

Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außen liegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturanwendungen

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 0327370T gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Endbericht

(Oktober 2006 bis September 2009)

Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
Villemombler Straße 76
53123 Bonn
E-mail: knut.kuebler@bmwi.bund.de

Auftragnehmer: IZES gGmbH
Altenkesseler Straße 17 (Geb. A1)
66115 Saarbrücken - Burbach
E-mail: altgeld@izes.de

bearbeitet von Prof. Dr. Horst Altgeld
Dipl.-Ing. (FH) Michael Mahler
Dipl.-Ing. (FH) Ralf Cavellius
Dipl.-Ing. (FH) Juri Horst
Dipl.-Ing. (FH) Anna Dürnhöfer
M. Eng., Dipl.-Ing. (FH) Johannes Boettcher

Saarbrücken, den 15. März 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Aufgabenstellung und Ziele	7
2.1	Markt- und Potenzialbewertung für die außen liegende Wandheizung (AP1)8	
2.1.1	Untersuchungen zum Marktpotenzial für den Einsatz von außen liegenden Wandheizungen (AP1a).....	8
2.1.2	Bewertung von Niedertemperatur (NT)-Quellen für den Einsatz in Außenwand Heiz (aWH)-Systemen (AP1b).....	9
2.2	Wandsimulationen (AP2)	11
2.2.1	Geschlossen physikalische Darstellung der thermischen Wandzustände (AP2a).....	12
2.2.2	Wandsimulationen (AP2b)	14
2.2.3	Gebäude- und Systemsimulationen (AP2c).....	18
2.3	Systemspezifizierung (AP3).....	22
2.4	Systemkosten (AP4).....	24
2.5	Konstruktive Erprobung an einer Musterwand (AP5).....	29
2.6	Funktionskennwerte und Regelstrategien (AP6)	34
2.7	Bewertung der NT-Wärme (AP7).....	36
2.8	Publikationen und Vorträge (AP10)	41
2.9	Vorarbeiten Feldtestobjekte.....	42
3	Fazit.....	43
4	Literaturverzeichnis.....	44
5	Anhang.....	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Temperaturverlauf und Wärmeströme bei eingeschalteter aWH	13
Abbildung 2: Prinzipskizze Referenzfall	14
Abbildung 3: Wärmestrom Q_{i-0} (Heizleistung) für unterschiedliche Anbindungsvarianten, Vollziegelwand, Rohrtemperatur 40°C	15
Abbildung 4: Relativer Wärmestrom q_w (= Verhältnis zwischen dem Wärmestrom bei dem jeweiligen Rohrabstand und dem maximal möglichen Wärmestrom bei einer geschlossenen Hezebene), Rohrabstand 30 cm für verschiedene Anbindungsvarianten der Flächenheizsysteme	16
Abbildung 5: Frontansicht des Mehrfamilienhauses mit den drei Gebäudeteilen.....	18
Abbildung 6: Außenwandbelegungsplan PEX-Rohr 17 x 2 , Rohrabstand 150 mm	25
Abbildung 7: Außenwandbelegungsplan PEX-Rohr 17 x 2 , Raster 300 mm.....	25
Abbildung 8: Außenwandbelegungsplan Kupfermäander auf Aluplatte.....	26
Abbildung 9: Außenwandbelegungsplan mit Kapillarrohrsystem.....	26
Abbildung 10: Installierte Fühler bei der Mauerhöhe 1m mit beispielhaften Temperatur-Messwerten in °C senkrecht zur Wandoberfläche von innen (links) nach außen	30
Abbildung 11: Wand mit „Altputz“ und darauf fixierten PEX-Heizungsrohren	30
Abbildung 12: Dämmung und neuer Außenputz sind aufgebracht – danach werden die oberen Verbindungsrohre gedämmt	30
Abbildung 13: Temperaturverteilung in der Wand Test 3 - Vergleich der mittleren Temperaturen im Laborversuch mit den Simulationsergebnissen.....	31
Abbildung 14: Zeitlicher Temperaturverlauf in den Wandschichten bei Aufgabe eines Temperatursprungs von ~20K (Darstellung der Mittelwerte in den Wandschichten – Ziegelwand in Grüntönen, Isolierung rot und Umgebungstemperaturen blau)	33
Abbildung 15: Eingabebeispiel der Anlagentechnik mit Innen- und aWH-Heizsystem gemäß DIN 4701-10 (siehe A3-Darstellung im Anhang)	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifische Kosten der untersuchten Systeme.....	27
Tabelle 2: Kostenfaktoren und „Wirkungsgrade“ verschiedener Heizflächensysteme in Bezug auf erzielbare Leistungen	28

1 Einleitung

Im Forschungsprojekt „Energieeinspar- und Kostensenkungspotenziale durch den Einsatz von außen liegenden Wandheizungssystemen (aWH) für Niedertemperaturanwendungen“ – kurz LEXU (Low Exergy Utilisation) – wurde u.a. die Eignung einer außen liegenden Wandheizung zur Reduktion der zur Beheizung von Gebäuden benötigten Primärenergie untersucht. Hauptaugenmerk war hierbei neben der außen liegenden Wandheizung selbst die Verwendung von Niedertemperaturwärme als Heizwärme im außen liegenden Wandheizkreis. Hierzu waren verschiedene Fragestellungen zu betrachten und zu beantworten. Die einzelnen Untersuchungsziele wurden in dem Forschungsprojekt verschiedenen Arbeitspaketen zugeordnet.

Das erste Arbeitspaket „Markt- und Potenzialbewertung“ beschäftigte sich mit der Bewertung des Marktpotenzials und der zur Verfügung stehenden Niedertemperaturwärmequellen. Im zweiten Arbeitspaket „Wandsimulationen“ wurden drei Arbeitsschwerpunkte bearbeitet. Zum einen die geschlossene physikalische Darstellung der thermischen Wandzustände, zum anderen die numerische Wandsimulation unterschiedlicher Wandaufbauten und schließlich die numerische Gebäudesimulation verschiedener Einsatzfälle. Die Auswahl geeigneter Wandheizsysteme wurde im dritten Arbeitspakete „Systemspezifizierung“ behandelt. Anhand eines Mustergebäudes wurden exemplarische Kosten der Systemlösung im vierten Arbeitspaket „Kostenschätzung“ zusammengestellt, um erste Ergebnisse zur Bewertung der Umsetzbarkeit in wirtschaftlicher Hinsicht zu erhalten. Im fünften Arbeitspaket „Konstruktive Erprobung einer Musterwand“ wurde das außen liegende Wandheizsystem im Labor an einer Musterwand vermessen und die Ergebnisse mit den Simulationsergebnissen verglichen. Das sechste Arbeitspaket „Funktionskennwerte und Regelstrategien“ befasst sich mit den Kennwerten des aWH-Systems und der Optimierung von Regelstrategien zur Reduktion des

Primärenergieverbrauchs. Im siebten Arbeitspaket „Bewertung der NT-Wärme“ wurden die gewonnenen Ergebnisse in Bezug auf die Umsetzbarkeit hinsichtlich der aktuellen Gesetzgebung, sprich der Abrechnungsmodalitäten und der Einhaltung bzw. Berechnung der Energieeinsparverordnung, bewertet. Im achten Arbeitspaket „Feldtest“ sollte die Systemerprobung an einem Feldtestobjekt erfolgen. Im neunten Arbeitspaket „Planungstool“ war vorgesehen ein Tool zur Planungsunterstützung zu entwickeln, das Architekten und Planern eine einfache und schnelle Entscheidungshilfe zur Umsetzung von außen liegenden Wandheizungslösungen bei Sanierungsprojekten zur Verfügung stellt. Im zehnten Arbeitspaket „Publikationen/Vorträge“ wurden die Aktivitäten zur Bearbeitung von Publikationen und Vorträgen zusammengefasst.

Ende 2008 wurde in Abstimmung mit dem Projektträger beschlossen, die Arbeitspakete 8 und 9 in ein Folgeprojekt zu übertragen, da die Bearbeitung der Arbeitspakete „Simulation“ und „Konstruktive Erprobung einer Musterwand“ mehr als geplant vertieft werden musste und zu einem wesentlich höheren Aufwand führte.

Im folgenden Bericht werden daher nur die Arbeitspakete 1 bis 7 sowie 10 dargestellt. Zu den einzelnen Arbeitspaketen gibt es separate Berichte. In diesem zusammenfassenden Bericht werden die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete kurz behandelt und die Gesamthematik in Bezug auf die einzelnen Arbeitsschritte dargestellt. Detaillierte Ergebnisse sind, bis auf einzelne Ausnahmen, vorwiegend in den Arbeitspaketberichten dargestellt.

Das Forschungsprojekt wurde in Zusammenarbeit mit folgenden Partnern bearbeitet:

- P1: IZES gGmbH** (Institut für ZukunftsEnergieSysteme), Saarbrücken
- P2: FZE** - Forschungsstelle Zukunftsenergie an der Universität des Saarlandes
- P3: Prof. Dr. Bernd Glück** - wiss. Beratung für IZES: Flächenheizsysteme, Zwickau

- P4:** **Innung der Stuckateure**/Fassadenbauer im Saarland, vertreten durch den Innungsmeister Herrn Samson, in Verbindung mit der Bundesinnung der Stuckateure/Fassadenbauer, Neunkirchen
- P5:** Fa. **ARTA**, Fassadenbau, Ludwigsburg
- P6:** Fa. **Clina**, Hersteller von Kapillarrohrmatten- Systemen, Berlin
- P7:** Fa. **Uponor**, Hersteller / Lieferant von Kapillarrohrsystemen, Haßfurth
- P8:** Fa. **Schütz** Energietechnik, Hersteller von Kunststoff- Fußbodenheizsystemen, Selters
- P9:** Fa. **KME**, Hersteller von Kupfer Fußbodenheizsystemen, Osnabrück
- P10:** Fa. **Gefga**, Planer von Flächenheizsystem- Anwendungen, Limburg
- P11:** Fa. **Sto AG**, Hersteller Wärmedämmverbundsysteme, Stühlingen

2 Aufgabenstellung und Ziele

Die Zielsetzung des Forschungsvorhabens war die Untersuchung des Prinzips der außen liegenden Wandheizung (aWH) zur Beheizung von Gebäuden mittels Niedertemperaturwärme. Neben der Untersuchung der eigentlichen außen liegenden Wandheizung mit ihren spezifischen Eigenschaften im Bereich der Wärmeübertragung und –speicherung waren weiterhin die erreichbare Reduktion des Primärenergiebedarfs zur Gebäudebeheizung und die Zusatzeffekte wie „Sanierung von außen“ interessante Aufgabenschwerpunkte. Hierbei ging es im Detail um folgende Aufgabenstellungen:

- Abschätzung des Marktpotenzials einer aWH
- Ermittlung der möglichen Niedertemperaturwärmequellen zur Beheizung von aWH-Systemen
- Theoretische Untersuchungen des aWH-Systems durch:
 - Eine geschlossene physikalische Darstellung der thermischen Wandzustände
 - Die numerische Wandsimulation verschiedener Wandaufbauten
 - Die numerische Gebäude- und Anlagensimulation für verschiedene Einsatzfälle
- Entwicklung geeigneter Systemkonzeptionen
- Abschätzung der Systemkosten
- Labormäßige Untersuchung der thermischen Vorgänge in der Wand
- Entwicklung von Funktionskennwerten und Regelstrategien
- Bewertung der Niedertemperaturwärme

Im weiteren Verlauf werden kurz die Ergebnisse der einzelnen Aufgabenstellungen erläutert sowie der Bezug zur Erreichung des Projektziels dargestellt.

2.1 Markt- und Potenzialbewertung für die außen liegende Wandheizung (AP1)

Das **Arbeitspaket 1** wurde in zwei Arbeitsschritte unterteilt. Der erste beschäftigte sich mit der quantitativen Umsetzbarkeit des aWH-Systems hinsichtlich der möglichen Umsetzungsmengen. Im zweiten Arbeitsschritt wurden die möglichen Niedertemperaturwärmequellen untersucht und mittels Abschätzung hinsichtlich ihrer Qualifikation zur Umsetzung bei aWH-Systemen bewertet. Die beiden Arbeitsschritte und somit auch das Arbeitspaket 1 wurden **erfolgreich bearbeitet**.

2.1.1 Untersuchungen zum Marktpotenzial für den Einsatz von außen liegenden Wandheizungen (AP1a)

In diesem Arbeitspunkt wurde ermittelt, welche Gebäudeflächen für die Nutzung der untersuchten aWH-Systeme theoretisch aktiviert werden könnten. Die Auswertung zur Verfügung stehender Daten ergab ein geschätztes technisches Potenzial von ca. 2.000 Mio. m² zu sanierende Außenwandfläche. Die Berechnungen basieren auf statistischen Daten welche in Bezug zu den Wohnflächenverteilungen der deutschen Gebäudetypologie (gemäß /IWU 2007 Potenzial/) gesetzt wurde. Aus den Typgebäuden bezogenen Außenwandanteilen ergeben sich erste Hochrechnungen des technischen Potenzials. Unter Berücksichtigung von Sanierungsquoten, die durch Branchenstatistiken sowie Marktkenntnisse der beteiligten Projektpartner ermittelt wurden, ergeben sich Obergrenzen für entsprechend noch sanierungsfähige Außenwandflächen im Bestand. Aufgrund der besonderen Schwierigkeit, die Flächen für aWH-Nutzung ungeeigneter Wandkonstruktionen (z.B. Innengedämmte Konstruktionen oder

zweischaliges Mauerwerk mit Hinterlüftung) zu ermitteln, ergibt sich eine gewisse Unschärfe des vorhandenen Marktpotenzials. Geht man von einem Mindestpotenzial von rund 1 Mrd. m² aus, so ergibt sich ein großes Marktpotenzial für die Nutzung der außen liegenden Wandheizung. **Somit besteht von dieser Seite ein guter Grund zur weiteren Verfolgung des Forschungsvorhabens.**

Detaillierte Ergebnisse können dem separaten Abschlussbericht dieses Arbeitspaketes „Untersuchungen zum Marktpotenzial für den Einsatz von außen liegenden Wandheizungen“ entnommen werden.

2.1.2 Bewertung von Niedertemperatur (NT)-Quellen für den Einsatz in Außenwand Heiz (aWH)-Systemen (AP1b)

Im ersten Schritt wurden mögliche Niedertemperaturquellen zusammengestellt und in einfacher Weise klassifiziert. Im weiteren Verlauf wurden statische Berechnungen durchgeführt, um die möglichen Energieeinsparungen einer außen liegenden Wandheizung in Kombination mit der jeweiligen NT-Quelle abzuschätzen. Diese Berechnungen sollten nur einen ersten Anhaltspunkt für sinnvolle Kombinationen geben und eine erste Eingrenzung der NT-Quellen ermöglichen.

