

systematische thermische Renovierung - Beispiel einer nachträglichen Bauteilaktivierung als minimalinvasives Wärmeabgabesystem in der Sanierung

BauphysikerInnen-Treffen 2024

Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg

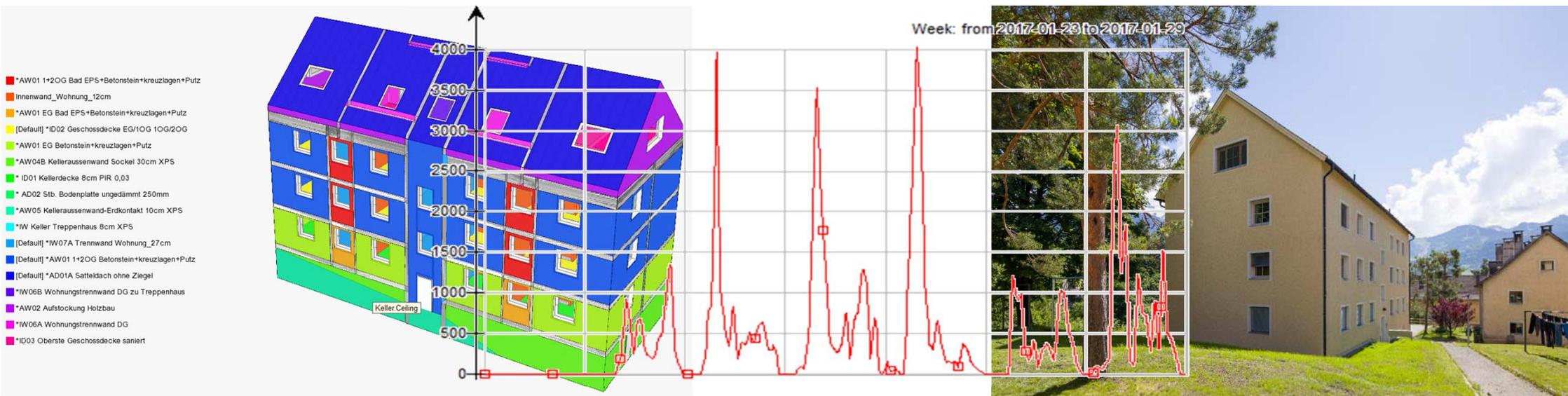
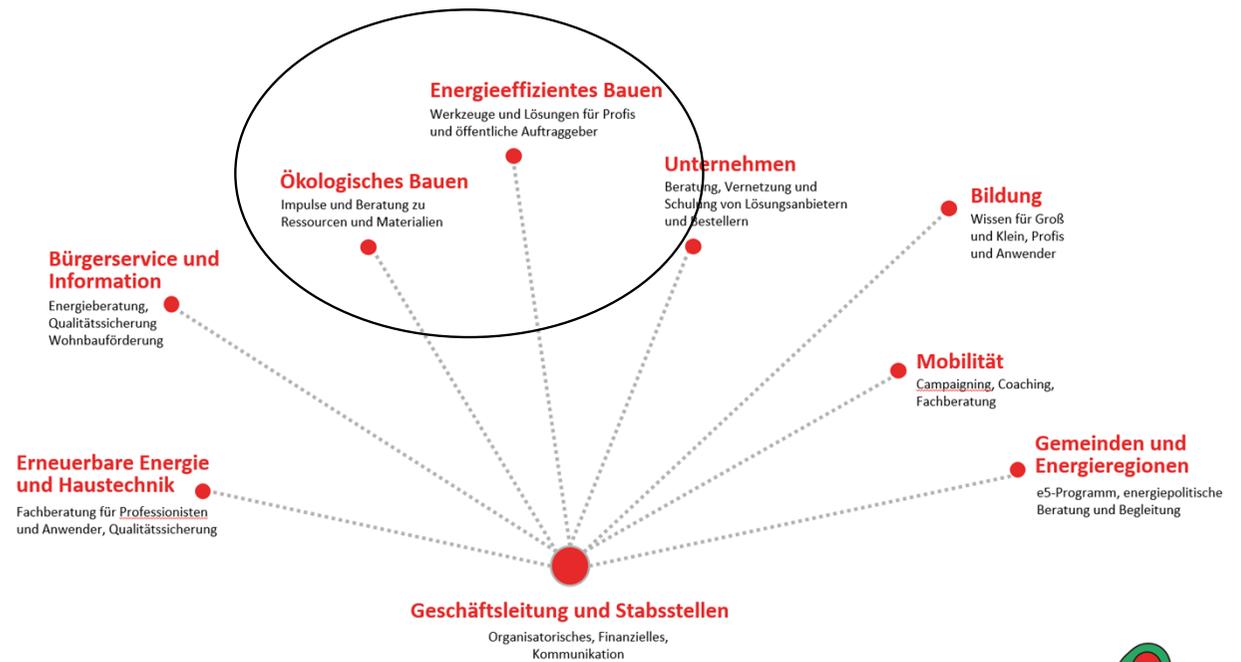


Foto: Dietmar Walser

Energieinstitut Vorarlberg

- Ing. (FH) Dr. Tobias Hatt M.Eng.
 - Lehre als Zimmermann
 - Studium Bauingenieurwesen
 - Promotion zu Passivhäusern in Zentral-Süd Chile



Inhalt

Nachträgliche Bauteilaktivierung in der Sanierung

1. Ausgangslage Demonstrationsprojekt *SüdSan* Südtiroler Siedlung Bludenz
2. Thermische Bauteilaktivierung in der Sanierung
3. Modellbildung
4. Fotos der Baustelle
5. Vergleich mit Niedertemperaturheizkörpern

Untersuchung im Forschungsprojekt SüdSan

Gefördertes Forschungsprojekt SüdSan (Sanierung Südtiroler Siedlung)

- Inhalt: Nachhaltige Sanierung, Demonstrationsprojekt (2022-2024)
- Förderschiene/Programm: Energie der Zukunft, SdZ 8. Ausschreibung KP 2021, Abwicklung der Förderung durch FFG
- Projektpartner: Energieinstitut Vorarlberg (Konsortialführer), Alpenländische Gemeinnützige Wohnbau GmbH, Johannes Kaufmann Architektur, Planungsteam E-Plus GmbH, AEE INTEC, Universität Innsbruck
- Projektbeteiligte: GU Rhomberg Bau, drexel reduziert, IWU, E. Rainer Büro für resiliente Raum- und Stadtplanung, Stadt Bludenz, Bundesdenkmalamt, sonstige Planer...
- Externer Berater Wandheizung: Towern3000 mit System CEPA

BauphysikerInnen

 Bundesministerium
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie

 **STADT**
der Zukunft

 **FFG**
Forschung wirkt.

 **Vorarlberg**
unser Land

 **Energieinstitut** Vorarlberg

Südtirolersiedlung Bludenz



Südtirolersiedlung Bludenz, Alpenländische

Quelle: <https://pid.volare.vorarlberg.at/o:116498>

- 397 gemeinnützige Mietwohnungen
- Fertigstellung 1942 bis 1962
- < 50% der Wohnungen instandgesetzt
- energetisch weitestgehend im Originalzustand
- EVB-Rücklagenkonto: 1 Mio. EUR im Minus
- Sanierung im bewohnten Zustand gewünscht
- Status erhaltenswert seit 2022

Zwei Pilotgebäude 2023-2024 saniert

Nun messtechnisch überwacht

- Zwei als erhaltenswert eingestufte Gebäude mit 6 und 11 Wohnungen, Neubau Dachgeschoß (2 Wohnungen)
- Hoher energetischer Standard der Sanierungen (EnerPHit Plus)
- Umstellung auf Wärmepumpe; Trinkwarmwasser mit Frischwasserstationen,
- Einbau einer zentralen Komfortlüftung mit WRG,
- Süddächer vollflächig mit PV belegt, Mieterstrommodell



Mustergebäude vor und nach der Sanierung

Keller: Feuchte- und Schimmelschäden Wände wg. fehlender Abdichtung, mangelhafte Bodenplatte



