. 3.6: Aktive FBH im Badezimmer.

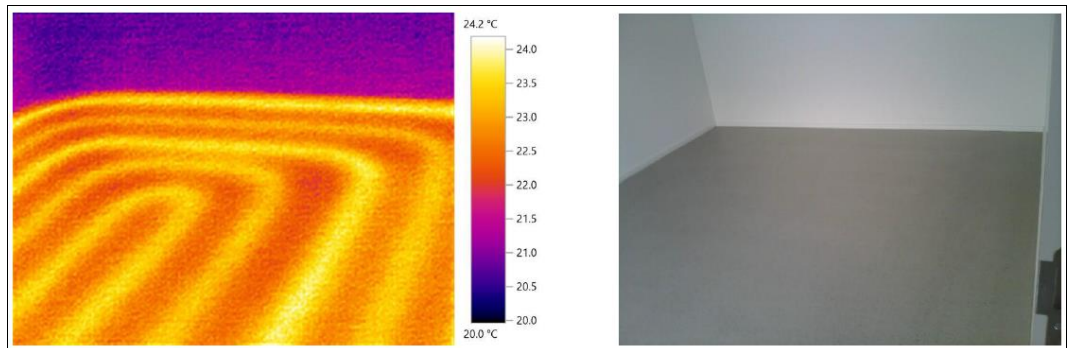


Abb. 3.7: Aktive FBH in Zimmer 1.

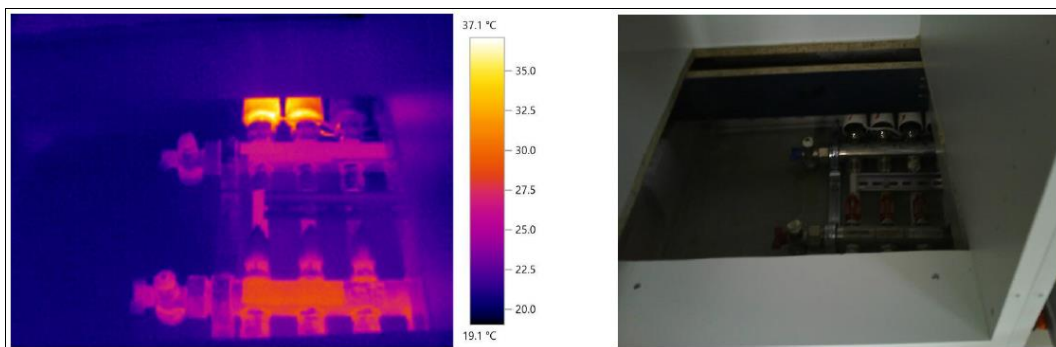


Abb. 3.8: FBH-Verteiler mit den beiden aktiven Heizkreisen für Badezimmer und Zimmer 1.

Nach der Aufnahme der Situation vor Ort, wurden in der gesamten Wohnung die Thermostate aufgedreht. Alle Ventile öffneten sich und die bisher nicht sichtbaren Heizkreise wurden erkennbar.

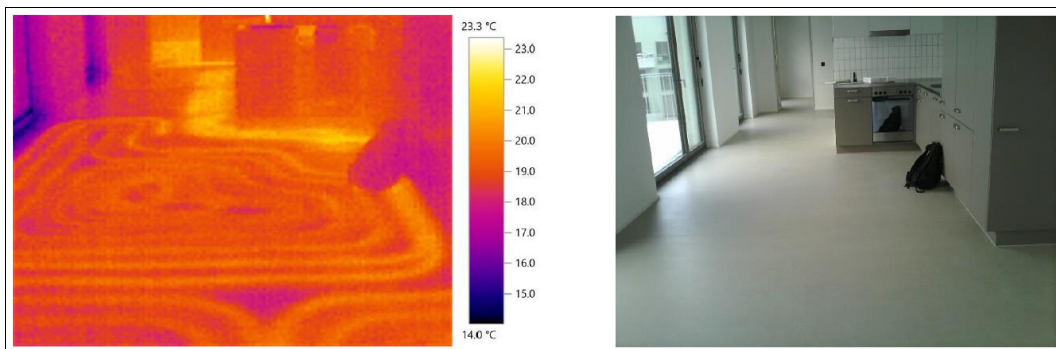


Abb. 3.9: FBH-Heizkreise im Bereich Essen/Wohnen.

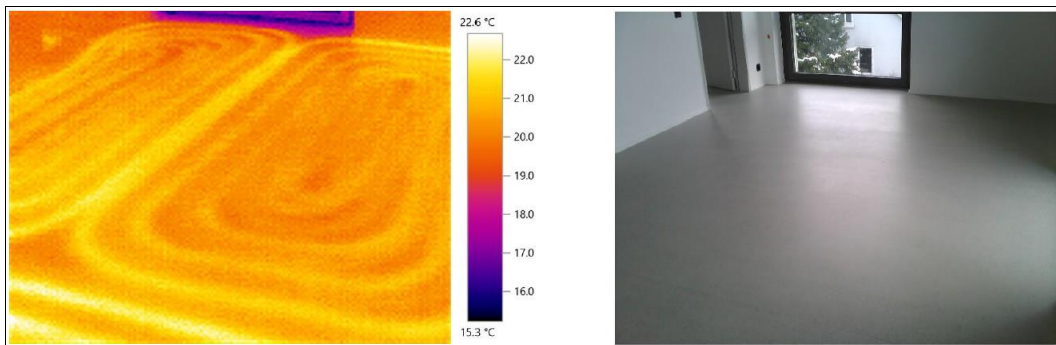


Abb. 3.10: FBH-Heizkreise im Bereich Wohnen aus Sicht Gang. Es wurden für den Bereich Wohnen zwei Heizkreise verlegt.

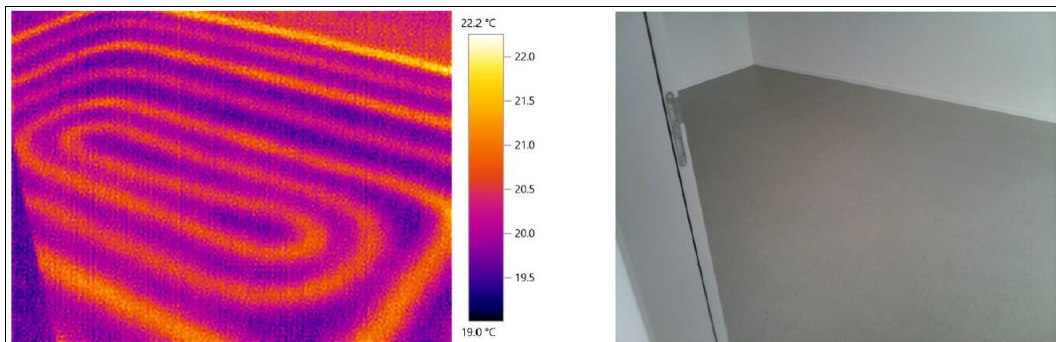


Abb. 3.11: FBH-Heizkreise in Zimmer 2.

Bei voll geöffneten Thermostatventilen konnten folgende Durchflussmengen abgelesen werden:

Tabelle 3-1: Durchfluss Heizkreise Wohnung H33

Heizkreis	Soll [l/min]	Ist [l/min]
Bad / WC	0.5	1.2
Zimmer 1	1.2	1.6
Erschliessung	0.5	0.8
Essen	2.0	1.5
Wohnen 1	0.8	1.2
Wohnen 2	0.8	1.2
Zimmer 2	1.0	1.5



Abb. 3.12: FBH Verteiler mit geöffneten Thermostatventilen

Aufgrund des noch ausstehenden, hydraulischen Abgleichs konnte bei jedem Heizkreis eine Abweichung des Durchflusses zur ausgelegten Durchflussmenge beobachtet werden.

Vorlauftemperatur
FBH: ~30 °C

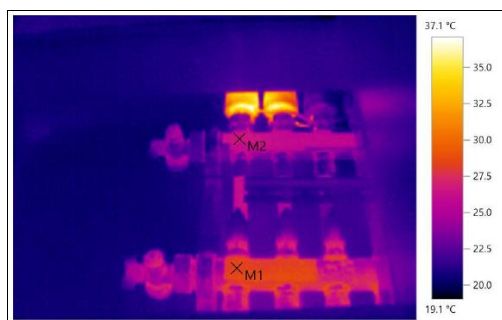


Abb. 3.13: FBH Verteiler mit Messpunkt M1 (29 °C) und Messpunkt M2 (26 °C).

Die Vor- und Rücklauftemperaturen der FBH konnte von den Thermografie Aufnahmen des Verteilers abgelesen werden. Die Vorlauftemperaturen lagen zwischen 29°C und 31°C.

3.3 Wohnung H23, 2. OG

Die Wohnung befindet sich im 2. OG und besitzt denselben Aufbau und Grundriss wie die direkt darüber liegende Dachwohnung (H33). Aus dem Auslegeplan ist auch ersichtlich, dass im DG ein engerer Rohrabstand verlegt wurde. Zudem wurde im DG der Heizkreis Wohnen auf zwei Heizkreise aufgeteilt.

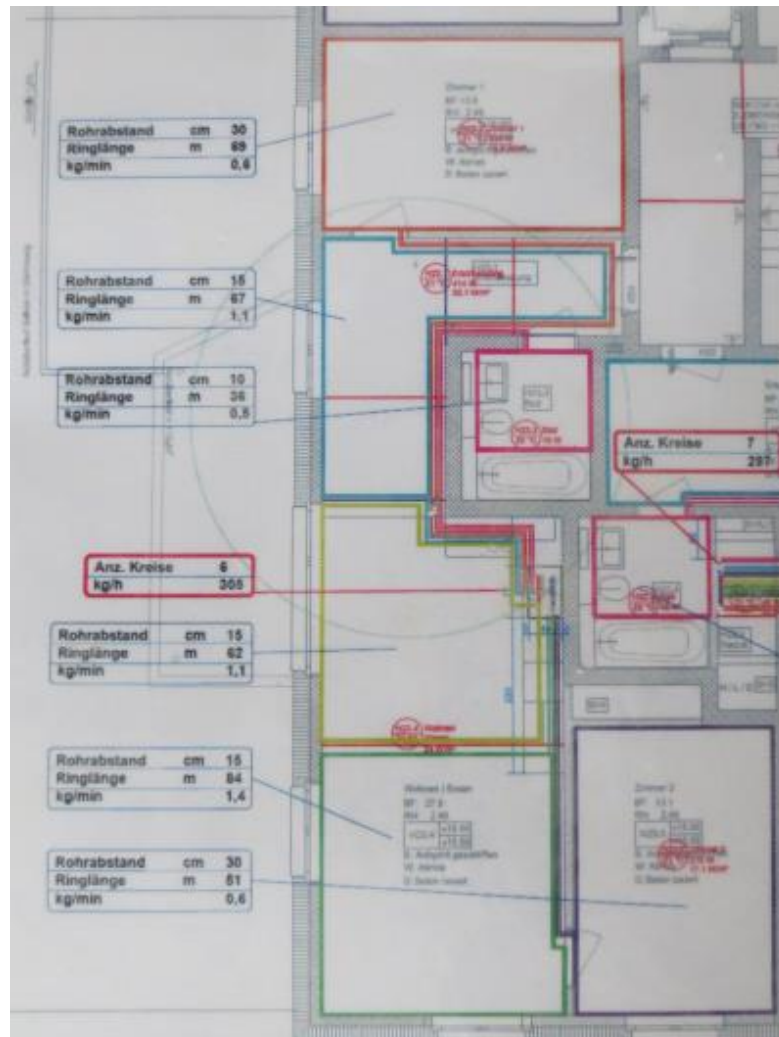


Abb. 3.14: Grundriss Wohnung H23 mit Auslegung FBH



Abb. 3.15: Sicht in den Wohn- und Essbereich mitgeöffneter Türe zu Zimmer 1, sowie die Sicht vom Balkon auf die schneebedeckte Solaranlage.

Alle Thermostate in der Wohnung waren auf Stufe 2 oder 3 (von maximal 5 Stufen) eingestellt. Bis auf die FBH in Zimmer 2 wurden alle Heizkreise bei Ankunft aktiv durchflossen.

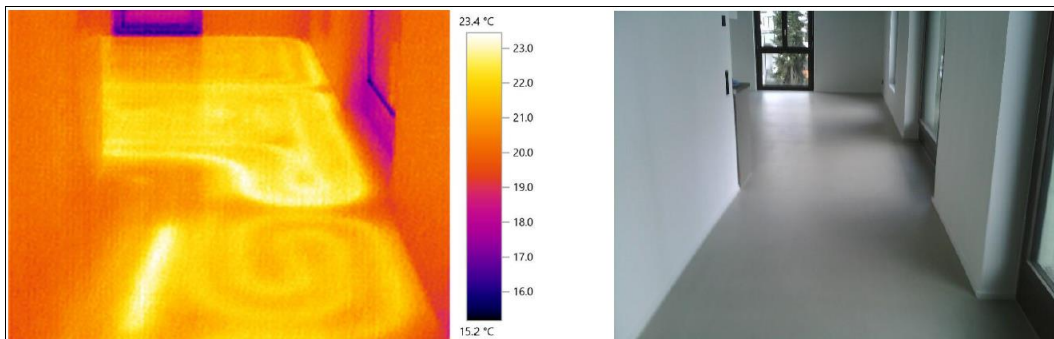


Abb. 3.16: FBH Heizkreise im Bereich Erschliessung, Wohnen und Essen.

