



**INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH**

Annastraße 15
64285 Darmstadt

Telefon:
(0049) 06151/2904-0

Telefax:
(0049) 06151/2904-97

eMail:
info@iwu.de

Internet:
<http://www.iwu.de>

Energetische Kenngrößen für Heizungsanlagen im Bestand

**Eine Untersuchung
im Auftrag des
Ingenieurbüros für energieeffiziente
Gebäudetechnik VENTECS, Bremen**

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH
Darmstadt, den 1. November 2002

Autoren: Nikolaus Diefenbach
 Tobias Loga
 Rolf Born
 Marc Großklos
 Carsten Herbert

Darmstadt, den 1. November 2002

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH

Annastraße 15

64285 Darmstadt

Fon: 06151/2904-0 / Fax: -97

Internet: www.iwu.de

Inhalt

Seite

0	Zielsetzung.....	1
1	Allgemeine Randbedingungen / Annahmen.....	1
1.1	Klimatische Randbedingungen: Heizzeit, Außen- und Innentemperaturen.....	1
1.2	Systemtemperaturen	1
1.2.1	Raumheizung.....	1
1.2.2	Trinkwarmwasser	2
2	Wärmeerzeuger.....	4
2.1	Heizkessel	4
2.1.1	Zusammenfassung Heizkessel im Bestand.....	4
2.1.2	Dokumentation.....	6
2.2	Elektrische Wärmepumpen	11
2.2.1	Zusammenfassung Elektrowärmepumpen im Bestand	11
2.2.2	Dokumentation.....	11
2.3	Sonstige Wärmeerzeuger.....	14
2.3.1	Zusammenfassung sonstige Wärmeerzeuger im Bestand.....	14
2.3.2	Dokumentation.....	15
3	TWW-Speicher.....	16
3.1	Zusammenfassung TWW-Speicher im Bestand	16
3.2	Dokumentation.....	17
3.3	Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung.....	20
3.3.1	Zusammenfassung Solaranlagen im Bestand.....	20
3.3.2	Dokumentation.....	20
4	Wärmeverteilung	21
4.1	Zusammenfassung Wärmeverteilung im Bestand.....	21
4.2	Jährliche Wärmeverluste.....	22
4.2.1	Heizwärmeverteilung.....	22
4.2.2	Verteilung Trinkwarmwasser	23
4.2.3	Heizwärme-Gutschrift.....	25
4.3	Wärmeverlustkoeffizienten von Rohrleitungen	26
4.3.1	Ungedämmte Rohrleitungen, freiliegend.....	26
4.3.2	Ungedämmte Leitungen, unter Putz verlegt.....	27
	Gedämmte Rohrleitungen	28
4.3.3	Dämmstandard und Verlegeart nach Baualtersklassen	30
4.4	Längen von Rohrleitungen.....	31
4.4.1	Geometrische Grunddaten für die Abschätzung von Leitungslängen	31
4.4.2	Heizwärmeverteilung.....	32
4.4.3	Verteilung Trinkwarmwasser	39
4.5	Überblick über die Leitungslängen und Vergleich mit den Werten aus DIN V 4701-10	42

5	Elektro-Hilfsgeräte	44
5.1	Zusammenfassung Elektro-Hilfsgeräte im Bestand	44
5.2	Kessel	45
5.2.1	Ölkessel	45
5.2.2	Gaskessel	48
5.3	Wandhängende Wärmeerzeuger mit integrierten Pumpen	50
5.4	Umwälzpumpen	50
5.4.1	Umwälzpumpen Heizkreis	50
5.4.2	Umwälzpumpen Speicherladekreis	56
5.4.3	Umwälzpumpen Trinkwarmwasser-Zirkulation	56
5.4.4	Umwälzpumpen Solarkreis	57
5.5	Stromverbrauch von Regelungen	57
6	Vereinfachte Ansätze für die Eingangsgrößen	58
Anhang A	Literatur	60
Anhang B	Berechnung der Wärmeverluste durch in der Außenwand eingeputzte Heizleitung	62
Anhang C	Kesselmodell	71

0 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Erstellung eines Katalogs mit energetischen Kenngrößen für typische Heizungskomponenten im deutschen Gebäudebestand. Die Ergebnisse sollen in die Datenbank der geplanten Energiepass-Software der Energiepass-Initiative Deutschland aufgenommen werden.

1 Allgemeine Randbedingungen / Annahmen

1.1 Klimatische Randbedingungen: Heizzeit, Außen- und Innentemperaturen

Bei Energiebilanzberechnungen im Bestand muss die Heizgrenze und damit auch die Länge der Heizperiode grundsätzlich variabel sein, da sich die Heizgrenztemperatur beim Berechnen von Modernisierungsmaßnahmen verringert. Die Bestimmung der jeweiligen Heizgrenze für ein Gebäude erfolgt auf der Basis der DIN V 4108-6. Ansätze für die vereinfachte Bestimmung der Heizgrenze für Bestandsgebäude finden sich in [Loga 2002].

1.2 Systemtemperaturen

1.2.1 Raumheizung

Die mittlere Temperatur der Heizwärmeverteilung wird gemäß DIN V 4701-10 Abschnitt 5 bestimmt:

$$\bar{\vartheta}_{HK} = \frac{1}{2} \cdot (\bar{\vartheta}_{VL} + \bar{\vartheta}_{RL}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1-1)$$

mit der mittleren Vorlauftemperatur:

$$\bar{\vartheta}_{VL} = \vartheta_{VL,\min} + \phi_{HP}^{\frac{1}{n}} \cdot (\vartheta_{VL,\max} - \vartheta_{VL,\min}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1-2)$$

der mittleren Rücklauftemperatur:

$$\bar{\vartheta}_{RL} = \vartheta_{RL,\min} + \phi_{HP}^{\frac{1}{n}} \cdot (\vartheta_{RL,\max} - \vartheta_{RL,\min}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (1-3)$$

Die mittlere Heizkreisbelastung ϕ_{HP} ist das Verhältnis aus mittlerer Gebäudeheizlast in der Heizperiode $\bar{\dot{Q}}_{GB}$ und maximaler Wärmeabgabe des Heizkreises bei Auslegungstemperatur $\dot{Q}_{\max, HK}$:

$$\phi_{HP} = \frac{\bar{\dot{Q}}_{GB}}{\dot{Q}_{\max, HK}} = \frac{\bar{\dot{Q}}_{GB}}{f_{\ddot{u}, HK} \dot{Q}_{GB}} \approx \frac{1}{f_{\ddot{u}, HK}} \frac{(\vartheta_{i, Norm} - \bar{\vartheta}_u)}{(\vartheta_{i, Norm} - \vartheta_{u, \min})} \quad [-] \quad (1-4)$$

mit:	$\bar{\dot{Q}}_{GB}$	mittlere Gebäudeheizlast in der Heizperiode	[W]
	\dot{Q}_{GB}	maximale Gebäudeheizlast für Randbedingungen gemäß Auslegung	[W]
	$\dot{Q}_{\max, HK}$	maximale Wärmeabgabeleistung des Heizkreises für Randbedingungen gemäß Auslegung	[W]
	$\vartheta_{VL, \max} / \vartheta_{RL, \max}$	Maximalwert der Vorlauf-/Rücklauftemperatur (=Auslegungsfall); Standardwert = 70°C/55°C	[°C]
	$\vartheta_{VL, \min} / \vartheta_{RL, \min}$	Minimalwert der Vorlauf-/Rücklauftemperatur; Standardwert = 20°C/20°C	[°C]

$\vartheta_{i,Norm}$	Norm-Innentemperatur = für die Heizkreisauslegung zu Grunde gelegte Raumtemperatur; Standardwert = 20°C	[°C]
$\vartheta_{u,min}$	minimale Außentemperatur in der Heizzeit = Auslegungstemperatur; Standardwert = -12°C	[°C]
$\bar{\vartheta}_u$	mittlere Außentemperatur in der Heizzeit	[°C]
$f_{\ddot{u},HK}$	Faktor für Überdimensionierung des Heizkreises “Standardwert Bestand“ $f_{\ddot{u},HK} = 1,2$	$f_{\ddot{u},HK} = \frac{\dot{Q}_{max,HK}}{\dot{Q}_{GB}}$ [-]
n	Heizkörper-Exponent; Standardwert = 1,3	[-]

Zusätzlich zu den Gleichungen der DIN V 4701-10 wird hier ein Überdimensionierungsfaktor $f_{\ddot{u},HK}$ für den Heizkreis eingeführt. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass Heizflächen in der Vergangenheit stärker überdimensioniert wurden bzw. dass gegenüber dem Auslegungsfall in der Regel bereits eine Verbesserung der Bausubstanz vorliegt (z.B. zweifach- statt einfachverglaste Fenster). Als Standardwert für Anlagen in bestehenden (nicht umfassend modernisierten) Gebäuden wird $f_{\ddot{u},HK} = 1,2$ gesetzt.

Da die Abhängigkeit des zeitlichen Mittels der Heizkreistemperatur von der Länge der Heizzeit nur gering ist, kann diese vernachlässigt werden. Als Standardwert wird die zur Heizgrenztemperatur 12°C gehörige Gradtagszahl verwendet.

Bei Ansatz von Modernisierungsmaßnahmen für die thermische Hülle unter Beibehaltung der Heizflächen sollte der Effekt einer Absenkung der Heizkreistemperaturen rechnerisch berücksichtigt werden. Ausgehend von $f_{\ddot{u},HK} = 1,2$ ergibt sich beispielsweise bei Verringerung der Heizlast um 50% $f_{\ddot{u},HK} = 2,4$, was sich in einer Verringerung der Wärmeverluste der Verteilleitungen um ca. ein Drittel bemerkbar macht.

Ist der Heizkreis hydraulisch nicht abgeglichen, kommt es zu Kurzschlussströmungen und in der Folge zu einer Anhebung der Rücklauftemperatur. Darüber hinaus ist oftmals die Heizkurve so eingestellt, dass auch in der Übergangszeit noch ausreichend Heizleistung zur Verfügung steht (z.B. für das Aufheizen des Gebäudes nach einer Nachtabenkung). Für einen solchen „typischen Betrieb“ werden folgende Werte für die maximale Rücklauftemperatur (Auslegungsfall) und die minimale Vor- und Rücklauftemperatur (an der Heizgrenze) eingeführt:

$$\vartheta_{RL,max} \text{ (typischer Betrieb)} = \frac{1}{2} (\vartheta_{VL,max} + \vartheta_{RL,max} \text{ (optimierter Betrieb)}) \quad (1-5)$$

$$\vartheta_{VL,min} \text{ (typischer Betrieb)} = \vartheta_{RL,min} \text{ (typischer Betrieb)} = 20 + 0,3(\vartheta_{VL,max} - 20) = 14 + 0,3\vartheta_{VL,max} \quad (1-6)$$

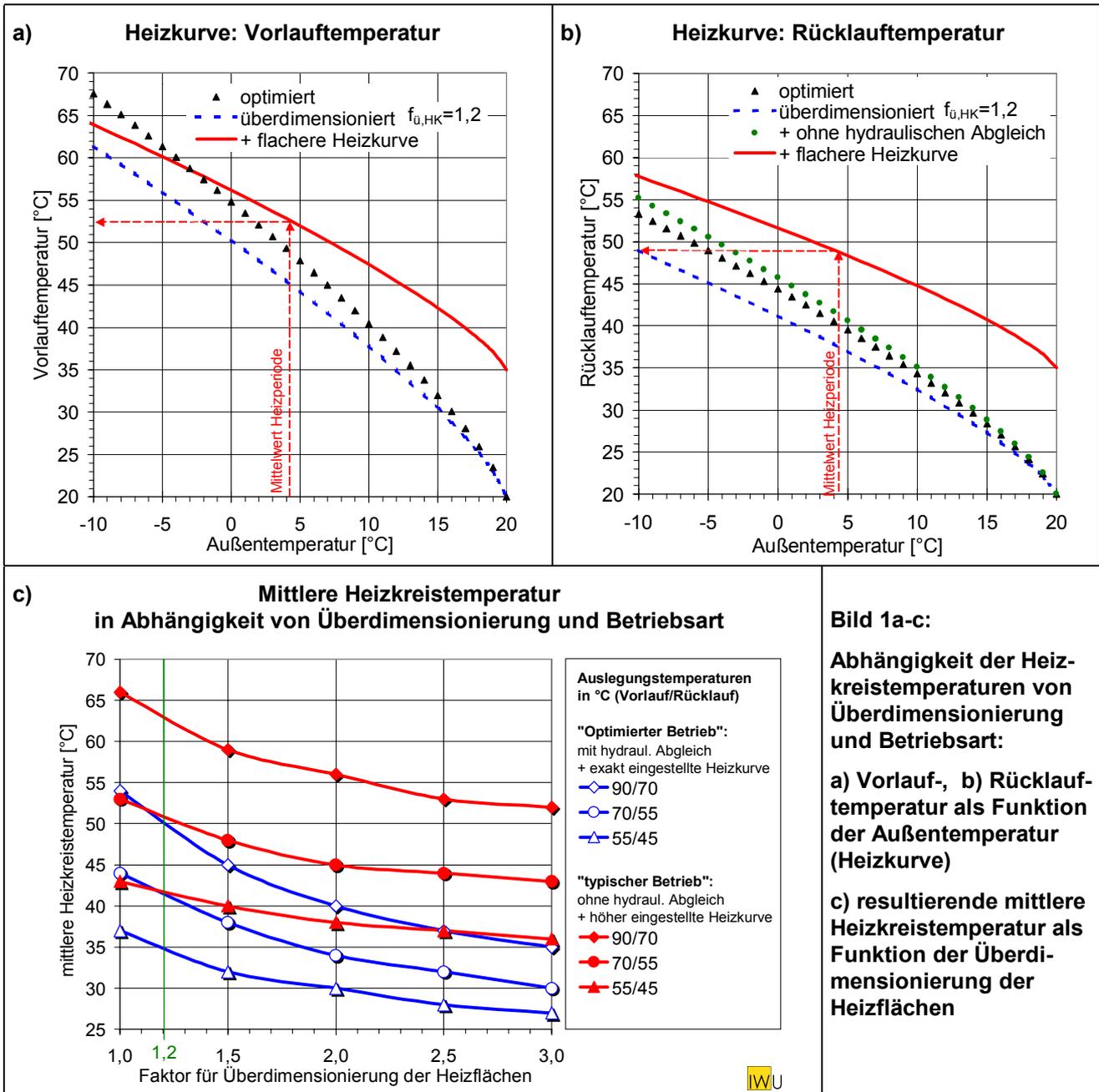
Die Abhängigkeit der Heizkreistemperaturen von der Überdimensionierung der Heizflächen und von der Betriebsweise geben die Diagramme in Bild 1 wieder: Bild 1 a) und b) zeigt die Vor- und Rücklauftemperatur als Funktion der Außentemperatur („Heizkurven“), Bild 1 c) die resultierende mittlere Heizkreistemperatur als Funktion der Überdimensionierung. Die Werte für die mittleren Heizkreistemperaturen zeigt Tab. 2.

Gibt es über die konkreten Auslegungstemperaturen und die Betriebsweise für ein Gebäude keine Angaben, so kann **vereinfachend** mit der **Temperaturpaarung 70°C/55°C** bei einem „**typischen Betrieb**“ gerechnet werden. Bei Ansatz des Standardwertes für die Überdimensionierung $f_{\ddot{u},HK} = 1,2$ ergibt sich **eine mittlere Heizkreistemperatur von $\vartheta_{HK} = 50°C$** .

1.2.2 Trinkwarmwasser

Die mittlere Temperatur des Trinkwarmwassernetzes wird entsprechend DIN V 4701-10 Tab. 5-2 angesetzt:

Leitungen mit Zirkulation: $\bar{\vartheta}_{TW} = 50°C$ / Leitungen ohne Zirkulation: $\bar{\vartheta}_{TW} = 32°C$



	optimierter Betrieb ¹⁾ (optimale Heizkurve / mit hydraul. Abgleich)			typischer Betrieb (flachere Heizkurve / ohne hydraul. Abgleich)		
	90/70	70/55	55/45	90/70	70/55	55/45
Auslegungstemperatur Netz (Vorlauf / Rücklauf in °C)	90/70	70/55	55/45	90/70	70/55	55/45
minimale Vor-/Rücklauf-temperatur	20 °C	20 °C	20 °C	41 °C	35 °C	31 °C
Faktor für Überdimensionierung	Mittlere Heizkreistemperaturen in °C					
1,0	54	44	37	66	53	43
1,2	50	41	35	63	50	41
1,5	45	38	32	59	48	40
2,0	40	34	30	56	45	38
3,0	37	32	28	53	44	37

Tab. 1:
Mittlere Heizkreistemperaturen

Berechnung nach DIN V 4701-10

¹⁾ optimierter Betrieb: Randbedingungen entsprechen Ansatz DIN V 4701-10

2 Wärmeerzeuger

2.1 Heizkessel

2.1.1 Zusammenfassung Heizkessel im Bestand

Die folgenden Angaben beziehen sich auf das in Anhang A angegebene Kesselmodell. Um den Bezug zum Modell der DIN V 4701-10 zu ermöglichen werden weiter unten in Tab. 3 ergänzende Angaben gemacht.

	70er Jahre		80er Jahre		90er Jahre	
	$\eta_{k,70,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{k,70,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{k,70,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$
<i>Standardwärmeerzeuger ohne gleitende Temperaturregelung:</i>						
Festbrennstoffkessel	0,78	0,045	0,82	0,025	0,85	0,025
Umstell-/Wechselbrandkessel (Betrieb mit Festbrennstoff)	0,76	0,05	0,79	0,035	-	-
Umstell-/Wechselbrandkessel (Betrieb mit Öl oder Gas)	0,81	0,05	0,85	0,035	-	-
Öl-Spezialkessel	0,84	0,04	0,88	0,025	-	-
Gas-Spezialkessel	0,85	0,035	0,89	0,025	-	-
<i>Kessel mit gleitender Temperaturregelung:</i>						
Öl-Niedertemperaturkessel/Brennwertkessel	-	-	0,89	0,02	0,92	0,015
Gas-Niedertemperatur-/Brennwertkessel	-	-	0,89	0,02	0,92	0,015

Tab. 2 Tabellierte Werte für den Kesselwirkungsgrad $\eta_{k,70,20kW}$ und den Bereitschaftswärmeverlust $q_{B,70,20 kW}$ bei 70 °C mittlerer Kesseltemperatur und 20 kW Kesselnennleistung (s. Kesselmodell im Anhang)

Für andere Kesselleistungen gelten folgende Bestimmungsgleichungen:

$$\eta_{k,70} = \eta_{k,70,20kW} - 0,0195 + 0,015 \cdot \lg \dot{Q}_n \quad (2-1)$$

$$q_{B,70} = q_{B,70,20kW} \cdot 2,456 \cdot \dot{Q}_n^{-0,3} \quad (2-2)$$

mit: \dot{Q}_n Nenn-Wärmeleistung des Kessels in Kilowatt [kW]
 $\lg(\dots)$ Logarithmus zur Basis 10

Gas-Umlaufwasserheizer neuerer Bauart (90er Jahre) sind wie Niedertemperatur- bzw. Brennwertkessel zu behandeln (Geräte älterer Bauart s. Kap. 2.3).

Kessel-/Speicher-Kombinationen werden als Kessel mit separatem Trinkwarmwasserspeicher behandelt (Angaben zum Speicher s. Kap.3)

Um den Bezug zum Kesselmodell der DIN V 4701-10 herzustellen, sind in der folgenden Tabelle zusätzlich die Nutzungsgrade bei einem Belastungsgrad von 30 % angegeben. Sie wurden mit dem IWU-Modell im Anhang für die jeweils angegebenen mittleren Kesseltemperaturen bestimmt. Die Bereitschaftswärmeverluste sind ebenfalls noch einmal angegeben. Die Angaben beziehen sich auf 20 kW Nennleistung, die Umrechnung auf andere Leistungen kann entsprechend den o.g. Gleichungen für $\eta_{k,70}$ erfolgen (setze: $\eta_{k,30\%}$ statt $\eta_{k,70}$).

	$q_{K,m}$	70er Jahre		80er Jahre		90er Jahre	
		$\eta_{30\%,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{30\%,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{30\%,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$
Standardwärmeerzeuger ohne gleitende Temperaturregelung:							
Festbrennstoffkessel	50 °C	0,73	0,045	0,79	0,025	0,82	0,025
Umstell-/Wechselbrandkessel (Betrieb mit Festbrennstoff)	50 °C	0,70	0,05	0,75	0,035	-	-
Umstell-/Wechselbrandkessel (Betrieb mit Öl oder Gas)	50 °C	0,75	0,05	0,80	0,035	-	-
Öl-Spezialkessel	50 °C	0,79	0,04	0,85	0,025	-	-
Gas-Spezialkessel	50 °C	0,80	0,035	0,86	0,025	-	-
Kessel mit gleitender Temperaturregelung:							
Öl-Niedertemperaturkessel	40 °C	-	-	0,88	0,02	0,92	0,015
Öl-Brennwertkessel	30 °C	-	-	0,94	0,02	0,97	0,015
Gas-Niedertemperaturkessel	40 °C	-	-	0,88	0,02	0,92	0,015
Gas-Brennwertkessel	30 °C	-	-	0,97	0,02	1,01	0,015

Tab. 3: Tabellierte Werte in Anlehnung an DIN V 4701-10. 30%-Teillastwirkungsgrad $\eta_{30\%}$ bei der jeweils angegebenen mittleren Kesseltemperatur $\theta_{K,m}$ und Bereitschaftswärmeverlust $q_{B,70}$ bei 70 °C Kesseltemperatur (alle Angaben bezogen auf 20 kW Kesselnennleistung)

Die **Nennwärmeleistung** eines Kessels, der der **Raumheizung** dient, kann aus der Gebäudeheizlast und einem Überdimensionierungsfaktor bestimmt werden.

$$\dot{q}_n = f_{ü,K} \cdot \dot{q}_{GB} \quad (\text{Heizung}) \quad [\text{kW/m}^2] \quad (2-3)$$

- mit:
- \dot{q}_{GB} Gebäudeheizlast bezogen auf die Wohnfläche bzw. Nutzfläche hier: zum Zeitpunkt der Installation des Kessels [kW/m²]
 - $f_{ü,K}$ Faktor für Überdimensionierung des Kessels "Standardwert Bestand" = 1,2 [-]
 - \dot{q}_n Nennwärmeleistung Kessel bezogen auf die Wohnfläche bzw. Nutzfläche [kW/m²]

Bei der Umsetzung dieser Beziehungen in Algorithmen (z.B. Computerprogrammen) ist zu beachten, dass bei Änderung des Heizwärmebedarfs des Gebäudes, z.B. durch Dämmmaßnahmen, die Kesselleistung nicht automatisch angepasst werden darf. Für die Auslegung des Kessels ist der Heizwärmebedarf zum Installationszeitpunkt des Kessels maßgeblich. Die Ermittlung des Belastungsgrads des Kessels (s. Kesselmodell) erfolgt dagegen auf Basis des aktuellen Heizwärmebedarfs.

Die **Nennwärmeleistung** von Heizkesseln zur **Warmwasserbereitung** ergibt sich nach folgender Gleichungen in Abhängigkeit von der Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude:

70er Jahre: $\dot{Q}_n = -0,0017 \cdot n_{WE}^2 + 1,7 \cdot n_{WE} + 8,0$ [kW] (2-4)

80er/90er Jahre: $\dot{Q}_n = -0,0014 \cdot n_{WE}^2 + 1,4 \cdot n_{WE} + 7,0$ [kW] (2-5)

- mit:
- \dot{Q}_n Nennwärmeleistung Kessel [kW]
 - n_{WE} Anzahl der Wohneinheiten im Gebäude [-]

Gemäß der Ansätze von Kap.6 (80 m² Wohnfläche pro Wohneinheit, „Gebäudenutzfläche“ $A_N=1,25$ Wohnfläche) und unter der Voraussetzung eines spezifischen Trinkwarmwasser-Wärmebedarfs von $q_{TW}=12,5$ kWh pro m² A_N und Jahr bei Wohngebäuden lässt sich diese Beziehung auch in Abhängigkeit des absoluten Trinkwarmwasser-Wärmebedarfs Q_{TW} (in kWh/a) darstellen:

$$\text{70er Jahre: } \dot{Q}_n = -1,088 \cdot 10^{-9} \cdot Q_{TW}^2 + 1,36 \cdot 10^{-2} \cdot Q_{TW} + 8,0 \quad [\text{kW}] \quad (2-6)$$

$$\text{80er/90er Jahre: } \dot{Q}_n = -8,96 \cdot 10^{-10} \cdot Q_{TW}^2 + 1,12 \cdot 10^{-2} \cdot Q_{TW} + 7,0 \quad [\text{kW}] \quad (2-7)$$

In dieser Form kann die Gleichung auch zur Abschätzung der Kesselleistung bei Nicht-Wohngebäuden angewendet werden.

Bei Kesseln, die **sowohl zur Heizung als auch zur Warmwasserbereitung** dienen, ist das Maximum der für die Heizung und für die Warmwasserbereitung ermittelten Nennleistungen maßgeblich.

In jedem Fall ist zu beachten, dass Kesselleistungen unter 15 kW bei Altanlagen fast nicht vorkommen:

$$\text{Minimalwert der Kesselnennleistung: } \dot{Q}_{n,\min} = 15 \text{ kW}$$

2.1.2 Dokumentation

Es wurden folgende Quellen ausgewertet:

- Untersuchungen der Stiftung Warentest: Die Stiftung hat im Laufe der Jahre eine große Zahl von Kesseln geprüft und in ihren Test-Heften dokumentiert. Die in den Diagrammen dieses Kapitels eingezeichneten Punkte geben jeweils ungefähr die Mittelwerte einer Untersuchungsreihe wieder.
Standardkessel: Test 9/81, Sonderheft 1/83
Niedertemperaturkessel: Test 6/81, 7/81, 7/83, 5/84, 7/84, 7/87, 9/87, 1/88, 1/91, 9/91, 8/94, 2/95, 9/96, 7/98
Brennwertkessel: Test 8/84, 8/86, 5/87, 2/91, 9/91, 8/94, 2/95, 6/96, 11/00
- Weitere Untersuchungen mit Messwerten:
HLH: In der Zeitschrift HLH veröffentlichte Untersuchung über Testmessungen an Heizkesseln [Stilger 85a,b]
Öko-Test: Untersuchung in [Ökotest 97]
- Vorhandene Dokumentationen bzw. Ansätze:
EPHW: Energiepass Heizung/Warmwasser des IWU [EPHW 97] (weitgehend aufbauend auf VDI 2067 und VDI 3808)
Ikarus: Studie im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens [Pfitzner(Ikarus)]
- Auslegung von Heizkesseln: [Recknagel 66, Recknagel 88, Recknagel 01]

Die folgenden Abbildungen geben einen Überblick über die Ergebnisse für Gas- und Ölkessel. Dabei sind in der Regel Jahresnutzungsgrade für die Heizwärmeerzeugung eingetragen. Die rote Kurve stellt jeweils den hier gewählten Ansatz dar. Sie ergibt sich durch Einsatz der oben in Tab. 1 genannten Kenngrößen in das Kesselmodell (s. Anhang), wobei für Vorlauftemperaturen und Randbedingungen die Ansätze der DIN 4702-8 verwendet wurden (Auslegungstemperaturpaarung 75/60, soweit nichts anderes gesagt ist). Als Ausgangswerte für die gewählten Anlagenkenndaten ($\eta_{K,70}$ und $q_{B,70}$) wurden größtenteils die Angaben in [EPHW 97] und [Pfitzner(Ikarus)] verwendet. Um die letztlich gewählten Kenndaten zu ermitteln, wurden die Ausgangswerte gegebenenfalls leicht variiert, um plausible Werte für den Jahresnutzungsgrad, wie sie in den Diagrammen eingezeichnet sind, zu erhalten.

