

Energie-Sanierungsdokumentation
Doppelpuffer, WRG, Regelung, Förderung

Projekt: Reihemittelhaus Baujahr 1972

27. Oktober 2025

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungen	4
2	Projektüberblick	5
3	Projektüberblick	6
3.1	Schlüsselentscheidungen	6
3.2	Zielwerte	6
3.3	Erwartete Wirkungen (grobe Ordnung)	7
3.4	Randbedingungen	7
4	Verbrauch und Kosten (2021–2023)	8
4.1	Kennzahlen	8
4.2	Strom (Näherung)	8
4.3	Quellen	8
4.4	Hinweise	8
5	Entwurfsarchitektur — Doppelpuffer	9
6	Entwurfsarchitektur — Doppelpuffer	10
6.1	Einlinienschema (ASCII)	10
6.2	Betriebsarten	11
6.3	Sollwerte, Grenzen, Sensorik	11
6.4	Dimensionierung (Richtwerte)	11
6.5	Sicherheit und Wasserqualität	12
6.6	Regelungszuordnung	12
7	Trinkwarmwasser (TWW)	13
8	Trinkwarmwasser (TWW) — FriWa + TWW-Heizspeicher	14
8.1	Begründung	14
8.2	Hydraulik	14
8.3	Regelung/Sollwerte	14
8.4	Dimensionierung/Leistung	14
8.5	Wasserqualität/Wartung	15
8.6	Inbetriebnahme-Checks	15
9	Lüftung — Dezentrale Einzelraum-WRG	16
10	Lüftung — Dezentrale Einzelraum-WRG (DIN 1946-6)	17
10.1	Prinzipien	17
10.2	Gerätetypen	17
10.3	Platzierung/Luftwege	17

10.4 Steuerung	17
10.5 Einbau/Inbetriebnahme	18
10.6 Zusammenspiel mit hydronischem Kühlen	18
11 Gebäudehülle, Luftdichtheit, Wärmebrücken	19
12 Gebäudehülle, Luftdichtheit, Wärmebrücken	20
12.1 Zielwerte (EH85-nah)	20
12.2 Maßnahmen	20
12.3 Offenes Kellertreppenhaus	20
12.4 Loggia (innenliegender Balkon)	20
12.5 Offener Eingang/überdeckter Vorbereich	21
12.6 Verifikation	21
13 Regelung, Sensorik, Monitoring	22
14 Regelung, Sensorik, Monitoring	23
14.1 Sicherheit/Primärregelung (hart)	23
14.2 Sensorik/Messtechnik	23
14.3 Orchestrierung (HA o. ä.)	23
14.4 Beispiel Taupunktlogik	23
14.5 Elektro/Resilienz	24
15 Förderung, Konformität, Dokumentation	25
16 Förderung, Konformität, Dokumentation	26
16.1 Primär — KfW 261 (Wohngebäude – Kredit)	26
16.2 Ergänzend — Einzelmaßnahmen (BAFA/BEG)	26
16.3 Weitere Finanzierung	26
16.4 Prozess/Timing	26
16.5 Nachweise/Doku	26
16.6 Hinweise	27
17 Inbetriebnahme und Abnahme	28
18 Inbetriebnahme und Abnahme	29
18.1 Vor-Inbetriebnahme	29
18.2 Regelung/Sensorik prüfen	29
18.3 Funktionstests	29
18.4 Hydraulischer Abgleich	30
18.5 Lüftung (Dezentrale WRG)	30
18.6 Abnahmedokumente	30
19 Projektphasen und Reihenfolge	31
20 Projektphasen und Reihenfolge	32
20.1 Phasen	32
21 Stückliste	33

22 Stückliste (Spezifikationsklassen)	34
22.1 Erzeugung/Speicher	34
22.2 Hydraulische Peripherie	34
22.3 Verteilung	34
22.4 Lüftung (dezentral)	34
22.5 Regelung/Sensorik/Elektro	35
22.6 Wasseraufbereitung/Service	35
23 Risiken und Gegenmaßnahmen	36
24 Risiken und Gegenmaßnahmen	37
24.1 Hydronisches Kühlen/Kondensation	37
24.2 Systemkomplexität	37
24.3 Schall (Reihenhaus)	37
24.4 Wärmebrücken (Loggia, Eingang)	37
24.5 Wasserqualität/Verkalkung	37
24.6 Förderung/Timing	37
24.7 Sicherheit (Ofen)	38
25 Offene Entscheidungen	39
26 Offene Entscheidungen und Optionen	40
26.1 TWW und Speicher	40
26.2 Entkopplung und Medien	40
26.3 Loggia/Eingang	40
26.4 WRG-Geräte	40
26.5 Wärmepumpe	40
26.6 Monitoring/Daten	41
27 Hydraulikschema — Tags und I/O	42
28 Hydraulikschema — Kennzeichnung und I/O-Plan	43
28.1 Tag-Konvention	43
28.2 Komponenten/Tags	43
28.3 Raum-Sensorik	43
28.4 Elektro/Zähler	44
28.5 I/O-Plan (Beispiel)	44
28.6 Beschriftung/Doku	44
29 Betriebsleitfaden	45
30 Betriebsleitfaden — Alltag und Saisontipps	46
30.1 Alltag	46
30.2 Winter (Heizen)	46
30.3 Sommer (Kühlen)	46
30.4 Übergangszeit	46
30.5 Wartung	46
30.6 Störungshilfen	47
31 Kosten — Größenordnungen	48

32 Kosten — Größenordnungen	49
32.1 Hülle	49
32.2 Erzeugung/Speicher/Verteilung	49
32.3 Lüftung, PV, Elektro	49
32.4 Nebenkosten	49
32.5 Summen (grob)	50

Kapitel 1

Abkürzungen

- L/W-WP — Luft-Wasser-Wärmepumpe
- WP — Wärmepumpe
- TWW — Trinkwarmwasser
- FriWa — Frischwasserstation (Durchlauf-TWW über Plattenwärmetauscher)
- UFH — Fußbodenheizung
- WRG — Wärmerückgewinnung
- PHE/PWT — Plattenwärmetauscher
- PV — Photovoltaik
- HA — Home Assistant (Open-Source-Automation)
- COP — Leistungszahl (Coefficient of Performance)
- SoC — Ladezustand (Batterie)
- SPD — Überspannungsschutzgerät (Surge Protective Device)
- MAG — Membran-Ausdehnungsgefäß
- RLA — Rücklaufanhebung (z. B. ≥ 60 °C)
- TAS — Thermische Ablaufsicherung
- VDI — Verein Deutscher Ingenieure
- DIN — Deutsches Institut für Normung
- EN — Europäische Norm
- KfW — Kreditanstalt für Wiederaufbau
- BAFA — Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
- BEG — Bundesförderung für effiziente Gebäude
- iSFP — individueller Sanierungsfahrplan
- BzA — Bestätigung zum Antrag
- BnD — Bestätigung nach Durchführung
- WMZ — Wärmemengenzähler
- RCD — Fehlerstromschutzschalter
- LS — Leitungsschutzschalter (MCB)
- ATS — Automatischer Netzumschalter (Automatic Transfer Switch)

