

Wärmerückgewinnung als nachhaltige Beheizungsform



*Im Zuge der **Energiewende** ist der Gebäudebestand auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung umzustellen. Mit der vollumfänglichen Nutzung der Gebäude(ab)wärme lässt sich das angestrebte Ziel synergereich und nachhaltig erreichen.*

Heat Recovery as a Sustainable Heating Form

*In the course of the **Energiewende**, the building stock is to switch to a carbon neutral heat supply. With the full use of the (waste) heat from the buildings, the desired goal can be achieved sustainably with numerous synergy effects.*

VON
FRANK TRIESCH



Bild 1: Herstellen eines Kapillarrohrmatten-Absorbers im Außenputz der Wärmedämmung [7] v.l.n.r.: Fixierung der Kapillarrohrmatten auf der Polystyrol-Dämmschicht, Integration der Stammrohre, Spachteln des Absorbers, Anbindung der Versorgungsleitungen. (Quelle: A. Born / Sova)

1. Einleitung

Die Reduzierung des fossilen Primärenergiebedarfs erfolgt vorherrschend durch eine Kombination eines der Wärmedämmstandards mit einer elektrischen Wärmepumpe. Indes sind für größere Einsparungen die erforderlichen Dämmstoffdicken nicht überall umsetzbar. Vorhandene konstruktive Wärmebrücken lassen sich nicht immer leicht beseitigen. Die Umstellung auf Niedertemperaturflächenheizung erfordert einen leer gewohnten Zustand. Gängige Wärmepumpen erreichen nur selten die erwarteten Leistungszahlen. So entstehen – trotz des immensen Aufwands – hohe, regelmäßig steigende Energiekosten.

Zunächst ist für die Beheizung mit einer Wärmepumpe eine geeignete Wärmequelle auszuwählen. Nicht alle potenziellen Wärmequellen sind am vorgesehenen Standort verfügbar, wirtschaftlich erschließbar, oder sie führen zu unerwünschten Nebenerscheinungen.

Erdwärmesonden sind mit aufwändigen Bohrarbeiten verbunden, bei denen partiell Trinkwasserleiter perforiert werden, was einen erhöhten Aufwand der Abdichtung erfordert, oder, in Grundwasserschutzgebieten, völlig untersagt sein kann. Eine nicht vollständige, thermische Regeneration des Gebirges führt über Jahre zu rückläufigen Heizleistungen [1].

Grundwasser als Wärmeträger steht nicht überall in ausreichenden Mengen und mit guter Qualität zur Verfügung. Bei der Nutzung kann es zu Verockerungen der Brunnen kommen, die aufwändige Sanierungsarbeiten erfordern, deren Wirkung selten von Dauer ist.

Oberflächennahe **Erdwärmekollektoren** bedingen großräumige Erdarbeiten für ihre

Verlegung auf einem geeigneten Grundstück. Sie sollten nicht mit Tiefwurzeln bepflanzt werden, und kühlen beziehungsweise gefrieren den Boden länger als natürlich bedingt, was die Vegetation behindert.

Luftwärmepumpen nutzen die naheliegendste und am preiswertesten zu erschließende aller Wärmequellen. Bei niedrigen Außenlufttemperaturen sinken jedoch die Arbeitszahl und die Leistung. Monovalenter Betrieb ist nicht mit allen Heizflächenarten möglich. Die Aggregate erzeugen Schallemissionen, die, bis hin zum nächsten Nachbarn, zu Belästigungen führen können [2]. Eine zumindest teilweise Rezirkulation der bereits abgekühlten Luft ist nicht ausgeschlossen. Bei hoher Luftfeuchte und niedrigen Außenlufttemperaturen kommt es zur Vereisung des Verdampfers, der mit verschiedenen, energieintensiven Abtau-Maßnahmen begegnet werden muss [3]. In dieser Zeit gibt die Wärmepumpe keine thermische Energie ab und die Jahresarbeitszahl sinkt weiter. Die Umgebungsluft passiert ungefiltert die Luftkühler und führt bei den geringen Rippenabständen zu einer wachsenden Verschmutzung, und in der Folge auch hier zu reduziertem Luftstrom und sinkenden Verdampfungstemperaturen. Die regelmäßig erforderliche Reinigung muss mit speziellen Technologien sehr vorsichtig erfolgen, um die dünnen Aluminiumrippen nicht zu deformieren. Je tiefer das Rippenpaket, desto schwieriger ist die vollständige Wiederherstellung des sauberen Zustandes.

Mit **Eisspeichern** hofft man, eine weitere, alternative „Wärmequelle“ gefunden zu haben. Hier ist die Vereisung das Mittel zum Zweck. Wegen des bedeutenden, latenten Energieanteils

genügen vergleichsweise kleine Behältervolumina für eine monovalente Beheizung. Zudem kann das langsam schmelzende Eis je nach Größe des Eisspeichers noch bis in den Sommer zur Kühlung des Gebäudes herangezogen werden. Die Verdampfungstemperatur ist nicht auf die wasserspezifischen $t_{\text{Eis}} = 0 \text{ °C}$ begrenzt. Sind der Absorber- und der Verdampferkreis hydraulisch getrennt ausgeführt, sinken die Temperaturen auf der kalten Seite der Wärmepumpe auf bis zu $t_{\text{VD}} = -7 \text{ °C}$ ab, und steigen im Sommer nicht über 25 °C an [4].

Um das Wasser möglichst lange am Gefrieren zu hindern und um es in wärmeren Perioden sicher wieder aufzutauen, dienen neben dem natürlichen Wärmestrom aus der Umgebung des Eisspeichers Solarabsorber, um aus Luft, Tau und Regen tags und in der Nacht dem System Umweltwärme zuzuführen. Eine unmittelbare Sonneneinstrahlung ist für die Funktion nutzbar, aber nicht Bedingung. Aber auch dieses ideal erscheinende Wärmeversorgungssystem ist nicht ohne Nachteile. So kann der erforderliche Platz bzw. Raum nicht zur Verfügung stehen. Die lange andauernden, niedrigen Temperaturen beeinflussen gegebenenfalls die Umgebung des Eisspeichers negativ, wie erdverlegte Wasser- oder Abwasserleitungen, andere Bauwerke und die

natürliche Vegetation. Und nicht zuletzt kommt es zur Vereisung der Absorber.

2. Wärmerückgewinnung als unerschöpfliche erneuerbare Energiequelle

So haben alle bisher üblichen Wärmequellen für die Wärmeversorgung mit Wärmepumpen ihre spezifischen Vor- und Nachteile. Insbesondere bei einer energetischen Sanierung ist ihre Anwendung mehr oder weniger problematisch.

Dabei kommt eine nahezu ideale Wärmequelle für die Wärmepumpenanwendung bisher nicht zur Anwendung – das versorgte Gebäude selbst. Steht mit dem Wärmeverlust des Gebäudes doch genau die Wärmemenge zur Verfügung, die zur Wärmeversorgung benötigt wird. Diese „regenerative Wärmequelle“ kann ohne weitere Nachteile nutzbar gemacht werden, indem das Gebäude mit einem künstlichen Wärmeabsorber möglichst vollflächig umgeben wird.

Hierfür bieten sich die bereits ausgiebig untersuchten und in der Praxis seit Jahren bewährten Kunststoffkapillarrohrmatten-Heiz- und Kühlregister an. In ihrer Form ähneln sie Blutgefäßen, setzen folglich evolutionär optimierte „Konstruktionen“ nach bionischen Prinzipien in der Technik um [5]. So sind sie durch kleine Abstände zwischen den Rohren von $l = 30 \text{ mm}$ praktisch vollflächig wirksam, haben eine, den Durchmesser der Kapillarrohre entsprechende, sehr geringe Aufbauhöhe von nur $d = 4,3 \text{ mm}$, und in der Folge eines minimalen Flächenvolumens von nur $V/A = 0,32 \text{ l/m}^2$ eine sehr niedrige Flächendichte von $m/A = 0,43 \text{ kg/m}^2$. Sie arbeiten sehr schnell und mit kleinsten Temperaturdifferenzen [6].

