Florian Vivian HAUSER

LEITFADENENTWICKLUNG FÜR GEBÄUDETECHNIK BEI STUFENWEISER SANIERUNG VON EINFAMILIENHÄUSERN

MASTERARBEIT

eingereicht an der

LEOPOLD-FRANZENS-UNIVERSITÄT INNSBRUCK
FAKULTÄT FÜR TECHNISCHE WISSENSCHAFTEN

zur Erlangung des akademischen Grades
DIPLOM-INGENIEUR

Beurteiler:
Assoz. Prof. Dr.-Ing. Pfluger Rainer

Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen

Innsbruck, Februar 2018

Betreuer: Assoz. Prof. Dr.-Ing. Pfluger Rainer, LFU Innsbruck,
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaft,
Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen

Mitbetreuer: Pavel Ševela, MSc, LFU Innsbruck,
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaft,
Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen

Vorwort

Ich möchte diese Gelegenheit nutzen, um einigen Menschen zu danken.

An erster Stelle stehen dabei zweifelsfrei meine Eltern Barbara und Josef die mich mein ganzes Leben, auf all meinen Wegen stets unterstützten, an mich glaubten und mir mein Studium überhaupt erst ermöglicht haben; Ebenso möchte ich in diesem Zuge meinem Bruder Amadeus danken.

Danken möchte ich weiters meinem Betreuer Rainer Pfluger, der mich in den letzten Monaten stets motivierte, Ratschläge, Hinweise und Hilfestellungen bot, wo dies nötig war und mir gleichzeitig Raum ließ, eigene Ideen zu entwickeln, an diesen zu arbeiten und sie umzusetzen. Und auch auf meinen Mitbetreuer, Pavel Sevela, konnte ich mich stets verlassen, wenn ich bei der Arbeit feststeckte; Danke.

Ganz besonders in der finalen Phase der Arbeit, war mir meine Freundin Vera immer eine wichtige Stütze abseits des universitäreren Alltags. Zu guter Letzt möchte ich noch all meinen Freunden danken, die mich durch das Studium hindurch begleitet haben. Ich empfinde es als eine enorme Bereicherung auf so viele schöne gemeinsame Erlebnisse zurückblicken zu können und blicke voll Vorfreude in die Zukunft.

Das Thema Energie begeistert mich nun schon seit einigen Jahren und so war es mir schon seit Langem ein Bedürfnis diese Arbeit am Arbeitsbereich für energieeffizientes Bauen zu schreiben. Das Thema, gefiel mir dabei besonders gut, da es ein breites Feld technischer Aspekte mit Raum für Kreativität bei der Lösungsfindung und Problembewältigung vereinte. Ich betrachte dies daher nur als meinen ersten Schritt in dieses spannende und zukunftsweisende Betätigungsfeld, und freue mich auf die Projekte, Aufgaben und Herausforderungen die mir auf diesem Weg noch bevorstehen.

Leitfadenentwicklung für Gebäudetechnik bei stufenweiser Sanierung von Einfamilienhäusern

von Florian Hauser

Kurzfassung

Die verschiedenen Teilsysteme der Gebäudetechnik bilden ein komplexes Konstrukt mit einer Vielzahl von Wechselwirkungen. Aus diesem Grund sollte bei Planungsabläufe in diesem Bereich immer auch der Blick auf das System als Ganzes gewahrt werden. Im Laufe einer stufenweisen Sanierung ist eine erhebliche Verbesserung des Gebäudestandards möglich, was sowohl zu einer drastischen Senkung des Heizwärmebedarfs als auch der Heizlast führt. Teil einer umfassenden Sanierung ist somit auch der Einbau moderner, energieeffizienter Gebäudetechnik um den Anforderungen an die Wärmeerzeugung, Wärmeübergabe, Warmwasserbereitung und Lüftung im Gebäude während allen Sanierungsphasen gerecht werden zu können.

Kernaufgabe dieser Arbeit war die Entwicklung eines Leitfadens, der den Nutzer bei planerischen Überlegungen zur Sanierung der Gebäudetechnik begleitet und unterstützt. Die Entscheidung obliegt dabei jedoch bei jedem Schritt dem Anwender. In erster Linie ist das, auf Microsoft Excel basierende, Programm für kleine und mittlere Bauunternehmen vorgesehen, deren Kernkompetenz nicht im Bereich der Gebäudetechnik liegt, die ihren Kunden aber dennoch ein ganzheitliches Konzept zur Gebäudesanierung anbieten möchten. Aber auch interessierte Bauherrn können sich, mit etwas Vorarbeit, selbstständig und gezielt Wissen aneignen und ein Konzept für die Erneuerung der Gebäudetechnik erstellen. Dieses kann dann, bei Bedarf, auch hervorragend als Grundlage für eine weitergehende Energieberatung verwendet werden. Da eine, in einem Zug durchgeführte Sanierung, lediglich einen vereinfachten Spezialfall einer stufenweisen Sanierung darstellt, kann der Leitfaden auch problemlos für derartige Aufgaben verwendet werden. Die Eingabe der Entscheidungen, ebenso wie das am Ende entstandene Protokoll sind dabei stets gut nachvollziehbar, was bei der Erstellung des Leitfadens immer ein wichtiges Ziel war.

Development of a building technology guideline for stepwise reconstruction of single-family houses

by Florian Hauser

Abstract

The different subsystems of building technology are strongly influencing each other and are altogether forming a very complex structure. For this reason, it is very important, to keep track of all possible implications, when planning to change single components of the system. In the process of a stepwise reconstruction, the heating demand, as well as the heating load are decreasing drastically. Therefore, it is a crucial aspect of an integrated reconstruction, to install modern, energy-efficient systems for heating, heat transfer, hot water preparation and ventilation that meet the users demands throughout every phase of the reconstruction.

This master thesis' core task was, to develop a guideline that provides support for the user while creating a concept for building technology. The first and most important goal was, that the user, in the end, could make all the decisions. The program is based on Microsoft Excel and is aiming to help small and middle-sized building companies to offer integrated reconstruction solutions to their customers, even if building technology isn't their core competency. But also interested clients can benefit from using the guideline. With a little initial help, they can pick up specific information and develop an own concept which can either stand by itself or can be used as a solid foundation for a more detailed consultation by a professional. Since a reconstruction, done at once, is basically a simplified task compared to a stepwise one, the guideline can also be used for usual renovations. Entering data concerning the decisions made by the user, as well as the resulting protocol are always easily comprehensible. This being the second important goal that was considered while developing the guideline.

INHALTHALTSVERZEICHNIS

I GRUNDLAGEN 1
1 Gebäudesanierungen 1
1.1. Bedeutung von Gebäudesanierungen 1
1.2. Teilsanierung 1
1.3. Stufenweise Sanierung 2
2 F+I Netzwerk Alpines Bauen 3

II GEBÄUDETECHNIK 5
1 Heizwärmeerzeuger 5
1.1. Heizöl 5
1.1.1. Niedertemperaturkessel 6
1.1.2. Brennwertkessel 6
1.2. Erdgas 7
1.3. Fernwärme 7
1.4. Holz 7
1.4.1. Holzvergaserkessel 8
1.4.2. Pellets 8
1.4.3. Hackschnitzel 9
1.5. Wärmepumpen 10
1.5.1. Wasser-Wasser-Wärmepumpen 12
1.5.2. Sole-Wasser-Wärmepumpen 12
1.5.3. Luft-Wasser-Wärmepumpen 14
2 Wärmeübergabesysteme 15
2.1. Heizkörper 15
2.1.1. Radiatoren 15
2.1.2. Konvektoren 15
2.1.3. Flachheizkörper 16
2.2. Flächenheizungen 16
2.2.1. Fußbodenheizungen 16
2.2.2. Deckenheizungen 17
2.2.3. Wandheizungen 17
3 Warmwasserbereitung 18
3.1. Zentrale Warmwasserbereitung 19

3.2. Dezentrale Warmwasserbereitung 19
4 Lüftung 21
4.1. Natürliche Lüftung 21
4.2. Mechanische Lüftung 22

III ERLÄUTERUNG DES LEITFADENS 25
1 Ziele und Grundgedanken 25
2 Aufbau und Anleitung 27
3 Die Tabellenblätter im Detail 28
3.1. Allgemeines 28
3.2. Anleitung 29
3.3. Beschreibung 29
3.4. Wärmeerzeuger Bestand 31
3.5. Wärmeübergabe Bestand 33
3.6. Warmwasser Bestand 34
3.7. Lüftung Bestand 36
3.8. Sanierungsschritte 38
3.9. Wärmeerzeuger Auswahl 41
3.9.1. Empfehlung 42
3.9.2. Vergleich der Systeme 43
3.9.3. Auswahl des Heizwärmerzeugers 48
3.10. Wärmeerzeuger Matrix 49
3.11. Wärmeerzeuger Leistung 52
3.11.1. Alle anderen Wärmeerzeuger 53
3.11.2. Holzvergaser- und Hackschnitzelkessel 54
3.11.3. Luft-Wasser-Wärmepumpen 54
3.12. Wärmeerzeuger Puffer 60
3.13. Wärmeübergabe neu 62
3.14. Warmwasser neu 65
3.15. Photovoltaik – Solar 71
3.16. Lüftung System 72
3.17. Lüftung Ab- und Zuluft 74
3.18. Zusammenfassung 80

IV EINFAMIIENHAUS AM GIESSEN 83
1 Allgemeines 83
2 Bestand 84
3 Sanierungsmaßnahmen 85
3.1. Bestand 85
3.2. Sanierungsstufe 1 85
3.3. Sanierungsstufe 2 86
3.4. Endzustand 86
3.5. Wechselwirkungen bei der Sanierung 88
4 Berechnungen im PHPP 89
4.1. Berechnete Varianten 89
4.2. Bauteilaufbauten 89
4.3. Energiebezugsfläche 91
5 Anwendung des Leitfadens 92
5.1. Erfassung der bestehenden Gebäudetechnik 92
5.2. Sanierungsverlauf 93
5.3. Auswahl der neuen Gebäudetechnik 93
6 Zusammenfassung der Ergebnisse 97

V LITERATURVERZEICHNIS 99

VI ANHANG 103
1 Auszüge aus dem PHPP 103
2 Protokoll des Leitfadens 107

LISTE DER VERWENDETEN FORMELZEICHEN

A_{Koll}	Fläche des Erdkollektors	[m²]
$A_{Korb,ges}$	Platzbedarf aller Energiekörbe	[m²]
$A_{Korb,spez}$	Platzbedarf eines Energiekorbs	[m²/Korb]
COP	Coefficient of Performance	[-]
k	Jährliche Stromkosten	[€/a]
E_a	Elektrischer Jahresenergieverbrauch der Anlage	[kWh/a]
h_{Raum}	Raumhöhe	[m]
$H_{i,P}$	unterer Heizwert, Pellets	[kWh/kg]
$H_{i,S}$	unterer Heizwert, Scheitholz	[kWh/kg]
HWB	Jährlicher Heizwärmebedarf	[kWh/a]
K_0	Barwert der laufenden Stromkosten	[€]
n	Dauer des Betrachtungszeitraumes	[a]
P_E	Elektrisch aufgenommene Leistung	[kW]
P_H	Heizleistung	[kW]
P_{HL}	Heizlast	[W]
$P_{Koll,spez}$	Spezifische Entzugsleistung, Erdkollektor	[W/m²]
$P_{Korb,spez}$	Spezifische Entzugsleistung, Energiekörbe	[W/Korb]
Q_a	Jahreswärmebedarf	[kWh/a]
Q_{Sp}	Speicherbare Energie, Pellets	[kWh/m³]
t_{Heiz}	Heizdauer	[h/a]
V_{Raum}	Raumvolumen	[m³]
z	Kalkulationszinssatz	[%]
β	Jahresarbeitszahl	[-]
ρ_{Sch}	Schüttdichte, Pellets	[kg/m³]

I GRUNDLAGEN

1 Gebäudesanierungen

1.1. Bedeutung von Gebäudesanierungen

Seit Erfindung der Dampfmaschine durch James Watt und der damit ausgelösten industriellen Revolution Ende des 18. Jahrhunderts wurde Energie immer mehr zum Motor unserer zunehmend technologisierten Welt; Der seither stetig steigende Energiebedarf ist das Resultat dessen.

Wurde dieser anfangs noch durch die Verbrennung von Holz sowie Wasser- und Windräder gestillt, so gewann zuerst Kohle und später auch Erdöl und Erdgas immer mehr an Bedeutung. Heute werden rund 85 % des weltweiten Primärenergiebedarfs durch fossile Energieträger gedeckt. Die sich daraus ergebenden regionalen und globalen Probleme sind hinlänglich bekannt und rücken auch zunehmend in den Fokus der Öffentlichkeit [Vgl. Quaschning 2015].

Betrachtet man die Zusammensetzung des Endenergiebedarfs, so stellt man fest, dass in Österreich im Jahr 2015 rund 23 % der Endenergie von privaten Haushalten bezogen wurde [STATISTIK AUSTRIA 2016b], wovon wiederum 83 % für Raumwärme und Warmwasser verwendet wurden [STATISTIK AUSTRIA 2017]. Da mithilfe qualitativer Gebäudesanierung ein sehr großer Teil dieser Energie eingespart werden kann, ist es äußerst wichtig, dieser Aufgabe im Hinblick auf die Erreichung gesteckter Klimaziele entsprechend Beachtung zu schenken [Vgl. Streicher et al. 2010].

1.2. Teilsanierung

Die Sanierung eines Einfamilienhauses stellt für den Bauherrn ebenso wie die Errichtung eine erhebliche finanzielle Belastung dar. Neben dem Aspekt des Klimaschutzes ist daher das Thema der Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen besonders wichtig. Die, in einem Zug durchgeführte, umfassende Sanierung eines Gebäudes ist jedoch in dieser Hinsicht nicht immer der beste Weg zum Ziel, einem aus energetischer und bauphysikalischer Sicht hochwertigen Gebäude.

Eine Möglichkeit, die Finanzierung für den Bauherrn zu erleichtern, ist eine Teilsanierung. Dabei werden bei der Sanierung jene Maßnahmen ergriffen, die das beste Verhältnis zwischen investiertem Kapital und dem zufolge Energieeinsparung generiertem Gewinn versprechen. Auch einzelne Maßnahmen können große Einsparungen ermöglichen, sollten aufgrund der vielen Wechselwirkungen zwischen den Teilsystemen im Gebäude, jedoch trotzdem immer im größeren Zusammenhang betrachtet und geplant werden. Bei Teilsanierungen bleiben immer Energieeinsparpotenziale ungenützt. [Vgl. Amtmann et al. 2011]

1.3. Stufenweise Sanierung

Eine stufenweise Sanierung vereint gewissermaßen die beiden Konzepte der umfassenden Sanierung in einem Zug und der Teilsanierung. Dabei werden, jeweils mit etwas zeitlichem Abstand, mehrere Teilsanierungen durchgeführt und so wird in letzter Konsequenz der energetisch sinnvollere Zustand der umfassenden Sanierung erreicht. Gleichzeitig werden aber Restwerte und Restlaufzeiten einzelner Bauteile und Systemkomponenten berücksichtigt und der Zeitraum, über den das erforderliche Kapital aufgebracht werden muss, in die Länge gezogen. Die Finanzierung wird dadurch erleichtert, da dies dem Bauherrn oft ermöglicht, mehr auf Eigenkapital und weniger auf Fremdkapital zurückzugreifen.

2 F+I Netzwerk Alpines Bauen

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojekts „Forschungs- und Innovationsnetzwerk (F+I) Alpines Bauen“ erstellt an dem die folgenden Projektpartner beteiligt sind:

- ITG – Innovationsservice für Salzburg (Gesamtprojektleiter)
- Fachhochschule Salzburg
- Handwerkskammer für München und Oberbayern
- Hochschule Rosenheim
- Universität Innsbruck
- Wirtschaftskammer Salzburg, Landesinnung Bau

Dem Bausektor kommt in der Projektregion, welche Oberbayern, Salzburg und Tirol umfasst, große Bedeutung zu und kleine und mittlere Unternehmen (KMU) spielen in diesem Bereich eine entscheidende Rolle [ITG 2017].

Der Markt der Sanierung älterer Gebäude wächst und hat großes Potential. Im Anbetracht der immer höheren Anforderungen in der Klima-, Energie- und Ökoeffizienz, ist es für KMU daher wichtig sich verstärkt mit Innovationsfragen zu beschäftigen um sich im zunehmend globaler werdenden Wettbewerbsumfeld mithilfe innovativer Produkte und Dienstleitungen halten zu können. Dies soll dazu führen, dass die Wertschöpfung vor Ort geschieht und regional Arbeitsplätze gesichert werden. In der schrittweisen Sanierung kleiner Gebäude in den Bereichen Wohnen und Tourismus, sehen viele Unternehmer Chancen mit umfassenden Sanierungskonzepten eine bisher unberücksichtigte Nische besetzten zu können. Die Kooperation mit regionalen Forschungseinrichtungen dient dabei der Erarbeitung und Vermittlung fehlender Kompetenzen, Methoden und Know-How seitens der Unternehmer, wobei das Forschungs- und Transferprogramm dabei auf deren Bedürfnisse abgestimmt wird [ITG 2017].

In diesem Rahmen umfassen die Aktivitäten der Projektsbeteiligten in erster Linie:

- Weiterentwicklung der alpinen Baukompetenz durch Wissens- und Erfahrungsaustausch zwischen Unternehmen, Branchen, Forschungseinrichtungen und Regionen
- Erweiterung des Know-Hows im Bereich der Sanierung kleiner Gebäude

- Erarbeitung von Musterkonzepten und Erstellung von Leitfäden
- Erstellen von Best-Practice-Sammlungen
- Lernen aus innovativen Lösungsansätzen
- Qualifizierung der Beteiligten

Gefördert wird das Projekt durch die Interreg Österreich-Bayern 2014-2020. Die Laufzeit des Projekts umfasst den Zeitraum von 01.09.2015 bis 31.08.2018 [ITG 2017]

Abbildung 1: Logo "Netzwerk alpines Bauen" [ITG 2017]

Abbildung 2: Logo "Interreg Österreich-Bayern" [ITG 2017]

II GEBÄUDETECHNIK

Das Feld der Gebäudetechnik umfasst eine solche Vielzahl an Systeme und Informationen, dass es bei der allgemeinen Behandlung dieses Themas einer Filterung bedarf. Viele Systeme erfordern für den wirtschaftlichen Betrieb eine gewisse Mindestgröße. Da der Grundanspruch bei der Sanierung jedoch sein sollte, den Energieverbrauch und damit auch die erforderliche Anlagengröße so weit wie möglich zu reduzieren, ergibt sich hier oft ein Widerspruch.

Da sich diese Arbeit mit der Sanierung von Einfamilienhäusern beschäftigt, wird im folgenden Kapitel auf viele grundsätzlich technisch mögliche Systeme wohlwissend nicht eingegangen, sondern nur Systeme behandelt, deren Verwendung in Einfamilienhäusern als sinnvoll erachtet wird oder die im Bestand häufig genutzt werden.

1 Heizwärmeerzeuger

In den Jahren 2015 und 2016 wurden von der, zur Erzeugung von Raumwärme in Österreichs Haushalten, nötigen Energie 21% durch Heizöl und 22% durch Naturgas gedeckt. Die Nutzung beider Energieträger ist in diesem Bereich jedoch über die letzten Jahre hinweg rückläufig. Die Nutzung von Holz bewegt sich relativ stabil im Bereich zwischen 25% und 28%. Wenn auch ein stetiger Aufwärtstrend erkennbar ist, so decken Solarenergie und Wärmepumpen derzeit im Bestand, in Summe nur rund 4% des Energiebedarfs für Raumwärme. Der größte Zuwachs ist bei der Fernwärme zu verzeichnen, nämlich von 7% auf 15% zwischen 2003 und 2016 [STATISTIK AUSTRIA 2017].

1.1. Heizöl

Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel sind die wichtigsten, brennbaren Bestandteile von Heizöl und Erdgas. Die Produkte der Verbrennung sind in erster Linie das unerwünschte Schwefeldioxid, Wasserdampf und das Treibhausgas Kohlendioxid. Vor allem letzteres ist der Grund, warum im Zuge einer nachhaltigen Klimapolitik, die Reduktion der Nutzung fossiler Energieträger sinnvoll ist. Die Bedeutung von

Heizöl im Neubau sank in den letzten Jahren deutlich. Da Heizölkessel im Bestand jedoch noch oft vorzufinden sind, werden auch diese hier kurz behandelt. Bei der Nutzung von Heizöl sind vor allem zwei Technologien verbreitet [Vgl. Bohne 2014: 221].

1.1.1. Niedertemperaturkessel

Diese arbeiten kontinuierlich bei Rücklauftemperaturen zwischen 35 und 40°C wodurch die Wärmeverluste des Kessels und der Rohrleitungen verhältnismäßig gering sind. Die Vorlauftemperaturen bewegen sich meist im Bereich von 55 - 75°C [Vgl. Bohne 2014: 223].

1.1.2. Brennwertkessel

Diese arbeiten effizienter als Niedertemperaturkessel und sind heute Stand der Technik. Die höhere Effizienz wird möglich, indem die Abgase nach der Verbrennung soweit abgekühlt werden, dass Wasserdampf auskondensiert und ein Teil der beim Phasenübergang abgegebenen Latentwärme wieder genutzt werden kann [Vgl. Hausladen et al. 2005: 167]. Voraussetzung für die Nutzung dieses Effekts ist, dass die Temperatur im Rücklauf die Taupunkttemperatur des Wasserdampfes im Abgas unterschreitet. Dieser liegt, abhängig vom CO_2-Gehalt ca. zwischen 45 und 57°C) [Vgl. Bohne 2014: 224]. Daher ist die Kombination mit Flächenheizsystemen die auf einem niedrigen Temperaturniveau arbeiten sinnvoll [Vgl. Hausladen et al. 2005: 167].

Die Lagerung von Heizöl erfolgt in Tanks, welche entweder oberirdisch, im Gebäude, oder unterirdisch, außerhalb des Gebäudes, platziert werden können. Für Einfamilienhäuser

wird empfohlen, den Speicher so zu dimensionieren, dass ungefähr der Jahresbedarf eingelagert werden kann. Angeliefert wird das Heizöl daher üblicherweise einmal pro Jahr mit dem LKW [Vgl. Bohne 2014: 216].

1.2. Erdgas

Obwohl auch Erdgas ein fossiler Brennstoff ist, hat es gegenüber Heizöl zwei erhebliche Vorteile. Erdgas enthält keinen Schwefel, verbrennt aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung sauberer als Heizöl und erzeugt dabei anteilsmäßig weniger Kohlendioxid.

Auch für die Verbrennung von Gas können Niedertemperaturkessel und Brennwertkessel verwendet werden. Die mögliche Effizienzsteigerung bei letzterem sogar noch größer als bei Heizöl; Durch die Nutzung von Brennwerttechnologie lassen sich bis zu 11% höhere Wirkungsgrade erzielen. Grund dafür ist ebenfalls die chemische Zusammensetzung [Vgl. Bohne 2014: 224].

Erdgas hat einen weiteren großen Vorteil gegenüber Heizöl. Die Lagerung des Brennstoffes entfällt zur Gänze, wodurch der Platzbedarf für die gesamte Anlage erheblich geringer wird.

1.3. Fernwärme

Wie oben bereits erwähnt, nimmt der Anteil der mit Fernwärme beheizten Gebäude in Österreich stetig zu. Fernwärmenetze werden üblicherweise als Heißwassersystem mit Temperaturen von bis zu 140°C betrieben. Dazu bedarf es im Vorlauf Drücken von 5 – 17 bar. Vor allem im urbanen Raum werden die Netze oft mit Abwärme aus Produktionsprozessen oder Kraft-Wärmekopplung versorgt. Dies führt mitunter zu sehr hohen primärenergetischen Wirkungsgraden und somit kann die aus einem Fernwärmenetz bezogene Energie in Abhängigkeit vom Energieträger bei der Wärmeerzeugung sehr umweltverträglich sein. Für den Endverbraucher ist die Nutzung von Fernwärme äußerst komfortabel und hat gegenüber vielen anderen Wärmeerzeugern den Vorteil, dass dazu im Haus lediglich eine Wärmeübergabestation und keine große Anlage erforderlich ist [Vgl. Bohne 2014: 268f].

1.4. Holz

Holz ist der in Europa am häufigsten zur Energiegewinnung genutzte nachwachsende Rohstoff. Andere Formen von Biomasse wie Stroh, Pflanzenöl, Alkohol oder

Biogas spielen im Bereich der Einfamilienhäuser keine nennenswerte Rolle. Beim Aufbau von Biomasse wird CO_2 aus der Atmosphäre gebunden das dann bei der Verbrennung wieder freigesetzt wird. In Summe ist Holz somit ein CO_2-neutraler Energieträger. Für die Verbrennung von Holz bieten sich mehrere Systeme an [Vgl. Hausladen et al. 2005: 171].

1.4.1. Holzvergaserkessel

Holzvergaserkessel müssen händisch beschickt werden. Die Verbrennung verläuft von oben nach unten und wird dabei von einem Gebläse unterstützt. Die Leistung kann dabei nicht wie bei anderen Wärmeerzeugern kontinuierlich über 24 Stunden hinweg, sondern lediglich über einen Zeitraum von ca. 3 – 4 Stunden geliefert werden, da die Kesselfüllung dann bereits verbrannt ist. Für die Zeiten, in denen der Kessel nicht betrieben wird, ist der Einbau eines Pufferspeichers unerlässlich. Empfohlen wird dabei eine Größe von rund 50 – 70 Litern pro Kilowatt Kesselleistung [Vgl. Bohne 2014: 226]. Aufgrund der Tatsache, dass der Kessel in regelmäßigen Abständen händisch beladen werden muss, ist der Komfort bei der Bedienung nicht so hoch wie bei automatisch arbeitenden Systemen. Dieser nimmt jedoch zu, je größer der Pufferspeicher im Verhältnis zu Kesselleistung und je besser der energetische Standard des Gebäudes ist. Der erforderliche Platzbedarf zur Brennstofflagerung wird bei Scheitholz in Raummetern [rm] angegeben und ist aufgrund der geringeren Energiedichte größer als bei Öl oder Pellets [Vgl. Hausladen et al. 2005: 171].

1.4.2. Pellets

Pellets bestehen aus unter hohem Druck gepressten Sägespänen. Der Bedienungskomfort ist verglichen mit Holzvergaserkesseln deutlich höher, da die Beschickung der Anlage üblicherweise vollautomatisch erfolgt [Vgl. Hausladen et al. 2005: 171]. Bei der Ausbildung des, für die Lagerung der Pellets erforderlichen Raumes, sind einige Dinge zu beachten. Der Einbau eines Schrägbodens ist empfehlenswert, um eine bessere Raumentleerung mit der mittig im Lager angeordneten Förderschnecke zu ermöglichen. Aus diesen Anforderungen tragen dazu bei, dass nur rund zwei Drittel des Raumvolumens tatsächlich genutzt werden; Dies ist in Abbildung 3 dargestellt. Als Richtwert kann man von einem Raumbedarf von 0,9

m³ pro Kilowatt Kesselleistung ausgehen. Auch bei der Nutzung von Pelletkesseln ist der Einbau eines Pufferspeichers empfehlenswert [Vgl. Hausladen et al. 2005: 171].

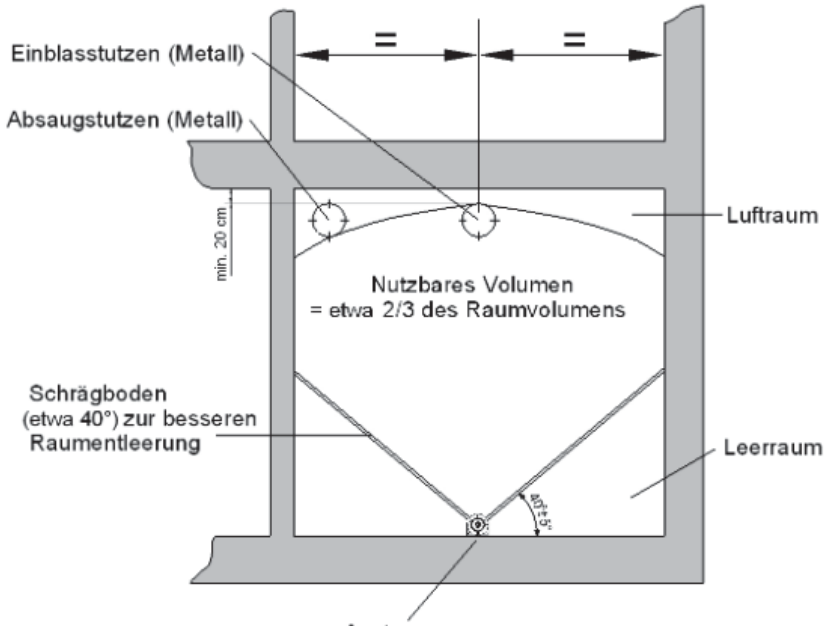


Abbildung 3: Ausbildung eines Pelletlagers [Pro Pellets Austria 2015]

1.4.3. Hackschnitzel

Die Nutzung von Hackschnitzel ist in Einfamilienhäusern zwar grundsätzlich technisch möglich, jedoch besonders bei gut sanierten Gebäuden nicht zu empfehlen. Die systembedingte Mindestanlagengröße von ca. 10 kW ist für Einfamilienhäuser relativ hoch was den Einbau eines Pufferspeichers nahelegt und die Anzahl der Volllaststunden reduziert. Die Investitionskosten für Kessel und Lagerraum sind verglichen mit anderen Wärmerzeugern ebenfalls recht hoch und rechnen sich erst bei hohen Verbräuchen und vielen Volllaststunden (Ziel: über 6000 h/Jahr) aufgrund der geringen Betriebskosten. Da bei der Sanierung von Gebäuden jedoch das von vorherein erklärte Ziel ist, dass diese beiden Bedingungen nicht erfüllt sind, ergibt sich hier ein Widerspruch. Hackschnitzelkessel sind daher für anderen Anwendungen wie z.B. der Erzeugung von Prozesswärme sinnvoller [Vgl. Öhlinger et al. 2009].

1.5. Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe macht es möglich, unter dem Einsatz von mechanischer Energie, einer Wärmequelle auf niedrigem Temperaturniveau Energie zu entziehen und diese auf einem höheren Temperaturniveau wieder abzugeben. Die vier wesentlichen Komponenten in einem Wärmepumpenkreislauf sind:

- Verdichter
- Kondensator
- Expansionsventil / Drossel
- Verdampfer

[Bonin 2016: 11]

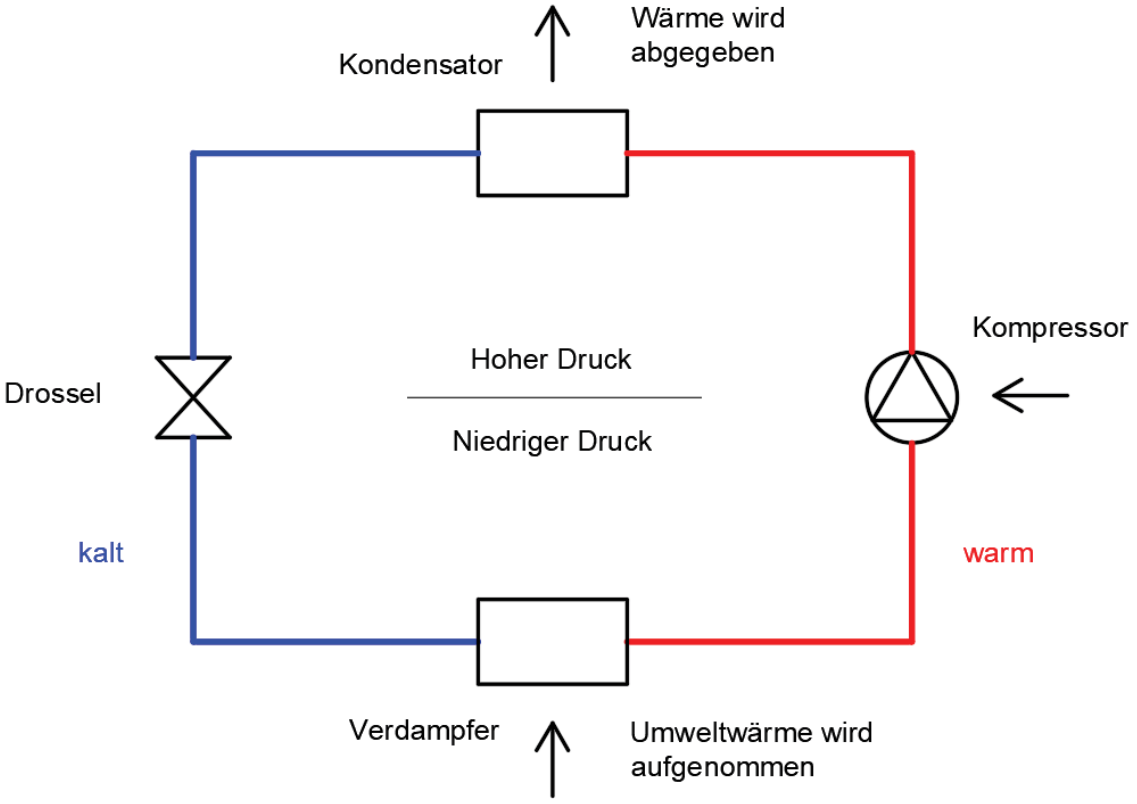


Abbildung 4: Schematische Anordnung der Komponenten in einem Wärmepumpenkreislauf [Eigene Abbildung]

Im Verdampfer ist das Kältemittel im Wärmepumpenkreis flüssig, nimmt über einen Wärmetauscher Energie aus der umgebenden Wärmequelle auf und verdampft dabei auf einem niedrigen Temperaturniveau. Im Verdichter wird das Gas anschließend komprimiert wobei Druck und Temperatur ansteigen. Im Kondensator gibt

das heiße Gas über einen Wärmetauscher Energie an die Wärmesenke, das Heizungssystem, wieder ab und kondensiert dabei. Der Druck bleibt dabei weiterhin hoch. Im Expansionsventil wird das Druckniveau dann schließlich wieder abgesenkt bevor die Flüssigkeit dann erneut in den Verdampfer strömt [Vgl. Bonin 2016: 11f].