Hierzu wurde ein Gebäude aus der deutschen Gebäudetypologie (IWU) ausgewählt und der Energiebedarf mittels Berechnung nach der Energieeinsparverordnung bestimmt. Das ausgewählte Gebäude ist ein Mehrfamilienhaus vom Typ F, der Baualtersklasse 1969 – 1978 und in Deutschland relativ häufig vertreten. Der Wärmebedarf des Gebäudes lag im sanierten Zustand (nur Außenwanddämmung) bei 40,5 MWh/a bzw. 88 kWh/(m² a).

Der mögliche energetische Anteil des aWH-Systems an der Beheizung des Gebäudes (aWH-Deckungsanteil) wurde in den einzelnen Varianten über die erreichbaren Heizleistungen der aWH in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur und der Außentemperatur abgeschätzt. In diesem Bericht werden einige Varianten

beispielhaft dargestellt. Im entsprechenden Arbeitspaket-Abschlussbericht „Bewertung von Niedertemperatur (NT)-Quellen für den Einsatz in Außenwand Heiz (aWH)-Systemen“ sind die betrachteten Varianten detailliert dargestellt. Es wurde zum Beispiel die Variante Brennwertnutzung bei Niedertemperaturkesseln untersucht. Hier wird bei vorhandenen Niedertemperaturkesseln mittels Abgaswärmetauscher der Rücklauf weiter abgekühlt und die Niedertemperaturwärme aus dem Abgaswärmetauscher mittels des aWH-Systems nutzbar gemacht. Für diese Variante wurden verschiedene Hydraulikanbindungen untersucht. Die besten Ergebnisse ergaben sich für die Möglichkeit des „Direktanschlusses“. Hierbei ist die Niedertemperaturheizfläche, also die außen liegende Wandheizung, direkt in den Rücklauf des Heizkreises integriert und kühlt somit den Rücklauf weiter ab. Diese Variante führte zu Endenergieeinsparungen von absolut ca. 3,6 MWh/a und entsprechend ca. 8 %. Diese Hydraulikvariante wies den geringsten Hilfsenergieeinsatz für Pumpenstrom auf. Die aWH führte also bei statischer Betrachtung zu einer verbesserten Energieausbeute und zu Endenergie- bzw. Primärenergieeinsparungen.

Neben der NT-Quelle „Brennwertnutzung“ wurde auch die Nutzung von Wärmepumpen in Kombination mit der aWH untersucht. Hier erreichte die monovalente Wärmepumpenlösung, bei der die Wärmepumpe das vorhandenen innere und das neue aWH-System versorgt, die besten Ergebnisse. Im Vergleich zum Wärmepumpeneinsatz bei reinem inneren Heizsystem (Radiatoren) erreichte die Kombination mit dem aWH-System durch Verbesserung der Jahresarbeitszahl (JAZ) eine Primärenergieeinsparung von ca. 6 %. Bei statischer Betrachtung führte auch hier die aWH-Lösung wie erwartet zu Primärenergieeinsparungen aufgrund höherer Jahresarbeitszahlen.

Die beste Variante wäre energetisch die Nutzung von Abwärme, die ansonsten ungenutzt in die Umwelt gelangt. Hier könnte man mit Temperaturen von 25°C bis 35°C einen signifikanten Beitrag zur Beheizung des Gebäudes leisten, dessen Primärenergiebedarf fast mit Null angesetzt werden kann. Für die Wirtschaftlichkeit

solcher Lösungen sind allerdings neben den Kosten für das aWH-System auch die Kosten für den Transport der Abwärme zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass der optimale Einsatzfall Gebäude eines Gewerbe- oder Industriebetriebes sind, die von der Abwärme aus der unmittelbar angrenzenden Produktionshalle versorgt werden können.

In wieweit die Ergebnisse der statischen Berechnungen auf den Realfall zutreffen wird im Arbeitspaket „Simulation“ genauer untersucht. **Die Ergebnisse der statischen Berechnungen sprechen für eine erfolgreiche Umsetzung des Forschungsprojektes.**

2.2 Wandsimulationen (AP2)

Das **Arbeitspaket 2** wurde in drei Einzelschritte unterteilt. Die geschlossene physikalische Darstellung der thermischen Wandzustände im aWH-System wurde im ersten Arbeitsschritt untersucht. Das heißt, dass die physikalischen Vorgänge innerhalb der Systemgrenzen beschrieben wurden und daraus Größen wie z. B. der *Wirkungsgrad* der aWH abgeleitet wurden. Im zweiten Arbeitsschritt wurden Wandsimulationen durchgeführt, um Ergebnisse für z.B. die Heizleistung in Abhängigkeit unterschiedlicher Wandtypen, unterschiedlicher Systemparameter (Rohrabstand) und unterschiedlicher Systeme (Befestigung- bzw. Installationsrandbedingungen) zu ermitteln. Der letzte Arbeitsschritt in diesem Arbeitspaket beinhaltete die Gebäudesimulationen. Hier wurden Untersuchungen für das gesamte System incl. Gebäude durchgeführt. Die Betrachtung wurde also von der Wand auf das Gebäude erweitert und somit geöffnet für weitere Einflussfaktoren wie z.B. den Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Räume und somit auch auf die Einflussfaktoren des aWH-Systems auf die Raumkonditionierung. Die Arbeitsschritte wurden **erfolgreich bearbeitet**.

2.2.1 Geschlossen physikalische Darstellung der thermischen Wandzustände (AP2a)

In diesem Arbeitsschritt wurden die physikalischen Vorgänge in der Wand theoretisch untersucht und daraus Schlussfolgerungen für die weitere Bearbeitung des Projekts hergeleitet. Die physikalische Darstellung der thermischen Wandzustände wurde, wie die anderen Arbeitspakete bzw. Arbeitsschritte, in einem separaten Abschlussbericht beschrieben. Diese Herleitung kann hier nicht auszugsweise dargestellt werden, da sie auszugsweise nicht verständlich ist. Daher werden an dieser Stelle die Funktion und der Wirkungsgrad der aWH beschrieben.

In Abbildung 1 ist eine Bestandswand (massive Wand) mit Außenwanddämmung (Dämmung) und aWH (rote Kreise zwischen massiver Wand und Dämmung) dargestellt. Darunter ist der Temperaturverlauf in der Wand in eingeschaltetem Zustand der aWH (fette, rote bzw. rosa Linie) und in ausgeschaltetem Zustand der aWH (dünne, grüne Linie) aufgetragen. In ausgeschaltetem Zustand hat die Wand an der Stelle z_w , an der die aWH eingebracht ist, die Temperatur $T_0(z_w)$, die leicht unter der Raumtemperatur T_i liegt. Wird die aWH eingeschaltet so steigt die Temperatur an dieser Stelle, je nach Vorlauftemperatur der aWH, an. Betreibt man die aWH im sogenannten *kompensatorischen Betrieb*, dann ist die Temperatur $T(z_w)$ gleich der Raumtemperatur und somit kompensiert die aWH die Verluste, die ohne aWH durch diese Wand vorhanden wären. Wird die aWH im überkompensatorischen Betrieb also im Heizbetrieb betrieben, liegt die Temperatur $T(z_w)$ über der Raumtemperatur und die aWH gibt Wärme in den Raum ab. In der letztgenannten Betriebsweise wird an der Stelle z_w die Wärmemenge Q_w von der Wandheizung in die Wand eingebracht. Diese teilt sich in die Wärmeströme Q_i und Q_a die nach innen und außen fließen ($Q_w = Q_i + Q_a$). Ein Teil von Q_i kompensiert den Ruhe-Wärmestrom Q_0 der ohne aWH durch die Wand fließen würde und der Rest wird als Heizleistung Q_{i-0} an den Raum abgegeben. Nach außen fließt der Wärmestrom Q_{a+0} der sich aus dem Verlustanteil der aWH Q_a und dem Ruhe-Wärmestrom Q_0 zusammensetzt.

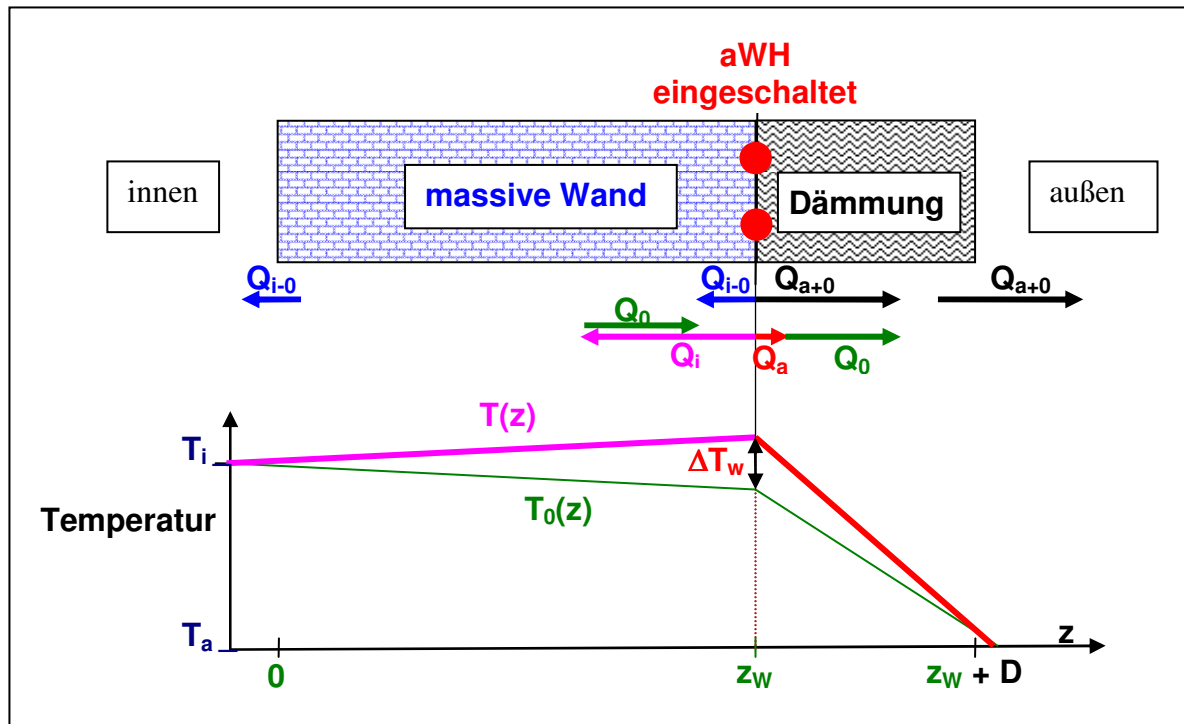


Abbildung 1: Temperaturverlauf und Wärmeströme bei eingeschalteter aWH

Der Wirkungsgrad η der aWH ergibt sich aus dem Verhältnis des nach innen fließenden Nutzwärmestroms Q_i und dem gesamten Heizstrom der aWH Q_w . Da Q_w gleich der Summe aus Q_i und Q_a ist ergibt sich nach Umstellung und Einsetzen $\eta = R_a \cdot U$. Das bedeutet, dass der Wirkungsgrad der aWH nur abhängig ist vom U-Wert der Wand und dem äußeren thermischen Widerstand (von Heizebene zur Außenluft). Bei einer typischen Bestandswand mit einem $U\text{-Wert}_{\text{alt}}$ von ca. $1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ und einer 14cm starken Wärmedämmung (WLG 035) ergibt sich ein $U\text{-Wert}_{\text{neu}}$ von ca. $0,21 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ und ein Wirkungsgrad der aWH von ca. 87 %.

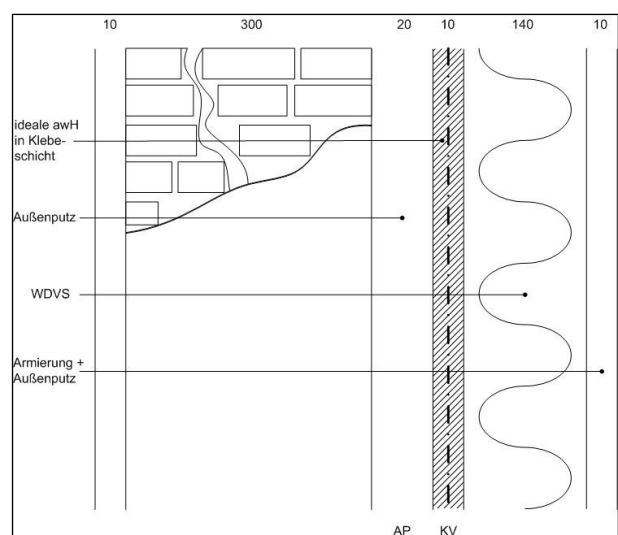
Des Weiteren konnte durch die theoretische Grundlagenbeschreibung nachgewiesen werden, dass die labormäßigen Untersuchungen an der Musterwand in einem Labor ohne Klimakammer durchgeführt werden können. Die Lufttemperatur auf der Raumseite muss sich nicht von der auf der Außenseite unterscheiden. Das bedeutet, dass die Musterwand in einem Labor aufgestellt und betrieben werden kann, der z.B. auf 20°C temperiert ist. Diese Erkenntnis hatte im

späteren Verlauf des Projektes Einfluss auf die Wahl des Standortes der Musterwand. **Die Ergebnisse der geschlossen physikalischen Darstellung der thermischen Wandzustände sprechen für eine erfolgreiche Umsetzung des Forschungsprojektes.**

2.2.2 Wandsimulationen (AP2b)

Der Arbeitsschritt Wandsimulationen befasste sich mit der numerischen Simulation der mittels aWH beheizten Wand. Daraus wurden wichtige Erkenntnisse sowohl für die spätere Gebäudesimulation als auch für die praktische Umsetzung und Systemplanung gewonnen. In einem ersten Simulationsschritt wurde für eine typische Bestandswand (Vollziegelwand mit $U\text{-Wert}_{\text{alt}} = 1,74 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$) die Heizleistung (Q_{i-0}) für verschiedene Varianten der Anbringung des aWH-Systems untersucht.

Der *Referenzfall*, mit dem die verschiedenen Varianten verglichen wurden, war



eine homogene, temperierte Ebene im Bereich der aWH, welche zwischen dem alten Außenputz und der Außendämmung angebracht ist (siehe Abbildung 2). Es wurden insgesamt 11 Varianten zur Anbringung des aWH-Systems betrachtet. Die Hauptunterscheidung der Anbringung betrifft die Lage der Heizrohre relativ zum alten Außenputz.

