ÜBUNG SANIERUNGSVARIANTEN UND VORLAUFTEMPERATUR

Wärmepumpe in der Sanierung von Mehrwohnungsgebäuden

Thomas Roßkopf-Nachbaur, Energieinstitut Vorarlberg
Tobias Hatt, Energieinstitut Vorarlberg

KNOW HOW HP

Co-funded by the European Union

LIESMICH

- Das Übungstool zeigt an einem Mehrfamilienhaus mit neun Wohnungen, wie sich verschiedene Maßnahmen auf die notwendige Vorlauftemperatur auswirken – Raum für Raum und Geschoss für Geschoss. Dabei lassen sich die fünf Maßnahmen beliebig kombinieren.
- Heizwärmebedarf, Heizlast, Vorlauftemperatur, Stromverbrauch, Investitionskosten und Annuität ändern sich sofort mit. Je niedriger die Vorlauftemperatur, desto effizienter arbeitet die Wärmepumpe.
- Das Übungstool dient Schulungszwecken im Rahmen des EU Projektes KnowHowHP und soll Zusammenhänge veranschaulichen. Es ist kein Berechnungswerkzeug und die Ergebnisse lassen sich nicht direkt verallgemeinern.
- Ohne Einführung und Zusatzinformationen aus der Schulung sind die Ergebnisse nicht direkt verwertbar.

INHALT



Foto: Dietmar Walser

Beschreibung Gebäude

Randbedingungen

Übungstool online

FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Baujahr 1960, 3 Geschoße á 3 Wohnungen
Sanierung 1990: Außenwand mit 6 cm WDVS – U_{AW} = 0,40 W/(m²K)

Ansicht von Süden (# 5)



Ansicht von Osten (# 1)



FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Baujahr 1960, 3 Geschoße á 3 Wohnungen
Sanierung 1990: Zweischeibenverglasung – U_W = 2,20 W/(m²K)

Zweischeibenverglasung im Stiegenhaus

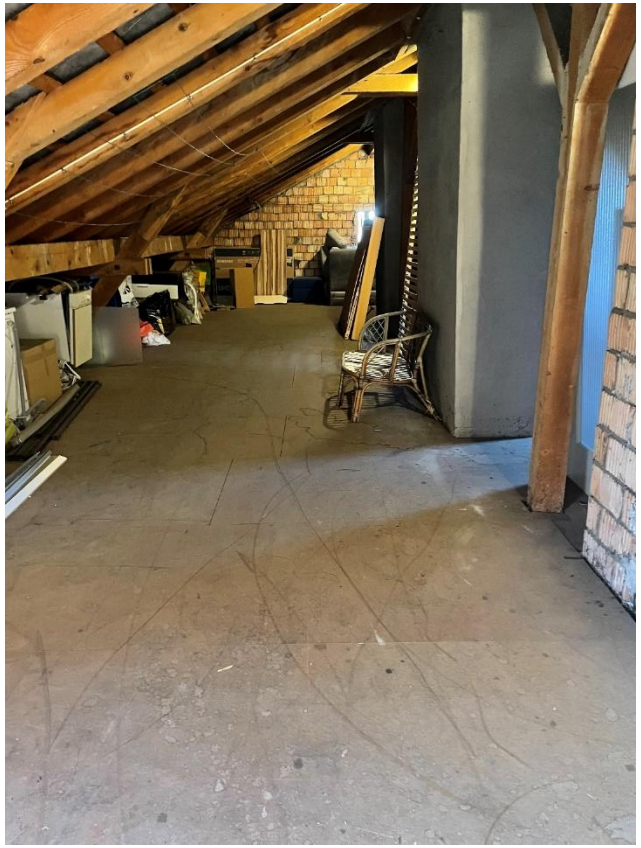




FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Baujahr 1960, 3 Geschoße á 3 Wohnungen
Sanierung 1990: oberste Geschoßdecke mit 10 cm Mineralwolle – U_{AD} = 0,37 W/(m²K)

Oberste Geschoßdecke mit Bestandsdämmung



Dacheindeckung



FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Baujahr 1960, 3 Geschoße á 3 Wohnungen
Sanierung 1990: Kellerdecke mit 5 cm EPS – U_{KD} = 0,50 W/(m²K)

Kellerdecke mit Bestandsdämmung



FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Baujahr 1960, 3 Geschoße á 3 Wohnungen



FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Haustechnik Bestand

Co-funded by the European Union

- **Lüftung:** Fensterlüftung
- **Raumheizung:** zentral
  - Wärmeabgabe: Heizkörper 55/45 °C (Heizkurve), Thermostatventile
  - Wärmeverteilung: Leitungen 1/3 gedämmt, Armaturen nicht gedämmt
  - Wärmespeicher: Pufferspeicher
  - Wärmebereitstellung: Luft-Wärmepumpe (COP A7/W35 = 5,0)
- **Warmwasser:** dezentral pro Wohneinheit (9 Stk.)
  - Wärmespeicher: direkt elektrisch beheizte Speicher, Baujahr 1990
  - Wärmebereitstellung: Strom

FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Optimierungspotentiale Gebäudehülle und Haustechnik

Co-funded by the European Union

- **Gebäudehülle**
  - Tausch der Fenster
  - Dämmung Außenwand: neues WDVS
  - Dämmung oberste Geschossdecke: zusätzliche oberseitige Dämmung
  - Dämmung Kellerdecke: neue unterseitige Dämmung
- **Haustechnik**
  - Reduktion Vorlauftemperatur Heizkörper

FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Optimierungspotentiale Gebäudehülle

Co-funded by the European Union

- **Tausch der Fenster**
  - Verglasung
    - U_g = 0,50 W/(m²K)
    - g = 0,51
  - Fensterrahmen
    - U_f = 1,10 W/(m²K)
    - Psi-Wert = 0,04 W/(mK)
  - **U_w = 0,85 – 0,93 W/(m²K)**

FALLSTUDIE „9ER HÄUSER“

Optimierungspotentiale Gebäudehülle

Co-funded by the European Union

- **Dämmung Außenwand: U-Wert AW = 0,13 W/(m²K)**
  - Kalkgipsputz und Hochlochziegel (Bestand)
  - 2 cm Zementputz (Bestand)
  - **22 cm EPS-F: λ = 0,032 W/(mK)**
  - **1 cm Kalkputz: λ = 0,700 W/(mK)**
- **Dämmung oberste Geschossdecke: U-Wert AD = 0,12 W/(m²K)**
  - Kalkgipsputz, Stahlbeton und Holzwolleleichtbauplatte (Bestand)
  - 10 cm Mineralwolle mit Lattung (Bestand)
  - **18 cm Mineralwolle: λ = 0,034 W/(mK)**
  - **1,9 cm Spanplatte: λ = 0,130 W/(mK)**
- **Dämmung Kellerdecke: U-Wert KD = 0,19 W/(m²K)**
  - Bodenbelag, Zementestrich und Holzwolleleichtbauplatte (Bestand)
  - 20 cm Stahlbeton (Bestand)
  - **10 cm PIR-Dämmplatte: λ = 0,022 W/(mK)**