Für die Bewertung von Wärmepumpen sind zwei Kennzahlen besonders wichtig. Die Leistungszahl beschreibt das Verhältnis von abgegebener Heizleistung und der aufgenommenen elektrischen Leistung.

$$COP = \frac{P_H}{P_E} \tag{1}$$

Dabei wird nur die Wärmepumpe betrachtet. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der gesamten Anlage, ist die Jahresarbeitszahl β besser geeignet. [Vgl. Bonin 2016: 49]. Diese ergibt sich aus dem Verhältnis des Jahreswärmebedarfs des Gebäudes und dem elektrischen Jahresenergieverbrauch für alle Anlagenkomponenten. Der Jahreswärmebedarf setzt sich dabei aus dem Jahresheizwärmebedarf und dem Jahreswärmebedarf zur Warmwasserbereitung zusammen [Vgl. Bonin 2016: 65].

$$\beta = \frac{Q_a}{E_a} \tag{2}$$

Wärmepumpen können nach der Art der Wärmequelle und der Wärmesenke unterschieden werden. Als Wärmequellen werden üblicherweise Grundwasser (Wasser), Erdreich (Sole) oder Außenluft (Luft) verwendet. Als Wärmesenke, auf Seite des Heizungssystems, kommen Wasser und Luft in Frage. Letztere Möglichkeit ist allerdings nur in Gebäuden mit sehr hohem energetischem Standard wie z.B. Passivhäusern sinnvoll. Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe verwendet somit, mithilfe eines Kollektors, von Sole durchströmtes Erdreich als Wärmequelle und gibt die Energie im Gebäude an Wasser im Heizungssystem wieder ab [Vgl. Bohne 2014: 247].

Wärmepumpen arbeiten dabei umso effizienter je geringer der Temperaturunterschied zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ist. Daraus ergibt sich der Um-

stand, dass die Nutzung von Flächenheizsystemen mit geringen Vorlauftemperaturen praktisch Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe ist [Vgl. Hausladen et al. 2005: 168].

1.5.1. Wasser-Wasser-Wärmepumpen

Grundwasser als Wärmequelle hat den großen Vorteil, dass die Quellentemperatur jahreszeitlich nur relativ geringen Schwankungen unterworfen ist und kontinuierlich Wasser mit einer Temperatur von rund 10°C zur Verfügung steht. Aus diesem Grund sind Wasser-Wasser-Wärmepumpen, verglichen mit Sole und Luft als Wärmequellen, am effizientesten.

Das Grundwasser wird über einen Förderbrunnen entnommen, üblicherweise um rund 3°C abgekühlt und anschließend über einen Schluckbrunnen wieder ins Erdreich eingeleitet. Von Entscheidender Bedeutung sind dabei die chemische Zusammensetzung des Grundwassers, die Lage des Grundwasserspiegels sowie die Beschaffenheit des Bodens [Vgl. Bonin 2016: 24].

1.5.2. Sole-Wasser-Wärmepumpen

Um Erdreich als Wärmequelle nutzen zu können werden Leitungen vergraben, die von Sole durchströmt wird. Dabei gibt es grundsätzlich zwei Systeme; Beide haben eine sehr lange Lebensdauer.

Erdkollektoren

Dabei wird dem Erdreich mithilfe eines Rohrregisters oberflächennah Wärme entzogen. Die erzielbaren Entzugsleitungen sind in erster Linie von der Bodenbeschaffenheit und von der Anzahl der Betriebsstunden pro Jahr abhängig. Zur freien Kühlung, also der direkten Kühlung des Gebäudes ohne Einsatz der Wärmepumpe, eignen sich Erdkollektoren im Gegensatz zu Erdsonden nicht. Nicht zu vernachlässigen ist der erhebliche Platzbedarf eines Erdkollektors [Vgl. Bonin 2016: 23]. Dieser beträgt, bei monovalentem Betrieb, abhängig vom energetischen Gebäudestandard das 1,5 bis 2,5-fache der beheizten Wohnfläche [Vgl. Bohne 2014: 256].

Um den erforderlichen Platzbedarf zu reduzieren, gibt es die Möglichkeit des Einbaus von Energiekörben. Diese bestehen aus spiralförmig zu Körben zusammengefassten Rohrleitungen und entziehen die Erdwärme wie Erdkollektoren ebenfalls oberflächennah [Vgl. Bonin 2016: 114].

Erdsonden

Dem Erdreich wird dabei mithilfe von vertikalen Sonden in tieferen Schichten Wärme entzogen. Dies hat zwei große Vorteile. Einerseits ist der Platzbedarf erheblich geringer als der eines Flachkollektors und andererseits schwankt die Quellentemperatur im Laufe des Jahres weniger als bei der Nutzung von oberflächennaher Erdwärme. Die Erstellungskosten sind dafür jedoch verglichen mit Erdkollektoren deutlich höher [Vgl. Bonin 2016: 26f].

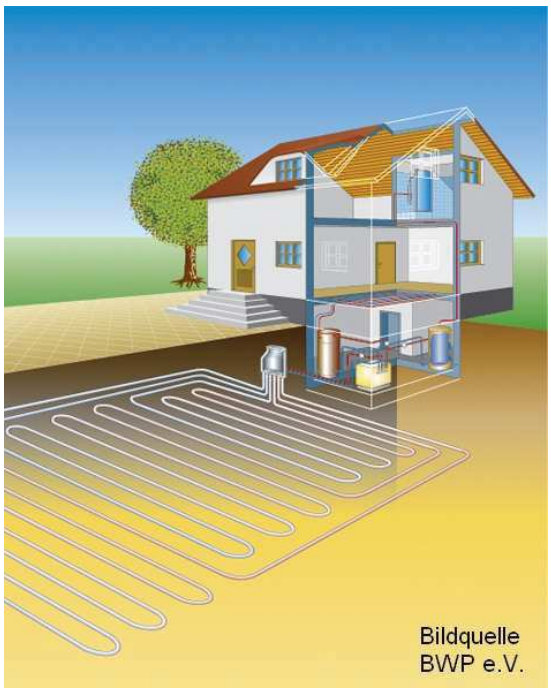


Abbildung 7: Wärmepumpe mit Erdkollektor [Wärmepumpe 2017a]

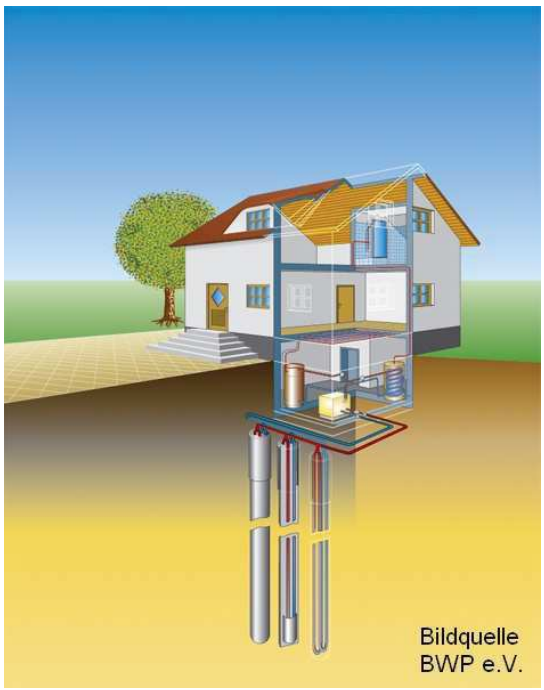


Abbildung 6: Wärmepumpe mit Erdsonden [Wärmepumpe 2017b]

1.5.3. Luft-Wasser-Wärmepumpen

Die Wärmequelle ist in diesem Fall die Außenluft. Der große Vorteil dabei ist, dass deren Nutzung ohne ein weiteres System möglich ist, was sich auch positiv auf die Investitionskosten auswirkt. Da die spezifische Wärmekapazität von Luft jedoch verglichen mit Wasser oder Sole sehr gering ist, ist die Förderung großer Volumenströme erforderlich was bei unsachgemäßer Planung und Ausführung zu unangenehmen Geräuschpegeln im Außenbereich führen kann.

Der größte Nachteil von Außenluft als Wärmequelle sind die starken Temperaturschwankungen im Laufe des Jahres und die Tatsache, dass im Heizlastfall, wenn die erforderliche Leistung am größten ist, die tatsächlich gelieferte Leistung aufgrund der großen Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke, am geringsten ist. Dies führt dazu, dass Luft-Wasser-Wärmepumpen meist bivalent betrieben werden, d.h. dass ein zweites System eingebaut wird, das die Wärmepumpe im besagten Heizlastfall entweder unterstützt (paralleler Betrieb) oder ersetzt (alternativer Betrieb). Meist wird dafür, aufgrund der geringen Investitionskosten, ein Elektroheizstab verwendet [Vgl. Bonin 2016: 119].

2 Wärmeübergabesysteme

Wärmeübergabesysteme haben die Aufgabe, die vom Heizkessel erzeugte Wärme an den Raum zu übergeben. Dazu spielen zwei physikalische Wärmeübertragungsmechanismen eine Rolle und deren Verhältnis zueinander hat großen Einfluss auf das Raumklima.

Bei Konvektion wird Wärme durch die sich bewegende Luft im Raum verteilt und erwärmt so die im Raum befindlichen Flächen und Gegenstände. Bei der radiativen Wärmeübergabe, also Wärmestrahlung, wird direkt zwischen der Heizfläche und allen ihr zugewandten Flächen im Raum Energie ausgetauscht. Für das Wohlbefinden der Bewohner ist die empfundene Raumtemperatur maßgebend, welche ein Mittelwert aus Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperaturen im Raum ist. Je nach Wärmeübergabesystem überwiegt bei der Wärmeübertragung der konvektive oder der radiative Anteil. Heizflächen können in zwei große Gruppen eingeteilt werden [Vgl. Hausladen et al. 2003: 91f].

2.1. Heizkörper

2.1.1. Radiatoren

Wie die Bezeichnung nahelegt, geben diese die Wärme zu einem großen Teil über Strahlung ab. Gleichzeitig haben sie nur eine geringe Bautiefe, benötigen allerdings relativ hohe Vorlauftemperaturen [Vgl. Hausladen et al. 2003: 92].

2.1.2. Konvektoren

Diese geben die Wärme überwiegend durch Konvektion an den Raum ab. Sie sind schnell regelbar und lassen sich gut zur Frischluftvorerwärmung nutzen. Dass sie, je nach Einbausituation schlecht zu reinigen sind, kann jedoch zu Hygieneproblemen führen. Außerdem ist ein sehr hohes Temperaturniveau für den Betrieb erforderlich [Vgl. Hausladen et al. 2003: 92].

2.1.3. Flachheizkörper

Flachheizkörper haben einen hohen Strahlungsanteil und können auch auf einem niedrigen Temperaturniveau betrieben werden. Darüber hinaus sind sie kostengünstig, schnell regelbar und gut für Sanierungen geeignet [Vgl. Hausladen et al. 2005: 157].

2.2. Flächenheizungen

Flächenheizungen geben die Wärme überwiegend über Strahlung, auf einem sehr niedrigen Temperaturniveau ab und lassen sich daher äußerst gut mit der Nutzung von Wärmepumpen und solarer Energie kombinieren. Aufgrund des geringen konvektiven Anteils, kommt es zu sehr geringer Staubbewegung was besonders für Allergiker den Wohnkomfort deutlich erhöht [Vgl. uponor 2009: 429].

2.2.1. Fußbodenheizungen

Diese bestehen aus von warmen Wasser durchströmten Rohleitungen die üblicherweise im oder unter dem Estrich eingebaut werden. Dabei sollte unterhalb eine Wärmedämmschicht angeordnet. Der Einbau kann als Nasssystem oder als Trockensystem erfolgen, ist verglichen mit Heizkörpern jedoch teurer [Albers 2016].

Für den nachträglichen Einbau von Fußbodenheizungen werden häufig flache Kunststoffheizelemente in Kombination mit Gipsbaustoffen verwendet. [Vgl. Institut für Bauforschung e. V. 2009]. Bei einer Sanierung besteht auch die Möglichkeit in den bestehenden Estrich Schlitze für die Verlegung der Heizungsrohre zu fräsen [Albers 2016].

Das Regelungsverhalten ist sehr träge was jedoch gleichzeitig günstig für die Wärmespeicherung und die Taktraten des Wärmeerzeugers ist. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft und Fußbodenoberfläche stellt sich weiters ein gewisser Selbstregeleffekt ein und so wird z.B. bei zufolge direkter Sonneneinstrahlung annähernd gleichen Temperaturen fast keine Wärme mehr an den Raum abgegeben. Eine maximale Oberflächentemperatur von 29°C sollte in Aufenthaltsräumen nicht überschritten werden [Vgl. Bohne 2014: 301].

2.2.2. Deckenheizungen

Da die an der Decke aufgeheizte Luft nicht von selbst durch Konvektion im Raum verteilt wird, erfolgt der weit überwiegende Teil der Wärmeübergabe bei Deckenheizungen über Wärmestrahlung. Die infolgedessen aufgeheizten Objekte und Raumflächen geben dann die Wärme über Strahlung und Konvektion ab. Die Heizrohre können dabei bereits in der Betondecke oder im Deckenputz verlegt werden, wobei ersteres nur im Neubau möglich ist [Albers 2016].

2.2.3. Wandheizungen

Wandheizungen funktionieren prinzipiell wie Fußbodenheizungen. Die Heizflächen werden üblicherweise an den Außenwänden angeordnet. Dabei ist entscheidend, dass diese nicht durch Möbel verdeckt sind. Wie Fußbodenheizungen, können Wandheizungen sowohl als Nass- als auch als Trockensystem ausgeführt werden [Albers 2016].

3 Warmwasserbereitung

Mit steigendem Gebäudestandard steigt der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung anteilsmäßig stark an. Somit kommt der Aufgabe, diese effizient zu gestalten, zunehmend größere Bedeutung zu.

Voraussetzung für eine zentrale Warmwasserbereitung ist, dass sich die Warmwasserverbrauchsstellen im Gebäude sinnvoll an das System angeschlossen werden können und keine zu großen Leitungslängen erforderlich sind. Diese führen zu zwei Arten von Verlusten:

- **Energieverluste**: Diese entstehen durch das Auskühlen des in den Leitungen befindlichen Wassers in der Zeit zwischen den Verbrauchsspitzen.
- **Zeit- und Wasserverluste**: Da das Warmwasser in den Leitungen zwischen den Verbrauchsspitzen auskühlt, dauert es sonst sehr lange bis nach dem Öffnen des Hahnes tatsächlich warmes Wasser aus der Leitung kommt. Dies ist vor allem bei Waschtischen und Duschen ungünstig, verringert einerseits den Komfort und erhöht andererseits den Wasserverbrauch; Bei Badewannen fallen diese Verluste aufgrund der großen Entnahmemengen anteilsmäßig weniger ins Gewicht [Vgl. Bohne 2014: 166].

Grundsätzlich kann Warmwasser mit geringen Leistungen über einen längeren Zeitraum hinweg erzeugt werden und bis zu Nutzung in einem Warmwasserspeicher verbleiben oder die Wärmezufuhr erfolgt direkt zum Zeitpunkt des Bedarfs mit großen Leistungen in Durchlaufwassererhitzern [Vgl. Bohne 2014: 171]. In diesem Fall sind keine Speicher erforderlich und infolgedessen entfallen die Bereitschaftsverluste [Vgl. uponor 2009: 761f]

Ein grundsätzlich sehr wichtiges Thema bei der Warmwasserbereitung ist die Hygiene; im Speziellen Legionellen. Diese Keime können die, unter Umständen tödliche Legionärskrankheit verursachen und vermehren sich am stärksten bei langen Verweilzeiten (mehrere Tage oder Wochen) in den Leitungen und bei einer Temperatur zwischen 30 und 45°C. Bei großen Anlage ist daher eine Vielzahl an Auflagen zu erfüllen; bei Ein- und Zweifamilienhäusern sind jedoch aufgrund des geringen Risikos keine besonderen Maßnahmen erforderlich [Vgl. Bohne 2014: 179].

3.1. Zentrale Warmwasserbereitung

Wird das Warmwasser zentral erzeugt, so kann der Heizwärmeerzeuger unter Einsatz von Heizöl, Erdgas, Holz oder einer Wärmepumpe dazu verwendet werden. Häufig kommt auch eine solarthermische Anlage zum Einsatz und wird durch eines der genannten Systeme ergänzt. Als Richtwert für die Größe einer solchen solarthermischen Anlage können rund 1,5 – 2 m² Kollektorfläche pro Person angesetzt werden. Das dann erforderliche Speichervolumen sollte ca. 50 – 70 Liter / m² Kollektorfläche betragen [Vgl. Bohne 2014: 174].

Wird das Warmwasser nicht mit Durchlauferhitzern erzeugt und muss vorübergehend gespeichert werden, so sind die spezifischen Wärmeverluste bei der Speicherung erheblich geringer, wenn mehrere Abnehmer von einem großen Speicher aus versorgt werden. Dies ist, neben der größeren Flexibilität bei den Energieträgern, der zweite große Vorteil einer zentralen Warmwasserbereitung.

Neben der Nutzung des Heizwärmeerzeugers bieten sich dabei die folgenden Systeme zur Wärmeerzeugung an:

- Elektrischer Durchlauferhitzer
- Elektrischer Durchlauferhitzer mit kleinem Warmwasserspeicher
- Elektrischer Druckspeicher
- Elektrische Wärmepumpe mit Warmwasserspeicher
- Gas-Durchlaufwasserheizer
- Gas-Vorratswasserheizer

[Bohne 2014: 171]

3.2. Dezentrale Warmwasserbereitung

Ist die sinnvolle Versorgung aller Warmwasserabnehmer nach den oben genannten Kriterien nicht möglich, so kann die Warmwasserbereitung auch dezentral erfolgen. Die Auswahl der sinnvollen Energieträger schränkt sich dann auf Strom und Gas ein. Die folgenden Systeme werden am häufigsten verwendet:

- Elektrischer Speicher, drucklos
- Elektrischer Durchlaufwassererhitzer

- Gas-Durchlaufwassererhitzer

Die Speichergröße und die erforderliche Leistung für Durchlauferhitzer hängen dabei stark vom Verwendungszweck ab. Für Spüle und Waschtisch reicht meist ein kleiner Untertischspeicher und auch die Leistung kann deutlich kleiner sein. Die Verwendung eines Gasdurchlauferhitzers empfiehlt sich nur bei größeren Verbrauchen wie Dusche und Badewanne [Vgl. Bohne 2014: 171].

4 Lüftung

Die Hauptaufgaben der Lüftung von Gebäuden sind der Abtransport von Gerüchen, CO_2, Wasserdampf und Schadstoffen und das Einbringen von frischer Luft. Dabei gibt es grundsätzlich Arten von Lüftung die sich nach dem Anlass zu Lüften unterscheiden:

- **Nennlüftung**: Diese stellt sicher, dass bei normaler Raumnutzung keine Bauschäden entstehen. Dabei sollten 0,5 – 1,0 Luftwechsel pro Stunde angestrebt werden.
- **Bedarfslüftung**: Diese ist erforderlich aufgrund der Luftbelastung durch Körperausdünstungen, Küchen- und Toilettengerüche etc. Dieser hygienische Luftwechsel ist abhängig von der Raumnutzung. Die empfohlenen Luftwechselraten sind:
    - 0,5 – 1,0 in Wohn-, Aufenthalts und Schlafträumen
    - 4,0 – 5,0 in innenliegenden Sanitärräumen
    - 0,5 – 25 in Küchen

  [Bohne 2014: 338ff]

4.1. Natürliche Lüftung

Von einer ausreichenden Lüftung durch Fugen und Undichtheiten in der Gebäudehülle kann heute nicht ausgegangen werden, da inzwischen versucht wird, diese so dicht wie möglich auszuführen um die Lüftungsverluste zu reduzieren [Vgl. Bohne 2014: 340].

In bestehenden Gebäuden wird in den meisten Fällen mittels Fensterlüftung gelüftet. Die dabei erreichten Luftwechselraten schwanken sehr stark.

	Luftwechselzahlen
Fenster, Türen geschlossen	0 – 0,5 / h
Fenster gekippt	0,3 -1,5 / h
Fenster halb offen	5 – 10 / h

Fenster ganz offen	10 – 15 / h

Tabelle 1: Luftwechselzahlen bei Fensterlüftung [Hausladen et al. 2003: 77]

Bei Erreichen der angestrebten Gebäudestandards ist diese Art der Lüftung somit zu unzuverlässig; Der Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage ermöglicht, das Gebäude wie gewünscht und geregelt mit Luft zu versorgen.

4.2. Mechanische Lüftung

Ähnlich wie bei der Warmwasserversorgung gibt es auch bei der Gebäudelüftung die Möglichkeit eines zentralen oder eines dezentralen Systems. Im direkten Vergleich hat eine zentrale Lüftungsanlage hat den Vorteil, dass es nur ein Lüftungsgerät gibt und dieses an einer Stelle im Gebäude platziert werden kann, wo einerseits das Gerät selbst und andererseits die erzeugten Geräusche nicht stören. Bei einer dezentralen Anlage wird in jedem Raum ein eigenes Lüftungsgerät und damit eine Schallquelle angeordnet; Dies ist vor allem in Schlafräumen zu bedenken. Auch der Wartungsaufwand ist, aufgrund der vielen Geräte, erheblich höher. Der entscheidende Vorteil einer dezentralen Lüftungsanlage ist jedoch deren Flexibilität und die Tatsache, dass eine solche auch in Bestandsgebäuden sehr gut nachträgliche eingebaut werden kann.

Zentrale Lüftungsanlagen lassen sich weiter differenzieren. Bei Abluftsystemen gelangt die Luft durch Fugen oder Außenluftdurchlässe ins Gebäude und wird von der Lüftungsanlage wieder aus dem Gebäude befördert. Dabei ist darauf zu achten, dass die ins Gebäude nachströmende Luft mitunter recht kalt ist und, um Behaglichkeitseinbußen zu vermindern, vorgewärmt werden sollte. Dies kann z.B. erreicht werden, indem die Luft bei einem Heizkörper in den Raum strömt; Bei der Nutzung von Flächenheizsystemen kann es bei dabei zu Problemen mit der Behaglichkeit kommen. Mithilfe einer Abluftwärmepumpe kann Energie aus der Fortluft zurückgewonnen und die Energieverluste zufolge Lüftung erheblich verringert werden [Vgl. Bohne 2014: 342].

Bei Zuluftsystemen funktioniert die Lüftung genau umgekehrt. Die Lüftungsanlage bläst frische Luft in die Räume ein und die Abluft strömt über entsprechende Öffnungen in der Außenwand ins Freie. Das Vorwärmen der Zuluft ist in diesem Fall

einfacher zu bewerkstelligen, jedoch besteht keine Möglichkeit der Wärmerückgewinnung aus der Fortluft [Vgl. Bohne 2014: 342].

Im Hinblick auf Energieeffizienz und Behaglichkeit ist eine Zu- und Abluftanlage die beste Wahl. Dabei sind sowohl die Zu- als auch die Abluftströme in den einzelnen Räumen geregelt. Der Einbau eines Wärmetauschers zur Wärmerückgewinnung ist bei diesem System einfach möglich und sehr sinnvoll.

III ERLÄUTERUNG DES LEITFADENS

1 Ziele und Grundgedanken

Die Gebäudetechnik ist unabhängig von der Gebäudegröße ein komplexes System mit vielen Bedingungen und Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten. Dabei gibt es drei Gruppen von Einflüssen bei der Entscheidungsfindung:

1.) Quantifizierbare, technische Aspekte aus den Bereichen
    - der Baukonstruktion
    - der Bauphysik
    - des Maschinenbaus
    - der Elektrotechnik
2.) Quantifizierbare, nicht technische Aspekte
    - Besitzverhältnisse
    - Finanzielle Situation des Bauherrn
3.) Schwer oder nicht quantifizierbare Aspekte wie
    - Persönliche Vorlieben
    - Bisherige Erfahrungen
    - Klimapolitische Meinung
    - Wertvorstellungen des Bauherrn
    - Bauplatz und die unmittelbare Umgebung des Gebäudes
    - Region und das dort vorherrschende Klima
    - Gemeinde-, Landes- und Bundespolitik

Die finanzielle Situation des Bauherrn gibt gewissermaßen einen maximalen Rahmen vor. Wie mit diesem Rahmen letztlich umgegangen wird, ist dann jedoch dessen Entscheidung und damit wiederum abhängig von nicht quantifizierbaren Einflüssen der dritten oben beschriebenen Gruppe. Somit ist diese, die Gruppe der technischen Aspekte, jene, die am besten allgemein behandelt werden kann. Aufbauend auf dieser Erkenntnis entstand die Idee des Leitfadens in der vorliegenden Form. Die Teilsysteme, die vom vorliegenden Leitfaden behandelt werden, sind Heizwärmeerzeuger, Wärmeübergabe, Warmwasserbereitung und Lüftung des Gebäudes.

Das Ziel ist, ein System zu finden, das bestmöglich die technischen Anforderungen ebenso wie die vom Bauherrn gestellten Forderungen erfüllt. Die Basis bei der Entscheidungsfindung bildet die Beschreibung der möglichen und sinnvollen Systeme und die Erklärung der technischen Zusammenhänge. Im zweiten Schritt kann nun der Nutzer die aufgezeigten Optionen mit den Einflüssen aus der Gruppe zwei und drei abgleichen und sich somit im dritten Schritt für eines der empfohlenen, aber auch für eines der nicht empfohlenen Systeme entscheiden. Wo Wechselwirkungen bestehen, bauen dann alle weiteren Schritte auf den getroffenen Entscheidungen auf. Was die generierten Empfehlungen betrifft, so sei darauf hingewiesen, dass der Leitfaden nicht alle Randbedingungen, die für die Entscheidung eine Rolle spielen, erfassen kann und somit wird dem Nutzer auch davon abgeraten, diese Empfehlungen unreflektiert zu übernehmen. Vielmehr sollten diese als Unterstützung verstanden werden und können durchaus Anstoß für eine eigene Lösung sein. Dies betrifft vor allem die Erstellung des neuen Lüftungskonzepts und das neue Konzept zur Warmwasserbereitung.

Neben dem Ergebnis, einem möglichst gut an die Bedürfnisse und Anforderungen angepassten System, wurde bei dieser Arbeit auch sehr viel Wert auf den Weg dorthin, also den Prozess des Durchgehens und Ausfüllens des Leitfadens gelegt. Dieser sollte einerseits so umfangreich wie nötig sein, um der Komplexität der Aufgabe gerecht zu werden, gleichzeitig jedoch so einfach und nachvollziehbar wie möglich bleiben. Dem Nutzer soll klar sein, wie das fertige System zustande gekommen ist, was gleichzeitig die Identifizierung mit der Lösung verstärkt. Die Erstellung des Leitfadens war somit ein Balanceakt zwischen dem Überhäufen und Überfordern des Nutzers mit Informationen einerseits und dem Vorenthalten möglicher Lösungen andererseits. Auch das Layout des Leitfadens spiegelt die dahingehenden Bemühungen wider. Viele Hinweise und Textfelder passen sich bisherigen Eingaben an um das Arbeiten so angenehm wie möglich zu machen. An den entscheidenden Stellen, also bei der tatsächlichen Auswahl der neuen Systeme, werden die Empfehlungen lediglich hervorgehoben und es steht dem Nutzer frei, sich über andere, auch nicht empfohlene Systemen zu informieren, diese in Erwägung zu ziehen und, wenn gewünscht, auch auszuwählen.

2 Aufbau und Anleitung

Grundsätzlich ist der Leitfaden in fünf Bereiche gegliedert. Am Anfang steht ein allgemeiner Teil mit der Erfassung allgemeiner Daten des Gebäudes, einer kurzen Anleitung und Hinweisen zur Benutzung des Leitfadens und einer Beschreibung des Gebäudes und somit der baulichen Randbedingungen der Sanierung. Der zweite Teil widmet sich der Erfassung und Beschreibung des Wärmeerzeugers, der Wärmeübergabe, Warmwasserbereitung und der Lüftung im Bestand. Teil drei beschreibt den Verlauf der stufenweisen Sanierung. Im vierten, dem größten und wichtigsten Teil, geht es um die schrittweise Auswahl der neuen Systeme für Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe, Warmwasserbereitung und Lüftung. Abschließend folgen im fünften Teil noch eine Zusammenfassung der getroffenen Entscheidungen und die Möglichkeit diese noch einmal nachzuvollziehen, zu kontrollieren und bei Bedarf, in Form eines Protokolls, auszudrucken.

Da die Entscheidungen inhaltlich oft aufeinander aufbauen, ist es ratsam, den Leitfaden in der vorgegebenen Reihenfolge durchzugehen. An einzelnen Stellen kann es dennoch sinnvoll sein, nochmals zu bereits ausgefülltes Tabellenblättern zurückzugehen um verschiedene Varianten und deren Auswirkungen zu testen (z.B. den Zusammenhang zwischen der Leistung des Wärmeerzeugers und dem Pufferspeichervolumen sowie der erforderlichen Zeit zum Beladen des Speichers)

3 Die Tabellenblätter im Detail

Die Überschriften der folgenden Kapitel korrespondieren mit Bezeichnungen der Tabellenblätter im Leitfaden.

3.1. Allgemeines

Der vorliegende Leitfaden zur Auswahl der Gebäudetechnik bei stufenweiser Sanierung baut auf einem vollständig ausgefüllten Passivhausprojektierungspaket (PHPP) [Feist 2016] auf. Der Leitfaden wurde auf Basis eine PHPP-Datei der Version 9.6 b erstellt und ist somit im Moment auch an ebendiese Version gebunden. Sind die PHPP-Quelldatei und dieser Leitfaden parallel geöffnet, können viele Daten und Eingaben automatisch aus dem PHPP importiert werden. Voraussetzung dafür ist, dass der Name der Quelldatei im Tabellenblatt „Allgemeines“ oben vollständig, also inklusive Dateiendung eingetragen wird. Seit 2007 ist diese Endung für Excelfiles standardmäßig *.xlsx und *.xlsm für Excefiles mit Makros [Microsoft 2017]. Da in der PHPP Version 9.6 b grundsätzlich die Verwendung von Markos vorgesehen ist, ist in den meisten Fällen die Endung *.xlsm zu verwenden.

Die Angabe der zu verwendenden PHPP-Quelldatei ist in diesem Tabellenblatt das einzige vom Benutzer auszufüllende Feld. Alle anderen Felder werden, wenn diese im Tabellenblatt „Nachweis“ der verknüpften PHPP-Datei ausgefüllt wurden, automatisch in den Leitfaden übernommen. Die Struktur ist dabei die gleiche wie im PHPP. Im ersten Informationsblock werden die Bezeichnung des Objekts, die Adresse, der Objekttyp, der verwendete Klimadatensatz, Klimazone und die Standorthöhe übernommen. Da die Nutzung des Leitfadens für die Sanierung von Einfamilienhäusern vorgesehen ist, wird beim Objekttyp eine erste Kontrolle durchgeführt. Ist der angegebene Wert nicht „Einfamilienhaus“, „EINFAMILIENHAUS“, „EFH“ oder „Efh“ wird eine Fehlermeldung ausgegeben die den Nutzer auf diesen Umstand hinweist. Des Weiteren werden jeweils Name und Anschrift der folgenden Beteiligten automatisch übernommen:

- Bauherrschaft
- Architekt
- Haustechnikplaners

- Energieberatungsstelle
- Zertifizierenden Stelle

Zuletzt werden das Baujahr des Gebäudes, die Innentemperatur im Winter sowie die Innentemperatur im Sommer importiert.

3.2. Anleitung

In diesem Tabellenblatt werden dem Nutzer in gekürzter Form die zugrundeliegenden Gedanken des vorhergehenden Kapitels nähergebracht. Dies soll ihm die grundsätzliche Komplexität der Aufgabe aufzeigen, kurz erklären warum der Leitfaden die vorliegende Form hat und beschreiben, wie damit umzugehen ist. Die wichtigsten Punkte sind dabei, dass viele schwer quantifizierbare Faktoren die Entscheidung beeinflussen, dass die letztendliche Entscheidung daher dem Nutzer obliegt, und dass die schrittweise Lösungsfindung der zentrale Grundgedanke hinter dem Leitfaden ist.