Kapitel 2

Projektüberblick

Kapitel 3

Projektüberblick

- Gebäude: Reihennittelhaus (113 m²), Baujahr 1972, EG + DG + Keller.
- Belegung: 3 Personen.
- Energie (2023):
- Raumwärme: 9.824 kWh/a (87 kWh/m²·a), Fernwärme.
- TWW-Volumen: 16,86 m³ (≈ 881 kWh/a thermisch, $\Delta T \approx 45$ K).
- Strom: 2.671 kWh/a.
- Ziele:
- Effizienzhaus 85 + Erneuerbare-Energien-Klasse (≥ 65 - Hohen PV-Eigenverbrauch, Resilienz durch Batteriespeicher und Unterverteilung für wichtige Stromkreise.
- Einfache, effiziente Bedienung, sichere Regelung, saubere Inbetriebnahme.
- Sanftes hydronisches Kühlen ohne Klimageräte (UFH + Taupunkt-Schutz).

3.1 Schlüsselentscheidungen

- Doppelpuffer-System:
- TWW-Heizspeicher (200–300 L) ganzjährig heiß (55–60 °C), speist FriWa (kein Trinkwasserspeicher).
- Heiz-/Kühlspeicher (800–1.000 L) im Winter warm, im Sommer kalt (Ziel 16–18 °C für Nachtladung).
- Wärmeerzeuger: Reversible Luft-Wasser-Wärmepumpe (L/W-WP, R290), monovalent nach Heizlast; wasserführender Holzofen als Komfort/Backup.
- Verteilung: Wassergeführte Fußbodenheizung (UFH) in Hauptzonen; keine Gebläsekonvektoren, keine AC.
- Lüftung: Dezentrale Einzelraumgeräte (6–8 Stück) gemäß DIN 1946-6.
- Steuerung: Harte Sicherheits-/Regeltechnik + Taupunktlogik; Home Assistant (HA) zur PV-Orchestrierung/Monitoring.

3.2 Zielwerte

- Hülle (typisch EH85):
- Kellerdecke $U \leq 0,25$ W/(m²·K)
- Dach/Oberste Decke $U \leq 0,14$ W/(m²·K)
- Fenster $U_w \leq 0,90$ W/(m²·K)
- Luftdichtheit $n_{50} \leq 1,5$ h⁻¹ (Blower-Door vorher/nachher)
- Hydronik:
- Heizen: Auslegung $VL \leq 35$ °C; lange Verdichterlaufzeiten.
- Kühlen: $VL \geq$ Taupunkt + 2 K, typ. 19–21 °C.

- UFH-Kühlleistung: 10–25 W/m² (\approx 1,1–2,8 kW gesamt).

3.3 Erwartete Wirkungen (grobe Ordnung)

- Hülle + Wärmebrücken: 25–40 - PV 5,8–8 kWp: 5,5–8,5 MWh/a; mit 10 kWh Speicher
- 50–70 - Hydronisches Kühlen: angenehme Grundkühlung; Feuchte über Lüftung/Taupunktlogik geführt (bei Extremwetter ggf. mobiler Entfeuchter).

3.4 Randbedingungen

- Offenes Kellertreppenhaus: Luftdichte, transparente Abtrennung + Kellerdeckendämmung.
- Loggia/Eingangsbereich: ausgeprägte Wärmebrücken; Optionen siehe 05*envelope–airtightness.md*. Keine zentrale EinzelraumgerätemitakustischerundströmungstechnischerPlanung.

Kapitel 4

Verbrauch und Kosten (2021–2023)

Konzentriert auf Mengen und Kosten aus den Fernwärme-Rechnungen (Quellen siehe unten).

4.1 Kennzahlen

- 2021
 - Raumwärme: 14.542 kWh — 2.158,76 EUR
 - TWW: 37,86 m³ — 341,11 EUR
 - Summe (Wärme + TWW): 2.499,88 EUR
- 2022
 - Raumwärme: 10.898 kWh — 1.917,08 EUR
 - TWW: 23,00 m³ — 232,04 EUR
 - Summe (Wärme + TWW): 2.149,12 EUR
- 2023
 - Raumwärme: 9.824 kWh — 3.197,43 EUR
 - TWW: 16,86 m³ — 445,41 EUR
 - Summe (Wärme + TWW): 3.642,84 EUR
 - CO2-Info (aus Rechnung): Faktor 0,251 kg CO₂/kWh; Emissionen 2.961 kg; CO₂-Kosten 95,04 EUR

4.2 Quellen

- 2021: `infosAndStuff/2021_10000027695_818349.pdf`
- 2022: `infosAndStuff/2022_10000027695_818349.pdf`
- 2023: `infosAndStuff/2023_10000027695_818349.pdf`