Fotos. Rhomberg Bau

Mustergebäude vor und nach Sanierung

Keller: mangelnde Abdichtung und Drainage, Ergänzung Außendämmung



Fotos. Rhomberg Bau

Mustergebäude vor und nach Sanierung

Dachstuhl – unzureichende Tragfähigkeit



Fotos. Rhomberg Bau



Mustergebäude vor und nach Sanierung

neue vorgefertigte Dachelemente

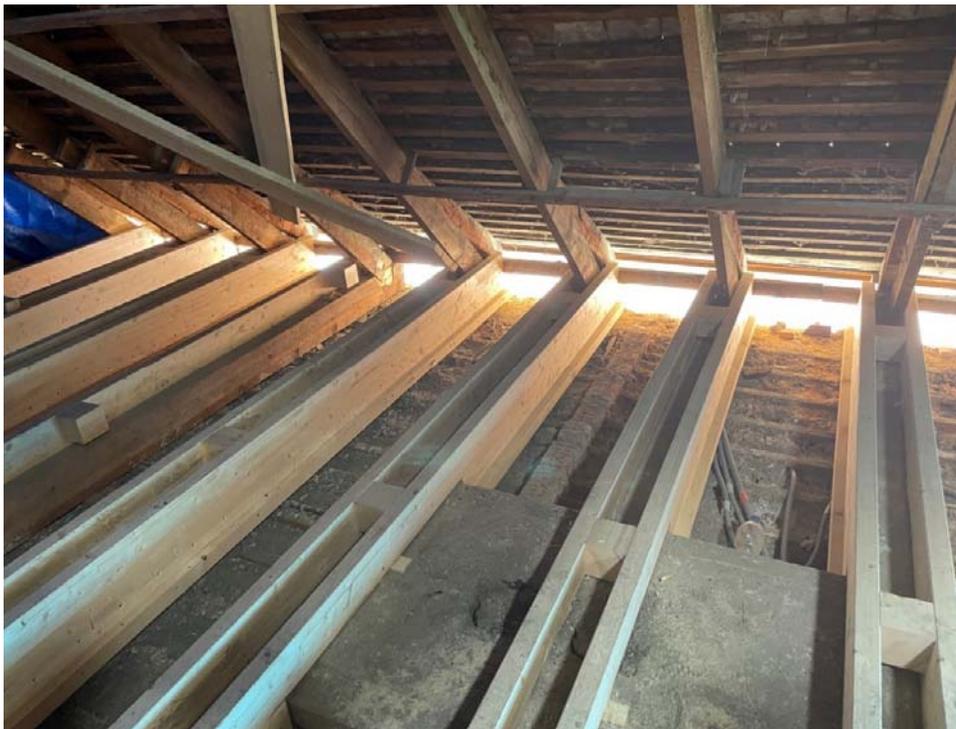


Fotos. Rhomberg Bau



Mustergebäude vor und nach Sanierung

zwei neue Wohnungen im Dachgeschoß – Verstärkung oberste Decke und neue Dachkonstruktion

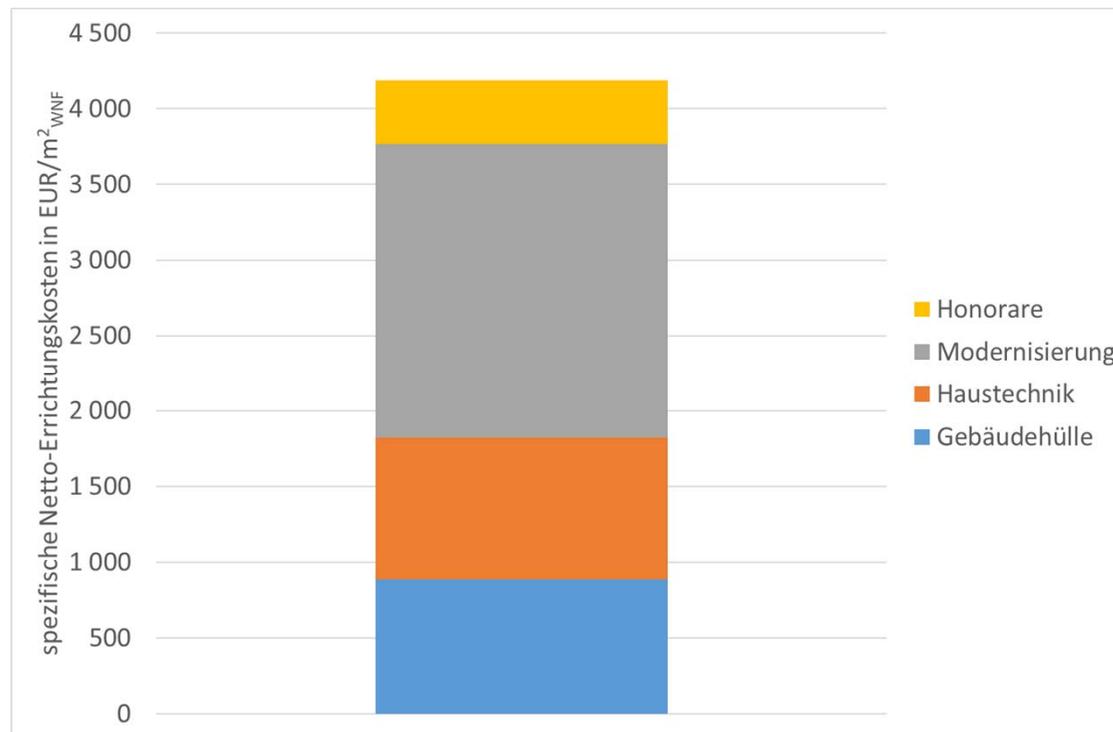


Fotos. Rhomberg Bau



Kosten und Wirtschaftlichkeit

spezifische Netto-Errichtungskosten Sanierung gesamt in EUR/m²_{WNF} – großes Gebäude

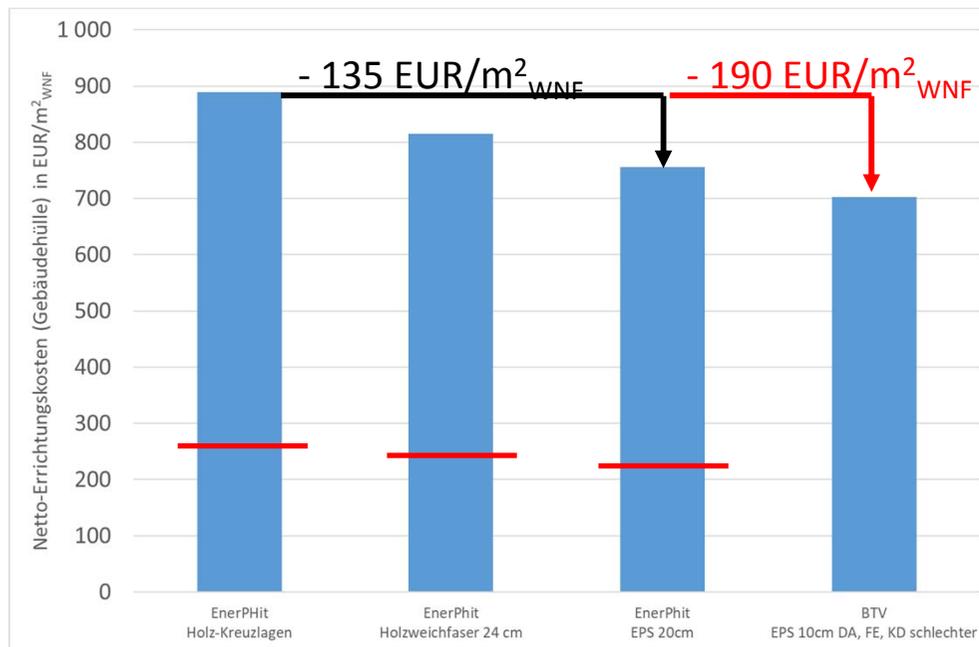


- Kostenstand 1/2023, Region Vorarlberg
- **spez. Errichtungskosten: ca. 4.200 EUR/(m²_{WNF}):**
- inkl. GU-Zuschlag
- größter Anteil: Instandhaltung + Modernisierung

- **gemeinnütziger Neubau Vorarlberg: 4.400 EUR/(m²_{WNF})**
inkl. Abriss + Deponie, Kosten Aus- und Einzug, Miete Ersatzwohnung während Bauzeit

Kostentreiber Effizienz der Hülle?

Reduktion spezifische Netto-Kosten der Sanierung der Gebäudehülle für Variante BTV statt EnerPHit



- spez. Kosten Hülle Ausführungsvariante: 889 EUR/(m²_{WNF}a)
- EnerPHit mit WDVS bis zu 135 EUR/m²_{WNF} günstiger
- Reduktion Hüllkosten BTV (u.a. mit 10 cm EPS statt EnerPHit ökologisch): ca. 190 EUR/m²_{WNF}
- 30% Sanierungsbonus MFH (225 bis 266 EUR/m²_{WNF}) für die EnerPHit-Varianten entfiel für Variante BTV
- Zusätzliche Förderung durch Land Vorarlberg

Haustechnik vor Sanierung

Kein hydraulisches Verteil- und Abgabesystem vorhanden

- Vorher: Heizstruktur zweier Gebäude (oft auch in den einzelnen Räumen unterschiedlich)
 - Elektrisch (Radiatoren 17%, Nachtspeicheröfen 6%, Infrarotpaneele 28%, Heizlüfter) Einzelöfen (Stückholz 28%, Pellet 11%, Kohle 11%)
 - Warmwasser elektrisch direkt mit E-Boilern



BauphysikerInnen-Treffen 2024 Wien | Hatt | Sanierung mit aktivierter Bestandswand



| 14



Fotos: Bauaufmass Maurer E.U.



Energieinstitut Vorarlberg

Thermische Bauteilaktivierung

Eigenschaften, Vorteile, Nachteile

- Thermische Bauteilaktivierung (TBA)
 - Nutzt die Gebäudemassen zur Temperaturregulierung also Raumheizung oder Kühlung.
 - Wird meist wassergeführt in Rohrleitungen, meist Kunststoffrohre, aber auch Kapillarrohrmatten verlegt.
 - Liegt vor allem im Bauteil, nicht oberflächennah wie bei Fußbodenheizung.
- Vorteile:
 - geringe Vorlauftemperaturen (hohe Effizienz Wärmepumpe),
 - Temperaturspeicherung (Flexibilisierung, Netzentlastung),
 - Kühlung möglich.
- Nachteile:
 - Träges System (schwer Regelbar bei schnellen Änderungen),
 - Flächen sollten „sichtbar“ bleiben (keine Akustikdecken etc.).