3.3. Beschreibung

Im Tabellenblatt „Beschreibung“ wird möglichst effizient die für die Gebäudetechnik relevante Information abgefragt. Der erste Punkt, die Eingabe der Gartenfläche dient später der Abschätzung, ob eine Wasser-Sole-Wärmepumpe mit Erdkollektor oder Energiekörben als Heizwärmeerzeuger in Frage kommt. Wie im verknüpften Kommentar erklärt wird, handelt es sich dabei um die Grundstücksfläche abzüglich aller durch Haus, Garage etc. bebauten, sowie aller versiegelten Flächen (Zufahrt, Terrasse, Wege). Im Abschnitt „Gebäude“ folgt die Eingabe der Anzahl der oberirdischen Geschoße sowie die Frage, ob es ein Keller- bzw. ein Dachgeschoß gibt. Die Anzahl der oberirdischen Geschoße, einschließlich Erdgeschoß, wurde auf drei beschränkt da Einfamilienhäuser mit mehr als drei Geschoßen zusätzlich zu einem möglichen Dachgeschoß die absolute Ausnahme bilden. Auf die Informationen zu den Geschoßen wird an vielen Stellen zugegriffen. Unmittelbare Auswirkungen hat die Eingabe gleich im folgenden Abschnitt „Räume“. Die nicht vorhandenen Geschoße werden grau eingefärbt und eine eventuelle Eingabe hat keine Auswirkungen auf folgende Abschnitte. Die Eingabe der Räume erfolgt getrennt

nach Stockwerken und sollte in genau vorgegebener Art und Weise erfolgen um mit möglichst wenigen Eingaben möglichst viel Information zu liefern. Dabei ist folgendermaßen vorzugehen:

1.) Als erstes gilt es, sich die Erschließung in den jeweiligen Stockwerken bewusst zu machen. Die beiden Möglichkeiten sind einerseits die Erschließung über einen zentral gelegenen Raum (Flur, Vorraum, Stiegenhaus) oder die Erschließung über einen großen Aufenthaltsraum (Wohnzimmer, Wohnküche)
2.) Der jeweils erste Raum in der Liste sollte der im ersten Schritt bestimmte Erschließungsraum sein. Im Anschluss werden ausgehend von der Stiege im Uhrzeigersinn fortlaufend die Räume und die dazugehörige Fläche eingegeben.

Die aus den Raumlisten der Geschoße generierte Gesamtraumliste für das Gebäude bildet die Grundlage der meisten folgenden Tabellenblätter. Bei der Eingabe der Räume kann der Nutzer aus einer Liste vorgegebener Räume wählen. Diese angebotenen Listen sind sinnvoll an das jeweilige Geschoß angepasst (z.B. Werkstatt im Keller, Küche und Wohnzimmer im Erdgeschoß). Die genau vorgegebene Art und Weise der Eingabe erschließt zwei zusätzliche Informationen die auf den ersten Blick vielleicht nicht sofort erkennbar sind:

1.) Durch die klare Reihenfolge der Eingabe ist erschließt sich in den meisten Fällen vollständig, welche Räume aneinandergrenzen. Dabei kann es dennoch vorkommen, dass nicht bei allen Grundrissen alle Verbindungen erfasst werden. Bei sehr großen Räumen kann es sein, dass diese an mehr als den Erschließungsraum und zwei benachbarte Räume grenzen und bei sehr kleinen Räumen kann es vorkommen, dass die zwei angrenzenden Räume auch eine gemeinsame Wand haben. Da diese beiden Fälle ebenso wie sehr komplizierte Grundrisse von Räumen nicht den Regelfall darstellen, wird diese Imperfektion in Kauf genommen. Die Information, welche Räume aneinander grenzen kommt bei der Festlegung des neuen Lüftungskonzepts zur Anwendung; Einer Aufgabe bei der der Nutzer ohnehin nur angeleitet unterstützt werden kann und selbstständiges Überprüfen und ge-

gebenenfalls das Suchen von Lösungen durch den Anwender trotzdem erforderlich ist. Von der Idee, in einer separaten Tabelle alle Verbindungen vom Nutzer händisch ergänzen zu lassen wurde aus diesen Gründen wieder Abstand genommen, da die bei vielen Räumen recht schnell sehr unübersichtliche Eingabe den recht geringen Gewinn an zusätzlicher Information nicht rechtfertigte und die Eingabe für den Nutzer in der jetzigen Form deutlich komfortabler ist.

2.) Der Grund dafür, dem Nutzer im Vorhinein definierte Möglichkeiten zur Auswahl bereitzustellen ist, dass es somit möglich ist, die eingegebenen Räume automatisiert in Zulufträume und Ablufträume zu unterteilen und anzugeben in welchen Räumen grundsätzlich beides denkbar ist. Diese Information ist unabdingbar beim automatischen Erstellen von Vorschlägen zum Lüftungskonzept und muss somit nicht mehr gesondert vom Nutzer eingegeben werden. Außerdem können so Fehlzuweisungen verhindert werden.

Im Anschluss an die Aufzählung der Räume werden noch die Anzahl er Räume und die Gesamtfläche der Geschoße und des gesamten Hauses ausgegeben.

Im Abschnitt „Materialien“ werden die Materialien der Außenwände abgefragt. Diese werden später im Tabellenblatt „WÜ neu“ im Zusammenhang mit der Möglichkeit einer Wandheizung aufgerufen.

Dieses Tabellenblatt beendet den allgemeinen Teil der Eingaben. Nun geht es mit der Beschreibung der Gebäudetechnik im bestehenden Gebäude weiter.

3.4. Wärmeerzeuger Bestand

Dieses Tabellenblatt erfasst die relevanten Informationen zum bestehenden Heizwärmeerzeuger. Als erstes gilt es den Energieträger anzugeben. Dabei stehen Heizöl, Gas, Holz, Wärmepumpe und Fernwärme zur Auswahl. Dass hier aus einer vordefinierten Liste ausgewählt werden muss hat den Grund, dass viele weitere Schritte auf dieser Angabe aufbauen. Bei freier Eingabe in diesem Feld wäre eine Verknüpfung des Energieträgers mit den für die Berechnungen wichtigen Eigenschaften sehr viel aufwändiger. Auch die nächste abgefragte Information, das Jahr in dem der Wärmeerzeuger eingebaut wird, ist essentiell für die weiteren Schritte. Eine grundlegende Annahme bei der Erstellung Leitfadens war, dass es sinnvoll

ist, bei der Sanierung den bestehenden Wärmeerzeuger möglichst spät zu tauschen. Je später dieser Tausch durchgeführt wird, desto weiter ist die Sanierung bereits fortgeschritten und desto näher ist der energetische Gebäudezustand am letztendlich angestrebten Gebäudezustand nach der Sanierung. Dies führt dann dazu, dass der neu eingebaute Wärmeerzeuger im Endzustand nicht mehr überdimensioniert ist, als es durch die während der Sanierung zwischenzeitlich höhere Heizlast erforderlich ist. Somit ist der voraussichtliche Ausfall des bestehenden Wärmeerzeugers ein äußerst wichtiger Zeitpunkt im Laufe der Sanierung.

Als nächstes geht es um die Leistung des bestehenden Heizkessels. Einerseits die tatsächlich installierte Leistung und andererseits die erforderliche Leistung für das Gebäude bei Beginn der Sanierung welche automatisch aus der verknüpften PHPP-Datei übernommen wird. Diese beiden Werte können sich mitunter stark unterscheiden. Dies liegt daran, dass der in der Praxis häufig verwendeten Ermittlung der Heizlast nach [ÖNORM H 7500-3] zum Teil sehr konservative Annahmen wie die Vernachlässigung solarer Gewinne zugrunde liegen. In Summe liefert diese Berechnungsmethode also deutlich höhere Ergebnisse als die genauere Berechnung mit PHPP. Schon in dieser Diskrepanz liegt großes Potential, das Gebäude effizienter mit Energie zu versorgen, da ein von vorherein deutlich überdimensionierter Kessel viel öfter in ungünstigen Teillastbereichen arbeitet als ein sorgfältig dimensionierter Wärmeerzeuger.

Die als nächstes abgefragte Information, ob im bestehenden Gebäude bereits ein Pufferspeicher eingebaut ist, und dessen Größe werden später im Tabellenblatt „WW neu“ verwendet. Ob der Wärmeerzeuger auch für Warmwasserbereitung verwendet wird, wird im Tabellenblatt „WW Bestand“ indirekt verwendet dient jedoch in erster Linie der Klärung der Frage nach dem Einbauzeitpunkt der neuen Warmwasserbereitung; Wird der Wärmeerzeuger hierfür verwendet, bedingt der dessen Austausch auch den Austausch des Systems zur Warmwasserbereitung. Die Frage, ob es einen eigenen Lagerraum für Brenngut gibt, wird nur angezeigt, wenn beim Energieträger Heizöl oder Holz angegeben wurde. Bei der Auswahl von Gas, Fernwärme oder Wärmepumpe bleibt das Feld weiß. Wird die Frage mit „ja“ beantwortet, erscheint die Frage nach der Größe des Lagerraumes. Diese dient bei der späteren Auswahl des neuen Heizwärmeerzeugers im Abschnitt „Holz“ der

Überprüfung ob genügend Platz für die Lagerung der Pellets bzw. der Hackschnitzel zur Verfügung steht.

Im nächsten Abschnitt geht es um die Anschlüsse von Gas und Fernwärme. Dabei steht jeweils erst die Frage ob es einen bestehenden Anschluss gibt. Wird diese verneint, erscheint die zweite Frage, ob die Möglichkeit eines Anschlusses besteht. Diese Informationen werden im Tabellenblatt „WE Matrix“ aufgegriffen und fließen dann indirekt in die Empfehlung eines neuen Wärmeerzeugers im Tabellenblatt „WE Auswahl“ ein. Im Abschnitt „Zustand“ steht die äußerst wichtige Frage, ob der bestehende Wärmeerzeuger noch funktionstüchtig ist. Wie oben bereits erläutert, spielt der Ausfall des Bestandskessels eine wichtige Rolle. Ist der Ausfall des Kessels von vornherein Grund der Sanierungsüberlegungen und Teil der Ausgangssituation wirkt sich dies negativ auf die zu installierende Anlagengröße aus.

3.5. Wärmeübergabe Bestand

Die Erfassung der bestehenden Wärmeübergabesysteme in den verschiedenen Räumen ist der Inhalt des Tabellenblatts „WÜ Bestand“. Wenn nicht bereits größere Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, fällt der Einbau des Wärmeübergabesystems mit dem Baujahr des Gebäudes zusammen. Die Lebensdauer des eingebauten Wärmeübergabesystems wäre für die Planung der Sanierung sehr interessant, lässt sich allerdings leider nicht genau vorhersagen. Eine Hilfestellung bei der erforderlichen Annahme der Lebensdauer bietet grundsätzlich die [VDI 2067, Blatt 1], die die Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen behandelt. Diese enthält unter anderem die rechnerische Nutzungsdauer verschiedener Anlagenteile. Wichtig ist hierbei die Unterscheidung in bewegliche und unbewegliche Teile, wobei an dieser Stelle die Lebensdauer unbeweglicher Teile wie Rohrleitungen, Radiatoren und Konvektoren interessant ist. Diese wird einheitlich mit 30 Jahren angegeben. Gemessen an Werten aus der Praxis sind diese Angaben jedoch als sehr konservativ zu bewerten und von Lebensdauern von 50 Jahren kann durchaus ausgegangen werden [Pletzer, pers. Mitteilung 10.05.2017]. Dennoch sollte man sich dessen bewusst sein, dass Abweichungen von diesen Werten nach oben oder unten gut möglich sind. Eine gewisse Unsicherheit lässt sich hierbei leider nicht eliminieren.

Aufbauend auf der im Tabellenblatt „Beschreibung“ generierten Raumliste werden im nächsten Schritt für die verschiedenen Räume angegebenen, welches Wärmeübergabesystem im Bestand eingebaut ist. Dabei stehen folgende Systeme zur Auswahl:

- Plattenheizkörper
- Radiatoren
- Konvektoren
- Fußbodenheizungen

Und auch wenn diese in Bestandsgebäuden die Ausnahme bilden, der Vollständigkeit halber:

- Wandheizungen
- Deckenheizung

Sollte einzelne Systeme in den Räumen zu einem anderen Zeitpunkt installiert worden sein kann dies in der Spalte „abweichender Einbau“ vermerkt werden. Die Verwendung der angegebenen Informationen folgt im Tabellenblatt „WÜ neu“

3.6. Warmwasser Bestand

Im Abschnitt „Bedarf“ geht es im ersten Schritt um die Anzahl der Bewohner im Gebäude und die weitere Frage, ob sich diese Anzahl im Zuge der Sanierung ändern soll. Ist dies der Fall, erscheint eine weitere Frage nach der Anzahl der Personen nach der Sanierung. Der im nächsten Schritt anzugebende Warmwasserbedarf pro Person und Tag ist unterteilt in „Duschen“ und „Sonstiges“. In Einfamilienhäusern ist Duschen der Bereich mit dem größten Warmwasserverbrauch. In den Kommentaren der beiden Felder stehen die Annahmen die auch im PHPP empfohlen werden:

- 16 Liter pro Person und Tag für Duschen
- 9 Liter pro Person und Tag für Sonstiges

Die angegebenen Werte werden im Tabellenblatt „WW neu“ als Default-Werte verwendet die bei Bedarf von Werten aus einer detaillierten Ermittlung im PHPP überschrieben werden können.

Der nächste Abschnitt erfasst das eigentliche Warmwassersystem im Bestand. Als erstes gilt es auszuwählen, ob es sich dabei um ein vollständig zentrales bzw. ein vollständig dezentrales oder ob ein Teil der Verbraucher zentral und ein Teil der Verbraucher dezentral mit Warmwasser versorgt wird. Diese Angabe hat Auswirkungen an zwei Stellen. Einerseits werden bei der Angabe „vollständig dezentral“ in der unterhalb stehenden Tabelle die Spalten „zentral?“ grau eingefärbt um die Eingabe für den Nutzer übersichtlicher zu machen und andererseits ist die Angabe im Tabellenblatt „WW neu“ bei der Zuteilung zu einer der fünf Gruppen wichtig. Welche Systeme dabei konkret zum Einsatz kommen ist im nächsten Schritt anzugeben. Zur Auswahl stehen dabei:

- Heizwärmeerzeuger (Abhängig von der Angabe im Tabellenblatt „WE Bestand“)
- Elektrischer Speicher
- Elektrischer Durchlauferhitzer
- Gas-Vorratsspeicher
- Gas-Durchlauferhitzer

Und auch hier wieder der Vollständigkeit halber:

- Wärmepumpe mit Speicher

Diese Informationen werden in der Zusammenfassung am Schluss des Leitfadens zum Vergleich und zur Bewertung der Systeme vor und nach der Sanierung verwendet.

Im Anschluss wird noch abgefragt, ob im Zuge der Sanierung weitere Warmwasserverbraucher vorgesehen sind. Wird diese mit „nein“ beantwortet, werden analog zur Frage nach dem System, die Spalten „Neu“ in der unterhalb stehenden Tabelle grau eingefärbt um die Eingabe für den Nutzer weiter zu vereinfachen.

Grundlage der Tabelle, dem zentralen Element dieses Tabellenblattes, ist wieder die Raumliste. In den drei Spalten „Waschbecken/Spüle“, „Dusche“ und „Badewanne“ welche jeweils noch einmal zwei Spalten („Bestand“ und „Neu“) unterteilt sind, kann der Nutzer nun eintragen in welchen Räumen und in welchen Geschoßen die jeweiligen Verbraucher liegen. Dies erfolgt durch Markierung mit einem „x“ im betreffenden Feld. Zufolge vorheriger Eingaben grau eingefärbte Felder sind dabei von der Eingabe ausgenommen. Auf Basis dieser Angaben geschehen zwei Dinge die für den Nutzer nicht direkt ersichtlich sind:

1.) Erstellung einer gesonderten Liste mit allen Räumen im Haus in denen es Warmwasserverbraucher gibt
2.) Einteilung der Warmwasserräume in fünf Typen

Diese Typen unterscheiden sich durch die Kombination der Warmwasserverbraucher und sind die Grundlage für spätere Empfehlungen, wenn eine dezentrale Warmwasserversorgung einzelner Räume durch den Nutzer gewünscht oder technisch erforderlich ist. Die Typen ergeben sich wie folgt:

- Typ 1: Nur Waschbecken / Spüle
- Typ 2: Nur Dusche
- Typ 3: Waschbecken / Spüle + Dusche
- Typ 4: Waschbecken / Spüle + Badewanne
- Typ 5: Waschbecken / Spüle + Dusche + Badewanne

Neben der Nutzung beim Generieren von Systemvorschlägen beim Warmwasser, wird auch im Tabellenblatt „Lüftung AbZuluft“ zugegriffen. Und zwar bei der Empfehlung, welche Räume als Zuluft-, und welche Räume als Abluftzone vorgesehen werden sollten.

3.7. Lüftung Bestand

Das erste Feld in diesem Tabellenblatt, die Anzahl der Bewohner, wird automatisch aus dem Tabellenblatt „WW Bestand“ übernommen. Interessanter sind die nächsten vier Fragen. Aus den ersten beiden Fragen („Gibt es im Bestand Probleme mit

Schimmel?“ und „Gibt es im Bestand Probleme mit der Behaglichkeit / Luftqualität?“) können neben dem offensichtlichen Informationsgewinn auch gewisse Schlüsse gezogen werden:

- Gibt es lediglich mit der Behaglichkeit und der Luftqualität Probleme besteht zumindest aus Sicht der Bausubstanz kein zwingender Handlungsbedarf
- Gibt es nur Probleme mit Schimmel, nicht aber mit der Luftqualität oder der Behaglichkeit, liegt der Schluss nahe, dass die Ursache für den Schimmel eher bei baulichen Mängeln als bei der Raumluft zu suchen ist
- Gibt es sowohl mit Schimmel als auch mit der Luftqualität Probleme sollte ein auf jeden Fall ein möglicher Zusammenhang dieser beiden Umstände untersucht werden

Die dritte Frage nach dem Einbaujahr der bestehenden Fenster, wirkt sich in erster Linie natürlich auf den Einbauzeitpunkt der neuen Fenster aus; Wird dieser zu früh gewählt, verschenkt man gewissermaßen den Restwert. Der Einbau der neuen Fenster ist allerdings auch der späteste Zeitpunkt für den Einbau einer Lüftungsanlage, da die Gebäudehülle ab diesem Zeitpunkt so dicht ist, dass der nötige (hygienische) Luftwechsel nicht mehr sinnvoll nur durch Undichtheiten in der Gebäudehülle und Fensterlüftung gewährleistet werden kann. Doch auch aus der Kombination mit der Antwort auf Frage vier (Beschlagen die Fenster häufig von innen?“) indirekt mitunter weitere Informationen abgeleitet werden:

- Thermische Qualität der Fenster – wenn die Fenster häufig von innen beschlagen und sehr alt sind, lässt dies auf geringe thermische Qualität schließen
- Gewissermaßen die Dichtheit der bestehenden Gebäudehülle – wenn es trotz relativ neuer Fenster häufig zum Beschlagen kommt, kann dies ein Hinweis darauf sein, dass die Gebäudehülle bereits sehr dicht ist und der möglichst baldige Einbau einer Lüftungsanlage wichtig ist

Im Abschnitt „System“ wird noch die bestehende Form der Lüftung erfasst. In den allermeisten Fällen wird das System eine dezentrale Lüftung sein. Wird jedoch „zentrale Lüftungsanlage“ ausgewählt, werden die vier folgenden Felder grau eingefärbt und sind somit wieder von der Eingabe ausgenommen. Diese vier Felder erfassen die Lüftungsart in den verschiedenen Bereichen des Gebäudes (Wohn-,

Aufenthalts- und Schlafräume, Küche, Bad, WC). Dabei stehen folgende Systeme zur Auswahl:

- Fensterlüftung
- Abluftsystem
- Zuluftsystem

Und wieder, wenn auch unwahrscheinlich, der Vollständigkeit halber:

- Zu- und Abluftsystem ohne Wärmerückgewinnung
- Zu- und Abluftsystem mit Wärmerückgewinnung

Die Informationen der letzten vier Felder dienen in erster Linie der Beschreibung und dem Vergleich der Systeme vor und nach der Sanierung

3.8. Sanierungsschritte

Nachdem im letzten Tabellenblättern die allgemeinen Randbedingungen und die bestehende Gebäudetechnik erfasst wurden, geht es nun um die einzelnen Sanierungsmaßnahmen und deren Auswirkungen.

Im PHPP der Version 9.6 b gibt es die Möglichkeit im Tabellenblatt „Varianten“ verschiedene Varianten anzulegen, die grundsätzlich dasselbe Gebäude abbilden, sich jedoch in einzelnen Bereichen unterscheiden. Dies können Bauteilaufbauten, ebenso wie Fenster, Lüftung und andere Komponenten der Gebäudetechnik sein. Im Hinblick auf stufenweise Sanierung und deren Dokumentation und Berechnung stellt diese Funktion eine ausgezeichnete Möglichkeit dar, die energetischen Zwischenstände der Sanierung zu erfassen. Sinnvollerweise wir also für jeden Sanierungsschritt im PHPP eine Variante angelegt wodurch die schrittweise Veränderung der Heizlast und des Heizwärmebedarfs genau bestimmt werden kann.

Auf ebendiese Varianten aus der PHPP-Quelldatei greift der Leitfaden zu. Im Tabellenblatt „Sanierungsschritte“ wird jede Variante als ein Sanierungsschritt verstanden und automatisch importiert. Dabei werden folgende Werte übertragen:

- Bezeichnung der Variante – sinnvollerweise werden die einzelnen Varianten nach den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen benannt, um den Verlauf möglichst nachvollziehbar zu gestalten
- Nummer des Sanierungsschritts
- Spezifischer Heizwärmebedarf im jeweiligen Sanierungsschritt in [kWh/m²a]
- Spezifische Heizlast im jeweiligen Sanierungsschritt [W/m²]
- Energiebezugsfläche des Gebäudes in [m²]

Dies sind im Wesentlichen die für die Auswahl der Gebäudetechnik in Einfamilienhäusern relevanten Informationen. Als zusätzliche Information werden jedoch weiters auch die folgenden Werte aus dem PHPP in den Leitfaden importiert:

- Kühl- und Entfeuchtungsbedarf – dieser sollte in Einfamilienhäusern ohnehin nicht erforderlich sein
- Kühllast – auch diese sollte in Einfamilienhäuser gleich Null sein
- Übertemperaturhäufigkeit – Zeit in der die Raumtemperatur 25°C überschreitet angegeben in [%]
- PER-Bedarf in [kWh/m²a] – PER steht in diesem Fall für „Primary Energie Renewable“ [Feist & Baumgärtner 2014] und beschreibt den Gesamtbedarf Erneuerbarer Primärenergie
- Die Information, ob der „EnerPHit Classic“-Standard im jeweiligen Sanierungsschritt erreicht wird (ja/nein)

Die einzige Information die in diesem Abschnitt des Tabellenblattes vom Nutzer einzugeben ist, ist der Zeitpunkt des jeweiligen Sanierungsschritts. Im PHPP können die Sanierungsmaßnahmen grundsätzlich beliebig fein aufteilt werden um einen detaillierteren Überblick zu bekommen, welche Maßnahme wie wirksam ist. Doch dabei ist darauf zu achten, dass die Sanierungsschritte im PHPP schon chronologisch in der richtigen Reihenfolge angelegt werden sodass jeder Sanierungsschritt alle vorangegangenen Maßnahmen bereits enthält. Für die Umsetzung der geplanten Sanierungsmaßnahmen sollten die Varianten dann aber jedenfalls zu sinnvollen Gruppen zusammengefasst werden. Dies lässt sich im Leitfaden einfach bewerkstelligen indem man mehreren aufeinanderfolgenden Sanierungs-

schritten denselben Zeitpunkt zuweist. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, dass dies nur möglich ist, wenn die Varianten im PHPP durchgängig aufeinander aufbauend eingegeben wurden.

Im zweiten Teil des Tabellenblattes geht es um den voraussichtlichen Austausch des bestehenden Wärmeerzeugers, der im Bestand eingebauten Fenster und der eingebauten Wärmeübergabesysteme. Basis für die Ermittlung dieser Zeitpunkte ist naheliegenderweise der jeweilige Einbauzeitpunkt. Der Einbau des Heizwärmeerzeugers wird aus dem Tabellenblatt „WE Bestand“, der Einbau der Fenster aus dem Tabellenblatt „Lüftung Bestand“, der Einbau der Wärmeübergabesysteme aus dem Tabellenblatt „WÜ Bestand“ übernommen. Für das Jahr des Austausches des Wärmeerzeugers wird zuerst im Tabellenblatt „WE Bestand“ abgefragt, ob das bestehende System noch funktionstüchtig ist. Wenn auch nicht wünschenswert, so ist es doch nicht unwahrscheinlich, dass der Ausfall des Heizwärmeerzeugers der Anstoß zur Sanierung der Gebäudetechnik ist. In diesem Fall fällt der erforderliche Zeitpunkt um den Bestandskessel auszutauschen mit dem Sanierungsbeginn zusammen. Dies ist gewissermaßen ein Worst-Case-Szenario, da die Diskrepanz zwischen der erforderlichen zu installierenden Leistung und der am Ende der Sanierung für die Heizung des Gebäudes nötigen Leistung somit am größten ist. Ist der Wärmeerzeuger jedoch funktionsfähig, so errechnet sich der voraussichtliche Austauschzeitpunkt durch Addition des Einbauzeitpunkts und der Lebensdauer des Bestandskessels. Wie auch schon beim Tabellenblatt „WÜ Bestand“ bereits erwähnt, ist die genaue Ermittlung ebendieser im Vorhinein nicht möglich. Als Hilfestellung wurde auch hier wieder die VDI 2067 herangezogen. Diese gibt für Heizölkessel, Gasbrennwertkessel und Wärmepumpen einheitlich eine rechnerische Lebensdauer von 20 Jahren an. Diese Werte wurden durch Erfahrungswerte bestätigt [Pletzer, pers. Mitteilung 10.05.2017]. Die jeweiligen Lebensdauern sind im Kommentar zum betreffenden Feld als Empfehlung angegeben. Der übernächste Austausch des Wärmeerzeugers wird auf die gleiche Art und Weise ermittelt. Dieser ist in erster Linie dann interessant, wenn der Bestandskessel bei Sanierungsbeginn nicht mehr funktionsfähig ist, da dieser dann unter Umständen im Bereich des Sanierungsendes liegt.

Der voraussichtlich erforderliche Austausch der Wärmeübergabesysteme und der eingebauten Fenster wird auf die gleiche Art und Weise ermittelt. Was die Lebensdauer von Fenstern angeht, so schwanken die Angaben je nach Quelle recht stark. Die im Leitfaden empfohlenen Werte wurden aus dem Baukostenindex entnommen [Spielbauer 2014] und bewegen sich, je nach Material, zwischen 34 und 47 Jahren. Wie im Tabellenblatt „Lüftung Bestand“ bereits erwähnt, ist dieser Zeitpunkt auch gleichzeitig der späteste Einbauzeitpunkt für eine Lüftungsanlage. Das ermittelte Jahr für den Austausch eines Systems wird, wenn dieser rechnerisch vor dem Jahr des Sanierungsbeginns (Sanierungsstufe „Bestand“) liegt auf ebendiesen Wert gesetzt.

Ergänzend zu den importierten Werten in Tabellenform gibt es im Tabellenblatt noch zwei Diagramme. Im ersten wird der zeitliche Verlauf der Heizlast über die Sanierungsdauer hinweg dargestellt. Zusätzlich werden im Diagramm die Leistung des Bestandkessels und der voraussichtliche Austausch des Kessels sowie der voraussichtliche Tausch der Fenster und der Wärmeübergabesysteme dargestellt. Das zweite Diagramm zeigt den Verlauf des spezifischen Heizwärmebedarfs aufgetragen über die Sanierungsdauer.

3.9. Wärmeerzeuger Auswahl

An diesem Punkt im Leitfaden sind das bestehende Gebäude und die eingebauten Komponenten der Gebäudetechnik sowie der zeitliche Verlauf der Gebäudesanierung erfasst. Die folgenden Abschnitte sind der eigentliche Kern des Leitfadens. Sie behandeln die Auswahl eines neuen Heizwärmeerzeugers, eines neuen Wärmeübergabesystems, einem neuen System zur Warmwasserbereitung und die Festlegung eines neuen Lüftungskonzepts.

Das Tabellenblatt „WE Auswahl“ ist grundsätzlich in drei Teile gegliedert:

- Angabe von Präferenzen und eine daraus resultierende Empfehlung
- Vergleich der Systeme im Detail
- Auswahl eines Systems

3.9.1. Empfehlung

Um eine Empfehlung für den Wärmeerzeuger generieren zu können sind vom Nutzer zwei Fragen zu beantworten. Bei der ersten Frage („Gibt es aus irgendeinem Grund klare Präferenzen für einen bestimmten Energieträger?“) werden folgende Antwortmöglichkeiten angeboten:

- Wärmepumpe
- Holz
- Fernwärme
- Gas
- Heizöl
- Keine klaren Präferenzen

Bei der zweiten Frage („Ist Ihnen eine der drei folgenden Eigenschaften besonders wichtig?“) stehen die folgenden Optionen zur Auswahl:

- Niedrige Investitionskosten
- Niedrige Betriebskosten
- Nutzung erneuerbarer Energien
- Keine klaren Präferenzen

Das dritte Kriterium, der Gebäudestandard zum Zeitpunkt des Kesseltausches wird automatisch ausgefüllt. Dabei wird in vier Gruppen (Haustypen gemäß Energieausweis) unterteilt:

- Niedrigstenergiehaus (A) HWB < 25 kWh/m²a
- Niedrigenergiehaus (B) HWB < 50 kWh/m²a
- Altbau (C) HWB < 100 kWh/m²a
- Altbau (D) HWB > 100 kWh/m²a

Anhand dieser drei Kriterien wird aus dem Tabellenblatt „WE Matrix“, welches im Endzustand des Leitfadens ausgeblendet ist, eine Empfehlung abgerufen und dem Nutzer angezeigt. Diese enthält, abhängig von den gegebenen Antworten, den Verweis auf ein konkretes Systems oder auch mehrere Vorschläge geeigneter Wärmeerzeuger.

3.9.2. Vergleich der Systeme

Nach Ausgabe der Empfehlung kann der Nutzer die empfohlenen Systeme im Detail betrachten, mit Alternativvorschlägen vergleichen und, wenn er dies wünscht, auch nicht empfohlene Systeme im Detail begutachten und Vor- und Nachteile abwiegen. Dem Nutzer sind, unabhängig von der ausgesprochenen Empfehlung alle Informationen im Tabellenblatt zugänglich. Um der besseren Übersicht willen sind jedoch die Abschnitte mit den empfohlenen Systemen grün eingefärbt wohingegen die Abschnitte mit den nicht empfohlenen Systemen rötlich bleiben. Die Namen der folgenden Abschnitte decken sich mit den in der ersten Frage angebotenen Energieträgern.

Wärmepumpen

Hier werden die drei gängigen Wärmequellen Grundwasser, Erdreich und Außenluft verglichen. Als Wärmesenke kommt für sanierte Einfamilienhäuser eigentlich nur Wasser in Frage, da mit Luft als Heizmedium, aufgrund der deutlich geringeren Dichte und spezifischen Speicherkapazität, nur sehr geringe Leistungen in den Raum eingebracht werden können.

Bei der detaillierten Betrachtung der verschiedenen Wärmepumpenbauweisen geht es einerseits um den Vergleich der Vor- und Nachteile, bei der Wasser-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpe jedoch vor allem darum, ob die für den Einsatz erforderlichen Randbedingungen erfüllt sind. Bei der Nutzung von Grundwasser als Wärmequelle bedeutet dies in erster Linie die Klärung der folgenden Fragen:

- In welcher Tiefe liegt der Grundwasserspiegel?
- Wie ist der geotechnische Bodenaufbau?
- Gibt es Grundwasserstockwerke?
- Weist der Boden eine ausreichende Durchlässigkeit auf?
- Gibt es eventuell behördliche Vorbehalte?
- Wie ist die chemische Zusammensetzung des Grundwassers?

Die mögliche Nutzung von Oberflächenwasser aus Bächen, Flüssen oder Seen wird kurz erwähnt und nicht weiter vertieft, da dieser Fall recht selten vorkommt.

Werden Erdsonden verwendet um dem Erdreich Wärme zu entziehen, spielt der Platzbedarf eine untergeordnete Rolle. Die Sinnhaftigkeit einer solchen Erschließung ist vor allem vom Bodenaufbau abhängig und wozu es genauer geologischer Untersuchungen bedarf. Möchte man Flachkollektoren bzw. Energiekörbe nutzen um Erdwärme zu erschließen, ist der limitierende Faktor vor allem der dazu erforderliche Platzbedarf. Dieser ist wiederum sehr stark von der Bodenart am Grundstück abhängig. Der Abschätzung des Platzbedarfs eines Flachkollektors liegt die folgende Tabelle mit möglichen Entzugsleistungen zugrunde:

Bodenart	**Entzugsleistung bei 1800 h/a [W/m²]**	**Entzugsleistung bei 2400 h/a [W/m²]**
trockener Sand, Kies	8 - 12	6 -10
feuchter Sand, Kies	15 - 20	12 -16
trockener Ton, Lehm	20 - 25	15 - 20
feuchter Ton, Lehm	25 - 30	20 - 24
Wasserführende Böden	30 - 40	25 - 32

Tabelle 2: Entzugsleistungen von Flachkollektoren [Bonin 2016: 110]

Für die Ermittlung der erforderlichen Anzahl von Energiekörben und infolgedessen des Platzbedarfs wurde folgende Tabelle verwendet:

Bodenart	**Entzugsleistung [W/Korb]**
trockener Sand, Kies	120 - 180
feuchter Sand, Kies	190 - 240
trockener Ton, Lehm	240 - 310
feuchter Ton, Lehm	310 - 380
Wasserführende Böden	390 - 490

Tabelle 3: Entzugsleistung von Energiekörben [Bonin 2016: 114]

Dieser spezifischen Entzugsleistung wird die erforderliche Heizlast beim Tausch des Wärmeerzeugers gegenübergestellt. Der maßgebliche Zeitpunkt wird automatisch vorgeschlagen, kann jedoch vom Nutzer abgeändert werden um verschiedene Szenarien durchzugehen. Mit der Formel

$$A_{Koll} = \frac{P_{HL}}{P_{Koll,spez}} \tag{3}$$

wird die Mindestkollektorfläche ermittelt. Für die Energiekörbe erfolgt die Rechnung grundsätzlich analog. Pro Korb sollten mindestens 10 m² Fläche vorgesehen werden, sodass sich der letztendliche Platzbedarf für die Energiekörbe wie folgt ergibt:

$$A_{Korb,ges} = \frac{P_{HL}}{P_{Korb,spez}} \cdot A_{Korb,spez} \tag{4}$$

Dieser theoretische Platzbedarf muss nun mit der tatsächlich zur Verfügung stehenden Fläche verglichen werden. Dafür maßgebend ist die größte unverbaute, zusammenhängende Fläche rund um das Gebäude, die also frei von Nebengebäuden wie Garagen oder Gartenhütten, Terrassen, Zufahrtswegen und anderen versiegelten Flächen ist. Eine erste Kontrolle bei der die im Tabellenblatt „Beschreibung“ angegebene Gartenfläche mit der erforderlichen Fläche verglichen wird erfolgt automatisch. Nach einer, wenn erforderlich, detaillierteren Betrachtung kann vom Nutzer angegeben werden, ob der Platzbedarf ausreichend ist oder nicht. Da Luft als Wärmequelle sehr einfach zu erschließen ist, gibt es derartige Einschränkungen bei Luft-Wasser-Wärmepumpen nicht. Hierbei ist jedoch auf den Geräuschpegel im Außenbereich zu achten.