Kapitel 5

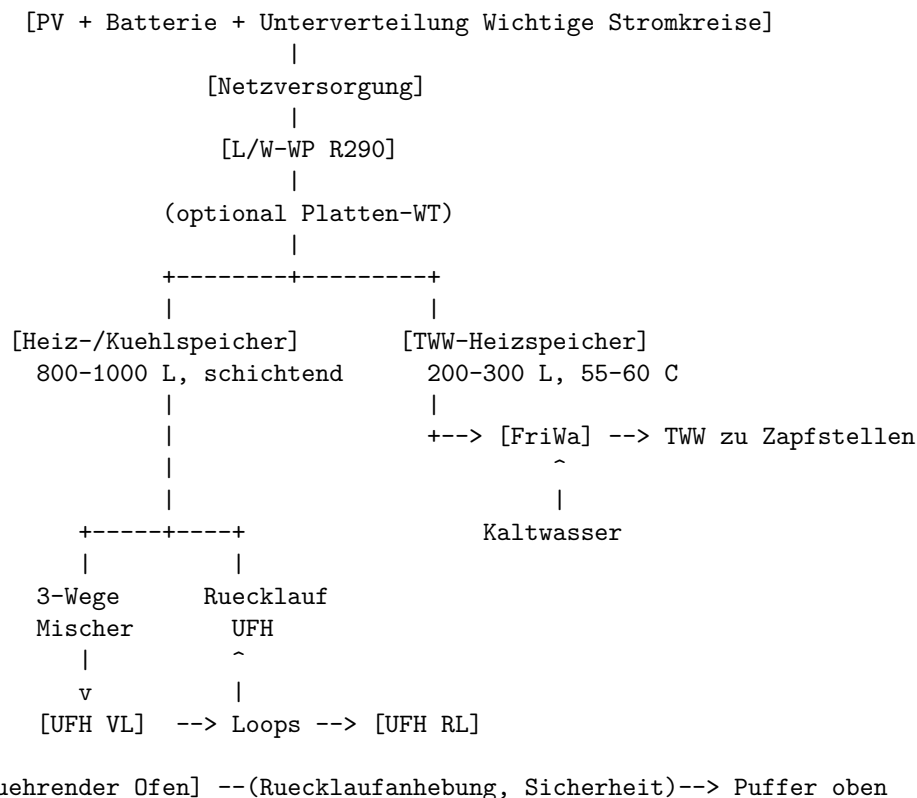
Entwurfsarchitektur — Doppelpuffer

Kapitel 6

Entwurfsarchitektur — Doppelpuffer

Hydraulisches Konzept mit zwei Speichern: ein separater, ganzjährig heißer TWW-Heizspeicher (speist eine Frischwasserstation, FriWa) sowie ein Heiz-/Kühlspeicher, der im Winter warm und im Sommer kalt betrieben wird. Keine Klimageräte oder Fan-Coils; Kühlung über UFH mit Taupunkt-Schutz.

6.1 Einlinienschema (ASCII)



Hinweise: - Der TWW-Heizspeicher enthält Heizungswasser (kein Trinkwasser). Die FriWa erwärmt Trinkwasser im Durchlauf über einen Plattenwärmetauscher. - Der Heiz-/Kühlspeicher dient als hydraulische Weiche und Energiespeicher. Im Sommer nachts kühlen, tagsüber nutzen. - Optionaler Plattenwärmetauscher (PHE) zwischen WP und Hauskreis ermöglicht Glykol auf WP-Seite und schützt die Wasserqualität.

6.2 Betriebsarten

- Winter
- Wettergeführter Betrieb; WP belädt den Heiz-/Kühlspeicher (Mitte) für den Heizbetrieb; Auslegung $VL \leq 35\text{ °C}$.
- Mittags (PV-Fenster) hat TWW Priorität: TWW-Speicher auf 55–60 °C laden, danach Rückkehr zum Heizen.
- Ofen lädt Puffer oben (Rücklaufanhebung $\geq 60\text{ °C}$); thermische Ablaufsicherung und Notkühlung gemäß EN 303-5.
- HA orchestriert Prioritäten/Meldungen; Sicherheits- und Grenzwerte sind hart verdrahtet.
- Sommer
- Nacht: WP kühlt den Heiz-/Kühlspeicher auf 16–18 °C.
- Tag: UFH-Vorlauf wird auf $\geq (\text{Taupunkt} + 2\text{ K})$ begrenzt, typ. 19–21 °C (Kondensationschutz).
- TWW-Speicher bleibt ganzjährig heiß; mittags per PV laden.
- Übergangszeit
- Minimale Puffersollwerte; TWW mittags; Nachtkühlung bei Hitzeperioden.

6.3 Sollwerte, Grenzen, Sensorik

- TWW-Heizspeicher: 55–60 °C; Verbrühschutz an Entnahmestellen.
- Heiz-/Kühlspeicher Winter: so, dass $VL \leq 35\text{ °C}$ erreicht wird.
- Heiz-/Kühlspeicher Sommer: Nachtziel 16–18 °C.
- UFH im Kühlbetrieb: $\geq (\text{Taupunkt} + 2\text{ K})$. Beispiel: 26 °C/60 - Sensorik (Minimum):
- Speicher oben/Mitte/unten (beide Speicher)
- UFH: VL/RL; optional Oberflächensensor am Verteiler
- Raumklima: mind. ein T/r.F.-Sensor pro Etage (Taupunkt)
- Wärmemengen: WP→Puffer, ggf. FriWa-Primär

6.4 Dimensionierung (Richtwerte)

- WP: nach EN 12831; typisch 4–6 kW @ -10 °C; Gerät 6–10 kW Klasse mit guter Modulation/Leisebetrieb.
- Heiz-/Kühlspeicher: 800–1000 L, 100–150 mm Dämmung, geringe Δp -Anschlüsse, 3 Tauchhülsen.
- TWW-Heizspeicher: 200–300 L, 3 Tauchhülsen, 55–60 °C.
- FriWa: 25–35 kW Platten-WT-Modul mit variabler Primärpumpe, Durchflusssensor, elektronischer Auslauftemperaturregelung; Trinkwasserseite mit Filter/Service.
- Ventile/Pumpen: Hocheffizienzpumpen; 3-Wege-Mischer (UFH) mit fester Taupunkt-Begrenzung; motorische Absperrungen für Sommer/Winter; Rückflussverhinderer, Strangregulierungen.
- Optionaler PHE: auf volle Leistung mit kleinem Annäherungs- ΔT ; Glykol WP-seitig; Luft/Schlammabscheider.
- Ausdehnungsgefäße: auf Gesamtvolumen ausgelegt (Speicher + Rohrnetz + Heizflächen).

6.5 Sicherheit und Wasserqualität

- Ofenkreis: Rücklaufanhebung (RLA, $\geq 60\text{ °C}$), thermische Ablaufsicherung (TAS), schwerkrafttaugliche Notkühlung, ausreichendes Membran-Ausdehnungsgefäß (MAG); EN 303-5.
- System: Sicherheitsventile (i. d. R. 3 bar), Luft/Schlammabscheider, VDI 2035-gerechtes Wasser; warme Leitungen dämmen, kalte diffusionsdicht inkl. Kondensatableitung.
- Elektro: Unterverteilung für wichtige Stromkreise (HP-Freigabe, Pumpen, Regler, Netzwerk, Kühlung, ausgewählte Stromkreise).

6.6 Regelungszuordnung

- Primär/Sicherheit: WP-Regler; Hydraulikregler für Mischer, Pumpen, Temperaturgrenzen, TWW-Priorität; harte Verriegelungen (nicht HA-abhängig).
- Orchestrierung (HA): PV-Zeitfenster (z. B. TWW mittags), Saisonumschaltung, Meldungen (Ofen, Filterservice, r.F./T-Abweichungen), Logging (Puffer, r.F., Energie, COP-Proxy).

Kapitel 7

Trinkwarmwasser (TWW)

Kapitel 8

Trinkwarmwasser (TWW) — FriWa + TWW-Heizspeicher

Separater TWW-Heizspeicher (Heizungswasser) mit 55–60 °C versorgt eine Frischwasserstation (FriWa). Es gibt keinen Trinkwasserspeicher; TWW wird im Durchlauf erwärmt.

8.1 Begründung

- Hygiene: Kein stehendes Trinkwarmwasser → minimiertes Legionellenrisiko; Verbrüh-schutz an Zapfstellen.
- Sommerkompatibilität: TWW-Speicher bleibt heiß, Heiz-/Kühlspeicher kann kalt bleiben (UFH-Kühlung).
- PV-Synergie: TWW-Ladung mittags nutzt PV-Überschuss, reduziert Abendlast.