Nicht näher bezeichnete Punkte in den Diagrammen stellen Untersuchungsergebnisse der Stiftung Warentest dar. Teilweise lagen keine Jahresnutzungsgrade nach DIN 4702-8, sondern entweder anders bestimmte Jahresnutzungsgrade oder Vollast-Kesselwirkungsgrade vor. Bei der Auftragung wurde die folgende Nomenklatur verwendet:

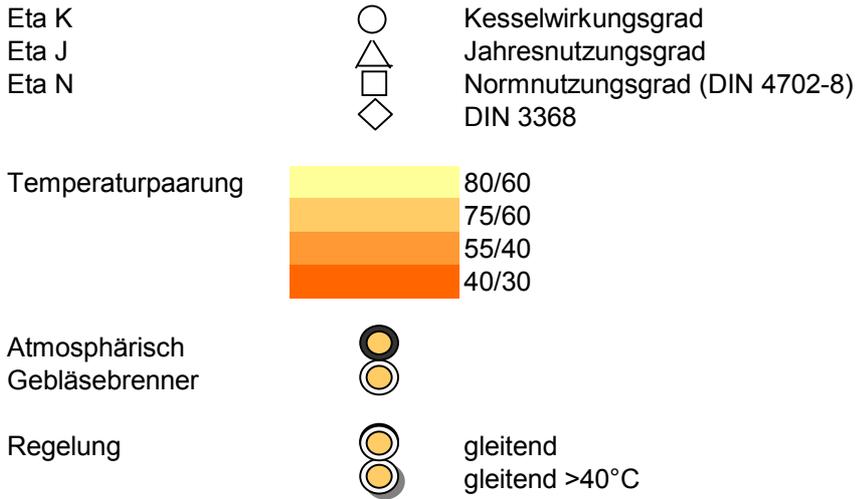


Bild 2: Nomenklatur der Heizkessel-Diagramme

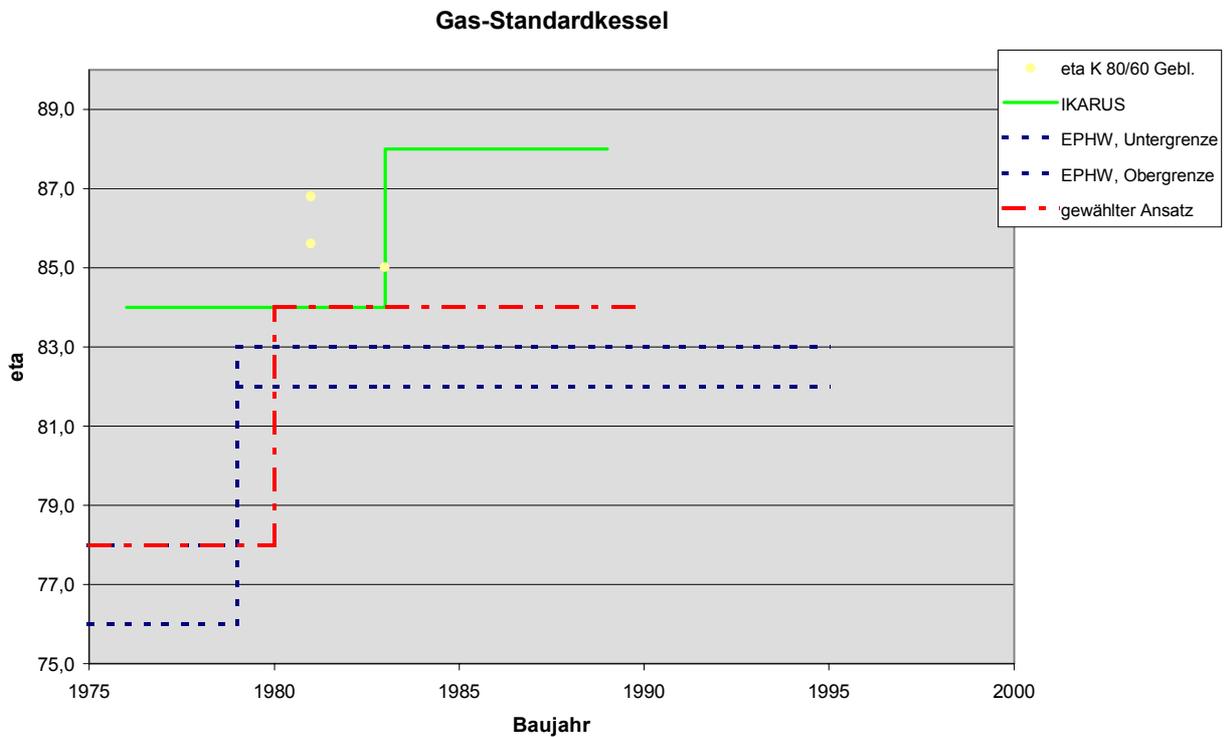


Bild 3: Jahresnutzungsgrade von Gas-Standardkesseln

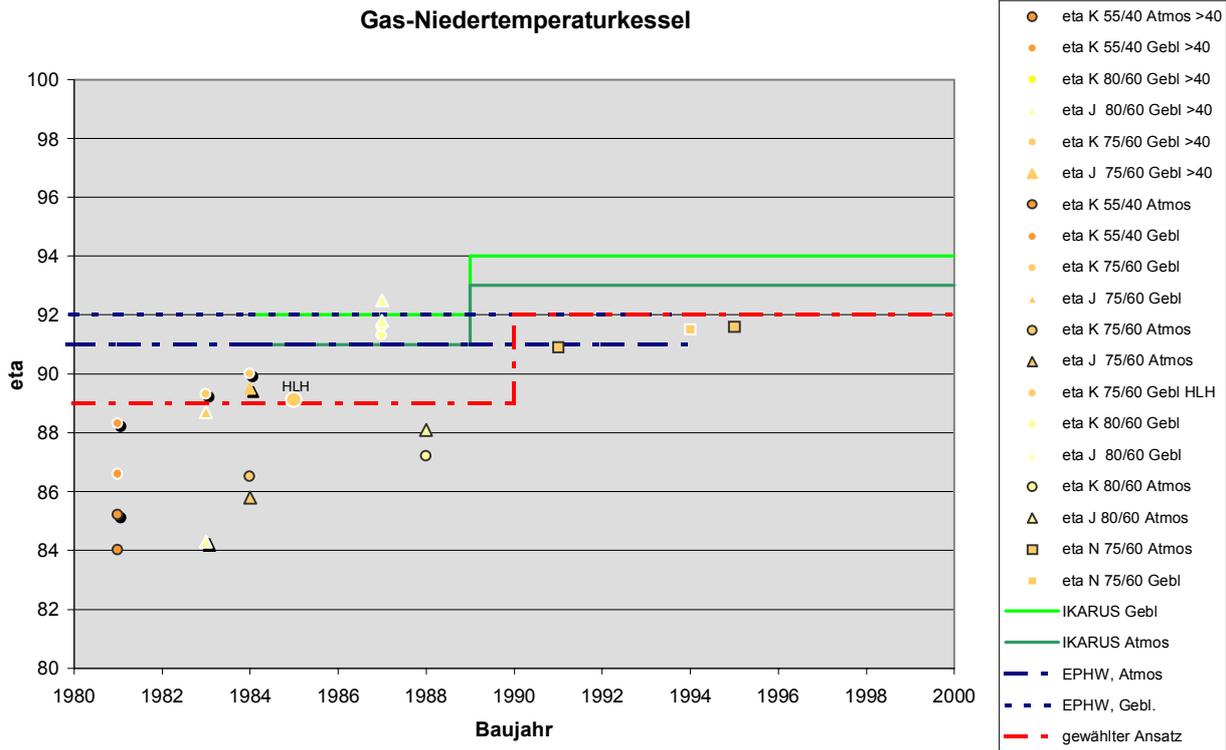


Bild 4: Jahresnutzungsgrade von Gas-Niedertemperaturkesseln

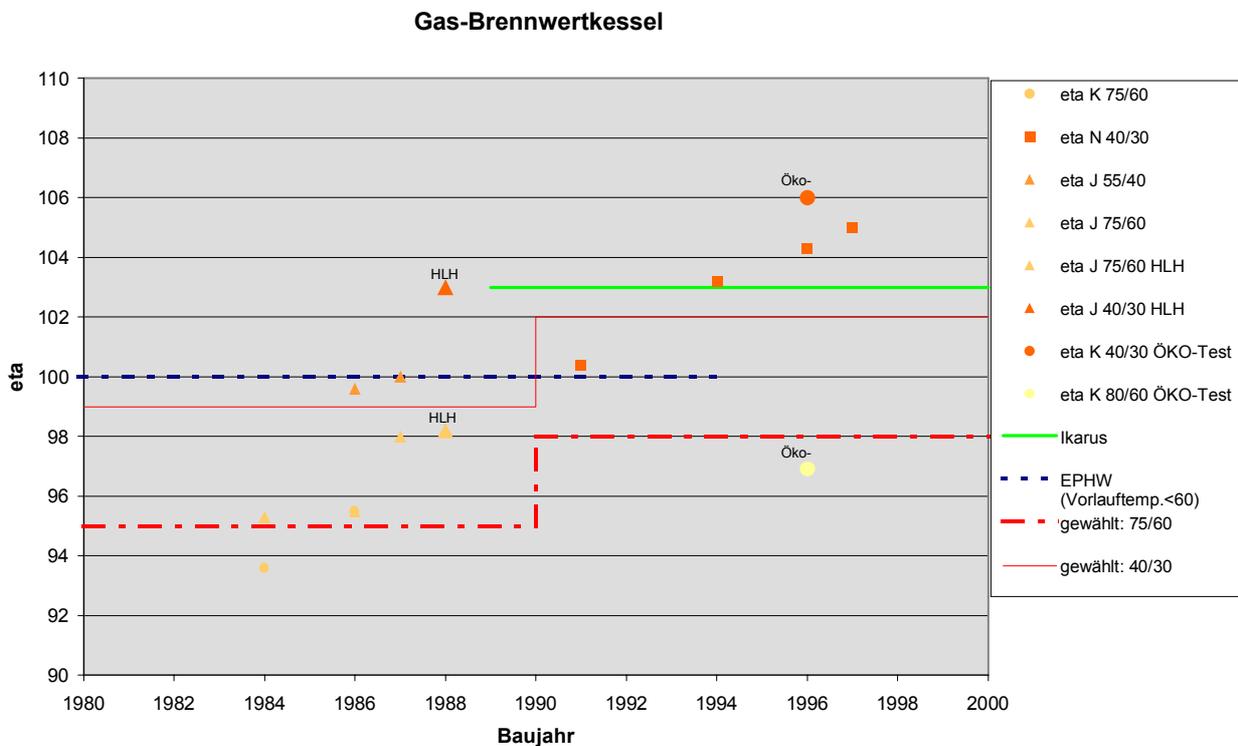


Bild 5: Jahresnutzungsgrade von Gas-Brennwertkesseln

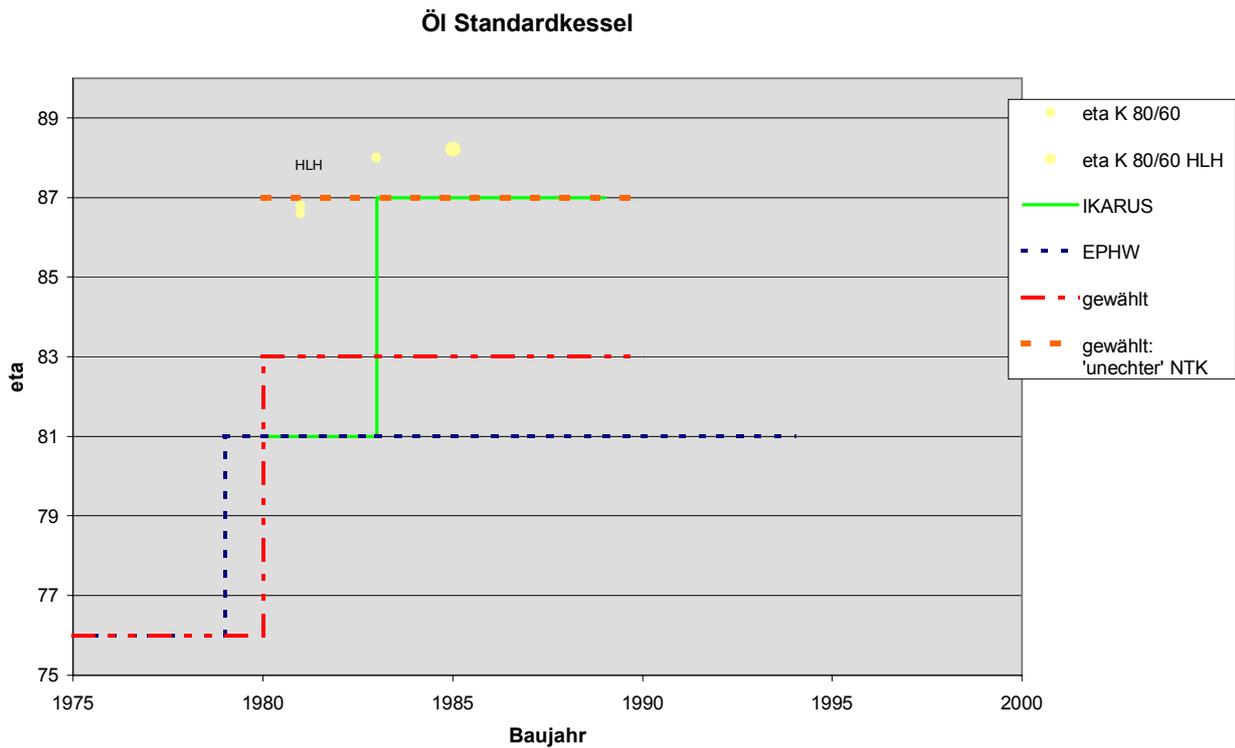


Bild 6: Jahresnutzungsgrade von Öl-Standardkesseln

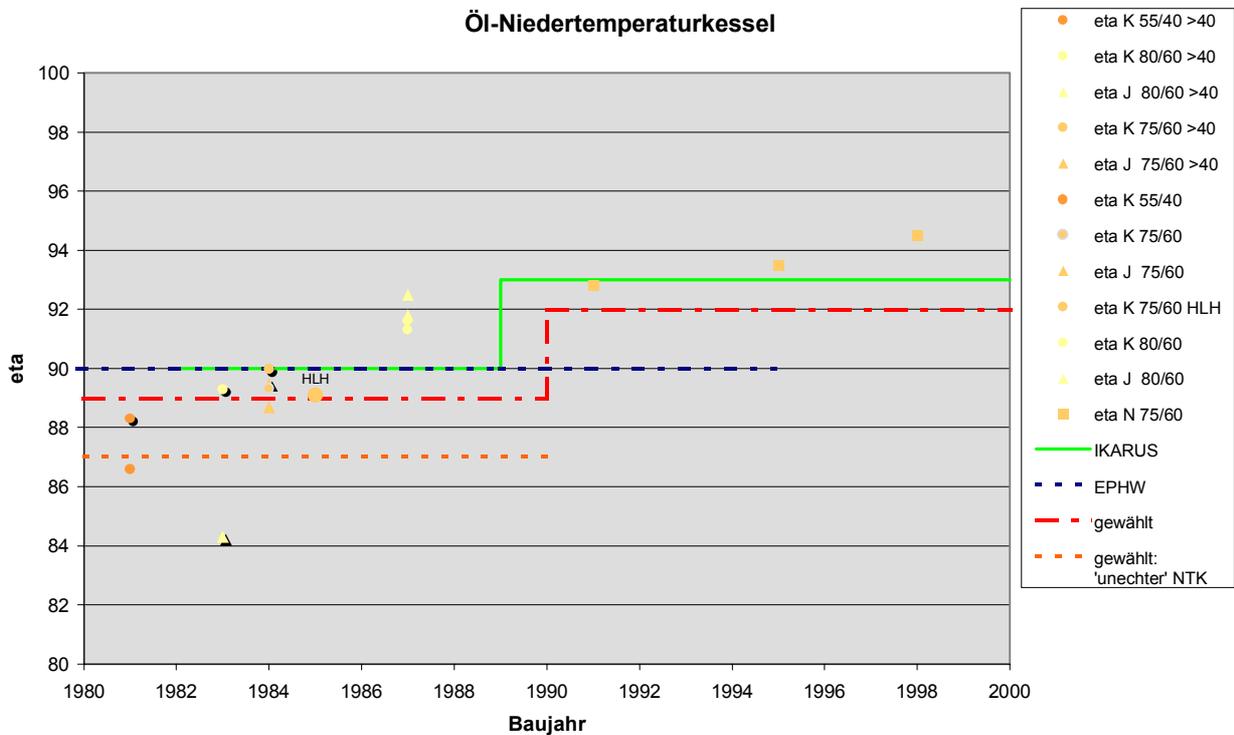


Bild 7: Jahresnutzungsgrade von Öl-Niedertemperaturkesseln

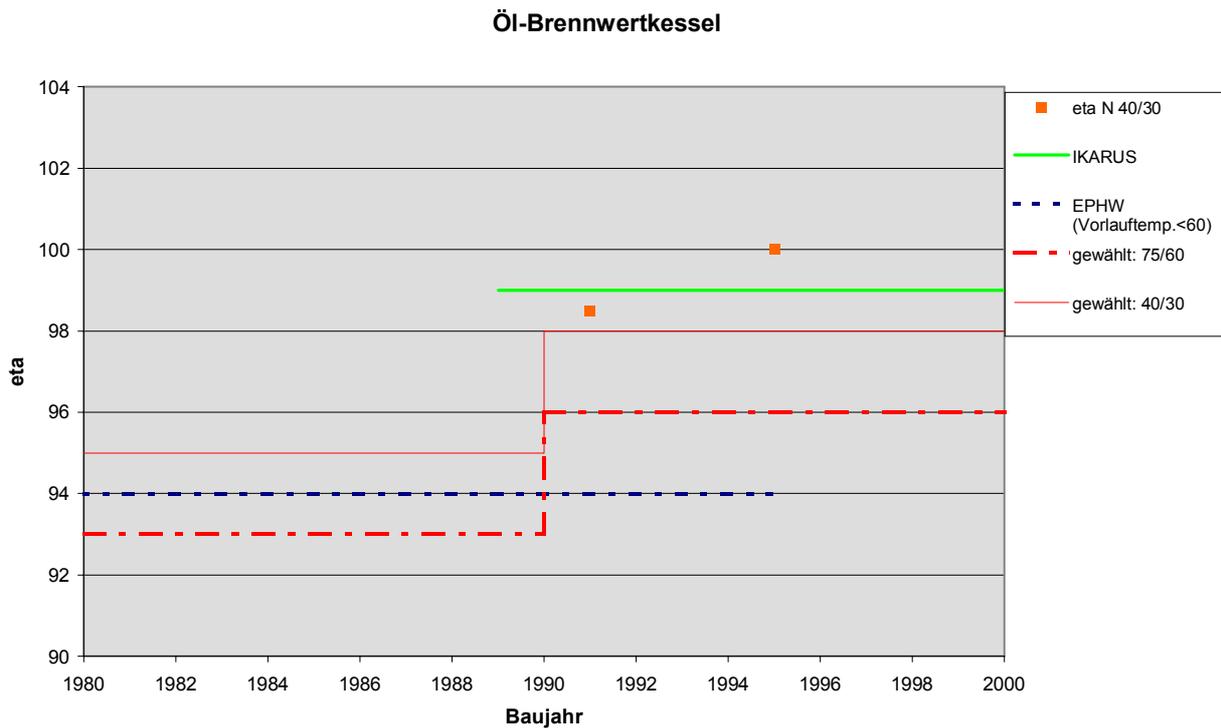


Bild 8: Jahresnutzungsgrade von Öl-Brennwertkesseln

Die in den Diagrammen mit „Standardkesseln“ (d.h. Kesseln ohne gleitende Temperatur) eingetragenen Ergebnisse der Ikarus-Studie liegen für Kessel ab 1983 deutlich oberhalb den anderen Werten. Hier handelt es sich um „unechte“ Niedertemperaturkessel, d.h. Kessel mit gleitender Temperaturregelung, bei denen eine Temperatur von 40 K nicht unterschritten werden darf. Die Ergebnisse zeigen, dass auch diese Werte mit den gewählten Anlagendaten und dem verwendeten Kesselmodell (Werte für Niedertemperaturkessel bei gleichzeitiger Begrenzung der mittleren Kesseltemperatur auf mindestens 50 °C) plausibel abgebildet werden.

Die oben angegebenen Gleichungen für die Abhängigkeit des Kesselwirkungsgrads und der Bereitschaftsverlusten von der Kesselleistung stellen pauschale Abschätzungen dar. Die funktionale Abhängigkeit ist an die Ansätze der DIN V 4701-10 angelehnt.

Für Festbrennstoff und Umstell-/Wechselbrandkessel lagen nur wenige Testreihen vor. Die ermittelten Wirkungsgrade liegen ungefähr im Bereich der angegebenen Werte, die sich im wesentlichen auf [EPHW 97] bzw. [Pfitzner(Ikarus)] stützen.

Im Hinblick auf die Dimensionierung von Kesseln bei der Trinkwarmwasserbereitung wurden für die 80er/90er Jahre die gleichlautenden Angaben in [Recknagel 88, Recknagel 01] verwendet (Gleichzeitigkeitsfaktoren). Dieser Ansatz wurde auch für die Speicherauslegung herangezogen (s.u.). Für die 70er Jahre wurden zu 20 % höhere Dimensionierungswerte abgeschätzt, die vorliegenden Angaben aus den 60er Jahren liegen noch deutlich darüber [Recknagel 66].

2.2 Elektrische Wärmepumpen

2.2.1 Zusammenfassung Elektrowärmepumpen im Bestand

	70er Jahre	80er Jahre	90er Jahre
Heizungswärmepumpen	β_{55} : Jahresarbeitszahl bei ϑ_v 55 °C		
Wärmequelle Außenluft	2	2,3	2,6
Wärmequelle Erdreich	2,5	2,8	3,1
Trinkwarmwasser-Wärmepumpen	β_{TW} : Jahresarbeitszahl		
Kellerluft-Wärmepumpen inkl. Speicher	1,7	2,3	2,6

Tab. 4: Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen

Jahresarbeitszahl bei der Heizwärmeerzeugung (Korrektur bei abweichenden Vorlauftemperaturen) :

$$\beta_h = \beta_{55} (1 - 0,0075/^{\circ}\text{C} (\vartheta_v - 55^{\circ}\text{C})) \quad (2-8)$$

mit ϑ_v Auslegungs-Vorlauftemperatur des Heizsystems [°C]

Jahresarbeitszahl von Heizungswärmepumpen bei der Trinkwarmwassererzeugung:

$$\beta_{TW} = \beta_{55} \quad (2-9)$$

Pufferspeicher für Heizwärme:

Ansatz für Bereitschaftswärmeverluste wie beim indirekt beheizten Trinkwarmwasserspeicher

$$\text{Speichervolumen: } V = 20 \frac{l}{kW} \cdot \dot{Q}_{GB} \quad [\text{Liter}] \quad (2-10)$$

mit: \dot{Q}_{GB} Gebäude-Heizleistung [kW] (s.o.)

2.2.2 Dokumentation

Es wurden folgende Quellen ausgewertet:

- Vorhandene Dokumentationen bzw. Ansätze für Wärmepumpenanlagen:
 EPHW: Energiepass Heizung/Warmwasser des IWU [EPHW 97] (weitgehend aufbauend auf der VDI-Richtlinie 2067-6)
 Ikarus: Studie im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens [Günther-Pomhoff(Ikarus)]
 Studie der RWTH Aachen [Boese 00]
- Auswertungen von Prüfergebnissen des Wärmepumpen-Testzentrums Toess (Schweiz):
 Toess 01: Die in den Jahren 1994-1996 gemessenen und in [Toess 01] Leistungszahlen bei vorgegebenen Betriebspunkten gemessenen Leistungszahlen wurden ausgewertet und mit dem in der DIN 4701-10 verwendeten Modell in Jahresarbeitszahlen umgerechnet (zeitliche Zuordnung: 1995).
 Boese/Toess: In [Boese 00] wurden mittlere Werte aller in [Toess 98] dokumentierten Anlagen gebildet und mit Hilfe von Simulationen mit dem Computerprogramm TRNSYS ausgewertet (Ergebnis: Modell für Jahresarbeitszahlen).

- Gemessene Betriebsergebnisse von Wärmepumpenanlagen:
 Fawa: In der Schweiz durchgeführte Auswertung von 120 Anlagen (62 Neubau, 58 Sanierung) [Hubacher 99, Erb 02a,b]
 IZW: Ergebnisse von 49 Anlagen aus [Heidelck 99]
 Einzelergebnisse: [Keller 89, Enkemann 96]
- TEST-Ergebnisse für Trinkwarmwasserwärmepumpen: Test 7/82 (14 Anlagen), Test 8/86 (13 Anlagen)

Die beiden folgenden Diagramme zeigen die Ergebnisübersicht für Außenluft- und Erdreich-Wärmepumpen. In der Darstellung wird zwischen „Niedertemperaturheizungen“ NTH (Fußbodenheizung, $\vartheta_V = \text{ca. } 35\text{-}40\text{ }^\circ\text{C}$) und „Mitteltemperaturheizungen“ MTH (Radiatorenheizungen mit niedrigen Temperaturen, $\vartheta_V = \text{ca. } 55\text{ }^\circ\text{C}$) unterschieden.