Da zu diesem Zeitpunkt die technische Machbarkeit der einzelnen Wärmepumpenarten geklärt sein sollte, werden als Abschluss des Abschnitts „Wärmepumpen“ in einer Tabelle noch einmal Vor- und Nachteile der Systeme direkt gegenübergestellt. Der Nutzer hat somit eine solide Grundlage auf deren Basis er die Entscheidung für oder gegen eine Wärmepumpe treffen kann.

Holz

Die Nutzung von Holz als Energieträger ist weniger an die, das Gebäude umgebenden, Randbedingungen gebunden als die Verwendung von Wärmepumpen. Auch was die Bandbreite der möglichen Heizleistung angeht, sind Holzheizungen sehr flexibel. Pelletkessel sind inzwischen auch schon ab sehr geringen Leistungen moduliebar erhältlich [Ökofen 2017] und auch ein Holzvergaserkessel kann in

Kombination mit einem, mitunter recht großen, Pufferspeicher für Gebäude mit geringer Heizlast sinnvoll verwendet werden. Lediglich Hackschnitzelheizungen sind aufgrund Ihrer hohen Investitionskosten und nicht beliebig klein regelbaren Leistungen erst bei recht großen Energieverbräuchen wirtschaftlich. Dies widerspricht jedoch dem Ziel der Sanierung, der weitestmöglichen Reduktion des Energiebrauch. Aus diesem Grund wird auf Hackschnitzelkessel im Leitfaden auch nicht im Detail eingegangen. Eine Voraussetzung, die für die Nutzung von Holz jedoch erfüllt sein muss, ist ein ausreichender Platz für die Lagerung der Pellets bzw. des Scheitholzes.

Für die Lagerung von Pellets bedarf es eines geeigneten Lagerraumes in unmittelbarer Nähe zum Heizkessel. Längliche Räume mit einer Breite von unter zwei Metern sind dafür ideal. Damit die Pellets von der in der Mitte des Raumes verlaufenden Förderschnecke problemlos zur Feuerung befördert werden können, ist links und rechts im Raum einen Keil erforderlich der das Lagervolumen reduziert (siehe Abbildung 3) Außerdem kann der Raum nicht bis zur Decke befüllt werden, sondern maximal zur Höhe des Einblas- und des Absaugstutzens. Unter Berücksichtigung dieser Leerräume wurde angenommen, dass zwei Drittel des Raumvolumens tatsächlich genutzt werden können. Die je Kubikmeter speicherbare Energie berechnet sich daher wie folgt:

$$Q_{Sp} = \frac{2}{3} \cdot \rho_{Sch} \cdot H_{i,P} \tag{5}$$

Diese wird mit dem jährlichen Heizwärmebedarf verglichen. Die Mindestfläche des Lagerraumes wird dann folgendermaßen berechnet:

$$A_{Raum} = \frac{HWB}{Q_{Sp} \cdot h_{Raum}} \tag{6}$$

Für die Raumhöhe wird, wenn es im Gebäude ein Kellergeschoß gibt die Raumhöhe des Kellers, wenn dies nicht der Fall ist, die Raumhöhe des Erdgeschoßes verwendet. Als nächstes wird aus dem Tabellenblatt „WE Bestand“ abgerufen, ob es einen bestehenden Lagerraum gibt und wenn ja, dessen Fläche mit der erforderlichen Fläche verglichen. Dieser Prozess kann zu drei Ergebnissen führen:

1.) Ist das Ergebnis dieser Abfrage, dass es einen Lagerraum gibt und dieser ausreichend groß ist, wird dies dem Benutzer in einem Hinweis mitgeteilt.
2.) Gibt es einen Lagerraum welcher jedoch zu klein ist, wird auch dies gemeinsam ausgegeben, gemeinsam mit dem Vorschlag, das Lager im Laufe des Jahres öfter als einmal zu befüllen oder zusätzlichen Lagerraum zu schaffen
3.) Gibt es im bestehenden Gebäude gar keinen Lagerraum, wird dem Nutzer der Vorschlag unterbreitet, einen solchen zu schaffen

Im Fall zwei und drei wird das Ergebnis gefolgt von der Frage, ob diese Lösungen im vorliegenden Fall denkbar sind und der Nutzer kann dies mit ja oder nein beantworten und hat somit die Frage beantwortet ob der Einbau eines Pelletkessels sinnvoll ist oder nicht.

Auch für die Lagerung von Scheitholz ist ein gewisser Platzbedarf erforderlich. Im Gegensatz zu einem Pelletkessel müssen die Lagerflächen aber einerseits nicht zwingend in unmittelbarer Nähe zum Holzvergaserkessel sein und können andererseits sogar auf mehrere Stellen aufgeteilt sein. Auch die Lagerung an einem trockenen Ort außerhalb des Gebäudes ist möglich. Die Klärung der Frage ob ausreichend Lagerflächen vorhanden sind verläuft analog zum Pelletlager. Der Nutzer kann zwischen Fichten- und Buchenholz wählen die sich durch ihren Heizwert unterscheiden und den Zeitpunkt angeben, den er betrachten möchte. Die für ein Jahr erforderliche Holzmenge wird mit folgender Formel ermittelt:

$$V_{Raum} = \frac{HWB}{H_{i,S}} \tag{7}$$

Scheitholzmengen werden üblicherweise in der Einheit Raummeter erfasst. Nach dieser kurzen Rechnung muss der Nutzer wieder angeben, ob dieser Lagerraum, gegebenenfalls auch aufgeteilt auf mehrere Stellen und im Freien, zu Verfügung steht und dies vermerken.

Fernwärme

Grundvoraussetzung für die Nutzung von Fernwärme ist selbstverständlich, dass entweder bereits ein Anschluss des Gebäudes an ein Fernwärmenetz besteht oder ein solcher möglich ist. Dies wird anhand der Angaben im Tabellenblatt „WE Bestand“ überprüft. Allgemein gültige Aussagen zur Umweltverträglichkeit der erzeugten Energie oder zur Preisgestaltung für den Anschluss und die bezogene

Energie lassen sich nicht treffen. Diese Faktoren können sich je nach dem Betreiber des jeweiligen Fernwärmenetzes stark unterscheiden. Auf diese Umstände wird der Nutzer auch im Leitfaden hingewiesen; Zusammen mit dem Hinweis für nähere Informationen den Betreiber des in Frage kommenden Fernwärmenetzes zu kontaktieren.

Gas

Gas, als fossiler und nicht erneuerbarer Energieträger, wird im Leitfaden nicht sehr ausführlich behandelt. Aufgrund der vergleichsweise geringen Investitionskosten und dem recht hohen Komfort sind Gaskessel weitverbreitet. Jedoch wird im Hinblick auf die Klimaziele mittel- und langfristig der Umstieg auf erneuerbare Energieträger empfohlen. Im Abschnitt „Gas“ findet der Nutzer als Hilfestellung aus diesem Grund lediglich einige Argumente die für und gegen den Einbau eines Gasbrennwertkessels sprechen.

Heizöl

Bei Heizöl als Energieträger verhält es sich grundsätzlich genau wie bei Gas. Die Problematik der Umweltverträglichkeit ist jedoch aufgrund der chemischen Zusammensetzung noch kritischer zu beurteilen. Daher wird im Leitfaden von der Nutzung von Heizöl abgeraten und dies mit einigen Argumenten untermauert.

3.9.3. Auswahl des Heizwärmerzeugers

Im dritten Teil des Tabellenblattes geht es nun nach der detaillierten Betrachtung der verschiedenen Systeme um die Auswahl des gewünschten Systems. Der Nutzer kann dabei aus den folgenden Möglichkeiten auswählen:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdkollektor
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden
- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Energiekörben
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe
- Pelletkessel
- Holzvergaserkessel
- Hackschnitzelkessel
- Fernwärme

- Gasbrennwertkessel
- Ölbrennwertkessel

In einer für den Nutzer nicht einsichtigen Tabelle ist für jeden dieser Heizwärmeerzeuger das Temperaturniveau „hoch“ oder „niedrig“ hinterlegt.

3.10. Wärmeerzeuger Matrix

Dieses Tabellenblatt ist für den Nutzer des Leitfadens nicht sichtbar, hat jedoch für die Auswahl des Heizwärmeerzeugers große Bedeutung, da die enthaltene Matrix die Grundlage der ausgesprochenen Empfehlung darstellt. Die Matrix ist dabei genaugenommen aus drei Matrizen zusammengesetzt. Diese drei Teilmatrizen unterscheiden sich nach dem Gebäudestandard bei Tausch des Heizkessels und sind Altbau (HWB > 50 kWh/m²a – hier werden die Stufe C und D aus dem Energieausweis zusammengefasst), Niedrigenergiehaus (HWB < 50 kWh/m²a – Stufe B im Energieausweis) und Niedrigstenergiehaus (HWB < 25 kWh/m²a – Stufe A im Energieausweis) Auf die Stufen A+ und A++ wird nicht näher eingegangen, da diese mit Sanierungen bei Einfamilienhäusern nur sehr schwer zu erreichen sind und die resultierende Empfehlung sich im Vergleich zum Niedrigstenergiehaus nicht grundsätzlich ändern würde.

Jede dieser Teilmatrizen ist gleich aufgebaut. Sie bestehen aus

- Vier Spalten mit den im Tabellenblatt „WE Auswahl“ wählbaren Präferenzen (Niedrige Investitionskosten, Niedrige Betriebskosten, Nutzung erneuerbarer Energien, keine klaren Präferenzen
- Sechs Zeilen mit den zur Wahl stehenden Energieträgern (Wärmepumpe, Holz, Fernwärme, Gas, Heizöl, keine klaren Präferenzen)

Die gesamte Matrix hat somit in Summe zwölf Spalten und sechs Zeilen; Somit entstehen 72 Felder. Da diese im Leitfaden, nach einblenden des Tabellenblattes, eingesehen werden können, wird an dieser Stelle nicht im Detail auf den Inhalt aller Felder eingegangen. Vielmehr sollen im Folgenden die wesentlichen hinter den Inhalten stehenden Überlegungen, Annahmen und Kriterien dargelegt werden.

Erste Grundlage war die Ermittlung der aktuellen Energiepreise. Wichtig ist die Erkenntnis, dass diese ständigen Schwankungen unterworfen und somit lediglich als Richtwerte zu verstehen sind.

Energieträger	**Kosten [ct / kWh]**
Scheitholz	3,6
Pellets	4,6
Heizöl	6,3
Erdgas	6,4
Fernwärme	8,1
Strom	18,2

Tabelle 4: Energiepreise Juli 2017 [1]

Gibt der Nutzer eine klare Präferenz für einen bestimmten Energieträger an, schränkt dies die Auswahl der Möglichkeiten erheblich ein. Bei Wärmepumpen gilt als Ausgangslage für die Empfehlung der Umstand, dass Luft-Wasser-Wärmepumpen die vergleichsweise geringeren Investitionskosten, Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen jedoch aufgrund der höheren Effizienz, die geringeren Betriebskosten aufweisen. Die höhere Effizienz macht sie auch zur ersten Wahl bei den Präferenzen „Nutzung erneuerbarer Energien“ und „keine klaren Präferenzen“.

Beim Energieträger Holz ist eigentlich ein Holzvergaserkessel, verglichen mit Pellet- und Hackschnitzelkessel, in allen vier Kategorien das zu bevorzugende System (Geringsten Investitions- und Brennstoffkosten). Der große Nachteil, der mitunter deutlich geringere Komfort in der Bedienung, führt jedoch dazu, dass in allen vier Kategorien sowohl Pellet- als auch Holzvergaserkessel, ergänzt um diese Zusatzinformation, angeführt werden.

Bei Fernwärme, Gas und Heizöl anders als bei Wärmepumpen und Holzheizungen jeweils nur ein System sinnvoll. Für Fernwärme braucht es neben einem Anschluss ans Fernwärmenetz lediglich eine Übergabestation und bei Nutzung von Gas oder Heizöl sollte auf jeden Fall ein Brennwertgerät verwendet werden. Somit hat das

[1] Quellen: Scheitholz [LKO 2017], Pellets [Pro Pellets Austria 2017], Heizöl [bmwfw 2017], Erdgas [E-Control 2017], Fernwärme [IKB 2017], Strom [E-Control 2017] LKO[2017]

zweite Kriterium in diesen drei Fällen keine weiteren Auswirkungen auf die Systemempfehlung. Werden Fernwärme oder Gas ausgewählt wird jedoch vor Ausgabe der Empfehlung überprüft, ob die nötigen Anschlüsse vorhanden bzw. möglich sind. Ist dies nicht der Fall, wird der Nutzer darauf hingewiesen.

Gibt der Nutzer keine klare Präferenz für einen bestimmten Energieträger an, werden grundsätzlich erneuerbare Energieträger empfohlen. Holz ist zweifelsfrei als solcher anzusehen. Wärmepumpen beziehen den größten Teil der gelieferten Nutzwärme von der Sonne; Sowohl die Außenluft, als auch das Erdreich und das Grundwasser werden durch die Sonne von Energie gespeist. Der zweite, deutlich kleinere, Teil kommt aus Elektrizität, deren Bezeichnung als erneuerbare Energieform zurecht kritisiert werden kann. Auch wenn in Österreich ein verhältnismäßig großer Anteil des elektrischen Stromes aus erneuerbaren Energiequellen kommt, bleibt immer noch ein Anteil aus fossilen Energieträgern [STATISTIK AUSTRIA 2016a]. Wenn nun immer größere Teile des Strombedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden, wird jedoch auch eine Wärmepumpenheizung immer umweltfreundlicher. Wie sehr Fernwärme als erneuerbare Energieform angesehen werden kann, hängt praktisch ausschließlich vom bei der Erzeugung der bereitgestellten Wärme verwendeten Energieträger ab; Die Verwendung von Biomasse ist dabei im Vergleich zu fossilen Brennstoffen als sehr positiv zu bewerten. Einzig bei der Forderung nach den geringsten Investitionskosten sind je nach Netzbetreiber der Bezug von Fernwärme oder ein Gasbrennwertgerät den anderen Systemen voraus. Lässt man den Pufferspeicher außen vor, da bei der stufenweisen Sanierung ein solcher zur Reduktion der Taktraten bei allen Wärmeerzeugern (ausgenommen Fernwärme) sehr sinnvoll ist, sind auch Holzvergaserkessel ein recht günstiges System.

Hat der Nutzer keine Präferenzen beim Energieträger, möchte jedoch möglichst niedrige Betriebskosten, bevorzugt die Nutzung erneuerbarer Energien oder hat auch bei den Eigenschaften keine klaren Präferenzen, wird eine Sole-Wasser- bzw. Wasser-Wasser-Wärmepumpe und Holz allgemein als Energieträger empfohlen.

Der energetische Gebäudestandard zum Zeitpunkt des Kesseltausches hat im Vergleich der Energieträger bei Wärmepumpen und Holz Auswirkungen sowie

wenn keine diesbezüglichen Präferenzen angegeben wurden. Im Altbau (HWB > 50 kWh/m²a, Stufe C und D) wird von Luft-Wasser-Wärmepumpen eher abgeraten. Einerseits aufgrund des, bei hohen Leistungen der Wärmepumpe, erheblichen Geräuschpegels im Außenbereich und andererseits, weil in (noch) nicht sanierten Gebäuden meist nicht überall Flächenheizsysteme verwendet werden und Luft-Wasser-Wärmepumpen bei niedrigen Außen- und hohen Vorlauftemperaturen äußerst ineffizient arbeiten. Die Empfehlungen bei Holzheizungen ändern sich bei steigendem Gebäudestandard insofern, als dass bei geringeren Energieverbräuchen und großen Pufferspeichervolumina Holzvergaserkessel zunehmend komfortabler werden, da immer seltener eingeheizt werden muss. Hierbei sei auf die entsprechende Tabelle im Tabellenblatt „WE Puffer“ verwiesen in der genau dieser Zusammenhang ersichtlich wird. Wenn der Nutzer keinen der vorgeschlagenen Energieträger bevorzugt, wird im Altbau Holz und je nach Randbedingungen Fernwärme, bei Niedrig- und Niedrigstenergiehäusern sowohl Holz als auch Wärmepumpen und Fernwärme empfohlen.

Die sich aus dem Zusammenspiel dieser genannten Kriterien und Überlegungen ergebenden Empfehlungen wurden die Felder der gesamten Matrix ausgefüllt.

3.11. Wärmeerzeuger Leistung

Nachdem mit Hilfe der Tabellenblätter „WE Auswahl“ und „WE Matrix“ ein System zur Wärmeerzeugung festgelegt wurde, geht es nun darum die Leistung auf die dieses ausgelegt werden soll. Auch wenn diese im Tabellenblatt zu zwei Abschnitten zusammengefasst sind, werden prinzipiell drei Fälle betrachtet:

- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Holzvergaser- und Hackschnitzelkessel
- Alle anderen Wärmeerzeuger

Diese Differenzierung hat zwei verschieden Gründe:

- Da Luft-Wasser-Wärmepumpen sinnvollerweise bivalent betrieben werden, bietet sich unter bestimmten Bedingungen dadurch die Möglichkeit die Leistung der Anlage im Zusammenhang mit der stufenweisen Sanierung zu optimieren

- Holzvergaser- und Hackschnitzelkessel unterscheiden sich von den anderen Wärmeerzeugern dadurch, dass die Anlagen systembedingt nicht beliebig klein erhältlich sind (Genau genommen sind auch Pelletkessel nicht beliebig, jedoch ausreichend klein erhältlich)

Der erste Abschnitt des Tabellenblattes ist unabhängig vom gewählten Heizwärmeerzeuger. Die Innentemperatur wird aus dem Tabellenblatt „Titel“, die Außentemperatur aus dem Tabellenblatt „Klima“ in der PHPP Quelldatei übernommen. Die Energiebezugsfläche und die Sanierungsschritte mit Zeitpunkt, Heizwärmebedarf und Heizlast kommen aus dem Tabellenblatt „Sanierungsschritte“. Rechts davon ist ein Sanierungsschritt zu wählen welcher den Betrachtungszeitraum festlegt (Sanierungsschritt A und B). Dieser ist für den Abschnitt „Luft-Wasser-Wärmepumpen sehr wichtig, dient bei den anderen Wärmeerzeugern jedoch nur der Information und Übersicht im Diagramm mit der Heizlast. Die Sanierungsstufe A ist dabei vom Nutzer so zu wählen, dass sie den betrachteten Zeitpunkt für den Kesseltausch beinhaltet. Der Sanierungsschritt B wird automatisch gewählt und berücksichtigt dabei, wenn mehrere Maßnahmen zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt werden.

Von den drei erwähnten Fällen wird nun mit dem einfachsten begonnen:

3.11.1. Alle anderen Wärmeerzeuger

Dies betrifft: Sole-Wasser- und Wasser-Wasser-Wärmepumpen, Pelletkessel, Fernwärme, Gas- und Ölbrennwertkessel

Wie bereits erwähnt, sind diese (praktisch gesehen) beliebig klein erhältlich, sodass auch für sehr kleine Heizlasten der Wärmeerzeuger nicht zwingend überdimensioniert werden muss. Die Festlegung der abzudeckenden Leistung ist somit sehr einfach. Auf Basis des voraussichtlichen Ausfalls des bestehenden Wärmeerzeugers kann der Nutzer den gewünschten Betrachtungszeitpunkt eingeben und erhält als Ergebnis die mindestens erforderliche Heizlast zu diesem Zeitpunkt. Die im zweiten Schritt abgefragte „Gewählte Anlagengröße“ kann dann genau mit diesem Mindestwert angesetzt werden. Bei der Auswahl einer Anlage wird empfohlen einen Kessel mit modulierbarer Heizleistung zu wählen. Dies wirkt sich sowohl im Hinblick auf die stufenweise Sanierung als auch beim Betrieb des Kessels in der

Übergangszeit, im Frühling und Herbst, günstig auf die Effizienz und Lebensdauer des Wärmeerzeugers aus.

3.11.2. Holzvergaser- und Hackschnitzelkessel

Systembedingt gibt es bei diesen beiden Wärmeerzeugern Mindestleistungen. Diese mögen für unsanierte Gebäude gut passen sind jedoch bei Erreichen der gewünschten energetischen Standards zu groß. Um diese Systeme trotzdem sinnvoll nutzen zu können, ist der Einbau eines Pufferspeichers erforderlich. Somit kann der Kessel in einem günstigeren Leistungsbereich betrieben werden und wird, wenn der Speicher „gefüllt“ ist, wieder ausgeschaltet. Die Taktraten sinken somit mit steigender Speichergröße während die Zeit in der die Heizung nicht betrieben werden muss, ansteigt. Dies ist bei Holzvergaserkesseln das entscheidende Kriterium für den Komfort bei der Bedienung der Anlage. Die Ermittlung der mindestens erforderlichen Heizleistung erfolgt völlig analog zu den anderen Wärmeerzeugern auf Basis des vom Nutzer gewählten Betrachtungszeitpunktes. Die tatsächliche Anlagengröße ist dann allerdings einerseits abhängig von den am Markt verfügbaren Kesseln und deren Leistungsspektrum und andererseits von der gewünschten Pufferspeichergröße, welche sich wiederum nach den Komfortansprüchen des Benutzers richtet. Auf diesen Zusammenhang wird der Nutzer bei Wahl eines Holzvergaser- oder Hackschnitzelkessels hingewiesen. Unter Berücksichtigung dessen kann in das vorgesehene Feld wieder die gewählte Anlagengröße eingetragen werden. Im Diagramm auf der rechten Seite werden der Verlauf der Heizlast über die Zeit, die Leistung und der voraussichtliche Ausfallzeitpunkt des Bestandskessels sowie der gewählte Betrachtungszeitaum dargestellt.

3.11.3. Luft-Wasser-Wärmepumpen

Luft-Wasser-Wärmepumpen werden sinnvollerweise bivalent betrieben. Somit sind zwei Systeme in nötig. Neben der Wärmpumpe kommt üblicherweise einfach ein Elektroheizstab zur Anwendung. Das Heizen mit Strom ist vergleichsweise teuer. Die Wahl des Bivalenzpunktes sollte daher so getroffen werden, dass über das Jahr der Anteil der mit Direktstrom erzeugten Wärme nicht zu groß ist, da sich dies negativ auf die Betriebskosten auswirkt. Eine zu groß gewählte Wärmepumpe

ist jedoch in der Anschaffung teurer; Es gibt in dieser Frage also einen optimalen Bereich. Der Grund, warum die Frage nach der optimalen Leistung beim Einbau bei stufenweiser Sanierung nicht ganz einfach zu beantworten ist, ist, dass dieser optimale Bereich sich im Zuge der Sanierung verschiebt. Soll beim Ausfall des Wärmeerzeugers, dieser durch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe ersetzt werden, hat man zwei Möglichkeiten:

- Wahl der Wärmpumpenleistung und des Bivalenzpunktes so, dass diese an die erforderliche Heizlast zum Zeitpunkt des Ausfalls angepasst sind (analog zu allen anderen behandelten Heizwärmeerzeugern)
- Anpassung der Wärmepumpenleistung und des Bivalenzpunktes an das Leistungsniveau des nächsten Sanierungsschrittes; Dadurch können die Investitionskosten für die Anlage reduziert werden. Die Betriebskosten in der Übergangszeit bis zum nächsten Sanierungsschritt erhöhen sich dadurch jedoch unter Umständen erheblich, da ein größerer Teil der erzeugten Wärme durch Direktstrom erzeugt wird.

Ob die Anpassung an das niedrigere Leistungsniveau wirtschaftlich sinnvoll ist, hängt dabei vor allem von der Dauer der zu überbrückenden Zeitspanne bis zum nächsten Sanierungsschritt ab; Je kürzer diese ist, desto besser. Im Leitfaden erfolgt die Beantwortung dieser Frage nach dem folgenden Schema ab:

- Auswahl der zwei zu vergleichenden Wärmepumpenmodelle
- Bestimmung der Bivalenzpunkte
- Ermittlung der Jahresdauerlinie
- Berechnung der zusätzlichen Betriebskosten der kleineren Wärmepumpe
- Vergleich mit den zusätzlichen Investitionskosten der größeren Wärmpumpe

Es sei darauf hingewiesen, dass der Betrachtungszeitraum vermutlich nicht die gesamte Lebensdauer des neuen Heizwärmeerzeugers abdeckt. Über einen so langen Zeitraum wären jedoch auch die der Wirtschaftlichkeitsanalyse zugrunde gelegten Energiepreise kaum absehbar. Die angestellten Überlegungen sind somit wieder in erster Linie als Hilfestellung zu verstehen und sollten nicht unreflektiert übernommen werden.

Auswahl von zwei Wärmepumpen

Bei der Auswahl der zu vergleichenden Wärmepumpen kann aus einer bestehenden Liste ausgewählt werden. Die Wärmepumpen die bereits eingegeben wurden decken dabei das für Einfamilienhäuser übliche Leistungsspektrum ab. Bei Bedarf kann die Liste jedoch auch beliebig erweitert werden. Für die in der Datenbank hinterlegten Modelle werden jeweils die Heizleistung, die elektrische Leistung und die Leistungszahl COP bei einer Wassertemperatur von 35°C und einer Lufttemperatur von -15, -7, 2, 7 und 10°C abgerufen und die benötigten Werte für den Heizlastfall linear interpoliert. Die Heizleistung hängt lediglich von der elektrischen Leistung und der Leistungszahl ab. Die elektrische Leistung ist bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen variabel und wird üblicherweise bei höheren Außentemperaturen verringert um die Kennlinie der Pumpe der Gebäudekennlinie anzupassen [Feist 2017]. Die Leistungszahl ergibt sich aus den physikalischen Verhältnissen in der Wärmepumpe und dient daher als Basis der Ermittlung der interpolierten Leistung. Die interpolierte Leistungszahl wird mit der interpolierten elektrischen Leistung multipliziert wodurch sich eine sehr gute Annahme für die Heizleistung im Heizlastfall ergibt.

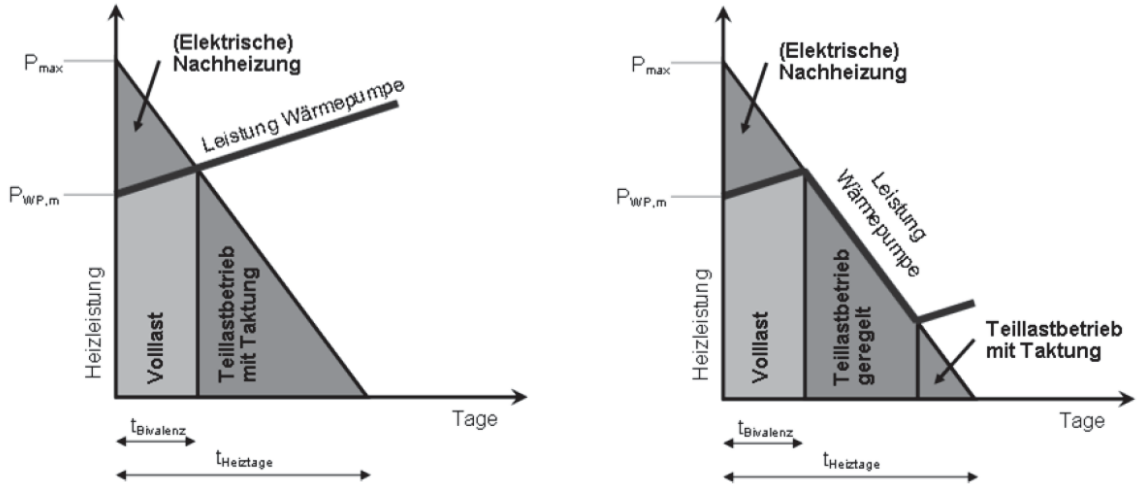


Abbildung 8: Kennlinie einer Wärmepumpe mit nicht drehzahlgeregeltem Kompressor (links) und mit drehzahlgeregeltem Kompressor (rechts) [Feist 2017]

Bestimmung der Bivalenzpunkte

Neben der Wärmepumpenkennlinie benötigt man für die Ermittlung der Bivalenzpunkte auch die Gebäudekennlinie (oder auch Heizkurve). Diese richtet sich einerseits nach der Heizlast und andererseits nach der Außen- und Innentemperatur im Heizfall. Dabei gibt es zwei Extremfälle

- Die Heizlast ist erforderlich bei der kältesten Außentemperatur
- Keine Heizung ist erforderlich, wenn die Außentemperatur gleich der Innentemperatur ist

Zwischen diesen beiden Fällen wird ein linearer Verlauf angenommen. Der Bivalenzpunkt der Wärmepumpe liegt genau im Schnittpunkt dieser Gebäudekennlinie mit der Wärmepumpenkennlinie (siehe Abbildung 9) Im Leitfaden erfolgt diese Berechnung mithilfe eines Makros.

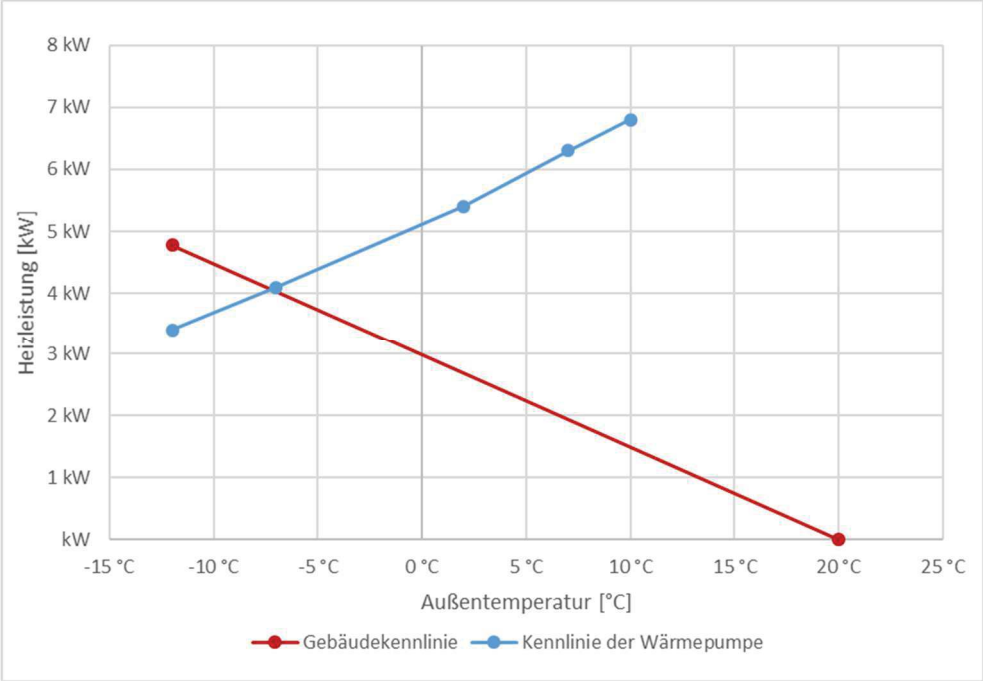


Abbildung 9: Ermittlung des Bivalenzpunktes [Hauser 2017]

Dabei wird die Kennlinie der Wärmepumpe als abschnittsweise Funktion linear definiert und im Anschluss der Schnittpunkt mit der ebenfalls linearen Gebäudeheizkurve mit einer Zielwertsuche iterativ ermittelt. Anfänglich waren die weiteren Berechnungen und die Darstellung in den Diagrammen direkt an die bei der Zielwertsuche variablen Zellen gebunden, was zu nicht unwesentlichen Rechenzeiten

führte. Um die Berechnung zu beschleunigen, wurde die Struktur so geändert, dass die Temperaturen der Bivalenzpunkte erst am Ende der Zielwertsuche durch das Makro an die, für die weitere Berechnung verwendeten Zellen übergeben werden. Diese Berechnung der Bivalenzpunkte erfolgt in Summe viermal; Für beide Wärmepumpenmodelle und jeweils für beide vom Betrachtungszeitraum abhängigen Gebäudeheizkurven. Wird eine der ausgewählten Wärmepumpen geändert, jedoch nicht erneut die Berechnung der Bivalenzpunkte durchgeführt, wird der Nutzer auf diesen Umstand hingewiesen. Auch diese Funktion ist Teil des Makros.

