Stellungnahme zum Referentenentwurf des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung Erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG) im Bearbeitungsstand: 28.05.2019

zu Abschnitt 2, Unterabschnitt 3: Wärmedämmung von Rohrleitungen und Armaturen

zu § 68 Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen

Der Entwurf sieht unter Punkt (2) vor, dass die Wärmeabgabe der Rohrleitungen und Armaturen in der Weise zu begrenzen ist, dass die längenbezogene Wärmedurchgangszahl aller Warmwasserleitungen eines Gebäudes, die in einen Zirkulationskreislauf eingebunden oder mit einer Begleitheizung versehen sind, im Mittel einen Wert von $U_i = 0{,}25$ W/(m·K) nicht überschreiten darf.

Eine Vorgabe des zulässigen Wärmeverlusts eines Meters Rohr, unabhängig von dessen Durchmesser, mag ggf. praxistauglich sein. Diese wird jedoch bereits den übrigen Vorgaben im Gesetzentwurf nicht gerecht, so den Forderungen nach Regelung der Wärmeabgabe in § 62, und nach sommerlichem Wärmeschutz in § 14:

Es fehlt ein Bezug zum Dämmstandard der Niedrigstenergiegebäude.

Dies wird wie folgt in kurzen Worten näher erläutert. Angeführt werden Messwerte von einer Fernwärmehausanschlussstation an einem Mehrfamilienhaus in Dresden (Neubau, Fertigstellung 2018) von den zertifizierten Wärmemengenzählern a) des Fernwärmehausanschlusses, der den Verbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung insgesamt misst, und b) des Unterzählers, der nur den Anteil der Warmwasserbereitung misst, im Zustand reiner Trinkwarmwasserzirkulation ohne Zapfung, der ein Teil des gesamten Wärmestroms ist.

Tabelle: Anteilige Deckung der Heizlast durch das Warmwasserzirkulationssystem
Messwerte an einem Mehrfamilienhaus in Dresden (Neubau, Fertigstellung 2018)

Datum	Uhrzeit	Außenluft-temperatur	a) Heizlast gesamt	b) Zirkulationslast als Teil	Anteil der Zirkulationslast
21.04.2019	07:29	7,1 °C	11,0 kW	6,2 kW	56,4 %
21.04.2019	11:20	16,2 °C	12,9 kW	5,9 kW	53,6 %
21.04.2019	12:17	18,8 °C	11,5 kW	5,1 kW	44,3 %
21.04.2019	20:34	19,4 °C	10,8 kW	5,2 kW	48,1 %
Mittel:	**13 h**	**15,4 °C**	**11,6 kW**	**5,6 kW**	**48,5 %**

Damit trägt der Trinkwarmwasser-Zirkulationskreislauf in der Übergangszeit mit einem Wärmeverlust von $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,Praxis} = 5{,}6$ kW zu knapp der Hälfte direkt und ungeregelt zur Heizlast des Gebäudes bei. Bei einer mittleren Außenlufttemperatur von $\theta_{e,d} = 15{,}4$ °C werden ca. 15 bis 18 % der Auslegungsheizlast $\dot{Q}_{h,b,soll}$ benötigt.

Den gesamten Sommer über wird die Zirkulationslast mit $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,Praxis} = 5{,}6$ kW diese gut gedämmten Häuser und das kaum gedämmte Kaltwasser-Rohrnetz weiter direkt künstlich aufheizen, und zu unerwünschten, negativen Effekten zu Lasten der Bewohner führen – zur Überheizung der Räume beitragen, und die Legionellenbildung in den Kaltwasserleitungen begünstigen.

Werden die Vorgaben im Entwurf des GEG in diesem Mehrfamilienhaus eingehalten?

In dem Dresdner Objekt sind im Warmwasserzirkulationssystem ca. $L_w \approx 532$ m Rohrleitungen verbaut, dv. ca. $L_{r,w} \approx 432$ m in Rohrschächten in beheizbaren Räumen, und ca. $L_{u,w} \approx 100$ m in unbeheizten Kellerräumen (die genauen Verhältnisse sind leider nicht bekannt, und werden eher größer ausfallen):

$L_{r,w} \approx$ 12 Stränge x 6 Etagen x 3 m x 2 Leitungen ≈ 432 m

$L_{u,w} \approx$ 2 Kellerleitungen x 50 m ≈ 100 m

$L_w \approx$ 432 m + 100 m ≈ 532 m.

Mit dem bisher im GEG-Entwurf vorgesehenen, längenbezogenen Grenzwert wäre im Normalbetrieb ein Wärmeverlust zulässig von – in den Steigschächten, in unbeheizten Kellerräumen, insgesamt:

$\dot{Q}_{i,rl,w,GEG-Entwurf}$ = 0,25 W/(m·K) * 432 m * (57,5 °C – 25 °C) = 3.510 W ≙ 76,8 %

$\dot{Q}_{i,ul,w,GEG-Entwurf}$ = 0,25 W/(m·K) * 100 m * (57,5 °C – 15 °C) = 1.063 W ≙ 23,2 %

$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,GEG-Entwurf}$ = 3.510 W + 1.063 W = 4.573 W.

Im Mittel also von:

$q_{i,\Sigma l,w,GEG-Entwurf}$ = 4.573 W / 532 m = 8,6 W/m.

Der in der Praxis tatsächlich auftretende mittlere Wärmeverlust je Meter Rohrleitung beträgt ca.:

$q_{i,\Sigma l,w,Praxis}$ = 5.600 W / 532 m = 10,5 W/m

$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,Praxis}/\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,GEG-Entwurf}$ = 5.600 W / 4.573 W = 122 %.