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Basisdaten

- **Annuität nach ÖNORM M 7140**
- Betrachtungszeitraum = 50 Jahre
- Kalkulatorischer Zinssatz = 2,5% (lt. ÖNORM M 7140)
- Preisentwicklung Kapital = 3,5% (Ersatz, lt. ÖNORM M 7140)
- Preisentwicklung Bedarf = 2,7% (Energie, lt. ÖNORM M 7140)
- Preisentwicklung Betrieb = 3,2% (Wartung, lt. ÖNORM M 7140)

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Kapitalgebundene Kosten – Investitionskosten

	Bestand	Sanierung
Luft-Wärmepumpe	42.200 € (29 kW) bis 34.450 € (19 kW)	
Pufferspeicher + Einbindung	17.200 €	
Fenster	97 m^2_{BF} x 30 €/m^2_{BF} = 2.910 €[1]	97 m^2_{BF} x 1.200 €/m^2_{BF} = 116.400 €
Außenwand	529 m^2_{BF} x 60 €/m^2_{BF} = 31.740 €[2]	529 m^2_{BF} x 345 €/m^2_{BF} = 182.505 €
Oberste Geschoßdecke	-	238 m^2_{BF} x 150 €/m^2_{BF} = 35.700 €
Kellerdecke	-	238 m^2_{BF} x 200 €/m^2_{BF} = 47.600 €

BF = Bauteilfläche

[1] Dichtungen erneuern und Beschläge einstellen

[2] Putz erneuern

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Kapitalgebundene Kosten – Investitionskosten

	Bestand	Fenster	Fenster + AW	Fenster + OGD	Fenster + KD
Heizlast	29 kW	25 kW	19 kW	24 kW	24 kW
Luft-Wärmepumpe	42.200 €	39.100 €	34.450 €	38.350 €	38.350 €
Pufferspeicher + Einbindung	17.200 €	17.200 €	17.200 €	17.200 €	17.200 €
Fenster	2.910 €	116.400 €	116.400 €	116.400 €	116.400 €
Außenwand	31.740 €	31.740 €	182.505 €	31.740 €	31.740 €
Oberste Geschoßdecke	-	-	-	35.700 €	-
Kellerdecke	-	-	-	-	47.600 €
Summe	**94.050 €**	**204.440 €**	**350.550 €**	**239.390 €**	**251.290 €**

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Kapitalgebundene Kosten – Nutzungsdauern

- Luft-Wärmepumpe = 18 Jahre
- Pufferspeicher und Einbindung = 50 Jahre
- Fenster = 50 Jahre
- Außenwand = 50 Jahre
- Oberste Geschoßdecke = 50 Jahre
- Kellerdecke = 50 Jahre

Co-funded by the European Union

WIRTSCHAFTLICHKEIT

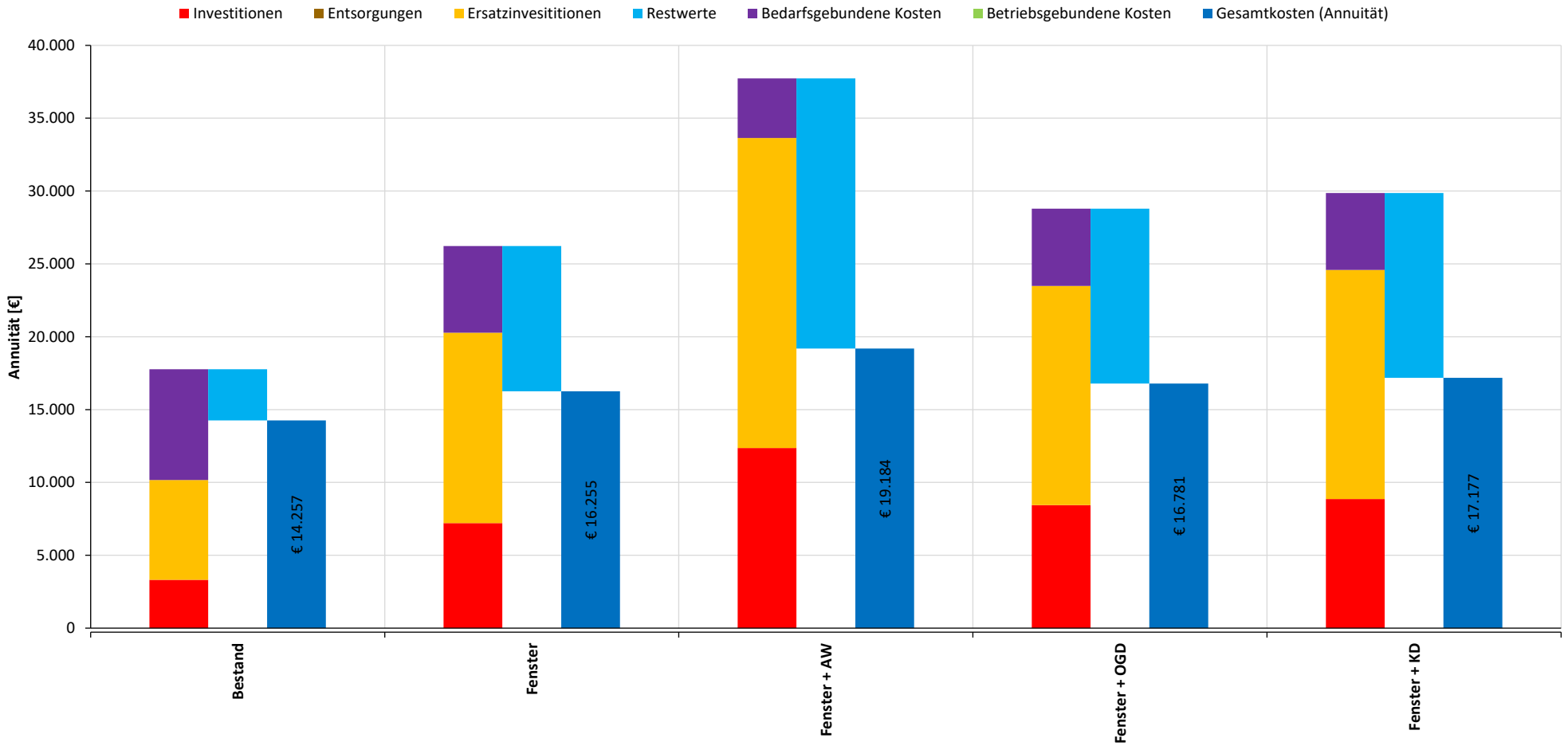
Bedarfsgebundene Kosten – Energiebedarf und Energiepreis