Ermittlung der Jahresdauerlinie

Für die Berechnung der benötigten Heizenergien wird die Jahresdauerlinie der Heizung benötigt. In einem Diagramm dargestellt, ist dabei auf der Ordinate die Heizlast aufgetragen und auf der Abszisse die Anzahl der Stunden im Jahr in denen die jeweilige Heizlast überschritten wird. Zur Bestimmung der Jahresdauerlinie wird im ersten Schritt mithilfe des im PHPP ermittelten Heizwärmebedarf die in Summe über das Jahr erforderliche Heizwärme berechnet. Die Fläche unter der Jahresdauerlinie entspricht diesem Gesamtheizwärmebedarf. Die Heizdauer ergibt sich daher aus folgender einfachen Formel:

$$t_{Heiz} = \frac{2 \cdot HWB}{P_{HL}} \tag{8}$$

Mithilfe der im letzten Schritt ermittelten Temperatur des Bivalenzpunktes kann die Leistung beim Bivalenzpunkt ermittelt werden und somit ist auch die Lage des Bivalenzpunktes auf der Jahresdauerlinie schnell bestimmt und zwar durch Gleichsetzen der Geradengleichung der Jahresdauerlinie mit der Leistung beim Bivalenzpunktes. Ein zweiter wichtiger Punkt, der Heizlastfall, kann ebenfalls einfach in das Diagramm eingetragen werden da die Heizlast des Gebäudes definitionsgemäß an null Stunden im Jahr überschritten wird. Diese beiden Punkte werden vereinfacht linear verbunden. Bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen trifft diese Näherung zwar oft nicht exakt zu, da die Pumpenkennlinie nicht eine einfache Gerade ist, jedoch hat diese Vereinfachung keine große Auswirkung auf das Ergebnis und wird daher als zulässig betrachtet.

Zusätzlich Betriebskosten der kleineren Wärmepumpe

Die die beiden Punkte verbindende Gerade teilt die Fläche unter der Jahresdauerlinie in zwei Teile. Die Fläche des unteren Teils entspricht der jährlichen Energiemenge die durch die Wärmepumpe bereitgestellt wird; Die Fläche des oberen Teils jener Heizwärme die direkt mittels Strom erzeugt wird. Aus dem Verhältnis der Flächen ergibt sich der prozentuelle Anteil der Energie die durch Strom gedeckt wird. Mithilfe des im unteren Bereich des Tabellenblattes angegebenen Strompreises in Euro pro kWh werden die zusätzlichen jährlichen Stromkosten der einzelnen Wärmepumpen sowie die Differenz zwischen den gewählten Modellen berechnet. Der verwendete Strompreis pro kWh kann dabei vom Nutzer bei Bedarf an seinen Stromanbieter angepasst werden.

Im nächsten Schritt geht es um den Betrachtungszeitraum. Bei der Wahl des Beginnes ebendessen werden dem Nutzer mehrere Möglichkeiten geboten:

- Voraussichtlicher Ausfall des Bestandskessels
- Vor dem voraussichtlichen Ausfall des Kessels, mit der Option einen Zeitpunkt anzugeben
- Nach dem voraussichtlichen Ausfall des Kessels, mit der Option einen Zeitpunkt anzugeben
- Der erste, im obersten Abschnitt des Tabellenblattes gewählte, Sanierungsschritt A

Bei den ersten drei Optionen wird überprüft, ob diese im auf den oben gewählten Sanierungsschritten definierten Betrachtungszeitraum liegt, und der Nutzer gegebenenfalls hingewiesen, einen früheren oder späteren Sanierungsschritt zu wählen. Das Ende des Betrachtungszeitraumes ist das Ende des Sanierungsschritts B.

Nun, da die Differenz der jährlichen Stromkosten im Betrieb der beiden Wärmepumpen während beider Sanierungsstufen sowie die Dauer ebendieser bekannt sind, können die zusätzlichen Stromkosten im Falle der Installation der kleineren Wärmepumpe bestimmt werden. Da die Zahlung dieser zusätzlichen Kosten regelmäßig über einen längeren Zeitraum hinweg geschieht, ist es wichtig, für den Kos-

tenvergleich den Barwert dieser Zahlung zu verwenden. Die über die Jahre entstehenden Gesamtkosten werden somit mithilfe des Barwertfaktors gemäß [Olfert 2003] berechnet:

$$K_0 = k \cdot \frac{(1+z)^n - 1}{z \cdot (1+z)^n} \tag{9}$$

Der dabei verwendete Kalkulationszinssatz bzw. die angenommene Inflation kann vom Nutzer angepasst werden. Der für bei der Berechnung berücksichtigte Zeitraum ist nach obenhin mit 20 Jahren begrenzt.

Zusätzliche Investitionskosten der größeren Wärmepumpe

Der so ermittelte Barwert muss nun mit den zusätzlichen Investitionskosten bei Einbau der größeren Wärmepumpe verglichen werden. Die Ermittlung dieser, durch Vergleich verschiedener Anbieter, obliegt dem Nutzer. Die Frage die dieser im Anschluss zu beantworten hat ist, ob diese Differenz kleiner oder größer als der Barwert der Differenz der zusätzlichen Betriebskosten der kleineren Wärmepumpe. Ist die Differenz kleiner, so ist es ratsam, die größere Wärmepumpe einzubauen; Ist die Differenz größer empfiehlt sich die Installation der kleineren Wärmepumpe. Zum Schluss kann der Nutzer auf Basis dieser Empfehlung wählen, welche und wann die Wärmepumpe letztlich eingebaut werden soll.

Ganz unten im Tabellenblatt sind noch die beiden Gebäudeheizkurven und die Wärmepumpenkennlinien in einem sowie die beiden Jahresdauerlinien in einem zweiten Diagramm dargestellt um die Berechnungen auch optisch möglichst schnell auf deren Sinnhaftigkeit überprüfen zu können.

3.12. Wärmeerzeuger Puffer

Ein Heizwärmeerzeuger wird auf die niedrigste Temperatur im Jahr ausgelegt, arbeitet jedoch den größten Teil des Jahres nur im Teillastbereich. Dies führt besonders in der Übergangszeit, wenn im Gebäude nur eine geringe Heizleistung erforderlich ist, zu hohen Taktraten. Dies geht einerseits zu Lasten der Effizienz und erhöht andererseits die Emissionen bei der Verbrennung. Außerdem führt dies besonders bei Wärmepumpen zu stark erhöhtem Verscheiß. Ein Pufferspeicher hat die Aufgabe die Taktraten des Wärmeerzeugers zu reduzieren und somit diese

negativen Effekte zu verringern. Dies ist speziell bei der stufenweisen Sanierung wichtig, da der Heizwärmeerzeuger mit fortschreitender Sanierung mehr und mehr überdimensioniert ist. Um den neuen Wärmeerzeuger möglichst gut an den Endzustand der Sanierung anpassen zu können, ist daher anzustreben, mit dessen Einbau so lange wie möglich zu warten. Gibt es im System einen ausreichend großen Pufferspeicher, kann auch ein überdimensionierter Wärmeerzeuger über längere Zeiten in einem günstigen Leistungsbereich betrieben werden.

Grundlage für die Auslegung des Pufferspeichers sind die Leistung des bestehenden Wärmeerzeugers und die Änderung der Heizlast im Laufe der Sanierung. Wenn es einen bestehenden Pufferspeicher gibt, kann der Nutzer Basis seiner Angaben aus dem Tabellenblatt „WE Bestand“ entscheiden, ob er diesen weiterverwenden oder einen neuen einbauen möchte. Gibt es im bestehenden Gebäude keinen Pufferspeicher und der Nutzer möchte trotzdem keinen Pufferspeicher einbauen, erscheint der dringliche Hinweis, dies doch zu tun, da sonst der Energieverbrauch und Emissionen ansteigen während die Lebensdauer des Wärmeerzeugers sinkt. Die Nutzung von Fernwärme stellt dabei eine Ausnahme dar, da in diesem Fall kein Pufferspeicher im Gebäude erforderlich ist. Dies wird im Leitfaden auch berücksichtigt.

Bei der Wahl des Speichervolumens ist es empfehlenswert über die Nutzung des Pufferspeichers nach Einbau des neuen Wärmeerzeugers nachzudenken, da dann das nicht mehr so viel Speichervolumen nötig ist. Eine Möglichkeit ist die Kombination mit Photovoltaik und die Nutzung zur Warmwasserbereitung. Weiters wird der Nutzer darauf hingewiesen, zu beachten wie der Speicher zum vorgesehenen Aufstellungsort kommt. Dies kann im Bestand durchaus ein Ausschlusskriterium sein.

Nach der Wahl des Speichervolumens geht es um den angestrebten Temperaturbereich im Speicher. Als unterer Wert werden 30°C als oberer Wert 85°C empfohlen. Dies ist natürlich davon abhängig, ob der Wärmeerzeuger ein so hohes Temperaturniveau sinnvoll erreichen kann. Aus diesen Angaben wird die speicherbare Energiemenge berechnet. Da sich das erreichbare Temperaturniveau beim Austausch des Wärmeerzeugers ändern kann, gibt es die Möglichkeit für den Zeitraum

vor und nach dem Kesseltausch unterschiedliche Temperaturen im Speicher anzugeben. Die Berechnungen beziehen sich lediglich auf die im Pufferspeicher gespeicherte Energie; Durch Flächenheizsysteme genutzte Speichermassen im Gebäude fließen hier nicht ein.

Damit die Ergebnisse anschaulicher werden, wird in einer Tabelle angegeben, wie groß in den verschiedenen Sanierungsphasen die Beladezeit des Speichers ist, wenn der Kessels bei Volllast läuft. Im Vergleich dazu, wird auch die Zeit angegeben die das Gebäude im Heizlastfall mit der gespeicherten Energie versorgt werden kann. Da dieser Extremfall nur während sehr kurzen Zeiträumen im Jahr vorkommt, wird in einer zweiten Tabelle rechts davon angegeben, wie viele Stunden die gespeicherte Energie bei den jeweiligen Monatsdurchschnittstemperaturen das Gebäude mit Heizwärme versorgen kann. Die Werte werden zudem farblich abgestuft dargestellt. Diese Tabelle ist sehr gut geeignet, um den Komfort eines Holzvergaserkessels im Laufe der Sanierung abzuschätzen. In den Sommermonaten sind dies eher theoretische Werte, da einerseits zeitweise gar kein Heizbedarf besteht und die Verluste im Verhältnis zu der tatsächlich genutzten Energie deutlich zunehmen.

Dieses Tabellenblatt ist durchaus dazu gedacht, mehrere Varianten durchzuspielen und speziell bei der Überlegung einen Holzvergaserkessel einzubauen die Wechselwirkung mit der Kesselleistung und dem Komfort darzustellen und verständlicher zu machen.

3.13. Wärmeübergabe neu

Die Entscheidung, welches Wärmeübergabesystem zum Einsatz kommt hängt zu einem großen Teil vom neuen Heizwärmeerzeuger ab. Ist dieser eine Wärmepumpe, ist für den sinnvollen Betrieb die Verwendung von Flächenheizsystemen praktisch eine Voraussetzung. Aber auch beim Einsatz von Wärmeerzeugern die nicht an ein niedriges Temperaturniveau gebunden sind, ist die Verwendung von Flächenheizsystemen aus Behaglichkeits- und Hygienegründen ratsam. Diese Hilfestellung wird dem Nutzer in Abhängigkeit vom gewählten Heizwärmeerzeuger angezeigt.

Im Abschnitt „Abgabeleistung“ kann auf Basis der Raumtemperatur und der Oberflächentemperatur des Flächenheizsystems die Abgabeleistung ermittelt werden. Ist diese geringer als die Heizlast, wird die Zelle rot eingefärbt und seitlich erscheint ein Hinweis.

Für den Austauschzeitpunkt können grundsätzlich zwei Fälle maßgebend sein, auf die der Nutzer, abhängig davon welcher eintritt, hingewiesen wird:

- Erreichen der Lebensdauer des Wärmeübergabesystems selbst; In diesem Fall ist das System sofort zu tauschen
- Austausch des Heizwärmeerzeugers

Arbeitet der bestehende Kessel auf einem hohen Temperaturniveau und der neue Wärmeerzeuger ist eine Wärmepumpe, bedingt dies den gleichzeitigen Umstieg auf Flächenheizsysteme; Ist der Betrieb des neuen Wärmeerzeugers jedoch auch auf einem hohen Temperaturniveau möglich, kann der empfohlene Umstieg grundsätzlich auch problemlos zu einem späteren, vom Nutzer gewählten Zeitpunkt erfolgen. In Abhängigkeit von diesem, werden der Sanierungsschritt in dem dieser liegt mit Anfang und Ende sowie die zugehörige Heizlast ausgegeben.

Ein weiterer Aspekt ist in diesem Zusammenhang zu beachten. Wenn der bestehende Wärmeerzeuger auf einem hohen, während der neue Wärmeerzeuger auf einem niedrigen Temperaturniveau arbeitet, bedingt dies bei der Nutzung eines Wärmeübergabesystems auf niedrigem Temperaturniveau bei der Installation jeweils unterschiedliche hydraulische Schaltungen. Wenn nun der Austausch der Wärmeübergabesysteme vor dem des Wärmeerzeugers erfolgt, so ist der spätere Umbau der eingebauten Verrohrung erforderlich. In diesem Fall gibt es drei Möglichkeiten:

- Vorzeitiger Austausch des Wärmeerzeugers, gemeinsam mit den Wärmeübergabesystemen
- Wahl eines neuen Wärmeerzeugers der ebenfalls auf einem hohen Temperaturniveau arbeitet. Der Umbau der hydraulischen Schaltung ist dann nicht erforderlich
- Der Umbau der hydraulischen Schaltung und die daraus resultierenden Kosten werden in Kauf genommen

Tritt besagte Konstellation auf, wird dem Nutzer dies kurz erklärt und die drei Handlungsoptionen werden ausgegeben. Fällt die Entscheidung auf eine der beiden ersten Möglichkeiten, so geht der Nutzer in entsprechende Tabellenblatt und ändert entweder den gewählten Wärmeerzeuger oder den Einbauzeitpunkt; Der Hinweis verschwindet dann. Wird jedoch über den Hinweis hinweggegangen, so wird dies später im Tabellenblatt „Zusammenfassung“ als Entscheidung für die dritte Option gewertet.

Der Abschnitt „Systemwahl“ beginnt mit einem Hinweis zu Wandheizungen. Wenn im Bestand die Außenwände aus sehr gut leitenden Materialien wie Stahlbeton oder massiven Ziegeln bestehen, ist es nämlich möglich, das Wärmeübergabesystem einfach auf der Gebäudeaußenseite unter der Wärmedämmung zu montieren und die bestehende Wand als Wärmeübergabefläche im Raum zu verwenden. Dies hat den großen Vorteil, dass auf der Innenseite keine großen Arbeiten durchzuführen sind, bedingt jedoch, dass zum Zeitpunkt der Montage noch keinerlei Dämmschichten aufgebracht wurden, weder im Zuge früherer Sanierungen noch früherer Sanierungsschritte. Eine solche Maßnahme ist somit schon rechtzeitig zu planen und umzusetzen. In der nächsten Zelle werden dem Nutzer dann auf Basis seiner Angaben aus dem Tabellenblatt „Beschreibung“ die Stockwerke angegeben, in denen diese Art der Wandheizung grundsätzlich denkbar ist.

Das Kernstück des Tabellenblattes ist die Tabelle im unteren Teil. In ihr werden die Räume im Gebäude mit den bestehenden Wärmeübergabesystemen und deren voraussichtlicher Austausch ebenso wie die Raumflächen und die daraus resultierenden, mindestens erforderlichen Abgabeleistungen angegeben. Systeme die auf ein hohes Temperaturniveau angewiesen sind, werden farblich markiert. In der Spalte „Neues System“ kann der Nutzer aus einer Liste auswählen, welches System eingebaut werden soll. Die angebotenen Systeme sind:

- Fußbodenheizung
- Wandheizung
- Deckenheizung
- Plattenheizkörper
- Radiator
- Konvektor

Mithilfe der im Abschnitt „Abgabeleistung“ gemäß [Pfafferott et al. 2015: 75f] ermittelten Werte wird bei Wahl einer Flächenheizung auch die erforderliche Heizfläche berechnet. Bei der Nutzung von Wandheizungen ist darauf zu achten, dass im Raum entsprechend große freie Wandflächen zur Verfügung stehen müssen. Gibt der Nutzer an eine Wandheizung einbauen zu wollen, erscheinen daher ein diesbezüglicher Hinweis und die Frage ob diese Flächen auch tatsächlich zur Verfügung stehen. Beantwortet der Nutzer diese Frage mit „nein“, wird empfohlen die maximale Oberflächentemperatur im Abschnitt „Abgabeleistung“ zu erhöhen oder ein anderes Flächenheizsystem zu wählen. In der Spalte „Heizen durch Außenwand?“ kann der Nutzer dann noch angeben, ob er die oben beschriebene Möglichkeit der Montage der Wandheizungen an der Gebäudeaußenseite nutzen möchte.

3.14. Warmwasser neu

Grundlage des neuen Systems zur Warmwasserbereitung ist der tägliche Warmwasserbedarf. Dieser kann wahlweise aus dem Tabellenblatt „WW Bestand“ übernommen werden oder in der PHPP-Quelldatei im Detail berechnet werden; In diesem Fall ist auch die Berücksichtigung einer Abwasserwärmerückgewinnung möglich. Die auf diese Art ermittelten Bedarfswerte werden dann automatisch in den Leitfaden übernommen. Das Verhältnis zwischen täglichem Warmwasserbedarf und der Pufferspeichergröße hat lediglich informativen Charakter. Der Wert wird im Hinblick auf eine mögliche spätere Nutzung des Pufferspeichers im Zusammenhang mit der Warmwasserbereitung angegeben. Auf Basis der von Nutzer änderbaren Temperaturen von Kalt- und Warmwasser und dem täglichen Bedarf wird die pro Tag erforderliche Energiemenge berechnet. Welche Leistung zur Erwärmung des Wassers erforderlich ist, richtet sich nach der Zeit in der dies geschehen soll. Das Feld kann durch den Nutzer beliebig angepasst werden. Wird ein System verwendet, das kontinuierlich den ganzen Tag über arbeitet, ist dazu nur eine sehr kleine Leistung erforderlich. Ein Grund, hier eine größere Leistung als unbedingt nötig zu wählen kann sein, an einem sonnigen Tag das Warmwasser für mehr als einen Tag erwärmen und dann speichern zu wollen.

Auf der rechten Seite findet der Nutzer eine Liste mit den für die zentrale und dezentrale Warmwasserbereitung in Frage kommenden Systemen.

Zentrale Warmwasserbereitung:

- Nutzung des Heizwärmeerzeugers
- Wärmepumpe, idealerweise in Kombination mit Photovoltaik
- Thermische Solaranlage
- Gasbrennwertgerät

Dezentrale Warmwasserbereitung:

- Elektrischer Durchlauferhitzer, eventuell mit Abwasserwärmerückgewinnung
- Elektrischer Speicher
- Gasdurchlauferhitzer
- Gasbeheizter Speicher

Nach einem kurzen Hinweis darauf, dass eine zentrale Warmwasserbereitung geringerer Wartung bedarf und sich besser mit der Nutzung solarer Energie kombinieren lässt, für die dezentrale Warmwasserbereitung jedoch weniger Verrohrungsaufwand besteht und sich einfacher nachrüsten lässt, kann der Nutzer wählen, welche Art von System er anstrebt. Zur Auswahl stehen dabei drei Möglichkeiten:

- Hin zu einem möglichst zentralen System
- Hin zu einem möglichst dezentralen System
- Beibehalten des bestehenden Systems

Da es beim bestehenden System drei verschiedene Möglichkeiten gibt (vollständig zentral, vollständig dezentral und ein Teil zentral, ein Teil dezentral) ergeben sich in Summe fünf zu behandelnde Fälle.

Solare Energie kann sowohl mit Photovoltaik als auch mit Solarthermie genutzt werden. Bei der Kombination einer PV-Anlage mit einer Wärmepumpe ist der Ertrag der beiden Systeme vergleichbar groß. Photovoltaik kann auch zur Erzeugung von Haushaltsstrom, Solarthermie zur Heizungsunterstützung verwendet werden. Dem Nutzer steht die Wahl offen, welches der beiden Systeme er verwenden

möchte. Die Antwort im dafür vorgesehenen Feld wirkt sich im Laufe dieses Tabellenblattes an mehreren Stellen auf die angebotenen Auswahlmöglichkeiten aus; Bei der Nutzung solarer Energie wird dann entweder das eine oder das andere System vorgeschlagen. Und auch die Antwort auf die nächsten beiden Fragen reduziert die Anzahl der Antwortmöglichkeiten im späteren Verlauf und schafft so etwas mehr Übersicht. Dabei kann ausgewählt werden, ob Strom, Wärmepumpe und die Nutzung solarer Energie oder Gas als Energieträger zur Warmwasserbereitung bevorzugt werden. Als letzte Vorbereitung kommt, abhängig von der getroffenen Auswahl, noch der Hinweis, ob der Heizwärmeerzeuger auch zu Warmwasserbereitung geeignet ist und die Frage, ob dieser auch dafür genutzt werden soll.

Wenn schon ein Pufferspeicher vorgesehen ist, bietet es sich an, dessen obersten ein Volumen zur Speicherung von Energie zur Warmwassergewinnung vorzusehen. Die Erwärmung des genutzten Warmwassers erfolgt dann über einen Wärmetauscher. Die Größe des Volumens hängt vom täglichen Warmwasserbedarf, von der Wassertemperatur im Speicher, von der Nutzung solarer Energie und davon ab, über welchen Zeitraum die Energie gespeichert werden soll. Der Nutzer kann entscheiden, ob der Pufferspeicher oder ein separater Speicher zu diesem Zweck verwendet werden soll. Wünscht er einen separaten Speicher, so muss im nächsten Schritt über dessen Größe entschieden werden. Im Zuge einer späteren Erweiterung des Leitfadens ist an dieser Stelle auch noch eine genaue Dimensionierung nach DIN 4708 denkbar.

Wie schon im Tabellenblatt „WE Auswahl“ besteht der folgende Teil des Tabellenblattes aus mehreren Abschnitten von denen jedoch nur einer bearbeitet werden muss. Aufgrund der bisherigen Angaben wird dieser Abschnitt in der Übersicht grün eingefärbt, während die anderen Abschnitte rot bleiben. Die Grundideen bei der Warmwassersystementwicklung sind:

- Unterstützung bei der Auswahl des Energieträgers sowie des wärmeerzeugenden Systems bei zentraler Versorgung
- Raumweise Empfehlungen für die Warmwasserbereitung bei dezentraler Versorgung auf Basis der im Tabellenblatt „WW Bestand“ definierten Warmwasserraumtypen

Die diese raumweisen Empfehlungen sehen, um die Energieträgerpräferenzen bereinigt, wie folgt aus:

Typ	Abnehmer	Empfehlung
1	Wb	Untertischspeicher oder Durchlauferhitzer
2	Du	Kleiner Speicher oder Durchlauferhitzer (mit Abwasserwärmerückgewinnung)
3	Wb + Du	Gemeinsamer Speicher oder Durchlauferhitzer (mit Abwasserwärmerückgewinnung)
4	Wb + Bw	Gemeinsamer Speicher, Abwasserwärmerückgewinnung für die Dusche
5	Wb + Du + Bw	Gemeinsamer Speicher, Abwasserwärmerückgewinnung für die Dusche

Tabelle 5: Empfehlungen für dezentrale Warmwasserversorgung [Hauser 2018]

Möglichst zentrales System wird angestrebt

Dieser Fall ist der aufwändigste und baut auf einem mehrstufigen Frageblock auf. Ziel ist es einen Platz im Gebäude zu finden, von dem aus alle Warmwasserverbraucher mit einer Leitungslänge von unter fünf Metern vom zentralen Warmwasserspeicher aus versorgt werden können. Dabei können mehrere Fälle auftreten:

- Im besten Fall können ist diese Forderung erfüllt, wenn der Warmwasserspeicher im Raum des Wärmeerzeugers steht
- Ist dies nicht möglich, so wird nach einem anderen Aufstellungsort gesucht für den diese Bedingung erfüllt ist. Dabei ist sowohl auf den unmittelbaren Platzbedarf des Speichers als auch darauf zu achten, ob sich der Speicher an diesen Ort bringen lässt (Türgrößen, Platz im Gang und Stiegenhaus, etc.)
- Gibt es keinen solchen Platz im Gebäude, so sollte der Speicher an jener Stelle platziert werden, an der dieser Forderung am ehesten nachgekommen werden kann. In diesem Fall sind dann in der erscheinenden Liste jene

Warmwasserverbraucher einzutragen die weiter als fünf Meter vom Speicher entfernt sind; Badwannen sind davon ausgenommen, da etwas größere Leitungslängen in diesem Fall kein wirkliches Problem darstellen. Diese verbleibenden Abnehmer müssen dann dezentral versorgt werden. Nachdem sie in die angebotene Liste eingetragen wurden, erhält der Nutzer einen auf den Präferenzen und dem Warmwasserraumtyp basierenden Vorschlag. Im letzten Schritt wählt können dann aus unter Berücksichtigung dessen die warmwassererzeugenden Systeme gewählt werden.

- Zu guter Letzt muss der Nutzer noch ein System auswählen mit dem der zentral erwärmte Teil des Warmwassers bereitgestellt werden soll. Die zur Auswahl stehenden Möglichkeiten werden dabei aufgrund der oberhalb eingegebenen Präferenzen vorgefiltert.

Möglichst dezentrales System wird angestrebt

In diesem Fall ist die Vorgehensweise einfacher als vorher. Der Nutzer erhält gleich zu Beginn, für alle Räume in denen sich ein Warmwasserabnehmer befindet, einen Systemvorschlag der nach demselben Prinzip wie zuvor generiert wird und wählt dann im zweiten Schritt die gewünschten Systeme aus.

Beibehalten des bestehenden Systems – vollständig zentral

Wünscht der Nutzer das bestehende System beizubehalten ist der einfachste Fall, wenn im Bestand alle Abnehmer zentral versorgt werden. Die einzige dann zu klärende Frage ist dann nämlich, mit welchem System das Warmwasser bereitgestellt werden soll. Auch hier wird der Übersichtlichkeit halber aufgrund bisheriger Angaben eine Vorauswahl getroffen. Optional können auch ein zweites und drittes System ausgewählt werden.

Beibehalten des bestehenden Systems – vollständig dezentral

Die Auswahl der Systeme erfolgt völlig analog zum Abschnitt „Möglichst dezentrales System angestrebt“

Beibehalten des bestehenden Systems – ein Teil zentral, ein Teil dezentral

Die Lösungsfindung beginnt mit der Auswahl des Systems mit dem der zentral erwärmte Teil des Warmwassers bereitgestellt wird; Wieder mit der Option, ein zweites und drittes System einzubauen. Der Umgang mit den dezentral versorgten

Abnehmern läuft wieder wie im Abschnitt „Möglichst dezentrales System angestrebt“ ab.

Der letzte Abschnitt behandelt den Einbauzeitpunkt. Bei dessen Festlegung sind in erster Linie die folgenden beiden Fragen von Bedeutung:

- Wird der Heizwärmeerzeuger im Bestand oder nach der Sanierung zur Warmwasserbereitung verwendet?
- Ist eine Photovoltaikanlage oder eine solarthermische Anlage vorgesehen die zur Warmwasserbereitung genutzt werden soll?

Die erste Frage wird unmittelbar aus den bisherigen Angaben des Nutzers abgefragt. Für die Beantwortung der zweiten Frage ist es erforderlich, erst das folgende Tabellenblatt „Photovoltaik – Solar“ auszufüllen und dann nochmals zu diesem Punkt zurückzukehren; Dieser Hinweis wird dem Nutzer auch angezeigt. Die Tabellenblätter wurden trotzdem in der vorliegenden Reihenfolge angeordnet, damit sich der Nutzer zum Zeitpunkt der Frage, ob Solarenergie genutzt werden soll, bereits Gedanken über den Rahmen einer solchen Nutzung gemacht hat.

Nach dem Ausfüllen des nächsten Tabellenblattes kann auch die zweite Frage beantwortet werden und abhängig davon wird eine Empfehlung für den Einbauzeitpunkt ausgegeben. Diese ist:

- wenn beide Fragen mit „ja“ beantwortet wurden, der jeweils frühere Einbauzeitpunkt der beiden Systeme
- wenn nur eine Frage mit „ja“ beantwortet wurde, der Einbauzeitpunkt des jeweiligen Systems
- wenn beide Fragen mit „nein“ beantwortet wurden der Hinweis, dass der Einbauzeitpunkt der Warmwasserbereitung dann weitestgehend unabhängig von den anderen Komponenten gewählt werden kann

Im letzten Feld kann der Nutzer dann den Einbauzeitpunkt festlegen.

3.15. Photovoltaik – Solar

Im diesem Tabellenblatt werden keine Berechnungen durchgeführt. Es dient in erster Linie dazu, die Wünsche des Nutzers in Bezug auf die Nutzung von Photovoltaik und Solarthermie zu erfassen.

Im ersten Abschnitt wird der Nutzer darauf hingewiesen, dass eine Photovoltaikanlage in Kombination mit einer Wärmepumpe zur Warmwasserbereitung und zur Raumheizung sowie zur Gewinnung von Haushaltsstrom verwendet werden kann. Anschließend, kann er wählen, ob und wofür er eine Photovoltaikanlage verwenden möchte. Ist der Einbau einer Anlage vorgesehen, so kann deren Ertrag in der PHPP-Quelldatei im Tabellenblatt „PV“ ermittelt werden. Die Ergebnisse werden dann automatisch in den Leitfaden importiert.

Dasselbe Prozedere wird beim Umgang mit der Solarthermie verwendet. Nachdem der Nutzer entschieden hat, ob er eine solarthermische Anlage wünscht und ob diese zur Warmwasserbereitung, zur Heizungsunterstützung oder zu beiden Zwecken verwendet werden soll, kann im PHPP (Tabellenblatt „SolarWW“) der Ertrag der Anlage ermittelt werden. Die wichtigsten Ergebnisse werden dann wieder in den Leitfaden übernommen. In beiden Abschnitten wird, wenn die Anlage nicht gewünscht wird, der Rest des Abschnitts aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgeblendet.

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass die Berechnungen nur einmal, und zwar im PHPP, durchgeführt werden müssen und dort auch in allen weiteren Berechnungen verwendet werden können.

Wann die Photovoltaikanlage bzw. die solarthermische Anlage eingebaut wird hängt in erster Linie von den Wünschen und vom finanziellen Rahmen des Nutzers ab. Grundsätzlich ist der Einbau jederzeit möglich, jedoch ist es sinnvoll damit zumindest bis zum Einbau des neuen Heizwärmeerzeugers zu warten. Die Leistungsspitzen vom neuen Wärmeerzeuger die der Pufferspeicher dann dämpfen muss sind deutlich geringer. Und auch die während der Sanierung kontinuierlich sinkende Heizlast führt dazu, dass ein immer geringeres Volumen im Pufferspeicher für den Ausgleich der Heizleistungsspitzen erforderlich ist. Je später im Sanierungsverlauf die Anlage also eingebaut wird, desto besser ist es möglich ein

Teilvolumen des schon bestehenden Pufferspeichers zur Speicherung solarer Energie zu nutzen und die Anschaffung eines zweiten Speichers zu umgehen. Steht für die Speicherung der solar gewonnenen Energie ein zu kleines Volumen zur Verfügung, ist es sehr schwer, die Anlage wirtschaftlich zu betreiben. Der Einbau eines separaten Speichers führt zwar zu höheren Kosten, die Entscheidung über den Einbauzeitpunkt des PV- bzw. Solaranlage kann dann jedoch weitestgehend unabhängig vom Rest der Gebäudetechnik getroffen werden. Soll die Anlage am Dach montiert werden, ist auch der Zustand des Daches und eine gegebenenfalls geplante Sanierung dessen zu berücksichtigen. Diese Überlegungen sollten auch in die Entscheidung für eine bestimmte Pufferspeichergröße einfließen.

Im Abschnitt „Einbauzeitpunkt“ kann der Nutzer daher die Kollektorfläche eingeben, mit der das Speichervolumen beladen werden soll, und erhält einen Richtwert für die Speichergröße. Im nächsten Feld gilt es dann zu entscheiden ob der schon vorgesehene Pufferspeicher oder ein neuer, separater Speicher verwendet werden soll oder ob die Photovoltaikanlage nur zur Erzeugung von Haushaltsstrom gewünscht ist und daher kein Warmwasserspeicher notwendig ist. Es folgt die Frage, wann der neue Speicher eingebaut werden soll und, wenn ein neuer Speicher eingebaut werden soll die Entscheidung über dessen Größe.

Wenn eine Photovoltaikanlage installiert werden soll, kann der Nutzer angeben, ob er zur Speicherung elektrischer Energie einen Batteriespeicher einbauen möchte und wenn ja, welche Größe dieser haben soll.

3.16. Lüftung System

Wie auch schon bei der Behandlung des neuen Wärmeerzeugers, ist die Auswahl des neuen Lüftungssystems im Gebäude auf zwei Tabellenblätter aufgeteilt. In diesem, dem ersten, geht es darum, dem Nutzer die Vorteile einer Lüftungsanlage bewusst zu machen und die grundsätzliche Frage zu klären, ob eine zentrale oder eine dezentrale Lüftungsanlage eingebaut werden soll.