Abbildung 2: Prinzipskizze Referenzfall

Entweder lagen die Heizrohre voll im geschlitzten alten Außenputz (vollflächig eingeputzt), halb im geschlitzten Außenputz oder auf dem Außenputz. Zu den Hauptvarianten wurden Varianten mit unterschiedlicher Einputzung wie z.B. vollflächiger oder nur teilweiser Einputzung mit und ohne Überdeckung des Heizrohres simuliert. Des Weiteren wurden 6 Varianten mit unterschiedlichen Rohr zu Rohr Abständen von 30mm bis 50 cm berechnet. Auch wurde die Rohrtemperatur variiert, um eine Heizkurve für die jeweiligen Variationen erzeugen zu können.

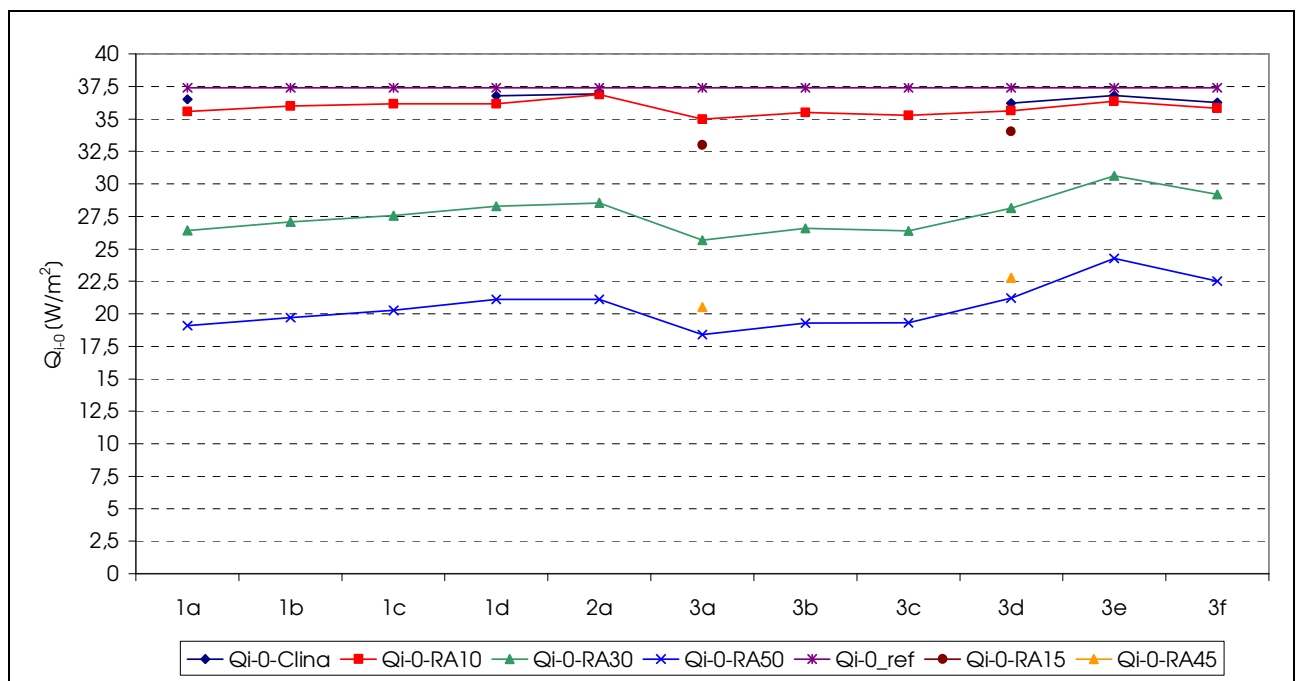


Abbildung 3: Wärmestrom Q_{i-0} (Heizleistung) für unterschiedliche Anbindungsvarianten, Vollziegelwand, Rohrtemperatur 40°C

Die Ergebnisse der Simulationen sind in Abbildung 3 dargestellt. Man erkennt, dass die Variante mit dem Rohrabstand von 30 mm (Clina-System) mit ca. 37 W/m² das beste Ergebnis erreicht. Der Rohrabstand von 10 cm ist nur geringfügig (ca. 2 %) ungünstiger. Die größeren Rohrabstände fallen mit ca. 27 W/m² bzw. 21 W/m² deutlich ab und liegen somit relativ ca. 27 % bzw. 43 % unter den Ergebnissen des 'leistungsstärksten' Systems. Den Einfluss der verschiedenen Einputzvarianten erkennt man auch sehr gut in Abbildung 4. Die Varianten 1a bis 1d zeigen die

Lösungen für den geschlitzten Außenputz, bei denen die Schlitztiefe der halbe Rohrdurchmesser ist. Bei Variante 2a ist die Schlitztiefe der volle Rohrdurchmesser und die Varianten 3a bis 3f zeigen die Varianten bei denen das Rohr auf dem alten Außenputz liegt. Die Buchstaben a bis f stehen für verschiedenen starke Einputzvarianten des Rohres selbst. Der Buchstabe d steht beispielsweise für vollflächig eingeputzt, welches auch immer eine gute Lösung darstellt. Die Anbindungs- und Einputzvarianten sind detailliert im separaten Abschlussbericht des Arbeitspaketes 2b „Variantenuntersuchungen zur thermischen Einbindung von Außenwandheizsystemen in Bestandswänden“ dargestellt. Die leistungsstärkste Variante in Abbildung 4 ist 3e, welche die vollflächige Einputzung mit Wärmeleitzement des auf dem alten Außenputz liegenden Heizrohres darstellt. Der Einfluss der Einputzvariante steigt wiederum mit zunehmendem Rohrabstand. Bei 10 cm Rohrabstand differieren die Ergebnisse der verschiedenen Varianten um ca. 5 %, bei 30 cm Rohrabstand um ca. 12 % und bei 50 cm Rohrabstand um ca. 15 %.

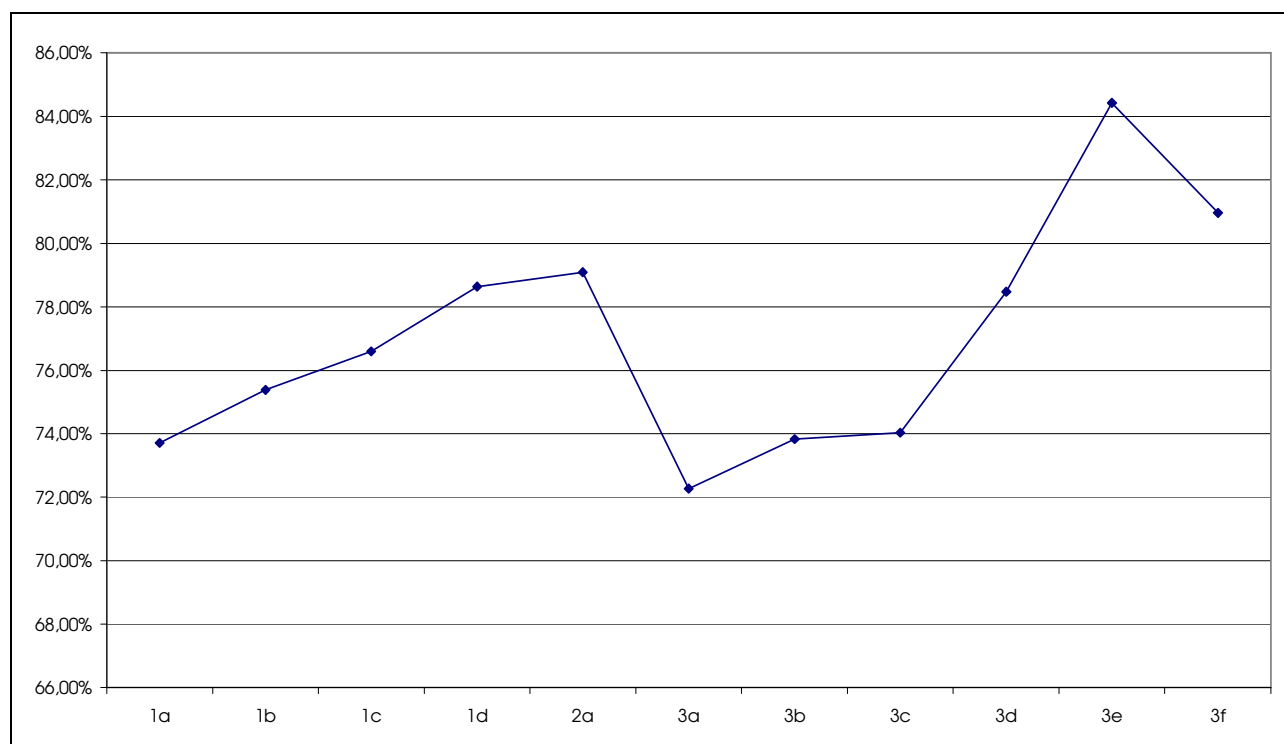


Abbildung 4: Relativer Wärmestrom q_w (= Verhältnis zwischen dem Wärmestrom bei dem jeweiligen Rohrabstand und dem maximal möglichen Wärmestrom bei einer geschlossenen Heizebene), Rohrabstand 30 cm für verschiedene Anbindungsvarianten der Flächenheizsysteme

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde im weiteren Verlauf des Projektes die vollflächig eingeputzte Variante 3e priorisiert, da diese auch von der baulichen Umsetzung her relativ einfach ist. Neben den bereits erwähnten Simulationen wurden auch Berechnungen für unterschiedliche Wandaufbauten durchgeführt. So ergaben sich für die Hochlochziegelwand mit einem $U\text{-Wert}_{\text{alt}}$ von ca. $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ eine erreichbare Heizleistung von ca. $22 \text{ W}/\text{m}^2$ und für die Leichtbeton Naturbimswand mit einem $U\text{-Wert}_{\text{alt}}$ von ca. $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ eine erreichbare Heizleistung von ca. $16 \text{ W}/\text{m}^2$. Im Gegensatz zur Vollziegelwand mit der bei einer Dämmstärke von 14 cm (WLG 035) ein aWH-Wirkungsgrad von ca. 88 % erreicht wird, erreicht man mit der Hochlochziegelwand bei gleicher Dämmung nur noch einen Wirkungsgrad von ca. 81 % und mit der Leichtbetonwand nur noch ca. 76 %. Aufgrund dessen wurde im weiteren Verlauf das „optimale“ Gebäude als ein älteres Bestandsgebäude mit Vollziegelwand definiert und für weitere Berechnungen zugrunde gelegt.

Neben den statischen Berechnungen wurden auch dynamische Simulationen zur Kennwertbildung durchgeführt. So wurde beispielsweise das Ladeverhalten der Wand untersucht und festgestellt, dass das Heizsystem umso träger ist, je größer der Rohrabstand wird. So wird mit einem Rohrabstand von 30 mm (Clina-System) ein Nutzwärmestrom von 63,2 % (τ -Wert) des stationären Endwertes nach 17 h und 50 min erreicht. Ein Rohrabstand von 10 cm verlängert diese Zeit um 33 min und Systeme mit Rohrabstand von 50 cm erreichen diesen Wert erst nach 31 h und 22 min. Die *Entladezeit* der Wand wurde ebenfalls untersucht. Für diesen Vorgang wurden ca. 2 Tage benötigt um den Wärmestrom um 63,2 % abzusenken.

Die detaillierten Ergebnisse können, wie bereits oben erwähnt, im Abschlussbericht des Arbeitspaketes 2b „Variantenuntersuchungen zur thermischen Einbindung von Außenwandheizsystemen in Bestandswänden“ nachgelesen werden. **Auch die Ergebnisse dieses Arbeitsschrittes sprechen ebenfalls für eine erfolgreiche Umsetzung des Forschungsprojektes.**

2.2.3 Gebäude- und Systemsimulationen (AP2c)

Die Untersuchungen im Bereich Gebäude- und Systemsimulation wurden ausgeführt, um festzustellen, ob die statischen Abschätzungen mit dynamischen Simulationsmodellen verifiziert werden können. In einem ersten Schritt wurde das Simulationsprogramm TRNSYS® auf „Tauglichkeit“ hinsichtlich des zu untersuchenden aWH-Systems geprüft. Die vorhandene Komponente in TRNSYS®, welche den Part der aWH am ehesten übernehmen kann, wurde eigentlich zur Bauteilaktivierung programmiert. Es gab daher einige einschränkende Randbedingungen, welche die Umsetzung erschwerten. Zur Prüfung der „Tauglichkeit“ wurden verschiedene statische und dynamische Berechnungen durchgeführt und mit Berechnungen mittels dem Finite-Elemente-Programm (HEAT 2®) bzw. einem selbst programmierten Excel-Tool zur Lösung von Differentialgleichungssystemen verglichen. Die Ergebnisse der verschiedenen Programme zeigten nur geringe Abweichungen von unter 1 % für die statischen Berechnungen und < 3 % im dynamischen Fall. Daraus wurde geschlossen, dass die Simulationssoftware TRNSYS® für die weiteren Simulationsaufgaben gut geeignet ist.



Abbildung 5: Frontansicht des Mehrfamilienhauses mit den drei Gebäudeteilen

Bei dem simulierten Gebäude handelte es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 15 Wohneinheiten, welches aus drei abgeschlossenen Gebäudeteilen besteht (siehe Abbildung 5). Die hier genannten Ergebnisse beziehen sich auf einen dieser Gebäudeteile - nämlich Haus 1.

Im Laufe des Projektes wurden verschiedene Systemlösungen hinsichtlich der verwendeten Niedertemperaturquelle untersucht. Für die meisten Fälle wurden separate Referenzfälle simuliert, um die aWH-Varianten vergleichen zu können. Des Weiteren gab es verschiedene Ansätze zur Regelung des inneren Heizsystems und der aWH. Auch wurden verschiedene Dämmstandards untersucht und der Einfluss von unterschiedlichen Luftwechseln im Gebäude analysiert. Grundsätzlich wurde das Gebäude im jeweiligen *Referenzfall* nur über das innere Radiatorheizsystem und in den dazugehörigen aWH-Varianten über das innere Heizsystem und das aWH-System beheizt.

In den ersten Simulationsvarianten wurde sowohl das innere als auch das aWH-System mit konstanter Vorlauftemperatur betrieben. Hier zeigte sich insbesondere, dass beim aWH-System mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 20°C nur Deckungsanteile von ca. 6 % erreichbar waren, das bedeutet, der größte Anteil muss weiterhin vom inneren Heizsystem aufgebracht werden. Bei 30°C lag der Deckungsanteil bei ca. 46 % und bei konstant 40°C bei ca. 72 %. Im Vergleich dazu erreicht ein aWH-System mit geregelter Vorlauftemperatur zwischen 20°C und 30°C einen Deckungsanteil von ca. 38 %. Diese Variante hatte ihrerseits den Vorteil, dass die Überhitzungsverluste, die entstehen wenn die Wand Wärme an den Raum abgibt, obwohl dieser bereits die Solltemperatur erreicht hat, wesentlich geringer waren als bei den Varianten mit konstanter Vorlauftemperatur im aWH-Kreislauf.