		Bestand	Fenster	Fenster + AW	Fenster + OGD	Fenster + KD
	Energieträger	Energiebedarf kWh	Energiebedarf kWh	Energiebedarf kWh	Energiebedarf kWh	Energiebedarf kWh
Raumheizung Wärmepumpe	**Wärmepumpenstrom**	15.651	12.121	8.179	10.745	10.694
Raumheizung Hilfsenergie	**Strom**	742	715	655	695	694
		16.393 kWh	**12.836 kWh**	**8.834 kWh**	**11.440 kWh**	**11.388 kWh**

- Energiepreis Strom Wärmepumpe = 25 ct./kWh

WIRTSCHAFTLICHKEIT

Annuität



HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Optimierungspotential Haustechnik

Co-funded by the European Union

- Berechnung Heizlast pro Raum
- Berechnung Wärmeleistung Heizkörper pro Raum mit gewünschter Vor- und Rücklauftemperatur
- **Ziel:** Wärmeleistung Heizkörper ≥ Heizlast
- **Stellschrauben**
  - Geringere Heizlast
    - Geringere Wärmeverluste durch Sanierungsmaßnahmen
    - Geringere Innentemperatur
    - Geringerer Luftwechsel
  - Höhere Wärmeleistung Heizkörper
    - Größere Heizkörper
    - Höhere Vor- und Rücklauftemperatur

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

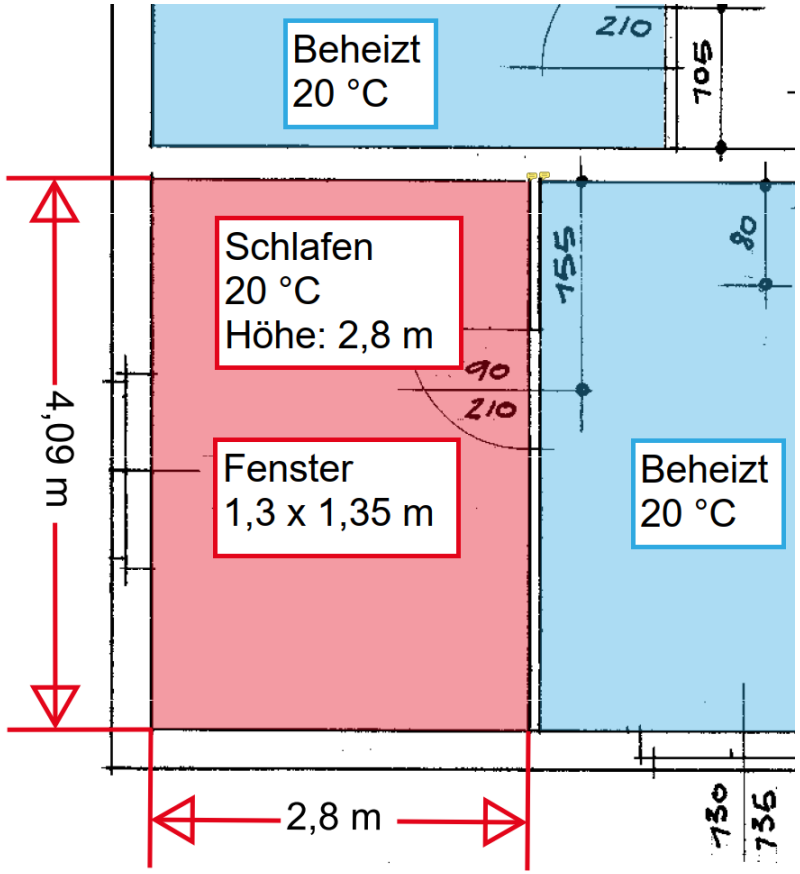
Berechnung Heizlast und Wärmeleistung Heizkörper

- https://www.energieinstitut.at/tools/heizleistungsrechner/

Co-funded by the European Union

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Bestand

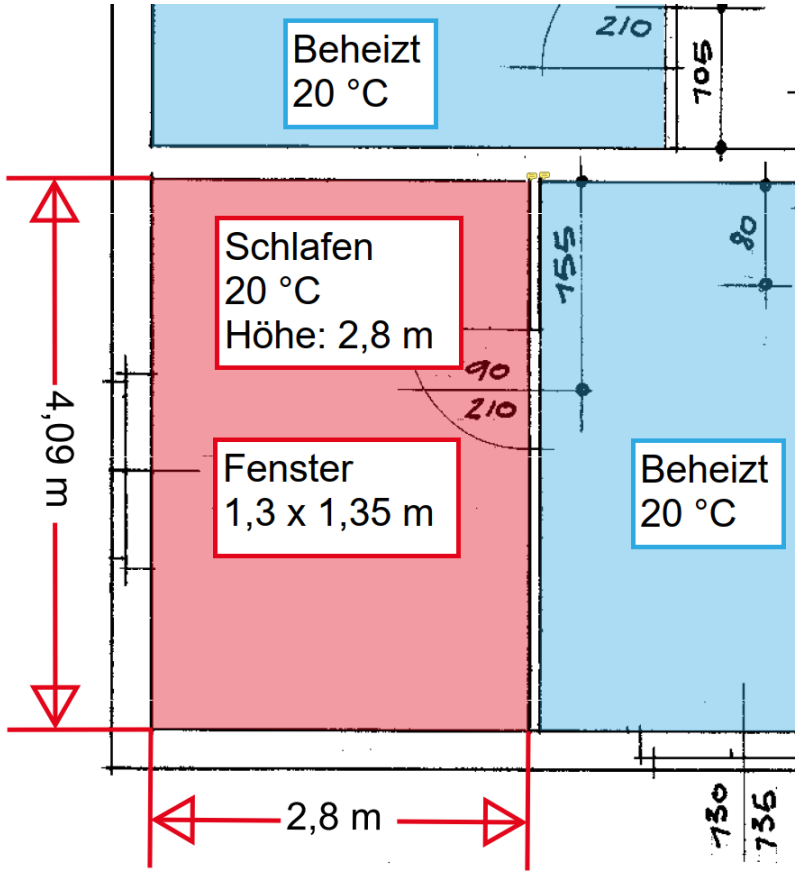


Unten: Unbeheizt (Keller) = 6,9 °C
Oben: Unbeheizt (Top 4) = 14,2 °C

- Baujahr: Vor 1990
- Standort: Vorarlberg, Lochau, 415 m
- Mindest-Luftwechsel = 0,5 1/h
- Luftdichtheit = dicht
- Lage = moderate Abschirmung (1,5 m)
- U-Werte
  - Außenwand (39 cm Stärke) = 0,40 W/(m²K)
  - Fenster = 2,23 W/(m²K)
  - Kellerdecke = 0,50 W/(m²K)
  - Zwischendecke = 1,47 W/(m²K)
- Heizkörper (unter Fenster)
  - Systemtemperatur = 55/45 °C und 45/35 °C
  - Profiliert, Typ 22, 600 mm Höhe x 1200 mm Breite