Keine Standardlösung in der Sanierung

Aktivierete Außenwand (ohne Zusatzheizung)

- Zwischendecken sind nachträglich und im bewohnten Zustand in der Praxis nur schwer aktivierbar, da (ohne Dreck) nicht zugänglich.
 - Idee: Außenwände im Bestandsgebäude als Wärmeabgabefläche nutzen durch die thermische Aktivierung der Wände. Dadurch kein Eingriff in den bewohnten Wohnungen.
 - Solche Ansätze wurden zuvor in einigen Forschungsvorhaben untersucht und teilweise in der Praxis umgesetzt (Altgeld et al., 2010; Hackl et al., 2022; Hengel et al., 2020; Schmidt, 2019; Schweizer, 2021).
- ➔ Keine/wenig Erfahrung aus der Praxis vorhanden. Deshalb **dynamische Gebäude und Anlagensimulation** im Vorfeld um das System beurteilen zu können.

- Altgeld, H., Mahler, M., Cavalius, R., Horst, J., Dürnhöfer, A., & Boettcher, J. (2010). Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außen liegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturanwendungen. Endbericht Projekt LEXU.
- Hackl, L.-M., Deralla, A., & Holzer, P. (2022). Große Neugasse; Sanierung und Heizungsumstellung mit fassadenintegrierter Bauteilaktivierung (S. 16). Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK).
- Hengel, F., Ramschak, T., Gumhalter, M., & Venus, D. (2020, September 23). Showing new concepts with thermal activated prefabricated Façades for retrofitting residential buildings. BauSIM 2020. BauSIM 2020.
- Schmidt, C. W. (2019). Feldtest und dynamische Simulation der außenliegenden Wandtemperierung [PhD Thesis]. University of Luxembourg, Luxembourg.
- Schweizer, P. (2021). Wohnen findet Stadt! - Smarte Modernisierung und Umsetzung am Beispiel der Burgfriedensiedlung Hallein (S. 111) [Publizierbarer Endbericht]. Paul Schweizer Architekt.

Modellannahmen Wandheizung von außen

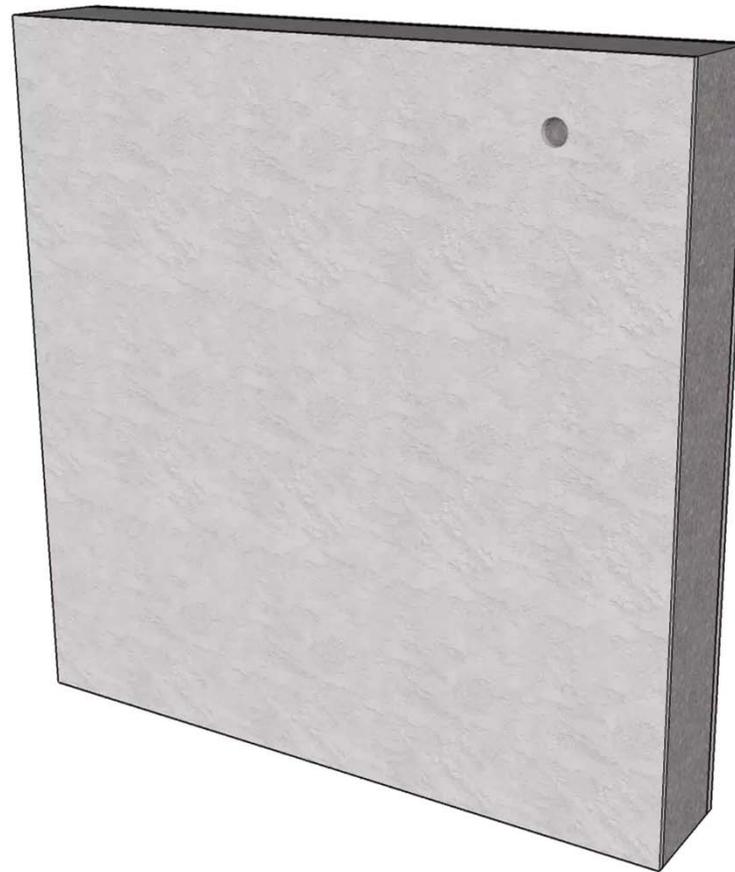
Vereinfachungen im Modell

- Wandheizung mit **eindimensionalem** Wärmestrom in IDA ICE abgebildet. Vereinfachung, bzw. Einschränkung im Modell → In der Praxis wird das System durch 3D-Effekte voraussichtlich ineffizienter sein.
- Die Wandheizung wird im Modell als eine dünne warme Wandschicht (Layer) angesetzt. In dieser Schicht stecken alle Informationen zu Verlegeabstand, Durchfluss, Wärmeübergangswiderstand (HTC Heat transfer coefficient).
- Querverteilung zu Keller, bzw. unbeheizten Räumen von UIBK in dynamischen Wärmebrückenberechnungen untersucht und vereinfacht als Verluste in das Simulationsmodell integriert.

Wärmeübergang vom Heizungswasser zum Raum

Aufbau sollte für eine vorgefertigte Fassade anwendbar sein

1. Wasser zum Rohr
2. Rohr zur Wand
3. Durch die Wand
4. Wand zu Raum

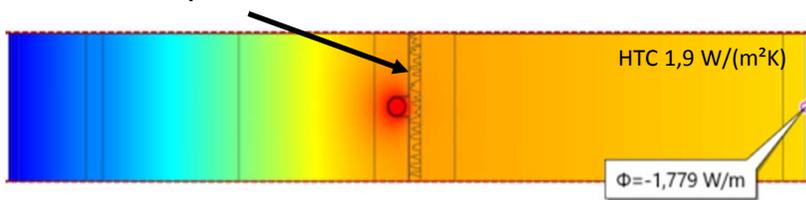


Betonhohlstein gefüllt 290 mm + Kalkzementputz 20-30 mm
Durchbruch/Kernbohrung Lüftungsrohr

Wärmeübergang vom Heizungswasser zur Wand

Heat transfer coefficient (HTC), Wärmestromberechnungen AEE Intec

Luftspalt ohne Wärmeleitblech



Wärmeleitblech auf rauhem Putz

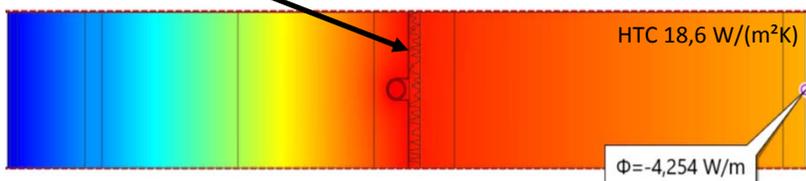


Abbildung: AEE Intec

U-Bestand 2,4 W/(m²K); Fluidtemperatur 37,5°C; Ti 22°C; Ta -10°C; 30cm Überdämmung; 12,5 cm Verlegeabstand

- Variante oben: Wärmestrom vom Fluid zur rauhen Wand mit 1 cm Luftspalt **ohne** Wärmeleitbleche. Wärmeabgabe an den Raum: 14,2 W/m² (bei 10 m² Wand ca. 120 W)
- Variante unten: Wärmestrom vom Fluid zur rauhen Wand **mit** Wärmeleitblechen. Wärmeabgabe an den Raum: 34,0 W/m² (bei 10 m² Wand ca. 340 W)

➔ Wärmeleitbleche verbessern den Übergang wesentlich.

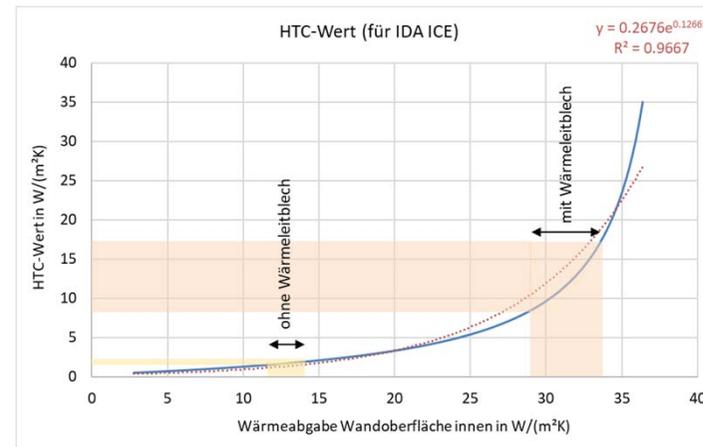


Abbildung: Energieinstitut Vlbg.