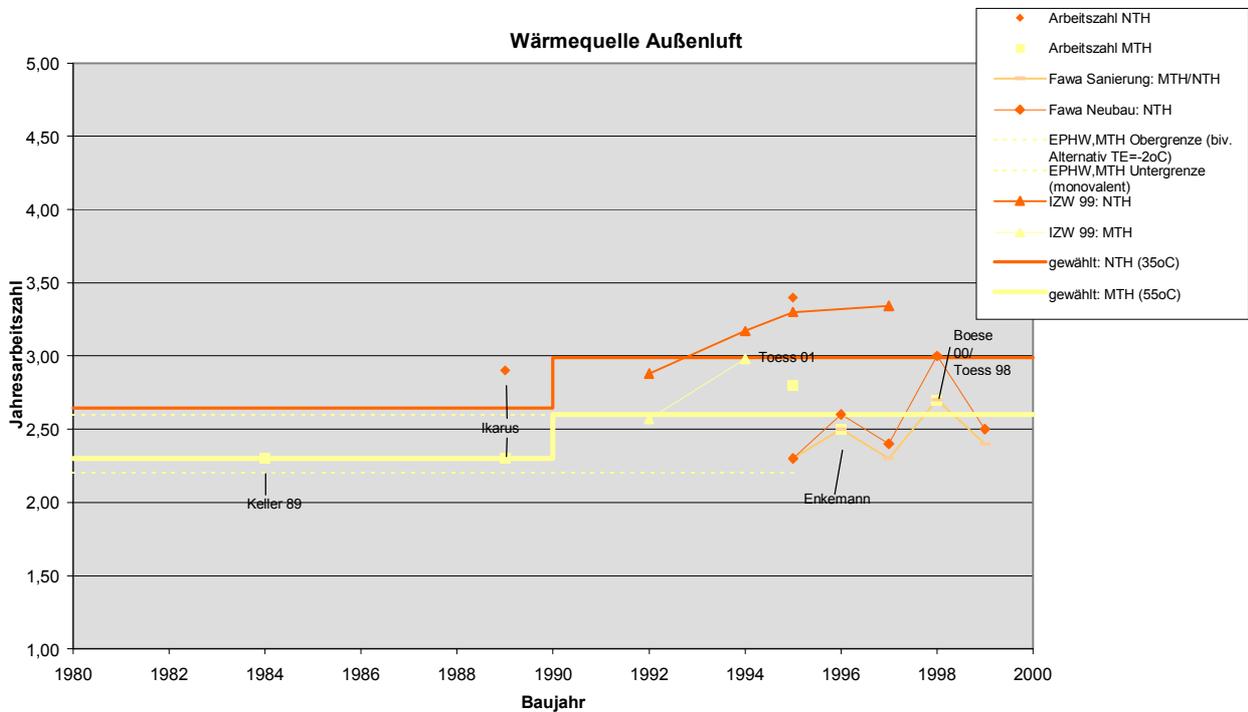


Bild 9: Jahresarbeitszahlen von Außenluft-Wärmepumpen

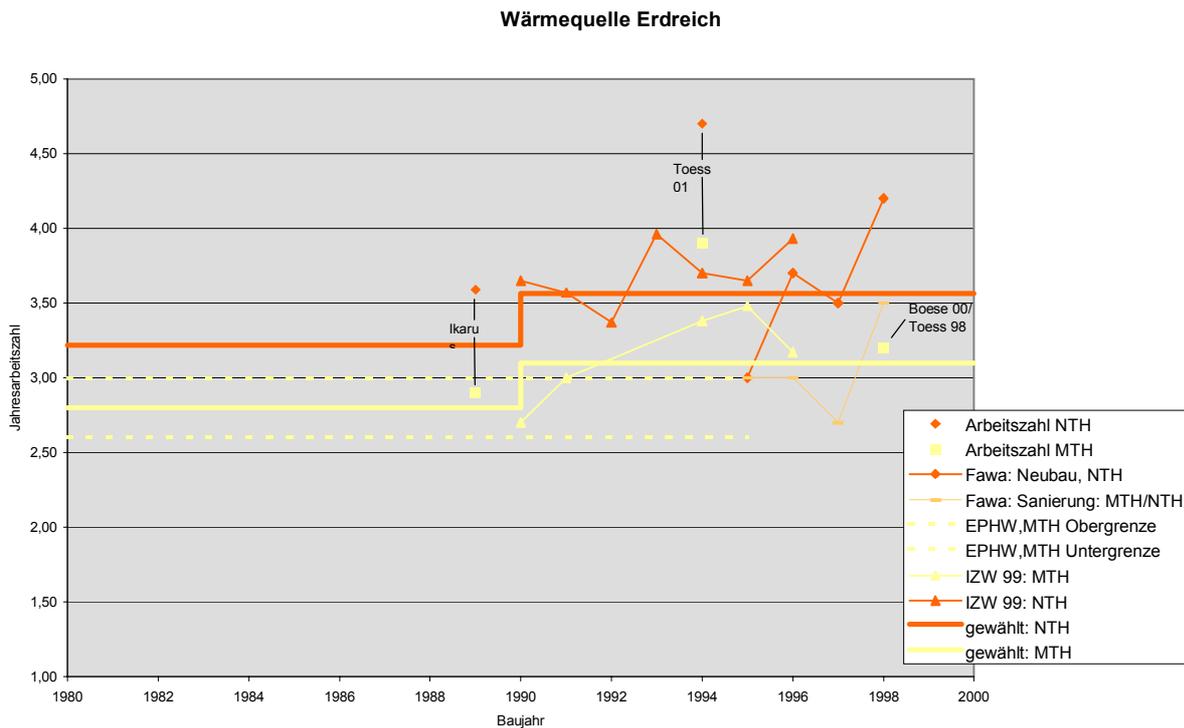


Bild 10: Jahresarbeitszahlen für Erdreich-Wärmepumpen

Bei den sanierten Altbauten der Fawa-Untersuchung liegen ca. je zur Hälfte Fußboden- und Radiatorenheizungen vor, so dass diese Werte zwischen Niedertemperatur- und Mitteltemperaturheizung einzuordnen sind (mittlere Vorlauftemperatur: 47 °C).

Für die 70er Jahre lagen keine Quellen vor. Vermutlich werden kaum noch Anlagen aus dieser Zeit in Betrieb sein. Die in der Tabelle angegebenen Werte wurden abgeschätzt, indem der für den Übergang 80er/90er Jahre angesetzte Sprung in der Jahresarbeitszahl der Größe 0,3 auf den Übergang 70er/80er übertragen wurde.

Die Abbildungen zeigen, dass die Umrechnung der Toess-Messergebnisse in Jahresarbeitszahlen mit Hilfe des Modells der DIN V 4701-10 zu Ergebnissen führt, die deutlich günstiger liegen als die gemessenen Jahresarbeitszahlen.

Der gewählte lineare Ansatz zur Berücksichtigung abweichender Vorlauftemperaturen $\beta_n = \beta_{55} (1 - 0,0075 (\vartheta_V - 55^\circ\text{C}))$ erscheint insbesondere nach den Ergebnissen in [Boese 00] gerechtfertigt. Laut dieser Quelle und den Ansätzen der DIN V 4701-10 sollte theoretisch eine höhere Sensitivität bestehen (Anstieg der Arbeitszahl um ca. 0,01 bei 1 K geringerer Vorlauftemperatur). Zur Anpassung an die in den Abbildungen dargestellten Messergebnisse (NTH im Vergleich zu MTH) wurde der etwas geringere Faktor 0,0075 angesetzt.

Die in den Abbildungen eingetragenen Werte stellen zu einem großen Teil Gesamt-Jahresarbeitszahlen für Heizung und Warmwasserbereitung dar. Zur separaten Ermittlung der Jahresarbeitszahl für die Trinkwarmwasserbereitung lagen keine ausreichend differenzierten Daten vor. Die Gleichsetzung mit der Arbeitszahl der Heizwärmeerzeugung bei 55°C Vorlauftemperatur ($\beta_{TW} = \beta_{55}$) stellt eine pauschale Abschätzung dar, mit der versucht wird, den generell höheren Vorlauftemperaturen bei der Brauchwasserbereitung einerseits und den erhöhten Wärmequellentemperaturen im Sommer andererseits Rechnung zu tragen.

Die TEST-Ergebnisse für die Kellerluft-Trinkwarmwasserwärmepumpen ergaben für Anlagen mittlerer Qualität Jahresarbeitszahlen von ca. 1,7 (Test 1982) bzw. 2,3 (Test 1986). Diese beiden Werte wurden in der Ergebnistabelle als Basiswerte der 70er bzw. 80er Jahre angesetzt. Für die 90er Jahre lagen keine weiteren Werte vor, hier wurde der bei den Heizungswärmepumpen angenommene Wirkungsgradanstieg auf die Trinkwarmwasser-Wärmepumpen übertragen. Die durch die Wärmepumpe bewirkte Absenkung der Kellerlufttemperatur und die dadurch bewirkte Erhöhung des Heizwärmebedarfs sind in der Jahresarbeitszahl nicht berücksichtigt.

2.3 Sonstige Wärmeerzeuger

2.3.1 Zusammenfassung sonstige Wärmeerzeuger im Bestand

	Jahresnutzungsgrade
Gas-Umlaufwasserheizer*	70er Jahre: 0,79 80er Jahre: 0,83/0,86 (mit Zündflamme/mit elektron. Zündung) 90er Jahre: s. NT- bzw. Brennwertkessel
Öl-/Gasöfen	0,80
Festbrennstofföfen (Holz, Kohle)	0,70
offene Kaminöfen	0,45
Elektrische Direktheizung	0,99
Elektrische Nachtspeicheröfen	0,97
Fernwärme-Übergabestationen*	0,98
*) Nutzungsgrade für Heizung und ggf. auch Trinkwarmwassererzeugung, ein ggf. integrierter Warmwasserspeicher ist gesondert zu betrachten (s.u.)	

Tab. 5: Jahresnutzungsgrade verschiedener Wärmeerzeuger

	Jahresnutzungsgrade $\eta_{TW,g}$		
	70er Jahre	80er Jahre	90er Jahre
Elektrische Durchlauferhitzer	0,96	0,97	0,98
Gas-Durchlauferhitzer ohne Zündflamme (elektron. Zündung)	-	0,86	0,88
Gas-Durchlauferhitzer mit Zündflamme	0,62	0,66	0,68

Tab. 6: Jahresnutzungsgrade von Durchlauf-Wassererwärmern zur Trinkwarmwasserbereitung

Für den Fall dass die Gas-Umlaufwasserheizer durch ein Kesselmodell (gemäß Kap. 2.1) berechnet werden sollen, sind folgende Kennwerte zu wählen:

	70er Jahre		80er Jahre		90er Jahre	
	$\eta_{k,70,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{k,70,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{k,70,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$
Gas-Umlaufwasserheizer ohne Brennwertnutzung	0,79	0,00*	0,83/0,86**	0,00*	0,92	0,015
Gas-Umlaufwasserheizer mit Brennwertnutzung	-	-	-	-	0,92	0,015
Gas-Durchlauferhitzer zur alleinigen Trinkwarmwasserbereitung	0,62	0,00*	0,66/0,86**	0,00*	0,68/0,88**	0,00*

	$T_{K,m}$	70er Jahre		80er Jahre		90er Jahre	
		$\eta_{30\%,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{30\%,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$	$\eta_{30\%,20kW}$	$q_{B,70,20kW}$
Gas-Umlaufwasserheizer ohne Brennwertnutzung	40 °C	0,79	0,00*	0,83/0,86**	0,00*	0,92	0,015
Gas-Umlaufwasserheizer mit Brennwertnutzung	30 °C	-	-	-	-	1,01	0,015
Gas-Durchlauferhitzer zur alleinigen Trinkwarmwasserbereitung	ohne Einfluss	0,62	0,00*	0,66/0,86**	0,00*	0,68/0,88**	0,00*

*) Die Bereitschaftsverluste (gemäß dem gewählten vereinfachten Ansatz für Gas-Umlaufwasserheizer der 70er/80er Jahre und Gas-Durchlauferhitzer) im Kesselwirkungsgrad berücksichtigt.

***) 1. Wert: Geräte mit Zündflamme / 2. Wert: Geräte mit elektronischer Zündung

Tab. 7: Darstellung von Gas-Umlaufwasserheizern/Gas-Durchlauferhitzern im Kesselmodell

2.3.2 Dokumentation

Es wurden folgende Quellen ausgewertet:

- Vorhandene Dokumentationen bzw. Ansätze:
EPHW: Energiepass Heizung/Warmwasser des IWU [EPHW 97]
Ikarus: Eine Studie im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens [Pfitzner(Ikarus)]
Angaben in [Recknagel 01]
- Untersuchungen der Stiftung Warentest:
Test 11/72 (Gasöfen), 10/75 (Kohleöfen), 12/82 (Kaminöfen),
Test 11/81, 7/83, 8/87, 11/92, 9/98 (Gas-Umlaufwasserheizer)
Test 5/80 (4 Elektro-, 3 Gas-Durchlauferh.), Test 11/86 (8 Elektro-D.), Test 1/87 (5 Gas-D.), Test 4/87 (2 Elektro-D.), Test 11/97 (14 Elektro-D., 2 Gas-D.)
- Marktübersicht der Zeitschrift SBZ [SBZ 96]
- Angaben zum Beheizungsumfang bei Ofenheizungen [Kolmetz 93]
- Vorhandene Dokumentationen bzw. Ansätze:
EPHW: Energiepass Heizung/Warmwasser des IWU [EPHW 97]
Ikarus: Studie im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens [Pfitzner(Ikarus)]

Als Diagramm sind hier die Nutzungsgrade der Gas-Umlaufwasserheizer für die Heizwärmeerzeugung dargestellt. Die gewählte Kurve für die 90er Jahre ergibt sich mit den Daten des Gas-Niedertemperaturkessels:

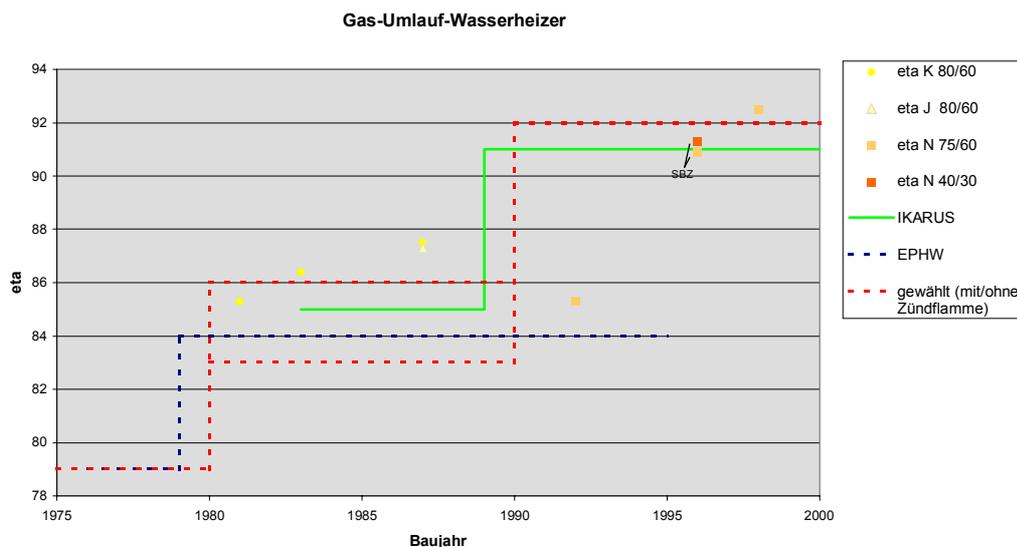


Bild 11: Gas-Umlauf-Wasserheizer (ohne Brennwertnutzung)

Bei den ohnehin sehr geringen Wärmeverlusten der elektrischen Durchlauferhitzer lassen die Test-Ergebnisse im Großen und Ganzen eine im zeitlichen Verlauf leicht steigende Tendenz erkennen, die sich in dem gewählten Ansatz ungefähr widerspiegelt.

Das Heizkesselmodell kann nicht direkt auf die gasbetriebenen Umlaufwasserheizern/Durchlaufer übertragen werden (geringe Masse, ggf. abweichende Regelung). Für die älteren Geräte wurde daher ein vereinfachter Ansatz für den Jahresnutzungsgrad gewählt. Neue Gas-Umlaufwasserheizern können dagegen näherungsweise als Niedertemperatur- bzw. Brennwertkesseln beschrieben werden, da bei diesen die Bereitschaftsverluste bei normalen Betriebszuständen keinen entscheidenden Einfluss mehr ausüben.

Die Energieverluste der Zündflamme betragen ca. 70 W bzw. ca. 600 kWh/a. Falls diese (beispielsweise aufgrund einer vorgegebenen Softwarestruktur) bei der Berechnung nicht separat berücksichtigt werden können, ist die vereinfachende Angabe eines Abschlags auf den Jahresnutzungsgrad möglich. Nimmt man als grobe Abschätzung eine Wärmeproduktion von 18.000 kWh im Gas-Umlaufwasserheizer (Heizung und Warmwasser) bzw. 3.000 kWh im Gas-Durchlauferhitzer (Warmwasser) an, ergibt sich durch die Zündflamme eine Verringerung des Jahresnutzungsgrades um 3 % bzw. 20 %.

3 TWW-Speicher

3.1 Zusammenfassung TWW-Speicher im Bestand

Für die Wärmeverluste von Trinkwarmwasser-Speichern im Bestand können die folgenden Werte angesetzt werden:

$q_{B,S}$: Bereitschaftswärmeverluste [kWh/d]

V : Speichervolumen [Liter]

ΔT_{SU} : Temperaturdifferenz Speicher-Umgebung, die der Angabe von $q_{B,S}$ zugrunde liegt [K]

Indirekt beheizte Speicher, 25 Liter - 1000 Liter

$q_{B,S}$ bei $\Delta T_{SU}=45$ K

70er Jahre: $q_{B,S}=0,5+0,25 V^{0,4}$

80er Jahre: $q_{B,S}=0,4+0,20 V^{0,4}$

90er Jahre: $q_{B,S}=0,2+0,19 V^{0,4}$

Elektrisch beheizte Speicher

$q_{B,S}$ bei $\Delta T_{SU}=45$ K

5 Liter - 250 Liter:

70er Jahre: $q_{B,S}=0,55+0,026 V^{0,8}$

80er Jahre: $q_{B,S}=0,36+0,024 V^{0,8}$

90er Jahre: $q_{B,S}=0,29+0,019 V^{0,8}$

>250 Liter: Ansatz für indirekt beheizte Speicher

Nutzungsgrad der elektrischen Wärmeerzeugung: $\eta_{TW,g}=100$ %

Gasbeheizte Speicher, 100 Liter - 400 Liter

$q_{B,S}$ bei $\Delta T_{SU}=50$ K

70er Jahre: $q_{B,S}=2,25+0,037 V^{1,1}$

80er Jahre: $q_{B,S}=1,9+0,031 V^{1,1}$

90er Jahre: $q_{B,S}=1,4+0,022 V^{1,1}$

Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung:

70er Jahre: $\eta_{TW,g}=81$ %

80er Jahre: $\eta_{TW,g}=83$ %

90er Jahre: $\eta_{TW,g}=87$ %

Speichervolumen bei gebäude-/wohnungszentraler Warmwasserversorgung (1 zentraler Speicher):

Volumen (in Litern) in Abhängigkeit von der Zahl der Wohneinheiten (n_{WE})

70er Jahre: $V = -0,042 n_{WE}^2 + 42 n_{WE} + 205$

80er/90er Jahre: $V = -0,035 n_{WE}^2 + 35 n_{WE} + 170$

Für Wohngebäude mit $A_N = 100 \text{ m}^2$ pro Wohneinheit (vgl. Kap. 6) ergibt sich (mit A_N in m^2 , V in Litern):

70er Jahre: $V = -4,2 \cdot 10^{-6} A_N^2 + 0,42 A_N + 205$

80/90er Jahre: $V = -3,5 \cdot 10^{-6} A_N^2 + 0,35 A_N + 170$

Bei bekanntem A_N -bezogenem Trinkwarmwasserbedarf kann diese Formel zur Bestimmung von V in Abhängigkeit des Trinkwarmwasserbedarfs Q_{TW} genutzt werden. Bei Wohngebäuden kann $Q_{TW} = 12,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angesetzt werden. Damit ergibt sich:

Volumen in Litern abhängig vom Trinkwarmwasser-Wärmebedarf Q_{TW} in kWh/a :

70er Jahre: $V = -2,688 \cdot 10^{-8} Q_{TW}^2 + 0,036 Q_{TW} + 205$

80/90er Jahre: $V = -2,24 \cdot 10^{-8} Q_{TW}^2 + 0,028 Q_{TW} + 170$

Diese Beziehung kann auch als Näherung für Nichtwohngebäude verwendet werden.

Speichervolumina bei dezentraler Warmwasserversorgung:

elektrische Kleinspeicher („Untertisch-Speicher“): $V = 5$ Liter (Standardansatz 1 Speicher pro Wohnung + zusätzlicher Speicher- oder Durchfluss-Wassererwärmer im Bad)

elektrisch beheizter Speicher im Bad für Dusche/Badewanne: $V = 80$ Liter

3.2 Dokumentation

Es wurden folgende Quellen ausgewertet:

- Untersuchungen der Stiftung Warentest in verschiedenen Test-Heften:
Test 12/76 (ca. 20 elektr. Heißwasserspeicher), Test 5/80 (ca. 30 elektr. Speicher), Test 12/84 (5 gasbeh. Speicher), Test 9/85 (5 elektr. Sp.), Test 12/86 (4 elektr. Sp.), Test 6/87 (7 indir. beh. Sp.), 7/88 (4 gasbeh. Sp.)
- Eine in der Schweiz durchgeführte Untersuchung: Messungen an mehr als 70 indirekt beheizten Speichern [Kubik 91]
- Vorhandene Dokumentationen bzw. Ansätze:
EPHW: Energiepass Heizung/Warmwasser des IWU [EPHW 97]
Ikarus: Eine Studie im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens [Pfitzner(Ikarus)]

Die folgenden Abbildungen zeigen die Bereitschaftswärmeverluste der verschiedenen Speichertypen. Die gewählten Werte wurden, soweit möglich, an denjenigen Quellenangaben ausgerichtet, die auf Messergebnissen beruhen.

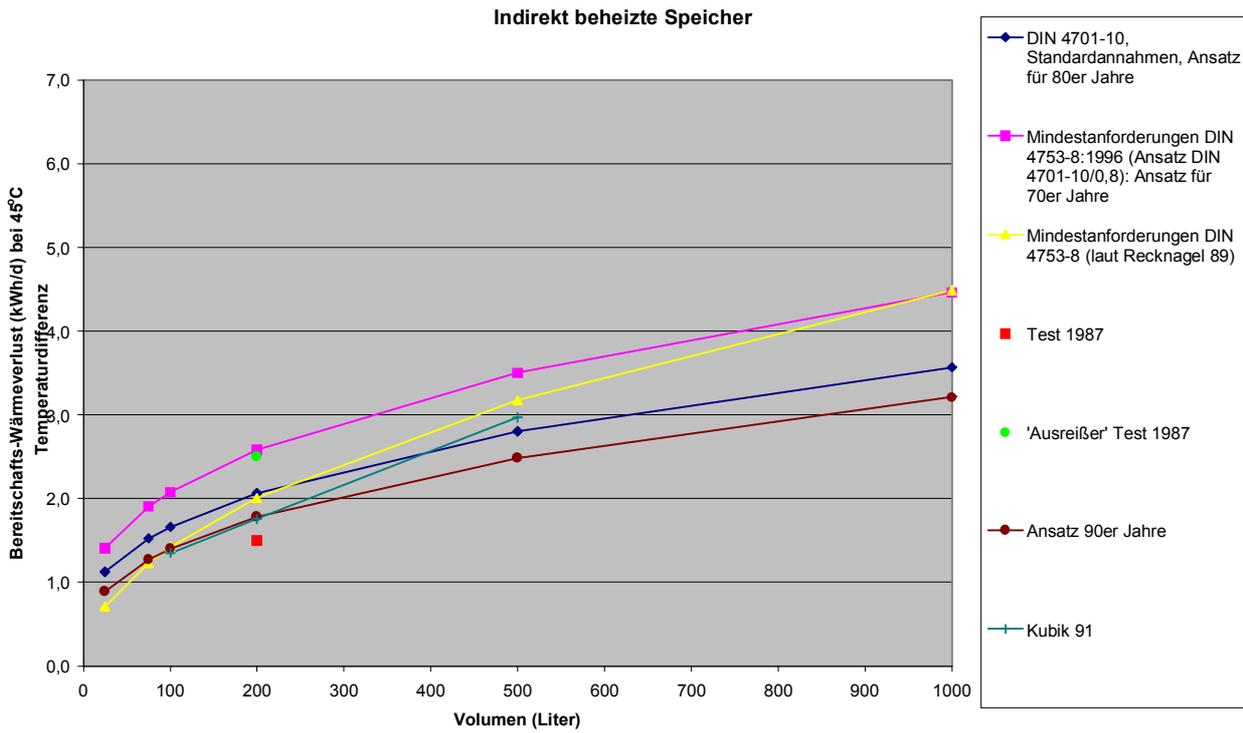


Bild 12: Indirekt beheizte Speicher

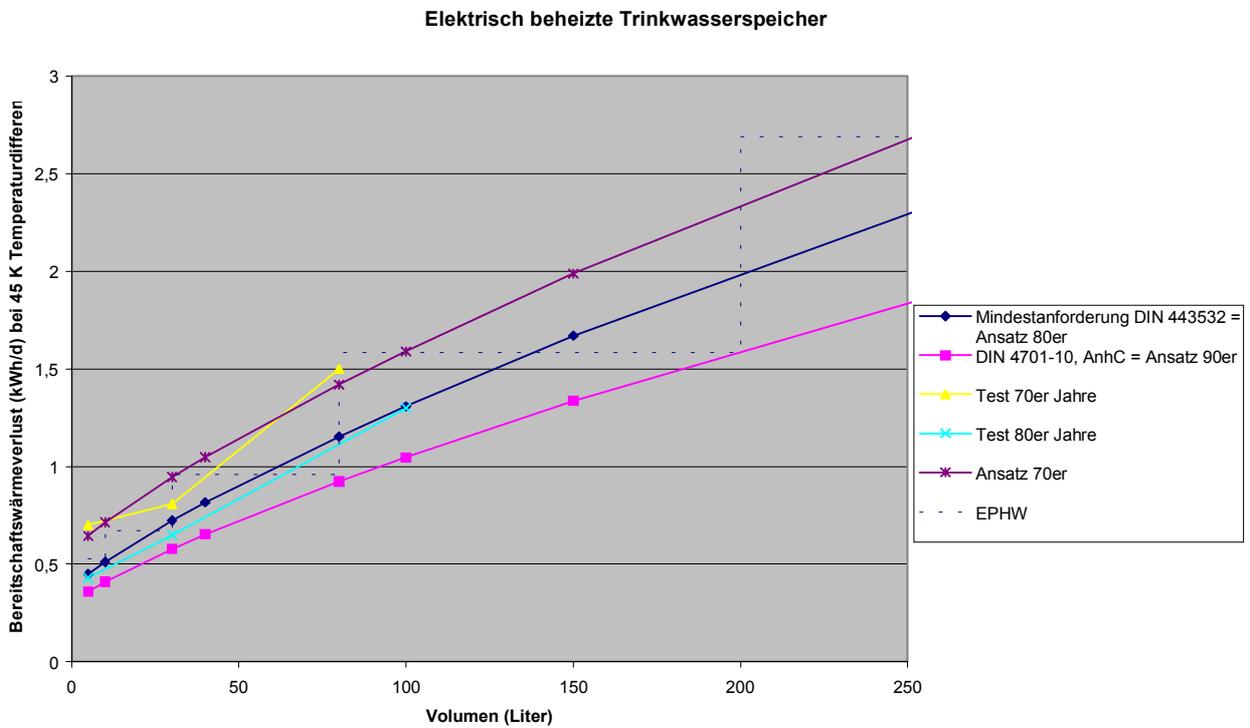


Bild 13: Elektrisch beheizte Speicher

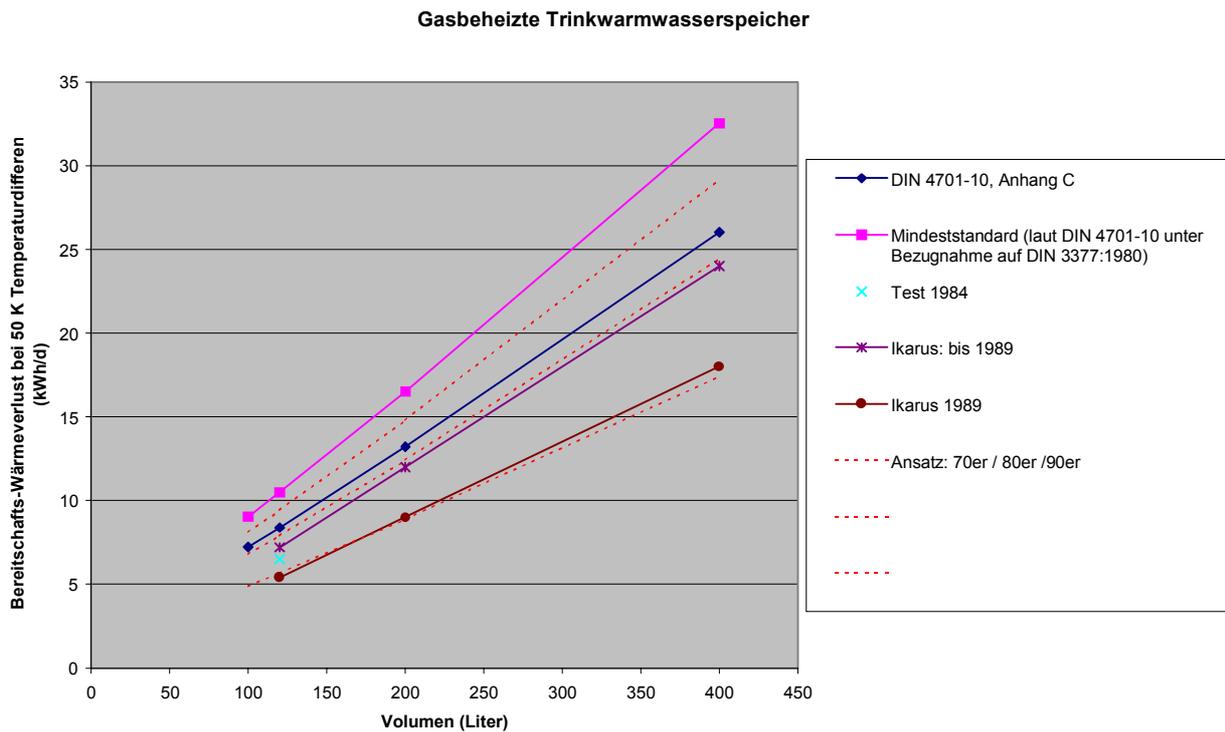


Bild 14: Gasbeheizte Trinkwarmwasserspeicher

Bei den elektrisch beheizten Speichern wurde angenommen, dass für Volumina oberhalb 250 Liter die Ansätze für indirekt beheizte Speicher gültig sind.