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Bestand

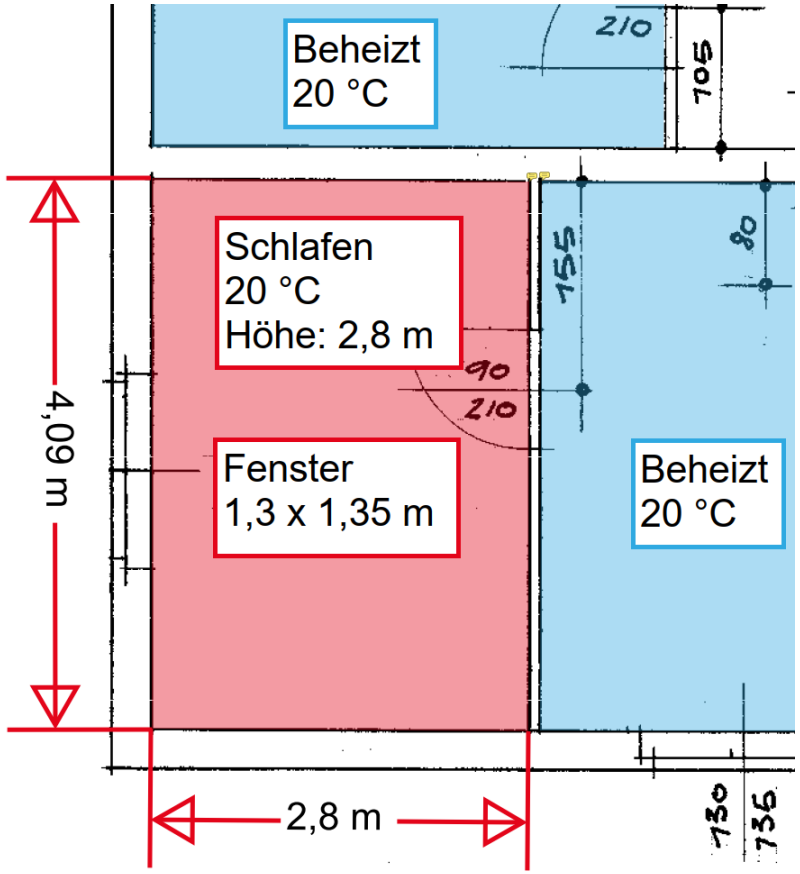


Unten: Unbeheizt (Keller) = 6,9 °C
Oben: Unbeheizt (Top 4) = 14,2 °C

- **Heizlast = 780 W**
  - Transmissionswärmeverluste = 615 W
  - Lüftungswärmeverluste = 165 W
- **55/45 °C:** Wärmeleistung Heizkörper = 1.038 W
  - **Wärmeleistung Heizkörper > Heizlast**
- **45/35 °C:** Wärmeleistung Heizkörper = 603 W
  - **Wärmeleistung Heizkörper < Heizlast**

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Gesamtsanierung

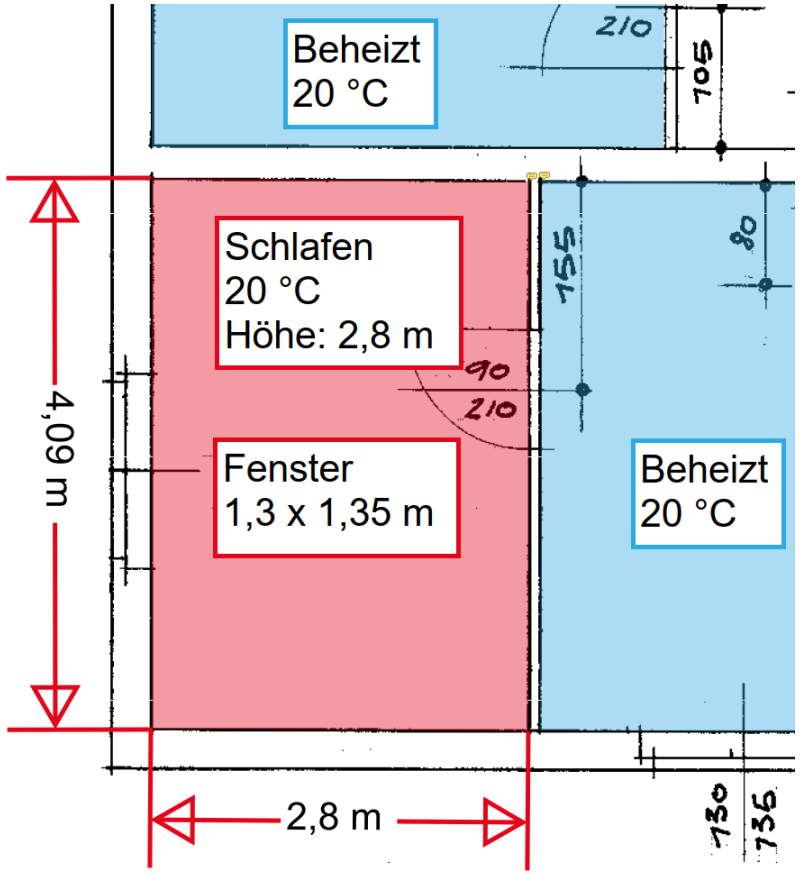


Unten: Unbeheizt (Keller) = 6,9 °C
Oben: Unbeheizt (Top 4) = 14,2 °C

- Baujahr: Nach 1990
- Luftdichtheit = sehr dicht
- U-Werte
  - Außenwand (55 cm Stärke) = 0,13 W/(m²K) **-68%**
  - Fenster = 0,89 W/(m²K) **-60%**
  - Kellerdecke = 0,19 W/(m²K) **-62%**
  - Zwischendecke = 1,47 W/(m²K)

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Gesamtsanierung



Unten: Unbeheizt (Keller) = 6,9 °C
Oben: Unbeheizt (Top 4) = 14,2 °C

- **Heizlast = 464 W** **-40%**
  - Transmissionswärmeverluste = 299 W **-51%**
  - Lüftungswärmeverluste = 165 W
- **45/35 °C:** Wärmeleistung Heizkörper = 603 W
  - **Wärmeleistung Heizkörper > Heizlast**