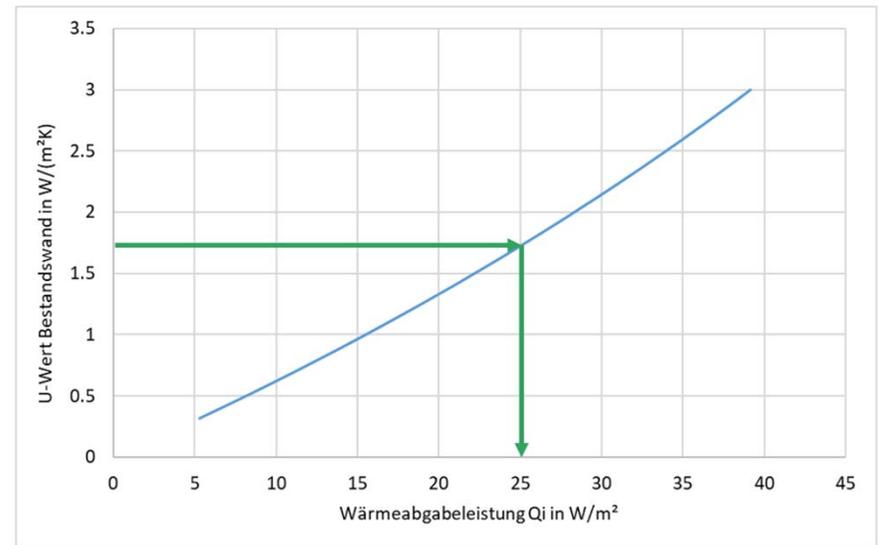
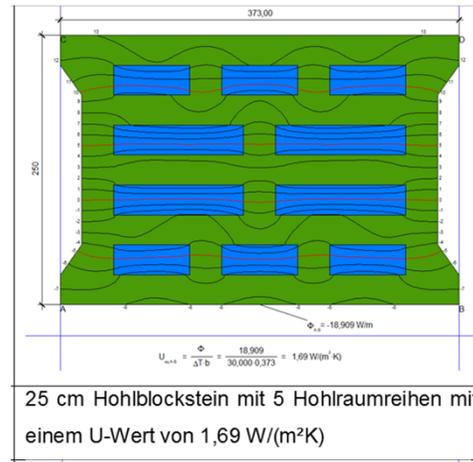


Wärmedurchgang durch die Bestandswand

Hohlblocksteine aus Splittbeton/ Berechnung und Messung U-Wert



1956 Willi Amann, Maurer bei der Arbeit am Haus St. Antoniusstraße Nr. 20 (Fotosammlung Ursula Gießmann, Bludenz) aus [4]



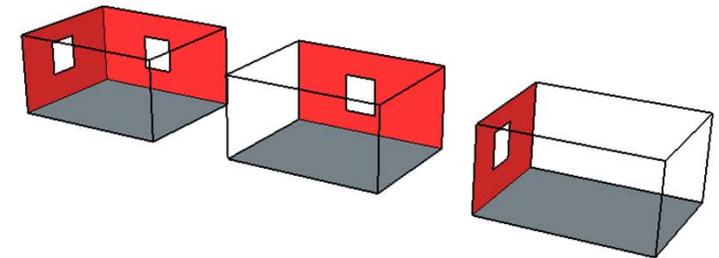
HTC 18,7 W/(m²K); Fluidtemperatur 37,5°C; T_i 22°C; T_a -10°C; 30cm Überdämmung
Parameterstudie mit IDA ICE

➔ Bei einem U-Wert von 1,7 W/(m²K) ist die Wärmeabgabe an der Wand innen ca. 25 W/m²

Verhältnis Heizfläche zur Raumgröße

Nicht analog zu Fußbodenheizung

- Bei der Fußbodenheizung nimmt die Wärmeabgabefläche (Fußboden) linear zur Raumgröße zu.
- Bei der Wandheizung hängt das Verhältnis Wärmeabgabefläche (Außenwand) zur Raumgröße von verschiedenen Faktoren ab
 - Anzahl Außenwänden (z.B. Eckräume)
 - Raumgeometrie
 - Raumhöhe
 - Fensterflächen
- Bei Zwischengeschoßen meist nicht problematisch, da Heizlast und Außenwandfläche korrelieren. Dachgeschoß und EG sind oft kritischer.



Heizflächen [m ²]:	19,6	11,0	8,6
Heizfläche/ Fußboden	1,0	0,6	0,4
Heizleistung: [W/m ² _{Boden}]	25	15	10

Fußboden 20 m²
Wandheizung 25 W/m²_{Wand}

Möblierung, Spülkästen etc.

Leistungsminderung der Wandheizung



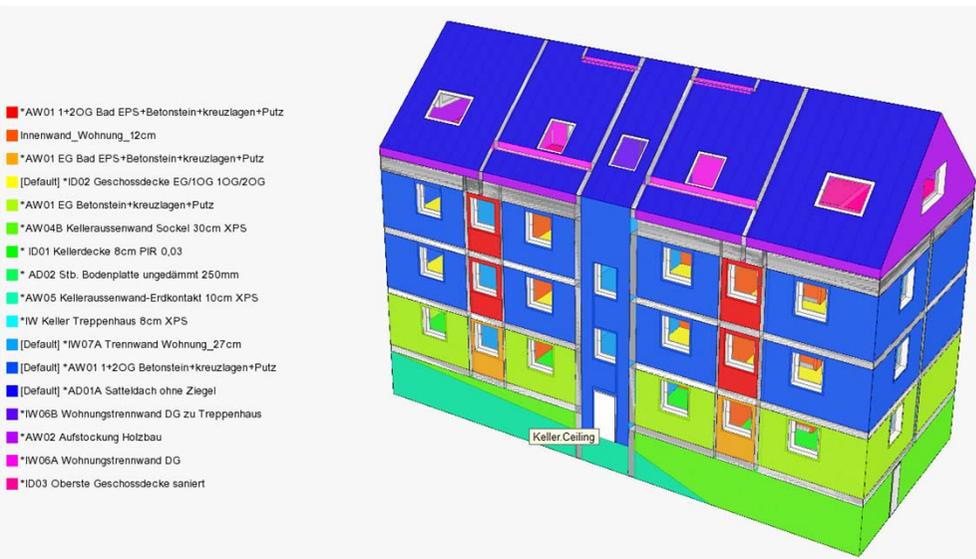
- Außenwand in den Bädern ist von innen stark zusätzlich verbaut
- Spülkasten gefüllt mit kaltem Wasser in Vorsatzschale
- Leitungen in Vorsatzschale
- Badewanne Stirnseite grenzt an Außenwand an
- → im Modell wird in den Bädern als vereinfachtes Ersatzmodell 1 cm EPS Dämmung* innen vollflächig angesetzt

*0,035 W/(mK)

Modell für Gebäude- und Anlagensimulation

Sankt-Antonius Straße 12a

- Dynamische Gebäude und Anlagensimulation mit den vorher in Parameteruntersuchungen bestimmten Randbedingungen zu Verlegung, Wärmeleitblechen, U-Werten und Dämmniveau



- 3D (BIM) Modell vom Gebäude als Grundlage
- Wohnungen raumweise zониert (1 Zone = 1 Raum)
- Gebäude und Anlagensimulation in IDA ICE (V5)
- Randbedingungen meist nach SIA 2024:2021
- Klimadatensatz Meteonorm für Standort

Grobabschätzung Sensitivität der Parameter

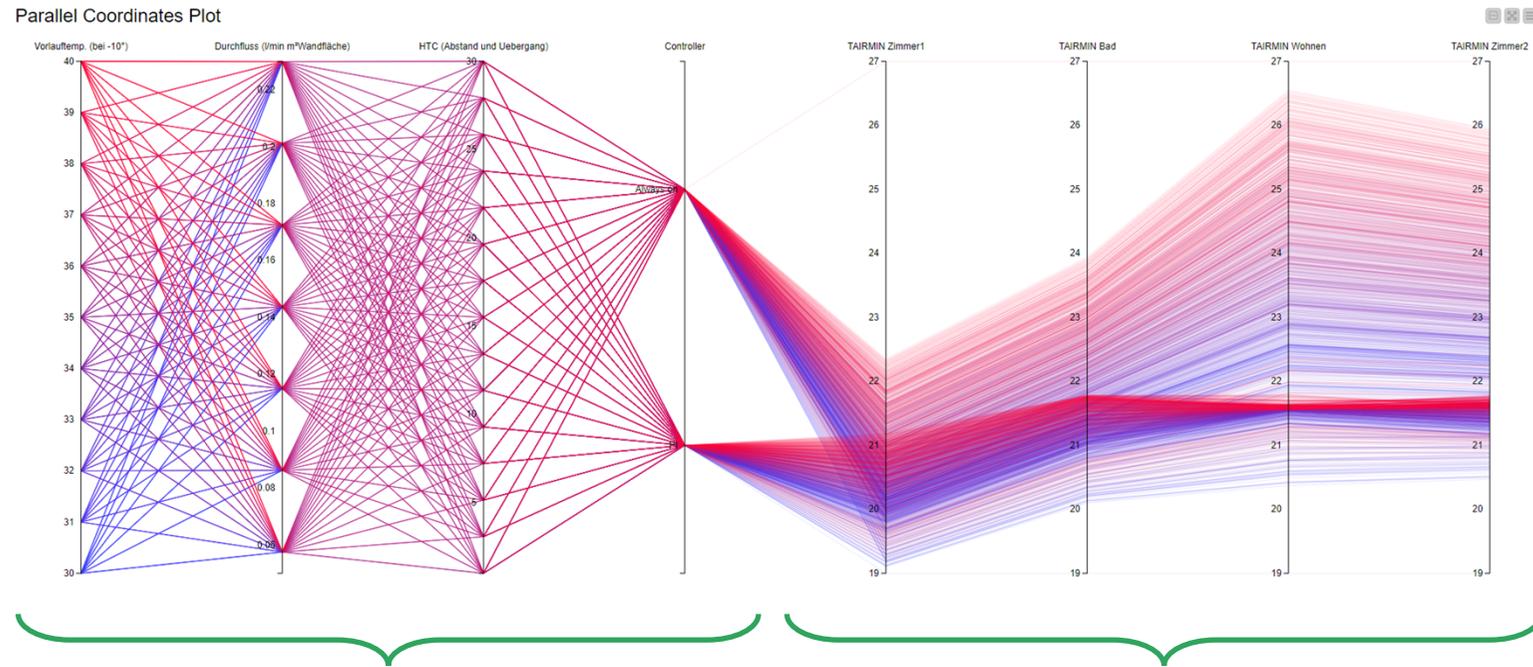
Parameterstudie mit 2300 Varianten einer Wohnung im EG