Die Mindeststandards für die Bereitschaftswärmeverluste von gasbeheizten Speichern sind laut DIN 3377:1980 von Volumen und Nennleistung abhängig. In DIN V 4701-10 wurde dies offenbar vereinfachend in eine reine Volumenabhängigkeit umgerechnet. Auf diesen Ansatz wurde hier zurückgegriffen. Für die 70er/80er/90er Jahre wurden die Bereitschaftsverluste in Anlehnung an die Angaben der Ikarus Studie (Speicher mit Zündflamme) zu etwa 90 %, 75 % bzw. 55 % des Mindeststandards angesetzt.

Die Nutzungsgrade der Wärmeerzeugung in gasbeheizten Speichern wurden aus [Pfitzner(Ikarus)] übernommen (90er Jahre: Angabe für 1989, 80er Jahre: Angabe für vor 1989, 70er Jahre: geschätzt).

Die Funktionen für die Speichervolumina basieren für die 70er Jahre auf [Recknagel 66], für die 80er/90er Jahre auf gleichlautenden Angaben in [Recknagel 88, Recknagel 01] (Auslegung nach Gleichzeitigkeitsfaktoren).

3.3 Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung

3.3.1 Zusammenfassung Solaranlagen im Bestand

	80er Jahre	90er Jahre
Solaranlagen zur Trinkwarmwasserbereitung: Gesamtsystem		
Solarer Deckungsgrad $\alpha_{TW, Sol}$ typischer Anlagen	0,45	0,50
Kenndaten Flachkollektoren		
Konversionsfaktor	0,75	0,77
Wärmedurchgangskoeffizient k_1	4,2 W/m ² K	3,5 W/m ² K
Koeffizient k_2	0,02 W/m ² K ²	0,02 W/m ² K ²
Kenndaten Vakuumröhrenkollektoren		
Konversionsfaktor	0,70	0,74
Wärmedurchgangskoeffizient k_1	2,0 W/m ² K	1,2 W/m ² K
Koeffizient k_2	0,009 W/m ² K ²	0,009 W/m ² K ²
Kenndaten Brauchwasser-Solarspeicher (150 - 1000 Liter)		
Bereitschaftswärmeverlust $q_{B,S}$ des gesamten Speichers (Solar- u. Bereitschaftsteil) bei $\Delta T_{SU}=45$ K	$q_{B,S} = (0,3+0,2 V^{0,4})\text{kWh/d}$	

Tab. 8 Solaranlagen

3.3.2 Dokumentation

Es wurden folgende Quellen ausgewertet:

- Untersuchungen der Stiftung Warentest in verschiedenen Test-Heften: Test 1/84 (14 Solarkollektoren, 14 Solaranlagen mit Angabe der solaren Deckungsgrade), 5/87 (13 Kollektoren und Brauchwasser-Solarspeicher), 5/95 (11 Anlagen), 3/98 (12 Anlagen)
- Marktübersichten des Öko-Instituts von 1992 (28 Kollektoren, 43 Speicher) und 1997 (160 Kollektoren, 50 Speicher) [Öko 92, Öko 97]

Die von der Stiftung Warentest in verschiedenen Jahren untersuchten Anlagen weisen im Durchschnitt eine deutliche Steigung des solaren Deckungsgrades auf: 1984: 45 %, 1995: 50 %, 1998: 55 %. Für grobe Abschätzungen ohne genaue Kenntnis der Einzelanlagen lassen sich damit für die 80er Jahre ein Deckungsgrad von 45 % und für die 90er Jahre von (vorsichtig abgeschätzt) 50 % angeben.

Im Einzelfall hängt der Deckungsgrad einer Solaranlage von der jeweiligen Auslegung (z.B. der gewählten Kollektorfläche) ab. Die angegebenen technischen Kenndaten der Kollektoren und Speicher erlauben auf Basis des Modells der DIN V 4701-10 eine Abschätzung des Anlagenertrags in Abhängigkeit von Kollektorfläche, Speichergröße und weiterer Anlagenmerkmale (z.B. Ausrichtung und Neigung des Kollektorfelds). Die ausgewerteten Einzeldaten wiesen eine starke Streuung auf. Es ist daher nicht sicher, ob bei Berücksichtigung der tatsächlichen Werte für Kollektorfläche und Speichervolumen eine höhere Genauigkeit erzielt wird, als wenn die pauschale Abschätzung auf Basis des Deckungsgrads verwendet wird.

Die Volumenabhängigkeit der Bereitschaftsverluste beim Brauchwasser-Solarspeicher ließ sich aus den vorliegenden Daten nicht eindeutig ableiten, sie wurde entsprechend dem Ansatz beim indirekten Speicher (s.o.) gewählt.

Hinsichtlich der Länge der Kollektor-Anbindeleitungen, wie sie etwa in das Berechnungsmodell nach DIN V 4701-10 eingehen, können die Ansätze für Neuanlagen verwendet werden, da bei Altanlagen keine grundsätzlich anderen Gegebenheiten vorliegen.

4 Wärmeverteilung

4.1 Zusammenfassung Wärmeverteilung im Bestand

In Tab. 9 sind die Formeln für die Abschätzung von Leitungslängen von Heizwärme- und Warmwasserverteilnetzen in Abhängigkeit von der Geschosszahl n_G und der charakteristischen Gebäudelänge L_{char} angegeben. L_{char} entspricht im Fall eines rechteckigen Gebäudegrundrisses der Kantenlänge des Gebäudes (Regeln für die Ermittlung bei komplizierteren Grundrissen und Näherungsformeln für die grobe Abschätzung aus anderen Gebäudedaten sind in Abschnitt 4.4.1 dargestellt).

Da die mit dem hier vorgestellten Modell abgeschätzten Leitungslängen in der Summe grob mit den Werten nach DIN V 4701-10 übereinstimmen, können die DIN-Werte alternativ verwendet werden.

Die für die Berechnung der Wärmeverluste erforderlichen Wärmeverlustkoeffizienten U_R und Wärmeverlustfaktoren f_a für die verschiedenen Verteilnetze zeigt Tab. 10. Der Teilbeheizungsfaktor für absperrbare Heizungsrohre ändert sich gegenüber DIN V 4701-10 nicht.

	Rohrlängen in m		
Heizwärmeverteilung			
	horizontale Leitungen $L_V =$	Strangleitungen $L_S =$	Anbindeleitungen $L_A =$
zentrales Verteilsystem <u>außen</u> liegende Steigleitungen	$4L_{Char} - 10$	$n_G L_{char}$	$\frac{3}{2} n_G L_{char}$
zentrales Verteilsystem <u>innen</u> liegende Steigleitungen	$2L_{Char} - 10$	$\frac{n_G L_{char}}{2}$	$4 n_G L_{char}$
wohnungswise Verteilung	–	$6 n_G L_{char}$	$n_G L_{char}$
Verteilung Trinkwarmwasser			
	horizontale Leitungen $L_V =$	Strangleitungen $L_S =$	Stichleitungen $L_{SL} =$
zentrale Warmwasserbereitung <u>mit</u> Zirkulation	$2L_{Char} - 10$	$\frac{n_G L_{char}}{2}$	$\frac{n_G L_{char}}{2}$
zentrale Warmwasserbereitung <u>ohne</u> Zirkulation	$L_{Char} - 5$	$\frac{n_G L_{char}}{4}$	$\frac{n_G L_{char}}{2}$
zentrale Warmwasserbereitung mit elektrischer Begleitheizung	$L_{Char} - 5$	$\frac{n_G L_{char}}{4}$	$\frac{n_G L_{char}}{2}$
dezentrale und wohnungswise Warmwasserbereitung (ohne Zirkulation)	–	–	$\frac{n_G L_{char}}{2}$

Tab. 9: Formeln für die Abschätzung der Rohrleitungslänge für verschiedene Verteilsysteme in den drei Bereichen V, S und A bzw. SL

Baualtersklasse	Besonderheiten	Bereich:	Heizwärme-Verteilnetze								Verteilnetze Trinkwarmwasser		
			zentrales Verteilsystem außen liegende Steigleitungen			zentrales Verteilsystem innen liegende Steigleitungen			wohnungswise Verteilung		horizontale Leitungen	Strangleitungen	Stichleitungen
			horizontale Leitungen	Strangleitungen	Anbindeleitungen	horizontale Leitungen	Strangleitungen	Anbindeleitungen	Strangleitungen	Anbindeleitungen			
V	S	A	V	S	A	S	A	V	S	SL			
50er - 70er	Ist-Zustand	f_a [-]	1,00	0,48	0,10	1,00	0,15	0,10	0,15	0,10	1,00	0,15	0,15
		U_R [W/(m·K)]	0,4	1,4	1,0	0,4	2,0	1,0	1,0	0,6	0,4	2,0	1,4
	Verteilung modernisiert	f_a [-]	1,00	0,48	0,10	1,00	0,15	0,10	0,15	0,10	1,00	0,15	0,15
		U_R [W/(m·K)]	0,2	1,4	1,0	0,2	2,0	1,0	1,0	0,6	0,2	2,0	1,4
	Verteilung modernisiert + Außenwanddämmung	f_a [-]	1,00	0,21	0,10	1,00	0,15	0,10	0,15	0,10	1,00	0,15	0,15
		U_R [W/(m·K)]	0,2	1,0	1,0	0,2	2,0	1,0	1,0	0,6	0,2	2,0	1,4
80er + 90er	f_a [-]	1,00	0,35	0,32	1,00	0,15	0,10	0,35	0,32	1,00	0,15	0,15	
	U_R [W/(m·K)]	0,2	0,8	0,8	0,2	0,2	0,30	0,8	0,8	0,2	0,2	1,4	
NEU (EnEV)	f_a [-]	1,00	0,35	0,32	1,00	0,15	0,10	0,35	0,32	1,00	0,15	0,15	
	U_R [W/(m·K)]	0,2	0,26	0,26	0,2	0,26	0,26	0,26	0,26	0,2	0,2	0,2	

Tab. 10: Wärmeverlustkoeffizienten U_R und Wärmeverlustfaktoren f_a für Heizwärme- und TWW-Verteilnetze

4.2 Jährliche Wärmeverluste

4.2.1 Heizwärmeverteilung

In Anlehnung an DIN V 4701-10 wird der jährliche Wärmeverlust eines Rohrabschnitts i der Heizwärmeverteilung wie folgt berechnet:

$$Q_{H,d,i} = \frac{1}{1000} U_{R,i} L_i (\bar{\vartheta}_{HK} - \bar{\vartheta}_u) f_a f_b z t_{HP} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-1)$$

- mit:
- $U_{R,i}$ längenspezifischer Wärmeverlustkoeffizient der Rohrleitung [W/(m K)]
 - $L_{Z,i}$ Länge des Rohrabschnitts [m]
 - $\bar{\vartheta}_{HK}$ mittlere Temperatur des Rohrabschnitts [°C]
Standardwerte siehe Abschnitt 1.2.1
 - $\bar{\vartheta}_u$ mittlere Umgebungstemperatur [°C]
Standardwerte: 20°C innerhalb / 13°C außerhalb der thermischen Hülle

f_a	Verlustfaktor nach DIN V 4701-10 Gl. (5.3.2-2) $f_a = 1$ für Komponenten außerhalb der thermischen Hülle $f_a = 0,15$ für Komponenten innerhalb der thermischen Hülle $f_a = 0,1$ für absperzbare Rohre innerhalb der thermischen Hülle	} Standardwerte nach DIN V 4701-10	[m]
Werte für innerhalb der Außenwände verlegte Leitungen im Bestand siehe Tab. 15			
f_b	Teilbeheizungsfaktor nach DIN V 4701-10 Gl. (5.3.2-2) $f_b = 1$ für nicht absperzbare Rohre $f_b = 0,8$ für absperzbare Rohre	} Standardwerte nach DIN V 4701-10	[m]
t_{HP}	jährliche Betriebszeit = Dauer der Heizperiode		[d/a]
z	tägliche Laufzeit der Umwälzpumpe Standardwert nach DIN V 4701-10: 24 h/d		[h/d]

4.2.2 Verteilung Trinkwarmwasser

In Anlehnung an DIN V 4701-10 wird der jährliche Wärmeverlust eines Rohrabschnitts i der Warmwasserverteilung wie folgt berechnet:

Rohrabschnitte mit Zirkulation

Wärmeverluste während des Zirkulationsbetriebs:

$$Q_{TW,d,Z,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_{R,i} \cdot L_{Z,i} \cdot (\bar{\vartheta}_{TW,Z} - \bar{\vartheta}_u) \cdot z \cdot t_{TW} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-2)$$

Wärmeverluste während der Zirkulationsunterbrechung

$$Q_{TW,d,Z,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_{R,i} \cdot \frac{1}{2} \cdot L_{Z,i} \cdot (\bar{\vartheta}_{TW,ZU} - \bar{\vartheta}_u) \cdot (24 - z) \cdot t_{TW} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-3)$$

mit:	$U_{R,i}$	längenspezifischer Wärmeverlustkoeffizient der Rohrleitung	[W/(m K)]
	$L_{Z,i}$	Länge des Rohrabschnitts (Summe aus Förder- und Zirkulationsrückleitung)	[m]
	$\bar{\vartheta}_{TW,Z}$	mittlere Temperatur des Rohrabschnitts während des Zirkulationsbetriebs Standardwert: 50 °C	[°C]
	$\bar{\vartheta}_{TW,ZU}$	mittlere Temperatur des Rohrabschnitts während der Zirkulationsunterbrechung Standardwert: 32 °C	[°C]
	$\bar{\vartheta}_u$	mittlere Umgebungstemperatur Standardwerte: 20°C innerhalb / 13°C außerhalb der thermischen Hülle	[°C]
	t_{TW}	jährliche Betriebszeit	[d/a]
	z	tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe	[h/d]

Ist die tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe nicht bekannt, wird sie wie folgt angesetzt:

$$z = 7,5 + \frac{100}{6 + \frac{1}{n_{WE}}} \approx 7,5 + \frac{1}{0,06 + \frac{1}{A_N}} \quad [\text{h/d}] \quad (4-4)$$

mit: n_{WE} Anzahl der Wohneinheiten (für $n_{WE} \leq 100$) [-]
 A_N „Gebäudenutzfläche“ nach EnEV (für $A_N \leq 10000 \text{ m}^2$) [m]

Für $n_{WE} > 100$ oder $A_N > 10000 \text{ m}^2$ ist $z = 24 \text{ h/d}$ zu setzen.

Die hieraus ermittelten Werte liegen deutlich höher als in Gl. 5.1.2-3 in DIN V 4701-10 (Tab. 11). Dieser Ansatz berücksichtigt die Erfahrung, dass im Gebäudebestand bei Einfamilienhäusern meist nur eine Nachtabschaltung, bei Mehrfamilienhäusern im Regelfall ein durchgängiger Zirkulationsbetrieb anzutreffen ist.

Anzahl Wohn-einheiten	Wohn-fläche [m ²]	A_N [m ²]	Formel nach DIN V 4701-10		mit geänderten Parametern	
			z [h/d]	$1 - z$ [h/d]	z [h/d]	$1 - z$ [h/d]
1	80	100	11,8	12,2	15,2	8,8
2	160	200	13,1	10,9	18,0	6,0
3	240	300	14,2	9,8	19,5	4,5
5	400	500	15,9	8,1	21,0	3,0
10	800	1000	18,3	5,7	22,4	1,6
50	4000	5000	22,5	1,5	23,8	0,2
100	8000	10000	23,3	0,7	24,0	0,0

Tab. 11: Vergleich der Werte für die tägliche Laufzeit der Zirkulationspumpe gemäß Gl. (4-4) mit den Werten nach DIN V 4701-10

Rohrabschnitte ohne Zirkulation / Zapfleitungen

Wärmeverluste für Einzelleitungen (Zapfleitungen) ohne Zirkulationsrückleitung:

$$Q_{TW,d,Z,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_E \cdot (\bar{g}_{TW,E} - \bar{g}_u) \cdot 24 \cdot t_{TW} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-5)$$

mit: U_i längenspezifischer Wärmeverlustkoeffizient [W/(m K)]
 $L_{E,i}$ Länge des Rohrabschnitts der Einzelleitung [m]
 $\bar{g}_{TW,E}$ mittlere Temperatur des Rohrabschnitts der Einzelleitung [°C]
Standardwert: 32 °C
 \bar{g}_u mittlere Umgebungstemperatur [°C]
Standardwerte: 20°C innerhalb / 13°C außerhalb der thermischen Hülle
 t_{TW} jährliche Betriebszeit [d/a]

Rohrabschnitte mit elektrischer Begleitheizung

Die Wärmeverluste von mit elektrischer Begleitheizung ausgestatteten Rohrabschnitten werden wie folgt bestimmt:

Wärmeverluste während des Betriebs der elektrischen Begleitheizung:

$$Q_{TW,d,EBH,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_{EBH,i} \cdot (\bar{\vartheta}_{TW,EBH} - \bar{\vartheta}_u) \cdot z_{EBH} \cdot t_{TW} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-6)$$

Die Wärmeverluste während der Unterbrechung der elektrischen Begleitheizung entsprechen denen einer Einzelleitung (s.o.):

$$Q_{TW,d,E,i} = \frac{1}{1000} \cdot U_i \cdot L_{EBH,i} \cdot (\bar{\vartheta}_{TW,E} - \bar{\vartheta}_u) \cdot (24 - z_{EBH}) \cdot t_{TW} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-7)$$

mit:	U_i	längenspezifischer Wärmeverlustkoeffizient	[W/(m K)]
	$L_{EBH,i}$	Länge des mit elektrischer Begleitheizung ausgestatteten Rohrabschnitts	[m]
	$\bar{\vartheta}_{TW,EBH}$	mittlere Temperatur des Rohrabschnitts während des Betriebs der elektrischen Begleitheizung Standardwert: 50 °C	[°C]
	$\bar{\vartheta}_{TW,E}$	mittlere Temperatur des Rohrabschnitts während der Unterbrechung der elektrischen Begleitheizung Standardwert: 32 °C	[°C]
	$\bar{\vartheta}_u$	mittlere Umgebungstemperatur Standardwerte: 20°C innerhalb / 13°C außerhalb der thermischen Hülle	[°C]
	t_{TW}	jährliche Betriebszeit	[d/a]
	z_{EBH}	tägliche Betriebszeit der elektrischen Begleitheizung (entspricht Betriebszeit Zirkulation / Gl. (4-4))	[h/d]

Der Anteil an Wärme, der durch den zusätzlichen Wärmeerzeuger „elektrische Direktheizung“ mit der Erzeugeraufwandszahl 1,0 bereitzustellen ist, bestimmt sich wie folgt:

$$\alpha_{TW,EBH} = \frac{\sum_i Q_{TW,d,EBH,i}}{Q_{TW}^*} \quad [-] \quad (4-8)$$

Dabei ist die von den Wärmeerzeugern insgesamt bereitzustellende Wärmemenge:

$$Q_{TW}^* = Q_{TW} + \sum_i Q_{TW,s,i} + \sum_i Q_{TW,d,EBH,i} + \sum_i Q_{TW,d,E,i} \quad [\text{kWh/a}] \quad (4-9)$$

4.2.3 Heizwärme-Gutschrift

Bei innerhalb der thermischen Hülle angeordneten Warmwasserleitungen kann in der Heizzeit ein Teil der Verluste als Heizwärmebeitrag genutzt werden ("Heizwärme-Gutschrift"). Die Ansätze entsprechen denen der DIN V 4701-10.

Die als Heizwärmebeitrag nutzbaren Wärmeverluste der Heizwärmeverteilung werden nach dem Ansatz der DIN V 4701-10 direkt von den Verlusten abgezogen (siehe Gl. (4-1))

4.3 Wärmeverlustkoeffizienten von Rohrleitungen

4.3.1 Ungedämmte Rohrleitungen, freiliegend

Die Wärmeabgabe von ungedämmten Rohrleitungen setzt sich zusammen aus den Verlusten durch **Konvektion** und durch **Strahlung**. Der Wärmeübergang vom Medium zum Rohr sowie die Wärmeleitung innerhalb der Rohrwandung (bei Metallrohren) kann vernachlässigt werden.

Der **Wärmeverlustkoeffizient für den äußeren konvektiven Wärmeübergang von ungedämmten Rohrleitungen** $\alpha_{R,K}$ berechnet sich wie folgt (Näherungsgleichung nach Glück gemäß [Recknagel/Sprenger 01/02] S. 163):

$$\alpha_{R,K} = 1,23 \frac{\Delta T^{0,25+0,1d_R}}{d_R^{0,25}} \cdot \pi \cdot d_R \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (4-10)$$

mit: ΔT Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Umgebung [K]
 d_R Außendurchmesser des Rohres [m]

gültig für Umgebungstemperaturen zwischen 0 und 20°C sowie Rohrdurchmesser zwischen 0,01 und 1 m.

Der **Wärmeverlustkoeffizient für die Wärmeabstrahlung von ungedämmten Rohrleitungen** in einem großen Raum $\alpha_{R,S}$ berechnet sich wie folgt (vgl. [Recknagel/Sprenger 01/02] S. 170):

$$\alpha_{R,S} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon_R \cdot \frac{(T_R^4 - T_U^4)}{(T_R - T_U)} \cdot \pi \cdot d_R \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (4-11)$$

mit: T_R absolute Temperatur des Rohres [K]
 T_U absolute Temperatur der Umgebung [K]
 ε_R Emissionsgrad der Rohroberfläche

Der Emissionsgrad ε schwankt für ungedämmte Verteilrohre aus Kupfer oder Stahl je nach Grad der Oxidation zwischen ca. 0,07 und 0,8 – bei Farbanstrichen bis zu ca. 0,95. Im Folgenden wird von einem Standardwert von $\varepsilon_R = 0,8$ ausgegangen.

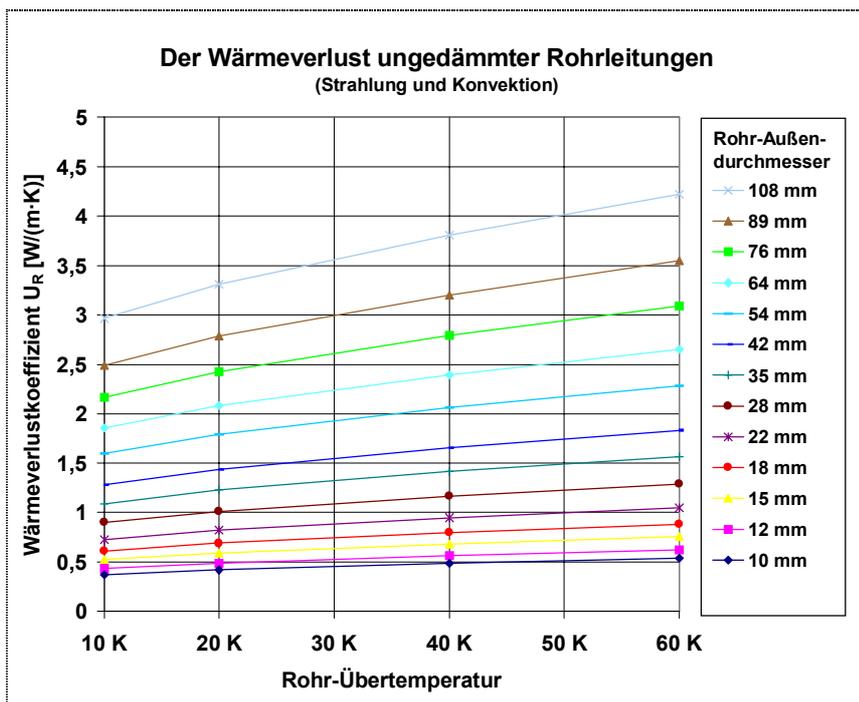


Bild 15: Wärmeverlustkoeffizienten für ungedämmte Rohrleitungen (Strahlung und Konvektion) für verschiedene Rohrdurchmesser bei Variation der Temperaturdifferenz zwischen Rohr und Umgebung

Die sich aus den Gln. (4-10) und (4-11) ergebenden Wärmeverlustkoeffizienten zeigt Bild 15 für verschiedenen Rohrleitungsquerschnitte. Vereinfacht können folgende Rechenwerte verwendet werden:

Rohrdurchmesser	≤ 18 mm	>18 bis 35 mm	>35 bis 64 mm	>64 mm
U_R [W/(m ² K)]	0,6	1,0	2,0	3,0

Tab. 12: Anhaltswerte für die Wärmeverlustkoeffizienten ungedämmter Rohrleitungen

4.3.2 Ungedämmte Leitungen, unter Putz verlegt

Die Wärmeverluste von unter Putz verlegten ungedämmten Rohrleitungen wurden mit Hilfe eines zweidimensionalen Wärmebrückenprogramms bestimmt. Dabei wurden drei Fälle unterschieden:

- Leitungen in einer ungedämmten Altbau-Außenwand ($U_{Wand} = 1,46$ W/(m²K))
- Leitungen in einer von außen gedämmten Altbau- oder Neubau-Außenwand ($U_{Wand} = 0,27$ W/(m²K))
- Leitungen in einer einschaligen Neubau-Außenwand ($U_{Wand} = 0,4$ W/(m²K))

Die Berechnungen finden sich in Anhang C. Tab. 13 zeigt die Ergebnisübersicht. Die so bestimmten U_R -Werte sind bezogen auf die Temperaturdifferenz zwischen Rohrleitung und Raum. Zusätzlich ist der in der thermischen Hülle verfügbare Anteil des Rohr-Wärmeverlustes angegeben. Die Ergebnisse stimmen generell für ein Verhältnis der Temperaturdifferenzen Rohr-Raum : Raum-Außenluft von ca. 2:1.