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

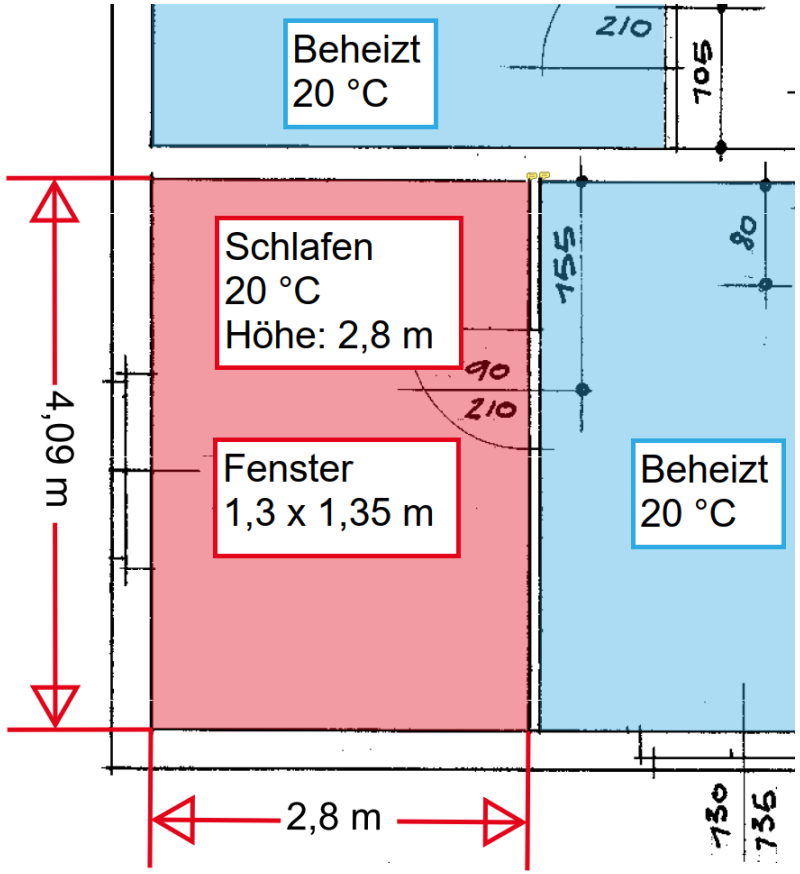
Temperatur angrenzende Wohnungen = 14,2 °C

Co-funded by the European Union

- Dimensionierung Heizkörper
  - **Sinnvoll**, da angrenzende Wohnungen unbeheizt sein könnten
  - Haustechniksystem sollte für eine solche Situation dimensioniert sein!
- Optimierter Normalbetrieb
  - **Nicht sinnvoll**, da Optimierungspotential eingeschränkt
  - Komplette thermische Sanierung: Großteil der Wärmeverluste dann zu angrenzender Wohnung
  - **Lösung:** Angepasste Heizlast mit tatsächlichen Temperaturen der angrenzenden Wohnungen

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Bestand – Temperatur angrenzende Wohnung = 20 °C



Unten: Unbeheizt (Keller) = 6,9 °C
Oben: Beheizt (Top 4) = 20 °C

- **Heizlast = 672 W**
  - Transmissionswärmeverluste = 507 W
  - Lüftungswärmeverluste = 165 W
- **47/37 °C:** Wärmeleistung Heizkörper = 686 W
  - **Wärmeleistung Heizkörper > Heizlast**

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

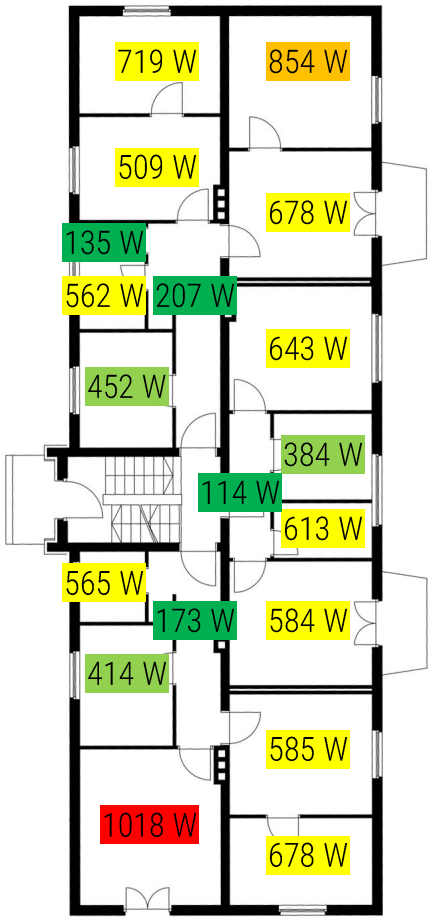
Raumweise Heizlast

Co-funded by the European Union

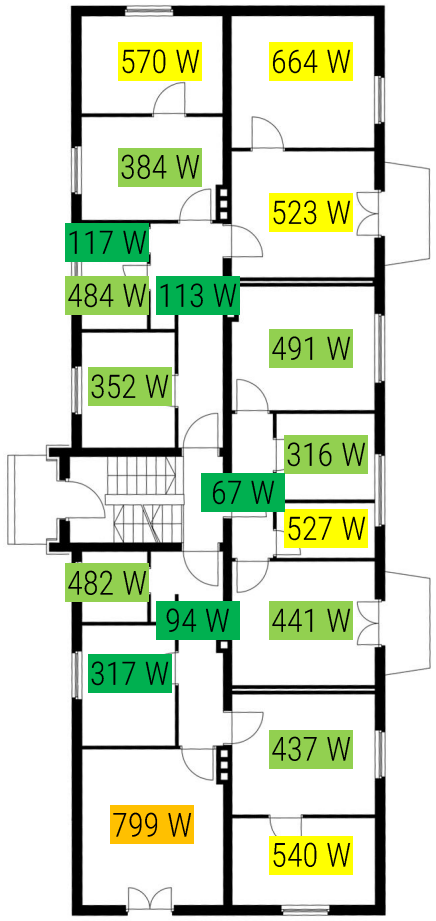
- Nach **ÖNORM H 7500-1** (nationale Ergänzung zur EN 12831)
- **Normaußentemperatur θ_e = -10,2 °C**
- Jahresmitteltemperatur $\theta_{m,e}$ = 8,3 °C
- **Innentemperatur θ_i**
  - Wohn- und Schlafräume, Küchen = 20 °C
  - Bäder = 24 °C
  - WC und Flure (innerhalb der Wohnung) = 20 °C
  - Stiegenhaus = 15 °C
- **Temperatur angrenzende Wohnungen**
  - Norm-Heizlast: angrenzende Wohnungen sind unbeheizt
    - Temperatur = $(\theta_{m,e} + \theta_i) / 2$ (14,2 °C bis 16,2 °C) → Optimierung eingeschränkt
  - **Angepasste Heizlast:** angrenzende Wohnungen sind beheizt
    - Temperatur nach Raumart (20 °C bis 24 °C)