- Damit der Einfluss einzelner Parameter abgeschätzt werden kann, wurde eine Parameterstudie für eine kalte Winterwoche* durchgeführt. Variiert wurde folgendes:
 - Vorlauftemperatur (Heizkurve)
 - Durchfluss der Wandheizung
 - Verlegeabstand und Verbindung Rohre zur Bestandswand (eingeputzt, Wärmeleitbleche, Luftspalt) (HTC)
 - Regelung: Zwei Randpunkte „immer an“ und „Einzelraumregelung“

*-9°C Minimaltemperatur

Ergebnisdarstellung (interaktiv)

Parallel Coordinates Plot



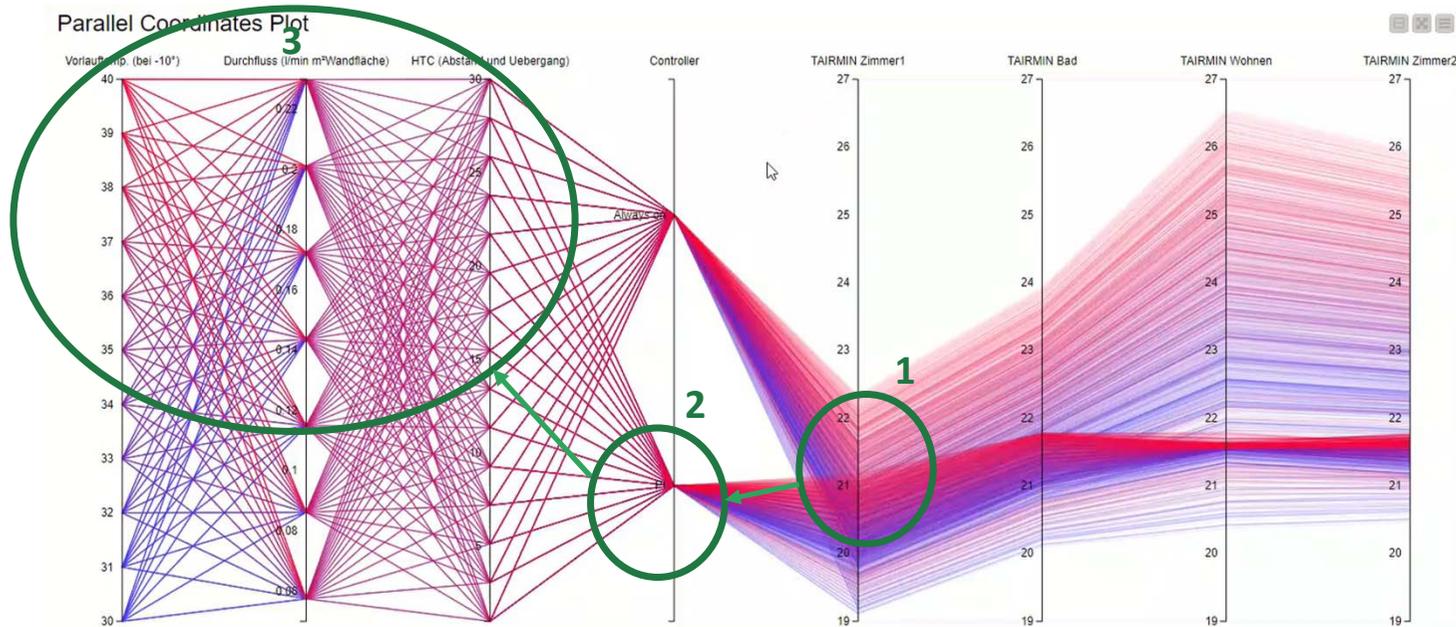
Eingangsparameter

Ergebnisse (Auswahl: Tmin in Räumen)

Teilergebnisse der Parameterstudie

Vorlauftemperatur mit Einzelraumregelung

- Bei Raumtemperaturen von 21-22°C im kritischen Raum und Einzelraumregelung sind Vorlauftemperaturen von 38°C nötig, aber auch höherer Durchfluss und HTC.



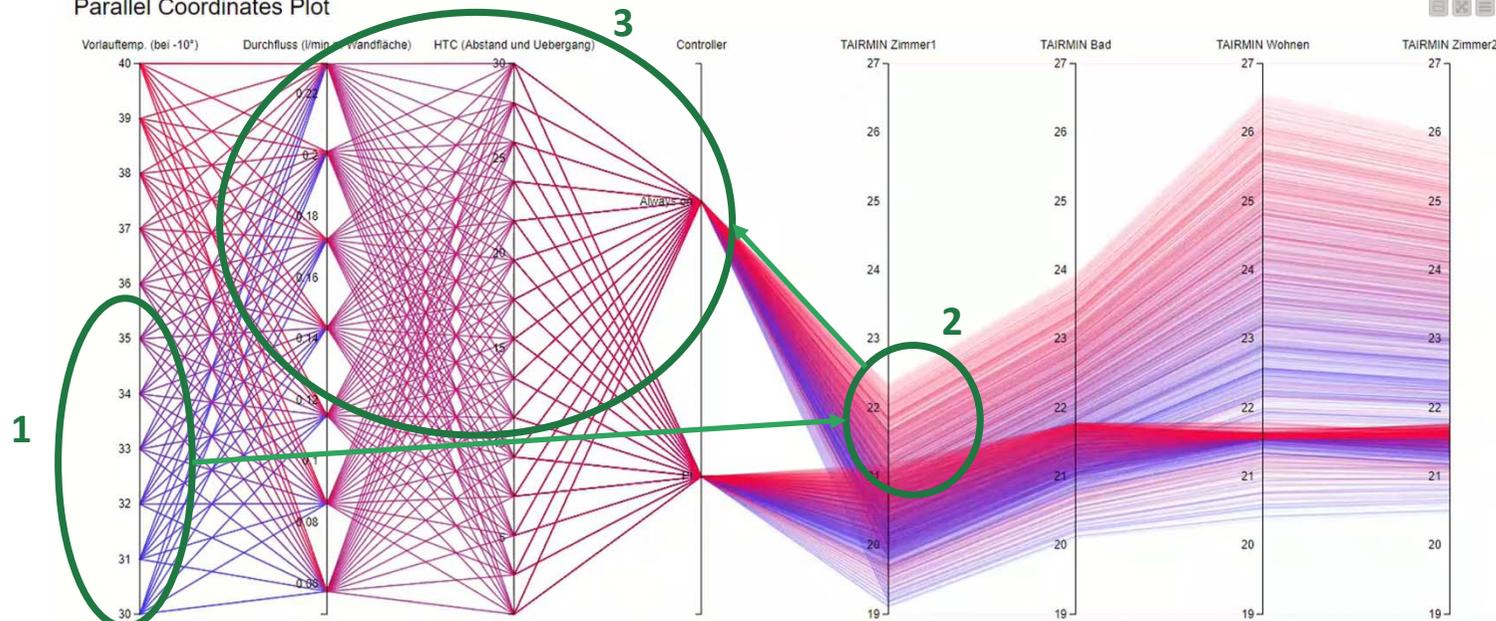
* Ergebnisse vor Anpassung der Wärmebrückeneffekte

Teilergebnisse der Parameterstudie

Wärmeübergang vom Fluid zur Wand

- Bei Vorlauftemperaturen $< 35^\circ\text{C}$ und Raumtemperaturen von $21\text{-}22^\circ\text{C}$ im kritischen Raum ist ein erhöhter Durchfluss und ein HTC Wert von mindestens $10\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nötig. Der Regler ist „immer On“ und die Mindesttemperatur in den restlichen Räumen steigt auf etwa 24°C

Parallel Coordinates Plot



* Ergebnisse vor Anpassung der Wärmebrückeneffekte

Wandbelegung des Gebäudes

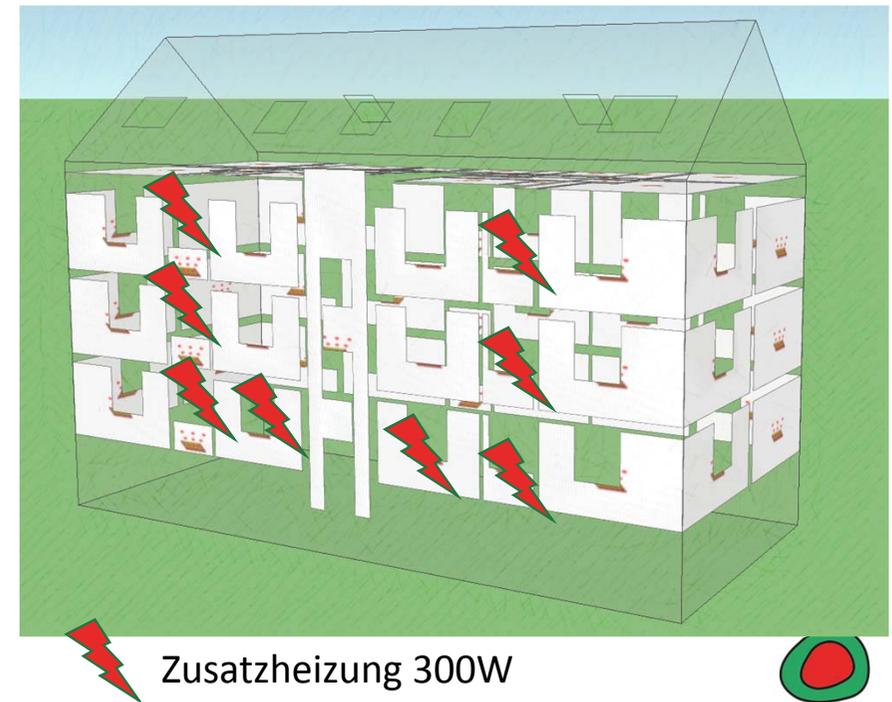
Heizschlangen + Zusatzheizelemente

- In den Bädern und in zwei Zimmern im EG sind Zusatzheizelemente vorgesehen

Plan (CEPA)