Die Ursachen der Überschreitung in Höhe von $\Delta\dot{Q}_{i,\Sigma l,w} = 22$ % ließen sich ggf. mit unzureichend gedämmten Armaturen, Wärmebrücken an Rohrschellen, Wand- und Deckendurchführungen oder einer Abweichung von den Temperatursollwerten ($\theta_{w,max} \approx$ 62 °C / $\theta_{w,min} \approx$ 58 °C) erklären und wären noch näher zu untersuchen.

Der nach dem GEG-Entwurf zulässige Wärmeverlust des Warmwasserzirkulationssystems führt im Sommer demnach zu einer mittleren Aufheizung aller beheizbaren Räume um ca. $\Delta\theta_{i,rl,w,GEG-Entwurf} \approx$ 1,5 K. In der Praxis kommt es zu einer Aufheizung um ca. $\Delta\theta_{i,rl,w,Praxis} \approx$ 1,9 K:

$$\Delta\theta_{i,rl,w,GEG-Entwurf} = \dot{Q}_{i,rl,w} * (\theta_{i,h,min} - \theta_{e,min})/\dot{Q}_{h,b,soll}$$

$\Delta\theta_{i,rl,w,GEG-Entwurf}$ = 3,51 kW * (20 °C – -15 °C) / 80 kW ≈ 1,5 K

$\Delta\theta_{i,rl,w,Praxis}$ = 5,6 kW * 76,8 % * (20 °C – -15 °C) / 80 kW ≈ 1,9 K.

_____

Anmerkung: Die Normheizlast von $\dot{Q}_{h,b,soll}$ = 80 kW bezieht sich auf das gesamte Gebäude, also auch auf den Wärmeverlust aus den Räumen im Erdgeschoss und aus den Wärmeverteilleitungen in den unbeheizten Keller. Deren genauer Anteil ist nicht bekannt. Deshalb wird hier vereinfachend mit der vollständigen Normheizlast gerechnet. Die Aufheizung im Sommer fällt also tatsächlich höher aus.

Welcher Wärmeverlust ist zulässig bei Verwendung der Mindestdämmschichtdicken lt. EnEV, Tab. 6?

Für die Ermittlung des Wärmeverlusts werden die Berechnungsgrundlagen aus der VDI 2067 Blatt 22 "Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Anlagen zur Trinkwassererwärmung" verwendet, insbesondere für den Wärmedurchgangskoeffizienten k_R und den Wärmestrom $\dot{Q}_V$:

$$k_R = \frac{\pi}{\frac{1}{2 \cdot \lambda_D} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_a \cdot D}} \qquad \dot{Q}_V = \Sigma[l \cdot k_R (\vartheta_w - \vartheta_L)]_i \cdot 1{,}15$$

Die Wärmeleitfähigkeit der Rohrleitungsdämmung wird gemäß EnEV (2015), Anlage 5, Tabelle 1 mit λ = 0,035 W/(m·K) angesetzt, der äußere Wärmeübergang mit α_a = 8 W/(m²·K). Als Rohrdurchmesser werden für maximale Strömungsgeschwindigkeiten um $v_{w,max} \approx$ 1 m/s in den Steigschächten 22 mm für die Warmwasserleitung angenommen, 12 mm für die Zirkulation, sowie im Keller – 28 mm für die Warmwasserleitungen und 12 mm für die Zirkulation (Anmerkung: In der Praxis wird meist mindestens eine Nennweite größer gewählt). Die Temperatur im Installationsschacht beträgt $\theta_{u,max}$ = +25 °C, im unbeheizten Keller $\theta_{u,min}$ = +15 °C. Die 6 Geschosse sind je h_G = 3 m hoch.

bestehende Normen - kleine Nennweiten		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	22	12	28	12	
Dicke der Wärmedämmung	mm	20	20	30	20	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	62	52	88	52	114
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,212	0,150	0,192	0,150	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,244	0,172	0,221	0,172	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	58	58	58	58	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**8,1**	**5,7**	**9,5**	**7,4**	**7,2**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.740	1.229	475	371	3.814
		46%	32%	12%	10%	100%

Aus der detaillierten Berechnung mit den EnEV-gerechten Dämmschichtdicken ergibt sich ein um 32 % geringerer zulässiger Wärmeverlust $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w}$, als er in praxi auftritt, d.h. der tatsächliche Wärmeverlust ist um 47 % höher, als nach EnEV zulässig:

$$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,EnEV} / \dot{Q}_{i,\Sigma l,w,Praxis} = 3.814 \text{ W} / 5.600 \text{ W} = 68\ \%$$

$$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,Praxis} / \dot{Q}_{i,\Sigma l,w,EnEV} = 5.600 \text{ W} / 3.814 \text{ W} = 147\ \%.$$

Bei jeweils einer Nennweite größer gewählten, üblichen Rohrleitungsdimensionen ist der nach EnEV zulässige Wärmeverlust um knapp 3 % höher, als bei den gewählten Rohrdimensionen (s.u.):

$$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,EnEV,groß\,D} / \dot{Q}_{i,\Sigma l,w,EnEV,kleinD} = 3.924 \text{ W} / 3.814 \text{ W} = 102{,}9\ \%.$$

Die praxisgerecht nach EnEV vorgegebenen Wärmedämmschichtdicken sollten also in dem vorliegenden Beispiel zu einem um über 14 % niedrigeren Wärmeverlust führen, als das zukünftige GEG vorsieht:

$$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,EnEV,groß\,D} / \dot{Q}_{i,\Sigma l,w,GEG-Entwurf} = 3.924 \text{ W} / 4.573 \text{ W} = 85{,}8\ \%.$$