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

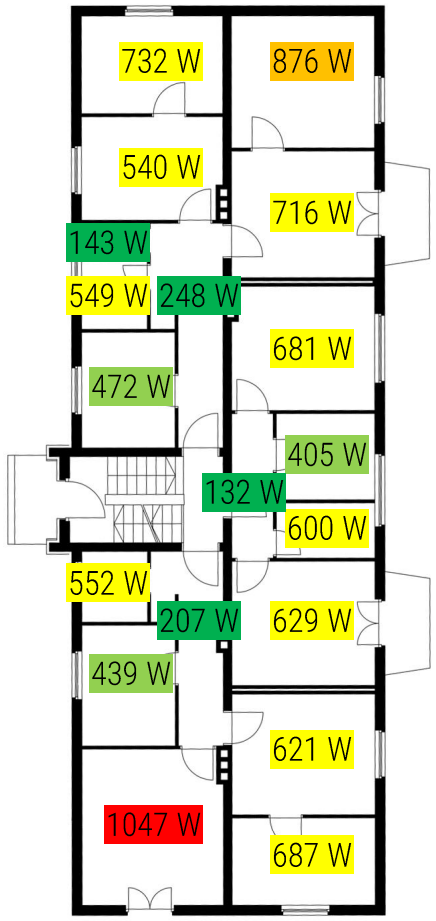
Bestand – Raumweise Heizlast (angepasst)



EG



OG1



OG2

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Berechnung notwendige Vorlauftemperatur

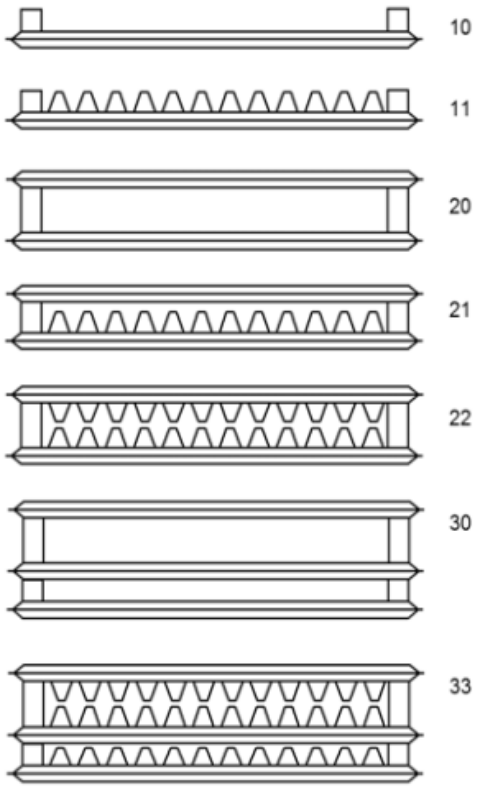
- $\dot{Q}_{Betrieb} = \dot{Q}_{Norm} \times \left[\frac{\frac{t_{V,Betrieb} - t_{R,Betrieb}}{\ln\left(\frac{t_{V,Betrieb} - t_{L,Betrieb}}{t_{R,Betrieb} - t_{L,Betrieb}}\right)}}{\frac{75\,°C - 65\,°C}{\ln\left(\frac{75\,°C - 20\,°C}{65\,°C - 20\,°C}\right)}} \right]^{n}$
- $\dot{Q}_{Norm}$ = Normwärmeleistung Heizkörper lt. Tabelle
- n = Heizkörperexponent lt. Tabelle
- $\dot{Q}_{Betrieb}$ = Wärmeleistung Heizkörper im Betrieb ≅ raumweise Heizlast
- $\dot{Q}_{Betrieb} = \dot{Q}_{Norm} \times \left[\frac{\Delta t_{ln,Betrieb}}{49{,}8\ K} \right]^{n}$
- $\Delta t_{ln,Betrieb} = 49{,}8\ K \times \sqrt[n]{\frac{\dot{Q}_{Betrieb}}{\dot{Q}_{Norm}}}$

Quelle: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 78. Auflage, 2.2.2-1.5 Umrechnung der Heizkörpernormleistung

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Berechnung notwendige Vorlauftemperatur

Typ [-]	Höhe [mm]	Breite [mm]	Normwärmeleistung (75/65/20 °C) [W]	Heizkörperexponent [-]
22	600	400	678	1,30
22	600	1.200	2.033	1,30
22	600	1.400	2.372	1,30
22	600	1.600	2.710	1,30
22	600	1.800	3.049	1,30
22	600	2.000	3.388	1,30
22	600	2.200	3.727	1,30
22	900	600	1.413	1,32
22	1400	600	1.844	1,37
22	1800	600	2.228	1,34
22	1800	800	2.980	1,33
22	2000	800	3.180	1,34
22	2200	800	3.418	1,35



Quelle: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 78. Auflage, 2.2.2-2 Freie Heizflächen

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

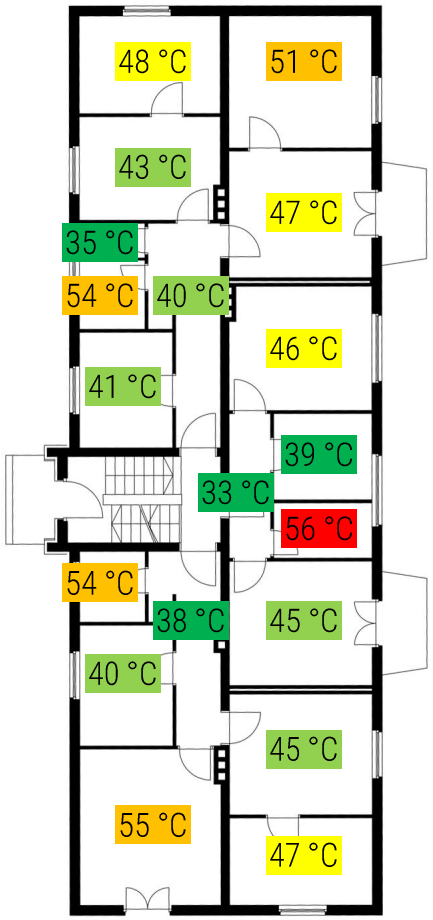
Berechnung notwendige Vorlauftemperatur

- $\Delta t_{ln,Betrieb} = \frac{t_{V,Betrieb} - t_{R,Betrieb}}{\ln\left(\frac{t_{V,Betrieb} - t_{L,Betrieb}}{t_{R,Betrieb} - t_{L,Betrieb}}\right)}$
- $t_{V,Betrieb}$ = Vorlauftemperatur
- $t_{R,Betrieb}$ = Rücklauftemperatur
- $t_{L,Betrieb}$ = gewünschte Innentemperatur (20 °C bis 24 °C)
- Annahme Spreizung: $t_{V,Betrieb} - t_{R,Betrieb} = 10\ K$
- $t_{V,Betrieb} = \frac{t_{L,Betrieb} - (10\ K + t_{L,Betrieb}) \times e^{\left(\frac{10\ K}{\Delta t_{ln,Betrieb}}\right)}}{1 - e^{\left(\frac{10\ K}{\Delta t_{ln,Betrieb}}\right)}}$