Begonnen wird dabei mit den beiden, aus den Angaben zu Luftqualität und Schimmel im Tabellenblatt „Lüftung Bestand“, gezogenen Schlüssen. Als nächstes folgen dann die Hinweise, dass eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung den Heizwärmebedarf des Gebäudes erheblich senken kann und spätestens mit dem

Einbau der neuen Fenster die Gebäudehülle so dicht ist, dass der Einbau einer Lüftungsanlage jedenfalls erforderlich ist. Es folgt der Vergleich von zentraler und dezentraler Lüftungsanlage mithilfe je einer Liste mit Vor- und Nachteilen.

Zentrale Lüftungsanlage

Vorteile:

- Höhere Luftqualität möglich (vor allem interessant für Allergiker)
- Geringerer Geräuschpegel in den Räumen
- Bessere Wärmerückgewinnung, dadurch energieeffizienter
- Deutlich geringerer Wartungsaufwand

Nachteile:

- Bei der Sanierung nicht immer sinnvoll umsetzbar
- Erfordert aufwändigerre Planung
- Keine Einzelraumregelung

Dezentrale Lüftungsanlage

Vorteile:

- Gut standardisierbare Lösung
- Für Sanierungen sehr gut geeignet
- Einzelraumregelung möglich

Nachteile:

- Geringere Wärmerückgewinnungsgrade
- Höhere Geräuschpegel (Gerät in jedem Raum)
- Erheblich größerer Wartungsaufwand

Abhängig vom Grundriss und der Raumanordnung zueinander können bei einer dezentralen Lüftungsanlage jedoch auch Räume lüftungstechnisch zusammengefasst und somit die Anzahl der erforderlichen Geräte reduziert werden.

Als weitere Entscheidungshilfe werden noch fünf Voraussetzungen angeführt um die Sinnhaftigkeit einer zentralen Lüftungsanlage besser beurteilen zu können. Der Nutzer kann die Fragen mit „ja“ oder „nein“ beantworten kann. Diese Antworten haben keine direkten Auswirkungen in Berechnungen, sondern dienen dazu die

Entscheidungsfindung zu dokumentieren und nachvollziehbar zu machen. Die zu klärenden Fragen sind:

- Gibt es einen zentralen Erschließungsraum in jedem Geschoß?
- Lassen die Raumhöhen (besonders) im Erschließungsbereich ein teilweises Abhängen der Decke zu um die Lüftungskanäle zu führen?
- Gibt es einen geeigneten Platz an dem ein Rohrleitungsschacht über alle Geschoße geführt werden kann?
- Ist ausreichend Platz zum Aufstellen eines zentralen Lüftungsgeräts vorhanden?
- Ist der Geräuschpegel eines zentralen Lüftungsgeräts an diesem Platz störend?

Es folgt auf Basis der gelieferten Informationsgrundlage die Frage, ob eine zentrale oder eine dezentrale Lüftungsanlage eingebaut werden soll. Entscheidet sich der Nutzer für eine zentrale Anlage, so wird er darauf hingewiesen, dass dazu eine detaillierte Planung unumgänglich ist und diesbezüglich ein Fachplaner zu konsultieren ist. Möchte der Nutzer eine dezentrale Lüftungsanlage einbauen, kann er im nächsten Tabellenblatt unter Anleitung selbst ein erstes Lüftungskonzept erstellen.

Im Abschnitt „Einbauzeitpunkt“ kann der Nutzer dann unter Berücksichtigung des spätesten Austauschs der Fenster den Zeitpunkt der Installation festlegen.

3.17. Lüftung Ab- und Zuluft

Nachdem die grundsätzliche Systemwahl im letzten Tabellenblatt getroffen wurde, geht es nun um die für die Dimensionierung erforderlichen Volumenströme und die Festlegung von Zuluft-, Abluft- und Überströmungszonen im Gebäude.

Die Ermittlung des Auslegungsvolumenstroms erfolgt noch unabhängig davon, ob sich der Nutzer für eine zentrale oder eine dezentrale Lüftungsanlage entschieden hat. Dabei können grundsätzlich drei Kriterien maßgebend sein, die analog zu der Ermittlung im PHPP [Feist 2016] überprüft werden :

- Abluftbedarf
- Frischluftbedarf
- Hygienischer Mindestluftwechsel

Abluftbedarf

Dieser richtet sich nach den Ablufträumen im Gebäude. Je nach Nutzung ist jeweils eine bestimmte Mindestabluftmenge erforderlich. Der Gesamtabluftbedarf ergibt sich aus der Summe dieser Abluftmengen. Diese Ermittlung erfolgt im Leitfaden automatisch und basiert einerseits auf den, den Raumnamen zugeordneten Eigenschaften und andererseits auf den im Tabellenblatt „WW Bestand“ definierten Warmwasserraumtypen. Auch Räume die nicht als Bäder in der Raumliste angeführt sind, jedoch eine Dusche oder Badewanne enthalten werden somit in dieser Berechnung berücksichtigt.

Die verwendeten Werte für den Abluftbedarf sind in der folgenden Tabelle angeführt. Da der Leitfaden auf dem PHPP basiert, werden dieselben Abluftvolumenströme wie sie dort, im Tabellenblatt „Lüftung“, angesetzt. In der Spalte „Grundlage“ in Tabelle 6 wird angegeben, auf welcher Basis der Abluftstrom im Leitfaden festgelegt wird.

Raum	**Abluftbedarf**	**Grundlage**
Küche	60	Raumbezeichnung
Bad	40	Typ 4 und 5
Bad (nur Dusche)	20	Typ 2 und 3
WC	20	Raumbezeichnung

Tabelle 6: Abluftbedarf der einzelnen Räume [Hauser 2018]

Frischluftbedarf

Der Frischluftbedarf für das Gebäude wird in Abhängigkeit der Anzahl der im Gebäude wohnenden Personen ermittelt. Dabei wird von einem Frischluftbedarf von 30 m^3 pro Person und Stunde ausgegangen. Der Gesamtfrischluftbedarf ergibt sich dann einfach aus dem Produkt der Personenanzahl und diesem spezifischen Frischluftbedarf.

Hygienischer Mindestluftwechsel

Der hygienische Mindestluftwechsel ist, wie auch im PHPP [Feist 2016] empfohlen, mit 0,3 Luftwechseln pro Stunde festgelegt. Die im Tabellenblatt „Beschreibung“

angegebenen Raumflächen und zugehörigen Raumhöhen werden automatisch ermittelt und im Anschluss mit den 0,3 Luftwechseln pro Stunde multipliziert. Der sich ergebende Luftwechsel hat dann auch die Einheit [m³/h]

Der größte der drei auf diese Art ermittelten Werte ist maßgebend für die Auslegung der Lüftungsanlage. Der Nutzer kann, wenn gewünscht auch einen höheren Wert vorgeben. Rechts von diesem Feld kann noch eine gewünschte Mindestluftwechselrate angegeben werden; Diese wird später für die Berechnung der Volumenströme benötigt.

Der nun folgende Abschnitt des Tabellenblattes unterstützt den Nutzer bei der Festlegung der Zuluft-, Abluft- und Überströmungszonen und wird ausgeblendet, wenn der Nutzer eine zentrale Lüftungsanlage einbauen möchte. Kernelement des Abschnitts ist eine Tabelle mit den Räumen im Gebäude in der der Nutzer den Räumen eine Zone im Lüftungskonzept zuweisen kann. Dabei stehen die folgenden Möglichkeiten zur Auswahl:

Z	**Zuluft**
Ü	Überströmung
A	Abluft
Z + A	Zu- und Abluft
P	Pendellüfter

Tabelle 7: Arten von Lüftungszonen [Hauser 2018]

Die einfachste Lösung ist, in jedem Raum ein eigenes Lüftungsgerät zu installieren (Z + A). Die hat zwar den Vorteil, dass jeder Raum einzeln regelbar ist, jedoch steigen mit der Anzahl der Lüftungsgeräte die Investitionskosten und der Wartungsaufwand. Daher ist es erstrebenswert, wo möglich, Räume sinnvoll zusammenzufassen und mit einem Gerät mehr als einen Raum zu versorgen. Dabei sollte das Lüftungsgerät in dem Raum aufgestellt werden in dem es weniger stört (v.a. im Hinblick auf den Geräuschpegel - meist im Abluftraum). Der zweite Raum wird dann durch einen Lüftungskanal mit dem Gerät verbunden. Die Länge und der Verlauf des Kanals sind die Kriterien nach denen entschieden wird ob ein Zusammenschluss sinnvoll ist.

Die Luft kann entweder direkt durch eine Öffnung in der gemeinsamen Wand überströmen, durch eine Öffnung in einer dazwischenliegenden Tür (dabei jeweils den Schallschutz beachten) oder indirekt über den gemeinsamen Erschließungsraum. Diese Variante ist zu bevorzugen, da somit auch der Erschließungsraum mit Luft versorgt wird der Schallschutz leichter gewährleistet werden kann.

Sollte es in einem Erschließungsraum tatsächlich nicht möglich sein, ihn als Überströmzone mit Luft zu versorgen, kann ein eigenes Gerät mit Lüftungskanälen nach außen eingebaut werden. Alternativ können auch in zwei Räumen, die beide an den Erschließungsraum grenzen, Pendellüfter installiert werden.

Einzelne, abgelegene Räume können lüftungstechnisch auch mittels aktiver Überströmung mit einem anderen Raum gekoppelt werden. In einer gemeinsamen Tür oder Wand werden bei diesem System ein Zuluft- und ein Abluftventilator installiert die kontinuierlich die Luft zwischen den Räumen austauschen. Die beiden Räume werden dann lüftungstechnisch wie ein einziger behandelt.

Als Unterstützung werden dem Nutzer zwei Arten von Empfehlungen angeboten. Die erste findet sich direkt in der zu bearbeitenden Tabelle in der Spalte „Empfehlung“ und gibt dem Nutzer einen Ratschlag, welcher Zone die verschiedenen Räume üblicherweise zugeordnet werden. Diese Empfehlung basiert auf den Raumbezeichnungen; Jedem Raum wurde im Vorhinein diese Information zugewiesen. Die getroffenen Annahmen sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Raumbezeichnung	**Zone**
Heizraum	Z
Gang / Flur	Ü
Gang / Flur / Stgh	Ü
Bad	A
WC	A
Küche	A
Esszimmer	Z
Wohnküche	Z+A
Wohnzimmer	Z
Aufenthaltsraum	Z

Arbeitszimmer	Z
Schlafzimmer	Z
Kinderzimmer	Z
Abstellraum	A
Werkstatt	A
Lager	A (Z)

Tabelle 8: Empfehlungen für Lüftungszonen [Hauser 2018]

Diese Empfehlung wird durch eine zweite Hilfestellung ergänzt die auch die Lage der Räume zueinander berücksichtigt. Diese Information kann, wenn die Auflistung der Räume im Tabellenblatt „Beschreibung“ wie vorgesehen ausgefüllt wurde, aus der Reihenfolge in der Raumliste abgeleitet werden; In der Liste aufeinanderfolgende Räume grenzen dann aneinander. Rechts von der auszufüllenden Tabelle befindet sich eine weitere Tabelle, in der automatisch generierte, konkrete Vorschläge angeführt werden, wie verschiedene Räume lüftungstechnisch zusammengefasst werden könnten. Dabei werden immer nebeneinanderliegende Räume mithilfe der Tabelle (oben) gezielt auf bestimmte Konstellationen untersucht:

- Räume zusammenfassen - Abluftraum und angrenzender Zuluftraum
- Kaskadenlüftung - Zwei Zulufträume die nicht gleichzeitig benutzt werden; Die Luft wird im ersten Zuluftraum eingeblasen und im zweiten abgesaugt (z.B. Schlafzimmer und Aufenthaltsraum)
- Erweiterte Kaskadenlüftung - Zwei Zulufträume die nicht gleichzeitig benutzt werden und ein Abluftraum. Die Luft wird dann im ersten Zuluftraum eingeblasen, überströmt den zweiten Zuluftraum und wird im Abluftraum abgesaugt. (z.B. Schlafzimmer, Aufenthaltsraum und Bad)

Neben den hier automatisch generierten Vorschlägen für stockwerksweises Zusammenfassen von Räumen, kann es durchaus auch sehr sinnvoll sein, übereinanderliegende Räume zusammenzufassen. Ob dies möglich ist, hängt einerseits wieder von der dazu erforderlichen Leitungsführung ab und andererseits davon, ob die Luft über den Erschließungsraum und das Stiegenhaus frei strömen kann; Dies ist dann möglich, wenn sich in diesem Bereich keine Türen befinden. Da diese Art des Zusammenschlusses von Räumen noch deutlich mehr vom Grundriss ab-

hängt als das stockwerksweise Zusammenfassen, wird es in diesem Fall dem Nutzer überlassen, analog zu den vom Leitfaden generierten Vorschlägen, eigene Lösungsvorschläge zu finden. Gibt es für einen Raum mehr als einen Vorschlag, wie dieser mit anderen Räumen verbunden werden könnte, werden diese in den dafür vorgesehenen Spalten ausgegeben. Bei der Anzeige wird dabei die erweiterte Kaskadenlüftung vor der Kaskadenlüftung und dem Zusammenfassen von Ab- und Zuluftraum priorisiert.

Die vom Leitfaden automatisch generierten Vorschläge können, abhängig vom tatsächlichen Grundriss sowie und nicht im Detail erfasster Randbedingungen, sinnvoll oder nicht sinnvoll sein. Dies ist vom Nutzer jeweils im Einzelfall zu entscheiden. Die Anzahl der möglichen Kombinationen ist, besonders wenn man auch stockwerkübergreifend denkt, sehr hoch. In keinster Weise kann daher bei den Vorschlägen Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden.

Beim Eintragen der Lüftungszonen in die Tabelle ist für jeden Raum auch anzugeben, welches Gerät diesen mit Luft versorgt. Auf diese Weise ist auch festgelegt, welche Räume zusammengefasst werden. Bei Überströmungszonen kann es sein, dass diese von mehr als einem Ventilator überströmt wird. In diesem Fall, sind in der Spalte „Gerät Nr.“ die Option „mehrere“ auszuwählen und im rechten Teil der Tabelle die betreffenden Geräte anzugeben.

Auf Basis der ausgefüllten Tabelle werden im unteren Abschnitt des Tabellenblattes die Volumenströme in den einzelnen Räumen ermittelt. Dabei werden die einzelnen Räume bzw. die durch ein Gerät gekoppelten Räume nochmals im Detail betrachtet zwei Fälle unterschieden:

- Der Abluftbedarf eines Raumes definiert den Volumenstrom für sich und alle daran gekoppelten Räume.
- Wird von einem Gerät kein Abluftraum mit vorgegebenem Abluftstrom versorgt, wird auf Basis der, im ersten Abschnitt des Tabellenblattes angegebenen, Mindestluftwechselrate, und dem Luftvolumen der zusammengefassten Räume der zu fördernde Volumenstrom ermittelt.

Für jeden Raum wird dann, abhängig von der oberhalb zugewiesenen Zone, in der Spalte „Zuluft“, „Überströmt“, „Abluft“ oder „Pendellüfter“ der zugehörige Volumen-

strom angegeben. Zusammenfassend sind in der Tabelle rechts davon für alle Geräte die Anzahl der versorgten Räume und der in Summe geförderte Volumenstrom angeführt. Diese können dann direkt für die Wahl eines geeigneten Lüftungsgeräts verwendet werden.

3.18. Zusammenfassung

Im letzten Tabellenblatt des Leitfadens sind vom Nutzer keine Angaben mehr erforderlich. Sinn und Zweck dieser Zusammenfassung ist es, getätigte Eingaben gesammelt überprüfen zu können und die Zusammenhänge nochmals möglichst übersichtlich und kompakt aufzubereiten. Aus diesem Grund wurden nur die wesentlichen Daten und Angaben in die Zusammenfassung aufgenommen.

Sollten Korrekturen erforderlich sein, so sind diese in den jeweiligen Tabellenblättern durchzuführen. Felder im Protokoll mit dem Inhalt „#NV“ oder „#Wert“ können ein Hinweis auf unvollständige Eingaben sein und sind zu überprüfen.

Obwohl viel Wert daraufgelegt wurde, die Informationen auf möglichst engem Raum wiederzugeben, gibt es aufgrund der vielen Varianten und Wahlmöglichkeiten beim Bearbeiten des Leitfadens einige Abschnitte die abhängig von den gewählten Systemen frei von Text und Diagrammen sind. Diese Stellen können jedoch mithilfe der seitlichen Gruppierungen ausgeblendet werden um das Protokoll in der gedruckten Version ansehnlicher zu machen.

Der wichtigste Abschnitt befindet sich im Tabellenblatt oben auf der rechten Seite; Der Sanierungsfahrplan für die Gebäudetechnik mit den Einbauzeitpunkten der Gebäudetechnikkomponenten und der Sanierungsschritte in tabellarischer Form und deren Darstellung in einem Diagramm. In der gedruckten Version bildet dieses Blatt den Abschluss. Links neben dieser Tabelle befindet sich eine Schaltfläche die mit einem weiteren Makro verknüpft ist. Dieses ordnet die Einträge der Tabelle chronologisch. Die Schriftfarben der Gebäudetechnikkomponenten in der Tabelle korrespondieren, der Übersicht halber, mit den Farben der Linien im Diagramm. Die Verwendung eines Makros zum Sortieren der Einträge hat gegenüber einer automatischen Sortierung mit dem Befehl KKLEINSTE den Vorteil, dass die Schriftfarbe der einzelnen Einträge an den Inhalt und nicht die Position in der Liste

gebunden ist. Die einzelnen Komponenten haben in der Liste somit immer die ihnen zugeordnete Farbe

Die Zusammenfassung ist nach den Elementen der Gebäudetechnik gegliedert und umfasst jeweils den Bestandszustand und den Zustand nach der Sanierung. Das Protokoll besteht aus den folgenden Abschnitten; In Klammern jeweils die Tabellenblätter aus denen dabei die wesentlichen Informationen entnommen werden.

- Allgemeines (Allgemeines)
- Gebäude (Beschreibung)
- Räume (Beschreibung)
- Sanierungsverlauf (Sanierungsschritte)
- Heizwärmeerzeuger (WE Bestand, WE Auswahl, WE Leistung)
- Pufferspeicher (WE Puffer)
- Wärmeübergabe (WÜ Bestand, WÜ neu)
- Warmwasser (WW Bestand, WW neu)
- Nutzung solarer Energie (PV – Solar)
- Lüftungsanlage (Lüftung Bestand, Lüftung System, AbZuluft)
- Sanierungsfahrplan Gebäudetechnik

Nach dem Durcharbeiten und Ausfüllen des Leitfadens hat der Nutzer nun gewissermaßen Informationen auf drei Ebenen zur Verfügung:

1.) Diese Zusammenfassung, im Speziellen der kompakte Sanierungsfahrplan am Ende, gibt schnell Auskunft darüber, während welcher Sanierungsschritte die verschiedenen Systeme der Gebäudetechnik einzubauen sind.
2.) Detailliertere Informationen können dann gleich unmittelbar dem Protokoll entnommen werden.
3.) Sollten dennoch Aspekte unklar sein, so können die getroffenen Entscheidungen jederzeit in den jeweiligen Tabellenblättern genau nachvollzogen werden.

Auch für Außenstehende ist der Weg der Entscheidungsfindung somit gründlich dokumentiert und bei Bedarf schrittweise nachvollziehbar.

IV EINFAMIIENHAUS AM GIESSEN

1 Allgemeines

Im nun folgenden, dritten Abschnitt dieser Arbeit wird der entwickelte Leitfaden exemplarisch auf ein reales Projekt angewendet.

Das behandelte Gebäude befindet sich im Westen von Innsbruck. Es handelt sich dabei um ein freistehendes Einfamilienhaus in einer Siedlung und wurde um das Jahr 1955 erbaut. Das Gebäude ist eines der vom Forschungs- und Innovationsnetzwerk Alpines Bauen behandelten Mustergebäude und daran werden sowohl Sanierungsmaßnahmen, als auch Messungen durchgeführt um eine Validierung der prognostizierten und gewünschten Sanierungsergebnisse zu ermöglichen.

Die Anwendung des Leitfadens zur Auswahl der Gebäudetechnik erforderte einiger Vorarbeiten. Am Beginn standen neben einer Bestandsaufnahme die Erhebung der Wünsche des Bauherrn sowie sanierungsrelevanter Informationen mithilfe eines vorgefertigten Fragebogens. Die unmittelbare Basis für den Leitfaden stellten dann das ausgefüllte PHPP mit den verschiedenen Sanierungszwischenstufen dar.

2 Bestand

Das behandelte Einfamilienhaus befindet sich am Gießen, einer Siedlung im Westen Innsbrucks in unmittelbarer Nähe zum Flughafen. An einer Seite grenzt das Grundstück an einen kleinen Park mit einigen großen Bäumen. Die Nachbargrundstücke an den anderen drei Seiten sind ebenfalls mit freistehenden Einfamilienhäusern bebaut.

Erbaut wurde das Gebäude um das Jahr 1955. Neben dem Erdgeschoß und dem ersten Obergeschoß gab es ein nicht bewohntes Dachgeschoß und ein Kellergeschoß, das aufgrund der geringen Raumhöhe von nur rund 1,90 m ebenfalls nicht zu Wohnzwecken verwendet wurde. Der derzeitige Besitzer erwarb das Gebäude im Jahr 2016 und möchte dieses nun umfassend sanieren.

Im Jahr 1983 wurden im Dachgeschoß bereits Wärmedämmung und eine Dachluke eingebaut. Seither wird dieses auch als Wohnraum genutzt und folglich auch beheizt. Ein Ziel der Sanierung war, den Keller umzubauen und somit besser nutzbar zu machen. Auf der Westseite des Gebäudes gibt es einen Wintergarten der mit der Wohnküche verbunden ist, daher innerhalb der thermischen Hülle liegt und somit auch beheizt wird.

Das Gebäude ist auf Streifenfundamenten gegründet. Die Außenwände bestehen im Keller aus Stahlbeton und im Erd- und Obergeschoß aus massivem Mauerwerk. Das Dach ist ein Satteldach und mit Ziegeln eingedeckt. Die bestehenden Fenster haben einen Kunststoffrahmen, sind zweifach verglast, mit Außenrollläden ausgestattet und wurden im Jahr 2000 eingebaut.

Im Bestand wird das Gebäude durch eine Zentralheizung mit Wärme versorgt, welche im Jahr 2005 installiert wurde; Die Lagerung des Öls erfolgt zurzeit in zwei Tanks mit je 1000 Litern Fassungsvermögen im Heizraum. Als Wärmeübergabesysteme kommen im gesamten Haus Radiatoren zu Anwendung. Die Warmwasserbereitung erfolgt im Erd- und Obergeschoß mithilfe eines elektrischen Boilers. Dieser hat ein Volumen von 205 Litern und ist aktuell im Badezimmer im Erdgeschoß positioniert. Im Dachgeschoß gibt es außerdem noch ein Waschbecken, welches mit einem Durchlauferhitzer versorgt wird. Gelüftet wird im Bestand mittels Fensterlüftung; In der Küche gibt es einen Dunstabzug.

3 Sanierungsmaßnahmen

3.1. Bestand

Die Sanierungsmaßnahmen werden anhand des in Abbildung 10 dargestellten Querschnitts durch das Gebäude gezeigt. Bei den beschriebenen Maßnahmen wurde lediglich auf die energetischen Sanierungsmaßnahmen eingegangen und die bauliche Vertiefung des Kellers als gegeben betrachtet. Im energetischen Grundzustand sind die Außenwände gegen Außenluft mit 7 cm expandiertem Polystyrol (EPS) und das Dach mit 8 cm Mineralwolle gedämmt.

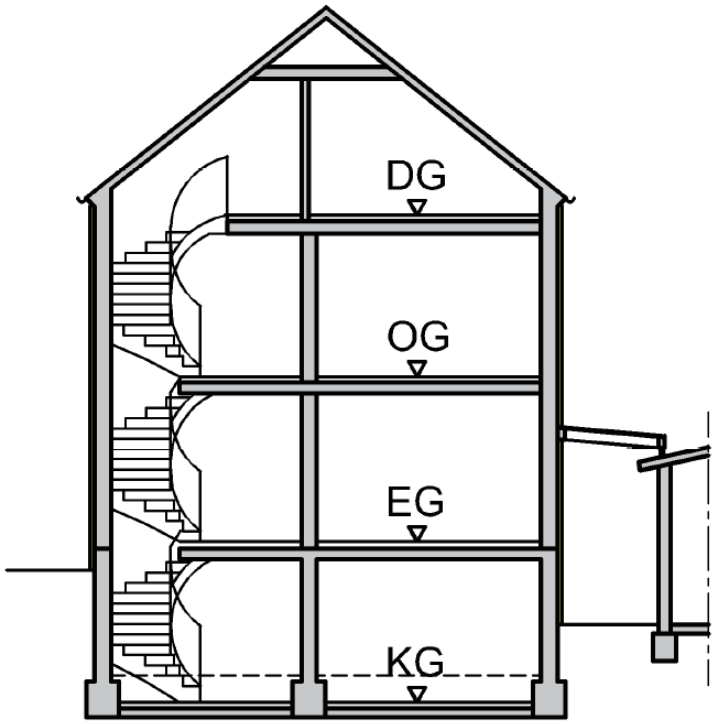


Abbildung 10: Querschnitt im Bestand [Eigene Abbildung]

3.2. Sanierungsstufe 1

In der ersten Sanierungsstufe wird die Bodenplatte zwischen den Streifenfundamenten im Keller entfernt und abgegraben und im Zuge dessen, 30 cm Schaumglasschüttung unter der neuen Bodenplatte eingebracht und verdichtet. Außerdem

werden an der Kellerwandinnenseite 15 cm Kalziumsilikatplatten bis zur Geländekante angebracht.

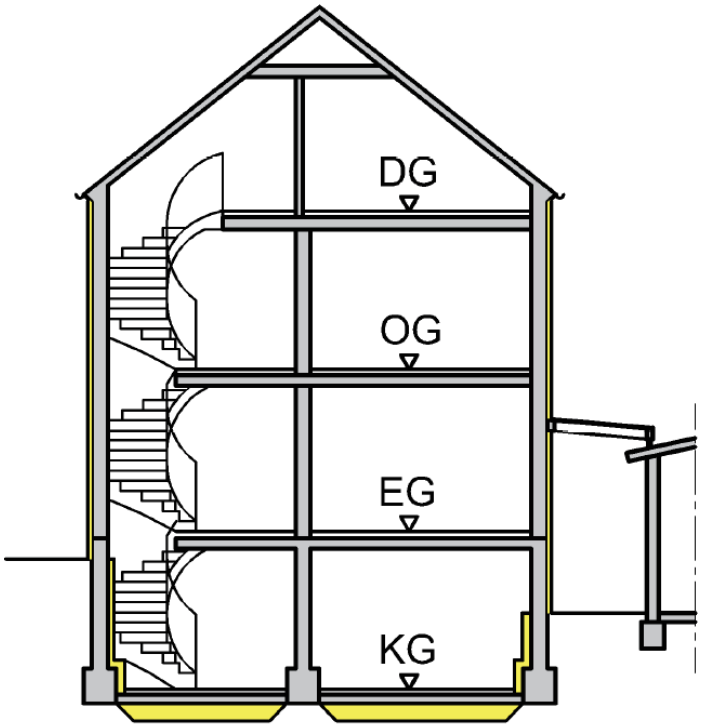


Abbildung 11: Erste Sanierungsstufe [Eigene Abbildung]

3.3. Sanierungsstufe 2

Das Dach mit einer erwarteten Lebensdauer von rund 70 Jahren ist der nächste Teil des Gebäudes der unabhängig von energetischen Maßnahmen einer Sanierung bedarf. Diese wird voraussichtlich im Jahr 2025 nötig sein. Im Zuge dieser Arbeiten, lässt sich die geplante Aufsparrendämmung mit wenig Zusatzaufwand aufbringen, was die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme erheblich erhöht.

3.4. Endzustand

Im letzten Sanierungsschritt folgen die Dämmung der Außenwand mit 24 cm EPS und der Einbau neuer Fenster mit Passivhausstandard. Diese beiden Maßnahmen in einem Sanierungsschritt durchzuführen hat den Vorteil, dass die neuen Fenster

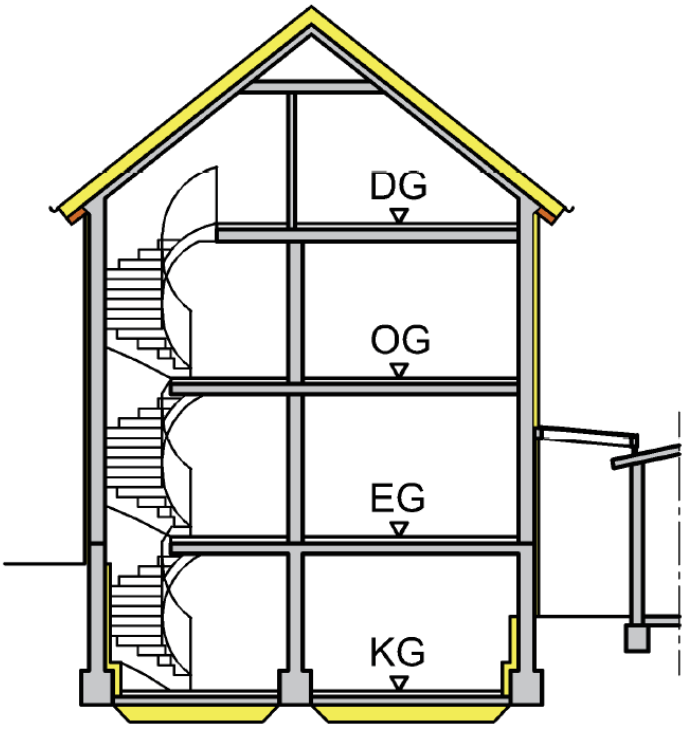


Abbildung 12: Zweite Sanierungsstufe [Eigene Abbildung]

gleich in der Dämmebene eingebaut werden können und keine Anschlüsse für einen späteren Einbau vorgesehen werden müssen. An der Kellerwand wird, um die Wärmebrücke beim Übergang zwischen Innen- und Außendämmung möglichst klein zu halten, an der Außenwand 50 cm abgegraben und mit 20 cm extrudiertem Polystyrol (XPS) bis 30 cm über die Geländekante gedämmt.

Im Jahr 2000 wurden die bestehenden Kunststofffenster eingebaut und die Fassade erneuert. Bei einer erwarteten Lebensdauer der Fenster von 35 – 40 Jahren und einer voraussichtlich erforderlichen Instandsetzung der Fassade nach etwa 40 Jahren bietet es sich an, beide Sanierungsmaßnahmen gemeinsam zum Zeitpunkt des Fenstertauschs durchzuführen.

Sowohl beim zweiten als auch beim dritten Sanierungsschritt wurde untersucht, ob eine frühere Umsetzung der Maßnahmen wirtschaftlich ist. In beiden Fällen übersteigen die jährlichen Finanzierungskosten die erzielte Heizkostenersparnis. Die energetischen Sanierungsmaßnahmen sind somit dann am wirtschaftlichsten,

wenn sie gemeinsam mit den ohnehin erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen durchgeführt werden.

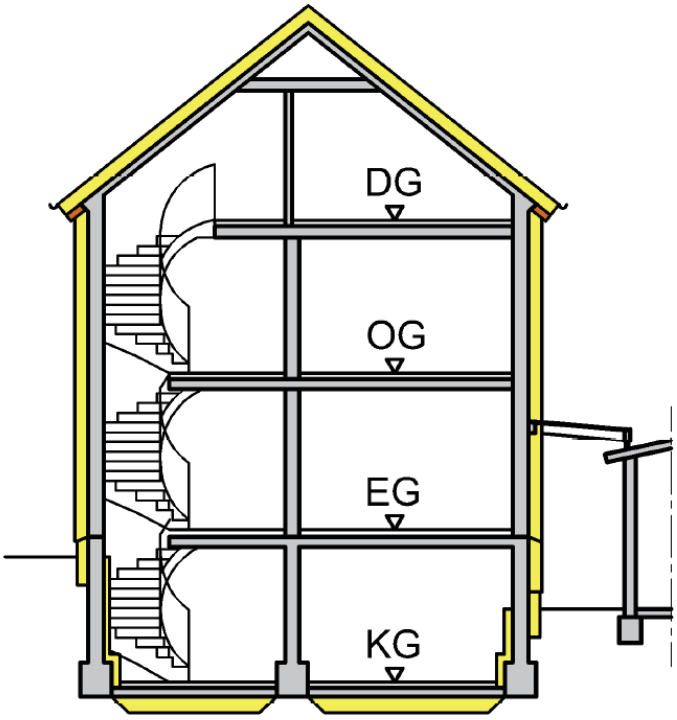


Abbildung 13: Endzustand der Sanierung [Eigene Abbildung]

3.5. Wechselwirkungen bei der Sanierung

Von der Bestandssituation ausgehend, steht mit dem Beschluss des Bauherrn das Gebäude zu sanieren dem ersten Sanierungsschritt nach Abschluss der Planung und Klärung der Finanzierung nichts im Weg. Beim Abgraben im Keller, beim Dämmen der Bodenplatte und beim Aufbringen der Innendämmung sind im Hinblick auf die weiteren Sanierungsschritte keine besonderen Schnittstellen herzustellen. Es sind auch keine ohnehin erforderlichen Maßnahmen absehbar, im Zuge derer diese Arbeiten wirtschaftlicher durchgeführt werden könnten. Um den Keller möglichst bald besser nutzen zu können, wird also mit diesen Maßnahmen begonnen.