Modell (EIV)

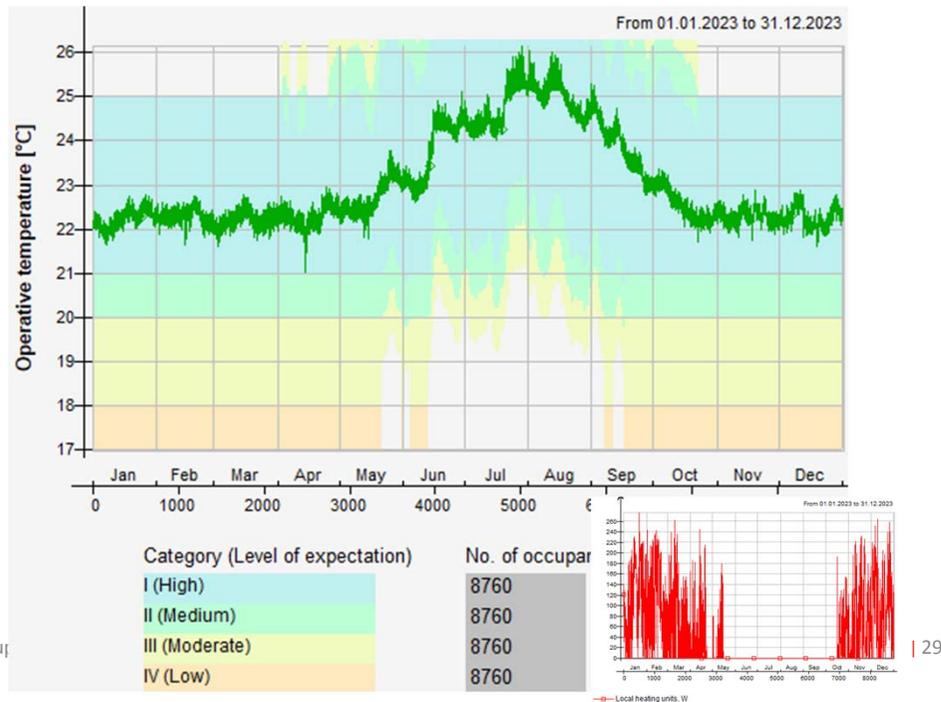


Ergebnisse Wandheizung

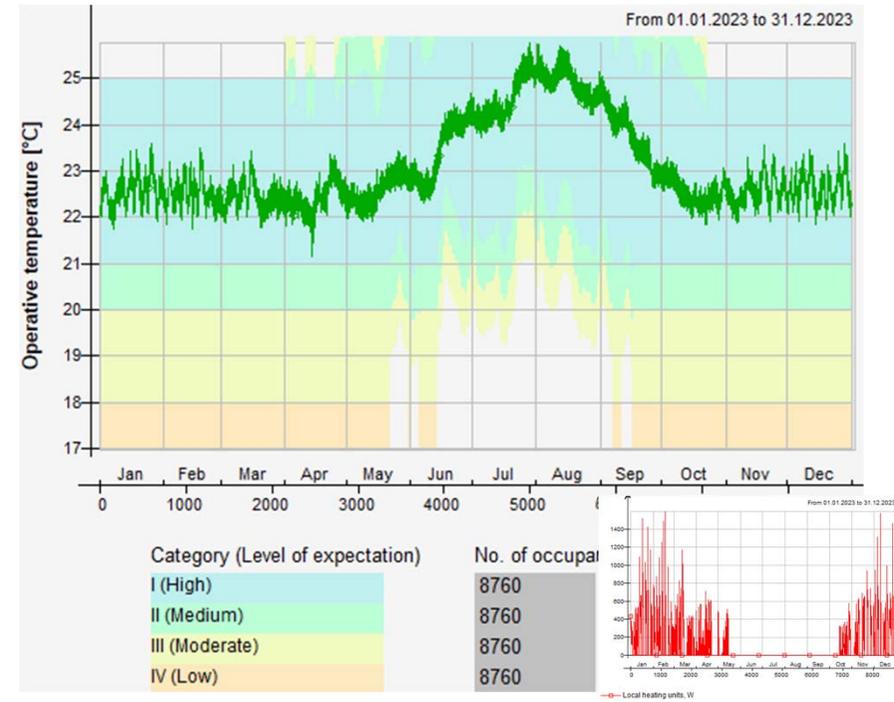
Temperaturen

- Durch die Einzelraumregelung pendeln sich die Temperaturen zwischen 21,5 und 22,5°C ein, wobei vor allem in den Südräumen ein leichtes Überschwingen bis über 23°C zu erkennen ist

Top 6, 10G Zimmer 1, Nordost



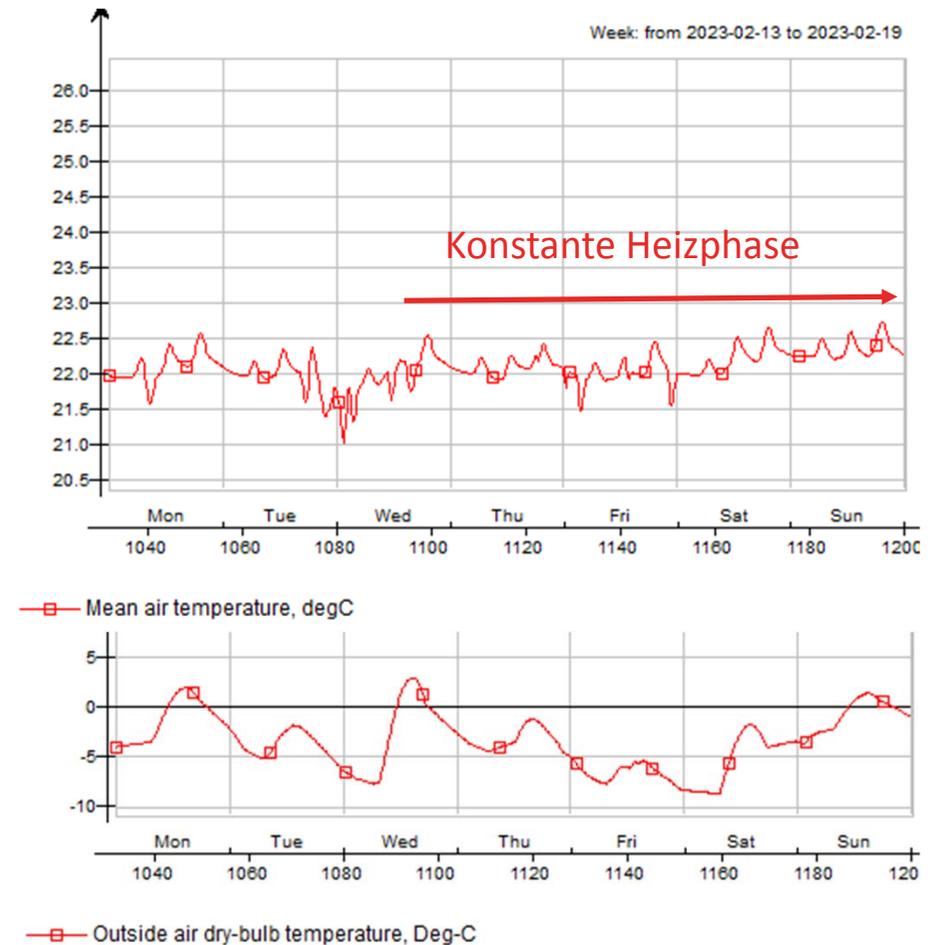
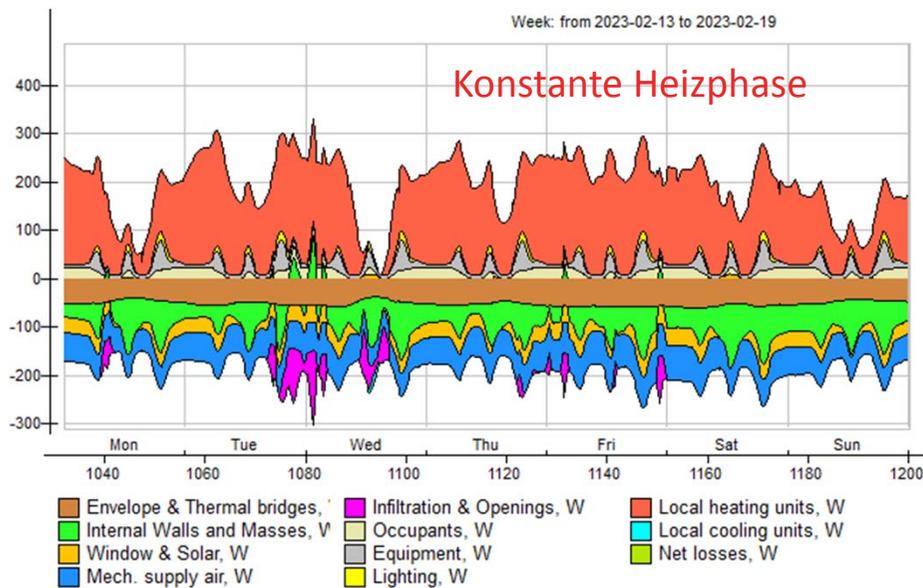
Top 3, EG Küche Südost