In der Praxis wird gar ein um 43 % höherer Wärmeverlust gemessen, als bei üblichen Rohrnennweiten mit normgerechten Dämmschichtdicken zulässig:

$$\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,Praxis} / \dot{Q}_{i,\Sigma l,w,EnEV,groß\,D} = 5.600 \text{ W} / 3.924 \text{ W} = 143\ \%.$$

bestehende Normen - übliche Nennweiten		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	28	15	35	15	
Dicke der Wärmedämmung	mm	30	20	30	20	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	88	55	95	55	143
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,192	0,169	0,220	0,169	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,221	0,195	0,253	0,195	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	58	58	58	58	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**7,3**	**6,4**	**10,9**	**8,4**	**7,4**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.574	1.387	544	418	3.924
		40%	35%	14%	11%	100%

Es wäre also bereits ein wesentlicher Fortschritt, wenn:

- die Rohrleitungen zur Warmwasserverteilung entsprechend der tatsächlich auftretenden Gleichzeitigkeit dimensioniert werden,
- die Zirkulationsleitungen dem dann verminderten Wärmeverlust entsprechend dimensioniert werden, und
- die Wärmedämmung der Zirkulationssysteme nicht dem GEG-Pauschalwert von U_i = 0,25 W/(m·K), sondern den Mindestdämmschichtdicken gemäß der bisherigen EnEV entspricht.

Aber auch diese Vorgaben der EnEV sind nicht mehr zeitgemäß. Denn ein zulässiger Wärmeverlust von $\dot{Q}_{i,rl,w,EnEV}$ = 3,0 kW führt zu einer unzumutbaren Aufheizung aller Räume im Sommer um $\Delta\theta_{i,rl,w}$ = 1,3 Kelvin, d.h. eine Raumtemperatur von $\theta_{i,c,max}$ = 26 °C wird spätestens bei einer mittleren Außenlufttemperatur von $\theta_{e,c,max}$ = 24,7 °C überschritten – die übrigen Lasten vernachlässigt:

$\dot{Q}_{i,rl,w,EnEV}$ = 1,574 kW + 1,387 kW = 3,0 kW

$\Delta\theta_{i,rl,w,EnEV}$ = 3,0 kW * (20 °C – -15 °C) / 80 kW = 1,3 K.

Betrachtet man eine Hygieneschaltung, d.h. die eintretende Warmwassertemperatur beträgt $\theta_{w,max}$ = 65 °C, so steigt der Wärmeverlust bei GEG-entwurfskonformer Wärmedämmung bereits auf insgesamt $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w,GEG-Entwurf}$ = 4,87 kW, davon $\dot{Q}_{i,rl,w,GEG-Entwurf}$ = 3,76 kW in den Steigschächten.

GEG-Rohrdämmung - Hygieneschaltung		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	22	12	28	12	
Dicke der Wärmedämmung	mm	20,0	11,0	25,0	11,0	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	62	34	78	34	96
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,212	0,211	0,215	0,211	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,244	0,243	0,247	0,243	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	64,91	56,65	64,99	55,31	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**9,7**	**7,7**	**12,3**	**9,8**	**9,2**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	2.104	1.660	617	489	4.870
		43%	34%	13%	10%	100%

Dabei wurden die Dämmschichtdicken jeweils auf volle Millimeter aufgerundet. Hier wirkt sich besonders negativ aus, dass GEG-entwurfskonform bei kleinen Nennweiten auch geringere Dämmschichtdicken zulässig sind, als gemäß EnEV bereits vorgegeben.

Die Rohrdämmung ist zukünftig am Dämmstandard des Gebäudes auszurichten

Damit weder in der Heizsaison noch im Sommer ein unverhältnismäßig großer, ungeregelter Wärmeeintrag aus der Verrohrung der Wärmeverteilung auftritt, ist die Rohrdämmung zukünftig am Wärmedämmstandard des Gebäudes auszurichten. Die zumutbare Aufheizung der Räume soll auf maximal ein Kelvin begrenzt werden, d.h. für das betrachtete Mehrfamilienhaus am Standort Dresden auf maximal $\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} = 2{,}29$ kW:

$$\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} = \Delta\theta_{i,rl,w,max} \,/\, \left[\frac{\theta_{i,h,min} - \theta_{e,min}}{\dot{Q}_{h,b,soll}}\right]$$

$$\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} = \text{max. 1 K / [(20 °C – -15 °C) / 80 kW]} \leq 2{,}29 \text{ kW}.$$

Dafür wird folgende Formulierung zu § 68, Punkt 1.2. vorgeschlagen:

> **2. der Wärmeverlust aller ganzjährig warmgehenden Rohrleitungen eines Gebäudes zusammen zu einer maximalen Aufheizung aller beheizbaren Räume um 1 Kelvin führt. Zu berücksichtigen sind jeweils die ungünstigsten Betriebszustände, wie eine thermische Desinfektion im Warmwasserzirkulationssystem und ein kontinuierlicher Betrieb der Zirkulationspumpe.**

Diese Vorgaben begrenzen den Einfluss des Wärmeverlusts des Zirkulationskreislaufs und aller anderen warmgehenden Leitungen im Sommer auf unter ein Kelvin Temperaturerhöhung im beheizbaren Gebäudeteil.