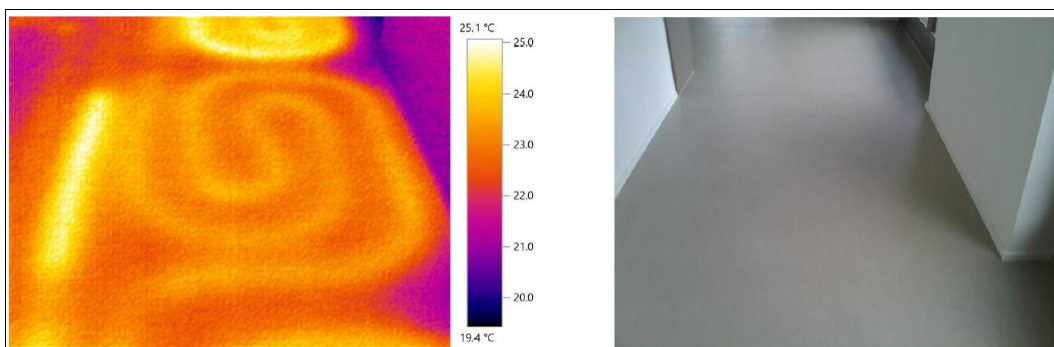


Abb. 3.17: Teil des Heizkreises Erschliessung.

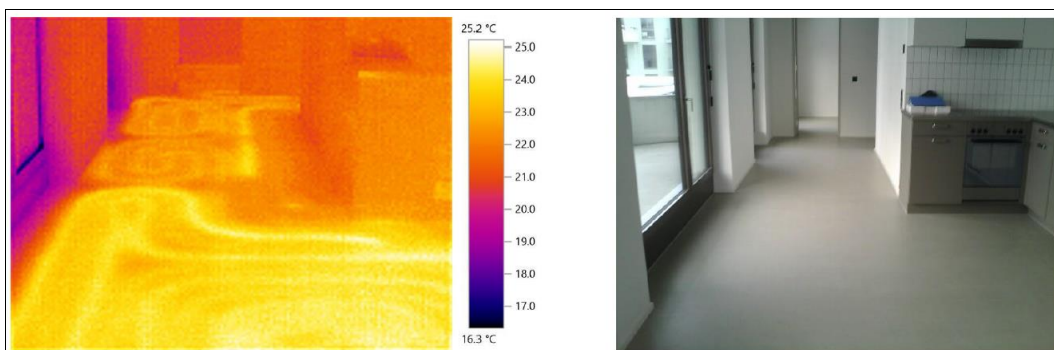


Abb. 3.18: Heizkreis Erschliessung (schwächer, 2 Schnecken) mit dem Heizkreis Essen im Vordergrund.

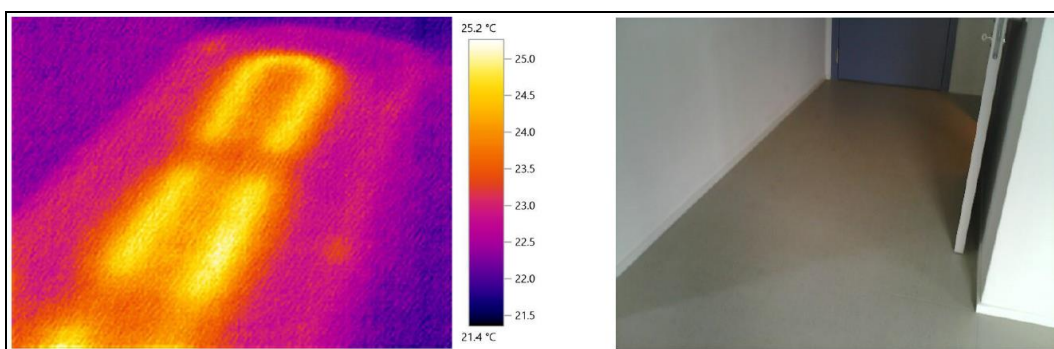


Abb. 3.19: Heizkreis Erschliessung im Bereich des Eingangs.

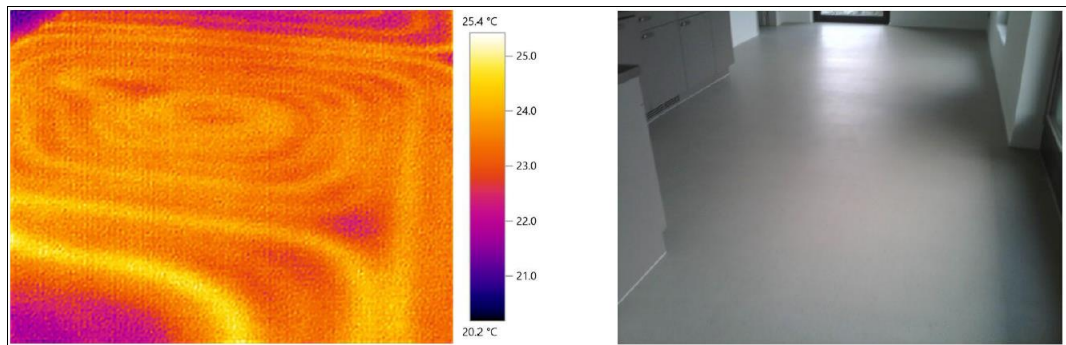


Abb. 3.20: Heizkreis Bereich Essen.

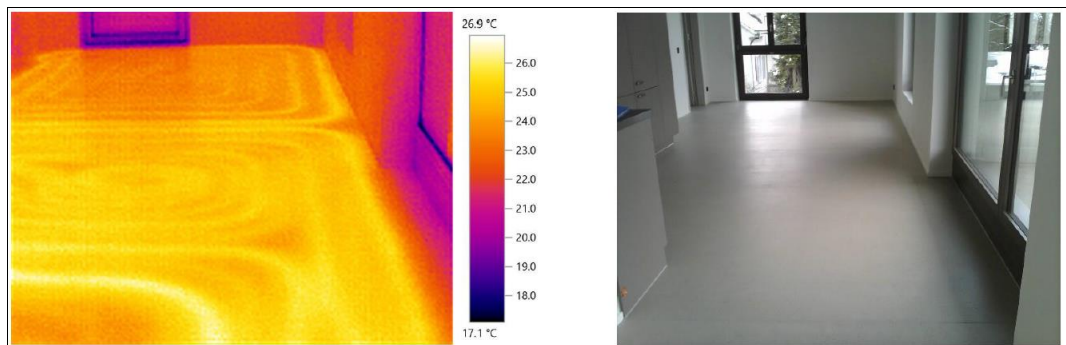


Abb. 3.21: Im hinteren Bereich der Heizkreis Wohnen. Im Gegensatz zur Wohnung im Dachstock wurde hier nur ein Heizkries verlegt.

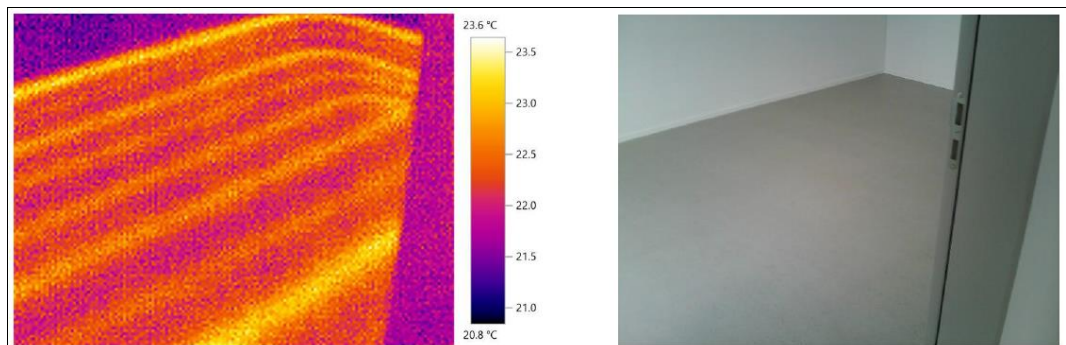


Abb. 3.22: Heizkreis in Zimmer 1, welcher von Anfang an durchflossen wurde.

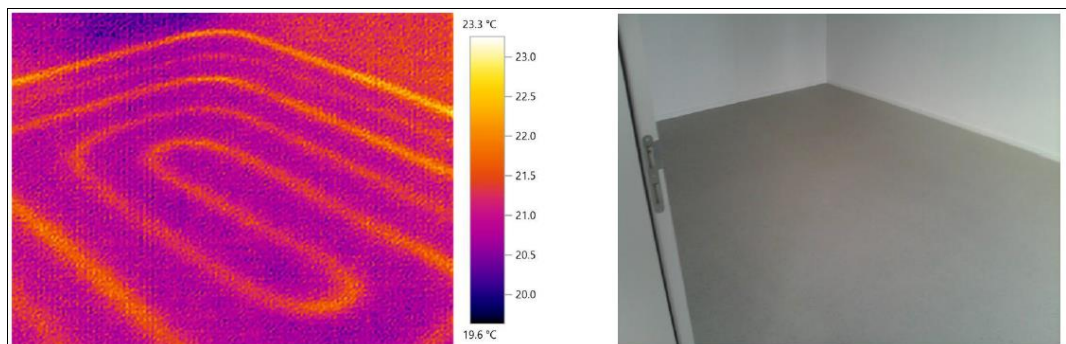


Abb. 3.23: Heizkreis in Zimmer 2. Wurde erst durchflossen, nachdem der Thermostat auf die höchste Stufe gestellt wurde.

Bei voll geöffneten Thermostatventilen konnten folgende Durchflussmengen abgelesen werden:

Tabelle 3-2: Durchfluss Heizkreise Wohnung H23

Heizkreis	Soll [l/min]	Ist [l/min]
Bad / WC	0.5	1.5
Zimmer 1	0.6	1.1
Erschliessung	0.5	0.8



Abb. 3.24: FBH Verteiler mit geöffneten Thermostatventilen.

Auch in dieser Wohnung konnte aufgrund des noch ausstehenden, hydraulischen Abgleichs eine Differenz zwischen Auslegung und effektivem Durchfluss beobachtet werden.

Vorlauftemperatur
FBH: ~30 °C

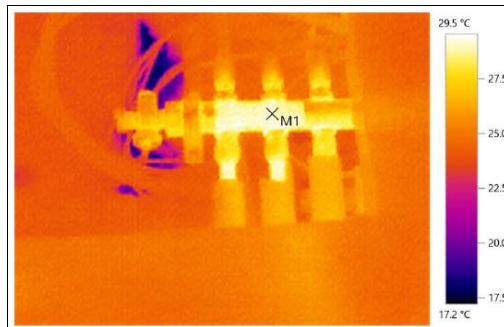


Abb. 3.25: FBH Verteiler mit Messpunkt M1 (29°C)

Die Vor- und Rücklauftemperaturen der FBH konnte von den Thermografie Aufnahmen des Verteilers abgelesen werden. Die Vorlauftemperaturen lagen zwischen 29 °C und 31 °C.

3.4 Wärmeerzeugung und Technikzentrale

Das Gebäude wird lokal über eine Erdwärmesonden-Wärmepumpe mit 270 kW Heizleistung beheizt. Als Wärmequelle für die Wärmepumpen wurden in der Überbauung 21 Erdwärmesonden à 250 m erstellt. Eine 270 kW Sole-Wasser-Wärmepumpe versorgt die Wohnüberbauung mit Heizenergie. Die Wärmeabgabe ist über einen 3'500 Liter-Trennspeicher von der Wärmeerzeugung getrennt. Inhalt zwischengespeichert. Im Heizungsraum ist zudem eine 25 kW Wärmepumpe installiert welche das Brauchwarmwasser erwärmt. Als Wärmequelle für die Warmwasser-Wärmepumpe dient der Rücklauf aus der Heizgruppe. Das Brauchwarmwasser wird in zwei Speicher à 3'500 Litern Inhalt gespeichert.



Abb. 3.26: Übersicht über den Heizungsraum mit Wärmepumpe, Speicher und Zirkulationspumpen der Erdwärmesonden.

In der Heizzentrale wird das Wasser der Fussbodenheizung erwärmt und anschliessend über eine Fernleitung an die einzelnen Gebäudeteile verteilt. Die Erdwärmesonden werden im Sommer über einen Rückkühler regeneriert.


3.5 Unterstation untersuchter Gebäudeteil

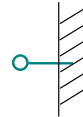
Aufgrund des noch ausstehenden, hydraulischen Abgleichs war das STA-Ventil der Unterstation des Gebäudeteils, welches untersucht wurde, am Tag der Begehung voll geöffnet (Stufe 7).



Abb. 3.27: Strangregulierungsventil der Unterstation von Haus H.