Bei der Anbringung eines Wärmedämm-Verbundsystems (WDV-System), z.B. an der Fassade eines zu sanierenden Gebäudes, werden die Kapillarrohrmatten außen, auf der Wärmedämmung, in den neuen Außenputz als Wärmeabsorber eingebettet (siehe Bild 1).

Bei einer der Oberflächentemperatur entsprechenden Soletemperatur wird der Wärmestrom aus dem Gebäude, an der Fassade oder dem Dach bzw. der oberen Geschosdecke, und mit höherem Niveau auch an der Kellerdecke oder Bodenplatte, praktisch vollständig aufgefangen und mithilfe einer Sole-Wärmepumpe auf nutzbarem Temperaturniveau dem Gebäude wieder zugeführt. So entsteht ein thermischer Kreislauf.

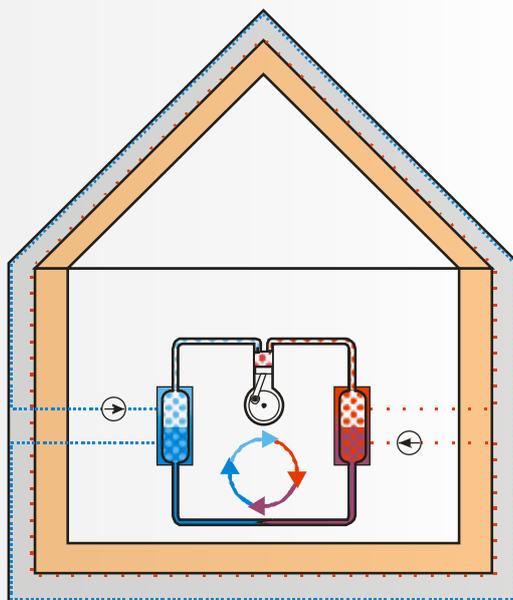


Bild 2: Schematische Darstellung eines Heizsystems, basierend auf Wärmerückgewinnung. v. a. n. i.: Wärmeabsorber – Wärmedämmung – Umfangsheizung – tragende Außenwand / Dach / Bodenplatte / Kellerdecke – Niederhub-Wärmepumpe.



Bild 3: Umsetzung einer Kapillarrohrmatten-Umfangsheizung bei der energetischen Ertüchtigung eines Einfamilienhauses. v.l.n.r.: im Dach, an der Außenwand, an der Kellerdecke – jeweils vor Anbringung der Wärmedämmung. (Quelle: A. Lucke / Thermo Integral)

Der Wärmeverlust des Gebäudes wird genutzt, noch bevor er zur „Umweltenergie“ werden kann (siehe **Bild 2**).

3. Vorteile

Welche energetischen Vorteile bietet diese innovative Lösung gegenüber einer einfacher aufgebauten, preiswerteren Luft-Wärmepumpe, die zu 100 % Umweltenergie einbindet?

Die Temperaturdifferenz am Soleverdampfer beträgt nur ca. $\Delta T_{vd} = -2$ Kelvin. Am Putzabsorber entsteht praktisch keine Temperaturdifferenz zwischen der Sole und der Außenluft, da die negative Temperaturdifferenz zwischen der Sole und der Putzoberfläche, und die positive Temperaturdifferenz zwischen der Putzoberfläche und der Außenluft sich einander etwa aufheben. Bei Verdunstung von Feuchtigkeit, aus Niederschlägen oder Tau, und bei langwelligen, thermischen Strahlungsverlusten kommt es hingegen an der Fassade zu einer Unterschreitung der Außenlufttemperatur. So wurden an einem WDV-System, und obwohl es bei der Abkühlung der Fassade zur Unterschreitung des Taupunktes und damit zur Freisetzung der positiven Kondensationsenthalpie kam, natürliche Temperaturdifferenzen zur Umgebungsluft von bis zu $\Delta T_e = 4$ Kelvin gemessen [7]. Die totale Temperaturdifferenz zwischen dem Soleverdampfer und der Umgebungsluft beträgt also lediglich 25 – 75 % der Temperaturdifferenz an einem Luftverdampfer ($\Delta T_{vd} \approx 8$ K). Und da die Absorbtemperatur nie tiefer liegt, als die Umgebungstemperatur, kommt es gegenüber Luftverdampfern, eine genaue Regelung vorausgesetzt, nicht zu Vereisungserscheinungen an Fassade, Kellerdecke oder Bodenplatte.

Die Absorption solarer Strahlung führt regelmäßig, selbst im Winter, zu einer – je nach Struktur und Farbton der Fassade – bedeutenden Überschreitung der Umgebungslufttemperatur, was mit dem neuen Beheizungskonzept nutzbar ist, nicht jedoch mit Luft-Wärmepumpen. Und nicht zuletzt erfolgt die Umwälzung der Sole durch die parallel angeordneten Kapillarrohrmatten – im Vergleich zur Umwälzung der Außenluft durch den Verdampfer einer Luft-Wärmepumpe – ohne Lärmentwicklung und mit geringerem Energieaufwand.

4. Umfangsheizung

Eine weitere, deutliche Verbesserung der Leistungszahl einer Wärmepumpe wird erreicht, wenn der Kondensationswärmestrom bei möglichst niedriger Temperatur abgegeben wird. Hierzu bieten sich als Heizflächen wiederum die Kunststoff-Kapillarrohrmatten an. Ihre Anordnung unmittelbar auf dem alten Außenputz, unter der neuen Wärmedämmung, als sogenannte Außenwandheizung, wird derzeit verstärkt untersucht [8].

Dabei bisher ausgenommen waren die übrigen, bedeutenden Umfangsflächen eines Gebäudes – das Dach und die Kellerdecke bzw. Bodenplatte. Diese sind in den Jahren 2014 – 2015 bei der energetischen Ertüchtigung eines Einfamilienhauses praktisch einbezogen worden in eine Kapillarrohrmatten-Umfangsheizung. Hier wurden Kapillarrohrmatten auf der gesamten ehemaligen Umfangsfläche aufgebracht – in den Gefachen zwischen den Dachsparren, auf dem ehemaligen Außenputz der Fassade und an der Kellerdecke (siehe **Bild 3**). Die Kapillarrohrmatten im Dach

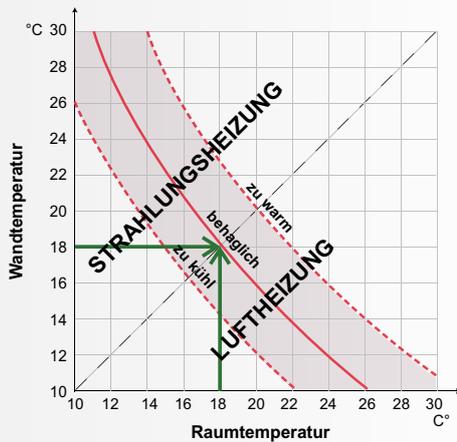


Bild 4: Behaglichkeitsprofil aus Wand- und Raumlufttemperatur (nach Bedford und Liese) [9].

strenger Winterbetrieb		40 mm	350 mm	20 mm	
$t_{i/e}$	°C	-15 °C			20,0 °C
$\alpha_{i/e}$	W/m ² K	25			7,69
λ	W/mK				
R	m ² K/W	0,04			0,13
L	mm				
R_{ges}	m ² K/W	0,746			
u_{ges}	W/m ² K	1,341			
q_i	W/m ²	46,9			
			η	PE-Faktor	PE
			90%	1,1	57,36

Bild 5: Aufbau einer zu sanierenden Außenwand, U-Wert und Transmissionswärmeverlust.

strenger Winterbetrieb		5 mm	150 mm	2,6 mm	410 mm	
$t_{i/e}$	°C	-15 °C				35 °C
$\alpha_{i/e}$	W/m ² K	25				7,69
λ	W/mK					
R	m ² K/W	0,04				0,13
L	mm					
R_{ges}	m ² K/W	5,592	650%			
u_{ges}	W/m ² K	0,179	-87%			
q_i	W/m ²	6,26	-87%			
η_{WP}	%	100%				
PE _{EE}	-Faktor	2,8				
PE _{HZ}	W/m ²	8,76	-85%			
				dT_{WP}	K	50
				q_U	W/m ²	3,13
				ϵ_{WP}	-	2,00
				P_{WP}	W/m ²	3,13

Bild 6: Aufbau einer Außenwand mit WDV-System, U-Wert und Transmissionswärmeverlust, Beheizung mit marktgängiger Luft/Wasser-Wärmepumpe und vorhandener Radiatorheizung.