8.2 Hydraulik

- TWW-Heizspeicher (200–300 L): 55–60 °C ganzjährig; oben/Mitte/unten Sensoren; gute Dämmung.
- FriWa (25–35 kW): Platten-WT, variable Primärpumpe, Durchflusssensor, elektronische Auslauftemperatur; Trinkwasserseite mit Filter/Absperrungen.
- WP-Priorität: Zeitbasiert (mittags) und temperaturgeführt (wenn Speichertemperatur < Soll) zuerst TWW, sonst Heiz-/Kühlspeicher.

8.3 Regelung/Sollwerte

- TWW-Soll: 55–60 °C (Wasserhärte/Komfort beachten). Verbrühsschutzmischer einsetzen.
- PV-Fenster: Bei hohem Ladezustand (SoC) und PV-Überschuss TWW laden; sonst zeitversetzt/off-peak.
- Stillstandsverluste: Speicher gut dämmen; ggf. Nachtabschaltung, wenn Bedarfsmuster es zulässt.

8.4 Dimensionierung/Leistung

- Speicher: 200–300 L für 3 Personen (Duschen, gelegentlich Baden); eher 300 L bei paral-lelen Zapfungen.
- FriWa: 25–35 kW liefern typ. 10–16 L/min bei 40–45 °C (abhängig von Primärtempera-tur/Kennlinien).
- Annäherung ΔT : Primärtemperatur mit Reserve zur Auslauftemperatur; FriWa-Regelung fein abstimmen.

8.5 Wasserqualität/Wartung

- Trinkwasserseite: Filter/Sieb; Inspektion/Entkalkung gemäß Wasserhärte.
- Primärseite: VDI 2035 (Leitfähigkeit/Härte) zum Schutz von WT, Pumpen, Ventilen.
- Service: Absperrungen, Entleerungen, Messstellen vorsehen.

8.6 Inbetriebnahme-Checks

- Stabiler TWW-Auslauf 2–16 L/min ohne Überspringen.
- Verbrühschutz prüfen.
- TWW-Ladezeiten/Temperaturverläufe loggen und PV-Timing verifizieren.

Kapitel 9

Lüftung — Dezentrale Einzelraum-WRG

Kapitel 10

Lüftung — Dezentrale Einzelraum-WRG (DIN 1946-6)

Da keine zentrale Lüftung möglich ist, kommen 6–8 dezentrale Geräte zum Einsatz. Sie stellen den Grundluftwechsel mit Wärmerückgewinnung (WRG) sicher, besitzen Boost-Funktionen und Sommerbypass.

10.1 Prinzipien

- Bilanz/Abdeckung: Kontinuierlicher Grundluftwechsel in Wohn-/Schlafräumen; stärkere Abfuhr/Boost in Feuchträumen.
- Akustik: Leise im Grundbetrieb, Nachtmodus; akustische Einbauteile.
- Einfacher Einbau: Kernbohrung 160–200 mm, leichtes Gefälle nach außen (Kondensat), Filterzugang.

10.2 Gerätetypen

- Doppellüfter-Dauerbetrieb (bevorzugt): gleichzeitige Zu-/Abluft über kleinen Gegenstromkern; stabile Luftbilanz.
- Wechselbetrieb (Paarweise): Keramikspeicher; paarweise Montage zur Bilanzierung.

10.3 Platzierung/Luftwege

- Feuchträume (Bad/WC/Küche): Geräte mit Boost 40–60 m³/h; ggf. Fettfilter.
- Wohn-/Schlafräume: Grundvolumen 15–30 m³/h je Raum; Schlafräume mit Nachtmodus.
- Türunterkanten/Überströmöffnungen; Kurzschlussströmung vermeiden.
- Außenhauben mit Wetterschutz/Insektenschutz; Fassadenakustik beachten.

10.4 Steuerung

- Lokal: Taster für Boost (Bad), automatische Boosts (r.F./CO₂), Nachtmodi.
- Zentrale Übersicht (optional): potentialfreie Kontakte oder Modbus/IP-Gateway zur HA-Integration (Monitoring, nicht sicherheitskritisch).
- Sommerbypass: aktivieren, um unerwünschte Wärmerückgewinnung in der Kühlperiode zu vermeiden; Querlüftung nutzen.

10.5 Einbau/Inbetriebnahme

- Kernbohrungen mit leichtem Gefälle nach außen; luftdichte Hüll-Anbindung.
- Volumenströme gemäß DIN 1946-6 einstellen, messen, protokollieren.
- Filter: Wartungsintervalle definieren; Ersatzfiltersätze vorhalten; Service-Hinweise in HA.

10.6 Zusammenspiel mit hydronischem Kühlen

- WRG hilft bei Feuchtestabilisierung, entfeuchtet aber nur begrenzt; r.F. pro Etage überwachen.
- Bei anhaltend >60

Kapitel 11

Gebäudehülle, Luftdichtheit, Wärmebrücken

Kapitel 12

Gebäudehülle, Luftdichtheit, Wärmebrücken

Maßnahmen für Dämmung, Luftdichtheit und die neuralgischen Wärmebrücken (Loggia, offener Eingangsbereich, offenes Kellertreppenhaus).

12.1 Zielwerte (EH85-nah)

- Kellerdecke $U \leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Dach/Oberste Decke $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Fenster $U_w \leq 0,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ mit warmer Kante
- Luftdichtheit $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ (Blower-Door vorher/nachher)

12.2 Maßnahmen

- Kellerdecke (muss): Platten oder Einblasdämmung; Durchdringungen abdichten; Anschlussdetails durchgängig.
- Dach/Oberste Decke (muss): Aufdachdämmung oder oberste Decke; luftdichte Ebene konsequent; Details an Durchdringungen.
- Fenster (muss): Dreifachverglasung, luftdichte Montage mit Bändern/Kompribändern; Laibungsdämmung prüfen.
- Fassade (optional, empfohlen): WDVS außen, falls möglich; sonst kapillaraktive Innendämmung (z. B. CaSi/Holzfaser) an kritischen Innenflächen; Feuchteführung planen (keine Dampfsperrfallen).
- Luftdichtheitspaket (muss): Professionelle Abdichtung, Blower-Door vor/nach Sanierung.

12.3 Offenes Kellertreppenhaus

- Luftdichte, transparente Abtrennung (Glas/Schiebetür) auf Keller- oder EG-Ebene; Lichtbezug erhalten; Dichtprofile.
- In Kombination mit Kellerdeckendämmung verringert Kamineffekt.

12.4 Loggia (innenliegender Balkon)

- Wintergarten: Dreifachglas, thermisch getrennte Rahmen, gedämmte Brüstungen/Laibungen, außenliegende Verschattung; beste Behaglichkeit; Genehmigung/Statik beachten.
- Zielgerichtete Wärmebrücken-Sanierung: kapillaraktive Innendämmung an Knoten; ggf. außen ergänzen; geringer, aber günstiger Effekt.