Nordraum: Ergebnisse Wandheizung

Temperaturen kalte Winterwoche Top 6, 10G Zimmer 1, Nordost

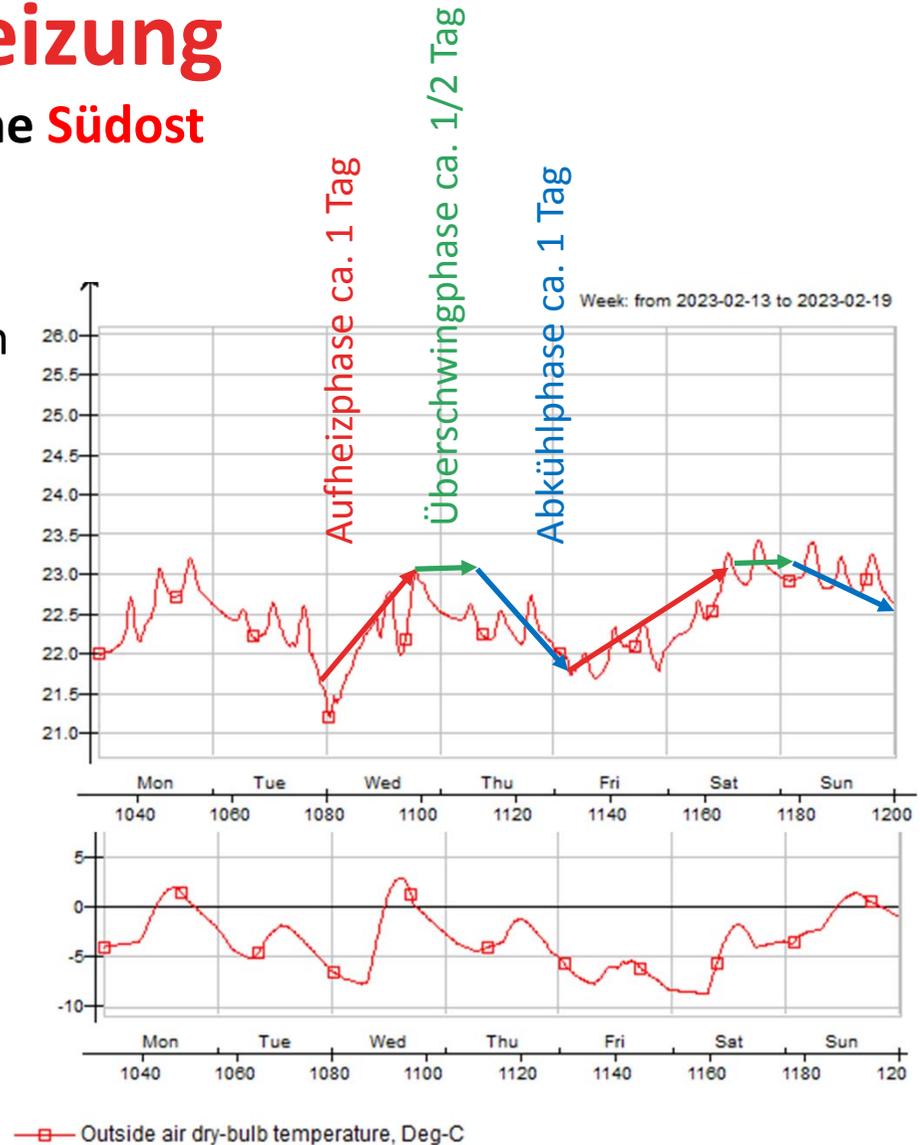
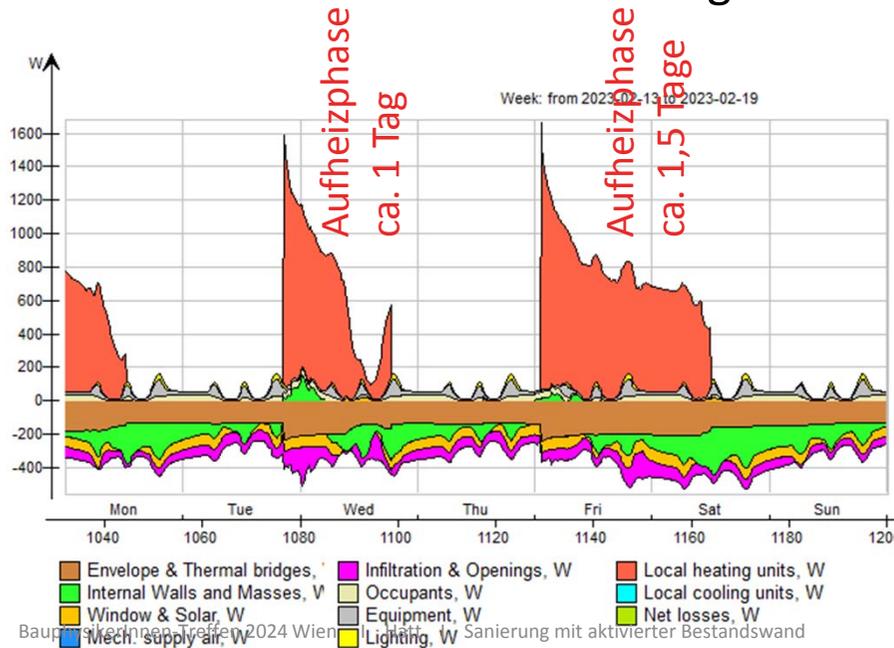
- In kalter Winterwoche konstanter Betrieb der Wandheizung
- Heizkurve (VL) „passt“ für Raumtemperatur von 22°C



Südraum: Ergebnisse Wandheizung

Temperaturen kalte Winterwoche Top 3, EG Küche Südost

- Einzelraumregelung, Trägheit des Systems
- Keine schnelle Reaktion auf Nutzeränderungen möglich
- Zeitkonstanten von über einem Tag



Baustellenbilder

Bauteilaktivierung Außenwand

Belegung mit System CEPA mit 12,5 cm Verlegeabstand und Wärmeleitblechen auf Putz



Zuluftleitungen



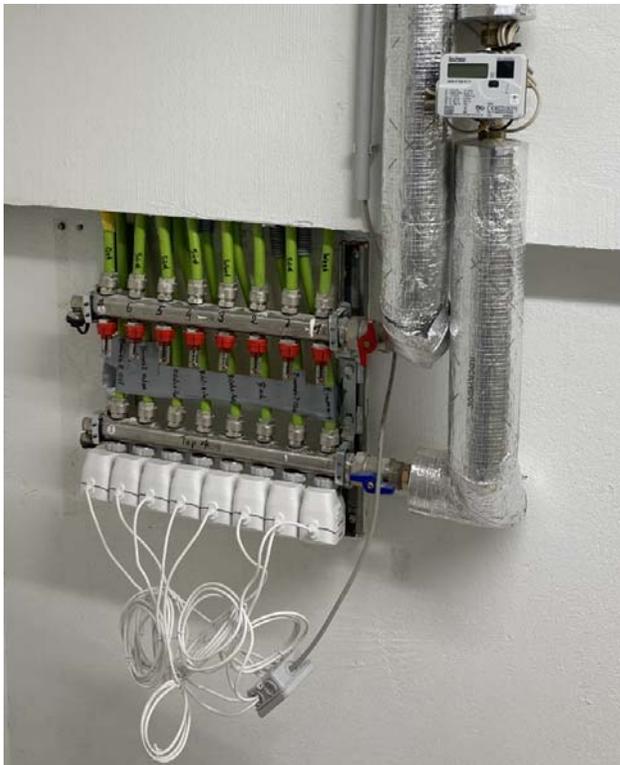
Baustellenbilder

Holzkonstruktion und Dämmung



Baustellenbilder

Heizkreisverteiler Wandheizung



- Jeder Raum hat einen eigenen Heizkreis und Einzelraumregelung. Der Durchfluss wird pro Kreis mit hydraulischem Abgleich getrennt eingestellt.