Zur Bewertung von Niedertemperaturquellen wurde eine Variante mit monovalenter Wärmepumpe simuliert, bei welcher im Referenzfall nur das innere Heizsystem (mit 55°C) versorgt wurde und in der aWH-Variante auch der aWH-Kreislauf (mit 20°C bis 30°C) von der Wärmepumpe gespeist wurde. Die aWH-

Variante konnte in diesem Fall gegenüber dem Referenzfall ca. 8 % Primärenergie einsparen.

Im weiteren Verlauf wurden System- und Regeleigenschaften weiter versucht zu optimieren. So wurde das innere Heizsystem ebenfalls mit außentemperaturgeführter Vorlauftemperatur betrieben. Dies hatte zur Folge, dass die vorhin erwähnte primärenergetische Einsparung nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Da in diesem Fall das innere Heizsystem mit Vorlauftemperaturen von 30°C bis 55°C (außentemperaturgeführt) versorgt wurden, war der Stromverbrauch der Wärmepumpe aufgrund der wesentlich besseren Jahresarbeitszahl von 4,4 (anstatt 3,1 im Falle der Vorlauftemperatur von 55°C) um 2,7 MWh/a geringer. Der primärenergetische Vorteil der aWH-Variante war in diesem Fall mit 0,2 MWh/a mit 1 % vernachlässigbar gering. Durch weitere Optimierungen im Bereich des Volumenstromes, der Temperaturspreizung und der Vorlauftemperatur konnte der primärenergetische Vorteil auf 1,3 MWh/a und somit auf ca. 7,5 % erhöht werden.

Die bisher beschriebenen Ergebnisse beziehen sich auf eine Sanierung, bei der im einfachsten Fall nur die Außenwand saniert wird und damit die Möglichkeit zum Einsatz des aWH-Systems gegeben ist. Im Folgenden wurden weitere Dämmstandards untersucht. Zum einen eine „Vollwärmedämmung“ bei der auch die Kellerdecke, die obere Geschossdecke sowie die Fenster saniert wurden und zum anderen die „Vollwärmedämmung“ in Kombination mit einer kontrollierten Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. Damit wurden die Heizenergiebedarfe der Häuser gesenkt. Der Deckungsanteil der aWH konnte dadurch auf ca. 68 % bzw. 59 % angehoben werden. In der Variante mit Lüftungsanlage musste die Heizperiode verkürzt werden, um die Überheizungsverluste gering zu halten - daher erreicht diese Variante auch nicht die Deckungsanteile der Variante mit reiner „Vollwärmedämmung“. Primärenergetisch konnten hier allerdings keine Vorteile durch den Einsatz der aWH nachgewiesen werden, obwohl die maximalen Vorlauftemperaturen des inneren

Heizsystems von 55°C auf 50°C bzw. 45°C abgesenkt werden konnten. Die systembedingten Verluste der aWH – in dem gerechneten Beispiel bei ca. 12 % – führten zu einem insgesamt größeren Energieverlust der auch durch die besseren Jahresarbeitszahlen nicht wettgemacht werden konnte.

Des Weiteren wurde bisher mit einem günstigen Luftwechsel von 0,6 h⁻¹ gerechnet, der allerdings im Falle reiner Außenwandsanierung evtl. nicht erreicht wird. Deshalb wurde auch eine Variante mit „erhöhtem“ Luftwechsel (0,9 h⁻¹ bzw. 1,5 h⁻¹) gerechnet. Die Erhöhung des Luftwechsels führt im Gegensatz zur Verbesserung des Dämmstandards zu einem erhöhten Heizenergiebedarf. Dadurch muss die max. Vorlauftemperatur des inneren Heizsystems angehoben werden und die aWH kann ihre Vorteile besser einbringen. Die primärenergetische Einsparung erhöht sich um ca. 4 % in der Variante mit einem Luftwechsel von 0,9 h⁻¹. Bei einem Luftwechsel von 1,5 h⁻¹ steigt der theoretische primärenergetische Vorteil weiter an, aber in diesem Fall müsste die maximale Vorlauftemperatur des inneren Heizsystems bei 70°C liegen und ist somit von üblichen Wärmepumpen nicht zu erreichen.

Neben der Wärmepumpenlösung wurde auch eine solarthermische Versorgung des aWH-Systems untersucht. Hierbei gab es leichte Verbesserungen im Bereich der Kollektorkreisnutzungsgrade im Bereich von 1 % bis 2 %. Die primärenergetischen Vorteile ergaben sich in der „vollwärmegedämmten“-Variante mit ca. 3,5 %.

Generell wurde durch die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes die Wichtigkeit einer optimierten Regelung offenkundig und gleichzeitig auch die Wirksamkeit der aWH bestätigt. Die detaillierten Ergebnisse sind im Abschlussbericht des Arbeitspaketes „Dynamische Simulation eines außen liegenden Wandheizsystems“ dargestellt.

2.3 Systemspezifizierung (AP3)

Im Arbeitspaket Systemspezifizierung wurden die Ergebnisse der Wandsimulationen berücksichtigt, um die geeigneten Systeme und Anbindungsvarianten herauszustellen. Wie im Arbeitspaket Wandheizung bereits erwähnt, haben Systeme mit geringen Rohrabständen die höchsten Systemwirkungsgrade in Bezug auf die übertragbare Heizleistung. Die untersuchten Systeme wurden wie folgt bewertet:

Kapillarrohrmodule

Vorteile:

- Aufgrund der geringen Rohrabstände wird eine hohe Temperaturhomogenität in der Wand und eine hohe Wärmeleistung erreicht
- Geringste Systemkosten der drei Systeme, rund 30 €/m²
- Einfache Montage (u.a. leicht einzuputzen)

Nachteile:

- Hoher geforderter Volumenstrom von ca. 12 kg/(m²h)

Kupferrohrmäander mit Wärmeleitblechen:

Vorteile:

- Hohe Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials
- Sicheres Entleeren und Entlüften möglich
- Relativ geringe Wärmeausdehnung, nur 1/10 gegenüber Kunststoff
- Keine zusätzliche Brandlast
- Hohe Lebensdauer : > 50 Jahre
- Recycling fähig

Nachteile:

- Aufgrund des teuersten Materials die höchsten Systemkosten

PEX-Rohrsystem:

Vorteile:

- Variable Rohrabstände möglich
- Bei geringen Rohrabständen hohe Temperaturhomogenität und hohe Wärmeleistung möglich
- Relativ günstige Systemkosten (26 – 40 €/m²)

Nachteile:

- Geringere Leistungen als Cu-Rohrsystem (bei gleichem Rohrabstand) und Kapillarrohrsystem

Fazit: Alle Flächenheizsysteme können prinzipiell verwendet werden, haben aber ihre spezifischen Vor- und Nachteile.

Neben den eigentlichen Rohrmaterialien wurden die Einbindung der aWH-Kreise nochmals aufgezeigt und die Anbringungsverfahren durch die Hersteller erläutert. Auch wurden möglicherweise auftretende Probleme diskutiert, wie z.B. Frostgefahr oder die Ausführung an Laibungen. Wird beispielsweise die Fensterlaibung nur 2 cm überdämmt so ergibt sich bei einem Abstand zwischen Rohr und neuer Außenseite der Laibung von 10 cm im ausgeschalteten Zustand eine Rohrtemperatur von $-1,3^{\circ}\text{C}$. Bei einem Rohrabstand zur Laibung von 25 cm erhöht sich diese Temperatur aufgrund des größeren Abstands auf $0,5^{\circ}\text{C}$. Wird die Dämmstärke bei gleichem Abstand (25 cm) auf 5 cm vergrößert, steigt sie auf $1,5^{\circ}\text{C}$ an. Dies bedeutet, dass es bei diesem Heizsystem wichtig ist auf Details zu achten. Deshalb ist es auch wichtig, auf mögliche Verankerungspunkte sowohl für das Gerüst als auch für Außenbauteile wie Lampen zu achten, da im Nachhinein nicht mehr in die mit Rohren belegte Außenwand gebohrt werden sollte.

In diesem Arbeitspaket wurde die praktische Umsetzbarkeit am Bau einer aWH bestätigt und es wurde klar, dass eine sorgfältige Planung notwendig ist. Detaillierte Ergebnisse können dem separaten Abschlussbericht dieses Arbeitspaketes „Auswahl geeigneter Wandheizsysteme – Systemintegration und Verfahren zur technischen Anbindung“ entnommen werden.

2.4 Systemkosten (AP4)

Neben den theoretischen und technischen Randbedingungen wurden auch die wirtschaftlichen Randbedingungen untersucht. Hierzu wurde von einem Projektpartner eine Musterplanung erstellt, bei der ein vorgegebenes Gebäude hinsichtlich einer möglichen Belegung mit einem aWH-System betrachtet wurde. Die Musterplanung umfasste eine Wärmebedarfsrechnung im unsanierten und sanierten Zustand. Die Verlegung der aWH wurde so optimiert, dass die benötigte Heizleistung der Räume möglichst homogen ist. Hierzu wurden die obere Geschosdecke und die Kellerdecke ebenfalls - mit einer Verlegebreite von einem Meter - mittels aWH-System aktiviert. Das bedeutet, dass zwischen Kellerdecke und Kellerdeckendämmung sowie unter der Dämmung der oberen Geschosdecke eine Heizschicht eingebracht wurde. Diese Heizschicht wurde hydraulisch mit der aWH zusammengeschaltet.

Es wurden vier Typen von Außenwandheizsystemen näher untersucht:

- Kunststoffrohrsystem mit PEX-Rohr 17 x 2 mm, Verlegeabstand 150 mm, 300 mm und 450 mm, Fabrikat Schütz.
- Kunststoffrohrsystem mit PEX-Rohr 14 x 2 mm, Verlegeabstand 150 mm, 300 mm und 450 mm, Fabrikat UPONOR.
- Kupferrohrsystem mit Cu-Rohr 12 x 1 mm, Kupfermäander auf Alu-Patte, 250 mm Rasterabstand Mäander, Fabrikat KME
- Kapillarrohrsystem aus PP mit einem Kapillarrohrabstand von 30 mm, Fabrikat Clina.

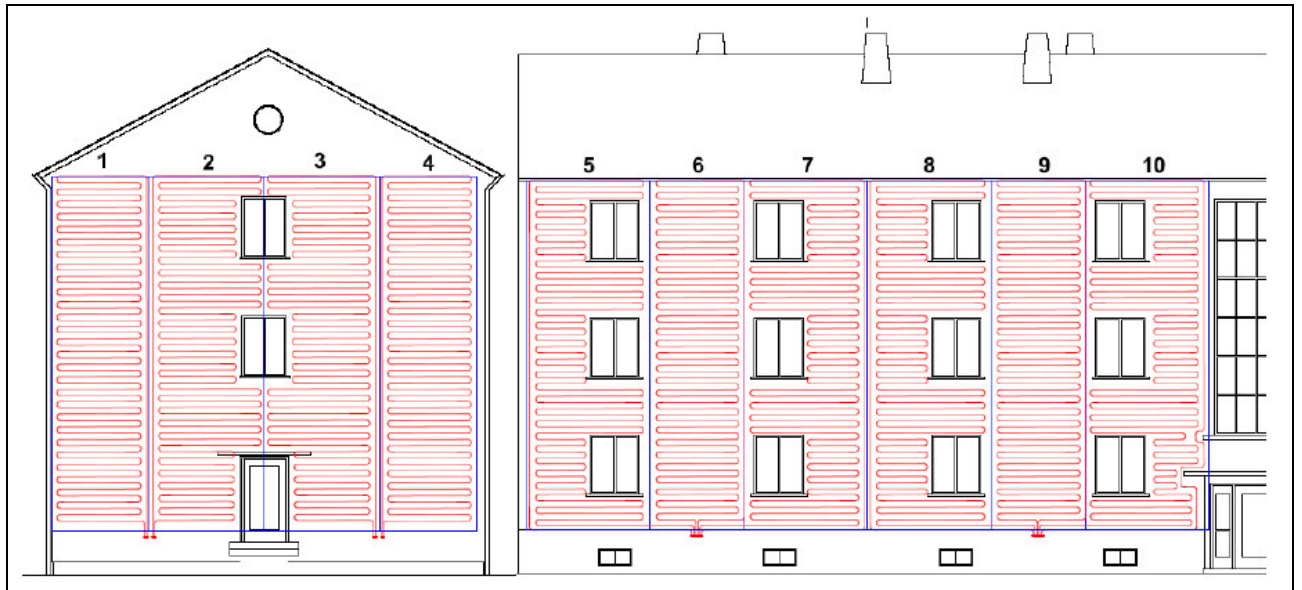


Abbildung 6: Außenwandbelegungsplan PEX-Rohr 17 x 2 , Rohrabstand 150 mm

Für das PEX-Rohr-System 17x2 mm im Raster 150 mm ergab sich beispielsweise eine Gesamtrohrlänge von 5.419 Metern bei 43 hydraulischen Kreisen (siehe Abbildung 6). Im Gegensatz dazu ergibt sich bei einem Rohrabstand von 300 mm eine Rohrlänge von 3.011 Metern bei gleicher Anzahl an hydraulischen Kreisen (siehe Abbildung 7). Beim PEX-Rohr-System 14x2 mm im Raster 150 mm verdoppeln sich die hydraulischen Kreise auf 86 und die Rohrlänge steigt auf 6.021 Meter an.