Gefachdämmung, bestehend aus innovativen Holzständern, einer Beplankung aus Holzweichfaserputzträgerplatten und einer Zellulose- bzw. Holzfaser-Einblasdämmung. Die Kellerdecke erhielt eine 150 mm dicke PUR-Sprühdämmung.

Eine Umfangeheizung ist eine Form der Strahlungsheizung. Diese ermöglicht gegenüber Konvektionsheizungen eine Absenkung der Raumtemperatur. So genügt nach früheren Untersuchungen zur Gewährleistung einer gewissen Behaglichkeit bei einer Wandtemperatur von $t_{wi} = 18 \text{ °C}$ bereits eine ebensolche Raumtemperatur (siehe Bild 4). Da bei Außenlufttemperaturen von $t_e = 18 \text{ °C}$ meist die Heizgrenze erreicht ist, ist dieses Postulat durchaus nachvollziehbar.

Sollten individuell höhere Behaglichkeitsanforderungen bestehen, kann die Umfangeheizung als allgemeine Grundtemperierung mit schnell ansprechenden, hoch effizienten, personenbezogenen, auf dem Strahlungsprinzip basierenden Zuheizern ergänzt werden. Ein Rebound-Effekt ist so vermeidbar.

5. Energieverbrauch und Leistungszahlen im Vergleich

Der Vorteil dieser Beheizungsform besteht darin, dass der Betrieb einer Wärmepumpe mit einer Vorlauftemperatur von $t_{vl} = 20 \text{ °C}$, oder gegebenenfalls geringfügig davon abweichend, auch bei tiefsten Außenlufttemperaturen mit vergleichsweise hohen Arbeitszahlen möglich ist, die nicht durch energieintensive Abtauprozesse beeinträchtigt werden (siehe Tabelle 1).

Durch die Anordnung der Heizflächen auf der ehemaligen Umfassungsfläche entsteht zweifellos ein höherer Transmissionswärmestrom, als mit Heizflächen im Inneren des Gebäudes, bei der der Wärmeleitwiderstand der vorhandenen Außenwand zusätzlich reduzierend auf den Wärmeverluststrom wirkt. Es ist also zunächst zu prüfen, ob der durch den höheren Wärmestrom bedingte, höhere Antriebsenergieaufwand gegebenenfalls den Vorteil einer günstigeren Arbeitszahl wieder aufhebt.

Ausgewählt wird eine verputzte, $L_{wv} = 410 \text{ mm}$ starke Hochlochziegelwand eines zu sanierenden Gebäudes aus den 70er-Jahren, mit einem Gesamt-U-Wert von $u_{wi} \approx 1,34 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (siehe Bild 5).

Mit einem $\delta = 150 \text{ mm}$ starken WDV-System mit einem Wärmeleitwert von $\lambda = 0,031 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

wurden mit $\delta = 40 \text{ mm}$ Holzweichfaserplatten in den Gefachen und mit einer 120 mm dicken Aufsparrendämmung aus Holzweichfaserplatten abgedeckt. Die Fassade erhielt eine 300 mm dicke

(weiter für δ/λ „150/031“) kann eine Verringerung des spezifischen Transmissionswärmeverlustes um ca. 87 %, bei strengem Winterbetrieb von $q_{wi} \approx 46,9 \text{ W/m}^2$ (siehe Bild 5) auf ca. $6,3 \text{ W/m}^2$, erreicht werden (siehe Bild 6).

Die Reduzierung des Wärmebedarfes auf 13 % führt an einer vorhandenen Radiatorheizung ($n = 1,33$) bei gleicher Umwälzmenge zu einer bedeutenden Absenkung der erforderlichen Vorlauftemperatur. War die Spreizung im unsanierten Zustand $t_{vL}/t_{rL} = 90/70 \text{ }^\circ\text{C}$, so beträgt sie nach der Sanierung mit einem WDV-System 150/031 noch ca. $35/32 \text{ }^\circ\text{C}$ [10]. Das für eine auskömmliche Beheizung erforderliche Temperaturniveau sinkt weiter, wenn vorher bereits Heizflächenreserven oder niedrigere Parameter vorgesehen waren. Bei einer Heizflächenreserve von zum Beispiel 25 % genügte vor der Sanierung bereits eine Spreizung von ca. $79/63 \text{ }^\circ\text{C}$, um nach der Sanierung auf ca. $32/30 \text{ }^\circ\text{C}$ zu sinken (siehe Bild 7).

Bei einer Außenlufttemperatur von $t_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Vorlauftemperatur von $t_{vL} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt die Arbeitszahl einer marktgängigen Luft-Wärmepumpe $\epsilon_{WP} \approx 2,0$ (siehe Bild 6). Dafür sind im Betrieb $PE_{EE}/A_{Wi} \approx 3,12 \text{ W/m}^2$ Elektroenergie aufzuwenden (siehe Tabelle 2, gelb hervorgehoben).

Wird gleichzeitig mit der Außenwanddämmung in den Räumen eine Flächenheizung installiert, so arbeitet eine Luft/Wasser-Wärmepumpe bei strengem Winterbetrieb bei ähnlichen Vorlauftemperaturen von $t_{vL} \approx 35 \div 28 \text{ }^\circ\text{C}$. Der niedrigere Wert ist wiederum mit Kapillarrohr-Heizmatten zu erzielen. Die Leistungszahl steigt bis auf $\epsilon_{WP} \approx 2,51$, und der Arbeitsaufwand sinkt bis auf $PE_{EE}/A_{Wi} \approx 2,49 \text{ W/m}^2$ (siehe Tabelle 2, blau hervorgehoben).

Mit einer thermisch doppelt aktivierten Außenwanddämmung erreicht eine marktgängige Sole/Wasser-Wärmepumpe bei strengen Winter-Bedingungen ($t_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$), mit einer Vorlauftemperatur von $t_{vL} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ für eine Außenwandheizung mit $t_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ eine Leistungszahl von über $\epsilon_{WP} = 4,1$, bei einem Aufwand von $PE_{EE}/A_{Wi} \approx 1,64 \text{ W/m}^2$ Elektroenergie. Aus dem Raum entweicht per Transmission durch die Wand keine Wärme ($q_{wi} = 0 \text{ W/m}^2$). Die Innenwandtemperatur steigt von $t_{wi} = 13,9 \text{ }^\circ\text{C}$ vor der Sanierung (siehe Bild 5) auf angenehme $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (siehe Bild 8).