		Außenwand Altbau ungedämmt			Außenwand Altbau/Neubau von außen gedämmt			Außenwand Neubau monolith. ohne Dämmung		
		vom Rohr	außen	innen	vom Rohr	außen	innen	vom Rohr	außen	innen
Gesamtwärmestrom	[W/m]	163,7	107,4	56,4	117,4	16,5	100,9	91,4	33,6	57,8
Wärmestrom ohne Rohrleitungen	[W/m]		-43,6	43,6		-8,1	8,1		-12,0	12,0
U-Wert Wand ungestört	[W/(m²K)]		1,455			0,271			0,399	
Wärmestrom aus Rohrleitungen	[W/m]		63,7	100,0		8,3	109,1		21,6	69,8
gesamter Wärmeverlust Rohrleitungen	[W/m]		163,7			117,4			91,4	
U_R -Wert bezogen auf Raumtemp. 2 Rohre	[W/(m K)]		2,729			1,957			1,523	
U_R-Wert bezogen auf Raumtemp. 1 Rohr	[W/(m K)]		1,36			0,98			0,76	
in der therm. Hülle verfügbarer Anteil			61%			93%			76%	
Zweidimensionale Berechnung der Wärmeströme										
Randbedingungen					Wärmeleitfähigkeiten in W/(m·K)					
Rohrtemperatur = 80°C		$\alpha_{innen} = 7,69$ W/(m ² K)			Gipsputz	0,872	Mauerwerk Altbau	0,814		
Raumtemperatur = 20°C		$\alpha_{außen} = 25$ W/(m ² K)			Außenputz	0,689	Mauerwerk Neubau	0,160		
Außentemperatur = -10°C					Dämmfilz	0,058	Außendämmung	0,040		

Tab. 13: Bestimmung der Wärmeverlustkoeffizienten von unter Putz verlegten Rohrleitungen mit Hilfe eines zweidimensionalen Wärmebrücken-Programms (Details siehe Anhang)

Gedämmte Rohrleitungen

Der Wärmeverlustkoeffizient von **gedämmten Rohrleitungen** berechnet sich wie folgt:

$$U_R = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_a}{d_R} + \frac{1}{\alpha_a \cdot d_a}} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right] \quad (4-12)$$

mit: λ Wärmeleitfähigkeit Dämmung [W/(m K)]
 d_a Außendurchmesser des gedämmten Rohres (inkl. Dämmung) [m]
 d_R Rohrdurchmesser [m]
 α_a Wärmeübergangskoeffizient [W/(m²K)]
 Pauschalwert für gedämmte Rohrleitungen = 8 W/(m²K)

Mäßig gedämmte Leitungen im Bestand

In Tab. 14 sind auf der Basis von historischen Daten ermittelte Wärmeverlustkoeffizienten von Rohrleitungen der Heizwärmeverteilung wiedergegeben. Ist der Durchmesser der Rohrleitungen bekannt, können die angegebenen Mittelwerte verwendet werden.

Da eine Bestimmung von Rohrdurchmesser, Dämm-Material und -Dicke in der Praxis kaum möglich ist, wird im Folgenden vereinfachend für alle Durchmesser ein Wärmeverlustkoeffizient von 0,4 W/(m K) verwendet.

Wärmeverlustkoeffizienten von Verteilungen im Bestand						
		Matten, Formstücke, Dämmschnüre aus Mineralfasern		Kieselgur-, Magnesia-masse	Mittelwert	
		ohne Um-mantelung	inkl. Hart-mantel			
Mindestdicke der Dämmung*						
bei	bis 40 mm		15 mm	25 mm	30 mm	
Rohrdurch-messer	über 40 mm bis 60 mm		25 mm	35 mm	45 mm	
	über 60 mm bis 125 mm		30 mm	40 mm	55 mm	
Obere Grenzwerte der Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)						
(entspr. Betriebswärmeleit Zahlen nach DIN 18421 : 1961)		von	0,046	0,052	0,058	
		bis	0,053	0,070	0,074	
Wärmeverlustkoeffizienten in W/(m²K)						
bei	bis 40 mm	von	0,33	0,29	0,29	0,33
		bis	0,37	0,36	0,36	
Rohrdurch-messer	über 40 mm bis 60 mm	von	0,36	0,33	0,32	0,38
		bis	0,41	0,43	0,40	
	über 60 mm bis 125 mm	von	0,45	0,42	0,39	0,47
		bis	0,51	0,55	0,48	
Vereinfachung (alle Rohrdurchmesser)					0,4	

nach: Recknagel / Sprenger 1966; S. 546/548
 *) bis 80°C mittlere Temperatur während der Betriebszeit

Tab. 14: Wärmeverlustkoeffizienten von Rohrleitungen für unterschiedliche Rohrdurchmesser und Dämm-Materialien (nach: [Recknagel/Sprenger 1966])

Nach HeizAnIV bzw. EnEV gedämmte Leitungen

Seit 1978 legt die Heizungsanlagenverordnung den Dämmstandard von Rohrleitungen fest. Für heutige Neubauten regelt dies der Anhang 5 der Energieeinsparverordnung. Für die Wärmeverlustkoeffizienten nach HeizAnIV bzw. EnEV werden folgende Vereinfachungen vorgenommen:

- **außerhalb der thermischen Hülle verlegte Leitungen und Armaturen**
(gedämmt nach EnEV Anhang 5 Tab. 1 Zeile 1 bis 4):

Standardwert: $U_R = 0,2 \text{ W/(m K)}$

Dieser Ansatz entspricht dem Standardwert DIN V 4701-10. Für nach Vorschrift HeizAnIV / EnEV gedämmte Leitungen mit Durchmesser $< 22 \text{ mm}$ wird der Wärmeverlust allerdings um bis zu 50% unterschätzt. Da diese Leitungsquerschnitte jedoch im unbeheizten Bereich nur selten anzutreffen sind, ist dieser Fehler tolerierbar.

- **innerhalb der thermischen Hülle verlegte Leitungen in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer sowie im Fußbodenaufbau** (gedämmt nach EnEV Anhang 5 Tab. 1 Zeile 6):

Standardwert: $U_R = 0,3 \text{ W/(m K)}$.

(DIN V 4701-10 setzt hier einen Pauschalwert von $0,255 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für die Heizwärmeverteilung und $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für TWW-Leitungen an, der für Rohrdurchmesser bis 22 mm etwa passt. Bei größeren Durchmessern – wie sie insbesondere bei Steigsträngen in Mehrfamilienhäusern anzutreffen sind – liegt der Wert jedoch eher bei $0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$)

- **innerhalb der thermischen Hülle und jeweils einer Wohnung verlegte Leitungen (Anbinde- bzw. Stichleitungen):**

Standardwert: $U_R = 0,6 \text{ W/(m K)}$.

(DIN V 4701-10 setzt auch hier einen Pauschalwert von $0,255 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für die Heizwärmeverteilung und $0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ für TWW-Leitungen an. Da eine Dämmung nach HeizAnIV bzw. EnEV nicht gefordert ist, wird hier der genannte Wert verwendet.)

Um auch die Möglichkeit energetischer Optimierungen in Richtung **Niedrigenergiehaus- und Passivhaus-Standard** zu ermöglichen, wird zusätzlich folgender Dämmstandard eingeführt:

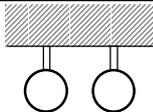
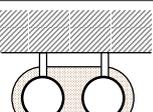
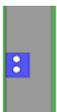
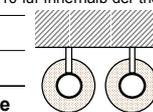
- **außerhalb der thermischen Hülle verlegte Leitungen sowie Armaturen**
(doppelte Dämmstärke gegenüber EnEV Anhang 5 Tab. 1 Zeile 1 bis 4):

Standardwert: $U_R = 0,15 \text{ W/(m K)}$.

4.3.3 Dämmstandard und Verlegeart nach Baualtersklassen

Eine Übersicht über die in den vorangegangenen Abschnitten hergeleiteten Werte für die Wärmeverlustkoeffizienten und Wärmeverlustfaktoren von Rohrleitungen zeigt Tab. 15.

Ist für ein Gebäude die Verlegeart oder der Dämmstandard für die einzelnen Teilstränge nicht bekannt, so kann – ausgehend vom Baualter des Verteilsystems – die in Tab. 16 angegebenen Standardannahmen für die energetische Bewertung zu Grunde gelegt werden.

	Dämmstandard	Verlegeart	Skizze	Beschreibung	U _R [W/(m·K)]	im Verlegeraum verfügbarer Anteil des Wärmeverlustes	effektiver Wärmeverlustfaktor f _s bei Anordnung innerhalb der therm. Hülle				
							Rohre nicht absperrbar	Rohre absperrbar			
Baualtersklasse Verteilsystem	50er - 70er	freiliegend		Stahl-/Kupferrohr; abhängig von Rohrdurchmesser	≤ 18 mm	100%	0,15	0,10			
					>18 bis 35 mm				1,0		
					>35 bis 64 mm				2,0		
					>64 mm				3,0		
	ungedämmt	unter Putz in Außenwand ohne Außendämmung		Stahl-/Kupferrohr mit Wellpappe, Filz o.ä. ummantelt oder WICU-Rohr verlegt unter Putz im massiven Mauerwerk ohne Außenwanddämmung / U _{Wand} > 0,8 W/(m²K)	1,4	61%	0,48	0,45			
					unter Putz in Außenwand mit Außendämmung		Stahl-/Kupferrohr mit Wellpappe, Filz o.ä. ummantelt oder WICU-Rohr verlegt unter Putz im massiven Mauerwerk mit Außenwanddämmung / U _{Wand} ≤ 0,8 W/(m²K)	1,0	93%	0,21	0,16
mäßig gedämmt	freiliegend		Mineral-/Glaswolle in Form von Matten, Formstücken, Dämmschnüren oder gestopft / Kieselgur, Magnesia als plastische Massen oder Formstücke usw. / mit Hart- oder Blechmantel	0,4	100%	0,15	0,10				
				80er, 90er, NEU	ungedämmt	unter Putz in Außenwand ohne Außendämmung		Stahl-/Kupferrohr mit Wellpappe, Filz o.ä. ummantelt oder WICU-Rohr verlegt unter Putz im massiven Mauerwerk ohne Außenwanddämmung / U _{Wand} ≤ 0,8 W/(m²K)	0,8	76%	0,35
unter Putz in Außenwand mit Außendämmung		Stahl-/Kupferrohr mit Wellpappe, Filz o.ä. ummantelt oder WICU-Rohr verlegt unter Putz im massiven Mauerwerk mit Außenwanddämmung / U _{Wand} ≤ 0,8 W/(m²K)	1,0						93%	0,21	0,16
HeizAnV bzw. EnEV	Standard		(Pauschalwert DIN V 4701-10 für innerhalb der thermischen Hülle verlegte Rohrleitungen)						0,255)	100%	0,15
				halbe Dämmstärke		in Wohnungstrennwänden und -decken	0,3				
				Standard	generell in unbeheizten Räumen	0,2					
				doppelte Dämmstärke	vorbildlicher Energiesparstandard	0,15					

Tab. 15: Standardwerte für die Wärmeverlustkoeffizienten von Rohrleitungen

Bereich:		Heizwärmeverteilung									Verteilung Trinkwarmwasser				
		zentrales Verteilsystem außen liegende Steigleitungen			zentrales Verteilsystem innen liegende Steigleitungen			wohnungswise Verteilung							
		horizontale Leitungen V	Strang- leitungen S	Anbinde- leitungen A	horizontale Leitungen V	Strang- leitungen S	Anbinde- leitungen A	Strang- leitungen S	Anbinde- leitungen A						
Baualtersklasse Verteilsystem / Zustand	50er - 70er	Ist-Zustand	Dämmstandard Rohrleitungen	mäßig gedämmt	ungedämmt	ungedämmt	mäßig gedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	mäßig gedämmt	ungedämmt	ungedämmt
			Verlegeart	freiliegend, unter Kellerdecke	unter Putz in Altbau-Außenw. ohne Außendämmg.	freiliegend	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	freiliegend	freiliegend	freiliegend	freiliegend	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	unter Putz in Innenwand
		Verteilung modernisiert	Dämmstandard Rohrleitungen	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	
			Verlegeart	freiliegend, unter Kellerdecke	unter Putz in Altbau-Außenw. ohne Außendämmg.	freiliegend	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	freiliegend	freiliegend	freiliegend	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	unter Putz in Innenwand	
		Verteilung modernisiert + Außenwand-Dämmung	Dämmstandard Rohrleitungen	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	
			Verlegeart	freiliegend, unter Kellerdecke	unter Putz in Altbau-Außenw. mit Außendämmg.	freiliegend	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	freiliegend	freiliegend	freiliegend	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	unter Putz in Innenwand	
	80er, 90er	Dämmstandard Rohrleitungen	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	ungedämmt	ungedämmt	ungedämmt	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	ungedämmt		
		Verlegeart	freiliegend, unter Kellerdecke	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	im Fußbodenaufbau	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	unter Putz / in Innenwand bzw. Vorwand-Installation		
	NEU (EnEV)	Dämmstandard Rohrleitungen	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	Dämmung nach EnEV	ungedämmt		
		Verlegeart	freiliegend, unter Kellerdecke	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	im Fußbodenaufbau	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	unter Putz in Neubau-Außenw. ohne Außendämmg.	freiliegend, unter Kellerdecke	im Schacht	unter Putz / in Innenwand bzw. Vorwand-Installation		

Tab. 16: Dämmstandard und Verlegeart nach Baualtersklassen

4.4 Längen von Rohrleitungen

4.4.1 Geometrische Grunddaten für die Abschätzung von Leitungslängen

Die Abschätzung erfolgt größtenteils unter Rückgriff auf die geometrischen Daten des Gebäudes:

- a, b Gebäudebreite und -länge (bei rechteckigem Grundriss) [m]
- c, d, e, f, g, h, \dots Kantenlängen zusätzlicher Grundriss-Teilflächen [m]
- L_{char} charakteristische Gebäudelänge [m]
- h_R lichte Raumhöhe [m]
- h_G Geschosshöhe [m]
- n_G Anzahl Geschosse (Vollgeschosse zuzügl. 0,5 bei ausgebautem Dachgeschoss oder Keller)
- A_G Grundfläche des Gebäudes (entspricht Boden gegen Keller oder Erdreich [m²])

Für rechteckige Gebäudegrundrisse ist L_{char} gleich der Gebäudekante b .

Komplexere Gebäudegrundrisse mit rechtwinklig angeordneten Gebäudekanten setzen sich zusammen aus dem größten Rechteck mit den Kantenlängen a und b und weiteren Rechtecken mit den Kantenlängen c und d , e und f , g und h etc., wobei d , f , h etc. als die längere der beiden Kanten definiert ist. Die charakteristische Gebäudelänge ist dann:

$$L_{Char} = b + d + f + h + \dots \quad [m] \quad (4-13)$$

Ist die Länge der Gebäudekanten nicht bekannt, kann diese überschlägig wie folgt geschätzt werden:

$$L_{char} = \frac{A_G}{a} \quad [m] \quad (4-14)$$

$$a = 10 \text{ m}$$

Ist die Grundfläche des Gebäudes A_G nicht bekannt, so kann L_{char} auch aus dem beheizten Gebäudevolumen V_e , der Geschosshöhe n_G und einem Pauschalwert für die Geschosshöhe $h_G = 2,8 \text{ m}$ überschlägig ermittelt werden:

$$L_{char} = \frac{V_e}{n_G \cdot h_G \cdot a} \approx \frac{V_e}{n_G \cdot 28 \text{ m}^2} \quad [m] \quad (4-15)$$

4.4.2 Heizwärmeverteilung

Bezüglich der Leitungsführung und -länge bedeutsam sind folgende Fallunterscheidungen für Verteilsysteme im Bestand:

- zentrale Verteilung als Zweirohrsystem;
- zentrale Verteilung als Zweirohrsystem nach Tichelmann (Charakteristikum: zusätzliche Sammelleitung, so dass bei jedem Heizkörper gleiche Druckverhältnisse vorliegen);
- zentrale Verteilung als Einrohrsystem;
- wohnungsweise Verteilung als Zweirohrsystem;
- wohnungsweise Verteilung als Einrohrsystem.

Der größte Teil der Heizsysteme im Bestand entfällt auf die zentrale Verteilung als Zweirohrsystem mit innen- oder außen liegenden Steigleitungen (vgl. [Schüßler/Jagnow 2002]) sowie auf die wohnungsweise Verteilung als Zweirohrsystem. Die im Folgenden vorgenommene pauschale Abschätzung von Leitungslängen soll sich auf diese Systeme beschränken.

Gemäß DIN V 4701-10 kann das Heizwärmeverteilnetz in folgende 3 Bereiche aufgeteilt werden (damit keine Verwechslungen mit der Warmwasserverteilung möglich sind, wird der zusätzliche Index H für „Heizung“ eingeführt):

Bereich V:	Leitungen zwischen Wärmeerzeuger und vertikalen Steigleitungen	Länge $L_{H,V}$
Bereich S:	Strangleitungen vertikal und gegebenenfalls auch horizontal	Länge $L_{H,S}$
Bereich A:	Anbindeleitungen zwischen den Strangleitungen und den Heizkörpern	Länge $L_{H,A}$

Zentrale Wärmeverteilung als Zweirohrsystem mit außen liegenden Steigleitungen

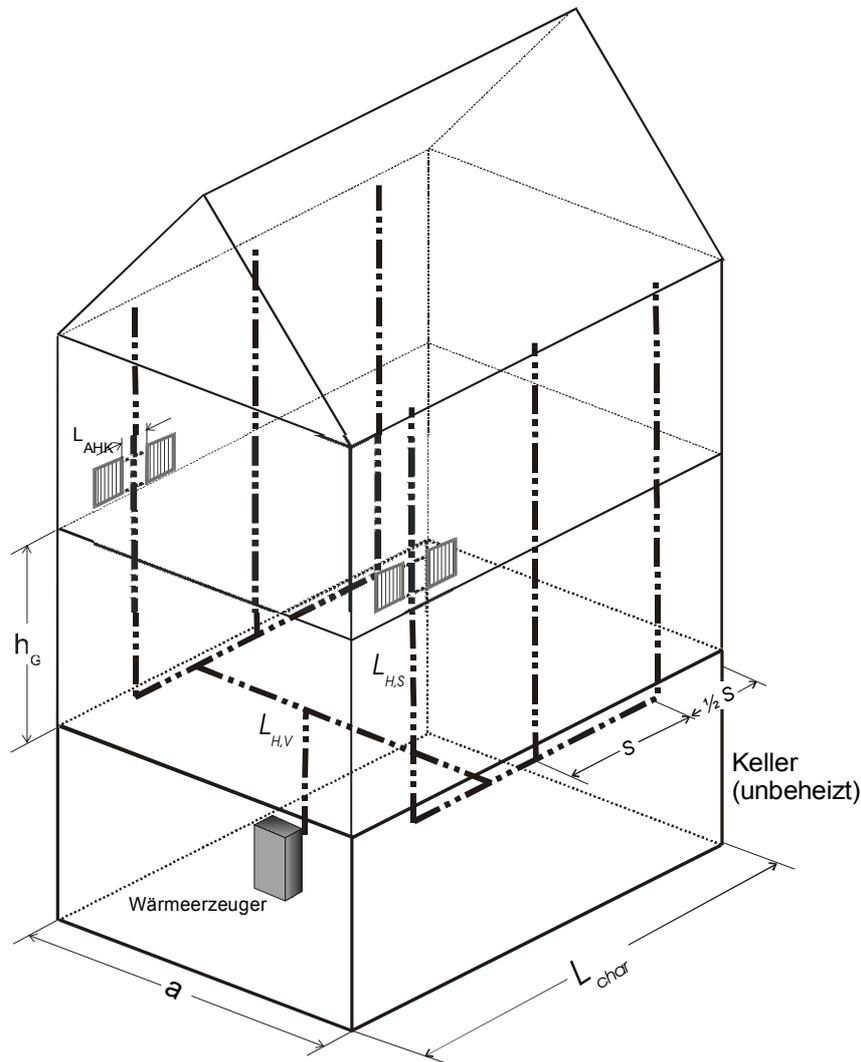


Bild 16: Vereinfachtes Schema für die Bestimmung von Leitungslängen der zentralen Heizwärmeverteilung mit außen liegenden Steigleitungen (Fall 1)

Im Folgenden wird von einer unteren Verteilung ausgegangen, die bei den meisten Bestandsanlagen anzutreffen ist (vgl. [Schüßler/Jagnow 2002]). Bild 16 zeigt zwei Varianten der unteren Verteilung mit außen liegenden Strängen. Im Folgenden werden typische Längen in Abhängigkeit von den Gebäudeparametern Geschoszahl und charakteristische Gebäudelänge ermittelt.

Bereich V

Die Leitungslänge zwischen Wärmeerzeuger und vertikalen Steigleitungen setzt sich aus der horizontalen Verteilung $L_{H,hor}$ und der Anbindung an den Kessel $L_{H,KA}$ wie folgt zusammen

$$L_{H,V} = L_{H,KA} + L_{H,hor} \quad [m] \quad (4-16)$$

Für die Stranglänge zur Kesselanbindung werden pauschal 5 m angesetzt:

$$L_{H,KA} = n_{Rohr} \cdot 5 \quad [m] \quad (4-17)$$

mit: n_{rohr} Anzahl der Rohre = 2

Für den horizontalen Strang werden zwei Fälle unterschieden:

Fall 1: 2 Stränge in Gebäudelängsrichtung an den Gebäudeaußenkanten und eine Verbindungsleitung zwischen beiden (siehe Bild 16)

Bei 2 Strängen an den Gebäudeaußenkanten mit den jeweiligen Längen $L_{Char} - s$ und einer Verbindungsleitung mit der Länge a ergibt sich folgende Gleichung (siehe Bild 16):

$$L_{H,hor} = n_{rohr} \cdot (2 \cdot (L_{Char} - s) + a) \quad [m] \quad (4-18)$$

Mit der Annahme $a = s = 10$ m ergibt sich für die Länge der Rohrleitungen zwischen Wärmeerzeuger und Steigsträngen:

$L_{H,v} = 4 L_{Char} - 10$	[m]	(4-19)
-----------------------------	-----	--------

Fall 2: zentraler Strang in Gebäudelängsrichtung mit Abzweigen zu den Steigsträngen

Die zugehörige Leitungslänge kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$L_{H,hor} = n_{rohr} \cdot (L_{Char} + \frac{L_{Char}}{s} \cdot a - s) \quad [m] \quad (4-20)$$

mit: a Gebäudetiefe [m]
 s Abstand der Steigstränge [m]

Näherungsweise kann angesetzt werden:

$$a = s = 10 \quad [m] \quad (4-21)$$

Dann ergibt sich für die Länge der Rohrleitungen zwischen Wärmeerzeuger und Steigsträngen:

$L_{H,v} = 4 L_{Char} - 10$	[m]	(4-22)
-----------------------------	-----	--------

Aufgrund identischer Ergebnisse ist eine Fallunterscheidung also nicht erforderlich.