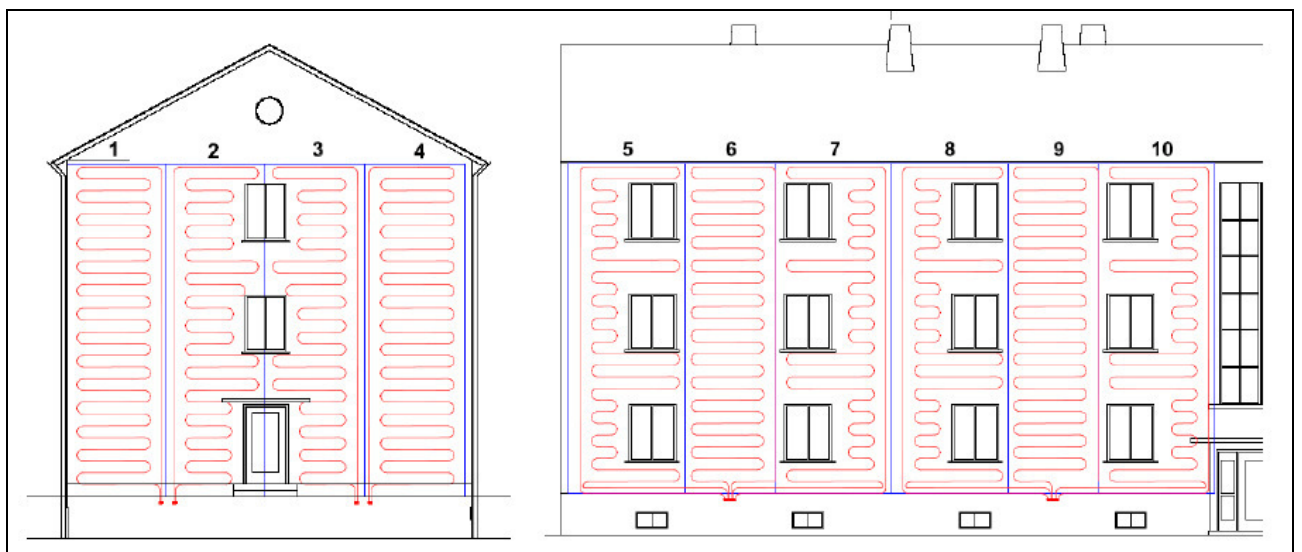


Abbildung 7: Außenwandbelegungsplan PEX-Rohr 17 x 2 , Raster 300 mm



Abbildung 8: Außenwandbelegungsplan Kupfermäander auf Aluplatte

Das Kupferrohr-System mit der Dimension 12x1 mm besteht aus insgesamt 87 hydraulischen Kreisen und 1.880 m Rohrleitung (siehe Abbildung 8). Beim Kapillarrohrmattensystem mit Kapillarrohren der Dimension 4,3x0,8 mm werden 30 Kreise mit insgesamt 800 m² Kapillarrohrmatten verwendet, welche mit 1.100 m Sammler-Rohrleitung (PP 20x2 mm) verbunden werden (siehe Abbildung 9).

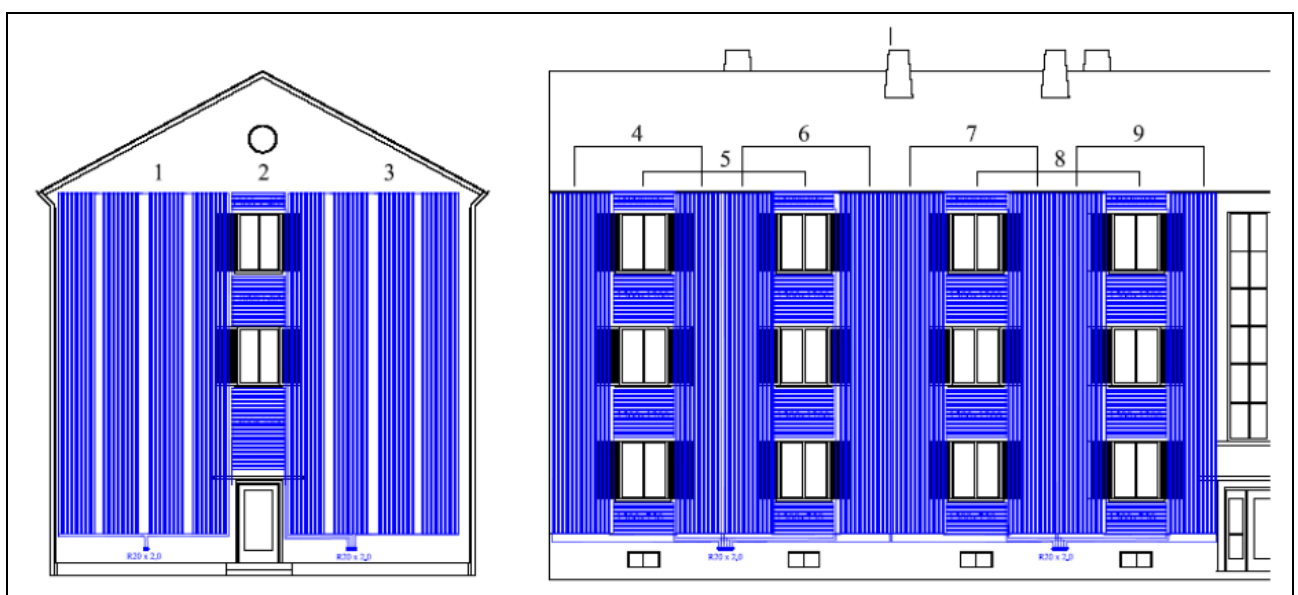


Abbildung 9: Außenwandbelegungsplan mit Kapillarrohrsystem

Diese unterschiedlichen Systeme führten zu unterschiedlichen Systemkosten. Durch die Musterplanung wurden in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern die Systemkosten für die einzelnen Systeme ermittelt. Für ein vollflächiges Einputzen wurden folgende Systemkosten ermittelt:

System	GEP
	(€/m ²)
PEX-Rohr 17x2,0 (Schützt) Raster 150	35,76
PEX-Rohr 17x2,0 (Schützt) Raster 300	29,14
PEX-Rohr 17x2,0 (Schützt) Raster 450	26,75
PEX-Rohr 14x2,0 (Uponor) Raster 150	39,33
PEX-Rohr 14x2,0 (Uponor) Raster 300	32,13
PEX-Rohr 14x2,0 (Uponor) Raster 450	29,73
Kupfer-Alu (KME), Anschlussleitung 12 mm	58,74
Kupfer-Alu (KME), Anschlussleitung 18 mm	53,97
Kapillarrohr (Clina)	29,25

Tabelle 1: Spezifische Kosten der untersuchten Systeme

Da die unterschiedlichen Systeme aber auch unterschiedliche Heizleistungen erreichen, mussten die Kosten mit den erzielbaren Leistungen ins Verhältnis gesetzt werden. Dadurch konnten leistungsbereinigte Kosten berechnet werden. Diese sind in Tabelle 2 dargestellt.

Man erkennt, dass das laut Tabelle 1 günstigste System – PEX-Rohr 17x2 mit 450 mm Raster zu 27,- €/m² – nach der Leistungsbereinigung mit 42,- €/m² im Mittelfeld zu finden ist (Tabelle 2). Die teuerste Lösung lag materialbedingt beim Kupfersystem. Die insgesamt günstigste Lösung ergab sich für das Kapillarrohrsystem.

Unklar ist allerdings, in wie weit sich die Preise noch verändern, wenn hier ein großer Markt erschlossen wird. Des Weiteren ist schwer allgemeingültig abzuschätzen, welchen Vorteil ein aWH-System im Wohnungsbau durch die Möglichkeit einer „Sanierung von außen“ erreicht und welcher finanzielle Bonus

daraus abzuleiten ist – dass es ein erheblicher Vorteil sein kann, wurde von einigen befragten Bauträgern bestätigt.

Rohrsystem	q_i (Vollziegelwand) $\eta_{\text{Rohrabstand}}$	$\eta_{\text{Rohrdurchgang}}^1$	$\eta_{\text{Gesamt}} =$ $\eta_{\text{Rohrabstand}} /$ $\eta_{\text{Rohrdurchgang}}$	Kosten (€/m ²)	Leistungsbereinigte Kosten = Systemkosten / Systemleistung (€/m ²)
PEX-Rohr 14x2,0 (Uponor) Raster 150	~0,926	0,980	0,907	40	44
EX-Rohr 14x2,0 (Uponor) Raster 300	~0,785	0,980	0,769	32	42
PEX-Rohr 14x2,0 (Uponor) Raster 450	~0,655	0,980	0,642	30	47
PEX-Rohr 17x2,0 (Schütz) Raster 150	~0,926	0,982	0,909	36	40
PEX-Rohr 17x2,0 (Schütz) Raster 300	~0,785	0,983	0,772	30	39
PEX-Rohr 17x2,0 (Schütz) Raster 450	~0,655	0,983	0,644	27	42
Kapillarrohr (Clina)	~0,980	0,989	0,969	30	31
Kupfer-Alu (KME)	~0,994	0,998	0,992	59	59

Tabelle 2: Kostenfaktoren und „Wirkungsgrade“ verschiedener Heizflächensysteme in Bezug auf erzielbare Leistungen

Dieses Arbeitspaket konnte auch positiv abgeschlossen werden, d.h. es spricht auch für eine Fortsetzung des Forschungsprojektes.

¹ Angegeben ist der Mittelwert aus η -Rohrdurchgang, d.h. Verlust über die Rohrwand, bei 25°C und 40°C Fluidtemperatur bei turbulenter Durchströmung der Rohre. Für das Clina-System wird der Mittelwert bei laminarer Durchströmung gebildet.

Detaillierte Ergebnisse können dem separaten Abschlussbericht dieses Arbeitspakets „Kostenschätzung für das außen liegende Wandheizsystem“ sowie dessen Anlage „Untersuchung der Systemkosten von außen liegenden Wandheizsystemen an Hand einer Musterplanung für ein Mehrfamilienhaus“ entnommen werden.

2.5 Konstruktive Erprobung an einer Musterwand (AP5)

Die ersten Praxisschritte wurden im Arbeitspaket „Konstruktive Erprobung an einer Musterwand“ absolviert. Zur messtechnischen Untersuchung wurde eine Musterwand mit einer nutzbaren Nettofläche von ca. 2 x 2 m aufgebaut. Für diese Musterwand wurden ‚Altbau- Materialien‘ beschafft und die Wandstärke entspricht einer Bestandswand mit einem U-Wert von ca. 1,7 W/(m² K) vor der Sanierung und mit ca. 0,22 W/(m² K) nach der Sanierung mit 14 cm Wärmedämm-Verbundsystem und aWH-System.

In der Wand wurde eine Vielzahl von Temperaturfühlern installiert, um sowohl den Temperaturverlauf senkrecht durch die Wand zu messen als auch die Temperaturvariation über der Höhe der Wand zu erfassen. In Abbildung 10 sind die installierten Temperatursensoren in 1 m Wandhöhe dargestellt. Man erkennt im oberen Teil den Querschnitt durch die Wand mit den Schichten Innenputz, Mauerwerk, alter Außenputz, aWH-System, Klebemörtel, Wärmedämmung, Außenputz (von links nach rechts). Die Heizrohre werden vertikal durchflossen. Im unteren Bereich erkennt man drei beispielhafte Messwertreihen, welche Werte angeben für die Sensorreihe in Rohrebene 7 (mittig in der Wand) sowie $\frac{1}{4}$ Rohrabstand rechts davon und $\frac{1}{2}$ Rohrabstand links davon. Mit dieser Anordnung konnte untersucht werden, wie sich die Temperatur horizontal - quer zu den Heizrohren - ausbreitet. In Abbildung 11 ist die Wand mit den darauf fixierten Heizrohren dargestellt. Diese wurden danach eingeputzt und dann die Dämmung mit Außenputz aufgebracht.

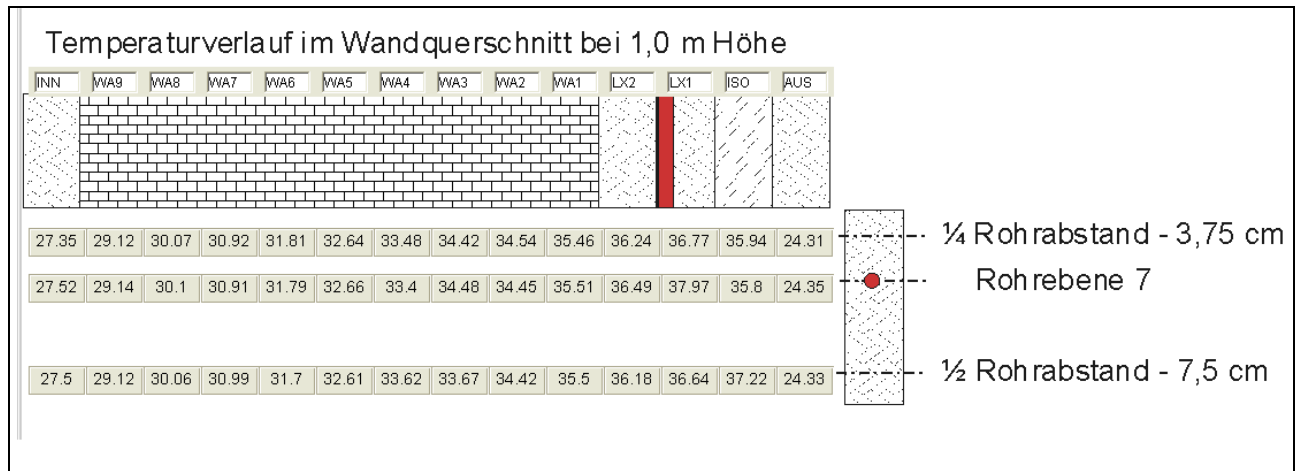


Abbildung 10: Installierte Fühler bei der Mauerhöhe 1m mit beispielhaften Temperatur-Messwerten in °C senkrecht zur Wandoberfläche von innen (links) nach außen



Abbildung 11: Wand mit „Altputz“ und darauf fixierten PEX-Heizungsrohren



Abbildung 12: Dämmung und neuer Außenputz sind aufgebracht – danach werden die oberen Verbindungsrohre gedämmt

Im Verlauf des Projekts wurden 3 stationäre und 5 dynamische Versuche durchgeführt – dies ist jeweils mit erheblichem Zeitaufwand verbunden, weil definierte Anfangsbedingungen hergestellt werden müssen. Der Temperaturverlauf des 3. stationären Versuchs ist in Abbildung 13 dargestellt und zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem simulierten Temperaturverlauf. Man erkennt, dass bei einer Heizebenentemperatur von ca. 50°C die Temperatur auf der Innenseite mit ca.

34°C um ca. 5-6 K über der Raumtemperatur von 28,4°C liegt. Auf der Außenseite liegt die Temperatur mit ca. 29°C nur knapp über der Außentemperatur von 28°C. Dadurch wird deutlich, dass die Heizleistung nach innen wesentlich größer ist als die Verlustleistung nach außen. Im Versuch sind die „Raum- und die Außentemperatur“ gleich, da die Laborwand in einem Raum aufgebaut wurde und somit die beiden Wandseiten die gleiche Raumtemperatur umgibt. Bei den theoretischen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die beiden Wandseiten bei gleicher Umgebungstemperatur zu betreiben und die Ergebnisse auf andere Temperaturverhältnisse umzurechnen.

Die Ergebnisse zeigten noch Differenzen bzgl. der in die Wand eingespeisten Wärmemenge. Hier lag der Unterschied zwischen Laborversuch und Simulation bei 7 %.