Bei der Dämmung des Daches ist die Schnittstelle zur Fassade besonders zu beachten. Aufgrund des geringen Vordachs und der hohen Dämmstärke, ist eine Verlängerung der Sparren erforderlich und ein Verlegen der Dachrinne an die neue Traufe erforderlich. Diese Maßnahmen sind bei Umsetzung des zweiten Sanierungsschritts durchzuführen.

4 Berechnungen im PHPP

4.1. Berechnete Varianten

Um die Auswirkungen einzelner Maßnahmen auf Heizlast- und Heizwärmebedarf zu ermitteln wurden die PHPP die ersten beiden Sanierungsschritte nochmals aufgeteilt. Somit wurden im PHPP folgende Varianten berechnet:

- Bestandssituation
- Dämmung der Bodenplatte im Keller und im Wintergarten
- Dämmung der Kellerwände
- Fassadendämmung im Erd-, Ober- und Dachgeschoß
- Einbau der neuen Fenster
- Dämmung des Daches

4.2. Bauteilaufbauten

Sind in einer Zelle zwei Werte für die Dicke einer Bauteilschicht angegeben, so sind diese als Zustand vor und nach der Sanierung zu verstehen.

Außenwand gegen Außenluft

Material	Dicke [mm]
Innenputz	20
Ziegel, massiv	280
EPS	**0 → 240**
Außenputz	7

Tabelle 9: Wandaufbau Außenwand - Außenluft

Dieser Aufbau kommt an den Außenwänden des Erd-, Ober- und Dachgeschoß, sowie an der Südseite des Gebäudes im oberen Teil der Kellerwände zum Einsatz.

Außenwand gegen Erdreich

Material	Dicke [mm]
Innenputz	20

Stahlbeton	280
Kalziumsilikatplatten	**0 → 150**

Tabelle 10: Wandaufbau Außenwand - Erdreich

Dach gegen Außenluft

Material	**Dicke [mm]**
Gipskartonplatte	13
Mineralwolle	80
Schalung	24
EPS	**0 → 240**

Tabelle 11: Dachaufbau Dach - Außenluft

Gaupe gegen Außenluft

Material	**Dicke [mm]**
Gipskartonplatte	13
Mineralwolle	80
Schalung	24
EPS	**0 → 100**
Außenputz	7

Tabelle 12: Wandaufbau Gaupe – Außenluft

Bodenplatte gegen Erdreich

Material	**Dicke [mm]**
Estrich	50
Trittschalldämmung	20
Schüttung	50
Stahlbeton	150
Schaumglasschüttung	**0 → 300**

Tabelle 13: Bodenaufbau Bodenplatte - Erdreich

Wandelement Wintergarten gegen Außenluft

Material	Dicke [mm]
Kunststoffpanel	30
EPS	**0 → 100**

Tabelle 14: Wandaufbau Wintergarten - Außenluft

Dieser Aufbau betrifft das undurchsichtige Kunststoffwandelement an der Südseite des Wintergartens.

4.3. Energiebezugsfläche

Da diese erheblichen Einfluss auf die spezifische Heizlast und den spezifischen Heizwärmebedarf hat, ist deren gewissenhafte Ermittlung äußerst wichtig. Der ermittelte Wert von 233,2 m² kam dabei durch die folgenden Flächenzuweisungen zustande.

100 % anrechenbare Flächen

- Räume im Erdgeschoß (einschließlich Wintergarten)
- Räume im Obergeschoß
- 46 % der Raumfläche im Dachgeschoß (Raumhöhe > 2 m)

60% anrechenbare Flächen

- Räume im Kellergeschoß
- 35 % der Raumfläche im Dachgeschoß (Raumhöhe von 1 – 2 m)

0 % anrechenbare Flächen

- Treppenläufe im Stiegenhaus
- 19 % der Raumfläche im Dachgeschoß (Raumhöhe < 1 m)

5 Anwendung des Leitfadens

5.1. Erfassung der bestehenden Gebäudetechnik

Beschreibung

Das Gebäude besteht aus zwei oberirdischen Geschoßen, einem Keller- und einem Dachgeschoß. Die unbebaute Gartenfläche beträgt rund 285 m². Die Raumlisten wurden ebenso wie Raumhöhen und Material der Außenwände in die bereitgestellte Liste eingetragen. Details dazu können den Plänen im Anhang entnommen werden.

WE Bestand

Der bestehende Heizölkessel wurde im Jahr 2005 eingebaut und hat eine Leistung von 25 kW. Laut Ermittlung im PHPP wäre lediglich eine Leistung von 12,8 kW erforderlich. Der Kessel wird nicht zur Warmwasserbereitung verwendet und auch einen eigenen Raum zur Lagerung des Heizöls gibt es nicht. Anschlüsse an ein Gas- oder Fernwärmenetz bestehen nicht; Ein Anschluss an ein Gasnetz ist jedoch bei Bedarf möglich. Der bestehende Heizkessel ist noch funktionsfähig.

WÜ Bestand

In der Raumliste wurde den Räumen das jeweilige Wärmeübergabesystem zugeordnet. Im Bestand werden ausschließlich Radiatoren verwendet. Der Einbau erfolgte einheitlich beim Errichtung des Gebäudes im Jahr 1955. Die erwartete Lebensdauer wurde mit 50 Jahren angenommen.

WW Bestand

Im Gebäude leben derzeit vier Personen; was auch in Zukunft so bleiben soll. Mangels genauerer Daten, wurden für den Warmwasserbedarf in Summe 25 Liter pro Person und Tag angesetzt.

Ein Teil des Warmwassers wird derzeit zentral, der andere Teil dezentral erzeugt wobei ein elektrischer Speicher und ein elektrischer Durchlauferhitzer zum Einsatz kommen. Im Keller gibt es keine Warmwasserverbraucher. Im Badezimmer im Erdgeschoß sind ein Waschbecken und ein Bidet installiert; Letzteres wird wie ein

Waschbecken behandelt. In der Küche gibt es eine Spüle. Das Bad im Obergeschoß enthält neben einer Badewanne auch ein Waschbecken. Der einzige Warmwasserverbraucher im Dachgeschoß ist das Waschbecken im WC.

Da sich der Bauherr die Möglichkeit offenlassen möchte, die einzelnen Stockwerke als getrennte Wohneinheiten auszuführen, werden im Lager im Kellergeschoß je ein Anschluss für eine Dusche und ein Waschbecken vorgesehen. Im Bad im Erd- und Dachgeschoß wird ebenfalls die Möglichkeit geschaffen, eine Dusche anzuschließen.

Lüftung Bestand

Zurzeit gibt es weder Probleme mit der Behaglichkeit noch mit Schimmel. Die Lüftung erfolgt im ganzen Haus mittels Fensterlüftung. Die bestehenden Fenster wurden im Jahr 2000 eingebaut.

5.2. Sanierungsverlauf

Die im verknüpften PHPP-File ausgearbeiteten Varianten wurden automatisch importiert. Die Zeitpunkte der jeweiligen Sanierungsschritte waren selbstständig festzulegen. Unter Berücksichtigung der dargelegten Überlegungen wurde folgender Zeitplan für die stufenweise Sanierung festgelegt:

- 2018 Dämmung der Bodenplatte, Innendämmung der Kellerwände
- 2025 Instandsetzung und dabei Dämmung des Daches
- 2035 Einbau neuer Passivhausfenster, Sanierung der Fassade

5.3. Auswahl der neuen Gebäudetechnik

WE Auswahl

Es wurden weder klare Präferenzen für einen bestimmten Energieträger noch für eine der zur Auswahl stehenden Eigenschaften angegeben. Der Gebäudestandard beim voraussichtlichen Ausfall des Wärmeerzeugers im Jahr 2025 ist „Altbau (D)“. Aus diesen Angaben erfolgt die Empfehlung Holz als Energieträger zu nutzen.

In Erwägung gezogen wurden ein Holzvergaserkessel und ein Pelletkessel. Mit der Perspektive, dass sich unter Umständen einmal mehr als eine Wohneinheit im

Haus befinden könnte, fiel die Entscheidung auf einen automatisch arbeitenden Pelletkessel. Im bestehenden Heizraum einen Lagerraum mit einer Grundfläche von 4,5 m² (1,8 x 2,5 m) abzutrennen stellt kein Problem dar und somit kann der gesamte Pelletbedarf eines Jahres gelagert werden.

Einen Wärmeerzeuger einzubauen der, wie der bestehende Kessel auf einem hohen Temperaturniveau arbeitet, hat im vorliegenden Fall zwei große Vorteile:

- Die hydraulische Schaltung für die einzelnen Heizkreise muss beim Austausch des Kessels im Jahr 2025 nicht umgebaut werden, was Kosten erspart; Auch ein vorzeitiger Umstieg auf den neuen Wärmeerzeuger bei Einbau der neuen Wärmeübergabesysteme wurde in Erwägung gezogen und für unwirtschaftlich befunden.
- Das Volumen des Pufferspeichers kann mit der Möglichkeit, hohe Temperaturen zu erzeugen, erheblich besser ausgenutzt werden. Dies ist im betreffenden Fall besonders interessant, da nach dem Einbau des Wärmeerzeugers noch ein Sanierungsschritt mit beträchtlicher Verringerung der Heizlast folgt.

WE Leistung

Der Einbau des neunen Kessels erfolgt bei der Dämmung des Daches. Die Anlagengröße wurde dementsprechend mit auf die erforderliche Heizlast von 10 kW ausgelegt. Pelletkessel sind auch bis hin zu sehr kleinen Leistungen modulierend erhältlich. Der Einbau eines solchen Kessels ist im Anbetracht der weiteren Heizlastentwicklung sehr sinnvoll.

WE Puffer

Da es im bestehenden Gebäude keinen Pufferspeicher gibt, wird ein solcher gleich mit Sanierungsbeginn eingebaut. Es wurde ein Volumen von 1000 Litern gewählt. Ein größerer Speicher würde zu Problemen beim Transport zum Aufstellungsort im Kellergeschoß führen. Die obere und untere Temperaturschwelle im Speicher wurden sowohl vor als auch nach dem Kesseltausch mit 30 und 85°C festgelegt. Die speicherbare Energiemenge beträgt somit 64 kWh.

WÜ neu

Aus Behaglichkeitsgründen, und um Speichermassen im Gebäude besser nutzen zu können, wurden Fußbodenheizungen als Wärmeübergabesystem gewählt. Da der Einbau des neuen Systems aufgrund der bereits erreichten, erwarteten Lebensdauer, gleich mit Sanierungsbeginn erfolgt, wurde für die Auslegung in der Anfangszeit von einer maximalen Oberflächentemperatur von 28°C ausgegangen um die erforderliche Größe der Heizflächen zu reduzieren. Sinkt die Heizlast im Laufe der Sanierung weiter, reicht auch eine geringere Oberflächentemperatur.

WW neu

Für die Auslegung der neuen Warmwasserbereitung wurde im PHPP eine detaillierte Verbrauchsrechnung unter Berücksichtigung einer Abwasserwärmerückgewinnung für die Duschen durchgeführt. In Summe ergab sich so ein bei einer Temperatur von 55°C ein Warmwasserbedarf von 81 Litern pro Tag. Das Ziel, war im neue System die Verbraucher möglichst zentral zu versorgen. Dabei sollte ein möglichst großer Teil der benötigten Energie durch eine Photovoltaikanlage in Kombination mit einer Wärmepumpe gedeckt werden. Als ergänzendes System wurde der Heizwärmeerzeuger gewählt. Der zentrale Warmwasserspeicher wird im Abstellraum im Kellergeschoß, direkt unter den Bädern in den Geschoßen darüber aufgestellt. Von dort sind kurze Leitungslängen zu den Verbrauchern möglich. Die Versorgung des Bades im Dachgeschoß erfolgt aufgrund der langen Steigleitung sinnvollerweise dennoch dezentral mit einem elektrischen Speicher für das Waschbecken und einem elektrischen Durchlauferhitzer mit Wärmerückgewinnung für die Dusche.

PV-Solar

Im Zuge der Sanierung soll eine Photovoltaikanlage mit 5 Modulen und einer Fläche von 8,2 m² eingebaut werden. Der im PHPP ermittelte Jahres-Stromertrag ist 1224 kWh/a. Die für die Warmwasserbereitung erforderliche Energie beträgt rund 1540 kWh/a was bedeutet, dass bei einer Jahresarbeitszahl der Trinkwasserwärmepumpe von 3,5 und einem angestrebten solar gedeckten Anteil von 50 % jährlich 220 kWh für die Wärmepumpe aufgebracht werden müssen. Bei der Bewertung dieser Zahlen muss bedacht werden, dass die solare Energie nicht regelmäßig zur Verfügung steht und Überschüsse entweder als Haushaltsstrom genutzt,

oder im Puffer gespeichert werden können. Die Speicherung mit einer Batterie ist nicht vorgesehen.

Lüftung System

Da es im Gebäude zurzeit keine Probleme mit Schimmel oder der Luftqualität gibt ist der Einbau einer Lüftungsanlage nicht unmittelbar erforderlich. Der Einbau der Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ist daher gemeinsam mit den neuen Fenstern vorgesehen. Der Einbau einer zentralen Lüftungsanlage ist hier schwierig, da eine abgehängte Decke und über die Stockwerke hinweg verlaufende Lüftungsleitungen den ohnehin schon recht schmalen Erschließungsbereich weiter einengen würden. Aus diesen Gründen wurde eine dezentrale Lüftungsanlage gewählt und um die Anzahl der erforderlichen Geräte zu reduzieren, wurden dabei Räume zusammengefasst. Dies geschah stockwerksweise, um bei einer möglichen späteren Abtrennung zu eigenständigen Wohneinheiten nicht auf Lüftungsgeräte aus anderen Wohnungen angewiesen zu sein. In Summe besteht die gewählte Lüftungsanlage aus neun Geräten und einigen kurze Leitungen.

6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Ergebnis des ausgefüllten Leitfadens stellt ist nun ein grundlegendes Konzept für eine wirtschaftliche stufenweise Sanierung der Gebäudetechnik dar. Die Zeitpunkte der energetischen Sanierungsschritte selbst sind an die ohnehin erforderlichen Instandsetzungsarbeiten an Dach, Fassade und Fenstern angepasst; In der Planung zeigte sich, dass diese dann am wirtschaftlichsten sind. Der Einbau der neuen Gebäudetechnik wird im Zuge der baulichen Maßnahmen durchgeführt.

Die ersten Komponenten die eingebaut werden sind der Pufferspeicher zur Entlastung des bestehenden Wärmeerzeugers und die neuen Wärmeübergabesysteme. Dabei werden die bestehenden Radiatoren gegen Fußbodenheizungen ausgetauscht.

Als nächste Elemente der Gebäudetechnik folgen der neue Pelletkessel und das neue System zur Warmwasserbereitung. Dieses besteht aus einer kleinen Luft-Wasser-Wärmepumpe und einer Photovoltaikanlage. Der Einbau dieser erfolgt dabei in einem Zug mit den Instandsetzungsarbeiten und der damit einhergehenden Dämmung des Daches. Kann die Warmwasserbereitung einmal nicht durch Photovoltaik und Wärmepumpe oder die im Puffer gespeicherte Energie bewerkstelligt werden, so kann der Pelletkessel problemlos Spitzen abdecken.

Der letzte Bestandteil der neuen Gebäudetechnik ist die Lüftungsanlage. Diese wird gleichzeitig mit den neuen Passivhausfenstern eingebaut, welche gemeinsam mit der Fassade im dritten und letzten Schritt der Gebäudesanierung erneuert werden.

Die Sanierung erstreckt sich über den recht langen Zeitraum von 17 Jahren, ermöglicht jedoch in der geplanten Form eine sehr gute Ausnutzung der Restlaufzeiten der bestehenden Bauteile, dennoch eine Abwicklung in drei kompakten Schritten und eine Aufteilung der finanziellen Belastung auf einen langen Zeitraum. Dies zeigt somit sehr gut die Vorzüge und das Potenzial einer stufenweisen Sanierung.

V Literatur

[Albers 2016] ***Albers, K.-J.*** **(Hrsg.):** Recknagel - Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 78. Ausgabe 2017/18: - einschließlich Trinkwasser- und Kältetechnik sowie Energiekonzepte. Deutscher Industrieverlag, 2016.

[Amtmann et al. 2011] ***Amtmann, M.; Barth, T.; Mitterndorfer, M.; Simader, G.*****:** Kosten-Nutzen-Analyse von energetischen Gebäudesanierungen in Österreich, *https://www.energyagency.at/aktuelles-presse/news/detail/artikel/kosten-nutzen-analyse-von-energetischen-gebaeudesanierungen-in-oesterreich.html?L=0&cHash=750a6e7738936dfc0e28c38b0d62eb7f*; Zugriff am 17.07.2017.

[ÖNORM H 7500-3] ***Austrian Standards*****:** Heizungssysteme in Gebäuden - Teil 3: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der Norm-Gebäudeheizlast, 2014.

[bmwfw 2017] ***bmwfw*****:** Treibstoffpreismonitor, *https://www.bmwfw.gv.at/EnergieUndBergbau/Energiepreise/Seiten/MonitorTreibstoff.aspx?Report=1*; Zugriff am 06.07.2017.

[Bohne 2014] ***Bohne, D.*****:** Technischer Ausbau von Gebäuden: Und nachhaltige Gebäudetechnik. Springer Vieweg, 2014.

[Bonin 2016] ***Bonin, J.*****:** Handbuch Wärmepumpen: Planung und Projektierung (Beuth Praxis). Beuth, 2016.

[E-Control 2017] ***E-Control*****:** Tarifkalkulator, *https://www.e-control.at/konsumenten/service-und-beratung/toolbox/tarifkalkulator*; Zugriff am 06.07.2017.

[Feist 2016] ***Feist, W.*****:** Passivhausprojektierungspaket. Passivhaus Institut, 2016.

[Feist 2017] ***Feist, W.*** **(Hrsg.):** Passivhaus für alle!: Tagungsband 21. Internationale Passivhaustagung 2017 28.-29. April 2017, Wien, Österreich. Passivhaus Institut, Darmstadt, Innsbruck, 2017.

[Feist & Baumgärtner 2014] ***Feist, W.; Baumgärtner, C.*****:** 18th International Passive House Conference 2014: 25 and 26 April 2014, Aachen. Passive House InstitutePassivhaus-Institut{u200F}, Darmstadt, 2014.

[Hauser 2018] ***Hauser, F.*****:** Leitfaden Gebäudetechnik, 2018.

[Hausladen et al. 2003] ***Hausladen, G.; Saldanha, M. d.; Nowak, W.; Liedl, P.*****:** Einführung in die Bauklimatik: Klima- und Energiekonzepte für Gebäude: Klima-und Energiekonzepte Fur Gebaude. Ernst & Sohn, 2003.

[Hausladen et al. 2005] ***Hausladen, G.; Saldanha, M. d.; Sager, C.; Liedl, P.*****:** ClimaDesign: Lösungen für Gebäude, die mit weniger Technik mehr können. Callwey, 2005.

[IKB 2017] ***IKB*****:** Preisblatt Fernwärme, *https://www.ikb.at/unternehmen/fernwaerme*; Zugriff am 06.07.2017.

[Institut für Bauforschung e. V. 2009] ***Institut für Bauforschung e. V.*****:** Bauen im Bestand: Schäden, Maßnahmen und Bauteile. Katalog für die Altbauerneuerung. Müller, Rudolf, 2009.

[ITG 2017] ***ITG*****:** Forschungs- und Innovationsnetzwerk (F+I) Alpines Bauen, *https://www.itg-salzburg.at/projekte/forschungs--und-innovationsnetzwerk-fi-alpines-bauen-16*; Zugriff am 17.07.2017.

[LKO 2017] ***LKO*****:** Holzmarktbericht, *https://www.lko.at/juni-2017-holzmarktbericht-der-lk-%C3%B6sterreich+2500+2570907*; Zugriff am 06.07.2017.

[Microsoft 2017] *Microsoft*, *https://support.office.com/de-de/article/Speichern-einer-Arbeitsmappe-in-einem-anderen-Dateiformat-6a16c862-4a36-48f9-a300-c2ca0065286e#__toc326832888*; Zugriff am 18.07.2017.

[Öhlinger et al. 2009] ***Öhlinger, C.; Brandstätter, R.; Egger, C.; Auinger Bettina;*** *Dell Gerhard*: Biomasseheizanlagen für größere Gebäude, *http://www.energiesparverband.at/fileadmin/redakteure/ESV/Info_und_Service/Publikationen/Biomasse_Bro_2009_fin.pdf*; Zugriff am 17.07.2017.

[Ökofen 2017] ***Ökofen*****:** Technische Daten PELLEMATIC® SmartXS 10 – 18 kW, *http://www.pelletsheizung.at/de/pellematic_smart_xs/#tab3*; Zugriff am 18.07.2017.

[Olfert 2003] ***Olfert, K.*****:** Investition. Kiehl, Ludwigshafen (Rhein), 2003.

[Pfafferott et al. 2015] ***Pfafferott, J.; Kalz, D.; Koenigsdorff, R.*****:** Bauteilaktivierung: Einsatz - Praxiserfahrungen - Anforderungen. Fraunhofer IRB Verl., Stuttgart, 2015.

[Pletzer 2017] ***Pletzer, A. S.*****:** Lebensdauer von Gebäudetechnikkomponenten. Telefonat, Innsbruck, 2017.

[Pro Pellets Austria 2017] ***Pro Pellets Austria*****,** *http://www.propellets.at/de/pelletpreise/*; Zugriff am 06.07.2017.

[Quaschning 2015] ***Quaschning, V.*****:** Regenerative Energiesysteme: Technologie ; Berechnung ; Simulation. Hanser, München, 2015.

[Spielbauer 2014] ***Spielbauer, H.*** **(Hrsg.):** BKI Baukosten 2014. BKI, Stuttgart, 2014.

[STATISTIK AUSTRIA 2016a] ***STATISTIK AUSTRIA*****:** Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2015 (Detailinformation), *http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html*; Zugriff am 18.07.2017.

[STATISTIK AUSTRIA 2016b] ***STATISTIK AUSTRIA*****:** Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2015 (Überblick), *https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html*; Zugriff am 17.07.2017.

[STATISTIK AUSTRIA 2017] ***STATISTIK AUSTRIA*****:** Einsatz aller Energieträger in allen Haushalten nach Verwendungszwecken 2003 bis 2016, *https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energieeinsatz_der_haushalte/index.html*; Zugriff am 17.07.2017.

[Streicher et al. 2010] ***Streicher, W.; Schnitzer, H.; Titz, M.; Tatzber, F.; Heimrath, R.; Wetz, I.; Hausberger, S.; Haas, R.; Kalt, G.; Damm, A.; Steininger, K.; Oblasser, S.*****:** Energieautarkie für Österreich 2050: Feasibility Study, Endbericht, *https://www.uibk.ac.at/bauphysik/forschung/projects/energieautarkie/*; Zugriff am 17.07.2017.

[uponor 2009] ***uponor*** **(Hrsg.):** Praxishandbuch der technischen Gebäudeausrüstung (TGA): Installationssysteme, Flächenheiz- und -kühlsysteme Vertragsrecht für Architekten und Ingenieure Mit Buchinhalt auf CD-ROM. Beuth, 2009.

[VDI 2067, Blatt 1] ***Verein deutscher Ingenieure*****:** Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung. Beuth, Berlin, 2012.

VI ANHANG

1 Auszüge aus dem PHPP

Bestand

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr

						Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt?[2]
	Energiebezugsfläche	m²	233,2					
Heizen	Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	149	≤		-	-	-
	Heizlast	W/m²	55	≤		-	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf	kWh/(m²a)	-	≤		-	-	-
	Kühllast	W/m²	-	≤		-	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)	%	0	≤		10		ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg)	%	0	≤		20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50}	1/h	0,6	≤		1,0		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf	kWh/(m²a)	208	≤		260		ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf	kWh/(m²a)	367	≤		-	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche)	kWh/(m²a)	16	≥		-	-	

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte

Gebäudehülle zu Außenluft[1] (U-Wert)	W/(m²K)	3,13	≤	0,15		nein
Gebäudehülle zu Erdreich[1] (U-Wert)	W/(m²K)	1,36	≤	0,33		nein
innengedämmte Wand zu Außenluft (U-Wert)	W/(m²K)	0,45	≤	0,35		nein
innengedämmte Wand zu Erdreich (U-Wert)	W/(m²K)	3,65	≤	0,62		nein
Flachdach (SRI)	-	-	≥	-		-
geneigte u. vertikale Außenoberfl. (SRI)	-	56	≥	-		-
Fenster/Haustüren ($U_{W/D,eingebaut}$)	W/(m²K)	2,04	≤	0,88		nein
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,03		-
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,13		-
Verglasung (g-Wert)	-	0,69	≥	1,18		nein
Verglasung/Sonnenschutz (max. Solarlast)	kWh/(m²a)	349	≤	-		-
Lüftung (effektiver Wärmebereitstellungsgrad)	%	0	≥	75		nein
Lüftung (Rückfeuchtzahl)	%	0	≥	-		-

[1] ohne Fenster, Türen und innengedämmte Außenwände
[2] leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

Dämmung Kellerplatte Boden + Wintergarten

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr

						Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt?[2]
	Energiebezugsfläche	m²	233,2					
Heizen	Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	138	≤		-	-	-
	Heizlast	W/m²	53	≤		-	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf	kWh/(m²a)	-	≤		-	-	-
	Kühllast	W/m²	-	≤		-	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)	%	0	≤		10		ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg)	%	0	≤		20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50}	1/h	0,6	≤		1,0		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf	kWh/(m²a)	195	≤		248		ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf	kWh/(m²a)	341	≤		-	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche)	kWh/(m²a)	16	≥		-	-	

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte						
Gebäudehülle zu Außenluft[1] (U-Wert)	W/(m²K)	3,13	≤	0,15		nein
Gebäudehülle zu Erdreich[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,19	≤	0,33		ja
innengedämmte Wand zu Außenluft (U-Wert)	W/(m²K)	0,45	≤	0,35		nein
innengedämmte Wand zu Erdreich (U-Wert)	W/(m²K)	3,65	≤	0,61		nein
Flachdach (SRI)	-	-	≥	-		-
geneigte u. vertikale Außenoberfl. (SRI)	-	56	≥	-		-
Fenster/Haustüren ($U_{W/D,eingebaut}$)	W/(m²K)	2,04	≤	0,88		nein
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,03		-
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,13		-
Verglasung (g-Wert)	-	0,69	≥	1,18		nein
Verglasung/Sonnenschutz (max. Solarlast)	kWh/(m²a)	349	≤	-		-
Lüftung (effektiver Wärmebereitstellungsgrad)	%	0	≥	75		nein
Lüftung (Rückfeuchtzahl)	%	0	≥	-		-

[1] ohne Fenster, Türen und innengedämmte Außenwände
[2] leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

Dämmung Kellerwände

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr							
	Energiebezugsfläche	m²	233,2		Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt?[2]
Heizen	Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	114	≤	-	-	-
	Heizlast	W/m²	48	≤	-	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf	kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Kühllast	W/m²	-	≤	-	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)	%	2	≤	10		ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg)	%	0	≤	20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50}	1/h	0,6	≤	1,0		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf	kWh/(m²a)	167	≤	219		ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf	kWh/(m²a)	282	≤	-	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche)	kWh/(m²a)	16	≥	-	-	

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte						
Gebäudehülle zu Außenluft[1] (U-Wert)	W/(m²K)	3,13	≤	0,15		nein
Gebäudehülle zu Erdreich[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,19	≤	0,22		ja
innengedämmte Wand zu Außenluft (U-Wert)	W/(m²K)	0,45	≤	0,35		nein
innengedämmte Wand zu Erdreich (U-Wert)	W/(m²K)	0,39	≤	0,42		ja
Flachdach (SRI)	-	-	≥	-		-
geneigte u. vertikale Außenoberfl. (SRI)	-	56	≥	-		-
Fenster/Haustüren ($U_{W/D,eingebaut}$)	W/(m²K)	2,04	≤	0,88		nein
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,03		-
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,13		-
Verglasung (g-Wert)	-	0,69	≥	1,18		nein
Verglasung/Sonnenschutz (max. Solarlast)	kWh/(m²a)	349	≤	-		-
Lüftung (effektiver Wärmebereitstellungsgrad)	%	0	≥	75		nein
Lüftung (Rückfeuchtzahl)	%	0	≥	-		-

[1] ohne Fenster, Türen und innengedämmte Außenwände
[2] leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

Dämmung Dach

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr

						Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt?[2]
	Energiebezugsfläche	m²	233,2					
Heizen	Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	101	≤		-	-	-
	Heizlast	W/m²	43	≤		-	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf	kWh/(m²a)	-	≤		-	-	-
	Kühllast	W/m²	-	≤		-	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)	%	2	≤		10		ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg)	%	0	≤		20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50}	1/h	0,6	≤		1,0		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf	kWh/(m²a)	151	≤		203		ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf	kWh/(m²a)	249	≤		-	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche)	kWh/(m²a)	16	≥		-	-	

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte

					Kriterien	Erfüllt?[2]
Gebäudehülle zu Außenluft[1] (U-Wert)	W/(m²K)	3,13	≤	0,15		nein
Gebäudehülle zu Erdreich[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,19	≤	0,22		ja
innengedämmte Wand zu Außenluft (U-Wert)	W/(m²K)	0,33	≤	0,35		ja
innengedämmte Wand zu Erdreich (U-Wert)	W/(m²K)	0,39	≤	0,42		ja
Flachdach (SRI)	-	-	≥	-		-
geneigte u. vertikale Außenoberfl. (SRI)	-	56	≥	-		-
Fenster/Haustüren ($U_{W/D,eingebaut}$)	W/(m²K)	2,04	≤	0,88		nein
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,03		-
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,13		-
Verglasung (g-Wert)	-	0,69	≥	1,18		nein
Verglasung/Sonnenschutz (max. Solarlast)	kWh/(m²a)	349	≤	-		-
Lüftung (effektiver Wärmebereitstellungsgrad)	%	0	≥	75		nein
Lüftung (Rückfeuchtzahl)	%	0	≥	-		-

[1] ohne Fenster, Türen und innengedämmte Außenwände

[2] leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

Dämmung Fassade

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr

						Kriterien	alternative Kriterien	Erfüllt?[2]
	Energiebezugsfläche	m²	233,2					
Heizen	Heizwärmebedarf	kWh/(m²a)	58	≤		-	-	-
	Heizlast	W/m²	26	≤		-	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf	kWh/(m²a)	-	≤		-	-	-
	Kühllast	W/m²	-	≤		-	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C)	%	1	≤		10		ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg)	%	0	≤		20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50}	1/h	0,6	≤		1,0		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf	kWh/(m²a)	100	≤		151		ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf	kWh/(m²a)	144	≤		-	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche)	kWh/(m²a)	16	≥		-	-	

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte

Gebäudehülle zu Außenluft[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,35	≤	0,15	nein
Gebäudehülle zu Erdreich[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,19	≤	0,23	ja
innengedämmte Wand zu Außenluft (U-Wert)	W/(m²K)	0,14	≤	0,35	ja
innengedämmte Wand zu Erdreich (U-Wert)	W/(m²K)	0,39	≤	0,43	ja
Flachdach (SRI)	-	-	≥	-	-
geneigte u. vertikale Außenoberfl. (SRI)	-	56	≥	-	-
Fenster/Haustüren ($U_{W/D,eingebaut}$)	W/(m²K)	1,32	≤	0,88	nein
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,03	-
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,13	-
Verglasung (g-Wert)	-	0,59	≥	0,71	nein
Verglasung/Sonnenschutz (max. Solarlast)	kWh/(m²a)	217	≤	-	-
Lüftung (effektiver Wärmebereitstellungsgrad)	%	0	≥	75	nein
Lüftung (Rückfeuchtzahl)	%	0	≥	-	-

[1] ohne Fenster, Türen und innengedämmte Außenwände
[2] leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

Fenstertausch

Gebäudekennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche und Jahr

					alternative	
				Kriterien	Kriterien	Erfüllt?[2]
	Energiebezugsfläche m²	233,2				
Heizen	Heizwärmebedarf kWh/(m²a)	42	≤	-	-	-
	Heizlast W/m²	20	≤	-	-	
Kühlen	Kühl- + Entfeuchtungsbedarf kWh/(m²a)	-	≤	-	-	-
	Kühllast W/m²	-	≤	-	-	
	Übertemperaturhäufigkeit (> 25 °C) %	1	≤	10		ja
	Häufigkeit überhöhter Feuchte (> 12 g/kg) %	0	≤	20		ja
Luftdichtheit	Drucktest-Luftwechsel n_{50} 1/h	0,6	≤	1,0		ja
Nicht erneuerbare Primärenergie (PE)	PE-Bedarf kWh/(m²a)	87	≤	132		ja
Erneuerbare Primärenergie (PER)	PER-Bedarf kWh/(m²a)	109	≤	-	-	-
	Erzeugung erneuerb. Energie (Bezug auf überbaute Fläche) kWh/(m²a)	16	≥	-	-	