Bereich S

Für die Länge der Steigstränge gilt:

$$L_{H,S} = n_{rohr} \cdot (n_S \cdot n_G \cdot h_G) \quad [m] \quad (4-23)$$

mit: n_S Anzahl der Steigstränge [-]
 n_G Geschoszahl [-]
 h_G Geschosshöhe; Standardwert = 2,8 [m]

Die Anzahl der Steigstränge kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$n_S = 2 \cdot \frac{L_{char}}{s} \quad [m] \quad (4-24)$$

Mit dem Ansatz $s = 10m$ und $n_{Rohr} = 2$ und $h_G = 2,8m$ folgt:

$$L_{H,S} = \frac{2}{5} \cdot 2,8 \cdot n_G \cdot L_{char} \quad [m] \quad (4-25)$$

Die Länge der vertikalen Stränge kann damit näherungsweise wie folgt angesetzt werden:

$$L_{H,S} = n_G \cdot L_{char} \quad [m] \quad (4-26)$$

Bereich A

$$L_{H,A} = n_{HK} \cdot L_{AHK} \quad [m] \quad (4-27)$$

mit: n_{HK} Anzahl der Heizkörper [-]
 L_{AHK} mittlere Länge der Anbindeleitungen Heizkörper – Steigstrang [m]

Es wird davon ausgegangen, dass an jedem Steigstrang pro Geschoss 2 Heizkörper angebunden sind, die jeweils 2 m Abstand zum Steigstrang aufweisen. Damit ergibt sich:

$$n_{HK} = 2 \cdot n_S \cdot n_G \quad (4-28)$$

$$L_{AHK} = 2 \cdot 2 \quad [m] \quad (4-29)$$

Unter Anwendung der Abschätzung von Gl. (4-24) ergibt sich für die Gesamtlänge der Heizkörperanbindung:

$$L_{H,A} = 2 \cdot \frac{L_{char}}{5} \cdot n_G \cdot 2 \cdot 2 \quad [m] \quad (4-30)$$

Damit ergibt sich näherungsweise folgende Formel für die Länge der Anbindeleitungen der Heizkörper:

$$L_{H,A} = \frac{3}{2} \cdot n_G \cdot L_{char} \quad [m] \quad (4-31)$$

Zentrale Wärmeverteilung als Zweirohrsystem mit innen liegenden Steigleitungen

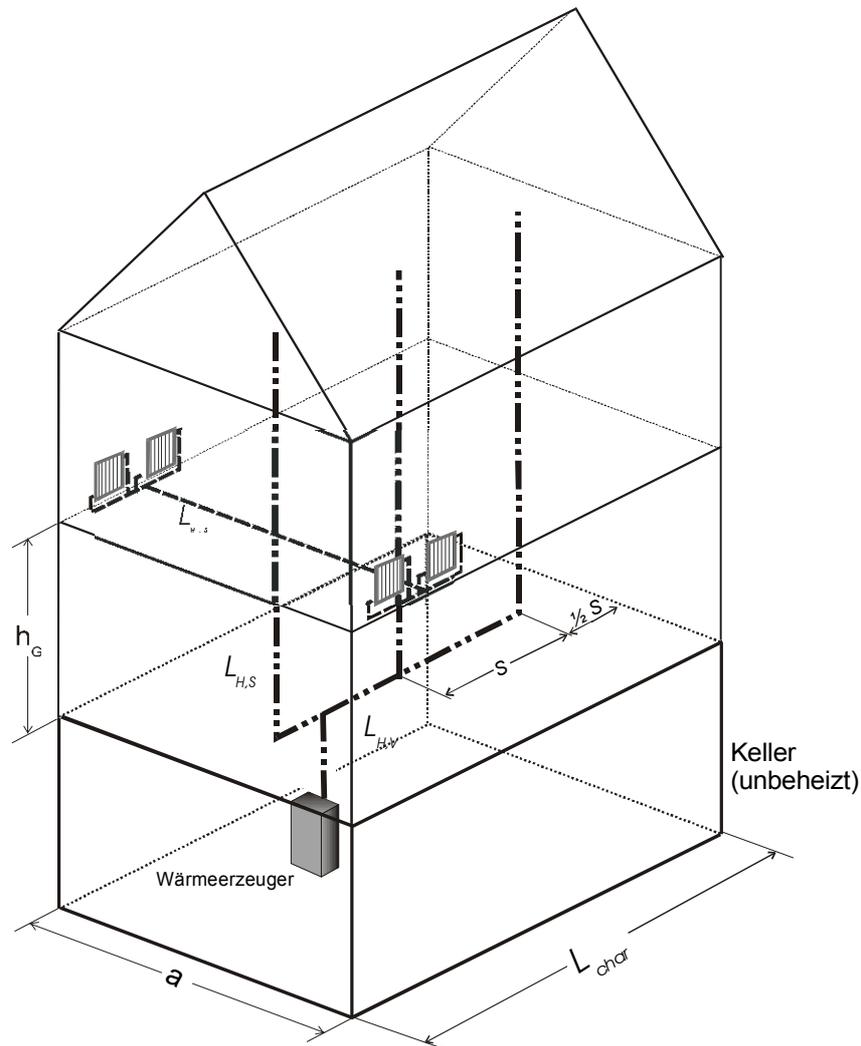


Bild 17: Vereinfachtes Schema für die Bestimmung von Leitungslängen der zentralen Heizwärmeverteilung mit innen liegenden Steigleitungen

Bild 17 zeigt das Schema des zentralen Verteilsystems mit innen liegenden Steigleitungen.

Bereich V

Die Leitungslänge zwischen Wärmeerzeuger und vertikalen Steigleitungen setzt sich aus der horizontalen Verteilung $L_{H,hor}$ und der Anbindung an den Kessel $L_{H,KA}$ wie folgt zusammen

$$L_{H,V} = L_{H,KA} + L_{H,hor} \quad [m] \quad (4-32)$$

Für die Stranglänge zur Kesselanbindung werden wieder pauschal 5 m angesetzt:

$$L_{H,KA} = n_{Rohr} \cdot 5 \quad [m] \quad (4-33)$$

Bei einem zentralen Strang mit der Länge L_{Char} ergibt sich folgende Gleichung:

$$L_{H,hor} = n_{rohr} \cdot (L_{Char} - s) \quad [m] \quad (4-34)$$

Mit der Annahme $s = 10m$ ergibt sich für die Länge der Rohrleitungen zwischen Wärmeerzeuger und Steigsträngen:

$$L_{H,V} = 2 L_{Char} - 10 \quad [m] \quad (4-35)$$

Bereich S

Für die Länge der Steigstränge gilt:

$$L_{H,S} = n_{rohr} \cdot (n_S \cdot n_G \cdot h_G) \quad [m] \quad (4-36)$$

mit: n_S Anzahl der Steigstränge [-]

n_G Geschoszahl [-]

h_G Geschosshöhe; Standardwert = 2,8 [m]

Die Anzahl der Steigstränge kann wie folgt abgeschätzt werden:

$$n_S = \frac{L_{char}}{s} \quad [m] \quad (4-37)$$

Mit dem Ansatz $s = 10m$ und $n_{Rohr} = 2$ und $h_G = 2,8m$ folgt:

$$L_{H,S} = \frac{1}{5} \cdot 2,8 \cdot n_G \cdot L_{char} \quad [m] \quad (4-38)$$

Die Länge der vertikalen Stränge kann damit näherungsweise wie folgt angesetzt werden:

$$L_{H,S} = \frac{n_G L_{char}}{2} \quad [m] \quad (4-39)$$

Bereich A

Es wird davon ausgegangen, dass von jedem Steigstrang pro Geschoss zwei horizontale Verteilungen mit jeweils der Stranglänge $\frac{1}{2}a$ zu den Längsseiten abgehen. An beiden Enden sind mit einer Stranglänge von je 2 m jeweils 2 Heizkörper angebunden. Mit $a = 10m$ ergibt sich:

$$L_{H,A} = 2 \cdot n_S \cdot n_G \cdot (10 + 4 \cdot 2) \quad [m] \quad (4-40)$$

Damit ergibt sich näherungsweise folgende Formel für die Länge der Anbindeleitungen der Heizkörper:

$$L_{H,A} = 4 n_G L_{char} \quad [m] \quad (4-41)$$

Wohnungsweise Wärmeverteilung als Zweirohrsystem

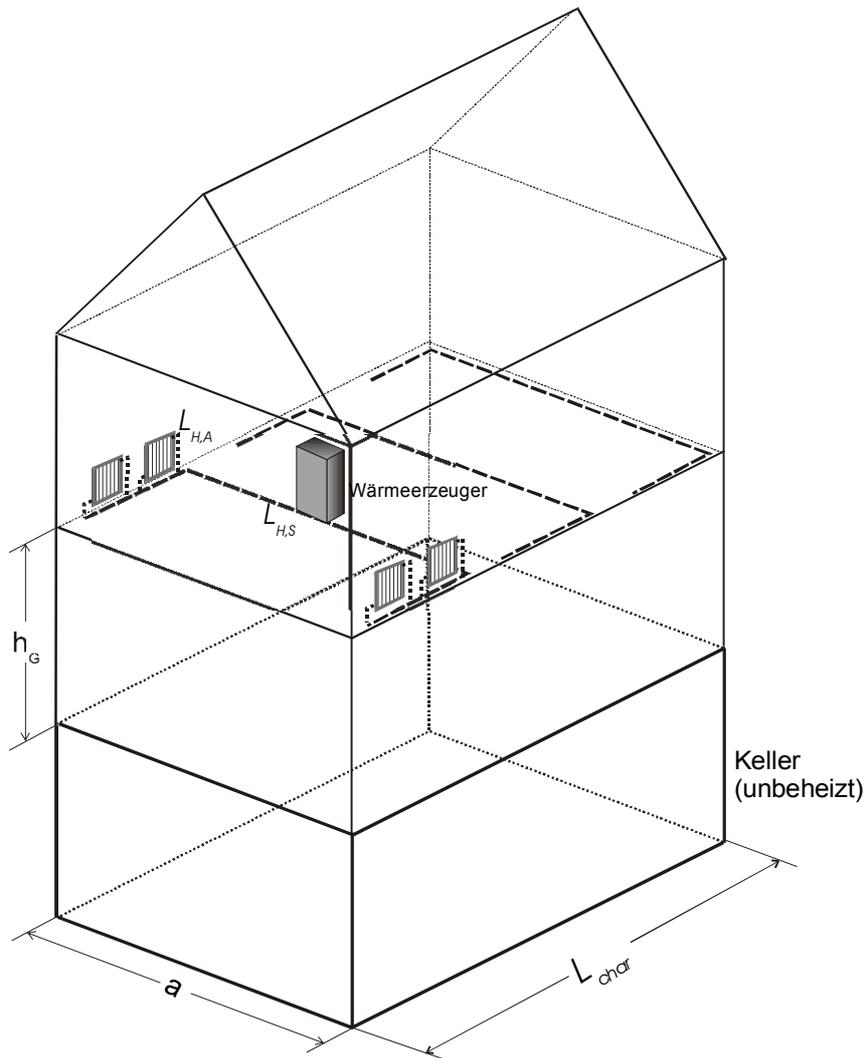


Bild 18: Vereinfachtes Schema für die Bestimmung von Leitungslängen der wohnungsweisen Verteilung

Bild 16 zeigt das Schema des zentralen Verteilsystems mit innen liegenden Steigleitungen. Bei der wohnungsweisen Verteilung wird von einem horizontalen Strang mit zirkulierendem Medium und jeweils absperrbaren Anbindeleitungen zu den Heizkörpern ausgegangen.

Bereich S

Für die Länge der horizontalen Verteilstränge innerhalb der Wohnung wird angesetzt:

$$L_{H,S} = n_{Rohr} \cdot n_G \cdot (2 \cdot L_{Char} + n_q \cdot a) \quad [m] \tag{4-42}$$

mit: n_q Anzahl Querverbindungen [-]

Unter der Annahme, dass $n_q = \frac{L_{Char}}{10}$ und $a = 10m$ ergibt sich

$$L_{H,S} = 6 n_G L_{Char} \quad [m] \tag{4-43}$$

Bereich A

Für die Länge der absperrbaren Heizkörperanbindung wird folgender Ansatz getroffen:

$$L_{H,A} = n_{HK} \cdot L_{HKA} \quad [m] \quad (4-44)$$

mit: n_{HK} Anzahl der Heizkörper

L_{HKA} mittlere Länge der Anbindeleitungen Heizkörper – Steigstrang

Es wird davon ausgegangen, dass sich an jeder Gebäudelängsseite in $d_{HK} = 5$ m Abstand ein Heizkörper befindet, der mit 2,5 m Leitung angebunden ist. Damit ergibt sich:

$$n_{HK} = \frac{2 \cdot L_{char} \cdot n_G}{5} \quad [m] \quad (4-45)$$

$$L_{HKA} = 2,5 \quad [m] \quad (4-46)$$

Damit ergibt sich für die Gesamtlänge der Heizkörperanbindung:

$$L_{H,A} = n_G L_{char} \quad [m] \quad (4-47)$$

4.4.3 Verteilung Trinkwarmwasser

Gemäß DIN V 4701-10 wird das TWW-Verteilnetz in folgende 3 Bereiche aufgeteilt werden (Index W steht für Warmwasserbereitung eingeführt):

Bereich V:	Leitungen zwischen Wärmeerzeuger und vertikalen Steigleitungen	Länge $L_{W,V}$
Bereich S:	Strangleitungen vertikal und gegebenenfalls auch horizontal	Länge $L_{W,S}$
Bereich SL:	Stichleitungen zwischen den Strangleitungen und Zapfstellen	Länge $L_{H,SL}$

Zentrale Warmwasserbereitung mit Zirkulation

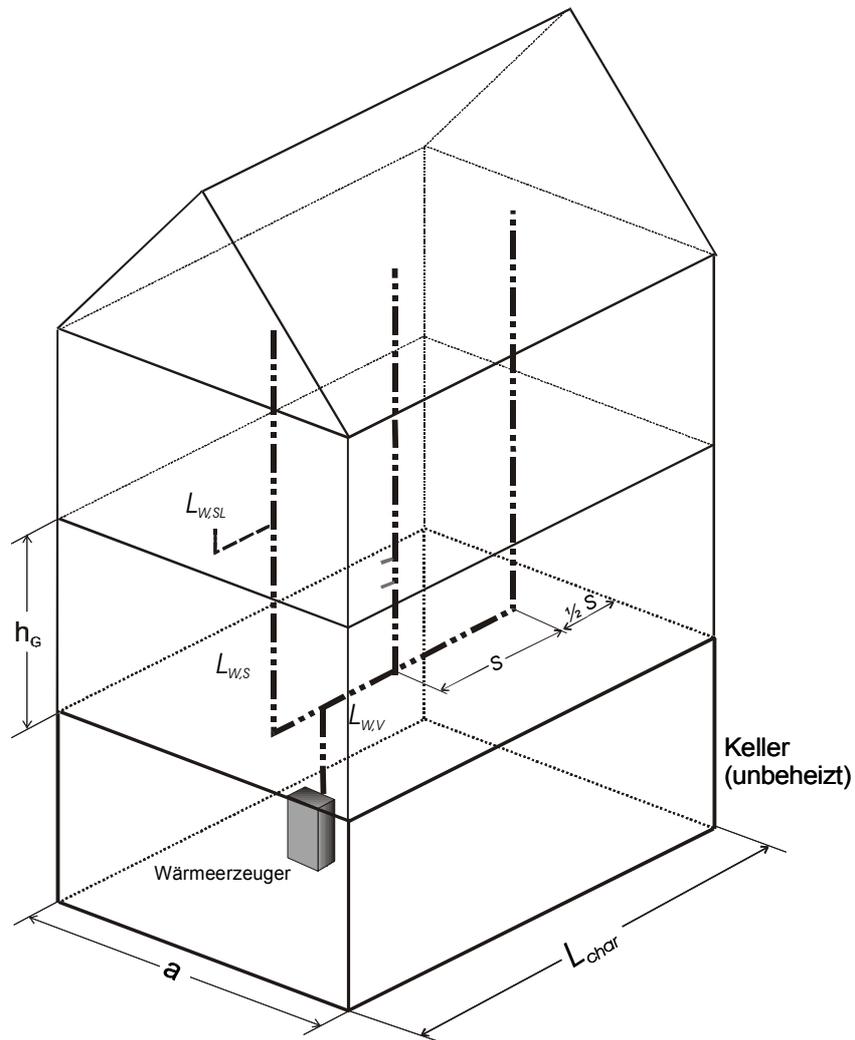


Bild 19: Vereinfachtes Schema für die Bestimmung von Leitungslängen der zentralen Heizwärmeverteilung mit innen liegenden Steigleitungen

Bild 19 zeigt das Schema des zentralen Warmwasserverteilsystems.

Bereich V

Für den Bereich V entspricht die Leitungslängelänge der der Heizwärmeverteilung mit innen liegenden Steigsträngen (Herleitung siehe Gln. (4-32) bis (4-35)):

$$L_{W,y} = 2 L_{Char} - 10 \quad [m] \quad (4-48)$$

Bereich S

Auch für den Bereich S entspricht die Länge der der Heizwärmeverteilung mit innen liegenden Steigsträngen (Herleitung siehe Gln. (4-36) bis (4-39):

$$L_{W,S} = \frac{n_G L_{char}}{2} \quad [m] \quad (4-49)$$

Bereich SL

Es wird davon ausgegangen, dass von jedem Steigstrang pro Geschoss 5 m Stichleitungen abgehen:

$$L_{W,SL} = n_S \cdot n_G \cdot 5 \quad [m] \quad (4-50)$$

Für $n_S = \frac{L_{char}}{s}$ und $s = 10m$ folgt für die Länge der Stichleitungen:

$$L_{W,SL} = \frac{n_G L_{char}}{2} \quad [m] \quad (4-51)$$

Zentrale Warmwasserbereitung ohne Zirkulation

Die Annahmen für die Stranglängen entsprechen denen bei der Warmwasserbereitung mit Zirkulation. Aufgrund der fehlenden Zirkulationsleitung wird jedoch nur jeweils eine Rohrleitung angesetzt.

Bereich V

$$L_{W,V} = L_{Char} - 5 \quad [m] \quad (4-52)$$

Bereich S

$$L_{W,S} = \frac{n_G L_{char}}{4} \quad [m] \quad (4-53)$$

Bereich SL

Die Länge der Stichleitungen entspricht dem Ansatz bei der zentralen Warmwasserbereitung mit Zirkulation:

$$L_{W,SL} = \frac{n_G L_{char}}{2} \quad [m] \quad (4-54)$$

Zentrale Warmwasserbereitung mit elektrischer Begleitheizung

Für mit elektrischer Begleitheizung ausgestatte zentrale TWW-Verteilnetze werden die gleichen Leitungslängen angesetzt wie für die zentrale Warmwasserbereitung ohne Zirkulation.

Dezentrale und wohnungswise Warmwasserbereitung (ohne Zirkulation)

Die Leitungslänge für die dezentrale und wohnungswise Warmwasserbereitung wird vereinfachend gleich der Länge der Stichleitungen der zentralen Warmwasserbereitung gesetzt: Die Bereiche V und S entfallen.

Bereich SL

Die Länge der Stichleitungen entspricht dem Ansatz bei der zentralen Warmwasserbereitung mit Zirkulation:

$$L_{W,SL} = \frac{n_G L_{char}}{2} \quad [m] \quad (4-55)$$

4.5 Überblick über die Leitungslängen und Vergleich mit den Werten aus DIN V 4701-10

Tab. 17 und Tab. 18 geben einen Überblick über die sich aus den Formeln ergebenden Leitungslängen für die jeweiligen Verteilsysteme der Raumheizung und Warmwasserbereitung. Der in den entsprechenden Formeln verwendeten Gebäudeparameter L_{char} wurde gemäß Gl. (4-15) in eine A_N -abhängige Darstellung überführt. Zum Vergleich sind die Ansätze der DIN V 4701-10 für den Neubau mit aufgenommen.

"Gebäude-nutz-fläche" A_N	beheizte Wohn-fläche	Leitungslängen in m																
		Standardwerte "Bestand"											EnEV-Nachweis Neubau					
		zentrales Verteilsystem außen liegende Steigleitungen					zentrales Verteilsystem innen liegende Steigleitungen					wohnungs- weise Verteilung						
		horizontale Leitungen L_V				Strang- leitungen L_S	Anbinde- leitungen L_A	horizontale Leitungen L_V				Strang- leitungen L_S	Anbinde- leitungen L_A	Steigleitungen				
		Anzahl Geschosse						Anzahl Geschosse						außen- liegend	innen- liegend			
1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	4	8	1	2	3	4			
100 m ²	80 m ²	35	12		11	17	12	1		6	45	67	11	34	30	8	55	
150 m ²	120 m ²	57	23		17	25	23	7		8	67	100	17	36	31	11	83	
200 m ²	160 m ²	79	35	12	22	33	35	12	1	11	89	134	22	39	33	15	110	
300 m ²	240 m ²	124	57	23	33	50	57	23	7	17	134	201	33	44	35	23	165	
500 m ²	400 m ²		102	46	18	56	84	46	18	4	28	223	335	56	54	40	38	275
750 m ²	600 m ²		157	74	32	84	126	74	32	11	42	335	502	84	66	46	56	413
1000 m ²	800 m ²		213	102	46	112	167	102	46	18	56	446	670	112	79	53	75	550
1500 m ²	1200 m ²		157	74	167	251	74	32	84	670	1004	167	104	65	113	825		
2500 m ²	2000 m ²		269	130	279	419	130	60	140	1116	1674	279	154	90	188	1375		
5000 m ²	4000 m ²		548	269	558	837	269	130	279	2232	3348	558	279	153	375	2750		
10000 m ²	8000 m ²		1106	548	1116	1674	548	269	558	4464	6696	1116	529	278	750	5500		

Tab. 17: Leitungslängen Heizwärmeverteilung und Vergleich mit den Werten der DIN V 4701-10 für den EnEV-Nachweis

	"Gebäude-nutz-fläche" A_N	beheizte Wohn-fläche	Leitungslängen in m								
			Standardwerte "Bestand"						EnEV-Nachweis Neubau		
			horizontale Leitungen L_V				Strang-leitungen L_S	Anbinde-leitungen L_A	horizontale Leitungen L_V	Strang-leitungen L_S	Stich-leitungen L_{SL}
			Anzahl Geschosse								
1	2	4	8								
mit Zirkulation	100 m ²	80 m ²	12	1,2			5,6	5,6	28	7,5	7,5
	150 m ²	120 m ²	23	6,7			8,4	8,4	29	11	11
	200 m ²	160 m ²	35	12	1,2		11	11	30	15	15
	300 m ²	240 m ²	57	23	6,7		17	17	32	23	23
	500 m ²	400 m ²		46	18	4,0	28	28	36	38	38
	750 m ²	600 m ²		74	32	11	42	42	41	56	56
	1.000 m ²	800 m ²		102	46	18	56	56	46	75	75
	1.500 m ²	1.200 m ²			74	32	84	84	56	113	113
	2.500 m ²	2.000 m ²			130	60	140	140	76	188	188
	5.000 m ²	4.000 m ²			269	130	279	279	126	375	375
10.000 m ²	8.000 m ²			548	269	558	558	226	750	750	
ohne Zirkulation	100 m ²	80 m ²	6,2	0,6			2,8	5,6	14	3,8	8
	150 m ²	120 m ²	11,7	3,4			4,2	8,4	15	5,7	11
	200 m ²	160 m ²	17,3	6,2	0,6		5,6	11	15	7,6	15
	300 m ²	240 m ²	28	11,7	3,4		8,4	17	16	11	23
	500 m ²	400 m ²		23	9,0	2,0	14	28	18	19	38

Tab. 18: Leitungslängen der Warmwasserverteilung und Vergleich mit den Werten der DIN V 4701-10 für den EnEV-Nachweis

Da die mit dem hier vorgestellten Modell abgeschätzten Leitungslängen in der Summe grob mit den Werten nach DIN V 4701-10 übereinstimmen, können die DIN-Werte alternativ verwendet werden.

5 Elektro-Hilfsgeräte

5.1 Zusammenfassung Elektro-Hilfsgeräte im Bestand

Tab. 19 gibt eine Übersicht über die ermittelten Kenndaten der Elektro-Hilfsgeräte im Bestand. Die Herleitung kann den folgenden Abschnitten entnommen werden.

	elektrische Leistungsaufnahme (Nennleistung)	Betriebszeit	
	P_{el} [W]	jährlich: t	täglich: z
Kessel / Brenner (ohne Regelung)			
Ölkessel	$170 + 1,95 \dot{Q}_n$	$\frac{Q_{Erz}}{\dot{Q}_n}$ [h/a]	–
atmosphärische Gaskessel	–	–	–
Gaskessel mit Gebläsebrenner	$20 + 0,85 \dot{Q}_n$	$\frac{Q_{Erz}}{\dot{Q}_n}$ [h/a]	–
Umwälzpumpen			
Heizkreis	$66 + 1,9 \dot{Q}_{GB} - 0,0003 \dot{Q}_{GB}^2$	t_{HP} [d/a]	24 h/d
Speicherladekreis	$30 + 5 \cdot n_{WE}$	$1,2 \frac{Q_{TW,Erz}}{\dot{Q}_n}$ [h/a]	–
TWW-Zirkulation	$30 + 5 \cdot n_{WE}$	t_{TW} [d/a]	siehe Abschnitt 4.2.2 Gl. (4-4)
Solarkreis	$20 + 5 \cdot n_{WE}$	1750 h/a	–
Regelungen			
Kessel 70er Jahre EFH	20 W	8760 h/a	–
Kessel 80er Jahre EFH	15 W	8760 h/a	–
Kessel 90er Jahre EFH	10 W	8760 h/a	–
Kessel 70er Jahre MFH	35 W	8760 h/a	–
Kessel 80er Jahre MFH	25 W	8760 h/a	–
Kessel 90er Jahre MFH	20 W	8760 h/a	–
Solaranlage	5 W	8760 h/a	–
Wandhängende Wärmeerzeuger mit integrierten Pumpen, inkl. Regelung			
Heizperiode	100 W	t_{HP} [d/a]	24 h/d
Sommer	20 W	t_{TW} [d/a]	24 h/d

Tab. 19: Übersicht über die Kenndaten der elektrischen Hilfsgeräte (Erklärung der Formelzeichen in den jeweiligen Abschnitten)

Dabei sind:

\dot{Q}_n	Nennwärmeleistung des Kessels (siehe Abschnitt 2.1)	[kW]
\dot{Q}_{GB}	Heizlast des Gebäudes im Auslegungsfall	[kW]
n_{WE}	Anzahl Wohneinheiten	[-]
Q_{Erz}	jährlich erzeugte Wärmemenge (für Heizung und ggf. Trinkwassererwärmung)	[kWh/a]
$Q_{TW,Erz}$	jährlich für die Trinkwassererwärmung erzeugte Wärmemenge	[kWh/a]
t_{HP}	Länge der Heizperiode	[d/a]
t_{TW}	jährliche Bereitstellungszeit Trinkwarmwasser	[h/a]

5.2 Kessel

Der jährliche Strombedarf wird wie folgt bestimmt:

$$E_{el,Brenner} = P_{el(Start+Betrieb)} \cdot t_{Betrieb} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5-1)$$

mit: $P_{el(Start+Betrieb)}$ mittlere elektrische Leistungsaufnahme des Kessels während des Brennerbetriebs inkl. Start [W]

Die jährliche Betriebszeit $t_{Betrieb}$ entspricht den Volllaststunden des Kessels:

$$t_{Betrieb} = \frac{Q_{Erz}}{\dot{Q}_n} \quad [\text{h/a}] \quad (5-2)$$

mit: Q_{Erz} jährlich erzeugte Wärmemenge [kWh/a]
 \dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels (siehe Abschnitt 2.1) [kW]

5.2.1 Ölkessel

Auch in den neuesten Herstellerunterlagen fehlen fast immer Angaben zum Hilfsenergieverbrauch. Die einzigen umfassenden Quellen sind deshalb Prüfergebnisse unabhängiger Institute. So hat das Schweizer Bundesamt für Energie in einer Studie aus dem Jahr 1999 den Stromverbrauch einer größeren Anzahl von am Markt erhältlichen Geräten messen lassen [Graf/Nipkow/Messmer 1999]. Dabei zeigt sich eine erhebliche Streuung. So kann bei Geräten mit einer thermischen Leistung kleiner 60 kW der Hilfsenergiebedarf um mehr als den Faktor 4 differieren. Zu erkennen ist, dass Geräte kleinerer Leistung einen deutlich höheren spezifischen Hilfsenergiebedarf haben. Ursache ist der schlechte Wirkungsgrad von kleineren Elektroantrieben aus der normalen Massenproduktion. Zu beachten ist auch, dass das Steuergerät für den Brenner unabhängig von der Brennerlaufzeit das ganze Jahr über etwa 5 W verbraucht. Der Verbrauch der Steuergeräte sollte deshalb der Heizungsregelung zugeschlagen werden, die ebenfalls 8760 h/a in Betrieb ist.

Das Ergebnis der Messungen im stationären Betrieb ist in der folgenden Grafik zusammengefasst.