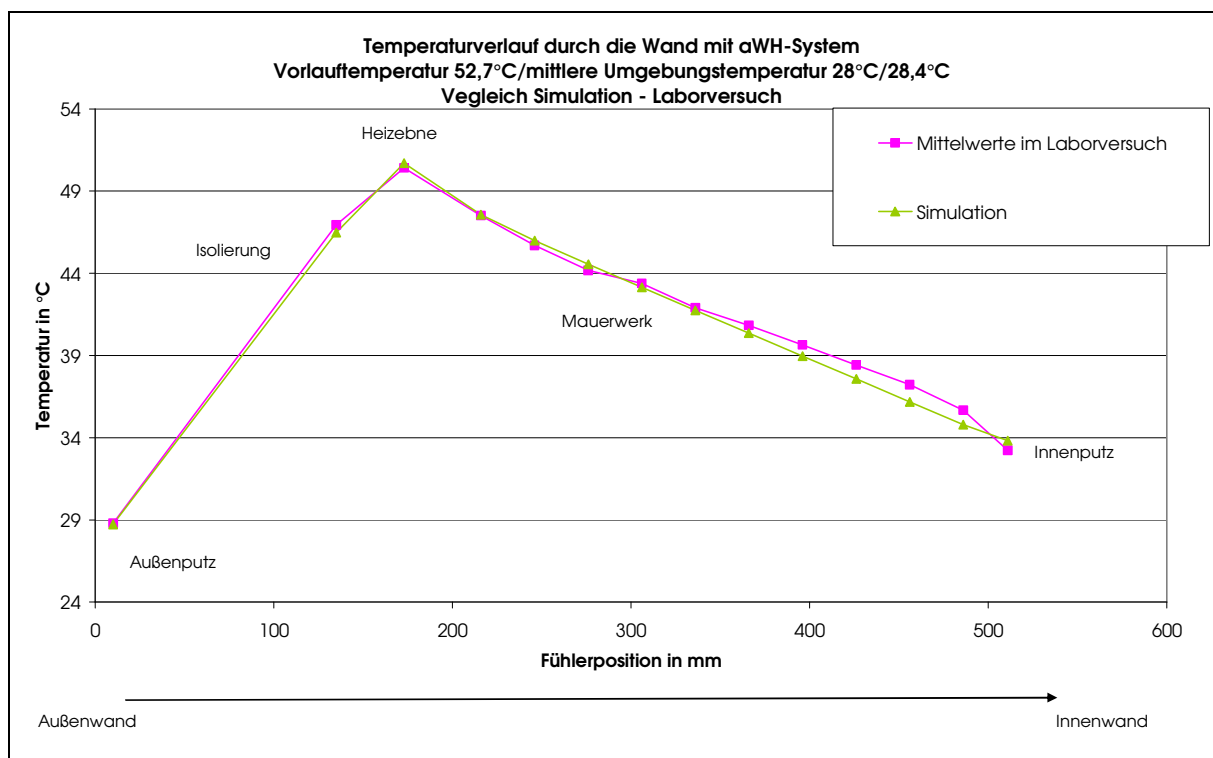


Abbildung 13: Temperaturverteilung in der Wand Test 3 - Vergleich der mittleren Temperaturen im Laborversuch mit den Simulationsergebnissen

Die möglichen Ursachen für diese Differenz wurden untersucht und es wurde festgestellt, dass die Simulation keine Randverluste und keine Verluste an den

Rohrschleifen berücksichtigte. Die Randverluste treten aber im Laborversuch auf, da die Wandausdehnung endlich ist und somit Verluste an den Stirnseiten auftreten. Des Weiteren lagen die Rohrschleifen der aWH im Laborversuch außerhalb der eigentlichen Wand (siehe Abbildung 12) und hatten natürlich, trotz guter Dämmung, einen Wärmeverlust.

Ebenso ergeben sich Abweichungen durch die Ungenauigkeiten der Messgeräte, die Gewichtung der mittleren Wandtemperatur und die geringfügig schwankenden Umgebungs- und Vorlauftemperaturen. Bei Berücksichtigung aller Unwägbarkeiten verblieb nach einer Abschätzung der genannten Randverluste,... eine gut vertretbare Restabweichung von ca. 2 % zwischen Simulation und Messung.

In den dynamischen Versuchen wurden periodische Rechteckfunktionen mit Perioden von 12 h, 24 h und 48 h untersucht. Das heißt, in der Periode von 12 h wurde während 6 h die Heizung eingeschaltet und dann während 6 h die Heizung ausgeschaltet. Dieser Versuch ging über 7 Tage und ergab eine Abweichung der Wärmeströme im Endzustand von ca. 7 %. Kurz vor Ende der letzten Heizphase wurden im Labor ca. 60 W/m² gemessen wobei der Simulationswert bei 56 W/m² lag. Im 48 h Versuch erreichte der Laborversuch mit 51,5 W/m² genau den Simulationswert. **Die Ergebnisse der stationären und dynamischen Laborversuche bestätigen die entsprechenden Simulationsergebnisse.**

In weiteren dynamischen Versuchen wurde das Be- und Entladeverhalten der Wand untersucht. Hierzu wurde ein Temperatursprung von 20 K auf die Heizrohre aufgeprägt und während 7 Tagen untersucht welche Beladezeiten sich ergeben. Die Verläufe der Wandtemperaturen der einzelnen Schichten sind in Abbildung 14 dargestellt. Man erkennt erwartungsgemäß den schnellen steilen Anstieg der Temperaturen nahe der Heizebene (LX1, Iso, LX2) auf bis zu ca. 38°C. Wohingegen die Temperatur an der Außenwandseite nur recht langsam auf ca. 25°C und die der Innenwandseite auf ca. 28°C ansteigen.

Die charakteristischen Beladezeiten, d.h. bei der ca. 63,2% des stationären Wärmestroms bzw. der Temperatur erreicht sind, wird nach 30 h bzw. 26 h erreicht. Im Falle des Entladens werden diese Werte für die Temperatur an der Wandinnenseite erst nach 2 Tagen und 16 Stunden erreicht.

Vergleicht man auch diese Ergebnisse mit den entsprechenden Simulationen, so ergibt sich eine Differenz von 4 Stunden also ca. 15 % (22h/26h) beim Temperaturwert der Beladung und beim Temperaturwert der Entladung liegt die Abweichung bei ca. 20 % (51h/64h). Diese Ergebnisse sind allerdings auch deshalb ungünstiger da über die Messdauer nicht alle Randbedingungen exakt konstant waren. So gab es Änderungen bei der Umgebungstemperatur und auch kurzfristige Änderungen beim Volumenstrom des Heizmediums.

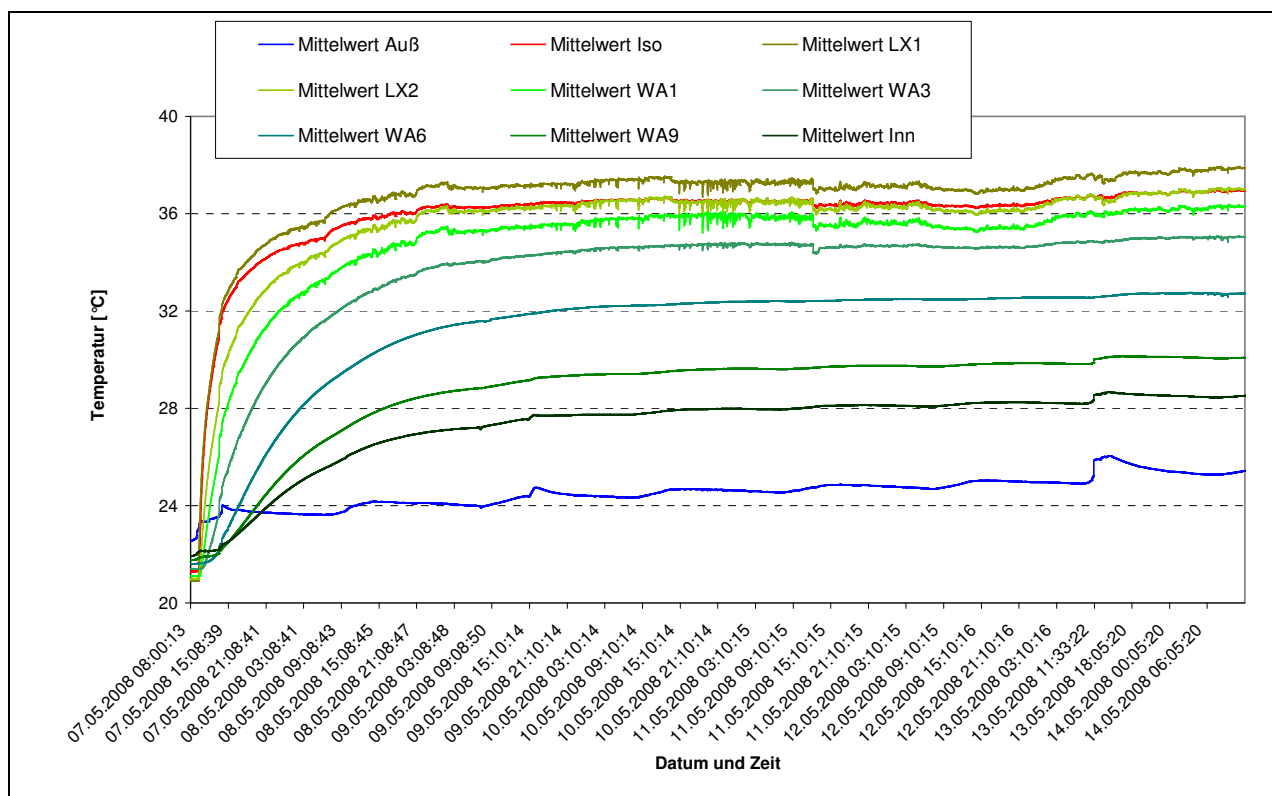


Abbildung 14: Zeitlicher Temperaturverlauf in den Wandschichten bei Aufgabe eines Temperatursprungs von ~20K (Darstellung der Mittelwerte in den Wandschichten – Ziegelwand in Grüntönen, Isolierung rot und Umgebungstemperaturen blau)

Generell kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse der Laborversuche die Simulationsergebnisse ausreichend genau widerspiegeln. Daher werden auch die Ergebnisse dieses Arbeitspakets als positiv für die Fortführung des Forschungsprojektes angesehen.

Detaillierte Ergebnisse können dem separaten Abschlussbericht dieses Arbeitspakets „Experimentelle und theoretische Untersuchungen eines Außenwand-Heizsystems – stationäre und instationäre Betrachtungen an einer Modellwand“ entnommen werden.

2.6 Funktionskennwerte und Regelstrategien (AP6)

Im Arbeitspaket „Funktionskennwerte und Regelstrategien“ wurden die wichtigsten Kenngrößen zusammengestellt und bewertet sowie neue Ansätze im Bereich der Regelung aufgezeigt.

Ein sehr wichtiger Zusammenhang bei aWH-Systemen ergibt sich aus dem *Wirkungsgrad der aWH*. Er definiert als Verhältnis zwischen dem thermischen Widerstand von der Heizebene zur Außenluft – also hauptsächlich dem Dämmstoff-Wärmewiderstand – und dem gesamten thermischen Widerstand der Wand. Je dicker also die Dämmung und je geringer der thermische Widerstand der Bestandswand umso besser wird quasi ‘automatisch’ der Wirkungsgrad der aWH. Das bedeutet: alte Vollziegelwände eignen sich besser als z.B. Bimswände. Bei einer Dämmstoffstärke von 20 cm verschlechtert sich der Wirkungsgrad beim Einsatzfall Bimswand um mehr als 10 % gegenüber dem Einsatzfall Vollziegelwand.

Des Weiteren wurden die Kenngrößen *Deckungsgrad*, *Benutzungsfaktor* und *Erntegrad* definiert. Aufgrund der Leistungskenngrößen des aWH-Systems wie Heizleistung, Ladegeschwindigkeit und Speichervermögen wurde ersichtlich, dass die optimale aWH auf einer energetisch schlechten Bestandswand aufgebracht und mit einer starken Außendämmung versehen wird. Aufgrund ihrer Trägheit sollte in entsprechenden Räumen ein schnelles Zusatzheizsystem die Spitzenlast

abdecken. Die ermittelten Kenngrößen können ggf. in einem vereinfachenden Planungstool als Bewertungsgrößen Verwendung finden.

Im Bereich Systemregelung wurden die Regelungsparameter des aWH-Systems beschrieben. Dabei wurde deutlich, dass die Störgrößen einen großen Einfluss auf die Funktion des aWH-Systems haben. Dies hängt allerdings auch stark von der Definition der Verluste ab. In diesem Forschungsprojekt wurden die Verluste so definiert, dass Raumtemperaturen von über 20°C zu Verlusten führen. Die Ursache dafür lag in der sehr guten Regelbarkeit der Raumtemperatur mit dem alleinigen inneren Heizsystem in den Referenzfällen - ohne aWH-System. Wurde dann in der jeweiligen aWH-Variante aufgrund höherer Oberflächentemperaturen der Wände noch Wärme an den Raum abgegeben obwohl die solaren oder inneren Gewinne Raumtemperaturen von mehr als 20°C verursachten, so ergab sich eine Raumübertemperatur und somit auch ein zusätzlicher rechnerischer Verlust. Sobald die aWH zu Heizzwecken verwendet wird – also im überkompensatorischen Betrieb Wärme an den Raum abgibt – treten diese Verluste auf, da dann die Oberflächentemperatur der Wand immer größer sein muss als die Raumtemperatur. Hinsichtlich der Minimierung der Übertemperierung wurden folgende Optimierungen der aWH-Systemregelung untersucht:

- Berücksichtigung zukünftiger Außentemperaturen bei der außentemperaturgeführten Regelung (*ex ante Regelung*)
- Optimierung der Aufteilung der Heizlast zwischen innerem und äußerem Heizsystem

Im ersten Fall wurde die zu erwartende Außentemperatur in 5, 10, 20 und 50 Stunden zur Festlegung der aktuellen Vorlauftemperatur der aWH berücksichtigt. Damit wurde dem Zeitverhalten der Wand Rechnung getragen und untersucht, ob dies im „realen“ Betrieb einen nennenswerten Effekt bringt. Die Simulationsergebnisse zeigten im Bereich 10 und 20 Stunden die geringsten Jahresprimärenergiebedarfe, wobei die Einsparung mit 1 % relativ gering ausfällt.

Im zweiten Fall wurden die Vorlauftemperaturen von innerem und äußerem Heizsystem derart optimiert, dass der Primärenergiebedarf minimal wurde. Das

bedeutet, dass der Punkt des geringsten Stromverbrauchs des Wärmepumpenbetriebs für das innere Heizsystem (abhängig von der Leistungsziffer und damit von der Vorlauftemperatur) und für das außen liegende Wandheizsystem (abhängig vom Verluste der aWH und von der Leistungsziffer und damit von der Vorlauftemperatur) gesucht wurde. Durch diese Optimierung konnte eine Verringerung des Primärenergiebedarfes von ca. 2,6 % erreicht werden. Gleichzeitig ist in dieser Simulation aber auch der Deckungsanteil von 71 % bei der „normalen“ Vorlauftemperaturregelung auf 42 % bei der optimierten Vorlauftemperatur zurückgegangen. Auch dies verdeutlicht, dass die aWH optimalerweise zur Grundlast- bzw. Teillastdeckung eingesetzt werden sollte.