Im vorliegenden Fall des neu erbauten Mehrfamilienhauses in Dresden beträgt die Normheizlast $\dot{Q}_{h,b,soll} = 80$ kW bei $\theta_{e,min} = -15$ °C. Der Zirkulationskreislauf darf vorschlagsgemäß noch ca. $\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} = 2{,}29$ kW in die beheizbaren Räume abgeben, was etwa 65 % des bisher im GEG-Entwurf vorgesehenen Wärmeverlusts entspricht:

$$\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} / \dot{Q}_{i,rl,w,GEG-Entwurf} = 2{,}29 \text{ kW} / 3{,}51 \text{ kW} = 65\ \%.$$

Zur Einhaltung der Vorgabe des insgesamt zulässigen Wärmeverlusts ist zunächst das Zirkulationsleitungsnetz so klein wie möglich zu halten, sowohl in der Länge, als auch im Durchmesser. Dies bedingt zudem einen geringen Wasserinhalt und verbessert die Hygiene im Warmwassernetz.

Weiter wird die Wärmedämmung der Rohrleitungen der Vorgabe entsprechend verbessert. Der bisherige GEG-Entwurf überlässt dem Planer, welche Warmwassertemperatur er bei der Auslegung zugrunde legt. Dies ist im Gesetz zu präzisieren, um bereits in der Planungsphase die Temperaturen im Zirkulationssystem auch während thermischer Desinfektionsmaßnahmen zu berücksichtigen, die in der Praxis mitunter von einer prophylaktischen Maßnahme zu einer Dauerlösung geworden sind.

In Anlagen, bei denen die Wärmeübergabe dezentral in den einzelnen Einheiten mit Wohnungsübergabestationen erfolgt, und das Warmwasser nicht zirkuliert wird, zirkuliert ganzjährig das Heizungswasser ohne Außentemperaturanpassung. Die Durchmesser dieser Leitungen sind größer, als die von Warmwasser- und Zirkulationsleitungen, die darin herrschenden Temperaturen sind meist höher als die in Warmwasserleitungen. Damit ist die Begrenzung des Wärmeverlusts in solchen Anlagen ebenso wichtig, wie die Begrenzung des Wärmeverlusts in Warmwasserzirkulations-kreisläufen bei zentraler Warmwasserbereitung.

Im Betrieb kann diese Vorgabe auch erreicht werden durch eine zeitweilige Abschaltung der Zirkulationspumpe (§ 63 des GEG-Entwurfs nennt keine zulässige Abschaltdauer mehr, wie in der EnEV § 14 (4) noch vorgesehen), oder durch eine Absenkung der Zirkulationstemperatur bis auf $\theta_{w,Zi} = 50$ °C nach DIN CEN/TR 16355 (DIN SPEC 19810):2012-09 CEN/TR 16355:2012 (D). Diese aktiven Maßnahmen erfordern allerdings von Legionellen freie Anlagen, unterliegen der Freiwilligkeit, und wären regelmäßig zu überprüfen. Sie sind daher bei der Ermittlung des Wärmeverlusts außer Acht zu lassen.

Welche Auswirkungen hat dieser Vorschlag, ist er in der Praxis umsetzbar?

In dem angeführten Mehrfamilienhaus darf der spezifische Wärmeverlust des Zirkulationssystems an die beheizbaren Räume vorschlagsgemäß noch ca. $\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} = 2{,}29$ kW betragen (s.o.). Daraus ergibt sich ein zulässiger Wärmeverlust je Meter Rohrleitung von ca.:

$q_{i,rl,w,+1K}$ = 2.290 W / 432 m = 5,3 W/m.

Legt man gemäß dem vorliegenden Vorschlag als ungünstigsten Fall die Warmwasserzirkulation im thermischen Desinfektionsbetrieb bei $\theta_{w,max} = 65$ °C zugrunde, so ergibt sich ein zulässiger längenbezogener Wärmeverlust von:

$U_{i,+1K}$ = 5,3 W/m / (65 °C – 25 °C) = 5,3 W/m / 40 K = 0,132 W/(m·K).

Dies entspricht gegenüber dem bisher im GEG vorgesehenen Grenzwert gut der Hälfte (53 %).

Wie kann der Wärmeverlust auf den vorschlagsgemäß zulässigen Wert reduziert werden?

1. Erhöhung der Dämmschichtdicke

Bei üblichen Zirkulationssystemen und EnEV-gemäßen Dämmschichtdicken ergibt sich bei Berücksichtigung einer Hygieneschaltung ein Wärmeverlust in den Steigschächten von $\dot{Q}_{i,rl,w}$ = 2,99 kW:

herkömmliches Rohrsystem - Hygieneschaltung		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	22	12	28	12	
Dicke der Wärmedämmung	mm	20	20	30	20	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	62	52	88	52	114
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,212	0,150	0,192	0,150	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,212	0,172	0,221	0,172	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	64,92	56,16	64,99	55,22	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**8,5**	**5,4**	**11,0**	**6,9**	**7,3**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.830	1.161	552	347	3.889
		47%	30%	14%	9%	100%

Zur Erlangung des gemäß dem vorliegenden Vorschlag zulässigen Wärmestroms von $\dot{Q}_{i,rl,w,+1K}$ = 2,29 kW wird eine Erhöhung der Dämmschichtdicke von 20 mm auf 39 mm, also praktisch eine Verdopplung erforderlich, d.h. 200 % nach EnEV:

verstärkte Rohrdämmung - Hygieneschaltung		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	22	12	28	12	
Dicke der Wärmedämmung	mm	39	39	58	39	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	99	89	144	89	189
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,146	0,110	0,134	0,110	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,168	0,126	0,154	0,126	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	64,94	55,84	64,99	55,16	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**6,7**	**3,9**	**7,7**	**5,1**	**5,5**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.448	839	386	253	2.927
		49%	29%	13%	9%	100%