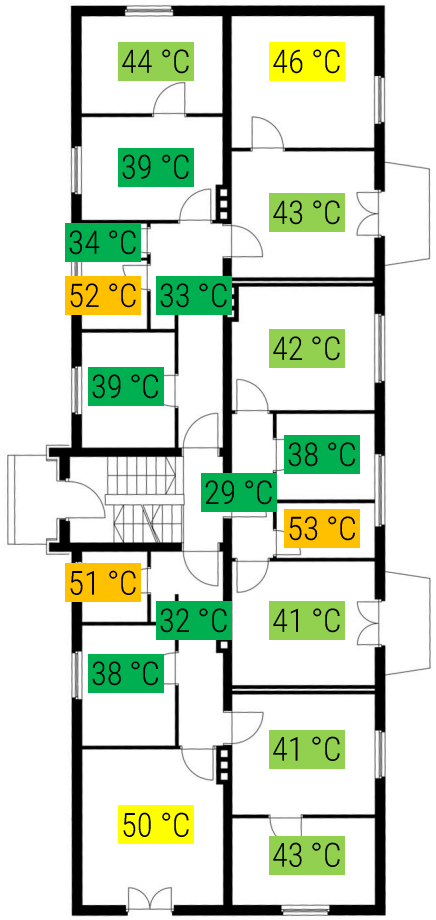
Quelle: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 78. Auflage, 2.2.2-1.5 Umrechnung der Heizkörpernormleistung

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

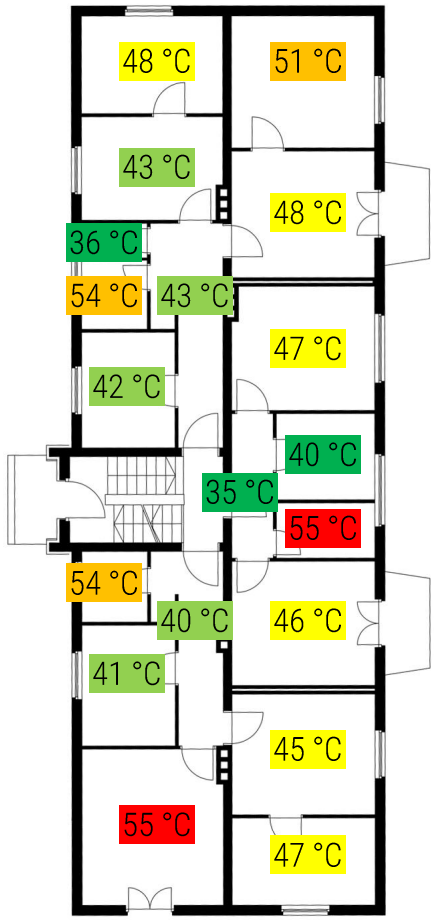
Bestand – Notwendige Vorlauftemperatur



EG



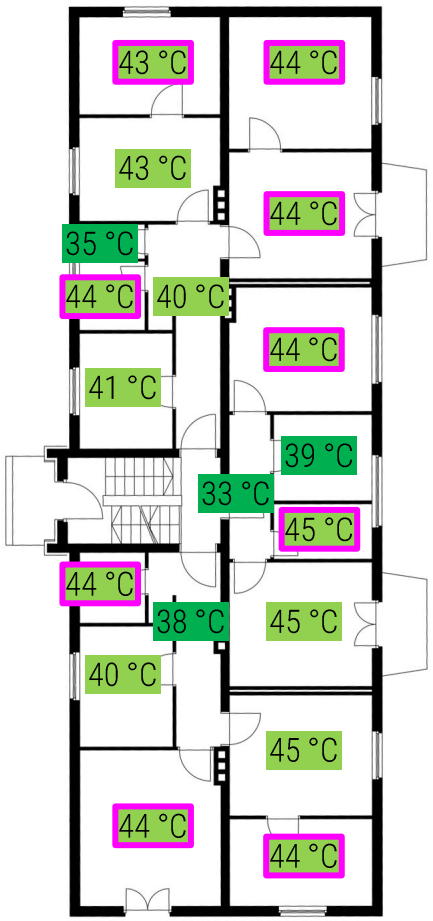
OG1



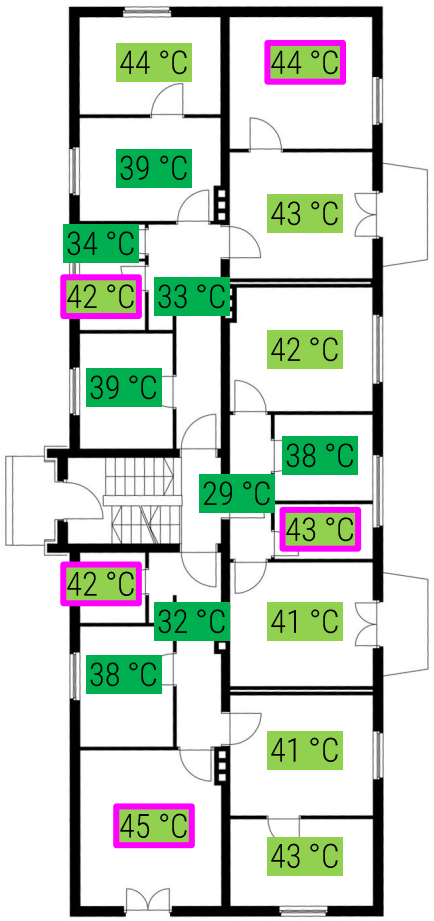
OG2

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

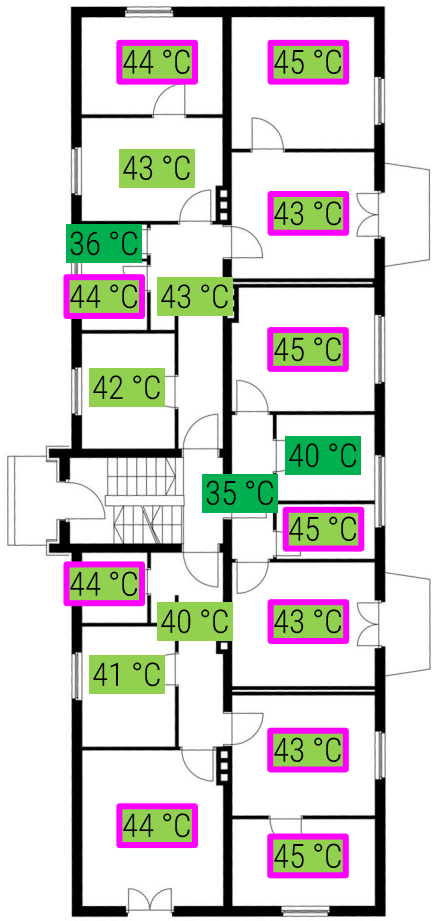
Bestand – Heizkörpertausch für max. 45 °C Vorlauftemperatur