3.6 Wohnungsübersicht mit Informationen zur FBH

 Temperaturmessung
VL: Vorlauf Fussbodenheizung
RL: Rücklauf Fussbodenheizung
T: Zeitpunkt der Messung



T_{ausen} = 2.5 °C

Haus H

Whg. H33 T: 08:30 Uhr VL: 29 °C RL: 25 °C		Dachwohnungen
Whg. H23 T: 10:00 Uhr VL: 29 °C RL: 26 °C		2. Stock
		1. Stock
		Parterre

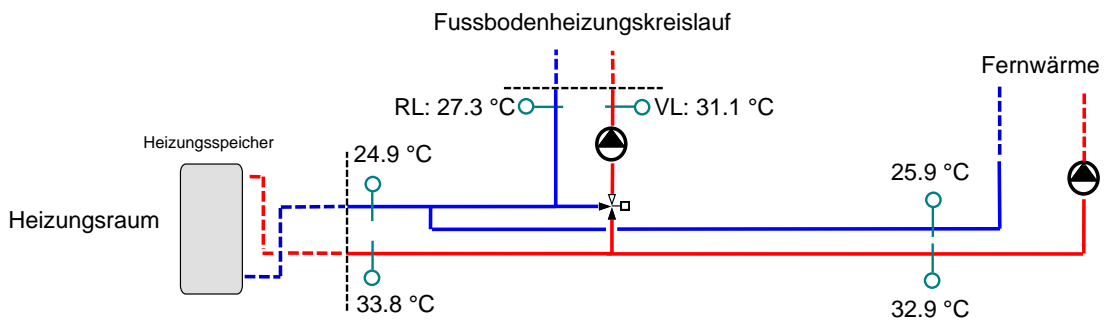


Abb. 3.28: Wohnungsüberblick der beiden untersuchen Wohnungen.

3.7 Fazit Objekt 3

Die Überbauung befand sich zum Messzeitpunkt noch im Bau und die Wohnungen wurden noch nicht übergeben, trotzdem herrschte in den Wohnungen bereits ein angenehmes Klima. Die Vorlauftemperaturen lagen zum Zeitpunkt der Begehung, zwischen 29 °C und 31 °C. Die Vorgaben bezüglich der Vorlauftemperatur der FBH konnten eingehalten werden.

Bei der Auslegung der Heizkreise wurde zwischen Dachwohnung und den restlichen Wohnungen unterschieden. Die Heizkreise der Dachwohnung wurden teils enger verlegt oder in mehrere Heizkreise aufgeteilt.

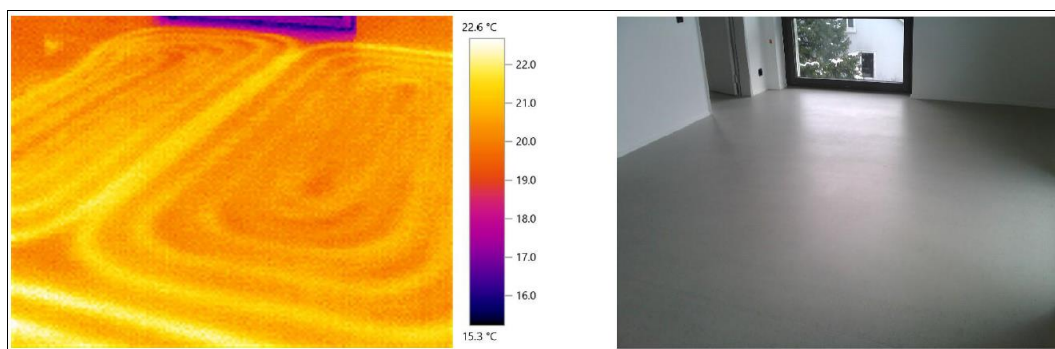


Abb. 3.29: Heizkreis "Wohnen/Essen" der Dachwohnung besteht aus zwei separaten Kreisen.

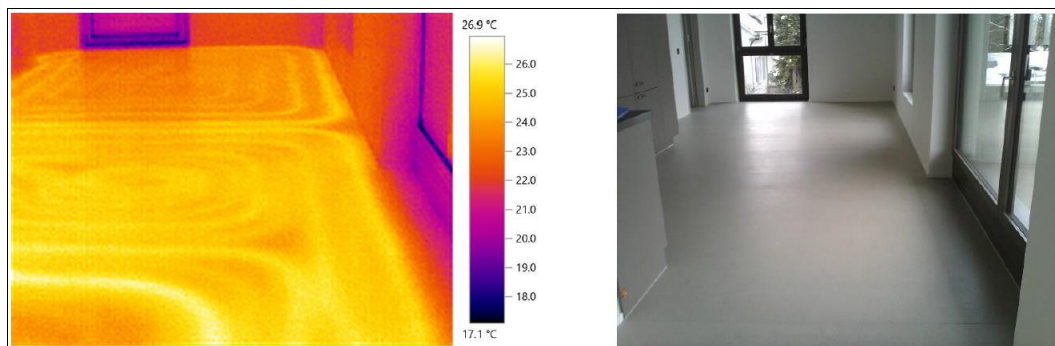


Abb. 3.30: Heizkreis "Wohnen/Essen" der darunter liegenden Wohnung (hinterer Bereich) bestehend aus einem einzelnen Kreis.

Aufgrund des noch ausstehenden hydraulischen Abgleichs konnte bei den effektiven Durchflüssen in den einzelnen Heizkreisen Abweichungen zu den berechneten Soll-Durchflusswerten beobachtet werden.

4 Objekt 4: REFH mit fehlender Entlüftung

4.1 Heizungsverteiler im EG für das OG und das DG

Die Reihen-Einfamilienhäuser (REFH) des Objektes 4 werden je mit einer eigenen Erdsonden-Wärmepumpenanlage beheizt. Die Wärmeabgabe erfolgt mittels Fussbodenheizungen. Die REFH verfügen über UG, EG, OG und DG.



Abb. 4.1: Überbauung mit mehreren Reihen-Einfamilienhäusern (REFH).

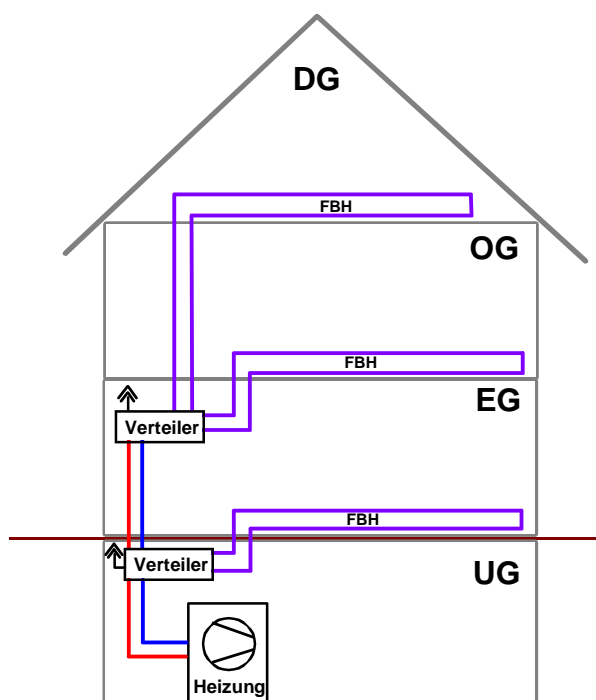


Abb. 4.2: Anordnung FBH-Verteiler mit Entlüftungsstellen

Die Wärmepumpenanlage befindet sich im UG. Im Gebäude wurden zwei FBH-Verteiler installiert. Der Verteiler für das EG wurde im UG an die Decke montiert:



Abb. 4.3: FBH Verteiler für EG befindet sich an der Decke des UG.

Der FBH-Verteiler für das OG und das DG befindet sich in einem Wandschrank im Erdgeschoss. Dies ist gleichzeitig auch die einzige Entlüftungsstelle für die Fussbodenheizungsrohre im Dachgeschoss.

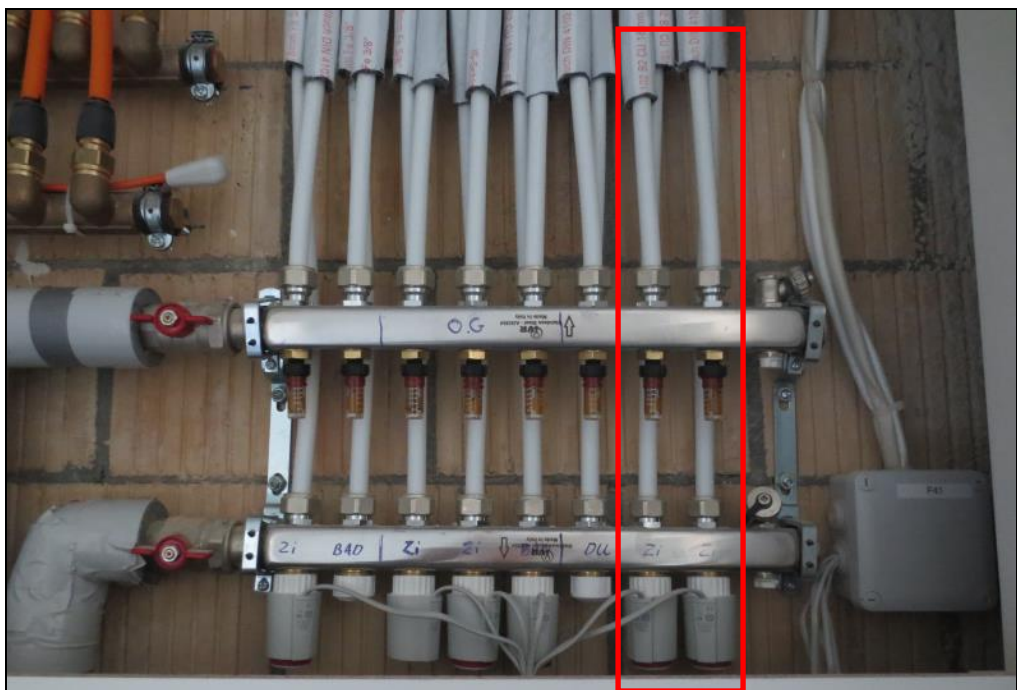


Abb. 4.4: FBH-Verteiler im Erdgeschoss für das OG und das DG. 2 Heizkreise führen direkt ins DG (rot), ohne zusätzliche Entlüftungsstelle im OG oder DG.

Bei der Untersuchung mit der Thermografie-Kamera wurde festgestellt, dass nur einer von zwei Heizkreisen im DG durchflossen war:

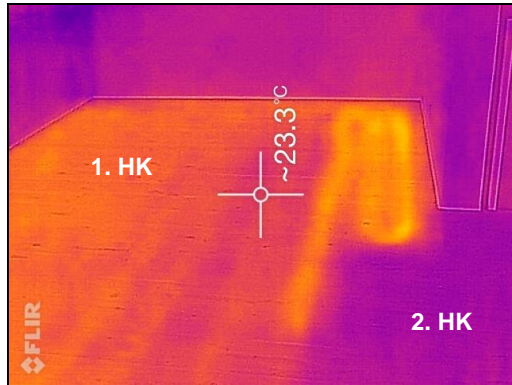


Abb. 4.5: DG 1. Heizkreis durchflossen und 2. Heizkreis nicht durchflossen

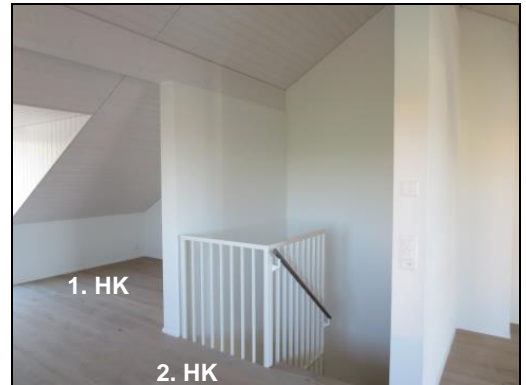


Abb. 4.6: DG 1. Heizkreis bei Dachschräge, 2. Heizkreis vor Treppe.

Grund für den fehlenden Durchfluss war Luft im 2. Heizkreis. Da sich der Verteiler im EG befindet, und es weder im OG, noch im DG Entlüftungsstellen gibt, war eine einfache Entlüftung der Heizkreise nicht möglich.

Bei fehlenden Entlüftungsstellen ist eine korrekte Entlüftung nur mit einer Jetpumpe möglich, da die normale Umwälzpumpe nicht den nötigen Druck erzeugen kann, um die Luft über 2 Geschosse aus den Leitungen zu drücken.

4.2 Fazit Objekt 4

Luft in der Heizverteilung lässt sich kaum vollständig vermeiden. Diese wird einerseits beim Befüllen der Anlage, gelöst im Wasser, ins System gebracht. Andererseits kann Luft auch bei den Verschraubungen der Armaturen ins Wärmeverteilssystem gelangen. Umso wichtiger ist es also, Entlüftungsstellen einzuplanen. Fehlen diese, besteht die Gefahr, dass ganze Heizkreise wegen der Luft ausfallen. Verschärft wird das Problem noch durch den Umstand, dass nicht alle Heizkreise mit einem Ventiltrieb ausgerüstet sind und somit immer einen Bypass darstellen und so das Herausdrücken der Luftblasen mit der Umwälzpumpe verhindern.

Fällt ein Heizkreis aus, so müssen die restlichen Heizkreise mehr Wärme abgeben, was nur mit einer Erhöhung der Heizungs-Vorlauftemperatur möglich ist.