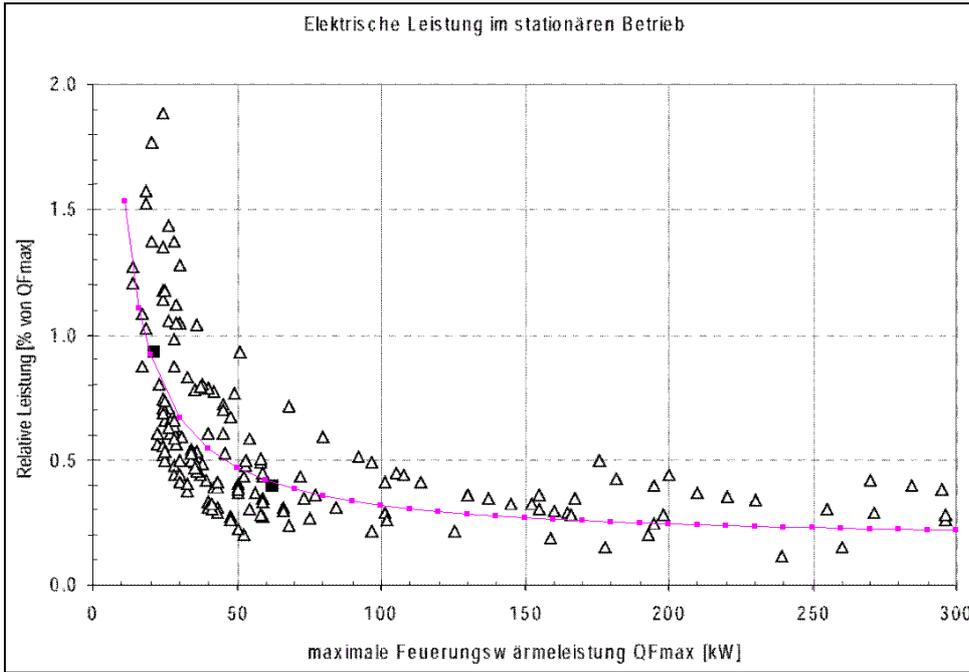


Bild 20: Elektrische Leistungsaufnahme von Ölkesseln im stationären Betrieb
Empirische Ergebnisse aus: [Graf/Nipkow/Messmer 1999]

In die Darstellung der Messergebnisse wurde eine Funktion gelegt, die als Grundlage für die Abschätzung des Leistungsbedarfes von Ölkesseln dient:

$$P_{el(Betrieb)} = 150 + 1,7 \dot{Q}_n \quad [W] \quad (5-3)$$

mit: $P_{el(Betrieb)}$ Elektrische Leistungsaufnahme des Kessels im stationären Betrieb [W]

\dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels [kW]

Ältere Brenner, die nicht der Generation der so genannten „Blaubrenner“ angehören, weisen einen erheblich geringeren Hilfsenergiebedarf auf. Diese Geräte verwirbeln das Brennstoff-Luft-Gemisch weniger intensiv und verzichten teilweise auch auf eine Ölvorwärmung. Diese Geräte kommen im Bereich der Kleinkessel mit Motorleistungen um 50 W aus, was zusammen mit Zündtrafo, Magnetventil und Steuerung einer Mittlere Leistung von etwa 70 W bezogen auf die Vollaststunden entspricht.

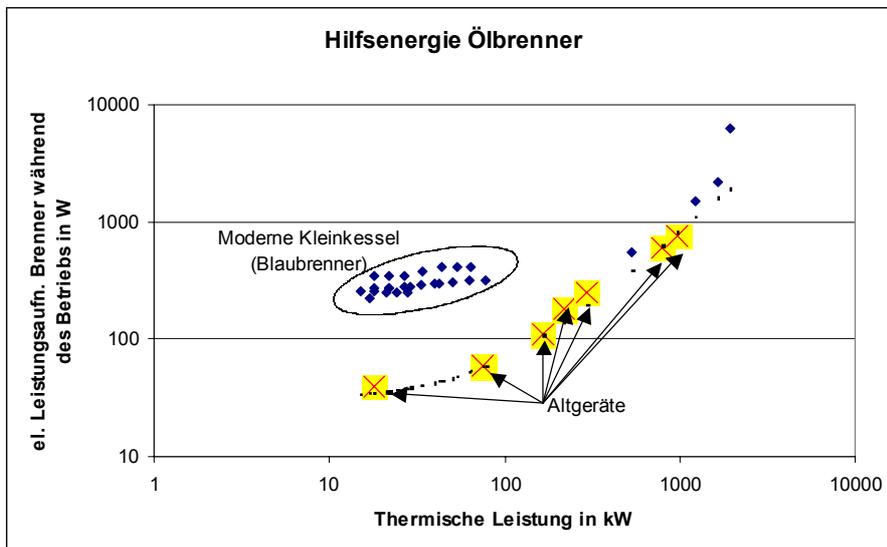


Bild 21: elektrische Leistungsaufnahme von alten und neuen Ölbrennern

Bild 21 zeigt, dass die Verbesserung der Wirkungsgrade und die Verringerung der schädlichen Emissionen von Ölbrennern nur durch einen Mehreinsatz von elektrischer Hilfsenergie möglich wurde. Die dünnen schwarzen Striche zeigen die Werte der Näherungsfunktion für die Hilfsenergieleistungsabschätzung bei Altanlagen.

$$P_{el(Betrieb)} = 30 + 0,1 \dot{Q}_n^{1,3} \quad [W] \quad (5-4)$$

mit: $P_{el(Betrieb)}$ Elektrische Leistungsaufnahme des Kessels im stationären Betrieb [W]
 \dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels [kW]

Analog der Vorgehensweise für den stationären Betrieb, wurde auch in die Darstellung der Messwerte der Leistungsaufnahme beim Start eine Näherungsfunktion gelegt.

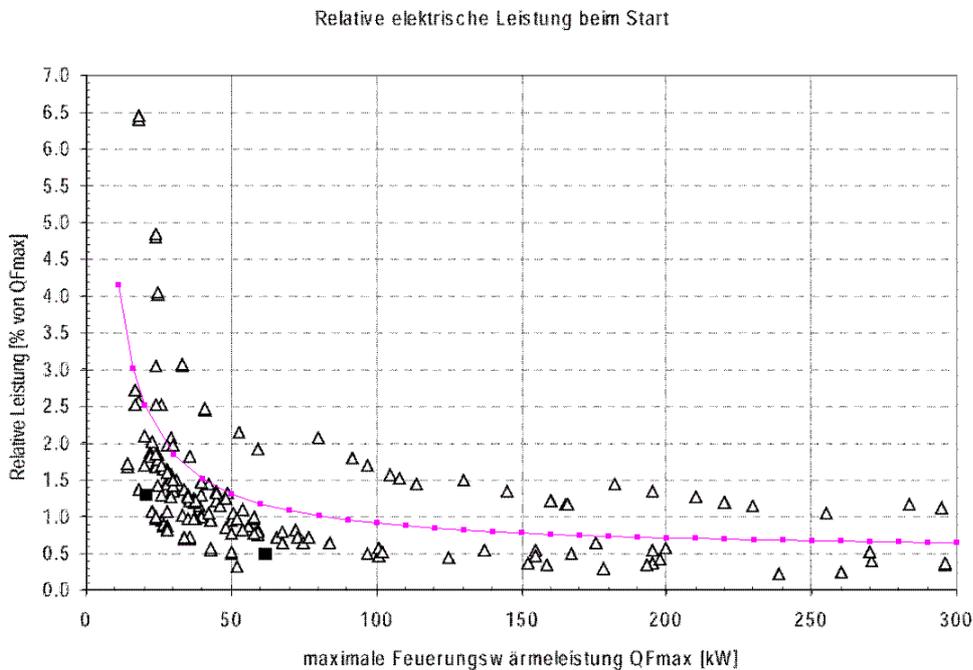


Bild 22: Elektrische Leistungsaufnahme von Ölkesseln beim Start
Empirische Ergebnisse aus: [Graf/Nipkow/Messmer 1999]

$$P_{el(Start)} = 400 + 5 \cdot \dot{Q}_n \quad [W] \quad (5-5)$$

mit: $P_{el(Start)}$ Elektrische Leistungsaufnahme des Kessels in der Startphase [W]
 \dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels [kW]

Das Verhältnis zwischen den Startphasen und dem Vollbenutzungsstunden ist von der Auslastung des Kessels und den im Einzelfall gewählten Regelparametern (Hysterese) abhängig. Bei den Messungen des Schweizer Bundesamtes für Energie sind für repräsentative Kessel unter durchschnittlichen Einsatzbedingungen folgende Anteile ermittelt worden:

	Dauer der Startphase [sec]	Dauer der durchschnittl. Betriebsphase [sec]	Anteil der Startphase
Kleinkessel (25 kW)	22	501	4,4%
Mittelkessel (100 kW)	17	352	4,8%
Großkessel (325 kW)	17	203	8,4%

Unter Einbeziehung des Hilfsenergieverbrauches in den Startphasen (zusätzlich 5% zu den Vollbenutzungsstunden) ergibt sich damit folgende Näherungsgleichung für den Hilfsenergiebedarf während des Brennerbetriebs:

$$P_{el(Start+Betrieb)} = 170 + 1,95 \cdot \dot{Q}_n \quad [W] \quad (5-6)$$

mit: $P_{el(Start+Betrieb)}$ mittlere elektrische Leistungsaufnahme des Kessels während des Brennerbetriebs inkl. Start [W]

\dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels [kW]

Die Schweizer Studie macht deutlich, dass ein modulierender Betrieb, wie er bei neueren Geräten üblich ist, zwar durch eine Reduktion der nötigen Startvorgänge die Emissionen verringert, den Hilfsenergieverbrauch jedoch erhöht [Graf/Nipkow/Messmer 1999]. Die Steigerung liegt jedoch mit einer Größenordnung von 10% in einem Bereich, der für eine Abschätzung vernachlässigt werden kann.

5.2.2 Gaskessel

Für Gaskessel sind bisher keine empirisch erhobenen Daten bekannt. Es ist deshalb also nur eine Abschätzung aufgrund folgender Tatsachen möglich:

- Im Grundsatz werden für Anbaubrenner bei Gasgeräten bis auf die nicht nötige Brennstoffvorwärmung die selben Komponenten verwendet, wie bei Ölbrennern.
- Die Motorleistung für die Gebläse fällt, wie sich der folgenden Liste eines Brennerherstellers entnehmen lässt etwa um den Faktor 2 geringer aus, weil keine Ölpumpe angetrieben werden muss und sich der gasförmige Brennstoff leichter mit der Luft mischen lässt als ein Ölnebel.

Motorleistung Ölbrenner

Bis Kesselleistung 30 KW	0,08 KW
Bis Kesselleistung 60 KW	0,1 KW
Bis Kesselleistung 170 KW	0,3 KW
Bis Kesselleistung 300 KW	0,62 KW

Motorleistung Gasbrenner

Bis Kesselleistung 40 KW	0,025 KW
Bis Kesselleistung 80 KW	0,055 KW
Bis Kesselleistung 150 KW	0,1 KW
Bis Kesselleistung 260 KW	0,3 KW
Bis Kesselleistung 500 KW	0,62 KW

Motordaten der Fa. Weishaupt

Dauer [s]	Ölvor-					Leistung [W]	Dauer [s]	Gas-					Leistung [W]
	wärmung	Vorspülung	Zündung	Betrieb	Stillstand			wärmung	Vorspülung	Zündung	Betrieb	Stillstand	
	0	12	0	601	1615								
Magnetventil			X		X	9			X		X	9	
Zündtrafo		X	X			173		X	X			173	
Motor (Ölpumpe+Gebläse)		X	X	X	X	110		X	X	X	X	60	
Ölvorwärmung	X	X	X	X	X	70						0	
Steuergerät	X	X	X	X	X	5		X	X	X	X	5	
Summe						367						247	
Öl				X		23.750	Gas			X		23.750	

Leistung und Einschalt Dauern der Einzelkomponenten eines 25 kW Ölbrenners

Aus den Daten des Ölbrenners abgeleitet, die Ansätze für einen Gasbrenner gleicher Leistung

Aus dem Vergleich ergibt sich, dass bei bodenstehenden Gaskesseln die Leistungsaufnahme im Betrieb ca. 40% und in der Startphase ca. 70% der von Ölkesseln gleicher Leistung entspricht. Rechnet man diese Faktoren in die Näherungsgleichung ein, dann ergibt sich für den Hilfsenergiebedarf von Gaskesseln mit Gebläseburnern folgende Näherungsfunktion:

$$P_{el(Start+Betrieb)} = 20 + 0,85 \cdot \dot{Q}_n \quad [W] \quad (5-7)$$

mit: $P_{el(Start+Betrieb)}$ mittlere elektrische Leistungsaufnahme des Kessels während des Brennerbetriebs inkl. Start [W]

\dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels [kW]

Tab. 20 zeigt die ermittelten Werte für die elektrische Leistungsaufnahme von Öl- und Gaskesseln mit Gebläseburner im Vergleich.

		mittlere elektrische Leistungsaufnahme $P_{el(Start+Betrieb)}$ während Brennerbetrieb inkl. Start [W]	
		Ölkessel	Gaskessel mit Gebläseburner
Nennwärmeleistung Kessel	10 kW	190	29
	20 kW	209	37
	30 kW	229	46
	50 kW	268	63
	75 kW	316	84
	100 kW	365	105
	200 kW	560	190
	300 kW	755	275
	500 kW	1145	445

Tab. 20: Standardwerte für den Hilfsstrombedarf Brenner

5.3 Wandhängende Wärmeerzeuger mit integrierten Pumpen

Diese Geräte decken ein Leistungsspektrum von etwa 10 bis 30 kW ab und lösen im Bereich der Einfamilien- und Reihenhäuser zunehmend die bodenstehenden Kessel ab. Die Stiftung Warentest hat in Heft 11/2000 einen Test von 11 wandhängenden Gasgeräten im oben genannten Leistungsbereich veröffentlicht. Dabei wurde auch der Hilfsenergiebedarf gemessen und in eine mittlere Leistung während der Heizzeit umgerechnet. Mit Werten zwischen 70 und 111 W war die Streuung relativ gering. In diesem Leistungsbedarf ist auch der Stromverbrauch der Pumpen und der Regelung enthalten.

Der Wert für die mittlere elektrische Leistungsaufnahme von wandhängenden Gaskesseln bzw. -thermen wird daher wie folgt angesetzt:

$$\overline{P_{el}}(\text{Heizzeit}) = 100 \text{ W}$$

$$\overline{P_{el}}(\text{Sommer}) = 20 \text{ W}$$

mit: $\overline{P_{el}}(\text{Heizzeit})$ mittlere elektrische Leistungsaufnahme inkl. Brenner, Umwälzpumpe und Regelung während der Heizzeit für Raumheizung (und ggf. Trinkwarmwasser) [W]

$\overline{P_{el}}(\text{Sommer})$ mittlere elektrische Leistungsaufnahme inkl. Brenner, Speicherladepumpe und Regelung während des Sommers für die Trinkwassererwärmung [W]

Bei diesen Geräten sind keine zusätzlichen Werte für Umwälzpumpe und Regelung zu berücksichtigen.

5.4 Umwälzpumpen

5.4.1 Umwälzpumpen Heizkreis

Bei wandhängenden Kesseln und Thermeneinheiten ist der Hilfsenergiebedarf der Umwälzpumpe(n) bereits im Stromverbrauch des Gerätes enthalten (siehe Abschnitt 5.3). Ist die Heizungsumwälzpumpe nicht in den Wärmeerzeuger integriert, muss der Strombedarf getrennt abgeschätzt werden.

Der jährliche Strombedarf für die Heizungsumwälzpumpe berechnet sich nach DIN V 4701-10 Gl. (5.3.2-3) wie folgt:

$$E_{h,d,HE} = \frac{P_{el} t_{HP} z}{f_p 1000} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5-8)$$

mit: P_{el} elektrische Leistungsaufnahme Heizungsumwälzpumpe (Nennleistung) [W]

t_{HP} Länge der Heizperiode [d/a]

z tägliche Betriebszeit der Umwälzpumpe [h/d]
Standardwert Bestand: 24 h/d

f_p Korrekturfaktor für regelbare Pumpen [-]
Standardwert Bestand: 1,0

Die DIN 4701-10 Anhang C schätzt für neu zu errichtende Anlagen die Leistung der Pumpe P_{el} mit einem nach der Auslegungstemperatur differenzierten Ansatz ab. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass bei abnehmender Spreizung für den Transport der gleichen Wärmemenge ein entsprechend größeres Volumen je Zeiteinheit umgewälzt werden muss.

	P_{el} [W]
90°/70°-Heizkreis	41+0,046 A_N
70°/55°-Heizkreis	44+0,059 A_N
55°/45°-Heizkreis	45+0,085 A_N
35°/28°-Heizkreis	80+0,150 A_N

Tabelle 5.3-3 der DIN 4701-10

Dieser Ansatz berücksichtigt jedoch nicht den spezifischen Wärmebedarf der Gebäude, und ist deshalb nicht ohne weiteres auf den Altbaubereich übertragbar.

Genau wie bei Wärmeerzeugern macht sich auch bei Heizungsumwälzpumpen für Einfamilien- und Reihenhäusern der spezifisch schlechtere Wirkungsgrad von kleinen Elektroantrieben bemerkbar. So hatte die bisher kleinste lieferbare dreistufig schaltbare, für den Einsatz in EFH ausgelegte 50 Watt-Pumpe in der max. Stufe einen Wirkungsgrad von 18% und in der kleinsten Stufe (20 Watt_{el.}) sinkt der Wirkungsgrad auf 10%. Insbesondere im Hinblick auf kleine Heizungsanlagen ist daher eine überproportional hohe Pumpleistung festzustellen. Dazu kommt, dass gerade bei Pumpen Heizungsbauer dazu neigen, im Zweifelsfall lieber auf der sicheren Seite zu bleiben und deshalb überzudimensionieren. Feldmessungen im Rahmen des RAVEL-Programms in der Schweiz haben dokumentiert, dass die in der Praxis eingebauten Pumpenleistungen weit über den theoretisch nötigen Werten liegen [RAVEL 1995]. In die in doppelt logarithmischem Maßstab aufgetragene Punktwolke haben wir vier Funktionen gelegt, die einen Anhaltswert für die vermutlich verwendete Pumpenleistung liefert. Die Standards, die den Funktionen zu Grunde liegen, sind in Tab. 21 dargestellt.

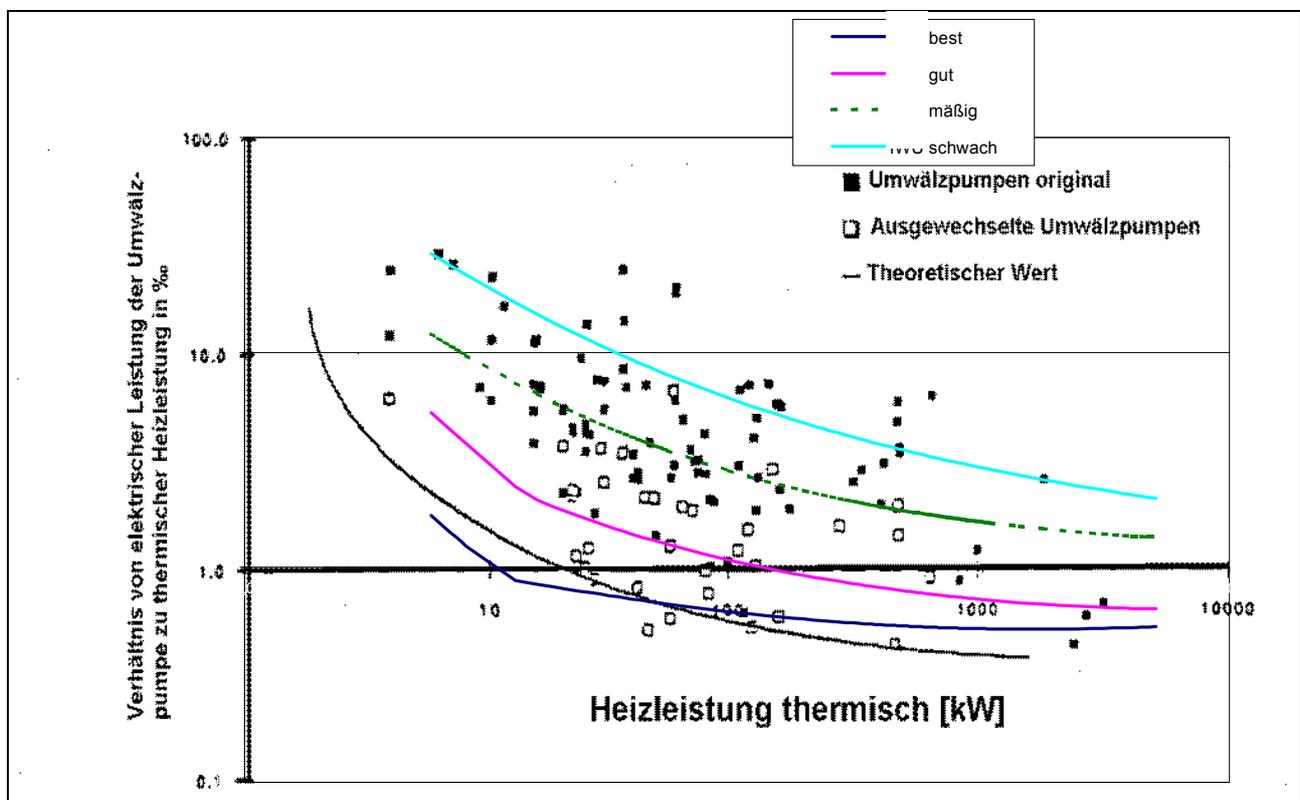


Bild 23: Aus der RAVEL-Studie „Leistungsreduktion bei Umwälzpumpen“ die Darstellung der Pumpenleistung in Abhängigkeit der Heizlast [RAVEL 1995]; darüber gelegt: die Ergebnisse der eigenen Berechnungen mit vier verschiedenen energetischen Standards

Dabei ist unter der thermischen Heizleistung nicht die Nennleistung des installierten Kessels zu verstehen, sondern die max. Heizlast des Gebäudes (zum Zeitpunkt, als das Heizsystem bzw. die Pumpe eingebaut wurde). In diesen empirisch ermittelten Werten (Punktwolke im Diagramm) sind bereits Überdimensionierungen enthalten. Die Größe der Überdimensionierungen ist eine unter mehreren Annahmen, die verschiedene Anlagenstandards beschreibt.

Eingangsgrößen:		Effizienz-Standard			
		best	gut	mäßig	schwach
Spreizung des Heizsystems	K	20	20	15	10
untere Grenze el. Leistung Pumpe	W	10	30	30	30
Einzelwiderstände:					
Heizkessel	m _{WS}	0,1	0,1	0,15	0,2
Mischer	m _{WS}	0,2	0,2	0,3	0,4
Thermostatventil	m _{WS}	0,6	0,6	1	1,4
Wärmemengenzähler	m _{WS}	0	1	1,25	1,5
Summe:		0,9	1,9	2,7	3,5
Druckverlust Verteilung	m _{WS} /m	0,005	0,005	0,0075	0,01
Faktoren für Näherungsgl. Wirkungsgrad					
Konstante C		0,0644	0,0644	0,0211	0,0041
Konstante E		0,3242	0,3242	0,4668	0,6792
Angstzuschlag Festwert	W	0	10	40	80
Angstzuschlag Prozent		0%	1%	5%	10%

Tab. 21: Faktoren zur Berechnung der Pumpenleistung für die vier Standardvarianten (Werte für C und E aus [COSTIC 2000])

Die erforderliche Leistung der Umwälzpumpe kann im Rahmen von Energiebilanzprogrammen mit Hilfe einiger Annahmen aus den vorliegenden Gebäudedaten ermittelt werden.

Dazu wird zunächst die für den Auslegungsfall (kältester Tag des Jahres) zu erbringende mechanische Leistung berechnet. Diese ergibt sich aus dem max. Volumenstrom und dem nötigen Differenzdruck (Förderhöhe).

Der erforderliche **Volumenstrom** berechnet sich aus:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}_{GB}}{1,16 * \Delta\vartheta} \quad [m^3/h] \tag{5-9}$$

- mit: \dot{Q}_{GB} Heizlast des Gebäudes bei Normauslegungstemperatur
 $\Delta\vartheta$ Temperaturdifferenz (Spreizung), abhängig vom gewählten Heizsystem
 = 20 K bei klassischer 2-Rohr-Heizung (Radiatoren)
 = 10 K bei Niedertemperaturheizungen und Einrohrsystemen
 = 5 K bei Flächenheizungen (Wand- oder Fußbodenheizung)

Die **Förderhöhe** h ergibt sich aus:

$$h = \frac{R \cdot L_{Rohr,max}}{1000} + \sum_i Z_i \quad [m] \tag{5-10}$$

mit R Rohrreibungsdruckverlust [mm/m]
 = 5 mm/m (entspr. 50 Pa/m) bei Altanlagen (mit größeren Querschnitten) oder neuen, auf Effizienz hin optimierten Systemen
 = 10 mm/m (entspr. 100 Pa/m) im Standardfall.

$\sum Z_i$ Summe der Einzelwiderstände [m]
 für Heizkessel, Mischer, Thermostatventil und ggf. Wärmemengenzähler.
 Dieser Summenwert kann je nach Anlage zwischen 0,9 und 3,5 m Wassersäule betragen. Um die Ansätze für die Abschätzung der Pumpenleistung zu vereinfachen sind oben in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Faktoren zur Berechnung der Pumpenleistung für die vier Standardvarianten“ die Basiswerte für die Varianten aufgelistet.

Bei höheren Gebäuden und hohen Vorlauftemperaturen leistet der thermische Auftrieb einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Umwälzung des Heizmediums. Je Kelvin Spreizung und Meter Höhendifferenz sind von der Förderhöhe 0,0625 mbar, entsprechend 0,637 mm Wassersäule abzuziehen.

Die Länge des längsten Rohrstrangs $L_{rohr,max}$ kann vereinfacht wie folgt bestimmt werden:

$$L_{Rohr,max} = 2 \cdot (L_{Char} + n_{VG} \cdot h_G) \quad [m] \quad (5-11)$$

mit: L_{Char} Charakteristische Gebäudelänge (siehe Abschnitt 3.3) [m]
 n_{VG} Anzahl der Vollgeschosse
 h_G Geschosshöhe (Standardwert = 2,8 m)

Die Förderhöhe h wird in der Regel (Wärmeerzeuger im Keller) um den thermischen Auftrieb vermindert:

$$H = h - 0,000637 \cdot \Delta h \cdot \Delta \vartheta \quad [m] \quad (5-12)$$

mit: H Förderhöhe vermindert um den thermischen Auftrieb [m]
 h Förderhöhe ohne therm. Auftrieb [m]
 0,000637 Konstante [m / (K m)]
 Δh Höhe des Gebäudes [m]
 $\Delta \vartheta$ Spreizung Vorlauf–Rücklauf [K]

Bei Dachheizzentralen ist $\Delta \vartheta$ mit einem negativen Vorzeichen zu versehen, da hier die Pumpe gegen den thermischen Auftrieb arbeiten muss.