Bei üblichen Warmwassertemperaturen reduziert sich mit dieser 200 %-Dämmung der Gesamtwärmeverlust in beheizbare Räume auf $\dot{Q}_{i,rl,w} = 2{,}11$ kW, d.h. auf gut 60 % des bisher zulässigen Wertes (s.o.):

verstärkte Rohrdämmung - übliche Temperaturen		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	22	12	28	12	
Dicke der Wärmedämmung	mm	39	39	58	39	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	99	89	144	89	189
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,146	0,110	0,134	0,110	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,168	0,126	0,154	0,126	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	59,96	55,84	60,00	55,16	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**5,9**	**3,9**	**7,0**	**5,1**	**5,1**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.267	839	348	253	2.707
		47%	31%	13%	9%	100%

$\dot{Q}_{i,rl,w,+1K} / \dot{Q}_{i,rl,w,GEG-Entwurf} = 2{,}11$ kW / 3,51 kW = 60,1 %.

Die Warmwasser- und die Zirkulationsleitungen nehmen mit 189 mm gegenüber von 114 mm Breite bei EnEV-gerechter Dämmschichtdicke und einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(m·K) aber bereits 66 % mehr Breite im Installationsschacht ein. Dies erscheint wenig praktikabel.

2. Verwendung von Wärmedämmung mit vermindertem Wärmeleitwert

Bei EnEV-gerechter Dämmschichtdicke wird ein Wärmeleitwert von λ = 0,025 W/(m·K) benötigt, um die +1-Kelvin-Regel einzuhalten.

Superrohrdämmung - Hygieneschaltung		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	22	12	28	12	
Dicke der Wärmedämmung	mm	20,0	20,0	25,0	20,0	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	62	52	78	52	114
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,025	0,025	0,025	0,025	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,149	0,105	0,151	0,105	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,171	0,121	0,173	0,121	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	64,94	55,88	64,99	55,16	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**6,8**	**3,7**	**8,7**	**4,9**	**5,6**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.478	808	433	243	2.962
		50%	27%	15%	8%	100%

Bereits als Rohrdämmmaterial bekannt ist eine Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,026 W/(m·K) [Wicu Eco]. Aerogel-Dämmstoffe erreichen eine Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,021 W/(m·K), teils sogar von

λ = 0,015 W/(m·K) [Fa. Aspen Aerogels Inc.], bis hin zu λ = 0,014 W(m·K) bei 40 °C. Letztere werden bereits als Rohrdämmung von flexiblen Solarleitungen eingesetzt [Aktarus Group SRL]. In der Schweiz wird gar mit Vakuumisolierung experimentiert, die den Wärmeverlust um 75 % bis 90 % reduzieren soll [Fa. Helbing Technik AG].

Mit einer Wärmedämmung mit vermindertem Wärmeleitwert erscheint die +1-Kelvin-Regel realistischer erreichbar.

3. Reduzierung der Rohrleitungslänge auf die Hälfte – Inrohrzirkulation

Wird eine innenliegende Zirkulationsleitung verwendet [DD 159806 B1], so entfallen die gesonderten zweiten Stränge in den Steigschächten, und die zu dämmende Gesamtrohrlänge verringert sich auf die Hälfte:

$L_{r,w} \approx$ 12 Stränge x 6 Etagen x 3 m x 1 Leitung ≈ 216 m.

Mit dem bisher vorgesehenen GEG-Grenzwert ergibt sich dann ein zulässiger Wärmeverlust von:

$\dot{Q}_{i,rl,w}$ = 0,25 W/(m·K) * 216 m * (57,5 °C – 25 °C) = 1.755 W.

Da aber nach dem vorliegenden Vorschlag der ungünstigste Betriebsfall, die thermische Desinfektion zu berücksichtigen ist, erhöht sich der zulässige Wärmeverlust tatsächlich auf:

$\dot{Q}_{i,rl,w,max}$ = 0,25 W/(m·K) * 216 m * (65 °C – 25 °C) = 2.160 W.

Bei Halbierung der Rohrlänge wird also selbst mit dem bisher vorgesehenen GEG-Grenzwert der längenbezogenen Wärmedurchgangszahl der vorschlagsgemäß zulässige Wärmeverlust erreicht.

Die Inrohrzirkulation als idealer Gegenstromwärmeübertrager ist allerdings mit der Besonderheit verbunden, dass die austretende Zirkulationstemperatur nahezu der zugeführten Warmwasser-temperatur entspricht. Dies führt zwangsläufig zu unerwünscht hohen Rücklauftemperaturen am Wärmeerzeuger und damit zu einer Reduzierung von dessen Nutzungsgrad.

Bei Inrohrzirkulation sind wegen des engeren Ringspalts größere Nennweiten im Steigstrang erforderlich – serienmäßig 28x1,2 mm mit einem Inliner von 14x1,5 mm [Fa. Geberit]. Damit ergibt sich in den Steigschächten bei EnEV-gerechter Wärmedämmung von 30 mm und mittleren Medientemperaturen bei Hygienschaltung ein Wärmeverlust von gut $\dot{Q}_{i,rl,w,max}$ = 1,8 kW.