Fehlende Entlüftungsstellen

Erhöhung Vorlauf-temperatur wegen Luft in Verteilung

5 Objekt 5: EFH mit kaltem Badezimmer

5.1 Kalte Schlafzimmer neben warmem Bad

Das Objekt 5 ist ein Einfamilienhaus (EFH), das mit einer Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlage beheizt wird. Im OG gibt es 2 Schlafzimmer und ein Bad mit Ankleide, die gemäss Abb. 5.1 angeordnet sind:

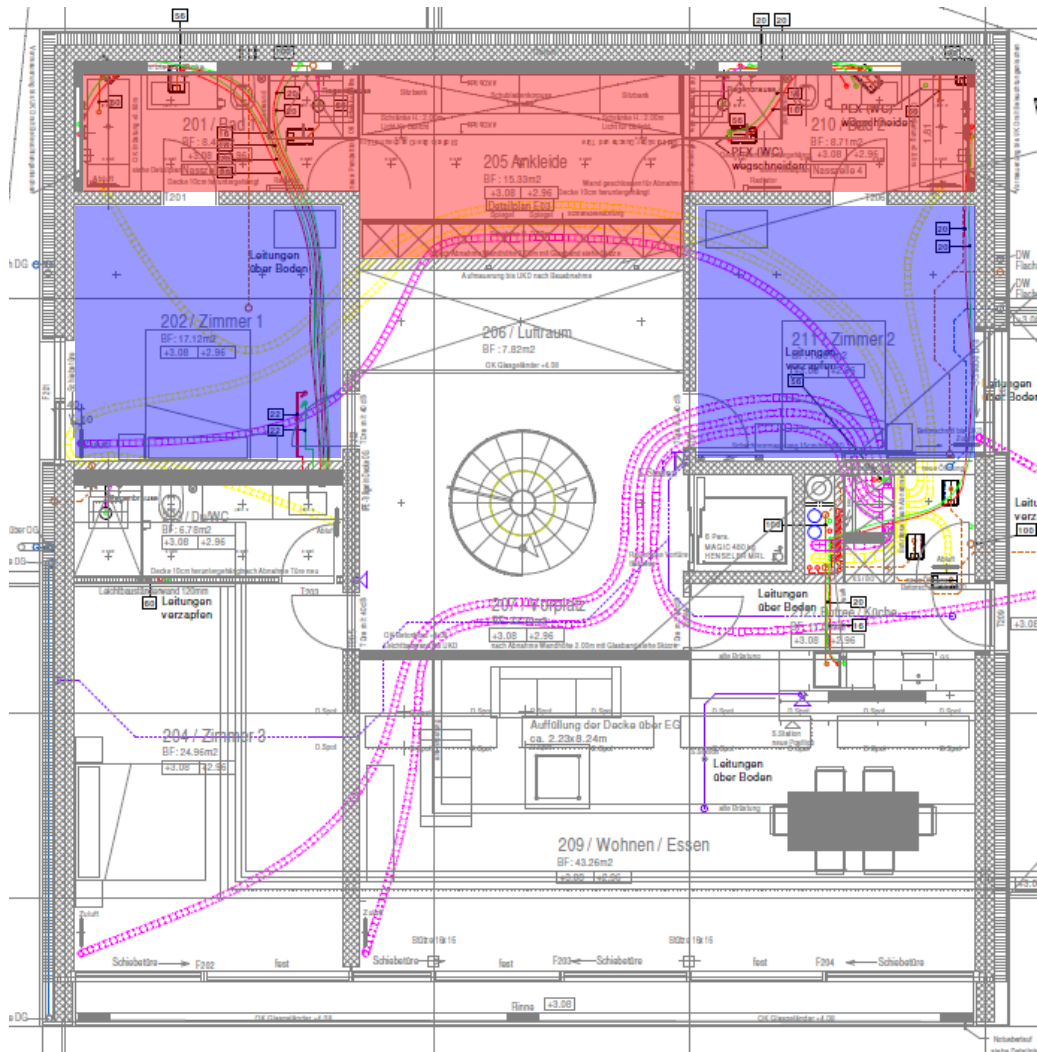


Abb. 5.1: OG mit kalten Schlafzimmern (blau) und Bad/Ankleide (rot).

Anforderung:
16°C Schlafzimmer
23°C Badezimmer

Durch die Bewohner wurde die Anforderung gestellt, dass die Raumtemperatur im Schlafzimmer bei 16 °C liegen soll. Aus diesem Grund wurde der Raumthermostat in den beiden Schlafzimmern auf den Minimalwert gestellt. Da die gewünschte Schlafzimmertemperatur infolge der guten Wärmedämmung trotzdem nicht erreicht wurde, halfen die Bewohner mit Fenstern in Kippstellung nach.

Gleichzeitig sollte die Temperatur im Bad mindestens 23°C betragen.

Nach dem Absenken der Schlafzimmertemperaturen konnte mit der eingestellten Vorlauftemperatur der Fussbodenheizung von 35°C die Temperatur im Badezimmer von 20°C nicht mehr erreicht werden.

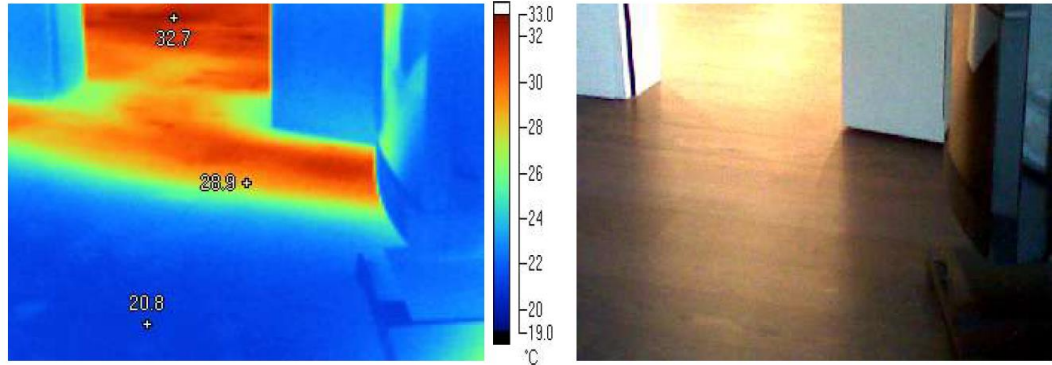


Abb. 5.2: Zuleitung des Heizkreises Badezimmer durch das kalte Schlafzimmer.

Mittels Thermografie-Aufnahmen konnte festgestellt werden, dass die Zuleitung des Heizkreises für das Badezimmer durch das Schlafzimmer geführt wurde. Dies führt einerseits zu einer unerwünschten Erwärmung des Schlafzimmers, und andererseits auch zu einer Reduzierung der Vorlauftemperatur der Fussbodenheizung des Badezimmers.

Erhöhung Vorlauf-
temperatur von 35°C
auf 45°C

Die gewünschten Anforderungen an die Raumtemperaturen konnten schlussendlich nur durch das offene Fenster im Schlafzimmer und einer starken Erhöhung der Heizkurve (Vorlauf über 45°C) erreicht werden. Dies nicht aufgrund einer fehlerhaften Installation oder Planung, sondern aufgrund besonderer Anforderungen der Bewohner.

5.2 Fazit Objekt 5

Anhebung Vorlauf-
temperatur wegen
internen Wärmever-
lusten

In Neubauten ist der U-Wert der Innenwände oft 5 bis 6 Mal höher als der U-Wert der Aussenwände. Damit sind bereits bei kleinen Temperaturdifferenzen die internen Wärmeflüsse zwischen zwei angrenzenden Innenräumen in einer ähnlichen Grössenordnung wie die Wärmeflüsse an den Aussenwänden. Diese internen Wärmeflüsse führen dazu, dass sich in gut gedämmten Gebäuden die Temperaturen der einzelnen Räume schnell angleichen. Zusätzlich muss die Fussbodenheizung in den warmen Räumen nicht nur die Wärmeverluste der Aussenwände decken, sondern auch die Wärmeverluste vom warmen Raum an die kalten Räume. Dieser erhöhte Wärmebedarf kann nur durch eine Anhebung der Heizungs-Vorlauftemperatur gedeckt werden (im Vorliegenden Fall von 35°C auf 45°C).

Offene Kippfenster und stark reduzierte Thermostateinstellungen führen zwangsläufig immer zu einem erhöhten Temperaturbedarf der Fussbodenheizung oder Heizkörper in den übrigen Räumen. Der Grund dafür ist in den internen Wärmeflüssen im Gebäude zu suchen.

6 Objekt 6, MFH mit „kalter“ EG-Wohnung

6.1 Zu kalte EG – Wohnung?

EG-Wohnung zu kalt
OG-Wohnungen zu
warm

Im Objekt 6 befindet sich pro Hausteil je eine Heizzentrale mit einer Gasheizung im Dachgeschoss. Aufgrund von Klagen aus der Erdgeschoss-Wohnung wurde die Heizkurve mehrfach erhöht. Bei der Besichtigung betrug die Vorlauftemperatur 42°C und die Rücklauftemperatur 38°C bei einer Aussentemperatur von -2°C, was weit über der Auslegungstemperatur ist. In der Mehrheit der übrigen Wohnungen gab es daraufhin Klagen wegen zu hoher Wohnungstemperaturen.



Abb. 6.1: MFH mit kalter EG-Wohnung und offenen Kippfenstern im OG

In den Wohnungen haben jeweils 3 Heizkreise keine Thermostatventile (je 1 im Wohnzimmer, Bad, WC), die übrigen Heizkreise haben Thermostatventile.



Abb. 6.2: Thermostat



Abb. 6.3: Fussbodenheizungs-Verteiler

6.2 Messungen

Bei der Begehung in der „kalten“ EG-Wohnung wurden die folgenden Temperaturen gemessen (Aussentemperatur -2°C):

Oberflächentemperatur des Bodens:

- in der Küche 24.4°C (Wohnküche)
- im Wohnzimmer 27.1°C
- im Bad 29.9°C
- in Dusche / WC 30.5°C

Lufttemperatur:

- in der Küche 22.2°C
- im Wohnzimmer 22.6°C
- im Bad 22.9°C
- in Dusche / WC 28.8°C (gefangener Raum)

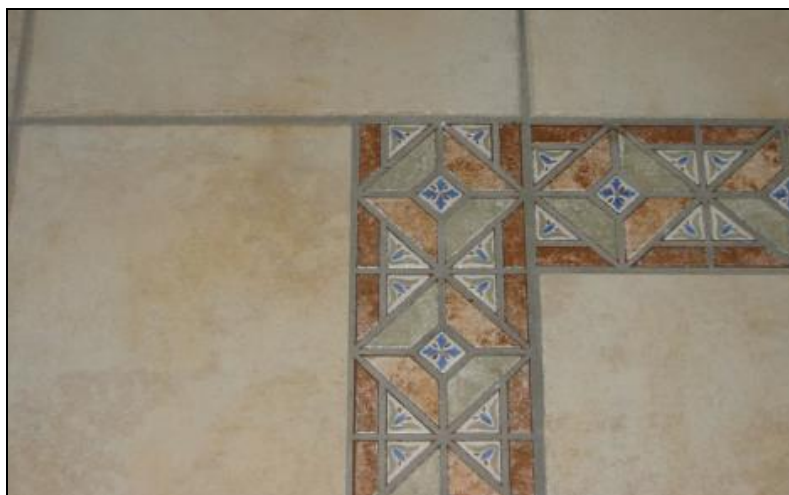


Abb. 6.4: Als kalt empfundener Küchenboden mit 24.4°C

6.3 Fazit Objekt 6

Bei guten gedämmten Neubauten sind die Fussböden „kalt“

Die Klagen der Mieter der EG-Wohnung bezogen sich in erster Linie auf die als kalt empfundenen Fussboden-Temperaturen in der Wohnküche, nicht auf die Raumtemperaturen, was von der Hauswartung falsch verstanden wurde. Aufgrund der daraufhin erfolgten Erhöhung der Heizkurve erhöhten sich die Raumluft-Temperaturen im ganzen Haus, da nun die 3 nicht abgesperrten Heizkreise ausreichten, die ganze Wohnung über die auf den Thermostaten eingestellten Temperaturen zu beheizen. Da nun die Thermostaten schlossen, wurde in der Küche die Fussbodentemperatur noch kälter.

Eine Information der Mieter über die Funktion einer Fussbodenheizung in einem Neubau und eine Senkung der Heizkurve konnten die Situation verbessern.

Sinnvoll wäre die Montage von Thermostatventilen auf allen Heizkreisen.

7 Objekt 7, MFH mit überheizten Räumen

7.1 Heizverteiler unter Einbauschränk, nicht abgesperrte HK

Der Gebäudekomplex mit Baujahr 2006 / 2007 wird mittels Fernwärme beheizt. Es wurde eine 5.5 Zimmer Wohnung in der Mitte des Gebäudes untersucht.

Dreckiger, schlecht zugänglicher Heizungsverteiler

Jede Wohnung verfügt über einen eigenen FBH-Verteiler. Dieser ist unter dem Boden eines Einbauschranks eingebaut:



Abb. 7.1: FBH Verteiler unter Einbauschränk. 3 von 10 Heizkreisen sind ungeregelt.



Abb. 7.2: FBH Verteiler unter Einbauschränk.



Abb. 7.3: FBH Verteiler unter Einbauschränk.