EnerPHit (Modernisierung): Bauteilkennwerte

Gebäudehülle zu Außenluft[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,35	≤	0,15	nein
Gebäudehülle zu Erdreich[1] (U-Wert)	W/(m²K)	0,19	≤	0,23	ja
innengedämmte Wand zu Außenluft (U-Wert)	W/(m²K)	0,14	≤	0,35	ja
innengedämmte Wand zu Erdreich (U-Wert)	W/(m²K)	0,39	≤	0,44	ja
Flachdach (SRI)	-	-	≥	-	-
geneigte u. vertikale Außenoberfl. (SRI)	-	56	≥	-	-
Fenster/Haustüren ($U_{W/D,eingebaut}$)	W/(m²K)	1,32	≤	0,88	nein
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,03	-
Fenster ($U_{W,eingebaut}$)	W/(m²K)	-	≤	1,13	-
Verglasung (g-Wert)	-	0,59	≥	0,71	nein
Verglasung/Sonnenschutz (max. Solarlast)	kWh/(m²a)	217	≤	-	-
Lüftung (effektiver Wärmebereitstellungsgrad)	%	78	≥	75	ja
Lüftung (Rückfeuchtzahl)	%	0	≥	-	-

[1] ohne Fenster, Türen und innengedämmte Außenwände
[2] leeres Feld: Daten fehlen; '-': keine Anforderung

2 Protokoll des Leitfadens

GEBÄUDETECHNIK BEI STUFENWEISER SANIERUNG

ALLGEMEINES

Objekt:	Familie Lädersteter	**Bauherrschaft:**	
Straße:	Am Gießen 18	Straße:	
PLZ/Ort:	6020 Innsbruck	PLZ/Ort:	
Provinz/Land:	Tirol / AT-Österreich	Provinz/Land:	
Objekt-Typ:	Einfamilienhaus		
Klimadatensatz:	AT0032b-Innsbruck		
Klimazone:	3: Kühl-gemäßigt		
Standorthöhe:	578 m		
Baujahr:	1950		

Architektur:		**Haustechnik:**	
Straße:		Straße:	
PLZ/Ort:		PLZ/Ort:	
Provinz/Land:		Provinz/Land:	

Energieberatung:		**Zertifizierung:**	
Straße:		Straße:	
PLZ/Ort:		PLZ/Ort:	
Provinz/Land:		Provinz/Land:	

GEBÄUDE

Anzahl der oberirdischen Geschoße:	2	Innentemperatur Winter:	20°C
Kellergeschoß:	ja	Innentemperatur Sommer:	25°C
Dachgeschoß:	ja	Gartenfläche:	285 m²

RÄUME

Kellergeschoß	
Raum	Fläche
Gang / Flur	10,4 m²
Heizraum	12,9 m²
Arbeitszimmer	21,8 m²
Lager	15,2 m²
Abstellraum	3,8 m²

Erdgeschoß	
Raum	Fläche
Gang / Flur / Stgh	10,4 m²
Wohnküche	67,1 m²
Bad	3,8 m²

1. Obergeschoß	
Raum	Fläche
Gang / Flur / Stgh	5,1 m²
Gang / Flur / Stgh	6,4 m²
Kinderzimmer	12,9 m²
Kinderzimmer	21,8 m²
Schlafzimmer	10,9 m²
Abstellraum	2,7 m²
Bad	4,2 m²

2. Obergeschoß	
Raum	Fläche

Dachgeschoß	
Raum	Fläche
Aufenthaltsraum	14,1 m²
Gang / Flur / Stgh	10,7 m²
Schlafzimmer	13,1 m²
Aufenthaltsraum	21,7 m²
Bad	4,8 m²

Geschoß	Raumhöhe
KG	2,40 m
EG	2,50 m
1.OG	2,50 m
2.OG	
DG	1,70 m *

* gemittelte Raumhöhe

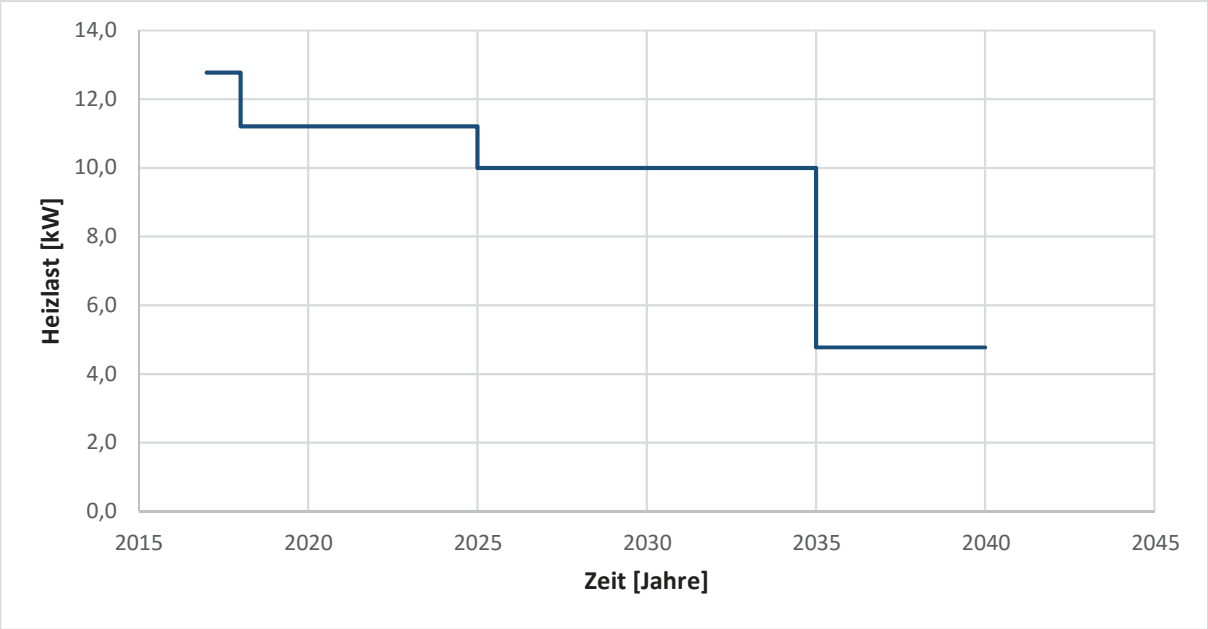
Gesamtfläche:	273,8 m²
Gesamtvolumen:	626,6 m³
Anzahl d. Räume:	20

SANIERUNGSVERLAUF

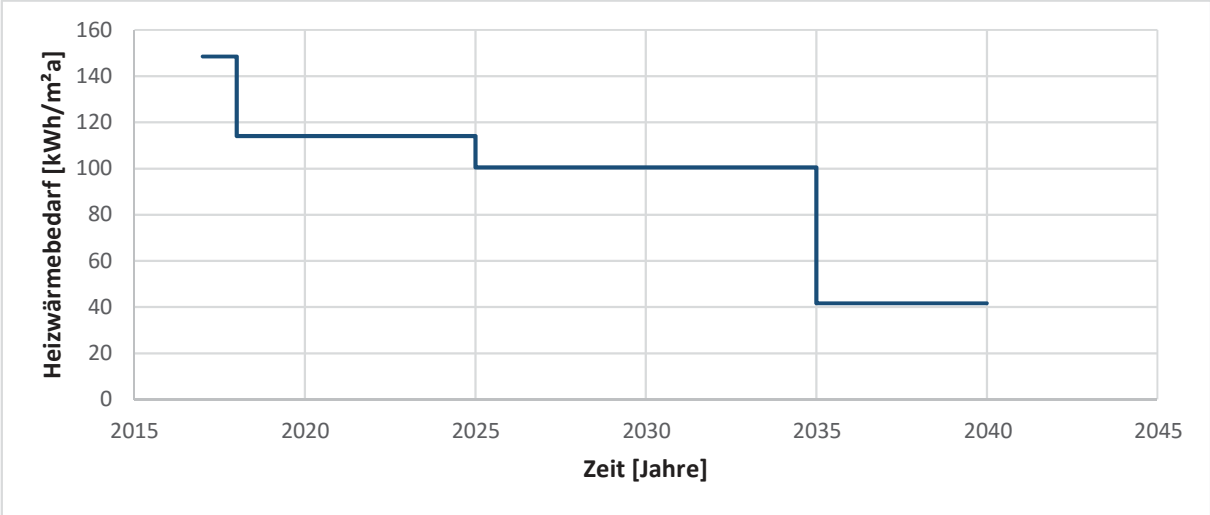
Energiebezugsfläche des Gebäudes gemäß PHPP: 233 m²

Sanierungsmaßnahmen	Bestand	Dämmung Bodenplatte Keller + Wintergarten	Dämmung Kellerwände	Dämmung Dach	Dämmung Fassade	Fenstertausch				
Zeitpunkt des Sanierungsschritts	2017	2018	2018	2025	2035	2035				
Heizwärmebedarf [kWh/m²a]	149	138	114	101	57,7	41,7				
Jährlicher Heizwärmebedarf [kWh/a	34638	32185	26612	23440	13455	9718				
Heizlast [W/m²]	54,8	52,9	48,1	42,9	26,2	20,5				
Heizlast des Gebäudes [kW]	12,8	12,3	11,2	10	6,1	4,77				
Übertemperaturhäufigk. (>25°C) [%]	0,06	0,16	2,21	1,58	1	1				
Kühl- + Entfeuchtungsbedarf	-	-	-	-	-	-				
Kühllast	-	-	-	-	-	-				
PER-Bedarf [kWh/m²a]	208	195	167	151	99,7	86,6				
EnerPHit Classic	nein	nein	nein	nein	nein	nein				

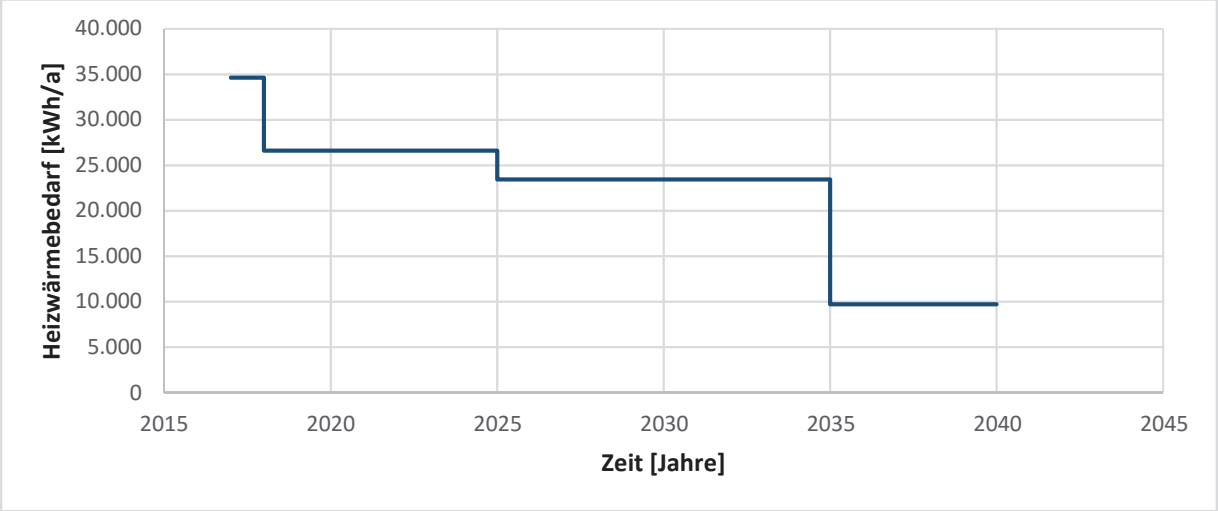
Im folgenden Diagramm ist der Verlauf der **Heizlast des Gebäudes in [kW]** über die Zeit aufgetragen:



Das folgende Diagramm zeigt den Verlauf des **Heizwärmebedarfs des Gebäudes in [kWh/m²a]**:



Verlauf des **jährlichen Heizwärmebedarfs des Gebäudes [kWh/a]:**



HEIZWÄRMEERZEUGER

Bestand

Energieträger:	Heizöl	Einbau des Bestandskessels:	2005
Installierte Leitung:	25,0 kW	Erforderliche Leistung gemäß PHPP:	12,8 kW

- Es besteht die Möglichkeit eines Gasanschlusses
- Die Möglichkeit eines Anschlusses an ein Fernwärmenetz besteht nicht
- Es gibt keinen bestehenden Pufferspeicher
- **Der bestehende Wärmeerzeuger ist noch funktionsfähig**

Angenommene Lebensdauer des bestehenden Wärmeerzeugers:	20 Jahre
Damit voraussichtlicher Ausfall im Jahr:	2025

Einbau des neuen Wärmeerzeugers:	**2025**

Auswahl des neuen Wärmeerzeugers

Aus den angebotenen Optionen haben Sie die folgenden gewählt:

Bevorzugter Energieträger:	Wärmepumpe Holz Fernwärme Gas Heizöl **keine klaren Präferenzen**
Präferierte Eigenschaft:	Niedrige Investitionskosten Niedrige Betriebskosten Nutzung erneuerbarer Energien **keine klaren Präferenzen**

Gebäudestandard beim voraussichtichen Ausfall des Wärmeerzeugers:

Altbau (D) > 100 kWh/m²a

Aus diesen Angaben resultierte folgende Empfehlung:

Unter Berücksichtigung des Gebäudestandards zum betreffenden Zeitpunkt empfiehlt sich die Nutzung von Holz als Ernergieträger. Dabei kommt der Einbau eines Pelletkessels oder eines Holzvergaserkessels in Frage. Bei letzterem sind gewisse Komforteinbußen zu erwarten.
Im Hinblick auf weitere Sanierungsschritte und zukünftig hoffentlich geringen Energieverbräuchen sollte die Anschaffung einer Hackschnitzelanlage gut überlegt sein, da diese systembedingt erst bei verhältnismäßig großen Energieverbräuchen wirtschaftlich sind.

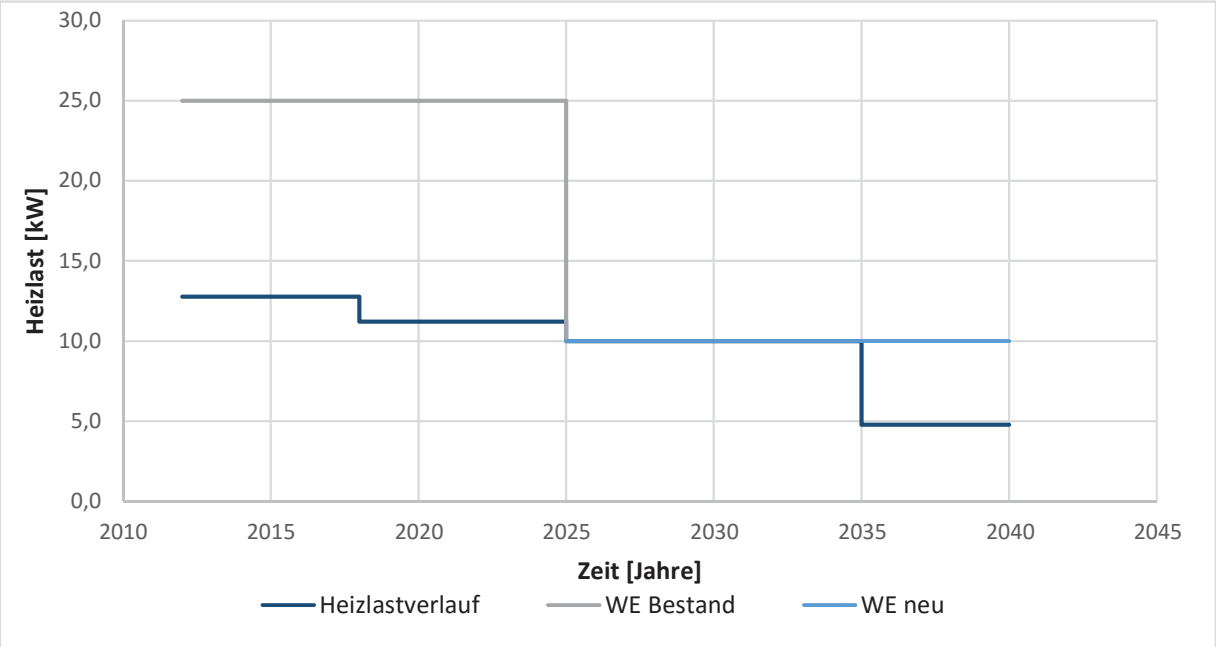
Auf Basis dieser Empfehlung und der im Tabellenblatt "WE Auswahl" angebotenen Informationen haben Sie sich für den folgenden Heizwärmeerzeuger entschieden:

Pelletkessel

Die diesbezüglich abgefragten Voraussetzungen sind erfüllt.

Vom neuen Wärmeerzeuger abzudeckende Leistung:	10,0 kW
Gewählte Leistung:	10,0 kW

Im folgenden Diagramm ist noch einmal der Verlauf der Heizlast dargestellt; Diesmal jedoch gemeinsam mit der vom bestehenden und vom neuen Wärmeerzeuger abgedeckten Leistung:



PUFFERSPEICHER

Im Bestand gibt es keinen Pufferspeicher.

Volumen des neuen Speichers:	1000 Liter

Nach dem Austausch des Wärmeerzeugers

Gewählte Grenztemperaturen:	30°C	und	85°C
Somit speicherbare Energie:	64 kWh		

Nach dem Austausch des Wärmeerzeugers

Gewählte Grenztemperaturen:	30°C	und	85°C
Somit speicherbare Energie:	64 kWh		

		Heizlast [kW]	Beladezeit bei Kesselvolllast [h]	Entladezeit im Heizlastfall [h]
1	Bestand	12,8	2,6	5,0
2	Dämmung Bodenplatte Keller + Winterga	12,3	2,6	5,2
3	Dämmung Kellerwände	11,2	2,6	5,7
4	Dämmung Dach	10,0	6,4	6,4
5	Dämmung Fassade	6,1	6,4	10,5
6	Fenstertausch	4,8	6,4	13,4

Zeit in [h] die die ausschließlich im Pufferspeicher gespeicherte Energie bei der Monatsdurchschnittstemperatur reicht um das Gebäude zu heizen:

	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	7	8	11	16	33	57	84	73	29	15	10	7
2	8	9	11	17	35	59	87	75	30	15	11	7
3	8	9	12	18	38	65	96	83	33	17	12	8
4	9	11	14	21	43	73	107	93	36	19	13	9
5	15	17	23	34	70	119	176	152	60	31	21	15
6	20	22	29	43	89	153	225	194	76	40	27	19

WÄRMEÜBERGABE

Gewählter Heizwärmeerzeuger: **Pelletkessel**

Auch wenn der neue Heizwärmeerzeuger nicht an Wärmeübergabesysteme mit niedrigem Temperaturniveau gebunden ist, empfiehlt sich der Einbau von Flächenheizsystemen aus Behaglichkeits- und Hygienegründen. Wärmeübergabesysteme die nicht auf einem niedrigen Temperaturniveau betrieben werden können sind in der untenstehenden Liste markiert.

Voraussichtlicher Ausfall des bestehenden Wärmeübergabesystems:	**2017**
Austausch des Heizwärmeerzeugers:	2025
Einbau des neuen Wärmeübergabesystems:	**2017**

Zu diesem Zeitpunkt befindet sich das Gebäude in folgender Sanierungsstufe:

Bestand

Zeitraum: 2017 bis 2035 Heizlast: 54,8 W/m²

Abschätzung der Abgabeleistung:

	Temp. Oberfläche [°C]	Temp. Raum [°C]	Abgabeleistung
Fußbodenheizung	28	20	88 W/m²
Wandheizung			
Deckenheizung			

Gewählte Wärmeübergabesysteme

Nr	Geschoß	Raum	Bestehendes System	Raumfläche [m²]	Abzugebende Leistung [W]	Neues System	Erforderliche Heizfläche [m²]	Heizen durch Außenwand?
1	KG	Gang / Flur	Radiator	10,4	570	Fußbodenheizung	6,48	
2	KG	Heizraum		12,9	706			
3	KG	Arbeitszimmer	Radiator	21,8	1194	Fußbodenheizung	13,6	
4	KG	Lager	Radiator	15,2	832	Fußbodenheizung	9,47	
5	KG	Abstellraum		3,8	208			
6	EG	Gang / Flur / Stgh	Radiator	10,4	570	Fußbodenheizung	6,48	
7	EG	Wohnküche	Radiator	67,1	3675	Fußbodenheizung	41,8	
8	EG	Bad	Radiator	3,8	208	Fußbodenheizung	2,37	
9	1.OG	Gang / Flur / Stgh	Radiator	5,1	279	Fußbodenheizung	3,18	
10	1.OG	Gang / Flur / Stgh		6,4	350	Fußbodenheizung	3,99	
11	1.OG	Kinderzimmer	Radiator	12,9	706	Fußbodenheizung	8,04	

12	1.OG	Kinderzimmer	Radiator	21,8	1194	Fußbodenheizung	13,6	
13	1.OG	Schlafzimmer	Radiator	10,9	597	Fußbodenheizung	6,79	
14	1.OG	Abstellraum		2,7	148			
15	1.OG	Bad	Radiator	4,2	230	Fußbodenheizung	2,62	
16	DG	Aufenthaltsraum	Radiator	14,1	772	Fußbodenheizung	8,79	
17	DG	Gang / Flur / Stgh		586	586	Fußbodenheizung	6,67	
18	DG	Schlafzimmer	Radiator	717	717	Fußbodenheizung	8,17	
19	DG	Aufenthaltsraum	Radiator	1188	1188	Fußbodenheizung	13,5	

WARMWASSER

Ziel der Sanierung ist ein möglichst zentrales System

Gibt es Warmwasserabnehmer die (einschließlich Steigleitungen) eine Leitungslänge von über 5 m zum Warmwasserspeicher (neben dem Heizwärmeerzeuger) erfordern? ja

Lässt sich der Warmwasserspeicher an einem anderen Ort aufstellen, sodass alle Leitungen kürzer als 5 m sind? nein

Wenn sich nicht alle Abnehmer von einem Speicher aus versorgen lassen, sollte dieser so platziert werden, dass vorrangig Waschbecken und Duschen bedient werden können. Bei Badewannen ist aufgrund der großen Entnahmemengen auch eine etwas größere Leitungslänge möglich. Jene Verbraucher die dann nicht sinnvoll vom Speicher aus versorgt werden können müssen dezentral bedient werden.

In welchem Geschoß und in welchem Raum wird der Warmwasserspeicher am besten aufgestellt (möglichst kurze Leitungslängen, Platzbedarf des Speichers beachten)? Abstellraum, KG

Folgende Räume können zur Gänze nicht vom Warmwasserspeicher versorgt werden:

Raum	Empfehlung / **Gewähltes System**
Bad, DG	Gemeinsamer elektrischer Speicher oder elektrischer Druchlauferhitzer (mit Abwasserwärmerückgewinnung für die Dusche)
	Elektrischer Speicher + Durchlauferhitzer mit AWRG für Dusche

Folgende einzelne Verbraucher können nicht vom Warmwasserspeicher versorgt werden:

Verbraucher	Empfehlung / **Gewähltes System**

Gewähltes System mit dem der zentral erwärmte Teil des Warmwassers erzeugt wird:

Gewähltes System:	**Photovoltaik + Wärmepumpe**
Zweites System (optional)	**Heizwärmeerzeuger (Pelletkessel)**
Drittes System (optional)	

Zur Speicherung des Warmwassers bzw. der zur Warmwasserbereitung verwendeten Energie wird der oberste Abschnitt des Pufferspeichers verwendet.

Einflüsse auf den Einbauzeitpunkt der neuen Warmwasserbereitung:

Autausch des Wärmeerzeugers:	2025
Einbau der Photovoltaik bzw. solarthermischen Anlage:	2025
Empfohlener Einbauzeitpunkt der Warmwasserbereitung:	2025
Gewählter Einbauzeitpunkt:	**2025**

NUTZUNG SOLARER ENERGIE

Es soll eine Photovoltaikanlage eingebaut werden die zur Warmwasserbereitung und zur Erzeugung von Haushaltsstrom genutzt werden soll.

Gesamtkollektorfläche:	**8,2 m²**
Jahres-Stromertrag nach Wechselrichter, absolut:	**1224 kWh/a**

Für die Warmwasserbreitung in Kombination mit einer Wärmepumpe ergibt sich ungefähr folgender Strombedarf:

Angenommene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe:	3,5
Jährlich erforderliche Energie zur Warmwasserbereitung:	1538 kWh/a
Angestrebter, solar gedeckter Anteil:	0,5
Jährlicher Strombedarf der Warmwasserwärmepumpe	220 kWh/a

Es wird keine solarthermische Anlage gewünscht.

Für die Speicherung der gewonnenen solaren Energie wird der Pufferspeicher verwendet.

Es ist keine Batterie zur Speicherung von elektrischer Energie vorgesehen.

Einbau der Anlage:	**2025**

LÜFTUNGSANLAGE

Bestandssituation

Im Gebäude wohnen 4 Personen.
Die bestehenden Fenster wurden im Jahr 2000 eingebaut.

Im bestehenden Gebäude gibt es im Moment weder Probleme mit Schimmel noch mit der Luftqualität oder Behaglichkeit. Der Einbau einer Lüftungsanlage ist somit zwar aus energetischer Sicht sinnvoll, aus bauphysikalischer Sicht im Moment jedoch nicht zwingend erforderlich.

Im Bestand wird bisher folgendes System verwendet:	dezentrale Lüftung
- in Wohn-, Aufenthalts- und Schlafräume	Fensterlüftung
- in der Küche	Fensterlüftung
- im Bad / in den Bädern	Fensterlüftung
- im WC / in den WCs	Fensterlüftung

System nach der Sanierung

Wichtige Aspekte beim Einbau einer zentralen Lüftungsanlage:

1	Gibt es einen zentralen Erschließungsraum in jedem Geschoß?	ja
2	Lassen die Raumhöhen (besonders) im Erschließungsbereich ein teilweises Abhängen der Decke zu um die Luftkanäle zu führen?	ja
3	Gibt es einen geeigneten Platz an dem ein Rohrleitungsschacht über alle Geschoße geführt werden kann?	nein
4	Ist ausreichend Platz zum Aufstellen eines zentralen Lüftungsgeräts vorhanden?	ja
5	Ist der Geräuschpegel eines zentralen Lüftungsgerätes an diesem Platz störend?	nein

Unter Berücksichtigung dieser Fragen und der im Tabellenblatt "Lüftung System" genannten Vor- und Nachteile haben sie sich für folgendes System entschieden:

Dezentrale Lüftungsanlage

Drei Kriterien für die Dimensionierung der Anlage maßgebend sein:

Ablufträume - Abluftbedarf

	Anzahl	Abluftbedarf [m³/h]	
Küche	1	60	60
Bad	1	40	40
Bad (nur Dusche)	3	20	60
WC	0	20	0
Abluftbedarf gesamt			160 m³/h

Frischluftbedarf

Anzahl Personen:	4
Bedarf pro Person:	30 m³/h
Frischluftbedarf gesamt	120 m³/h

Hygienischer Mindestluftwechsel

Raumvolumen gesamt:	627 m³
Mindestluftwechsel [1/h]	0,3
Hygienischer Luftwechsel	188 m³/h

Auslegungsvolumenstrom, Empfehlung:	188 m³/h
Auslegungsvolumenstrom, gewählt:	188 m³/h

Gewünschte Mindestluftwechselrate 0,3 1/h

Auf Basis des Gebäudegrundrisses und der generierten Empfehlungen wurden im Tabellenblatt "Lüftung AbZuluft" die verschiedenen Lüftungszonen wie folgt festgelegt:

Nr	Raum		Gerät Nr.	Zone	wenn mehrere Geräte				
1	KG	Gang / Flur	mehrere	Ü	1	2			
2	KG	Heizraum	1	A					
3	KG	Arbeitszimmer	1	Z					
4	KG	Lager	2	Z					
5	KG	Abstellraum	2	A					
6	EG	Gang / Flur / Stgh	3	Z					
7	EG	Wohnküche	4	Z + A					
8	EG	Bad	3	A					
9	1.OG	Gang / Flur / Stgh	mehrere	Ü	5	6			
10	1.OG	Gang / Flur / Stgh	5	A					
11	1.OG	Kinderzimmer	5	Z					
12	1.OG	Kinderzimmer	6	Z					
13	1.OG	Schlafzimmer	7	Z					
14	1.OG	Abstellraum	7	A					
15	1.OG	Bad	6	A					
16	DG	Aufenthaltsraum	mehrere	Ü	8	9			
17	DG	Gang / Flur / Stgh	8	A					
18	DG	Schlafzimmer	8	Z					
19	DG	Aufenthaltsraum	9	Z					
20	DG	Bad	9	A					

Nr	Raum	Volumen	Zone	Zuluft [m³/h]	Überströmt [m³/h]	Abluft [m³/h]	Pendellüfter [m³/h]
1	Gang / Flur	24,96	Ü		44,984		
2	Heizraum	30,96	A			24,984	
3	Arbeitszimmer	52,32	Z	24,984			
4	Lager	36,48	Z	20			
5	Abstellraum	9,12	A			20	
6	Gang / Flur / Stgh	26	Z	20			
7	Wohnküche	167,75	Z + A				
8	Bad	9,5	A			20	
9	Gang / Flur / Stgh	12,75	Ü		54,475		
10	Gang / Flur / Stgh	16	A			14,475	
11	Kinderzimmer	32,25	Z	14,475			
12	Kinderzimmer	54,5	Z	40			
13	Schlafzimmer	27,25	Z	10,2			
14	Abstellraum	6,75	A			10,2	
15	Bad	10,5	A			40	
16	Aufenthaltsraum	23,97	Ü		32,138		
17	Gang / Flur / Stgh	18,19	A			12,138	

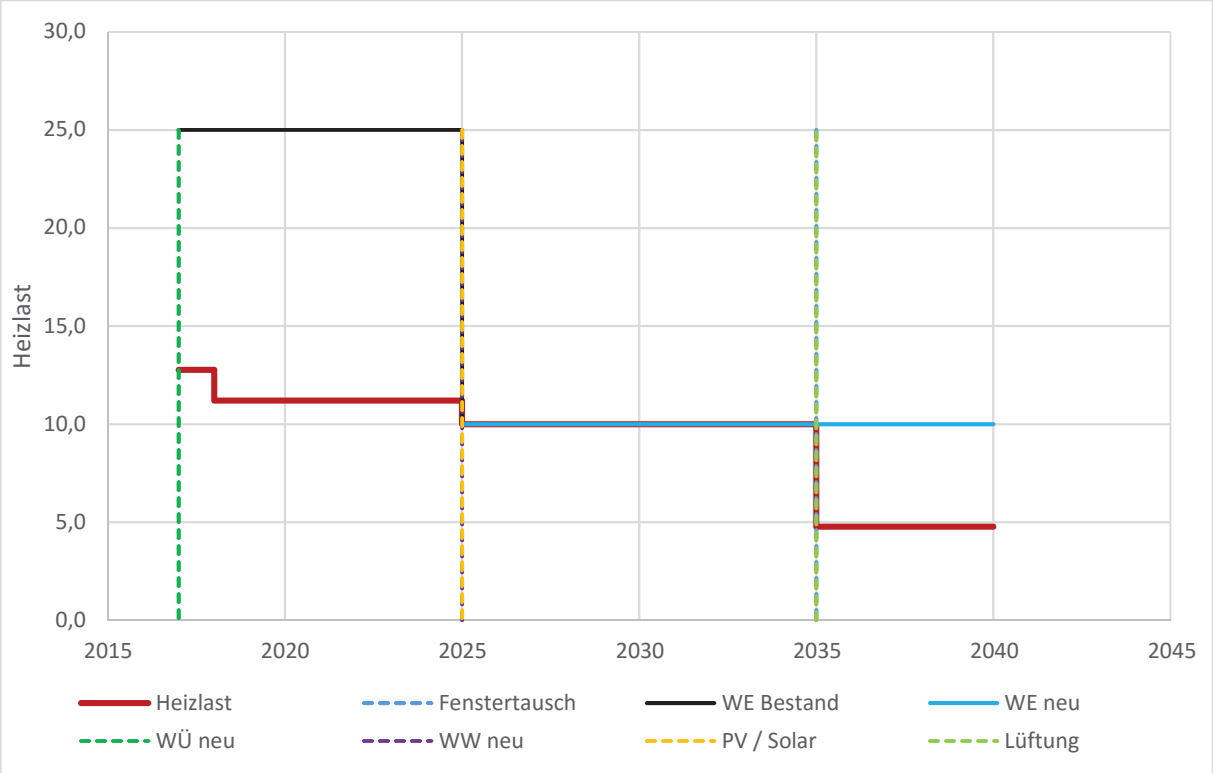
18	Schlafzimmer	22,27	Z	12,138			
19	Aufenthaltsraum	36,89	Z	20			
20	Bad	8,16	A			20	

Daraus ergeben sich folgende Volumenströme für die Auswahl / Bemessung der jeweiligen Lüftungsgeräte:

Gerät	Anzahl der versorgten Räume	Volumenstrom [m³/h]
1	2	25,0
2	2	20,0
3	2	20,0
4	1	60,0
5	2	14,5
6	2	40,0
7	2	10,2
8	2	12,1
9	2	20,0

Einbau der Anlage: **2035**

SANIERUNGSFAHRPLAN GEBÄUDETECHNIK



Jahr	Sanierungsschritt / Maßnahme
2017	Bestand
2017	**Einbau des Pufferspeichers**
2017	**Einbau der neuen Wärmeübergabesysteme**
2018	Dämmung Bodenplatte Keller + Wintergarten
2018	Dämmung Kellerwände
2025	Dämmung Dach
2025	**Einbau des neuen Wärmeerzeugers**
2025	**Installation der Photovoltaikanlage**
2025	**Installation der neuen Warmwasserbereitung**
2035	Dämmung Fassade
2035	Fenstertausch
2035	**Austausch der Fenster**
2035	**Einbau der Lüftungsanlage**