Es wird deutlich, dass im Bereich der Systemregelung noch ein großes Potenzial zur Optimierung des aWH-Systems steckt. Dieses Arbeitspaket bestätigt ebenfalls die Notwendigkeit der weiteren Fortführung des Forschungsprojekts. Detaillierte Ergebnisse können den separaten Abschlussberichten dieses Arbeitspaketes „Entwicklung geeigneter Funktionskennwerte“ sowie „Regelkonzepte“ entnommen werden.

2.7 Bewertung der NT-Wärme (AP7)

Die Bewertung der Niedertemperaturwärmenutzung wurde in diesem Arbeitspaket untersucht. Sollten zukünftig Systeme mit aWH in Neubauten oder Sanierungen eingesetzt werden, müssen zwei Dinge möglich bzw. geklärt sein:

- Die Abrechnungsverfahren von Heizwärme Verbrauchskosten in aWH-Systemen
- Die Bewertung/ Berücksichtigung solcher Systeme in der aktuellen Energieeinsparverordnung

Damit Rechtsstreitigkeiten vermieden werden, sollten die Abrechnungsmodalitäten in jedem Falle rechtsgültig geklärt werden. Nach der Heizkostenverordnung müsste der anteilige Verbrauch der Nutzer erfasst werden, dies ist bei aWH-Systemen unter Umständen sehr aufwändig und ggf.

kostenintensiv. Daher kann von § 11 der Heizkostenverordnung Gebrauch gemacht werden und auf die Verbrauchserfassung verzichtet werden, wenn *die Erfassung des Wärmeverbrauchs „...nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten möglich ist...“*. Sollte eine Abrechnungsform über Flächenverteilung bevorzugt werden, so liegt es nahe, hier die Außenwandfläche oder die mittels aWH-System belegte Außenwandfläche als Grundlage zu nehmen, um möglichst faire Kostenaufteilungen auf die Wohneinheiten zu erreichen.

Um bei Sanierungen oder Neubau die Auflagen der EnEV oder möglicher Fördergeber (z.B. KfW) einzuhalten und nachweisen zu können, musste geprüft werden, ob die aWH derzeit in der EnEV abgebildet werden kann. Hierzu wurden die Faktoren nach DIN 4701-10, welche zur Bestimmung des Primärenergiebedarfes notwendig sind, in Bezug auf die aWH untersucht. Diese Faktoren betreffen hauptsächlich die Übergabe-, Verteilungs- und Speicherverluste. Die Übergabeverluste werden laut Norm bei Aufteilung in separate Stränge aufaddiert, was unter Umständen schon eine Verschlechterung gegenüber der Realität bedeutet, da die Nutzung von zwei Heizsystemen nicht unweigerlich zu einer solchen Erhöhung der Übergabeverluste führt. Das bedeutet, dass die aWH in Kombination mit einem inneren Heizsystem im Standardfall nach der EnEV eventuell benachteiligt wird. Die Verteilverluste können - wie im Falle des inneren Heizsystems - in der EnEV-Berechnung abgebildet werden. In diesem Fall ergeben sich keine Vor- oder Nachteile für das aWH-System. Auch die Speicherverluste stellen kein Problem dar, da es unwichtig ist, ob Wärme für ein inneres oder äußeres Heizsystem gespeichert wird, die evtl. vorhandenen Temperaturunterschiede werden in der DIN 4701-10 durch die Möglichkeit unterschiedlicher Systemtemperaturen abgebildet. Bei den Erzeugungsverlusten sieht es allerdings anders aus. Hier sind die beiden Parameter – der Deckungsanteil und die Aufwandzahl – durch die DIN 4701-10 für die verschiedenen Wärmeerzeuger bzw. die Kombination verschiedener Wärmeerzeuger vorgegeben. Durch den Einsatz einer aWH kann sich nachweislich zum einen der

Deckungsanteil und zum anderen die Aufwandszahl des Wärmeeerzeugers verändern. Dadurch werden bei Nutzung der DIN 4701-10 die Erzeugungsverluste von aWH-Systemen möglicherweise nicht korrekt berechnet und es könnte zu einer ungünstigeren Darstellung des Systems in der EnEV-Berechnung kommen. Da die EnEV-Berechnung aber eine Kombinationsrechnung für das Gebäude und die Haustechnik darstellt und es die Möglichkeit bzw. den Anreiz gibt, durch sehr gute – teils regenerative versorgte Haustechnik – nicht ganz optimierte Gebäude zu einem günstigen Primärenergiebedarf zu verhelfen, darf ein solches System nicht durch unpassende Berechnungsparameter verschlechtert werden. Die EnEV lässt zwar auch Einzelberechnungen nach dem Stand der Technik zum Nachweis zu, aber es ist immer mit mehr Aufwand verbunden als die Standardberechnungen. Deshalb kann dies nur in Einzelfällen zur Markteinführung verwendet werden. Für den späteren Fall der Marktdurchdringung ist es **notwendig, die entsprechenden Normen anzupassen** und die gültigen Parameter durch Parameterstudien zu entwickeln.

In Abbildung 15 ist eine Beispieleingabe für die Werte nach DIN 4701-10 dargestellt. Die Eingabewerte für den Beispielfall sind mit grünen Fahnen gekennzeichnet. Die Heizungsanlage ist als 2-Strang-Anlage ausgebildet. Der erste Strang stellt das innere Heizsystem mittels Radiatoren dar und im zweiten Strang ist das aWH-System dargestellt. Die mit Ausrufezeichen versehenen Punkte zeigen Auswahlpunkte an, die durch den Einsatz der aWH nur begrenzt gültig sind bzw. für die in der Norm Werte hinterlegt sind, die angepasst werden müssen. Dies gilt z.B. für die Heizkreistemperatur des inneren Heizsystems, welche durch den Einsatz der aWH weiter abgesenkt werden kann. Man erkennt die komplexe Struktur zur Bestimmung der Anlagentechnik in der DIN 4701-10. Die aWH-spezifische Größe – der Systemverlust – ist bisher in dieser Struktur noch nicht vorgesehen. Das bedeutet, dass zur korrekten Eingabe der aWH in der DIN 4701-10 wahrscheinlich eine Anpassung oder Ergänzung der Norm notwendig ist.

Ein weiterer Punkt im Bereich des Umgangs mit Vorschriften wurde in der Einzelraumregelung gesehen, welche in der EnEV vorgeschrieben ist. Der Paragraph 25 der EnEV (2007) gestattet jedoch eine Ausnahme hiervon - bei unangemessenem Aufwand. Daher liegt durch diesen Punkt kein Ausschlusskriterium für die aWH vor.

Daher bietet auch dieses Arbeitspaket Möglichkeiten genügend Ansatzpunkte, die praktische Umsetzbarkeit des aWH-Systems zu ermöglichen und steht somit der weiteren Fortführung des Forschungsprojektes nicht entgegen. Detaillierte Ergebnisse können den separaten Abschlussberichten dieses Arbeitspaketes „Bewertung der Niedertemperaturwärme“ entnommen werden.

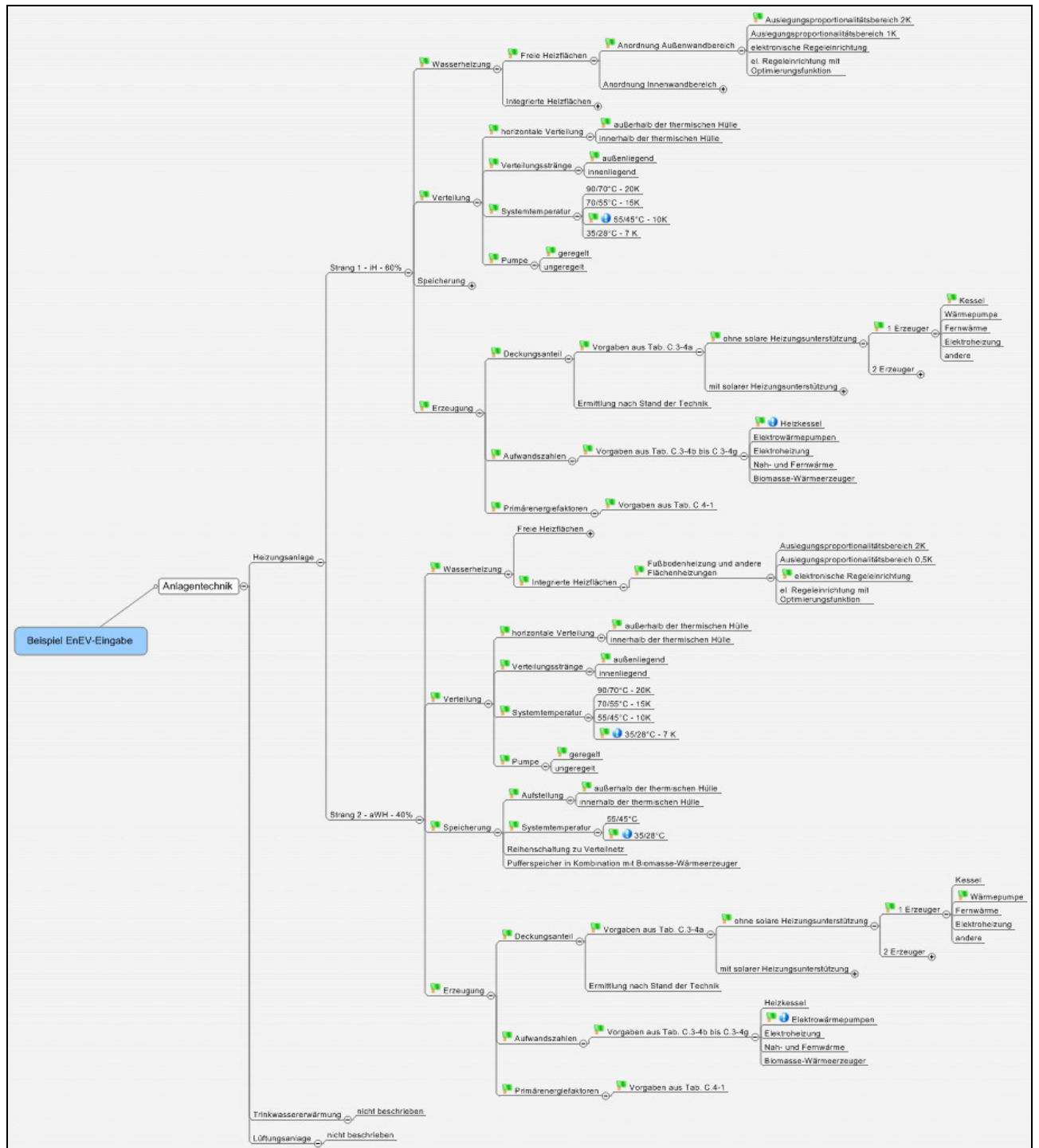


Abbildung 15: Eingabebeispiel der Anlagentechnik mit Innen- und aWH- Heizsystem gemäß DIN 4701-10 (siehe A3-Darstellung im Anhang)

2.8 Publikationen und Vorträge (AP10)

Das Projekt LEXU mit seinen Ideen, Zielen und Inhalten wurde zum ersten Mal externem Publikum während des Premium-Workshops des Verbandes der Immobilienverwalter (VDIV) im Frühjahr 2008 in Bietigheim-Bissingen und in Stuttgart durch die Firma Renoplan – ein Unterauftragnehmer des Projektpartners ARTA - öffentlich vorgestellt. Hierzu wurden vom IZES Poster sowie Flyer entworfen und bereitgestellt, die laut Renoplan auf großes Interesse stießen.

Des Weiteren wurde das Projekt beim LowEx Verbund am 21./22. Februar 2007 während einer Vortragsreihe präsentiert.

Das Gesamtprojekt sowie die ersten Ergebnisse der Marktpotenzialuntersuchungen und der Simulationen wurde auf dem zweiten internationalen Anwenderforum für „Energieeffizienz + Bestand“ des OTTI e.V. am 14./15. Februar 2008 vorgestellt. Ebenso wurde das Projekt im Tagungsband unter dem Titel "Die außenliegende Wandheizung - Nutzung von Niedrig-Exergie-Potenzialen in der Gebäudebestandssanierung" (Seite 90-101, ISBN 978-3-934681-68-2) veröffentlicht.

Ebenso wurden weitere Projektergebnisse beim 19. Symposium für „Thermische Solaranlagen“ des OTTI e.V. am 06.-08. Mai 2009 präsentiert und im Tagungsband unter dem Titel „Die außen liegende Wandheizung – Nutzung von Niedertemperaturpotenzialen und Anwendungspotenziale im Gebäudebestand“ (Seite 510 ff, ISBN 978-3-934681-94-1) veröffentlicht.

Im Oktober 2009 wurden Ergebnisse des Projekts sowie neue Projektideen auf dem LowEx Symposium in Kassel vorgestellt und mit den Teilnehmern diskutiert sowie im Tagungsband dargestellt.

Das Projekt fand bei allen Veranstaltungen großes Interesse, was auch für die Fortführung des Forschungsprojektes spricht.

2.9 Vorarbeiten Feldtestobjekte

Im Laufe des Projektes wurden verschiedene Aktivitäten zur Findung geeigneter Feldtestobjekte und möglicher Projektpartner gestartet. In der frühen Projektphase wurde zum einen auf Tagungen für das Projekt und mögliche Feldtestobjekte geworben und zum anderen die bereits vorhandenen Kontakte zu Wohnungsbaugesellschaften zur Objektakquisition genutzt. Des Weiteren wurden einzelne Objekte während der Projektlaufzeit an die Projektpartner herangetragen. Die Feldtestphase wurde Ende 2008 in Abstimmung mit dem Projektträger in ein noch zu spezifizierendes Folgeprojekt verschoben, um noch intensiver an den theoretischen Aufgabenstellungen des laufenden Projektes arbeiten zu können. Die Sammlung und Zusammenstellung der möglichen Feldtestobjekte – teilweise mit zusätzlichen Aufgabenstellungen – war Bestandteil der letzten Projektphase. Zurzeit stehen folgende Projektideen zur Umsetzung in Feldtestobjekten zur Diskussion:

1. Feldtest des aWH-Systems an einem Gebäude einer saarländischen Wohnungsbaugesellschaft mit Versorgung der aWH mittels einer separaten Luft-Wasser-Wärmepumpe. Dieses Feldtestobjekt hat den Vorteil, dass es noch drei weitere baugleiche Gebäude gibt, die auf den gleichen energetischen Standard saniert werden und dadurch eine direkte Vergleichsmöglichkeit der Verbrauchswerte sowie der Raumkonditionierung mit und ohne aWH-System möglich sein wird. Des Weiteren gibt es hier einen Standortvorteil, da das Gebäude nur eine sehr geringe Entfernung zur IZES gGmbH aufweist und somit die vor Ort Betreuung des Projektes wesentlich günstiger wird.
2. Feldtest des aWH-Systems in Kombination mit einem im Außenputz integrierten Flächenabsorber und einem Eisspeicher als Pufferspeicher.
3. Einbindung des aWH-Systems bei der Sanierung eines Bestandsgebäudes zum Passivhausstandard, unter Verwendung von Erdsonden als Wärmequelle in Verbindung mit einer Wärmepumpe (möglichst in beide Richtungen arbeitende Maschine mit Option der Kälte- oder Wärmebereitstellung). Vergleich mit kostengünstigeren Systemen aus Wärmepumpe gespeist von Dach- oder Putzabsorberrn.