Wassermenge ausgerechnet, aber nicht eingestellt



Abb. 7.4: Wassermengen berechnet und auf Verteiler beschriftet, aber nicht eingestellt

7.2 Zu hoch eingestellte Heizkurve

Raumtemperatur
23°C – 24°C trotz
zugedrehter Raum-
thermostaten

Die Wohnung verfügt über 3 Heizkreise (Bäder, WC) ohne Thermostatventile. Die übrigen Heizkreise haben Raumthermostaten, die alle auf dem Minimalwert eingestellt sind. Trotzdem sinkt die Raumtemperatur im Winter nicht unter 24°C.

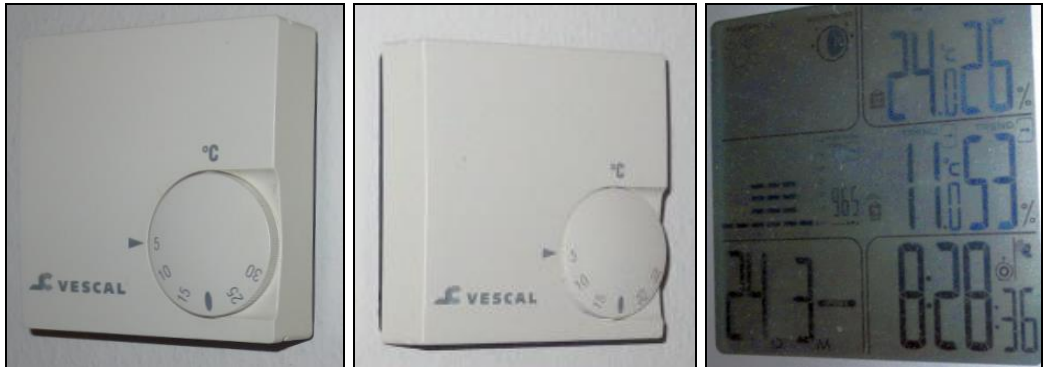


Abb. 7.5: 24°C Raumtemperatur trotz Raumthermostaten auf Minimalstellung

Vorlauftemperatur
45°C statt 35°C

Die Wärmeabgabe ist auf eine Vorlauftemperatur von 35°C bei Auslegungsbedingungen dimensioniert, aber auf ca. 45°C eingestellt. Die 3 nicht abgesperrten Heizkreise zu den Bädern und WC, inkl. der Zuleitung durch den Gangbereich reichen aus, die Wohnung den ganzen Winter auf 23°C – 24°C zu beheizen, und dies mit nur 3 von 10 aktiven Heizkreisen.. Die Wohnungsmieter haben also keine Möglichkeit, ohne offene Kippfenster die Wohnungstemperatur unter 23°C zu bringen.

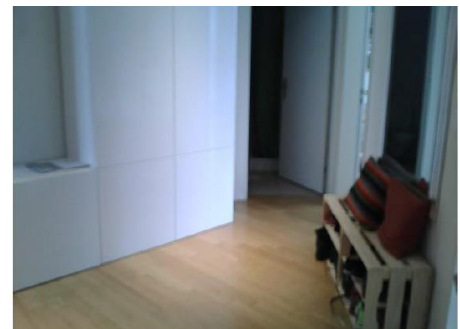
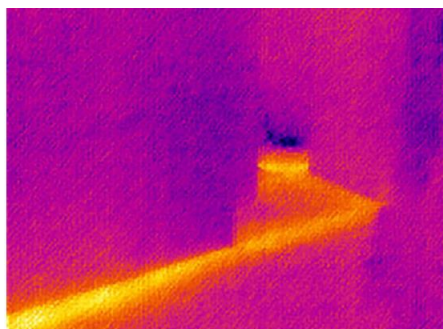


Abb. 7.6: Heizkreis welcher durch den Gang ins Bad führt.

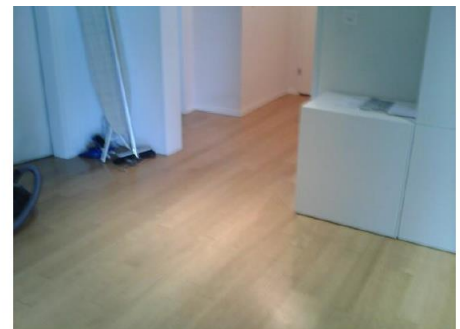
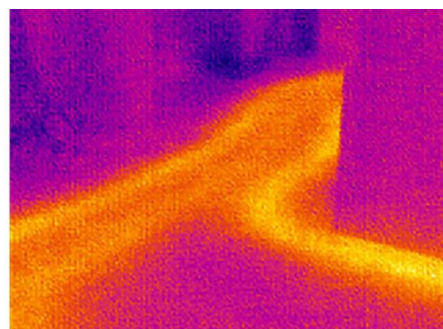


Abb. 7.7: Es werden nur die 3 Heizkreise der Bäder und WC durchflossen. Trotzdem beträgt die Temperatur in der Wohnung über 23°C

7.3 Fazit Objekt 7

Kombination von geregelten und ungeregelten Heizkreisen ist heikel

Heizverteiler, die Heizkreise mit Thermostatventilen und ungeregelte FBH-Heizkreise kombinieren, führen in Kombination mit zu hoch eingestellten Heizkurven regelmässig zu überheizten Wohnungen. Die nicht geregelten Heizkreise geben dann so viel Wärme ab, dass die ganze Wohnung auf Temperaturen von 23°C – 24°C geheizt wird, obwohl das die Bewohner gar nicht wünschen. Die Bewohner haben keine Möglichkeit, die Raumtemperatur auf die gewünschte Temperatur zu senken, mit Ausnahme durch das Öffnen von Kippfenstern.

Schlecht zugängliche Heizverteiler und zu hohe Vorlauftemperatur

Die schlecht zugänglichen Heizungsverteiler im Boden von Einbauschränken motivieren weder die Installateure zu einer sauberen Montage und Einregulierung, noch die Bewohner zu einer regelmässigen Kontrolle und Entlüftung der Fussbodenheizungs-Kreise. Im vorliegenden Fall konnte nicht eruiert werden, was genau der Grund für die massiv zu hoch eingestellte Heizkurve war. Erfahrungen aus vergleichbaren Anlagen zeigen aber, dass nicht selten Luft in Heizkreisen zu Reklamationen über zu tiefe Raumtemperaturen führen, was dann die Hauswartung dazu veranlasst, die Heizkurve anzuheben. Je unzugänglicher und dreckiger ein solcher Heizverteiler ist, umso weniger lassen sich Hauswarte oder Bewohner dazu motivieren, die Heizkreise selbst zu entlüften.

Wassermenge in Heizkreisen zu hoch

Im vorliegenden Fall kommt dazu, dass die eingestellten Wassermengen insbesondere bei den nicht geregelten Heizkreisen wesentlich höher waren als berechnet und auf den Verteilern beschriftet. Es ist denkbar, dass der Installateur versucht hatte, diese Wassermengen auf den Settern einzustellen. Aufgrund der Grösse des Gebäudekomplexes ist dies aber eine „Mission Impossible“, da Strangreguliertventile oder Wassermengen-Begrenzer (Reguliertventile) vor dem Verteiler fehlen. Sicher ist auch, dass die zu hoch eingestellte Heizkurve das Problem verschärft hat, da die hohe Vorlauftemperatur zu mehr geschlossenen Thermostatventilen führt und somit mehr Wasser durch die ungeregelten Heizkreise gedrückt wird.

8 Objekt 8, Schulhaus, FBH trocken verlegt

8.1 Trocken verlegtes Fussbodenheizungssystem Therm38

Beim Objekt 8 handelt es sich um ein Schulhaus, das zusammen mit weiteren Schulbauten an einer bestehenden Holzsplitzelheizung angeschlossen wurde. Da es sich bei diesem Gebäude um einen Erweiterungsbau einer bestehenden Schulanlage handelt, sollte der Bau in kürzester Zeit erstellt werden, um den Schulbetrieb möglichst kurz zu stören. Aus diesem Grund wurde ein Holzbau erstellt. Als Fussbodenheizungssystem wurde das System Therm38 von Fermacell eingebaut. Über die Bodenheizung wird geheizt und im Sommer (über ein Sonden-Freecooling) auch gekühlt.



Abb. 8.1: Schulhaus mit trocken verlegter Fussbodenheizung Therm38



Abb. 8.2: Fussbodenheizungs-System Therm38 mit festem Verlegeabstand 17.5 cm
Links: Verteiler mit KNX-Antrieben / Rechts: Verlegesystem von Fermacell

8.2 Heizung mit 32°C bei -8°C Aussentemperatur

Obwohl das Fussboden-Heizungssystem nur einen festen Verlegeabstand von 17.5cm kennt, konnte beim bestehenden Objekt eine Vorlauftemperatur von 32°C bei Auslegungsbedingungen realisiert werden. Möglich war dies dank der sehr guten Bauhülle im Minergie-P – Standard. Die Anlage hat den Praxistest im Winter 2017/18 bestanden, ohne dass die Vorlauftemperatur angehoben werden musste.

8.3 Kühlung mit Fussbodenheizung

Die Kühlung im Sommer erfolgt nur passiv über ein Sonden-Freecooling (Geocooling) mit 3 x 160m Bohrtiefe. Ohne diese Kühlung kann der sommerliche Wärmeschutz nur mit den Stoff-Storen nicht eingehalten werden. Die Funktionskontrolle der FBH im Sommerbetrieb wurde wieder mit der IR-Kamera überprüft:

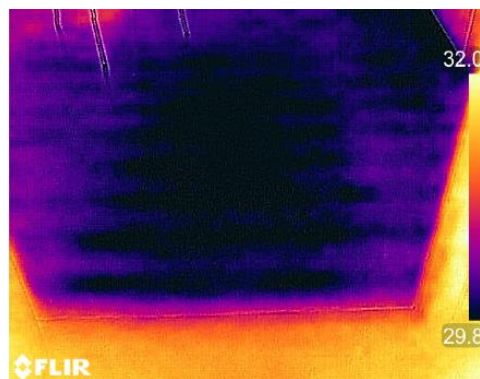


Abb. 8.3: FBH in Schulzimmer wird zur Kühlung eingesetzt.

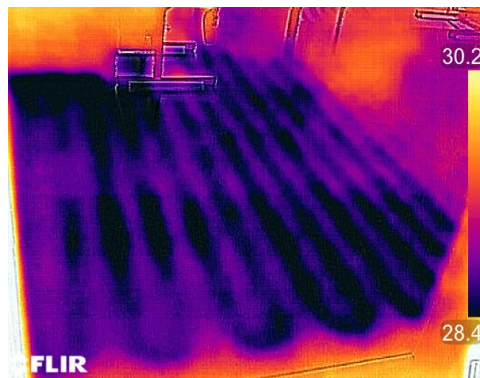


Abb. 8.4: Die Heizkreise sind auch im Kühlfall deutlich zu erkennen.

8.4 Fazit Objekt 8

Auch trocken verlegte Fussboden-Heizungssystem können mit sehr tiefen Vorlauftemperaturen betrieben werden, wenn die Gebäudehülle entsprechend gut gebaut ist und Planung und Ausführung sorgfältig durchgeführt werden. Im vorliegenden Fall reicht sogar der vom System vorgegebene Verlegeabstand von 17.5 cm, um eine Vorlauftemperatur von 32°C bei Auslegungsbedingungen zu erreichen und auch der Kühlbetrieb mittels Geocooling erreicht die gewünschten Werte.

9 Objekt 9, EFH mit starken Wärmeverlusten

9.1 Dämmung, Wärmeverlust

Das EFH wird mit einer Wärmepumpenanlage beheizt. Das Gebäude liegt am Hang und besitzt ein überhängendes OG. Das Gebäude wurde umgebaut und erweitert. Die Bewohner berichteten, dass die Wärmeverteilung der FBH im Wohnbereich im OG stark unterschiedlich sei. Besonders auffällig im Bereich mit Boden gegen Aussenluft (rote Markierung).

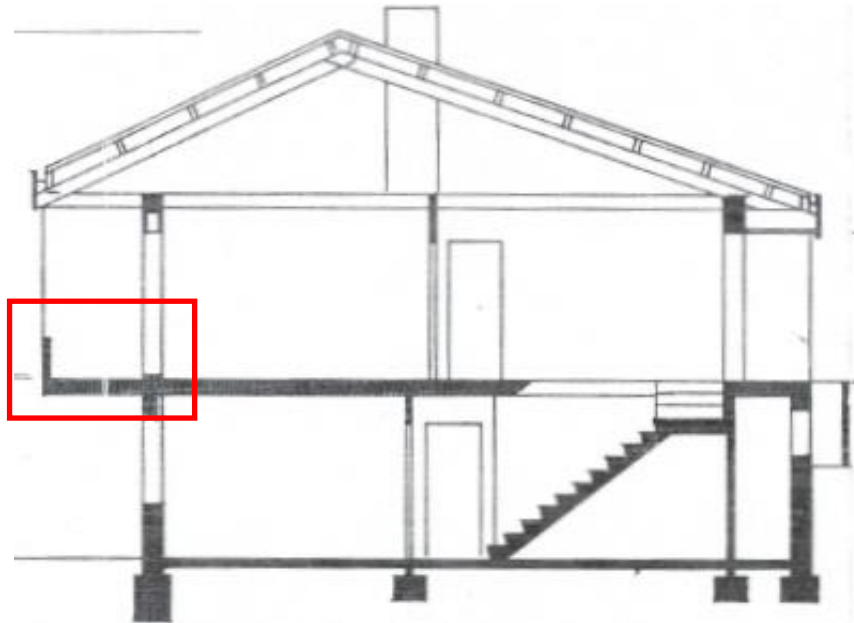


Abb. 9.1: Querschnitt mit überhängendem OG (rot).