Der „Umweltwärmestrom“ im Verdampfer der Sole-Wärmepumpe ist mit $q_u \approx 5,16 \text{ W/m}^2$

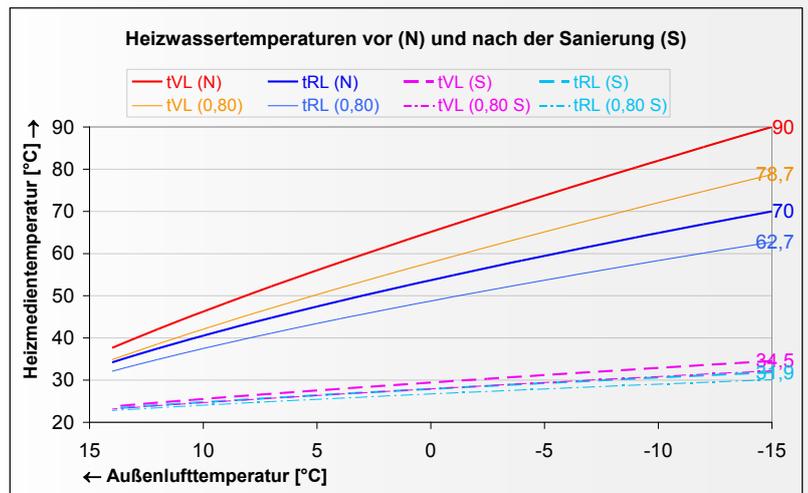


Bild 7: Heizwassertemperaturen einer Radiatorheizung vor (N) und nach der Sanierung (S) mit WDV-System 150/031, ohne und mit 25 % Reserve (0,80).

- um etwa 65 % höher als bei einer Luft-Wärmepumpe mit der vorhandenen Radiatorheizung ($3,13 \text{ W/m}^2$, siehe Bild 5),
- um mindestens 37 % höher als mit einer Fußbodenheizung ($3,76 \text{ W/m}^2$, siehe Tabelle 2, blau hervorgehoben),

Tabelle 1: Leistungszahlen einer marktgängigen Sole/Wasser-Wärmepumpe bei einer Vorlauftemperatur von $20 \text{ }^\circ\text{C}$

WP	Typ	S/W						
t_{vd}	[°C]	-15	-10	-5	0	5	10	15
t_{ko}	[°C]	20	20	20	20	20	20	20
dT	[K]	35	30	25	20	15	10	5
ϵ	[-]	4,1	4,7	5,3	6,0	6,7	7,5	8,3
ϵ_c	[-]	8,4	9,8	11,7	14,7	19,5	29,3	58,6
$\zeta = \epsilon/\epsilon_c$	[-]	0,493	0,482	0,454	0,409	0,343	0,254	0,141

Tabelle 2: Leistungszahl einer Luft/Wasser-Wärmepumpe für diverse Heizflächenparameter bei strengem Winterbetrieb ($-15 \text{ }^\circ\text{C}$) nach der Sanierung mit WDV-System 150/031

WP	Typ	L/W	L/W	L/W	L/W	L/W	L/W
t_{vd}	[°C]	-15	-15	-15	-15	-15	-15
t_{ko}	[°C]	20	25	28	30	33	35
dT	[K]	35	40	43	45	48	50
ϵ	[-]	3,25	2,75	2,51	2,37	2,18	2,00
ϵ_c	[-]	8,4	7,5	7,0	6,7	6,4	6,2
$\zeta = \epsilon/\epsilon_c$	[-]	0,388	0,369	0,358	0,352	0,342	0,325
q_u	[W/m²]	4,33	3,98	3,76	3,61	3,39	3,12
q_i	[W/m²]	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25
P_{el}	[W/m²]	1,92	2,27	2,49	2,64	2,86	3,12

strenger Winterbetrieb		5 mm	2 mm	3,4 mm	2 mm	150,0 mm	2 mm	3,4 mm	2 mm	410 mm	
$t_{i/e}$ °C	-15 °C	Putz -14,9 °C	Kleber -14,93 °C	Rohr -14,92 °C	Kleber -14,92 °C	Dämmung -14,91 °C	Kleber 17,99 °C	Rohr 18,0 °C	Kleber 18,0 °C	verp. Ziegel 18,0 °C	18,0 °C
$\alpha_{i/e}$ W/m ² K	25										
λ W/mK		1	1	0,210	1	0,031	1	0,210	1	0,712	
R m ² K/W	0,04	0,005	0,002	0,016	0,002	4,839	0,002	0,016	0,002	0,576	0,13
L mm	579,8 mm	579,8 mm	574,8 mm	572,8 mm	569,4 mm	567,4 mm	417,4 mm	415,4 mm	412,0 mm	410,0 mm	0,0 mm
R_{ges} m ² K/W		außen 0,047	äquivalent 20,101				Mitte 4,843	äquivalent ∞		innen 0,708	gesamt ohne 5,630
u_{ges} W/m ² K		21,28	0,050				0,206	0,000		1,413	0,178
q W/m ²		außen 1,64	Absorber -5,16				6,80	Heizfläche 6,80		innen 0,00	gesamt ohne 5,86
		ϵ_c 8,8	ζ 0,469				ϵ 4,14	P 1,64		W/m ²	

Bild 8: Parameter an einer Außenwand mit thermisch doppelt aktiviertem WDV-System.

strenger Winterbetrieb		5 mm	2 mm	3,4 mm	2 mm	150,0 mm	4 mm	410 mm		
$t_{i/e}$ °C	-15 °C	Putz -14,9 °C	Kleber -14,9 °C	Rohr -14,9 °C	Kleber -14,9 °C	Dämmung -14,9 °C	Kleber 15,5 °C	verp. Ziegel 19,2 °C	35 °C 32 °C 20 °C	
$\alpha_{i/e}$ W/m ² K	25								7,69	
λ W/mK		1	1	0,210	1	0,031	1	0,712		
R m ² K/W	0,04	0,005	0,002	0,016	0,002	4,839	0,004	0,576	0,13	
L mm	576,4 mm	576,4 mm	571,4 mm	569,4 mm	566,0 mm	564,0 mm	414,0 mm	410,0 mm	0,0 mm	
R_{ges} m ² K/W		außen 0,047	äquivalent 14,963					innen 5,550	gesamt ohne 5,614	
u_{ges} W/m ² K		21,28	0,067					0,180	0,178	
q W/m ²		außen 2,34	Absorber -3,95					innen 6,29	gesamt ohne 6,23	
		ϵ_c 8,8	ζ 0,305				ϵ 2,69	P 2,34		W/m ²

Bild 9: Beheizung mit Sole-Wärmepumpe, Putzabsorber im WDV-System und Radiatorheizung.

- um fast 31 % höher, als bei einer Solewärmepumpe mit Putzabsorber und vorhandener Radiatorheizung (3,95 W/m², siehe Bild 9), und
- um über 10 % höher als bei einer Luft-Wärmepumpe mit einer Außenwandheizung (4,68 W/m², siehe Bild 10).

Damit ermöglicht eine marktgängige Sole-Wärmepumpe mit einem thermisch doppelt aktivierten WDV-System, welches sowohl die Wärmequelle erschließt, als auch als Wärmesenke dient, gegenüber einer marktgängigen Luft-Wärmepumpe, bei Beibehaltung des vorhandenen Radiator-Heizsystems, bei strengem Winterbetrieb, eine Anhebung der Leistungszahl von $\epsilon_{WP} \approx 2,0$ (siehe Bild 5) auf über 4,1 (siehe Bild 8). Der elektrische Leistungsbedarf und damit der Primärenergieaufwand sinken um beinahe 48 %, von $PE_{EE}/A_{W_i} = 3,13$ (siehe Bild 5) auf 1,64 W/m² (siehe Bild 8). Die

abgesenkte Raumlufttemperatur bewirkt gleichzeitig einen niedrigeren Lüftungswärmeverlust.

Der Energiebedarf sinkt von $q_{W_i} \approx 46,9$ W/m² (Endenergie) vor der Sanierung, auf $PE_{EE}/A_{W_i} = 1,64$ W/m² Elektroenergie danach. Berücksichtigt man einen Wirkungsgrad von ca. 90 % für ein vorhandenes NT-Heizsystem aus dem Jahr 1990, und Primärenergiefaktoren von $f_{PE} = 1,1$ für Erdgas/Heizöl, und von 2,8 für Elektroenergie [11], so reduziert sich der Primärenergieaufwand bei strengem Winterbetrieb von $PE_{EE}/A_{W_i} \approx 57,4$ (siehe Bild 5) auf 4,6 W/m² entsprechend um 92 %.