4. Entwicklung eines Konzepts zur außen liegenden Luftheizung (aLH), eines Zuluft-Vorwärmers für Wohnungslüftungssysteme, der die aWH zur gleichzeitigen Zulufttemperierung nutzt.
5. Entwicklung einer überkritischen CO₂-Wärmepumpe und Einbindung in eine – zu niedrigeren Temperaturen hin – erweiterte Energiekaskade. Diese Energiekaskade reicht vom Warmwasser bis zur Frischluffterwärmung. Durch die möglich Energienutzung bis in den tiefen Temperaturbereich der aLH ergibt sich ein „Windfall Profit“ bzgl. des Wirkungsgrades der Wärmepumpe.
6. Einbindungen eines Gebäudes mit Elektro-Nachtspeicherheizung in das Projekt. Gerade diese Gebäude sind gute Anwendungsfälle für die aWH, da sich hier ein Kostenvorteil für die aWH ergibt (neues Innenheizsystem erforderlich, dies verursacht nicht nur Kosten, sondern stört in der Sanierungsphase auch die Bewohner). Das dynamische Verhalten der aWH kann dabei durch „von außen gespeiste“ Innenheizkörper optimiert werden. Dabei liegt die Heizungswasserzuführung in der aWH-Ebene und speist wenige neu installierte Innenheizkörper.

Die obengenannten Beispiele zeigen zum einen das Interesse für dieses Heizsystem und zum anderen die Vielfalt der möglichen Einsatz- und Kombinationsmöglichkeiten. Daher ist es wichtig, durch geeignete Feldtests Erfahrungen mit dem System und der Umsetzung zu sammeln, um die geeigneten Systemkombinationen zu ermitteln. Des Weiteren ist es wichtig, die Ergebnisse der verschiedenen Feldtestlösungen zu veröffentlichen, um zu vermeiden, das evtl. ungünstige Systemkombinationen aus Unwissenheit in größerem umfang am Markt umgesetzt werden. Die Feldtestuntersuchungen sind daher sehr wichtig für die weitere Umsetzung und Markteinführung solcher Systeme.

3 Fazit

Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete haben gezeigt, dass aWH-Systeme generell funktionsfähig sind und auch zu Primärenergieeinsparungen führen. Wichtig sind hierbei die Systemkombinationen, da aufgrund des systembedingten Verlustes des aWH-Systems nicht in jedem Fall mit einer primärenergetischen Einsparung gerechnet werden kann. Die

Theorie des Systems konnte in diesem Forschungsprojekt umfassend beschrieben werden. Ebenso wurden die Vor- und Nachteile der einzelnen Rohrsysteme oder Anbindungsvarianten dargestellt, was die Auswahl geeigneter Systeme vereinfacht. Die Systemsimulationen haben gezeigt, dass vor allem die Regelstrategien einen entscheidenden Einfluss auf die primärenergetischen Gewinne dieses Systems haben. Die bisher erreichten primärenergetischen Gewinne liegen im Bereich von 10% bis 15% beim Einsatz von Wärmepumpen. Die labormäßige Vermessung der Musterwand bestätigte die Ergebnisse der Wandsimulationen und lieferte auch wichtige Erkenntnisse hinsichtlich zu beachtender Details bei der Umsetzung. Durch die Musterplanung und die Abschätzung der Systemkosten wurden Ergebnisse zur Marktreife des aWH-Systems eingebracht. Derzeit werden die Systemkosten mit 30 bis 50 €/m² abgeschätzt. Die Bewertung des aWH-Systems in Bezug auf die Berechnungen nach der Energieeinsparverordnung haben gezeigt, dass derzeit die Berechnung an einigen Stellen frei nach dem Stand der Technik durchgeführt werden müssen, da die vorhandenen Parameter der DIN 4701-10 nicht ohne weiteres auf das aWH-System übertragen werden können. Hier besteht also auch Handlungsbedarf, um die Einführung solcher Systeme zu vereinfachen und damit auch zu beschleunigen. Im Falle von Sanierungen kann das Erreichen des nächst besseren Sanierungsstandards zu einem höheren Tilgungszuschuss von derzeit 2,5% führen und somit evtl. höhere Systemkosten teilweise oder ganz decken. Die Veröffentlichung der Ergebnisse wurde durchaus positiv aufgenommen und die Anzahl der derzeit vorliegenden Interessensbekundungen zum Thema Feldtest zeigen, dass entstandene Interesse an diesem System auf. Somit gilt es, die Ergebnisse durch geeignete Feldtests zu untermauern und einem großen Kreis durch weitere Veröffentlichungen zugänglich zu machen.

4 Literaturverzeichnis

/IWU 2007/ Institut Wohnen und Umwelt / bremer energie Institut / Bundesamt für Raumwesen und Raumordnung: „Grundlagen für die Entwicklung von Klimaschutzmaßnahmen im Gebäudebestand“; Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; Berlin, Juli 2007

/IWU 2007 Potenzial/	Institut Wohnen und Umwelt: „Basisdaten für Hochrechnungen mit der deutschen Gebäudetypologie“; Darmstadt, November 2007
/IWU 2001/	Institut Wohnen und Umwelt „Energiebilanz Toolbox“, Darmstadt, Dezember 2001
/IWU 1994/	Institut Wohnen und Umwelt „Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern“; Darmstadt, November 1994
/WDVS 2007/	Sto AG, „Markterhebungen zu Wärmedämmverbundsystemen in Deutschland“, 2007
/STO 2005/	STO AG; Präsentation eigener Marktforschungsergebnisse im Rahmen des LEXU-Projekts, 2005.

5 Anhang

Beispiel EnEV-Eingabe

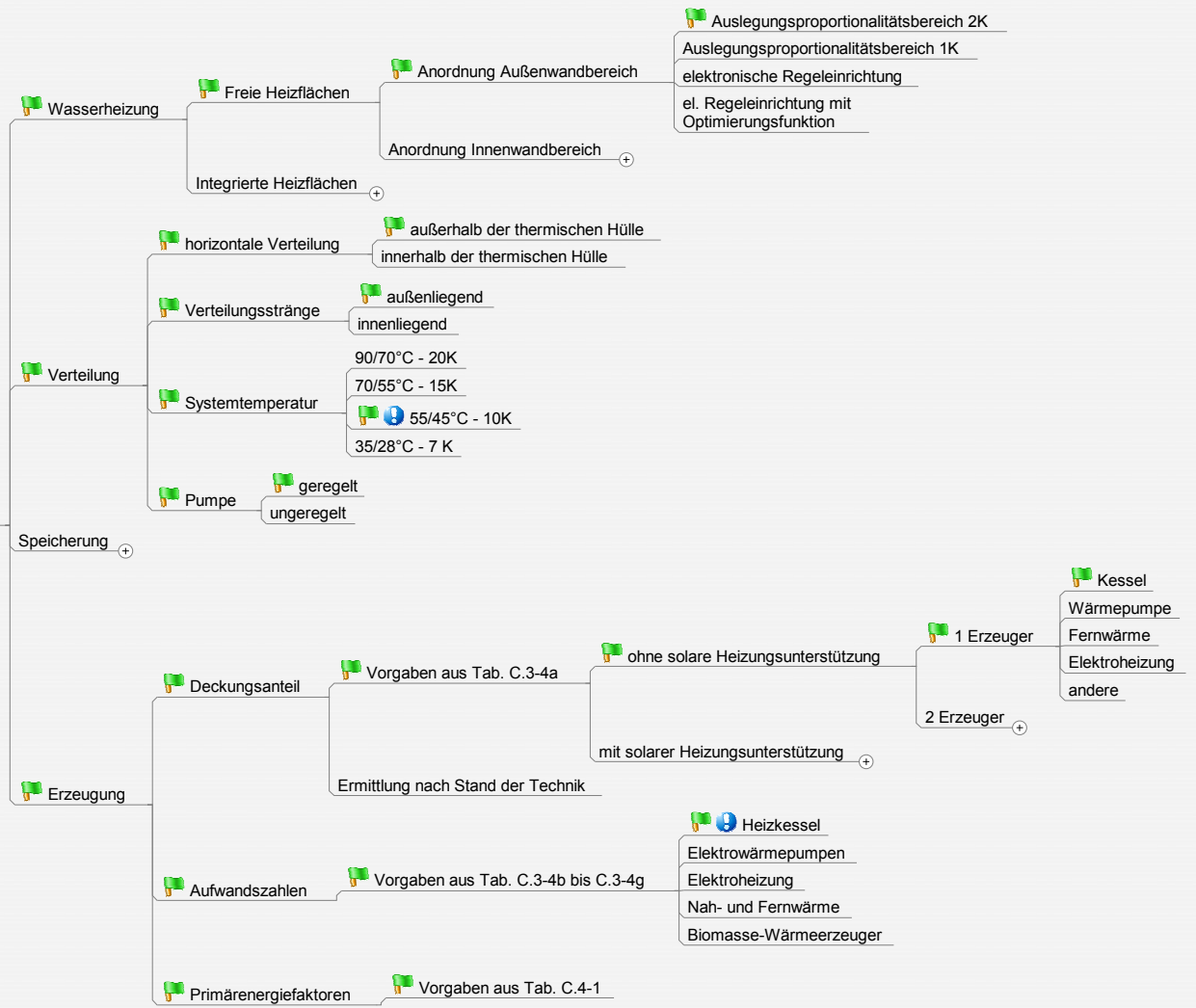
Anlagentechnik

Heizungsanlage

Trinkwassererwärmung nicht beschrieben

Lüftungsanlage nicht beschrieben

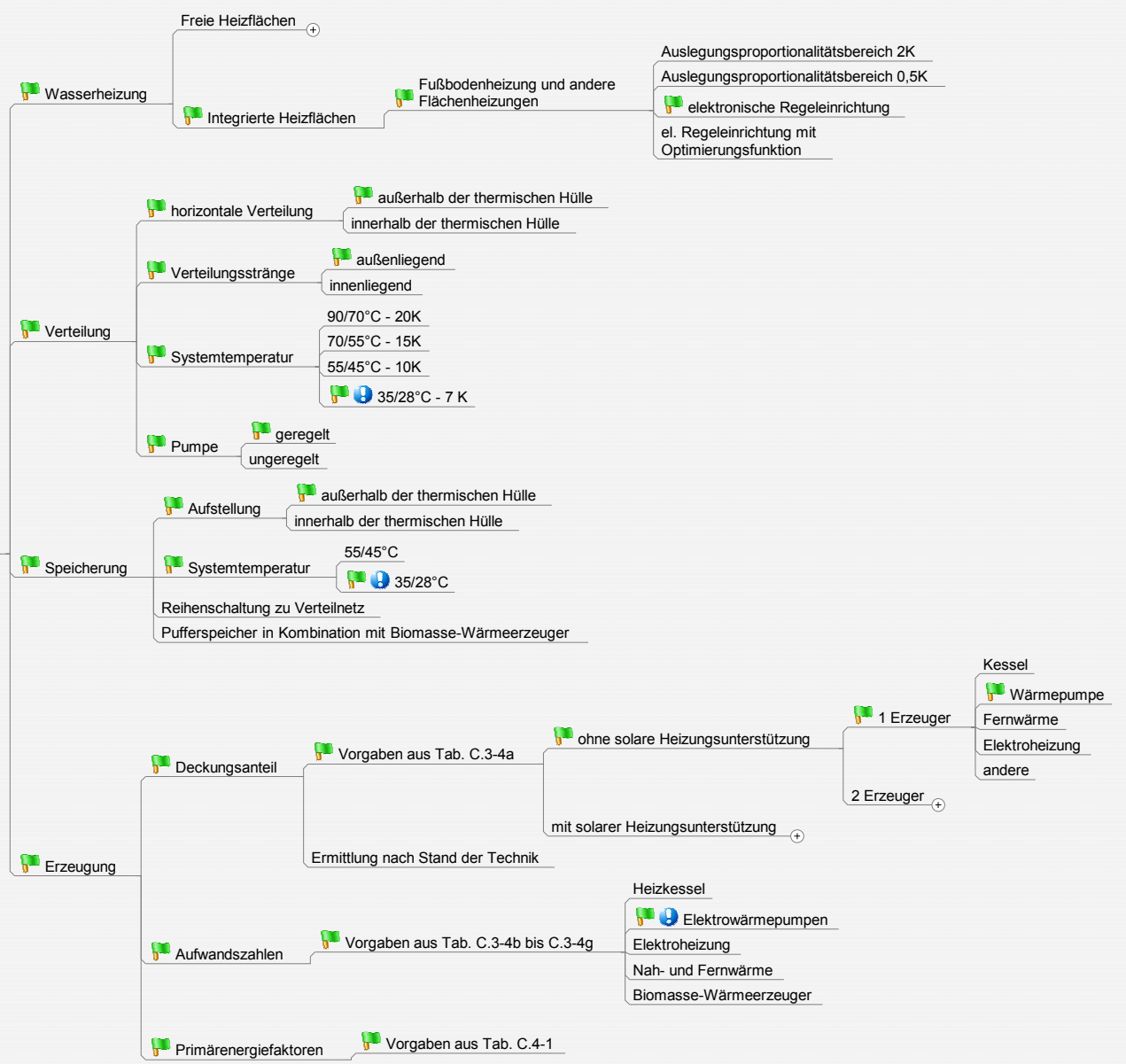
Strang 1 - iH - 60%



Auslegungsproportionalitätsbereich 2K
 Auslegungsproportionalitätsbereich 1K
 elektronische Regeleinrichtung
 el. Regeleinrichtung mit Optimierungsfunktion

Kessel
 Wärmepumpe
 Fernwärme
 Elektroheizung
 andere

Strang 2 - aWH - 40%



Auslegungsproportionalitätsbereich 2K
 Auslegungsproportionalitätsbereich 0,5K
 elektronische Regeleinrichtung
 el. Regeleinrichtung mit Optimierungsfunktion

Kessel
 Wärmepumpe
 Fernwärme
 Elektroheizung
 andere