Abb. 9.2: FBH Verteiler unter Einbauschränk.

Der Verteiler der FBH für das OG wurde an der Decke im EG platziert. Ein Heizkreis wird ständig durchflossen, die restlichen werden mit Thermostatventilen geregelt.

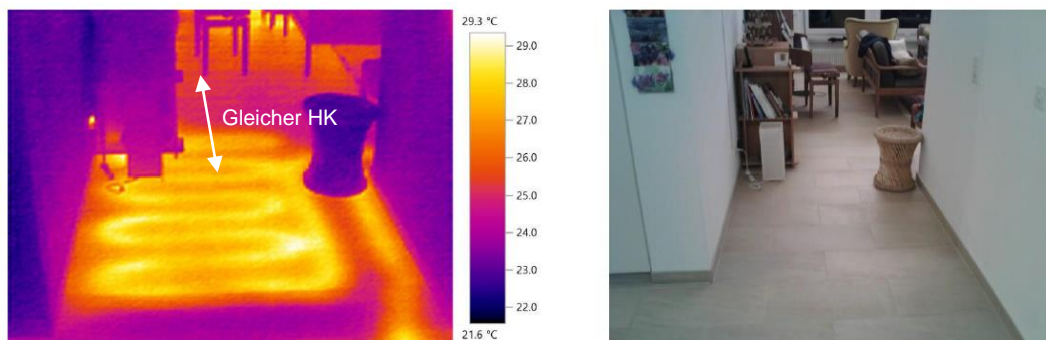


Abb. 9.3: Heizkreis Wohnen welcher sehr stark an Temperatur verliert sobald er den Bereich Boden gegen Aussenluft erreicht.

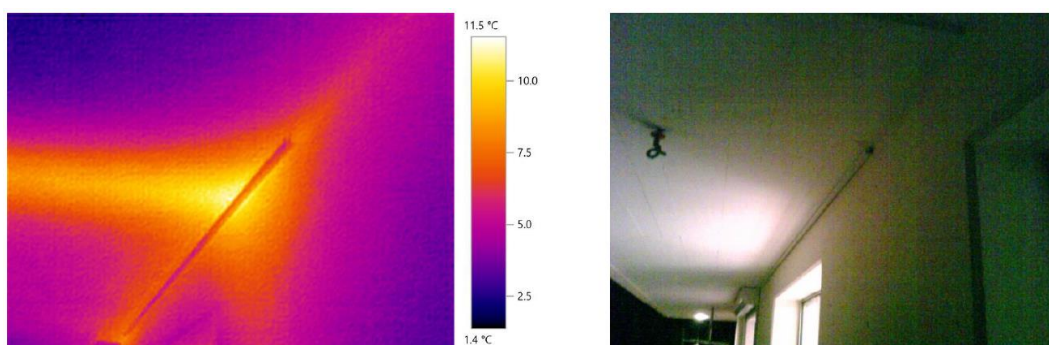


Abb. 9.4: Aussenansicht des überhängenden OG. Es ist deutlich eine Wärmeabgabe gegen aussen sichtbar.

Die Thermografie Aufnahmen bestätigen die Beobachtungen der Bewohner. Der Heizkreis Wohnen verliert im Bereich des überhängenden OG sehr stark an Temperatur. Dies könnte auf eine mangelhafte Isolation hinweisen.

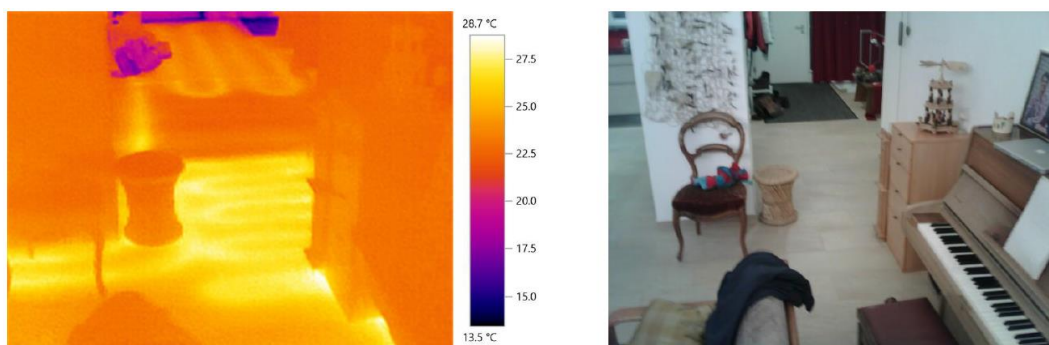


Abb. 9.5: Aufnahme verschiedener Heizkreise. Es ist ein deutlicher Temperaturunterschied zwischen den Heizkreisen sichtbar.

9.2 Fazit Objekt 9

Starke Wärmeabgabe nach unten führen zu einer stärkeren Auskühlung der FBH-Rohre. In diesem Fall sollte eine Verlegeart gewählt werden, bei welcher sich Vor- und Rücklauf abwechseln (z. B. Spiralförmige Verlegung) um Temperaturunterschiede zu minimieren.

10 Objekt 10, MFH mit Geocooling

10.1 Überhitzte Wohnungen trotz Geocooling

Stoff-Storen als
Sonnenschutz

Das Objekt 10 wird mit einer Erdwärmesonden-Wärmepumpe beheizt. Aufgrund der sehr starken Verglasung und des Sonnenschutzes mit Stoff-Storen würde das Objekt im Sommer ohne Geocooling stark überhitzt. Um dem entgegenzuwirken, wird die Fussbodenheizung auch zur passiven Gebäudekühlung (Geocooling) eingesetzt.



Abb. 10.1: Stark verglastes MFH mit Stoffstoren und Sonden-Freecooling (Geocooling)

Zu hoch eingestellte
Kühlgrenze

Bei der Überprüfung der Steuerung wurde festgestellt, dass die werkseitig eingestellte Kühlgrenze (Tagesmittel) bei 24°C lag. Diese hohe Kühlgrenze führte dazu, dass selbst bei Aussentemperaturen über 30°C (Momentanwert) das Sondenfreecooling nicht anläuft. Durch das Senken der Kühlgrenze auf 19°C (Tagesmittel) konnte die Wärmepumpenanlage auf Kühlbetrieb gestellt werden.

10.2 Defekte Klemmleiste Heizen-Kühlen, Luft im DG-FBH

2 sehr schlecht zugängliche Heizverteiler

Eine Überprüfung der Fussbodenheizung mit der Thermografie-Kamera ergab keinen Durchfluss in der Hälfte der DG-Wohnung. Die Überprüfung des Heizungsverteilers im Boden eines Einbau-Schranks gemeinsam mit dem Hauswart zeigte keine Luft in der Verteilung. Erst der Vergleich mit den Fussboden-Heizungsplänen zeigte einen zweiten, sehr schlecht zugänglichen und dem Hauswart nicht bekannten Heizungsverteiler unter der Abdeckung im Boden beim Abfall-Behälter in der Küche. Eine Überprüfung dieses 2. FBH-Verteilers zeigte Luft in der Verteilung.

Defekte Klemmleiste Heizen-Kühlen

Zusätzlich konnte auch noch ein Defekt in der Umschalt-Klemmleiste Heizen-Kühlen festgestellt werden. Dank dieser Umschalt-Klemmleiste öffnen die Thermostatventile im Sommer bei zu hohen Raumtemperaturen, im Winter aber schliessen die Thermostatventile bei zu hohen Raumtemperaturen. Der Defekt der Klemmleiste hatte zur Folge, dass die Thermostatventile zu den falschen Zeitpunkten invertiert wurden, wodurch ein korrekter Heiz- wie auch Kühlbetrieb verhindert wurde.

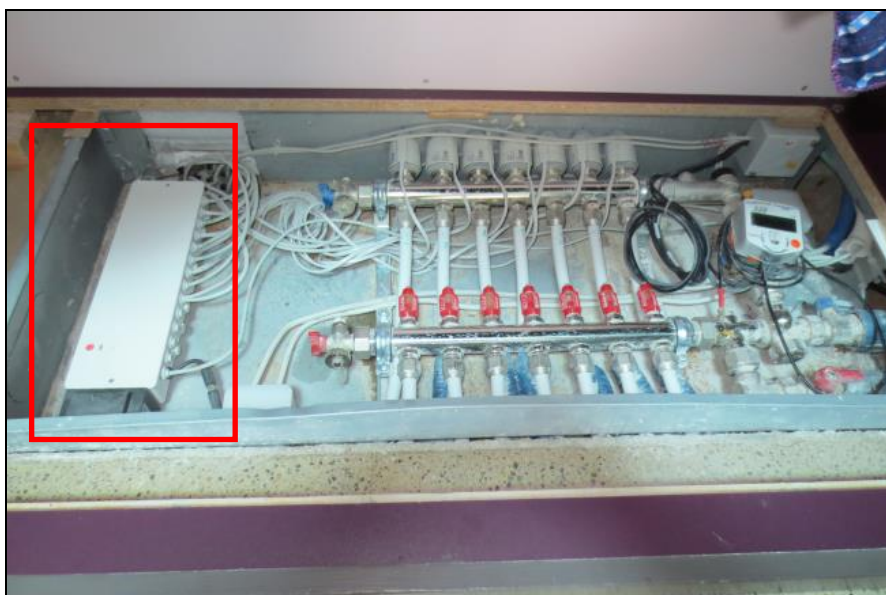


Abb. 10.2: FBH Verteiler mit Klemmleiste Heizen-Kühlen (rot)

Nach der Entlüftung der Heizverteilung und der Reparatur der defekten Klemmleiste funktionierte die Kühlung in allen Räumen der DG-Wohnung wie geplant:

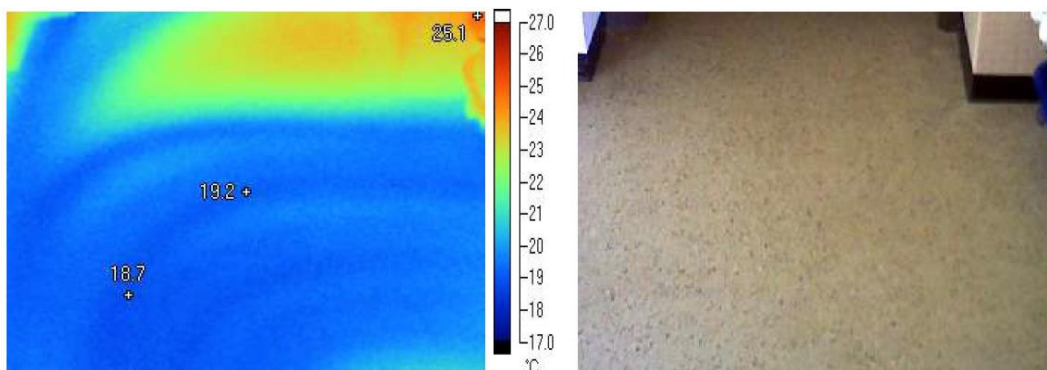


Abb. 10.3: FBH im Kühlbetrieb.

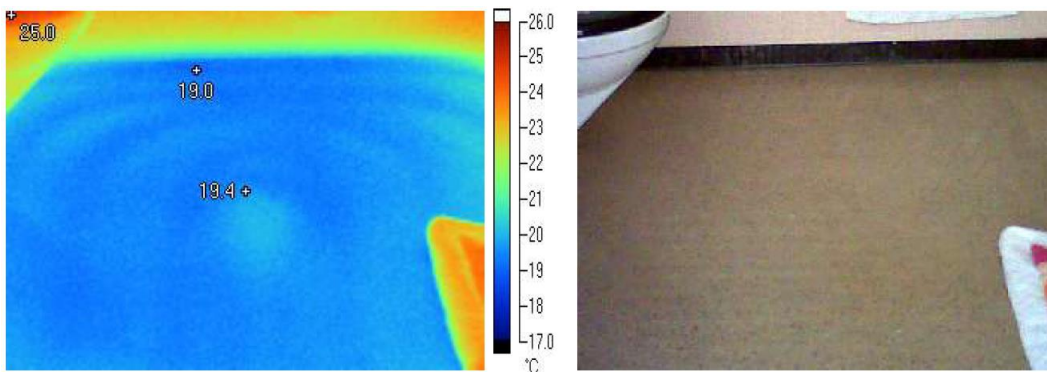


Abb. 10.4: FBH im Kühlbetrieb im WC

10.3 Fazit Objekt 10

Immer wieder werden Heizungsverteiler an sehr schlecht zugänglichen Stellen eingebaut. Dies erschwert die Entlüftung und die Wartung der Anlagen stark und führt dazu, dass teilweise weder der Hauswart, noch die Bewohner so einfache Handgriffe wie eine Entlüftung einer Heizverteilung selbst durchführen, noch die korrekte Funktion der Anlagen selbst überprüfen können. Im vorliegenden Fall wurde die fehlende Heizleistung durch das Höherstellen der Heizkurve ausgeglichen. Erst die starke Überhitzung im Sommer hat zur Beauftragung einer externen Überprüfung der Wärmeverteilung geführt.