Für die Einhaltung einer konstanten Vorlauftemperatur sind leistungsgeregelte Wärmepumpentypen energetisch besonders vorteilhaft geeignet.

Mit marktgängigen Wärmepumpen sind im Mittel Jahresheizarbeitszahlen von $\epsilon_{WP} = 6$, mit speziellen Niederhub-Wärmepumpen [12] von > 10 zu erwarten (siehe Tabelle 3).

strenger Winterbetrieb		5 mm	150,0 mm	2 mm	3,4 mm	2 mm	410 mm	
$t_{i/e}$ °C		-14,7 °C	-14,7 °C	17,99 °C	18 °C	18 °C	18 °C	18,0 °C
$\alpha_{i/e}$ W/m ² K	25							7,69
λ W/mK		1	0,031	1	0,210	1	0,712	
R m ² K/W	0,04	0,005	4,839	0,002	0,016	0,002	0,576	0,13
L mm	572,4 mm	572,4 mm	567,4 mm	417,4 mm	415,4 mm	412,0 mm	410,0 mm	0,0 mm
R_{ges} m ² K/W		außen		äquivalent		innen		gesamt ohne
		4,886		∞		0,708		5,610
u_{ges} W/m ² K		0,20		0,000		1,413		0,178
q W/m ²		außen		Heizfläche		innen		gesamt ohne
		6,75		6,75		115%		0,00
dT_{WP} K	35,0							
q_U W/m ²	4,68	η_{WP} %		100%				
ϵ_{WP} -	3,25	PE _{EE} -Faktor		2,8				
P_{WP} W/m ²	2,08	PE _{HZ} W/m ²		5,81		-90%		

Bild 10: Beheizung mit Luft-Wärmepumpe und Außenwandheizung.

6. Ganzheitliche Lösung

Da neben der Wand, dem Dach und der Kellerdecke Bauteile wie Fenster und Türen gegebenenfalls nicht thermisch aktiviert werden, und auch konstruktive Wärmebrücken in der einen oder anderen Form weiter bestehen bleiben, ist es erforderlich, mit den thermisch aktivierten Flächen auch den Wärmeverluststrom dieser Bauteile in das Gebäude einzubringen. Dies ist mit einer geringfügig höheren Vorlauf-temperatur möglich (siehe Bild 11). Der hierbei temporär steigende Primärenergieaufwand wird durch die mit diesen transparenten Bauteilen möglichen, solaren Energiegewinne zeitversetzt wieder ausgeglichen.

Der verbleibende Lüftungswärmeverlust eines zeitgemäßen Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung wird bilanziell über die inneren Gewinne ausgeglichen.

Somit handelt es sich bei dem Konzept eines thermisch doppelt aktivierten WDV-Systems um eine ganzheitliche Lösung.

Abgesehen von einer eventuellen Demontage des vorhandenen Radiator-Heizsystems, und dem Einbau neuer Fenster und eines Lüftungssystems erfolgt die energetische Sanierung ohne gravierenden Eingriff in den bewohnten Bereich und das Umfeld. Eine Demontage der Heizkörper und Rohrleitungen ermöglicht die Vergrößerung und Aufwertung der nutzbaren Wohnfläche. Zur Erlangung dieses Ziels genügt eine nur $\delta = 150$ mm dicke Außenwanddämmung. Bei den Dämmarbeiten werden gleichzeitig die beiden Kapillarrohrmatten-Ebenen angebracht

und raum- / fassadenweise nach Tichelmann verrohrt.

7. Das Haus als Wärmespeicher

Die Anbringung der Heizflächen und der Wärmedämmung „hinter“ den Wänden macht die raumzugewandten, massiven Bauteile als große Speichermasse vergleichsweise hoher Wärmeleitfähigkeit zur Klimatisierung des Gebäudes positiv nutzbar. Die Speicherwirkung von $A_{Wt} = 100$ m² der betrachteten, zu sanierenden Wand hat eine äquivalente Wärmekapazität von $V_{sp} \approx 15$ m³ Wasser. Damit entspricht die Nettowandfläche eines Einfamilienhauses von z.B. $A_{Wt} = 185$ m² bei gleicher Spreizung einem Wasseräquivalent von $V_{sp} \approx 28$ m³. Bei Abschaltung der Wärmepumpe steht so pro Kelvin Temperaturänderung in der Wand eine Speicherwirkung von $\tau_{sp} > 26$ h des Heizenergiebedarfes bei $t_e = -15$ °C zur Verfügung (siehe Bild 12).

Hinzu kommt die Speicherwirkung der Dachkonstruktion und der Kellerdecke/Bodenplatte

Tabelle 3: Leistungszahlen einer Niederhub-Wärmepumpe mit Hubkolbenverdichter [12] für die Monatsmitteltemperaturen von Potsdam

Potsdam		Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Heizs.
θ_e	[°C]	9,5	4,1	0,9	1	1,9	4,7	9,2	4,487
t_{vd}	[°C]	7,5	2,1	-1,1	-1	-0,1	2,7	7,2	2,487
t_{ko}	[°C]	20	20	20	20	20	20	20	20
dT	[K]	12,5	17,9	21,1	21	20,1	17,3	12,8	17,51
ϵ	[-]	12,6	9,9	8,8	8,8	9,1	10,1	12,4	10,2

strenger Winterbetrieb	5 mm	2 mm	3,4 mm	2 mm	150,0 mm	2 mm	3,4 mm	2 mm	410 mm		
$t_{i/e}$ °C	-15,0 °C	-15,0 °C	-15,0 °C	-15,0 °C	-15,0 °C	19,71 °C	19,72 °C	19,72 °C	19,72 °C	18,32 °C	
$\alpha_{i/e}$ W/m ² K	25									7,69	
λ W/mK	1	1	0,210	1	0,031	1	0,210	1	0,712		
R m ² K/W	0,04	0,005	0,002	0,016	0,002	4,839	0,002	0,016	0,002	0,576	
L mm	579,8 mm	579,8 mm	574,8 mm	572,8 mm	569,4 mm	567,4 mm	417,4 mm	415,4 mm	412,0 mm	410,0 mm	
R _{ges} m ² K/W	außen		äquivalent			Mitte		äquivalent		innen	gesamt ohne
u _{ges} W/m ² K	0,047		∞			4,843		-13,554		0,708	5,630
q W/m ²	21,28		0,000			0,206		-0,074		1,413	0,178
	außen		Absorber					Heizfläche		innen	gesamt ohne
	0,00		-7,17			7,17		9,60		-2,43	5,86
	ϵ_c	8,8	ζ	0,447	ϵ	3,94	P	2,43	W/m ²		

Bild 11: Thermisch doppelt aktiviertes WDV-System mit negativem Wärmestrom.

strenger Winterbetrieb	5 mm	150 mm	2,6 mm	410 mm	
$t_{i/e}$ °C	-15,0 °C	-14,8 °C	-14,7 °C	14,71 °C	14,73 °C
$\alpha_{i/e}$ W/m ² K	25				
λ W/mK	1	0,031	1	0,712	
R m ² K/W	0,04	0,005	4,839	0,003	0,5758
L mm	567,6 mm	562,6 mm	412,6 mm	410,0 mm	
	nach außen			gesamt	nach innen
R m ² K/W	5,462			4,190	0,13
u W/m ² K	0,183			0,239	7,69
q W/m ²	6,08			7,88	-1,79

Bild 12: Wärmestrom aus einer Speicherwand mit WDV-System bei 1 Kelvin Temperaturabsenkung.

sowie der inneren Wärmekapazitäten – der Trennwände, Möbel, etc. Die Umfangsheizung hat damit – wie es bereits von anderen Flächenheizsystemen bekannt ist – einen sogenannten Selbstregulierungseffekt. Dies trägt zu einer weiteren Anhebung der Behaglichkeit und zur Flexibilisierung der Betriebsweise bei. So werden thermische Spitzen solarer Einstrahlung oder morgendlicher Kältestunden wesentlich gedämpft an die Innenräume weitergegeben. Ein Ausfall, eine gewollte Unterbrechung des Betriebs der Wärmepumpe in Spitzenzeiten des Elektroenergiebedarfes oder bei Flauten der nachhaltigen Energiequellen, verbunden mit entsprechend hohen Strompreisen, werden für die Bewohner kaum spürbar überbrückt.