12.5 Offener Eingang/überdeckter Vorbereich

- Verglaster Windfang: gedämmte Rahmen und Außentür; großer Nutzen gegen Infiltration/Kälte; ggf. Genehmigung.
- Unterseitige Dämmung: starre PIR/EPS-Platten; Seitenanschlüsse luftdicht/gedämmt.

12.6 Verifikation

- Thermografie nach Fertigstellung zur Restwärmebrückensuche.
- Blower-Door ($n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$), Leckagenachweise.

Kapitel 13

Regelung, Sensorik, Monitoring

Kapitel 14

Regelung, Sensorik, Monitoring

Sicherheits- und Primärregelung sind hart verdrahtet; Home Assistant (HA) dient nur zur Orchestrierung/Visualisierung. Taupunkt-Schutz ist Pflicht.

14.1 Sicherheit/Primärregelung (hart)

- WP-Regler: Verdichterschutz, Abtauung, Vor-/Rücklauftemperaturlimits.
- Hydraulikregler: 3-Wege-Mischer UFH, Pumpen, Puffertemperaturgrenzen, TWW-Priorität.
- Taupunktabschaltung: harte Begrenzung $UFH-VL \geq (\text{Taupunkt} + 2 \text{ K})$, unabhängig von HA.
- Ofen: Rücklaufanhebung ($\geq 60 \text{ °C}$), thermische Ablaufsicherung, schwerkraftgeeignete Notkühlung, MAG/PRV.

14.2 Sensorik/Messtechnik

- Speicher: oben/Mitte/unten an TWW- und Heiz-/Kühlspeicher.
- UFH: VL/RL; optional Oberflächensensor am Verteiler.
- Raum: mind. ein T/r.F. je Etage (Taupunktberechnung).
- Energiemessung: Wärmemengen WP→Puffer, optional FriWa-Primär; Strom-Unterzähler WP.
- Durchfluss/Druck: nach Bedarf (FriWa/Strangregulierung), Entlüftungen/Spülstellen.

14.3 Orchestrierung (HA o. ä.)

- PV-Zeitfenster: TWW-Ladung mittags; im Winter optional Puffer-Vorwärmung bei PV-Überschuss.
- Seasons: Winter (Heizen), Sommer (Kühlen + TWW), Übergang (minimal).
- Meldungen: Ofen-Hinweise, Filterservice (WRG/FriWa), r.F./T-Alarme, Fehlerrelais WP.
- Logging: Puffer-T, UFH VL/RL, r.F./T innen, WP-Leistung, WMZ; Leistungszahl (COP)-Proxy möglich.

14.4 Beispiel Taupunktlogik

- Eingang: T innen, r.F. innen → Taupunkt; gemessener UFH-VL.
- Limit: $UFH-VL\text{-Soll} = \max(\text{Heizkurvenbedarf}, \text{Taupunkt} + 2 \text{ K})$, absolut min. typ. 19–21 °C.
- Sperre: Bei $VL < (\text{Taupunkt} + 2 \text{ K})$ oder Feuchte am Verteiler: Mischer schließen/Pumpe stoppen bis sicher.

14.5 Elektro/Resilienz

- Unterverteilung wichtige Stromkreise: WP-Freigabe, Pumpen, Hydraulikregler, HA-Host, Netzwerk, Kühlgerät, ausgewählte Licht/Steckdosen.
- Überspannungsschutz (SPD) für PV, Speicher, WP, MSR.
- Nachtmodus: reduzierte Schallemission WP/WRG.

Kapitel 15

Förderung, Konformität, Dokumentation

Kapitel 16

Förderung, Konformität, Dokumentation

Strategie zur Förderung (Stand: konzeptionell). Verbindliche Prüfung stets mit Energie-Effizienz-Experte (EEE) und Bank vor Beauftragung.

16.1 Primär — KfW 261 (Wohngebäude – Kredit)

- Ziel: Effizienzhaus 85 + Erneuerbare-Energien-Klasse (≥ 65 - Inhalt: Wärmepumpe, Speicher (Heiz/Kühl + TWW), FriWa, Hydraulik-Peripherie, Sicherheit, System-Elektro; ggf. wasserführender Ofen.
- Tilgungszuschuss: typ. 10 - Wichtig: Keine Doppelförderung derselben Kostenposition außerhalb des EH-Topfs.

16.2 Ergänzend — Einzelmaßnahmen (BAFA/BEG)

- Hülle (Keller/Dach/Fenster/Fassade), dezentrale Lüftung, Mess-/Steuer-/Regelung (MSR), UFH-Verteilung.
- Sätze: 15 - Regel: Keine Doppelansetzung, wenn bereits im EH-Kredit enthalten.

16.3 Weitere Finanzierung

- Ergänzungskredite (z. B. KfW 358/359) für Einzelmaßnahmen.
- PV/Batterie: 0

16.4 Prozess/Timing

- EEE frühzeitig einbinden; „Bestätigung vor Antrag“ (BzA) vor Auftragsvergabe bzw. mit aufschiebender Bedingung.
- Saubere Kostentrennung: EH-Topf vs. Einzelmaßnahmen definieren.
- „Bestätigung nach Durchführung“ (BnD) zur Zuschussgutschrift/Abschluss.

16.5 Nachweise/Doku

- Berechnungen: EN 12831 (Heizlast), Lüftungskonzept nach DIN 1946-6, Taupunktstrategie, Wärmebrückendetails.

- Inbetriebnahmeprotokolle: Blower-Door (vor/nach), hydraulischer Abgleich, Wasserqualität (VDI 2035), Druckprobe, Wärmemengenzähler, WP-Inbetriebnahme.
- Sicherheit: Ofen EN 303-5 (RLA, TAS, Notkühlung), Elektro-SPDs, Unterverteilung für Notbetrieb.
- Monitoring: erste Betriebsperiode (T, r.F., WMZ/EMZ) zur Performancevalidierung.

16.6 Hinweise

- Programme ändern sich; Konditionen/Caps/Fristen aktuell prüfen.
- Eine „Single Source of Truth“ für Kostenzuordnung/Belege vereinfacht Prüfungen.

Kapitel 17

Inbetriebnahme und Abnahme

Kapitel 18

Inbetriebnahme und Abnahme

Checkliste für sichere Inbetriebnahme und förderkonforme Nachweise.