11 Vergleich Thermografie-Kameras

11.1 Verwendete Messgeräte

	Testo 870	
	Auflösung Infrarot	160 x 120 Pixel
	Auflösung Display	320 x 240 Pixel
	Sichtfeld	34° x 26° / < 0.5 m
	Fokus	Fix 34°
	Messbereich	-20 °C bis 280 °C
	Auslösung Temperatur	0.1 °C
	Genauigkeit	+/- 2 °C oder +/- 2 % (grösserer Wert gilt)
	Thermische Empfindlichkeit	< 100 mK bei 30 °C
	<p>Bild: testo.com</p>	

Mit der professionellen Wärmebildkamera Testo 870 sind native Thermografie-Aufnahmen mit einer Auflösung von 160 x 120 Pixel möglich. Durch die "Super-Resolution" Funktion werden automatisch zwei Bilder übereinander gelegt um die Auflösung noch zu verdoppeln. Dies funktioniert allerdings nur wenn die Kamera absolut ruhig gehalten werden kann.

Diverse Einstellungen wie Emissionsgrad und Farbpalette lassen sich direkt an der Kamera vornehmen. Praktische Funktionen wie "Coldspot" und "Hotspot" markieren automatisch den kältesten und wärmsten Punkt in der Aufnahme. Wird eine Aufnahme ausgelöst wird automatisch auch ein normales Foto der Szene aufgenommen. Dies wird aber nicht automatisch überlagert, sondern muss erst am Computer mit der mitgelieferten Software manuell kombiniert werden. Dies kann sich als sehr umständlich erweisen, da die beiden Aufnahmen (Thermografie und Foto) ein unterschiedliches Sichtfeld haben.

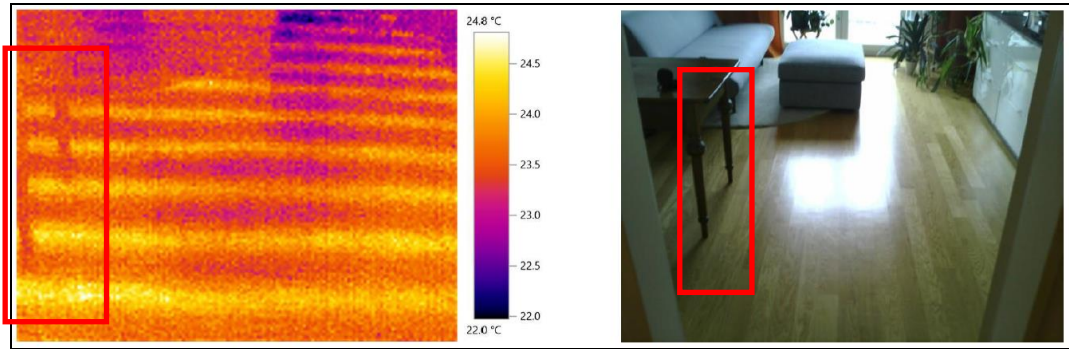


Abb. 11.1: Ausschnitt aus einem automatisch erstellten Bericht. An den Tischbeinen am linken Rand sind die unterschiedlichen Sichtfelder der beiden Kameras gut erkennbar (rote Markierung).

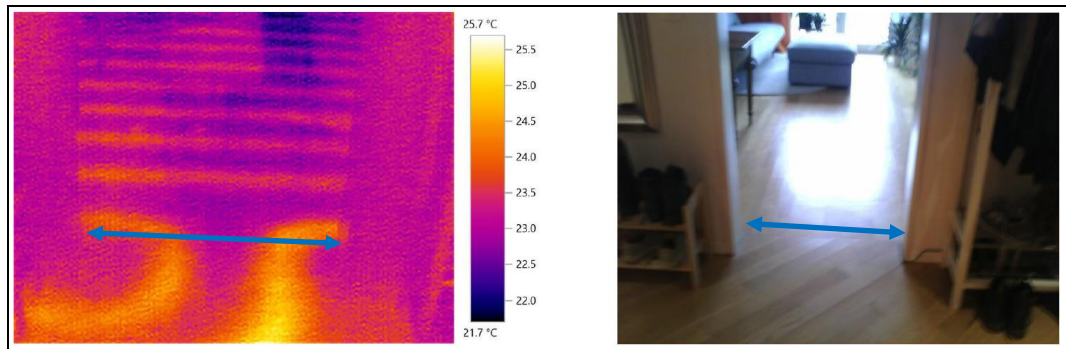
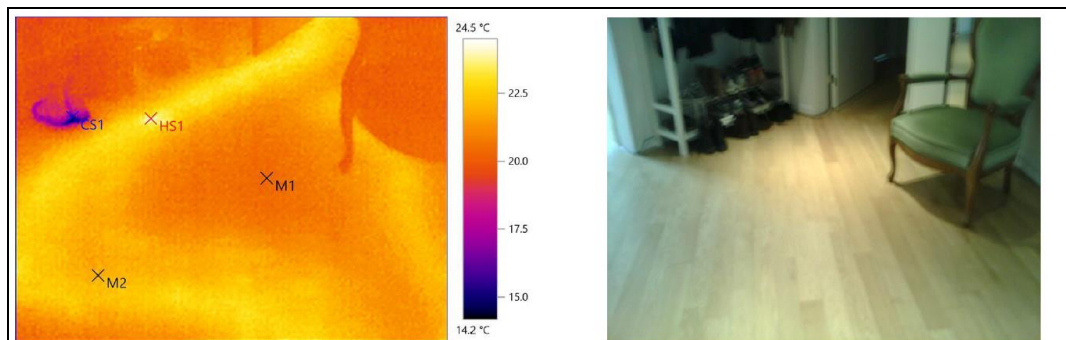


Abb. 11.2: Ausschnitt aus einem automatisch erstellten Bericht. Am Türrahmen sind die unterschiedlichen Sichtfelder der beiden Kameras gut erkennbar (Pfeil).

Die Kamera speichert die alle Informationen der Thermografie-Aufnahme ab. Mit der mitgelieferten Software können anschliessend Temperaturwerte der Aufnahme ausgelesen, Mittelwerte von Felder gebildet und ein automatischer Kurzbericht erstellt werden.



Bildparameter:

Emissionsgrad: 0.96
 Refl. Temp. [°C]: 20.0

Bildmarkierungen:

Messobjekte	Temp. [°C]	Emiss.	Refl. Temp. [°C]	Bemerkungen
Messpunkt 1	20.5	0.96	20.0	-
Messpunkt 2	21.8	0.96	20.0	-
Kältester Punkt 1	14.2	0.96	20.0	-
Wärmster Punkt 1	24.5	0.96	20.0	-

Abb. 11.3: Ausschnitt aus einem automatisch erstellten Bericht. Der kälteste und wärmste Messwert wurde automatisch markiert (CS1 und HS1). Zusätzlich wurden von Hand zwei Messpunkte gesetzt (M1 und M2).

FLIR ONE (2. Gen Android)	
Auflösung Infrarot	80 x 60 Pixel
Auflösung Display	1'440 x 1'080 Pixel
Sichtfeld	50° x 38°
Fokus	Fix, 15 cm
Messbereich	-20 °C bis 120 °C
Auslösung Temperatur	0.1 °C
Genauigkeit	+/- 3 °C oder +/- 5 % (grösserer Wert gilt)
Thermische Empfindlichkeit	< 150 mK

Bild: flir.de

Die FLIR ONE (2. Gen) für Android ist eine ansteckbare Thermografie-Kamera für Smartphones mit micro-USB Anschluss. Die Kamera verfügt über einen eigenen Akku (der Akku des Smartphones wird nicht beeinträchtigt) welcher ca. 1 h Aufnahmen ermöglicht.

Mittels der eigenen FLIR-App werden die Aufnahmen erstellt. Die Auflösung des Infrarot-Sensors beträgt nur 80 x 60 Pixel, jedoch werden die Aufnahmen automatisch mit dem gleichzeitig aufgenommenen Foto mit 1'440 x 1'080 Pixel Auflösung kombiniert, wodurch die Szene und die Gegenstände sehr gut zu erkennen sind.

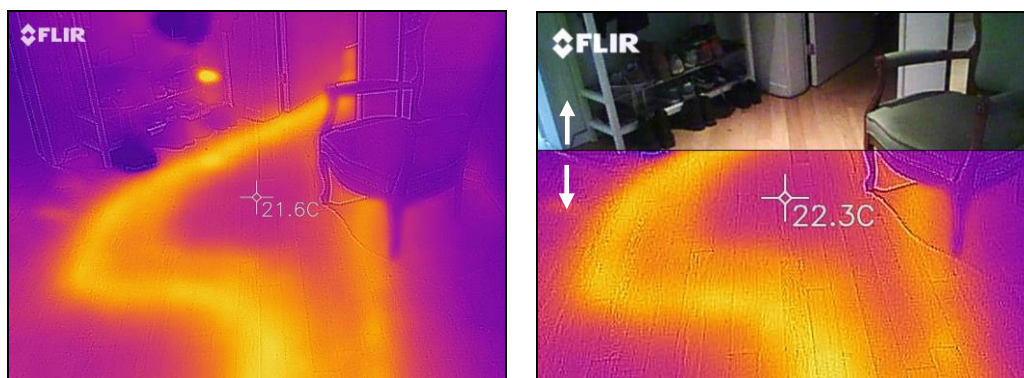


Abb. 11.4: Die beiden Aufnahmen werden in der App automatisch kombiniert. So lassen sich die Konturen sehr gut erkennen.

Der Temperaturmesspunkt lässt sich in der Android App verschieben und kann frei platziert werden. Automatische Funktionen wie Coldspot sind aber nicht vorhanden. Die Bilder lassen sich ebenfalls nur als JPG auf den Computer übertragen. Ein bearbeiten der Aufnahmen (Bsp. Messpunkt setzen etc.) ist auf dem Computer nicht möglich sondern nur über die Android App.

Zusätzlich zu den normalen Fotos können mit der FLIR ONE auch Infrarot-Videos und Zeitraffer Aufnahmen aufgezeichnet werden.

	FLIR ONE PRO (iOS)	
	Auflösung Infrarot	160 x 120 Pixel
	Auflösung Display	1'440 x 1'080 Pixel
	Sichtfeld	55° x 43°
	Fokus	Fix, 15 cm
	Messbereich	-20 °C bis 400 °C
	Auslösung Temperatur	0.1 °C
	Genauigkeit	+/- 3 °C oder +/- 5 % (grösserer Wert gilt)
	Thermische Empfindlichkeit	< 150 mK
	<p>Bild: flir.de</p>	

Die FLIR ONE PRO ist eine verbesserte Version der FLIR ONE (2. Gen). Die Kamera verfügt über einen identischen Akku (der Akku des Smartphones wird nicht beeinträchtigt) welcher ca. 1 h Aufnahmen ermöglicht. Ebenfalls verbessert wurde der Infrarotsensor welcher eine Auflösung von 160 x 120 Pixel ermöglicht. Das System mit der Kombination aus höher aufgelösten Hintergrundbild und Thermografie-Aufnahme blieb identisch. Durch die höhere Auflösung des Infrarotsensors können die Wärmesignaturen aber detaillierter dargestellt werden.

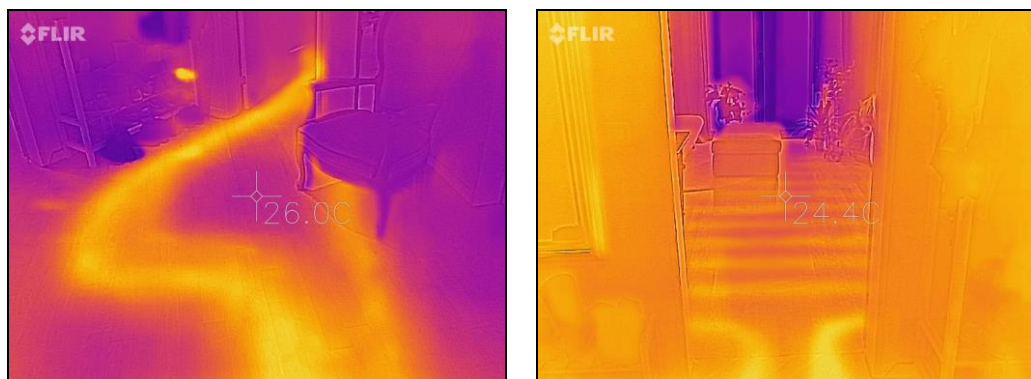


Abb. 11.5: Die Infrarot-Aufnahme und das Foto werden in der App automatisch kombiniert. So lassen sich die Konturen sehr gut erkennen.

Nebst der verbesserten Technik der Kamera wurde auch die dazugehörige FLIR-App überarbeitet und verbessert. Neu können Farbpaletten ausgewählt werden, ein Selbstauslöser ist verfügbar, und neu kann das Arbeitslicht des Smartphones zur Hilfe bei dunklen Räumen genommen werden. Das Bearbeiten der Aufnahmen beschränkt sich allerdings nach wie vor auf die Smartphone-App.