Vorschlag mit reduzierter Rorlänge durch Standard-Inrohrzirkulation		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	28	14	35	15	
Dicke der Wärmedämmung	mm	30	0	30	20	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	88		95	55	88
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035		0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8		8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,192		0,220	0,169	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15		1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,221		0,253	0,195	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	63,1		64,9	60,5	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25		15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**8,4**		**12,6**	**8,9**	**9,2**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216		50	50	316
mittlerer Wärmestrom	W	1.819		632	443	2.894
		63%		22%	15%	100%

Damit wird der vorschlagsgemäße Wärmeverlust bereits mit einer EnEV-gerechten Wärmedämmschichtdicke bei einem Gesamtdurchmesser von 88 mm erzielt. Dies spart zusätzlich 26 mm Bauraum gegenüber den 114 mm bei getrennter Verlegung (s.o.).

Der Gesamtwärmeverlust in beheizbaren Räumen reduziert sich bei normalen Warmwassertemperaturen von im Mittel 58 °C auf $\dot{Q}_{i,rl,w} = 1{,}57$ kW und damit auf weniger als 45 % des bisher gemäß GEG-Entwurf zulässigen Wertes (s.o.):

Vorschlag mit Standard-Inrohrzirkulation bei üblichen Temperaturen		aufwärts WW	abwärts Zi	Keller WW	Keller Zi	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	28	14	35	15	
Dicke der Wärmedämmung	mm	30	0	30	20	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	88		95	55	88
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035		0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8		8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,192		0,220	0,169	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15		1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,221		0,253	0,195	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	57,9		59,9	55,5	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25		15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**7,3**		**11,4**	**7,9**	**8,0**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216		50	50	316
mittlerer Wärmestrom	W	1.570		569	394	2.532
		62%		22%	16%	100%

$\dot{Q}_{i,rl,w}/\dot{Q}_{i,rl,w,GEG-Entwurf} = 1{,}57$ kW / 3,51 kW = 44,7 %.

Der Einsatz des von mehreren Herstellern beziehbaren Inrohrzirkulationssystems ist demzufolge bereits mit herkömmlichen Dämmstoffen und Dämmschichtdicken zielführend.

4. 2-Leitersystem – dezentrale Wohnungsstationen

Die Inrohrzirkulation reduziert ein herkömmliches 4-Leiter-System, bestehend aus Heizungsvorlauf, Heizungsrücklauf, Warmwasser- und Zirkulationsleitung im Steigstrang bereits auf ein 3-Leiter-System. Der Einbau dezentraler Wohnungsstationen führt zu einer weiteren Reduzierung auf ein 2-Leiter-System, wo lediglich Heizungsvor- und -rücklauf erforderlich sind.

Hier wird der sommerliche Wärmeverlust im Warmhaltebetrieb bei einer Vorlauftemperatur von $\theta_{VL,max} = 70$ °C und einer Rücklauftemperatur von $\theta_{RL,max} = 47$ °C ermittelt, die bei den meisten Wohnungsstationen zur Sicherstellung der Auslegungsleistung bei einer Warmwassertemperatur von $\theta_w = 45$ °C erforderlich sind. Ein Legionellenschutzbetrieb soll hier nicht betrachtet werden. Es wird angenommen, dass hinter der dezentralen Wohnungsstation formal die 3-Liter-Regel eingehalten wird. Dies ist allerdings nicht immer der Fall.

Herkömmliches 2-Rohrsystem		aufwärts VL	abwärts RL	Keller VL	Keller RL	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	28	28	42	42	
Dicke der Wärmedämmung	mm	30	30	39	39	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	88	88	120	120	176
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,192	0,192	0,209	0,209	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,221	0,221	0,241	0,241	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	69,88	46,99	69,96	46,95	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**9,9**	**4,9**	**13,2**	**7,7**	**8,0**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	2.141	1.049	662	385	4.236
		51%	25%	16%	9%	100%

Bei EnEV-gerechten Dämmschichtdicken ergibt sich für ein 2-Leiter-System ein Wärmeverlust von $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w} = 4{,}24$ kW, davon $\dot{Q}_{i,rl,w} = 3{,}19$ kW in beheizbaren Räumen.

Dies führt zu einer sommerlichen Aufheizung um $\Delta\theta_{i,rl,w} = 1{,}4$ K, so dass eine gerade noch akzeptable Innenraumtemperatur von $\theta_{i,c,max} = 26$ °C bereits bei einer Außenlufttemperatur unter $\theta_{e,c,max} = 24{,}6$ °C erreicht wird.

$\Delta\theta_{i,rl,w} = 3{,}19$ kW * (20 °C – -15 °C) / 80 kW = 1,4 K.

Die Einhaltung der +1-Kelvin-Regel erfordert bei einem herkömmlichen 2-Leiter-System mit einem Rohrdurchmesser von 28 mm und einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(m·K) eine einheitlich angenommene Wärmedämmschichtdicke von 55 mm, womit die Vor- und Rücklaufleitungen im Steigschacht bereits eine Gesamtbreite von 277 mm einnehmen (Nullabstand vorausgesetzt), was wenig praktikabel erscheint, insbesondere wenn im Bestand ehemalige Schornsteinzüge für die Rohrverlegung genutzt werden sollen. Zu den 114 mm EnEV-gerechter Dämmung sind 52 mm für den Heizungsvorlauf und 52 mm für den Heizungsrücklauf hinzuzuaddieren, so dass sich insgesamt 218 mm ergeben. Das 2-Rohrsystem würde damit 59 mm breiter bauen.