18.1 Vor-Inbetriebnahme

- Mechanik:
 - Spülung/Druckprobe bestanden; dicht.
 - MAG dimensioniert und voreingestellt (Gesamtvolumen Speicher+Anlage).
 - Luft/Schlammabscheider gesetzt; Entlüftungen zugänglich.
 - Dämmung vollständig: warm gedämmt; kalt diffusionsdicht inkl. Kondensatführung.
- Elektro:
 - Unterverteilung wichtige Stromkreise verdrahtet; Beschriftung; RCD/LS geprüft.
 - SPDs installiert und mit PV/Batterie koordiniert.
 - Sensorik/Aktoren beschriftet; Not-Stop dokumentiert.
- Wasserqualität:
 - VDI-Richtlinie 2035 (Verein Deutscher Ingenieure) konformes Wasser; Leitfähigkeit/Härte protokolliert.
- Sicherheit (Ofen):
 - Rücklaufanhebung, thermische Ablaufsicherung, Notkühlweg, Schornsteinfreigaben geprüft.

18.2 Regelung/Sensorik prüfen

- Speicher: oben/Mitte/unten plausibel; Flussrichtungen geprüft.
- UFH: VL/RL-Sensoren, 3-Wege-Mischer-Richtung, Pumpendrehzahl.
- Taupunktlogik: Feuchte-Szenario testen; Begrenzung/Abschaltung verifizieren.
- WP-Regler: Heizkurve/Min-Max VL/Antitakt eingestellt.
- FriWa: Auslauftemperatur stabil, 2–16 L/min; Verbrühschutz verifiziert.

18.3 Funktionstests

- Heizen (Winter-Simulation):
 - Lange Verdichterläufe; Schichtung sichtbar; Ziel-VL erreicht.
 - TWW-Mittagspriorität auf 55–60 °C; danach Heizen.
- Kühlen (Sommer-Simulation):
 - Nachtkühlung Puffer 16–18 °C; Tag VL = Taupunkt + 2 K; keine Kondensation.
- Ofen-Einbindung:
 - Puffer oben aufladen; WP-Leistungsreduktion bei hoher Top-Temperatur.

18.4 Hydraulischer Abgleich

- UFH-Kreise messen, einstellen, protokollieren.
- WMZ prüfen (Einbaurichtung, Impulse fürs Logging).

18.5 Lüftung (Dezentrale WRG)

- Raumweise Volumenströme einstellen; Boost; Sommerbypass.
- Filter eingesetzt; Wartungsplan; Akustik prüfen.

18.6 Abnahmedokumente

- Blower-Door (vor/nach), $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ (Ziel).
- Protokolle hydraulischer Abgleich, WP/FriWa-Inbetriebnahme.
- VDI 2035, Druckprüfungen, Elektro (RCD/Isolationsmessung/SPD).
- Schemata: finales Hydraulik-Schema, I/O-Plan, Sensorliste.
- Sicherheit: EN 303-5 Nachweise, Schornsteinfeger-Abnahmen, Notfall-Prozeduren.
- Monitoringplan: zu erfassende Daten, Aufbewahrungsdauer (mind. 1. Saison).

Kapitel 19

Projektphasen und Reihenfolge

Kapitel 20

Projektphasen und Reihenfolge

Pragmatische Abfolge zur Minimierung von Rückbau, passgenauer Förderung und qualitativem Hochlauf.

20.1 Phasen

1) Voruntersuchungen - Gefahrstoffe (Bj. 1972): Asbest/PCB/alte Mineralwolle. - Statik Flachdach für PV; Aufstellort/Schall; Genehmigungen (Loggia/Windfang).

2) Konzept/Berechnungen - EN 12831 Heiz- (und ggf. Kühl-)last; DIN 1946-6 Lüftungskonzept. - Wärmebrückendetails Loggia/Eingang; Taupunktstrategie UFH. - Kostenzuordnung EH-Topf vs. Einzelmaßnahmen.

3) Förderanträge - BzA durch EEE; Bankgespräch. - KfW 261 (EH); ergänzende BAFA/BEG-Einzelmaßnahmen und evtl. Zusatzkredite.

4) Hülle/Luftdichtheit - Kellerdecke, Dach, Fenster; optional Fassade. - Treppenhaus-Abtrennung; Loggia/Windfang (falls genehmigt). - Blower-Door (Zwischenmessung) als QS.

5) Technik - UFH-Verteilung; Abgleich-Bereitschaft. - WP, Speicher (TWW + Heiz/Kühl), FriWa, Pumpen/Ventile, Sensorik, Unterverteilung. - Dezentrale WRG inkl. Einregulierung.

6) PV/Batterie - PV/Batterie; Unterverteilung integrieren; SPD.

7) Inbetriebnahme/Feinabstimmung - Spülung/Druckprobe/VDI 2035; Parametrierung; Taupunkt-Test; Ofen-Sicherheitstests. - Abgleich-Protokoll; Datenlogging.

8) Abschluss - BnD (EEE); Zuschüsse/Tilgungszuschuss. - Erste Saison: Monitoring/Optimierung; ggf. Thermografie.

Kapitel 21

Stückliste

Kapitel 22

Stückliste (Spezifikationsklassen)

Markenneutrale Auswahl mit Größenordnungen. Endgültige Auswahl nach Detailberechnung und Installationsstandard.

22.1 Erzeugung/Speicher

- Reversible L/W-WP (R290), 6–10 kW Klasse, Monoblock/Split; Leise-Kit; Nachtmodus.
- Optionaler Plattenwärmetauscher (WP↔Haus), volle Leistung bei kleinem ΔT ; Glykol WP-seitig.
- Heiz-/Kühlspeicher: 800–1000 L, schichtend, 100–150 mm Dämmung, 3× Tauchhülsen.
- TWW-Heizspeicher: 200–300 L, hohe Dämmung, 3× Tauchhülsen.
- FriWa-Modul: 25–35 kW Platten-WT, variable Primärpumpe, Durchflusssensor, Auslauftemp-Regelung, Servicearmaturen, Trinkwasserfilter.
- Wasserführender Ofen (optional): Leistung passend; Rücklaufanhebung (≥ 60 °C), TAS, Notkühlweg; Schornstein-Zubehör.

22.2 Hydraulische Peripherie

- Pumpen: ECM für WP-, Puffer-, UFH- und FriWa-Kreise.
- Ventile: 3-Wege-Mischer (UFH), motorische Absperrungen (Saison), RVs, Strangregulier-ventile, Füll/Entleer.
- Abscheider: Luft/Schlamm; optional Magnetit.
- MAG (Membran-Ausdehnungsgefäß): auf Gesamtvolumen ausgelegt, mit Serviceventil/Manometer.
- Sicherheit: Sicherheitsventile (PRV, pressure relief valves, typ. 3 bar), Manometer, Automatikentlüfter; Kondensatfallen an Kaltleitungen.

22.3 Verteilung

- UFH-Verteiler/Schleifen: sauerstoffdiffusionsdicht (PEX/MLCP), Verteilerkästen, Durchflussmesser, Stellantriebe (bei Zonenbetrieb).
- Rohrdämmung: warm gemäß Norm; kalt diffusionsdicht; Verteiler/Armaturen dämmen.