Vergleich der Aufnahmen:

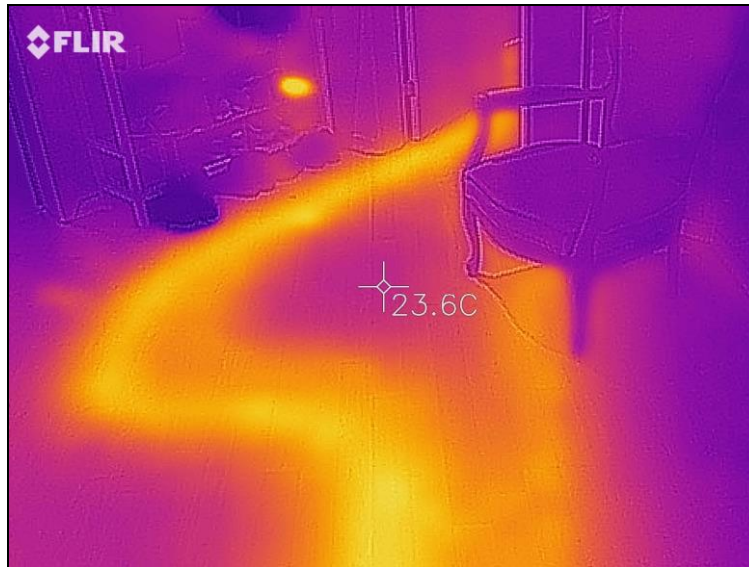


Abb. 11.6: FLIR ONE (2. Gen) Android



Abb. 11.7: FLIR ONE PRO iOS

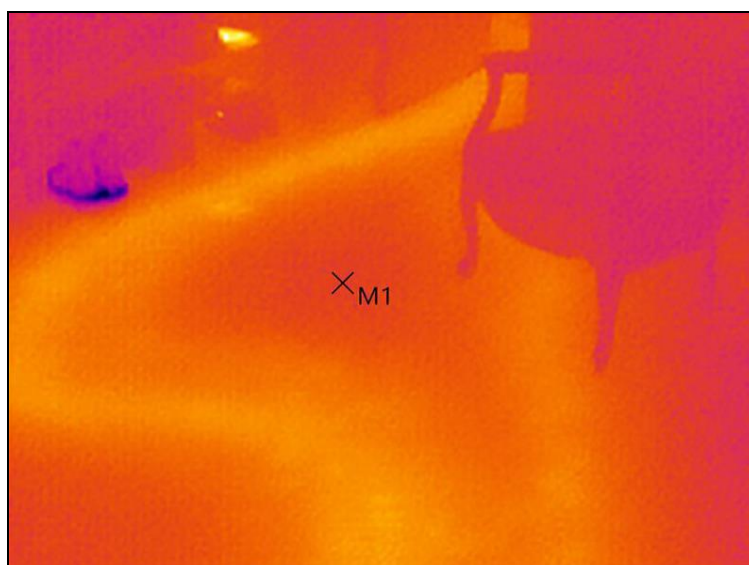


Abb. 11.8: Testo 870 (M1 = 23.5 °C)

Mit allen 3 Kameras wurde dieselbe Szene aufgenommen. Aufgrund des unterschiedlichen Sichtfeldes unterscheidet sich die Aufnahme der Testo 870 leicht von den Aufnahmen der FLIR Kameras.

Die Temperaturmessung aller 3 Kameras unterscheidet sich (man beachte das der Messpunkt von Hand bestimmt wurde) liegt aber in der angegebenen Toleranz der Kameras (Testo +/- 2°C, FLIR +/- 3°C).

Durch die Kombination des höher aufgelösten Fotos mit der Infrarot-Aufnahme wirken die Bilder der FLIR Kameras detaillierter. Die Auflösung des Infrarot Sensor der FLIR ONE Pro entspricht der Auflösung der Testo 870, hier liegt der Unterschied an Details alleine an der Kombination mit dem höher aufgelösten Foto.



Abb. 11.9: FLIR ONE PRO iOS



Abb. 11.10: Testo 870 (M1 = 23.5 °C)

Das grössere Sichtfeld der FLIR Kameras erweist sich gerade bei Aufnahmen eines kompletten Raumes oder eines Durchganges als nützlich.

Die Differenzen in der gemessenen Temperaturen lagen immer in den von Herstellern angegebenen Toleranzen.



Abb. 11.11: FLIR ONE PRO iOS

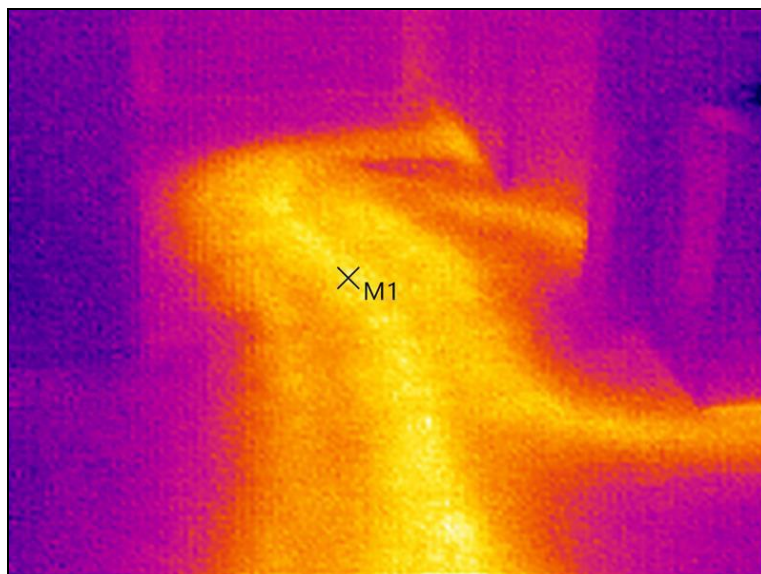


Abb. 11.12: Testo 870 ($M1 = 25.8\text{ °C}$)

11.2 Überblenden Foto/Infrarot bei der Testo 870

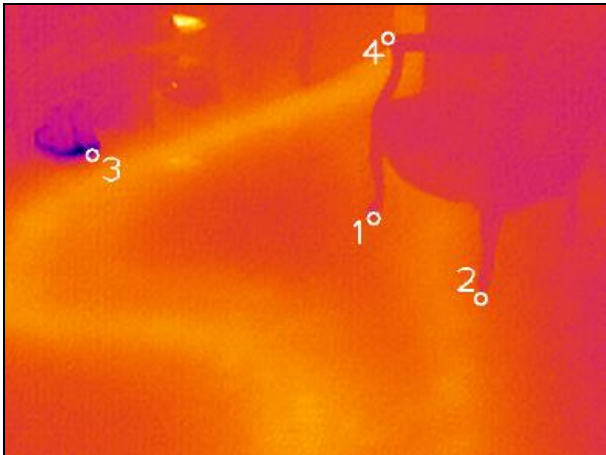


Abb. 11.13: Testo 870 Infrarot Aufnahme



Abb. 11.14: Testo 870 Foto

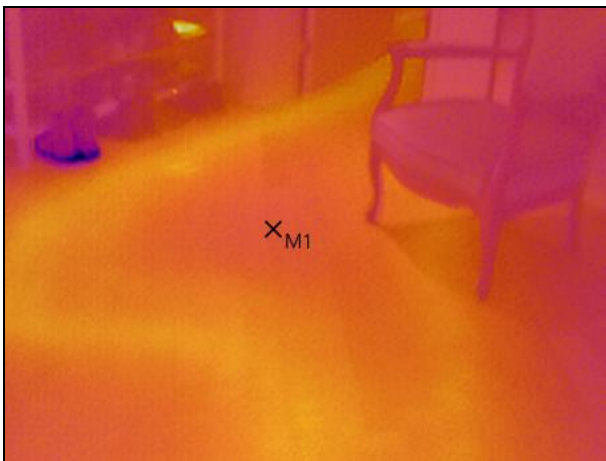


Abb. 11.15: Testo 870 Kombinierte Aufnahme

Wie bereits vorgängig erwähnt, ist es möglich, auf dem PC mit der mitgelieferten Software der Testo 870 die Infrarot-Aufnahme und das Foto zu kombinieren. Aufgrund des unterschiedlichen Sichtfeldes der beiden Kameras, müssen von Hand Referenzpunkte gesetzt werden (Punkte 1-4 oben). Anschliessend lassen sich die beiden Fotos fließend überblenden.

Der Erfolg dieses Vorgangs ist sehr stark von der aufzunehmenden Szene abhängig. Im Beispiel ist das Setzen der Referenzpunkte aufgrund der Möbel problemlos machbar. Muss allerdings ein Neubau ohne Möbel mit leeren Räumen untersucht werden lassen sich oft nur schwer Referenzpunkte finden.

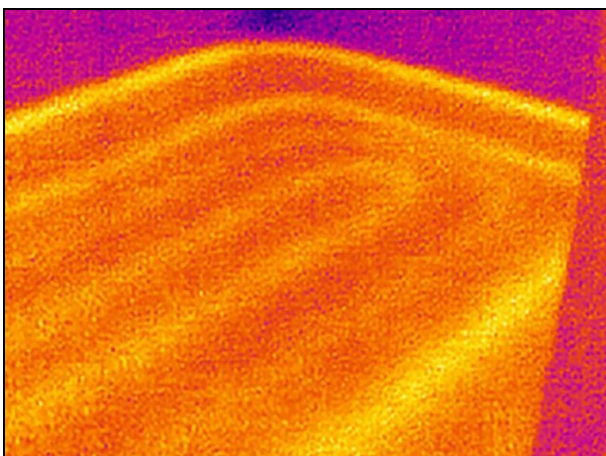


Abb. 11.16: Testo 870 Infrarot Aufnahme FBH



Abb. 11.17: Testo 870 Foto-Aufnahme FBH

11.3 Fazit Messgeräte

Die Differenzen der Infrarot-Aufnahmen liegen in den angegebenen Toleranzen. Der grösste Unterschied zwischen den Kameras liegt in der Verarbeitung der Aufnahmen. Die FLIR-Modelle kombinieren sofort die Infrarot-Aufnahmen mit den Fotos, wodurch schon vor Ort sehr detaillierte Bilder ausgewertet werden können. Allerdings gibt es im Moment noch keine Möglichkeiten die Bilder noch weiter auszuwerten.

Mit der Testo 870 können die Aufnahmen anschliessend mit der mitgelieferten Software am PC ausgewertet und kombiniert werden. Die Software bringt zahlreiche Vorteile mit sich. Nebst zahlreichen Auswertmöglichkeiten gibt es praktische Funktionen wie Cold/Hotspot, die Möglichkeit Temperaturprofile auszulesen und können beliebig viele Messpunkte gesetzt werden.

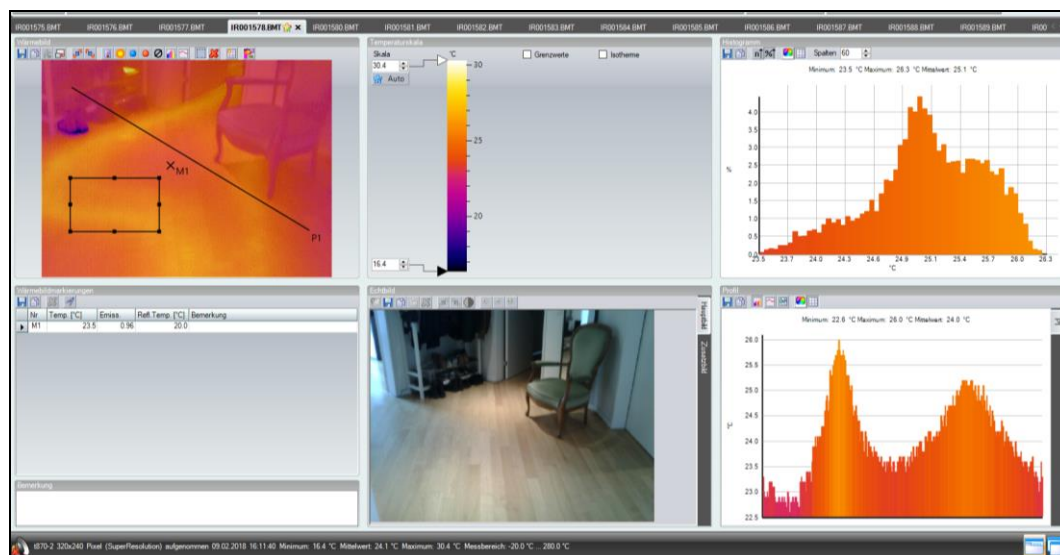


Abb. 11.18: Testo 870 Ausschnitt der mitgelieferte Software IRSoft

Die FLIR ONE Modelle eignen sich stark für eine schnelle Aufnahme der Situation vor Ort. Durch die automatische Kombination von Infrarot und Foto lässt sich der Zustand sehr schnell abschätzen und ein erstes Fazit ziehen.

Ist eine genauere Analyse der Szene nötig ist die Testo 870 klar im Vorteil. Durch die Möglichkeit die Aufnahmen mit allen Informationen auf den PC zu exportieren und auszuwerten können genauere Aussagen über die jeweilige Szene getroffen werden.

Testo 870

- + Genauigkeit Infrarot-Aufnahme
- + Akkulaufzeit über 6 h
- + Auswertung und Verarbeitung der Aufnahmen
- Teuer
- Unterschiedliches Sichtfeld Infrarot / Foto

FLIR ONE Modelle

- + Sehr klein und Handlich
- + Automatische Kombination Infrarot/Foto
- + Vergleichsweise günstig
- + Film und Zeitraffer möglich
- Aufnahmen können nur als JPG exportiert werden
- Auswertung nur mit App auf Smartphone möglich
- Akkulaufzeit sehr kurz (< 1 h)