8. Beeindruckende Möglichkeiten der Wärmeverschiebung

8.1 Abschaltbare Wärmedämmung

Zu den weiteren Vorteilen eines thermisch doppelt aktivierten WDV-Systems zählen die

diversen Möglichkeiten der Wärmeverschiebung. Bereits früh gewann man die Erkenntnis, dass eine Wärmedämmung – ausgelegt auf eine extreme, sehr selten auftretende, stationäre Wettersituation – sich in der übrigen Zeit des Jahres nicht immer verbessernd auf den Heizwärme- und Kühlbedarf auswirkt. So wird der Wärmestrom an einer solar erwärmten Fassade im Winter praktisch kaum noch wirksam, weil die Wärmedämmung auch diesen positiven Wärmestrom an seiner Weiterleitung zum Inneren des Gebäudes in demselben Maße hindert, wie sie den Wärmeverluststrom aus dem Inneren bremst (siehe Bild 13).

Wie wertvoll wäre es also, in diesem Fall die Wärmedämmung einfach „abschalten“ zu können. Ein thermisch doppelt aktiviertes WDV-System macht dies möglich, indem die beiden thermischen Aktivierungsebenen mit demselben umweltfreundlichen Frostschutzmittel befüllt und miteinander hydraulisch kommunizierbar ausgeführt werden. An sonnenreichen Tagen im Winter bei ausreichenden Fassadentemperaturen

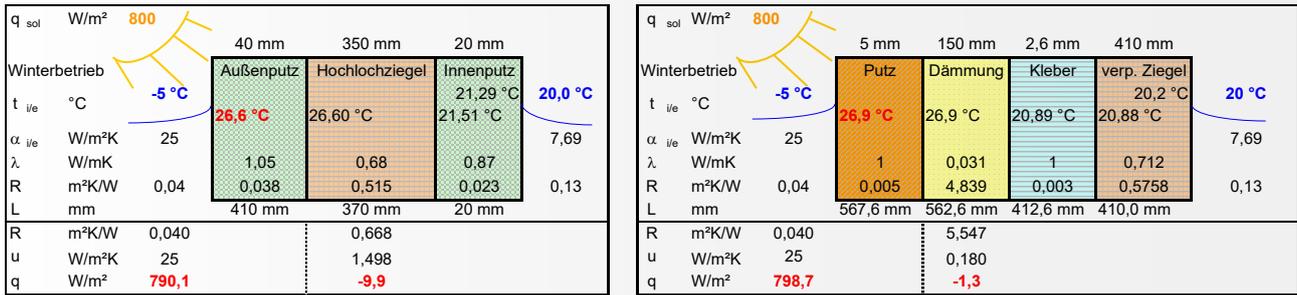


Bild 13: Negative Wirkung einer Wärmedämmung bei winterlichem, solarem Wärmestrom.

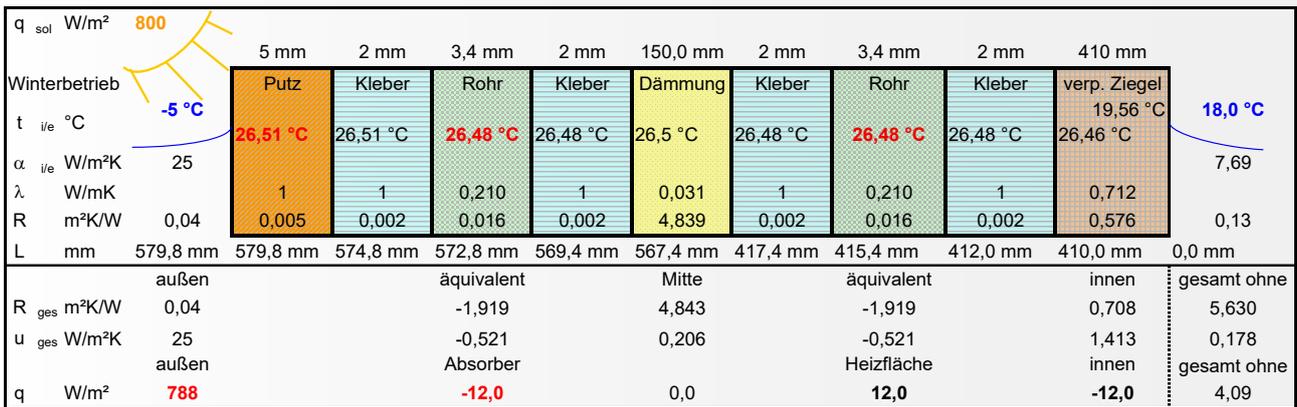


Bild 14: Positive Wirkung der Wärmeverschiebung an einem thermisch doppelt aktivierten WDV-System bei winterlichem, solarem Wärmestrom (alle Berechnungen erfolgten für den stationären Zustand).

von mindestens $t_{We} = 18 \text{ °C}$ wird die Wärme von den außen liegenden Kapillarrohrmatten zu der unter der Wärmedämmung liegenden Ebene hydraulisch weitergeleitet, die Wärmedämmung also buchstäblich „kurzgeschlossen“ (siehe Bild 14).

Solare Überschüsse werden von der Wand aufgenommen und gespeichert und zeitversetzt an die Innenräume weitergeleitet.

Liegen die Temperaturen im Putzabsorber unter der Nutztemperatur von $t_{Wi} = 18 \text{ °C}$, wird die Wärme an die übrigen, außen liegenden Kapillarrohrmatten der anderen, gerade im Schatten liegenden Fassaden und Dachflächen verteilt, oder dem Verdampfer der Wärmepumpe direkt zugeführt. Beides dient in der Heizperiode der Senkung des Heizwärmebedarfes, der Reduzierung der Betriebszeiten der Wärmepumpe bzw. der Erhöhung ihrer Leistungszahl.

8.2 Warmwasserbereitung mit hohen Leistungszahlen

Im Winter erfolgt die Warmwasserbereitung mit derselben Sole-Wärmepumpe, indem diese zeitversetzt kaskadenförmig zunächst die Fassade thermisch auflädt, und anschließend die in

der Fassade gepufferte Wärme nutzt, um den Warmwasserspeicher aufzuheizen. Damit wird der Temperaturhub praktisch halbiert ($\Delta T_{WP} = -15 \rightarrow 20 \text{ °C} = 35 \text{ K} // 20 \text{ °C} \rightarrow 55 \text{ °C} = 35 \text{ K}$), die Leistungszahl jeder der beiden Stufen ist stets $\epsilon_{WP} \geq 4,14$ (Tabelle 1), bei Niederhub-Wärmepumpen immer $\geq 4,7$, in Summe immer $\geq 2,07$ bzw. $\geq 2,35$. Gegenüber einer marktgängigen Luft-Wärmepumpe, die bei einem Temperaturhub von $\Delta T_{WP} = 70 \text{ Kelvin}$ ($15 \text{ °C} \rightarrow 55 \text{ °C}$) eine Leistungszahl von $\epsilon_{WP} \approx 1,4$ aufweist, reduziert sich so der Energieverbrauch um mehr als 32 % bzw. 40 %. Die kleinen Temperaturspiele hinter der Fassade bleiben für die Bewohner völlig unbemerkt.