22.4 Lüftung (dezentral)

- 6–8 Einzelraum-WRG-Geräte (Doppellüfter oder Paar-Wechsel), Wandeinbauhülsen, Außenhauben, Akustikelemente, Filter.
- Steuerung: Boost-Taster, r.F./CO₂-Sensoren (sofern unterstützt), optional Gateway zur HA-Integration.

22.5 Regelung/Sensorik/Elektro

- Hydraulikregler: Mischer/Pumpen mit Taupunkt-Eingang und Abschaltung.
- Sensoren: Speicher T oben/Mitte/unten, UFH VL/RL, Raum T/r.F. je Etage, optional Verteiler-Oberfläche.
- Energiemessung: WMZ WP und optional FriWa-Primär; Strom-Unterzähler WP.
- Elektro: Unterverteilung wichtige Stromkreise, Umschalter/Ersatzstrom, SPD, Beschriftung, Installationsmaterial.
- HA-Host: zuverlässige Kleinrechner-Plattform; Netzwerk; optional USV.

22.6 Wasseraufbereitung/Service

- VDI 2035-Einheit/Chemie; Testkit (Leitfähigkeit/Härte); Befüll/Entleer.
- Filter/Siebe: Trinkwasserfilter FriWa; Strainer primär; Ersatzfilter.
- Service: Absperrungen, Entleerungen, Tauchhülsen/Messstellen, Zugänge.

Kapitel 23

Risiken und Gegenmaßnahmen

Kapitel 24

Risiken und Gegenmaßnahmen

Wesentliche technische/projektbezogene Risiken und praxistaugliche Lösungen.

24.1 Hydronisches Kühlen/Kondensation

- Risiko: UFH-Oberflächen/Verteiler unter Taupunkt → Tauwasser/Schäden.
- Maßnahmen: harte Taupunkt-Limitierung (Mischer), diffusionsdichte Kälte­dämmung, Kondensatführung, r.F.-Überwachung je Etage, Kühlung bei >60

24.2 Systemkomplexität

- Risiko: Doppelpuffer + FriWa + Ofen erhöhen Komponenten/Regelung.
- Maßnahmen: Sicherheitsverriegelungen in dedizierten Reglern (nicht HA), klare Betriebsmodi, strukturierte Inbetriebnahme, Beschriftung, Servicedoku.

24.3 Schall (Reihenhaus)

- Risiko: Außengerät/WRG stören Bewohner/Nachbarn.
- Maßnahmen: akustisch günstiger Standort/Schirm, entkoppelte Montage, Nachtmodus, WRG-Akustikmaßnahmen.

24.4 Wärmebrücken (Loggia, Eingang)

- Risiko: Energieverlust, kalte Oberflächen, Feuchte.
- Maßnahmen: bevorzugt Wintergarten/Windfang; alternativ kapillaraktive Innendämmung + außenliegende Verschattung; Thermografie nach Fertigstellung.

24.5 Wasserqualität/Verkalkung

- Risiko: Platten-WT, Pumpen, Ventile betroffen.
- Maßnahmen: VDI 2035-Wasser; Trinkwasserfilter; regelmäßige Checks; Spül-/Bypassöffnungen.

24.6 Förderung/Timing

- Risiko: Doppelförderung, falsche Reihenfolge.
- Maßnahmen: EEE-Begleitung; BzA vor Auftrag; saubere Kostentrennung; BnD zum Abschluss; Doku pflegen.

24.7 Sicherheit (Ofen)

- Risiko: Überhitzung ohne Wärmesenke; zu kalter Rücklauf (Teer); unzureichender Ausdehnungsraum.
- Maßnahmen: RLA (≥ 60 °C), TAS, Notkühlweg, korrekt dimensioniertes MAG; zertifizierte Komponenten/Einbau.

Kapitel 25

Offene Entscheidungen

Kapitel 26

Offene Entscheidungen und Optionen

Zur Abstimmung mit Installationsbetrieb und EEE.

26.1 TWW und Speicher

- Volumen TWW-Heizspeicher: 200 L vs. 300 L (Nutzungsprofil/Parallellasten).
- FriWa-Leistungsklasse: 25 kW vs. 35 kW (gleichzeitige Zapfungen).
- Option Querladung: Notfall-Wärmeübertrag vom Heiz-/Kühlspeicher-Top nach TWW (Komplexität vs. Resilienz).

26.2 Entkopplung und Medien

- Optionaler PHE WP↔Haus (Glykol WP-seitig):
- Pro: Frostschutz, Sauerstoffeintrag begrenzt.
- Contra: geringe Effizienzeinbuße, mehr Komponenten.

26.3 Loggia/Eingang

- Loggia: Wintergarten (höchster Nutzen, Genehmigung) vs. zielgerichtete Innendämmung + Verschattung (Budget).
- Eingang: verglaster Windfang (hoher Nutzen) vs. reine Unterseitendämmung (geringerer Nutzen).

26.4 WRG-Geräte

- Typ: Doppellüfter-Dauerbetrieb vs. Paar-Wechsel; Akustikpriorisierung.
- Steuerung: Stand-alone vs. Gateway in HA (Monitoring).

26.5 Wärmepumpe

- Leistungsklasse: nach EN 12831 und Modulationsbereich.
- Akustik/Standort: Nachtmodus, Schallschirm, Nachbarschaft.

26.6 Monitoring/Daten

- WMZ-Umfang: nur WP vs. WP + FriWa-Primär.
- Datenhaltung: erste Saison obligatorisch; optional Langzeittrends.

Kapitel 27

Hydraulikschema — Tags und I/O

Kapitel 28

Hydraulikschema — Kennzeichnung und I/O-Plan

Ergänzende Kennzeichen (Tags) für Komponenten, Sensoren und Regel-I/O zur Verdrahtung, Beschriftung und Inbetriebnahme.