Vorschlag mit 2-Rohrsystem		aufwärts VL	abwärts RL	Keller VL	Keller RL	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	28	28	42	42	
Dicke der Wärmedämmung	mm	55	55	39	39	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	138	138	120	120	277
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,138	0,138	0,209	0,209	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,158	0,158	0,241	0,241	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	69,89	46,99	69,96	46,95	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**7,1**	**3,5**	**13,2**	**7,7**	**6,3**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.534	752	662	385	3.333
		46%	23%	20%	12%	100%

Selbst bei hocheffizienten Wohnungsstationen, die auf eine Vorlauftemperatur von $\theta_{VL,max} = 50$ °C ausgelegt sind, genügt eine EnEV-gerechte Wärmedämmung nicht, um die +1-Kelvin-Regel zu erfüllen. Der Wärmeverlust allein der hier größeren Rohrleitungen in die beheizbaren Räume beträgt $\dot{Q}_{i,rl,w}$ =2,47 kW. Der gesamte Wärmeverlust liegt bei $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w} = 3{,}26$ kW.

2-Rohrsystem mit abgesenktem Temperaturniveau		aufwärts VL	abwärts RL	Keller VL	Keller RL	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	35	35	54	54	
Dicke der Wärmedämmung	mm	32	32	51	51	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	99	99	156	156	198
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,035	0,035	0,035	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,211	0,211	0,207	0,207	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1,15	1,15	1,15	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,243	0,243	0,238	0,238	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	49,95	46,99	49,98	46,96	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**6,1**	**5,3**	**8,3**	**7,6**	**6,1**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	1.311	1.155	417	381	3.264
		40%	35%	13%	12%	100%

Zu berücksichtigen ist jedoch zusätzlich auch der Wärmeverlust der Wohnungsstationen selbst, die oft völlig ohne oder nur mit einer Wärmedämmung der Wärmeübertrager ausgeliefert werden.

Ein herkömmliches 2-Leitersystem erfüllt somit die +1-Kelvin-Regel noch nicht. Hier bedarf es Verbesserungen an der Wärmedämmung der Rohrleitungen und der Wohnungsstationen selbst.

5. 2+1-Leitersystem – Zirkulationssatellit

Beim Zirkulationssatelliten werden die Warmwasser- und die Heizungsvorlaufleitung unter einer gemeinsamen Wärmedämmung geführt und befinden sich im thermischen Kontakt [www.thermointegral.de]. Das Warmwasser selbst wird nicht zirkuliert. In der Heizsaison zirkuliert das Heizungswasser mit Warmwassertemperatur und erhält die Warmwassertemperatur im parallelen Rohr automatisch in den zulässigen Grenzen. Außerhalb der Heizsaison kann mit dem System eine gezielte Badtemperierung oder Handtuchtrocknung erfolgen. Ist dies nicht der Fall, erfolgt eine Zirkulation des Heizungswassers.

Berechnet wird ein Zirkulationssatellit in Anlehnung an die VDI 2067 Blatt 22 über den äquivalenten Durchmesser aus Warmwasser- und Heizungsvorlaufleitung:

$$d_{äq} = (d_{WW}^2 + d_{HZVL}^2)^{1/2}.$$

Die gemeinsame Dämmung der Warmwasser- und Heizungsvorlaufleitung im Steigstrang hat einen Außendurchmesser von 118 mm und eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0{,}029$ W/(m·K). Die Heizungsrücklaufleitung ist gemäß EnEV mit 20 mm Wärmedämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0{,}035$ W/(m·K) gedämmt. Betrachtet wird der sommerliche „Zirkulationsbetrieb“ des Heizungswassers bei einer Überströmtemperatur von $\theta_{w,Ü,max} = 50$ °C. Da das Warmwasser nicht zirkuliert, ist eine Hygieneschaltung nicht erforderlich. Vielmehr ist eine Absenkung der Warmwassertemperaturen bis auf $\theta_w = 50$ °C möglich (nach DIN CEN/TR 16355).

2+1-Rohrsystem - ZiSat		aufwärts WW/VL	abwärts RL	Keller WW/VL	Keller RL	gesamt
Warmwasserrohr - Außendurchmesser	mm	äquiv. 25,1	12	äquiv. 39,6	28	
Dicke der Wärmedämmung	mm	46,5	20	43,1	30	
Außendurchmesser der Wärmedämmung	mm	118	52	126	88	170
Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung	W/(mK)	0,029	0,035	0,029	0,035	
Wärmedurchgangskoeffizient an der Außenseite	W/(m²K)	8	8	8	8	
längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,118	0,150	0,158	0,192	
Zuschlag für Zusatzaufwand durch Rohraufhängungen	-	1	1,15	1	1,15	
korr. längenbezogener Gesamtwärmeübergangskoeffizient	W/(mK)	0,118	0,172	0,158	0,221	
mittlere Warmwassertemperatur	°C	59,95	49,83	59,99	48,58	
mittlere Lufttemperatur - Schacht	°C	25	25	15	15	
mittlerer spezifischer Wärmestrom	**W/m**	**4,1**	**4,3**	**7,1**	**7,4**	**4,8**
mittlere Länge Rohrleitungen	m	216	216	50	50	532
mittlerer Wärmestrom	W	888	925	355	371	2.538
		35%	36%	14%	15%	100%

Der Wärmeverlust in den Steigschächten reduziert sich auf $\dot{Q}_{i,rl,w} = 1{,}81$ kW, der Wärmeverlust insgesamt auf $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w} = 2{,}54$ kW. Damit reduziert sich die sommerliche Aufheizung der beheizbaren Räume auf $\Delta\theta_{i,rl,w} \approx 0{,}79$ Kelvin. Die beheizbaren Räume nehmen damit etwa dieselbe Temperatur wie in den Schächten angenommen an:

$$\Delta\theta_{i,rl,w} = 1{,}81 \text{ kW} * (20 \text{ °C} - -15 \text{ °C}) / 80 \text{ kW} \approx 0{,}79 \text{ K}.$$

Bei einer Überströmtemperatur von $\theta_{w,Ü,max} = 55$ °C wären es entsprechend $\dot{Q}_{i,rl,w} = 1{,}98$ kW, $\dot{Q}_{i,\Sigma l,w} = 2{,}76$ kW und $\Delta\theta_{i,rl,w} \approx 0{,}9$ K.