Im Sommer werden die der unmittelbaren Sonneneinstrahlung ausgesetzten Fassaden- und Dachflächen temporär so warm, dass die Warmwasserbereitung mit den äußeren Kapillarrohrmattenabsorbieren direkt betrieben werden kann. Dunkle Putz- und Dachfarben verstärken diesen Effekt.

8.3 Passive und aktive Klimatisierung

Nicht zuletzt kann bei Bedarf im Sommer, durch eine Umschaltung der beiden Heizflächen, ohne oder mit der vorhandenen Wärmepumpe, auch

eine sanfte, passive bzw. aktive Kühlung des Gebäudes vorgenommen werden. Zunächst können die verschatteten Flächen tagsüber zur passiven, natürlichen Kühlung der direkt bestrahlten Flächen genutzt werden. Nachts können mit den äußeren Umfangsabsorbern die massiven Umfassungswände passiv ausgekühlt werden.

Bei der aktiven Kühlung ist darauf zu achten, dass der Taupunkt an den Kapillarrohrmatten unter der Wärmedämmung nicht über längere Zeit unterschritten wird. Die Warmwasserbereitung und die außen liegenden Kapillarrohrmattenabsorber dienen hier als Wärmesenken für die in der Wand gespeicherte Wärme, wofür tagsüber wiederum die sonnenabgewandten Seiten zu bevorzugen sind, was den elektrischen Leistungsbedarf auch für die Kühlung senkt.

An fensterreichen, unverschatteten Gebäuden ist selbst eine fassadenweise, gleichzeitige Heizung/Kühlung und Wärmenutzung, zeitweilig ohne Wärmepumpenbetrieb, denkbar.

8.4 Künstliche Trocknung zur Vermeidung von Fassadenschäden

In der Übergangszeit kühlen die gedämmten Fassadenoberflächen u.a. durch langwellige Abstrahlung so weit ab, dass an ihren Oberflächen Kondensat aus der Außenluftfeuchte oder oberhalb von Abluftöffnungen ausfällt, sie also betauen. Dieses Kondensat trocknet an den sonnenabgewandten Seiten schwer ab. Es bietet, neben Feuchtigkeit aus Niederschlägen, Nährboden für Algen, was zu den bekannten, unschönen grünen Verfärbungen führt. Auch hierbei kann eine Wärmeverschiebung zum schnelleren Abtrocknen des Putzes positiv genutzt werden [7]. Neben der Wärme von besonnten Fassaden kann auch gespeicherte Wärme aus der Wand durch direkte Kopplung der ersten und der zweiten thermischen Aktivierungsebenen, oder Wärme aus der warmen Seite der Wärmepumpe genutzt werden.

9. Fazit

Mit dem thermisch doppelt aktivierten WDV-System ist eine allseitige, hoch effiziente, gleichbleibende Grundtemperierung umsetzbar, die bei Bedarf durch individuelle Zuheizsysteme zu ergänzen ist.

Die fassadenweise Aufteilung der Absorber- und Heizkreise ermöglicht eine effiziente

Wärmeverschiebung, die zu einer weiteren, wesentlichen Senkung des Primärenergiebedarfes beiträgt.

Ist derzeit der Passivhausstandard im Wesentlichen dem Neubau vorbehalten, ermöglicht das thermisch doppelt aktivierte WDV-System mit einer Aufbauhöhe von nur $\delta = 150$ mm, zusammen mit passivhaustauglichen Fenstern und Türen und einem Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung, auch im Bestand das allgemein anerkannte Ziel, den Primärenergiebedarf bis 2050 um 80 % zu reduzieren, bereits heute wirtschaftlich und nachhaltig zu erreichen – ohne Eingriffe in die Natur, ohne Errichtung externer Bauwerke und zusätzlicher Lärmquellen, durch die evidente Rückgewinnung des Wärmeverlusts und die Nutzung positiver Temperaturgefälle.

Die wenige noch erforderliche, elektrische Antriebsenergie wird, auch wenn sie aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen werden sollte, zunehmend aus erneuerbaren Quellen generiert – angestrebt werden im Jahr 2020 bereits 40 %, sodass der fossile Primärenergieverbrauch der betrachteten Lösung mit jedem Jahr weiter sinkt, ohne diese selbst noch einmal modernisieren zu müssen. Dabei ist die Speicherfassade ein willkommenes Element zum Tagesausgleich schwankenden Dargebotes nachhaltiger Energieformen.

Hinzu kommt, dass diese Form der energetischen Ertüchtigung im bewohnten Bestand erfolgen kann.

Die thermischen Aktivierungsschichten sind weder im Inneren des Gebäudes als Heizflächen, noch außen als Solarabsorber sichtbar, sie passen sich unmerklich in die Architektur ein, die Technik tritt in den Hintergrund. Damit trägt eine intelligente, aktive Wärmedämmung dazu bei, das Spannungsfeld zwischen Energiebewusstsein und Lebensqualität der vergangenen Jahrzehnte aufzulösen, die Architektur wieder in den Vordergrund treten zu lassen [13].

Physiologisch wirkt sich der Übergang zu einer Strahlungstemperierung positiv auf das Befinden und die Gesundheit der Bewohner aus. Eine gleichmäßige Temperierung der inneren Oberflächen und der Raumluft auf vergleichsweise niedrigem Niveau verbessert die ganzjährige Behaglichkeit und verringert die Gefahr des sogenannten Rebound-Effektes.

Schimmelbildung ist ausgeschlossen, weil die Temperatur der inneren Umfassungsflächen

durch die Umfangsheizung stets höher liegt, als der Taupunkt der Raumluft, auch in Bereichen von ansonsten nicht oder nur schwer sanierbaren, konstruktiven Wärmebrücken [14].

Es wird deshalb erwartet, dass diese nachhaltige Beheizungsform früher oder später eine breite Akzeptanz finden wird, auch im Neubau.

Zusammenfassend sind die Vorteile des thermisch doppelt aktivierten WDV-Systems mit einer marktgängigen Sole-Wärmepumpe, gegenüber einer Luft-Wärmepumpe mit Heizkörpern/Flächenheizung ($t_{VL}/t_{RL} = 35/32 \text{ °C}$) bei strengem Winterbetrieb ($t_e = -15 \text{ °C}$):

- Strahlungsheizung – steigert das Wohlbefinden und die Gesundheit der Bewohner
- Steigerung der WP-Leistungszahl von $\epsilon_{WP} = 2,0$ auf 4,1
- Erhöhung des „Umweltwärmestroms“ q_{UW} um +65 %
- Senkung des Primärenergiebedarfs PE/A_{WI} um -48 %
- Erhöhung der Leistungszahl bei der Warmwasserbereitung von $\epsilon_{WWP} = 1,4$ auf 2,07 um 32 %
- durch die Möglichkeiten der Wärmeverschiebung aktive Nutzung solarer Einstrahlung.

Mit optimierten Niederhub-Wärmepumpen lassen sich am Standort Potsdam mittlere Jahresarbeitszahlen von $\epsilon_{WP} > 10$ erreichen, was das große Potenzial der Lösung besonders unterstreicht.

10. Ausblick

In einem zweiten Teil in der folgenden Ausgabe der GI wird auf die Möglichkeiten der praktischen Umsetzung im Zuge der anstehenden Wärmewende näher eingegangen.

Literatur

- [1] Genath, B.: „Wie sehen die Bodentemperaturen nach 20 Jahren aus?“. 11. Wärmepumpen-Fachtagung der Energieagentur Nordrhein-Westfalen, Duisburg 2011, FEE Heizungsjournal-Special, 12 (2011), S. 82-85.
- [2] Leitfaden Schall, Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V., www.waermepumpe.de.
- [3] Kosowski, K., Tegethoff, W., Kühl, L.: „CO₂-Wärmepumpen für Passivhäuser – Effizienzsteigerung von CO₂-Wärmepumpen durch innovative Abtauungsverfahren“. Förderkennzeichen: Az 24572-Ph.1, TU Braunschweig Institut für Thermodynamik (2010).
- [4] Tippelt, E.: „Heizen mit Eis – Eine Alternative zu Erdsonden und Erdkollektoren“. Sanitär- und Heizungstechnik 11 (2012), S. 68-72.