28.1 Tag-Konvention

- Speicher: T1 = Heiz-/Kühlspeicher, T2 = TWW-Heizspeicher
- Wärmepumpe: HP1
- Plattenwärmetauscher (optional): HX1 (WP↔Haus)
- Frischwasserstation: FW1
- Ofenkreis: WS1
- Pumpen: P-xx, Ventile: V-xx, Sensoren: S-xx, Regler/Relais: C-xx/R-xx

28.2 Komponenten/Tags

- HP1: Reversible L/W-WP (R290)
- HX1: Optionaler PHE, Glykol WP-seitig
- T1: Heiz-/Kühlspeicher (800–1000 L)
- S-T1-TOP/MID/BOT (Temperaturen)
- T2: TWW-Heizspeicher (200–300 L)
- S-T2-TOP/MID/BOT (Temperaturen)
- FW1: FriWa (Platten-WT, Primärpumpe, Auslauftemp-Regelung)
- S-FW-FLOW (Durchfluss), S-FW-OUT (TWW-Auslauf)
- WS1: Wasserführender Ofen inkl. Sicherheit
- V-WS-RL (Rücklaufanhebung ≥ 60 °C), V-WS-TD (thermische Ablaufsicherung)
- UFH: Verteiler/Schleifen
- V-MX-UFH (3-Wege-Mischer), P-UFH, S-UFH-VL/RL, S-UFH-SURF (optional)
- Saisonarmaturen
- V-SEAS-T1/T2 für Service/Modus

28.3 Raum-Sensorik

- S-AMB-GF: EG T/r.F. (Taupunkt)
- S-AMB-DG: DG T/r.F. (Taupunkt)

28.4 Elektro/Zähler

- R-HP-EN: WP-Freigabe-Relais
- M-HP-EL: Stromzähler WP
- M-HP-HT: WMZ $WP \rightarrow T1$
- M-FW-HT: WMZ $T2 \rightarrow FW1$ (optional)

28.5 I/O-Plan (Beispiel)

- Regler C-HYD (Hydraulik):
- Eingänge: S-T1-TOP/MID/BOT, S-T2-TOP/MID/BOT, S-UFH-VL/RL, S-AMB-GF/DG, S-UFH-SURF (opt.)
- Ausgänge: V-MX-UFH (0–10 V), P-UFH (Ein/Aus oder PWM), P-FW-PRI (via FW1), R-HP-EN, V-SEAS-T1/T2, Alarm
- Logik: Taupunktlimit; TWW-Priorität; Saison; Antitakt; sicherer Stopp
- Regler C-HP (in HP1):
- Heizkurve; Vor-/Rücklaufgrenzen; Abtauung; Schnittstelle R-HP-EN
- FW1 intern:
- Auslauftemperatur-Soll; moduliert Primärpumpe nach Durchfluss/ ΔT

28.6 Beschriftung/Doku

- Jeder Tag erscheint in Schema, Verdrahtung, Geräteschild, Protokollen.
- Tag-Legende ausdrucken und nahe T1/T2 anbringen.

Kapitel 29

Betriebsleitfaden

Kapitel 30

Betriebsleitfaden — Alltag und Saisontipps

Kurzanleitung für den täglichen Betrieb und saisonale Besonderheiten.

30.1 Alltag

- TWW über FriWa im Durchlauf; konstante Auslauftemperatur. Bei parallelen Großzapfungen kurzzeitige Absenkung möglich; Speicher lädt nach.
- TWW-Ladung bevorzugt mittags mit PV. Bei Schlechtwetter bleibt TWW-Komfort dennoch gewährleistet.
- HA zeigt Puffertemperaturen, Luftfeuchte, Grundstatus; Meldungen für Filterservice/Abweichungen nutzen.

30.2 Winter (Heizen)

- Wettergeführte Heizkurve mit niedrigen VL (28–35 °C). Strahlungswärme baut sich träge, aber behaglich auf.
- Holzofen nach Wunsch: hebt Puffertop an, WP reduziert Leistung.
- Bei zu kühlen Räumen: Raum-Soll leicht erhöhen oder Heizkurve minimal anpassen; große Sprünge vermeiden.

30.3 Sommer (Kühlen)

- Nacht: Puffer 16–18 °C; Tag: UFH-VL durch Taupunktlogik begrenzt (typ. 19–21 °C); sanfte Grundkühlung.
- Steigt r.F. gegen 60

30.4 Übergangszeit

- Niedrige Puffersollwerte; Komfort überwiegend passiv + kurze Heizphasen; TWW weiterhin mittags.

30.5 Wartung

- Filter: WRG und FriWa Trinkwasserfilter alle 3–6 Monate sichten (Umgebungsabhängig).

- Sichtkontrolle: zu Sommerbeginn auf Kondensat an Kaltleitungen/Verteilern achten; Taupunkt-Abstand ggf. erhöhen.
- Jährlich: Sicherheitsventile, MAG-Vordruck, VDI 2035-Wasser, Wärmemengenzähler prüfen.

30.6 Störungshilfen

- TWW zu kühl: TWW-Speicher, FriWa-Soll, Trinkwasserfilter prüfen.
- Kühlung schwach: Taupunktlimit vs. VL checken; bei hoher r.F. Luft trocknen (Lüften/Entfeuchter).
- Geräusche: Nachtmodus (WP/WRG); Montage/Schalldämpfung prüfen.

Kapitel 31

Kosten — Größenordnungen

Kapitel 32

Kosten — Größenordnungen

Richtwerte zur Orientierung; verbindlich sind Angebote und aktuelle Förderbedingungen.

32.1 Hülle

- Kellerdeckendämmung: 20–90 €/m²
- Dach/Oberste Decke: 50–200 €/m²
- Dreifachfenster inkl. luftdichter Montage: 600–1.000 € je Fenster (oder 280–900 €/m² Fensterfläche)
- WDVS Fassade: 90–210 €/m² (falls machbar)
- Luftdichtheit + Blower-Door (vor/nach): 1.500–4.200 €
- Treppenhaus-Abtrennung (Glas): 1.000–3.000 €
- Loggia Wintergarten: 5.000–20.000 € (abhängig vom Aufbau)
- Verglaster Windfang: ähnlich, objektabhängig

32.2 Erzeugung/Speicher/Verteilung

- Reversible L/W-WP (R290), installiert: 18.000–35.000 €
- Heiz-/Kühlspeicher 800–1000 L: 2.200–6.000 €
- TWW-Heizspeicher 200–300 L: 800–1.800 €
- FriWa-Station: 1.700–3.500 €
- UFH-Nachrüstung: 60–145 €/m²
- Hydraulikperipherie + vollständige Rohrdämmung: 1.500–3.500 €
- Optionaler PHE (WP↔Haus): 800–2.700 €
- Wasserführender Ofen + Sicherheit/Abgasanlage: 3.500–10.000 € (+800–3.000 € Kaminanpassungen)

32.3 Lüftung, PV, Elektro

- Dezentrale WRG (6–8 Geräte): 6.000–12.000 €
- PV 5,8–8 kWp: 8.000–12.000 € (0 - Batterie 10 kWh mit Ersatzstrom: 6.000–10.000 € (0 - Unterverteilung wichtige Stromkreise + Umschaltung: 1.500–3.000 €

32.4 Nebenkosten

- EEE (Bestätigungen, Baubegleitung): 2.000–5.000 €
- Technische Planung (Heiz/Kühllast, Schemata, LV, Bauüberwachung): 3.000–8.000 €
- Inbetriebnahme/Abgleich-Protokolle: 1.000–2.500 €

32.5 Summen (grob)

- Ohne Fassade: 67.000–90.000 €
- Mit Fassade: 82.000–115.000 €

Förderungen senken Nettokosten (z. B. EH-Tilgungszuschuss; Einzelmaßnahmen 15–20