Die 2+1 Leitungen nehmen im Steigschacht eine Breite von 170 mm ein. Davon sind 52 mm dem Heizungsvorlauf zuzurechnen, und 52 mm dem Heizungsrücklauf. Damit nimmt die Warmwasserleitung, Nullabstand vorausgesetzt, eine Breite von 66 mm ein. Gegenüber den 114 mm einer EnEV-gerechten Dämmung baut ein Zirkulationssatellit somit um 48 mm schmaler.

Fazit

Im derzeitigen Entwurf des GEG ist eine pauschale Vorgabe für den spezifischen Wärmeverlust von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen vorgesehen. Diese Vorgabe führt insbesondere bei kleineren Rohrdimensionen bereits zu einem um $\Delta\dot{Q}_{i,\Sigma l,w} = 25\,\%$ höheren Wärmeverlust, als bei Verwendung der in der derzeitigen EnEV vorgegebenen Dämmschichtdicken.

Beide Vorgaben berücksichtigen jedoch das Problem des sommerlichen Wärmeschutzes in hochgedämmten Niedrigstenergiegebäuden nicht. Durch den unkontrollierten Wärmeeintrag aus dem Zirkulationskreislauf besteht die Gefahr der Aufheizung der beheizbaren Räume um etwa $\Delta\theta_{i,rl,w} =$ 1,5 Kelvin. D.h. die gerade noch zulässige Innenraumtemperatur von $\theta_{i,c,max} = 26\,°C$ wird bereits bei einer mittleren Außenlufttemperatur von $\theta_{e,c,max} = 24{,}5\,°C$ erreicht. Ein hoher Wärmeverlust der Warmwasserleitungen führt auch zu einer unkontrollierten Aufheizung der benachbart verlegten Kaltwasserleitungen, was die Legionellenbildung auch in diesem System begünstigt.

Es wird deshalb vorgeschlagen, den Wärmeverlust aus allen ganzjährig warmgehenden Rohrleitungen eines Gebäudes zusammen soweit zu begrenzen, dass dieser zu einer maximalen Aufheizung aller beheizbaren Räume um $\Delta\theta_{i,rl,w,max} = 1\,K$ führt. Dabei sind jeweils die ungünstigsten Betriebszustände zu berücksichtigen, wie etwa eine thermische Desinfektion im Warmwasserzirkulationssystem und ein kontinuierlicher Betrieb der Zirkulationspumpe.

Erfüllt werden kann diese Anforderung derzeit mit folgenden marktgängigen Systemen:

- verstärkten Dämmschichtdicken
- Wärmedämmung mit vermindertem Wärmeleitwert
- Inrohrzirkulation
- Zirkulationssatelliten.

Für das angeführte Beispiel eines Mehrfamilienhauses ergeben sich damit folgende Parameter:

System der Rohrdämmung	Breite bei Nullabst.	Tempe-raturen	Wärmeverlust Steigstränge	Wärmeverlust insgesamt	Q / Q_{EnEV}	mittl. spez. Wärmestrom
Praxis	114 mm	62/58 °C	4,30 kW	5,60 kW	144 %	10,5 W/m
GEG-Wärmeverlust	**96 mm**	**65/55 °C**	**3,76 kW**	**4,87 kW**	**125 %**	**9,2 W/m**
EnEV-Dämmung	114 mm	65/55 °C	2,99 kW	3,89 kW	100 %	7,3 W/m
verstärkte Dämmung	189 mm	65/55 °C	2,29 kW	2,93 kW	75 %	5,5 W/m
verring. Leitfähigkeit	114 mm	65/55 °C	2,29 kW	2,96 kW	76 %	5,6 W/m
Inrohrzirkulation	88 mm	65/60 °C	1,82 kW	2,89 kW	74 %	9,2 W/m
Zirkulationssatellit	66 mm	60/48 °C	1,81 kW	2,54 kW	65 %	4,8 W/m

Besonders praxistauglich erscheint der Zirkulationssatellit, der zugleich am einfachsten und schmalsten baut und den geringsten Wärmeverlust insgesamt ermöglicht. So baut er gegenüber einer EnEV-gerechten Wärmedämmung um 48 mm schmaler und spart 1/3 Energie. Dabei noch unberücksichtigt ist der verminderte Wärmeverlust des Heizungsvorlaufs durch die wesentlich bessere und dickere Wärmedämmung. Hinzu kommt der besonders positive Effekt der um $\Delta\theta_{RL} =$ -7 K ÷ -12 K niedrigeren Rücklauftemperaturen am Wärmeerzeuger, die in der Heizsaison durch die serielle Auskühlung des Heizungsvorlaufs in den Raumheizkörpern noch wesentlich tiefer sinken. Und nicht zuletzt gibt es hygienische Vorteile durch die fehlende Kettenkontamination, wie sie bei Zirkulationssystemen, insbesondere bei Systemen mit Warmwasserspeichern vorkommt.