- [5] Glück, B.: Fachlicher Teil des gemeinsamen Abschlussberichtes der F/E-Themen: „Entwicklung von Produkten mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten zur umweltschonenden Raumheizung und -kühlung“. Förderkennzeichen: 032 7241 A, Bearbeiter: Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH, Berlin. „Umweltschonende Raumheizung und -kühlung durch multivalenten Einsatz von Kunststoff-Kapillarrohrmatten“. Förderkennzeichen: 032 7241 B, Bearbeiter: Westsächsische Hochschule Zwickau (FH), F+E TGA, Jößnitz, Januar 2003; www.berndglueck.de.
- [6] www.clina.de
- [7] von Werder, J., Kogan, D., Sack, M., Venzmer, H., Malorny, W.: „Algenvermeidung durch Fassadentemperierung“. in: Fassadensanierung – Praxisbeispiele, Produkteigenschaften, Schutzfunktionen; Beuth, Berlin (2011), S. 79-95.
- [8] Schmidt, Ch., Luther, G., Altgeld, H., Maas, St., Groß, B., Scholzen, F.: „Außenliegende Wandtemperierung“ – LowEx-Anwendung zur Temperierung von Bestandsgebäuden und thermischen Aktivierung der Bestandswand: theoretische Grundlagen und Kennwerte. Bauphysik 39 (2017), Heft 4, S. 215-223.
- [9] Meier, C.: „Heizen wie die Sonne“. Raum & Zeit 144 (2006), S. 56-62.
- [10] Nadler, N.: „Die Wärmeleistung von Raumheizkörpern in expliziter Darstellung“. HLH, 11 (1991), S. 621-624.
- [11] DIN V 18599-1, Dezember 2011: „Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger“.
- [12] Wyssen, I., Gasser, L., Wellig, B.: „Effiziente Niederhub-Wärmepumpen und Klimakälteanlagen“. 19. Tagung des BFE-Forschungsprogramms „Wärmepumpen und Kälte“ (2013), HTI Burgdorf.
- [13] Steiger, P.: „Architektur und Energie – Architektur im Spannungsfeld zwischen Energiebewusstsein und Lebensqualität“, VDI-Berichte Nr. 306 (1978), S. 3-12.
- [14] Rahn, A., Müller, M.: „Möglichkeiten der Bauteiltemperierung im Rahmen Bauwerkssanierung“. „Altbauinstandsetzung: Fortschritte bei Verfahren und Produkten“, Vorträge/Altbau-Symposium anlässlich der Bautec 2000., H. Venzmer (Hrsg.), Berlin: Verlag Bauwesen, 2000 (FAS-Schriftenreihe, Sonderheft).

Ermittlung der Leistungszahl realer Wärmepumpen

T_{Vd} – Eintrittstemperatur des Wärmequellmediums in den Verdampfer [K]

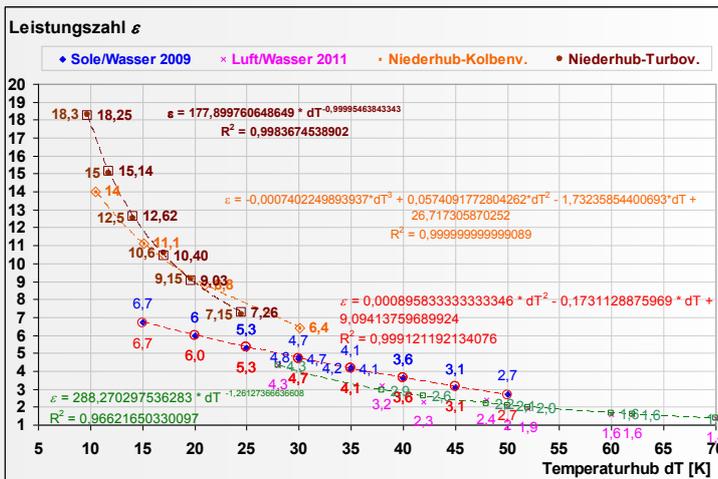
T_{Ko} – Austrittstemperatur des Heizmediums aus dem Kondensator [K]

Temperaturhub – Temperaturdifferenz zwischen Wärmequellmedium und Heizmedium

$$\Delta T = T_{Ko} - T_{Vd}$$

Carnot-Leistungszahl für einen idealen, reversiblen Wärmepumpenprozess

$$\epsilon_c = \frac{T_{Ko}}{T_{Ko} - T_{Vd}}$$



Leistungszahlen marktgängiger Wärmepumpen eines dt. Herstellers sowie von experimentellen Niederhub-Wärmepumpen der Hochschule Luzern [12].

Leistungszahl eines realen, irreversiblen Wärmepumpenprozesses

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_c \cdot \zeta_{WP}$$

Im Bild oben sind die verwendeten Approximationen der Leistungszahlen marktgängiger Sole-Wasser- und Luft-Wasser-Wärmepumpen eines deutschen Herstellers, sowie von experimentellen Niederhub-Wärmepumpen mit Hubkolben- und Turboverdichter der Hochschule Luzern (letztere für eine Verdampfungstemperatur von 10 °C) [12] als Funktion des Temperaturhubes dargestellt.

Symbolverzeichnis

A	[m ²]	Fläche
d	[mm]	Durchmesser
f	[-]	Faktor
l	[mm]	Rohrabstand
L	[mm]	Wanddicke
m	[kg]	Masse
PE	[W]	Primärenergiebedarf
P	[W]	Elektroenergiebedarf
q	[W/m ²]	Wärmestrom
R	[m ² *K/W]	Wärmedurchlasswiderstand
t	[°C]	Temperatur
T	[K]	absolute Temperatur
u	[W/(m ² *K)]	Wärmedurchgangskoeffizient
V	[l] bzw. [m ³]	Volumen
α	[W/(m ² *K)]	Wärmeübergangskoeffizient
δ	[mm]	Schichtdicke
Δ	[-]	Differenz
ϵ	[-]	Leistungszahl
ζ	[-]	Gütegrad
η	[%]	Wirkungsgrad der Wärmenutzung
θ	[°C]	Monatsmitteltemperatur
λ	[W/(m*K)]	Wärmeleitfähigkeit
τ	[h]	Zeit

Indizes

C	Carnot
e	außen
EE	Elektroenergie
Eis	Eisbildung / Gefrierpunkt
ges	gesamt
HZ	Heizung
i	innen
Ko	Kondensator
PE	Primärenergie
RL	Rücklauf
sol	solar
Sp	(Wasser)speicher
U	Umwelt
VL	Vorlauf
Vd	Verdampfer
W	Wand
WP	Wärmepumpe



Dr.-Ing. FRANK TRIESCH

1978 – 1983 Studium der Energie- und Verfahrenstechnik, Erdöl-Erdgas-Institut „I. M. Gubkin“, Moskau

1983 – 1993 Energie-/Verfahrenstechniker in der Gasindustrie

Seit 1993 Selbstständig auf dem Gebiet der Entwicklung innovativer wärmetechnischer Anlagen und Verfahren, Konzept-Planung, Beratung, Computersimulation

Seit 2004 Geschäftsführender Gesellschafter Konzeption/Lieferung von Fernwärmekompaaktstationen, Frischwassermodulen Waleo, airtainern zur großtechnischen Luftkonditionierung, deutsche/internationale Patente, Gebrauchsmuster, Marken

Kontakt Thermo Integral GmbH & Co. KG
Gutsparkstraße 5-9
04328 Leipzig
Tel.: +49 341 252 2762
E-Mail: triesch@gmx.de
www.thermointegral.de

Damit es Sie nicht eiskalt erwischt.



Aktuelles Wissen für
HLK-Experten:
www.recknagel-online.de

RECKNAGEL  online