EG



OG1



OG2

25 Heizkörper

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

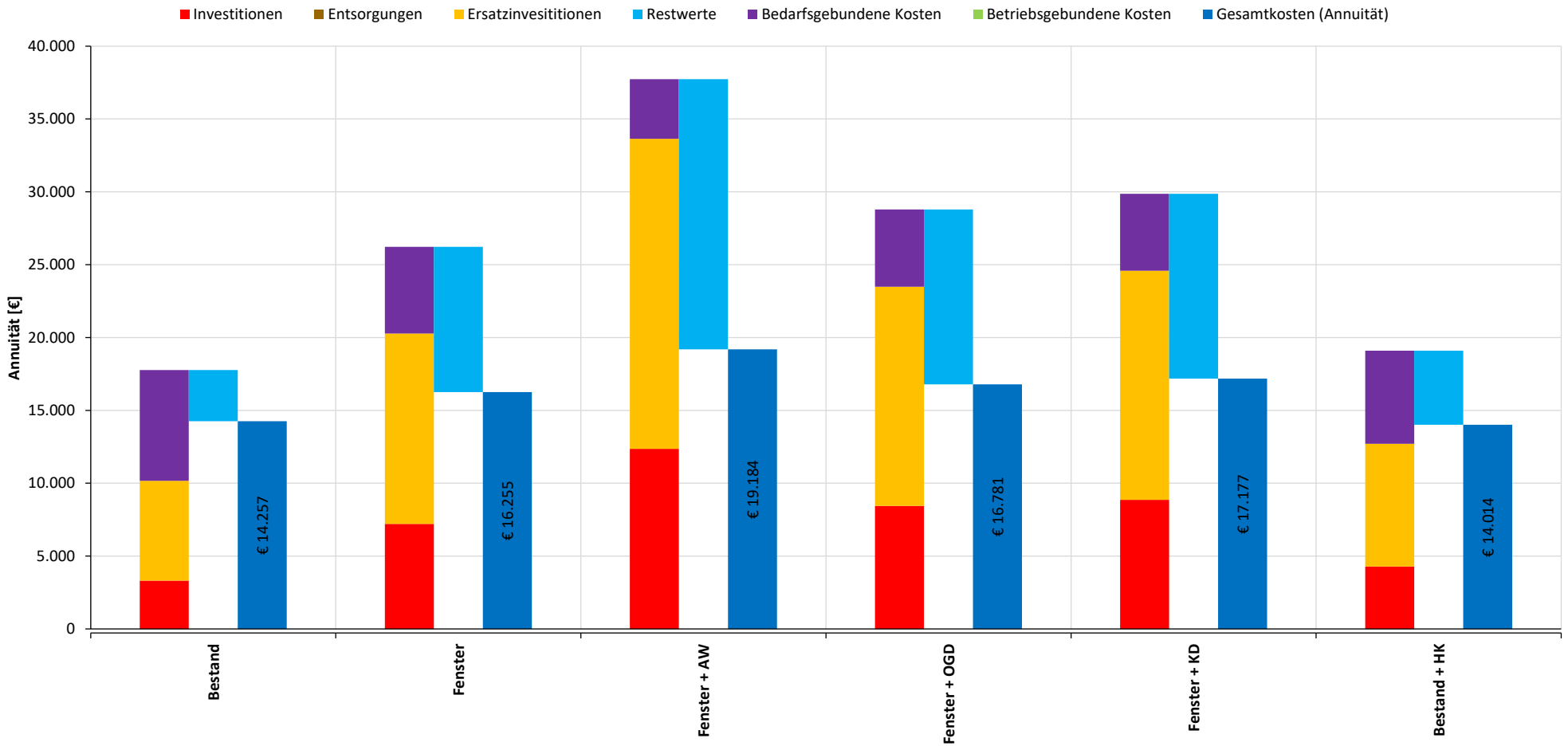
Wirtschaftlichkeit

Co-funded by the European Union

- Kapitalgebundene Kosten
  - Investitionskosten Heizkörper = 25 Heizkörper x 1.100 € = 27.500 €
  - Nutzungsdauer Heizkörper = 50 Jahre
- Bedarfsgebundene Kosten
  - Energiebedarf = 13.776 kWh

HEIZLAST UND VORLAUFTEMPERATUR

Annuität



ÜBUNG

- Finden Sie (wenn gewünscht in Zweier-/Kleingruppen) heraus:
  - Welches ist die wirtschaftlichste Variante (Investition/Lebenszyklus)?
  - Welche Variante hat den geringsten Strombedarf?
  - Welche Variante würden Sie wählen und warum?

- Übungstool online abrufbar
  - QR Code mit Smartphone scannen
  - https://www.energieinstitut.at/pdfviewer/variantenwahl/variantenwahl.html
  - (optional Link mit Smartphone an Laptop senden)



ZUSAMMENFASSUNG

- Wärmepumpen in der Sanierung von MWH funktionieren und können sehr niedrige Verbräuche erzielen
- Gute Planung und Grundlagen sind das A und O
- Hüllsanierung und Fenstertausch als Option mitbetrachten und Bauherrn vorschlagen
- Thermische Sanierungsmaßnahmen reduzieren Heizwärmebedarf, Heizlast und max. notwendige Vorlauftemperatur

ZUSAMMENFASSUNG

- Deutliche Senkung der max. notwendigen Vorlauftemperatur nur durch gezielten Heizkörpertausch (56 °C → 45 °C)
  - Effizienterer Betrieb der Wärmepumpe → geringerer Strombedarf für Heizung
  - Thermische Sanierungsmaßnahmen reduzieren Anzahl der getauschten Heizkörper (25 Stk. → 9 Stk.)
- Heizkörpertausch ist wirtschaftlich

Weitere Informationen zum Projekt unter

www.knowhowhp.eu

Tobias Hatt
Energieinstitut Vorarlberg
tobias.hatt@energieinstitut.at

Co-funded by the European Union

Disclaimer:
Co-funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or CINEA. Neither the European Union nor the granting authority can be held responsible for them.

CONSORTIUM

COORDINATOR:

Energieinstitut Vorarlberg

PARTNERS:

Rosenheim Technical University of Applied Sciences

universität innsbruck

eza! Energie- und Umweltzentrum Allgäu

RENOWAVE.AT

Fraunhofer ITALIA

KlimaHaus CasaClima®