Niedertemperaturheizkörper

Darstellung beispielhaft im Dachgeschoß



Gegenüberstellung Wandheizung/Heizkörper

Energiebedarfe

In kWh/(m ² _{EBF} a)	Aktivierung Bestandswand (Einzelraumregelung) + IR Paneele	Niedertemperatur Heizkörper (PI Regelung)
Nutzenergie Raumheizung ¹⁺²	39,0 (34,5 ohne IR)	37,1
Verteil- und Speicherverluste	7,3	6,3
Strom Wärmepumpe	13,3	13,3
Strom IR Paneele	4,5	0,0
Strom Pumpen	1,5	1,0
Summe Strom Heizung	19,3	14,3

¹ Aus Simulation, bei 22,5° Raumtemperatur, IWQ und Personenanzahl eigene Ermittlung,

² ohne zusätzliche Verluste der Wandheizung nach außen, diese sind im Strom WP mit Berücksichtigt

- Wandheizungsvariante mit Infrarotpaneelen hat rechnerisch einen höheren Strombedarf gegenüber der Heizkörpervariante, aber immer noch einen **sehr niedrigen Bedarf** im Vergl. zu unsaniert.
- Angebotskosten* Wandheizung 163 €/m²_{WNF}; Niedertemperaturheizkörper 133 €/m²_{WNF}

*inkl. Verteilung; bei Wandheizung inkl. FBH DG, inkl. Infrarotpaneele ohne bauliche Mehrkosten Dämmung o.ä.

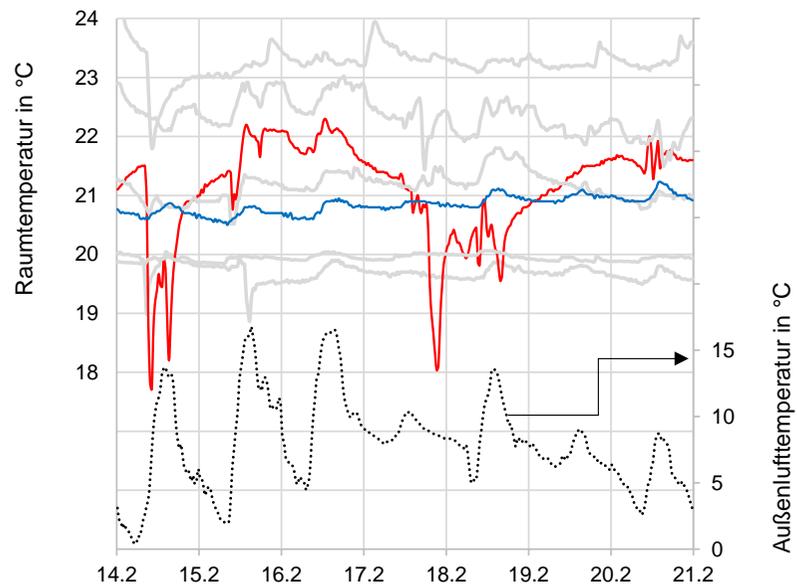
Gegenüberstellung Wandheizung/Heizkörper

Zu Kosten kann noch keine abschließende Aussage gemacht werden

Wandheizung	Niedertemperaturheizkörper
<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Kein Eingriff in den Wohnungen (bewohnt)- Kühlung möglich (mit Einzelraumregler)- Einspeichern von Überschussstrom mit WP- Mit vorgefertigter Fassade schneller Bauablauf- Kein Platzbedarf in den Wohnungen	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Einfaches, bewährtes System in der Bauausführung- Einzelraumregelung mit Thermostaten, damit individuell anpassbar und ein dem Nutzer bekanntes System- Robust gegenüber Änderungen z.B. Raumnutzung- Geringere Investitionskosten (laut Angeboten)
<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Schlechtere Regelbarkeit durch Trägheit (auch bei Einzelraumregler)- Höherer Strombedarf (in der Berechnung)- Bauliche Umsetzung komplex, da noch kein Standardprodukt- Großflächige Möblierung von Außenwänden eingeschränkt	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none">- Eingriff in den Wohnungen nötig- Kühlung nicht signifikant möglich (kleine Fläche)- Nutzerakzeptanz durch „kalte“ Oberflächentemperaturen vermutlich niedriger als bei Standardheizkörpern- Platzbedarf in den Wohnungen

Erste Monitoringergebnisse aktivierte Wand

Raumtemperaturen Wohnen 14-21. Februar 2024



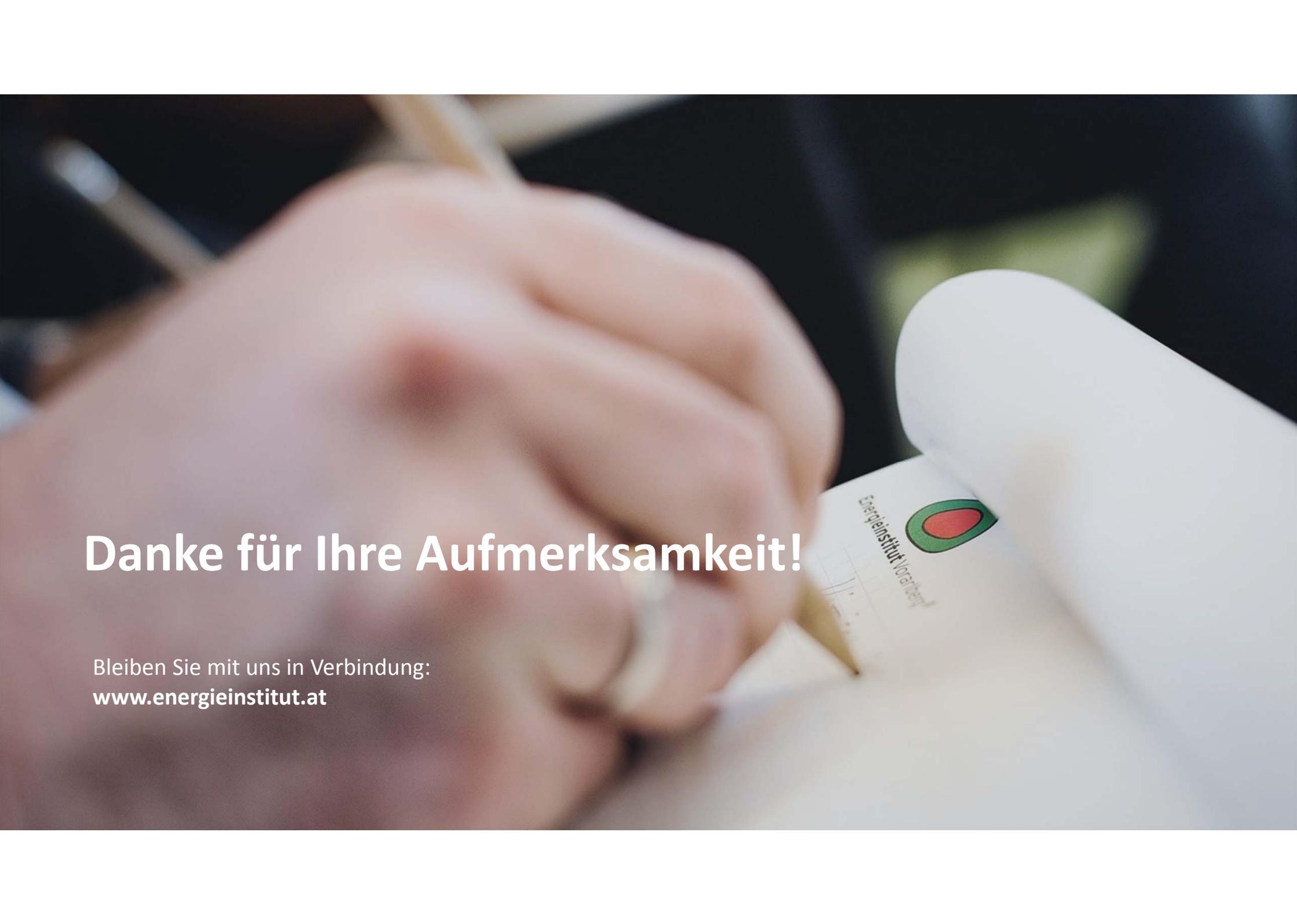
- Regelung seit Mitte Februar 2024 aktiv, aber noch nicht komplett.
- Räume zwischen 19-24°C (in grau), bei Lüften auch kälter. Die Raumthermostateinstellung (Solltemperatur) ist hierbei aber nicht bekannt.
- Südraum mit Einzelraumregelung(in rot), welcher die Regelcharakteristik mit der hohen Trägheit des Systems aus der Simulation qualitativ bestätigt.*
- Nordraum (in blau) bei dem die Regelung konstant „on“ ist.

*Die Ausschläge nach unten (18°C) sind durch Fensterlüftung bedingt und unabhängig vom Wärmeabgabesystem.

Fazit

Bauteilaktivierung in der Sanierung mittels Wandheizung

- Hauptvorteil der Wandheizung im Projekt SüdSan ist, dass in den bewohnten Wohnungen **weniger Eingriff** stattfindet als mit Heizkörpern.
- Solange es noch keine ausreichende Praxiserfahrung gibt, würden wir empfehlen solche Systeme zu simulieren.
- Im Vorfeld **Analyse der Bestandswand** durchführen, da U-Wert hohen Einfluss auf die Wirksamkeit und Effizienz hat.
- **Im Vorfeld** Team zusammenstellen aus Planer, Systemhersteller, Installateur, (Lüftungsbauer) Zimmermann/Fassadenbauer. Schnittstellen und Verantwortlichkeiten klären, da noch kein Standardprodukt.



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Bleiben Sie mit uns in Verbindung:
www.energieinstitut.at