Die **mechanische Leistung** der Pumpe ist gleich der zu leistenden Hubarbeit:

$$P_{mech} = \dot{m} \cdot g \cdot H \quad [W] \quad (5-13)$$

mit P_{mech} maximal erforderliche mechanische Leistung der Pumpe [W]
 \dot{m} max. Massenstrom [kg/s]
 g Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²
 H Förderhöhe [m]

Die mechanische Hubarbeit muss nun über den Wirkungsgrad der Pumpe in eine **elektrische Leistung** umgerechnet werden. Die Wirkungsgrade von 77 Heizungspumpen verschiedener Hersteller sind in [COSTIC 2000] zusammen getragen und die Werte der 71 typischen Geräte in Näherungsgleichungen für

drei verschiedene Effizienzstandards zusammengefasst worden. Die Zahlenwerte für die Konstante und den Exponenten der Näherungsfunktionen stehen in Tab. 21.

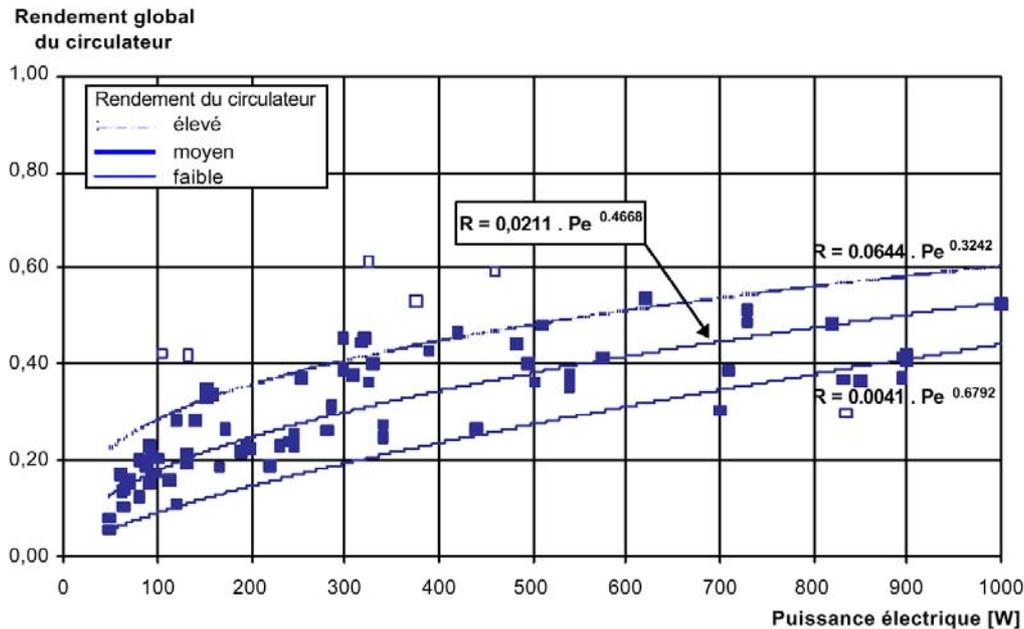


Bild 24: Wirkungsgrad von Heizungsumwälzpumpen in Abhängigkeit von der elektrischen Leistungsaufnahme – Ergebnisse einer Felduntersuchung (aus: [COSTIC 2000])

Die **theoretische elektrische Leistung** der Pumpe ist:

$$P_{el} = \frac{P_{mech}}{\eta_{Pumpe}} \quad [W]$$

Dabei gilt für den Wirkungsgrad der Pumpe folgender empirisch ermittelter Ansatz:

$$\eta_{Pumpe} = \left(C \cdot P_{mech}^E \right)^{\frac{1}{E+1}} \quad (5-14)$$

mit: P_{el} erforderliche elektrische Leistung der Pumpe (ohne Zuschläge) [W]

P_{mech} max. nötige Leistung der Pumpe (s. o.) [W]

η_{Pumpe} Wirkungsgrad der Pumpe

C, E Konstanten (Wert gemäß dem vorliegenden Effizienzstandard, siehe Tab. 21)

Die elektrische Leistung ist somit gleich:

$$P_{el} = \left(\frac{P_{mech}}{C} \right)^{\frac{1}{E+1}} \quad [W] \quad (5-15)$$

Die **tatsächliche elektrische Leistung** der Pumpe liegt jedoch in der Regel über dem theoretisch ermittelten Wert. Das liegt zum einen daran, dass nicht exakt jede benötigte Leistung einer Pumpe auch lieferbar ist, und zum anderen daran, dass besonders bei kleineren Anlagen häufig nicht gerechnet, sondern ge-

schätzt und dabei aus Sicherheitsgründen eher überdimensioniert wird. Deshalb ist der Umfang, in dem eine Überdimensionierung stattfindet, in einen Festwert und einen Prozentwert auf geteilt (vgl. Tab. 21).

$$P_{el,real} = A + (1 + B) \cdot P_{el} \quad [W]$$

- mit: **A** konstanter Angstzuschlag [W]
 best = 0 W, gut = 10 W, mittel = 40 W, schlecht = 80 W
- B** relativer Angstzuschlag [%]
 best = 0 %, gut = 1 %, mittel = 5 %, schlecht = 10 %

Mit Hilfe des oben beschriebenen Modells wurden für typische Gebäude Anhaltswerte für die elektrische Leistungsaufnahme von Umwälzpumpen in Abhängigkeit von der Heizlast des Gebäudes bei Auslegungstemperatur bestimmt. Diese sind in Tab. 22 dargestellt. Sind keine genauen Daten bekannt kann als Standardwerte die Kategorie „mäßig“ verwendet werden.

		elektrische Leistungsaufnahme Heizungsumwälzpumpe in W							
		Effizienzstandard Verteilnetz und Pumpe							
		best		gut		mäßig		schwach	
Heizlast des Gebäudes bei Auslegungstemperatur	1 kW	10		30		50		120	
	2 kW	10		30		55		130	
	3 kW	10		30		60		140	
	5 kW	10		30		65		160	
	7 kW	10		30		75		180	
	10 kW	10	1,0 ‰	30	3,0 ‰	85	8 ‰	200	20 ‰
	15 kW	13	0,8 ‰	30	2,0 ‰	100	7 ‰	230	15 ‰
	20 kW	16	0,8 ‰	35	1,7 ‰	110	5 ‰	260	13 ‰
	30 kW	22	0,7 ‰	45	1,5 ‰	135	4,5 ‰	310	10 ‰
	50 kW	35	0,7 ‰	65	1,3 ‰	180	3,6 ‰	400	8 ‰
	100 kW	60	0,6 ‰	110	1,1 ‰	280	2,8 ‰	600	6 ‰
500 kW	250	0,5 ‰	400	0,8 ‰	900	1,8 ‰	1700	3,4 ‰	
1000 kW	500	0,5 ‰	700	0,7 ‰	1600	1,6 ‰	3000	3,0 ‰	

‰ = Promille-Angaben, elektrische Leistung bezogen auf Gebäudeheizlast

Tab. 22: Anhaltswerte für die elektrische Leistungsaufnahme von Heizungsumwälzpumpen

Für die Software-Umsetzung können folgende Näherungsfunktionen verwendet werden:

für Effizienzstandard

„best“: $P_{el} = 7,1 + 0,53 \dot{Q}_{GB}$ [W] (5-16)

„gut“: $P_{el} = 25 + 0,77 \dot{Q}_{GB}$ [W] (5-17)

„mäßig“: $P_{el} = 66 + 1,9 \dot{Q}_{GB} - 0,0003 \dot{Q}_{GB}^2$ [W] (5-18)

„schwach“: $P_{el} = 163 + 3,7 \dot{Q}_{GB} - 0,001 \dot{Q}_{GB}^2$ [W] (5-19)

mit: \dot{Q}_{GB} Heizlast des Gebäudes im Auslegungsfall [kW]

5.4.2 Umwälzpumpen Speicherladekreis

Der jährliche Strombedarf für die Umwälzpumpe im Speicherladekreis berechnet sich nach DIN V 4701-10 Gl. (5.1.3-5) wie folgt:

$$E_{TW,s,HE} = \frac{P_{el} t_{SpLade}}{1000} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5-20)$$

mit: P_{el} elektrische Leistungsaufnahme Speicherladepumpe (Nennleistung) [W]
 t_{SpLade} jährliche Betriebszeit Speicherladepumpe [h/a]

Die elektrische Leistungsaufnahme wird wie folgt angesetzt:

$$P_{el} = 30 + 5 \cdot n_{WE} \quad [\text{W}] \quad (5-21)$$

mit: n_{WE} Anzahl Wohneinheiten

Die Einschaltdauer wird wie folgt berechnet:

$$t_{SpLade} = 1,2 \frac{Q_{TW} + Q_{TW,d} + Q_{TW,s}}{\dot{Q}_n} \quad [\text{h/a}] \quad (5-22)$$

mit: Q_{TW} Nutzenergiebedarf Trinkwarmwasser [kWh/a]
 $Q_{TW,d}$ Wärmeverluste Trinkwarmwasser-Verteilung [kWh/a]
 $Q_{TW,s}$ Wärmeverluste Trinkwarmwasser-Speicherung [kWh/a]
 \dot{Q}_n Nennwärmeleistung des Kessels [kW]

5.4.3 Umwälzpumpen Trinkwarmwasser-Zirkulation

Der jährliche Strombedarf der Zirkulationspumpe berechnet sich nach DIN V 4701-10 Gl. (5.1.2-6) wie folgt:

$$E_{TW,d,HE} = \frac{P_{el} t_{TW} z}{1000} \quad [\text{kWh/a}] \quad (5-23)$$

mit: P_{el} elektrische Leistungsaufnahme Heizungsumwälzpumpe (Nennleistung) [W]
 t_{TW} jährliche Bereitstellungszeit Trinkwarmwasser [d/a]
 z tägliche Betriebszeit der Zirkulationspumpe [h/d]

In Altbauten sind vielfach noch Heizungsumwälzpumpen als Zirkulationspumpen eingebaut, welche für eine größere Förderhöhe ausgelegt sind und dem zu Folge eine viel zu große Leistung aufweisen. Auch hinsichtlich der Laufzeit der Pumpen sind extreme Unterschiede möglich. Von einem Dauerbetrieb bis zu einer Schaltung über Anforderungstaster sind in der Praxis alle Zwischenstufen vertreten. Die DIN V 4701-10 Anhang C schätzt für neu zu errichtende Anlagen die Leistung der Zirkulationspumpen mit dem Ansatz:

$$P_{el} = 27 + 0,008 \cdot A_N \quad [\text{W}]$$

Damit ergeben sich für ein EFH ca. 30 W und für ein sehr großes Gebäude mit einem A_N von 10.000 m² lediglich 100 W. Das erscheint für optimal geplant Neubaubjekte realisierbar, ist jedoch von den Pumpengrößen, die im Altbau anzutreffen sind, weit entfernt.

Die Nennleistung für Zirkulationspumpen im Bestand wird wie folgt angesetzt:

$$P_{el} = 30 + 5 \cdot n_{WE} \quad [W] \tag{5-24}$$

mit: n_{WE} Anzahl Wohneinheiten

Für die Zirkulationsdauer z werden die in Abschnitt 4.2.2 Gl. (4-4) angesetzten Standardwerte verwendet.

5.4.4 Umwälzpumpen Solarkreis

Der jährliche Strombedarf einer Solarkreispumpe berechnet sich nach DIN V 4701-10 Gl. (5.1.4-44) wie folgt:

$$E_{TW,g,HE} = \frac{P_{el} \cdot t_{P,sol}}{1000} \quad [kWh/a] \tag{5-25}$$

mit: P_{el} elektrische Leistungsaufnahme Solarkreispumpe (Nennleistung) [W]

$t_{P,sol}$ jährliche Betriebszeit Solarkreispumpe [h/a]

Für die elektrische Leistungsaufnahme werden folgende Werte angesetzt:

$$P_{el} = 20 + 5 \cdot n_{WE} \quad [W] \tag{5-26}$$

mit: n_{WE} Anzahl Wohneinheiten

Ist die jährliche Betriebszeit $t_{P,sol}$ nicht bekannt, so wird im Einklang mit DIN V 4701-10 ein Pauschalwert von 1750 h/a angesetzt.

5.5 Stromverbrauch von Regelungen

In der DIN 4701-10 werden, außer bei den Lüftungsanlagen (in diesem Fall wird auf Herstellerangaben verwiesen), regelungstechnische Einrichtungen bezüglich ihres Hilfsenergiebedarfes nicht gesondert bilanziert.

Die elektronischen Bauteile, mit denen Regelungen aufgebaut werden, kommen mit sehr wenig Strom aus. In der Regel sind es nur wenige Watt. Der Stromverbrauch der Regelgeräte wird hauptsächlich von der Auswahl bzw. der Qualität der verwendeten Netzteile bestimmt. Am Markt befinden sich Geräte mit erheblichen Unterschieden bezüglich der Leistungsaufnahme, die nichts mit dem Funktionsumfang der Geräte zu tun haben. So gibt es Solarregler, die mit 3 W auskommen, und einfach Kesselsteuerungen, die 15 W verbrauchen.

In Abhängigkeit von Gebäudegröße und dem Baualter der Heizanlagen werden folgende Werte für den Stromverbrauch angesetzt. Diese Werte enthalten auch den Energiebedarf der Stellantriebe (motorisch gesteuerter Mischer u.s.w.):

Jahr des Einbaus der Heizungsanlage	EFH	MFH
70er Jahre	20 W	35 W
80er Jahre	15 W	25 W
90er Jahre	10 W	20 W

Bei Gebäuden mit wohnungsweiser Versorgung (Etagenheizungen / wandhängende Wärmeerzeuger) wird eine elektrische Leistung von 15 W pro Wohneinheit angesetzt. Diese ist im Strombedarf für den Wärmeerzeuger schon enthalten (siehe Abschnitt 5.3).

Der Stromverbrauch für Regelungen von Solar- und Lüftungsanlagen wird pauschal auf 5 W je Anlage festgelegt.

Grundsätzlich wird bei Regelungen von einer ganzjährigen Betriebszeit (8760 h/a) ausgegangen.

6 Vereinfachte Ansätze für die Eingangsgrößen

Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung angegebenen Formeln verwenden die primären Gebäudeparameter als unabhängige Variablen. Sofern diese bekannt sind, sollten sie auch als Eingangsgrößen verwendet werden.

Für Fälle, in denen vorhandene Datensätze diese Größen nicht enthalten, können alternative Eingangsgrößen verwendet werden. Im Folgenden werden Umrechnungsformeln für eine entsprechende Abschätzung angeboten.

Die „Gebäudenutzfläche“ A_N ist je nach Gebäude zwischen 10 und 40% größer als die reale Wohnfläche (vgl. [IWU 2001]). Falls das Gebäude-Bruttovolumen nicht bekannt ist und A_N -abhängige Werte aus der DIN V 4701-10 verwendet werden sollen, kann folgende Abschätzung vorgenommen werden:

$$A_N = 1,25 \cdot A_{Wohn} \quad [m^2] \quad (6-1)$$

mit: A_{Wohn} Wohnfläche (gemäß II. Berechnungsverordnung) $[m^2]$

Ist die Anzahl der Wohneinheiten n_{WE} nicht bekannt, so kann mit einer durchschnittlichen Wohnfläche von 80 m² gerechnet werden:

$$n_{WE} = \frac{A_{Wohn}}{80 m^2} \quad [m^2] \quad (6-2)$$

Ist die reale Wohnfläche nicht bekannt, aber das von der thermischen Hülle eingeschlossene Volumen, so kann folgende Abschätzung verwendet werden:

$$A_{Wohn} = 0,256 \cdot V_e \quad [m^2] \quad (6-3)$$

mit: V_e beheiztes Gebäudevolumen (nach DIN V 4108-6) $[m^3]$

Die Gebäudeheizlast \dot{Q}_{GB} sollte in Anlehnung an das Hüllflächenverfahren der VDI 3808 bestimmt werden. Die EnEV-Nachweisgröße H_T' kann dabei als Eingangsgröße dienen:

$$\dot{Q}_{GB} = (H_T' \cdot A_{tH} + H_V) \cdot (g_{i, Norm} - g_{u, min}) \quad [m^2] \quad (6-4)$$

mit: $g_{i, Norm}$ Norm-Innentemperatur; Standardwert = 20°C $[^\circ C]$

$g_{u, min}$ Norm-Außentemperatur; Standardwert = -12°C $[^\circ C]$

A_{tH} Fläche der thermischen Hülle des Gebäudes $[m^2]$

H_V temperaturspezifischer Lüftungswärmeverlust $[W/K]$
Standardwert = $0,5 \cdot 0,256 \cdot V_e = 0,128 \cdot V_e$

Die Fläche der thermischen Hülle des Gebäudes A_{tH} kann auch aus den im Energiebedarfsausweis angegebenen Größen A/V_e und V_e zurückgerechnet werden:

$$A_{tH} = A/V_e \cdot V_e \quad [m^2] \quad (6-5)$$

mit: A/V_e Verhältnis Hüllfläche zu beheiztem Volumen gemäß EnEV $[m^3]$

Falls $(H_T \cdot A_{tH} + H_V)$ nicht bekannt ist, kann die Größe auch mit Hilfe des auf A_N bezogenen Heizwärmebedarfs q_H abgeschätzt werden. Es ergibt sich:

$$\dot{Q}_{GB} = \frac{q_H + 31 \frac{kWh}{m^2a}}{66 \frac{kKh}{a}} \cdot A_N \cdot (g_{i, Norm} - g_{u, min}) \quad [kW] \quad (6-6)$$

Dies folgt aus dem vereinfachten Berechnungsverfahren für den Heizwärmebedarf Q_H laut EnEV:

$$Q_H = 66 \frac{kKh}{a} \cdot (H_T \cdot A_{tH} + H_V) - 0,95 \cdot (Q_i + Q_S) \quad [kWh/a] \quad (6-7)$$

Dabei sind die internen Gewinne durch Personen und Geräte folgendermaßen festgelegt:

$$Q_i = 22 \frac{kWh}{m^2a} \cdot A_N \quad [kWh/a] \quad (6-8)$$

Für die solaren Gewinne wurde angenommen, dass 2-Scheiben-Isolierverglasung mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad von 0,7 vorliegt und das Fensterfläche-zu- A_N -Verhältnis 0,16 beträgt. Dies entspricht einem Fensterflächen-zu-Wohnflächen-Verhältnis von 0,2 (Umrechnung s.o.). Laut Untersuchungen des IWU bildet dieser Wert die mittleren Verhältnisse im Gebäudebestand sehr gut ab. Für die solare Einstrahlung wurde der Mittelwert über die Himmelsrichtungen Nord/Süd/Ost/West gebildet (170 kWh/m²a). Damit ergibt sich näherungsweise (vgl. EnEV):

$$Q_S = 0,567 \cdot 170 \frac{kWh}{m^2a} \cdot 0,7 \cdot 0,16 \cdot A_N \approx 11 \frac{kWh}{m^2a} \cdot A_N \quad [kWh/a] \quad (6-9)$$

Anhang A Literatur

- [Boese 00] M. Boese, N. Diefenbach, Minderung der CO₂-Emissionen im Gebäudebestand durch Einführung einer Brennstoffkennzahl, Forschungsbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes, RWTH Aachen, III. Physikalisches Institut A, März 2000
- [COSTIC 2000] Cyssau, R.; Mortier, E.; Palenzuela, D.: La puissance du circulateur - est-elle adaptée a celle de l'installation de chauffage? Comité scientifique et technique des industries climatique (COSTIC), Saint Rémy lès Chevreuse 2000
- [Enkemann 96] T. Enkemann, H. Kruse, H.-J. Laue, Wärmepumpen für Gebäudeheizsysteme, Wärmetechnik 2/1996
- [EPHW 1997] Loga, Tobias; Imkeller-Benjes, Ulrich: Energiepaß Heizung/Warmwasser. Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1997
- [EPHW 1997] T. Loga, U. Imkeller-Benjes; Energiepaß Heizung/Warmwasser. Energetische Qualität von Baukörper und Heizungssystem; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1997
- [Erb 02a] M. Erb (Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal, Schweiz), P. Hubacher (Hubacher Engineering, Engelburg, Schweiz), Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen, aus dem Internet im März 2002
- [Erb 02b] M. Erb (Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal, Schweiz), P. Hubacher (Hubacher Engineering, Engelburg, Schweiz), Erfahrungen an Retrofit-Anlagen im Betrieb, aus dem Internet im März 2002 (www.waermepumpe.ch)
- [Graf/Nipkow/Messmer 1999] Graf, Peter; Nipkow, Jürg; Messmer, Ruedi: Hilfsenergieverbrauch von Öl- und Gasfeuerungen; im Auftrag des Schweizer Bundesamt für Energie; Bern 1999
- [Günther-Pomhoff (Ikarus)] C. Günther-Pomhoff, G. Pfitzner, Wärmepumpen, Forschungsbericht 8-02 im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens des Forschungszentrums Jülich, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, ohne Datum
- [Heidelck 99] R. Heidelck, H. J. Laue, Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen, Endbericht im Auftrag des Fachinformationszentrums Karlsruhe, Informationszentrum für Wärmepumpen und Kältetechnik IZW e.V., Hannover/Karlsruhe, April 1999
- [Hubacher 99] P. Hubacher, Wärmepumpen - heute und morgen, in: Tagungsband zur 6. UAW-Tagung, 4. Mai 1999, HTA Burgdorf, herausgegeben vom Schweizer Bundesamt für Energie
- [IWU 2001] Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: Guter Ansatz - schwache Standards: die neue Energieeinsparverordnung; Stellungnahme zum Referentenentwurf vom 29. November 2000 bzw. Kabinettsbeschluss vom 7. März 2001; IWU, Darmstadt 2001
- [Keller 89] M. Keller, Energetisches Verhalten von Wärmepumpen - Beurteilung von 5 Anlagen der SBB, Schweizer Ingenieur und Architekt Nr. 45, 9. November 1989
- [Kolmetz 93] S. Kolmetz, L. Rouvel, Nutzenergiebedarf für Raumwärme in der Bundesrepublik Deutschland, Forschungsvorhaben für die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des deutschen Bundestages, TU München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, Oktober 1993

- [Kubik 91] W. Kubik, Stillstandsverluste von Warmwasser-Speichern, HLH Bd. 42 (1991) Nr. 2 - Februar
- [LEG] Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung; Hrsg. Hessisches Umweltministerium; Wiesbaden 1993/1999
- [Loga 2002] Loga, Tobias: Heizgrenztemperaturen für Gebäude unterschiedlicher energetischer Standards. Abschätzung der Heizgrenztemperaturen und Bilanzzeiten für das Heizperiodenbilanzverfahren nach EN 832 / DIN V 4108-6; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2002
- [Öko 92] J. Leuchtner et al. , Thermische Solaranlagen - Marktübersicht 1992, Öko-Institut e.V. (Hrsg.), Freiburg i. Br., 1992
- [Öko 97] R. Schüle et al., Thermische Solaranlagen - Marktübersicht, Öko-Institut e.V. (Hrsg.), Ökobuch-Verlag, Staufen bei Freiburg, 1997
- [Ökotest 97] Gas-Brennwertgeräte: Energie aus dem Schornstein, Ökotest-Verlag, 1997
- [Pfitzner (Ikarus)] G. Pfitzner, Konventionelle Wärmeerzeuger, Forschungsbericht 8-03 im Rahmen des Ikarus-Forschungsvorhabens des Forschungszentrums Jülich, Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, ohne Datum
- [RAVEL 1995] Sigg, René; Keller, Lucien: Leistungsreduktion bei Umwälzpumpen. Sparpotentiale, Dimensionierungsgrundlagen, Betriebserfahrungen; Materialien zu RAVEL; Schweizer Bundesamt für Konjunkturfragen; Bern 1995
- [Recknagel 01] E. Schrameck (Hrsg.), Recknagel/Sprenger/Schrameck - Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 01/02, Oldenbourg Verlag 2001
- [Recknagel 66] E.Sprenger (Hrsg.), Recknagel/Sprenger - Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Verlag 1966
- [Recknagel 88] W. Hönmann (Hrsg.), Recknagel/Sprenger/Hönmann - Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 88/89, Oldenbourg Verlag 1987
- [Schüßler/Jagnow 2002] Jagnow, K.: Zusammenfassung und Kommentierung der Diplomarbeit von Frau Dipl. Ing. K. Schüßler zum Thema: Typologisierung der Wärmeabgabe von Verteilnetzen im Bestand; TWW e.V. FH Braunschweig / Wolfenbüttel; Wolfenbüttel 2002
- [SBZ 96] SBZ-Marktübersicht, sbz 5/1996
- [Stilter 85a] T. Stilter, Kennwerte handelsüblicher Ölheizkessel, HLH Bd. 36 (1985) Nr. 1
- [Stilter 85b] T. Stilter, Schweizerische Heizkesselliste erstmals mit Messresultaten, HLH Bd.36 (1985) Nr.8
- [Toess 01] WPZ-Bulletin Nr. 28, Mitteilungsblatt des Wärmepumpen-Testzentrums Winterthur-Töss, Stand 16.07.2001
- [Toess 98] WPZ-Bulletin Nr. 15, Mitteilungsblatt des Wärmepumpentest- und Ausbildungszentrums Winterthur-Töss, Stand 26.02.1998

Anhang B Kesselmodell

1. Jahresnutzungsgrad des Kessels für Heizung $\eta_{ges,H}$

$$\eta_{ges,H} = \frac{(\eta_{k,70} + \Delta\eta_{Betrieb,H}) \cdot \left(1 + \frac{f_{Wärmenutzung} \cdot q_{B,m,H}}{\varphi_H}\right)}{1 + q_{B,m,H} \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right)} \quad [-]$$

- $\eta_{k,70}$ Nennwirkungsgrad des Kessels bei 70 °C Kesseltemperatur, s. tabellierte Werte [-]
- $\Delta\eta_{Betrieb,H}$ Wirkungsgradkorrektur aufgrund der tatsächlichen mittleren Betriebstemperatur [-]
- $f_{Wärmenutzung}$ Ausnutzungsfaktor der Wärmenutzung bei Aufstellung im beheizten Bereich (sonst=0) [-]
- $q_{B,m,H}$ mittlere Bereitschaftsverluste relativ zur Kessel-Nennleistung in der Heizperiode [-]
(z.B. $q_{B,m}=0,01$: Bereitschaftsverlustleistung = 1 % der Nennleistung)
- φ_H Belastungsgrad des Kessels für die Beheizung (s.u.) [-]

Mittlere Betriebsbereitschaftsverluste des Kessels

$$q_{B,m,H} = c_{K,V} \cdot (\vartheta_{k,m,H} - \vartheta_{k,U}) \quad [-]$$

- $c_{k,v}$: Verlustkoeffizient des Kessels: Wärmeverlustleistung relativ zur Kessel-Nennleistung pro °C Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur [1/°C]
- $\vartheta_{k,m,H}$ Mittlere Kesseltemperatur während der Heizperiode [°C]
- $\vartheta_{k,U}$ Umgebungstemperatur des Kessels [°C]

Verlustkoeffizient des Kessels $c_{k,v}$

$$c_{k,v} = \frac{q_{B,70}}{50K} \quad [1/K]$$

- $q_{B,70}$ Bereitschaftsverluste bei 70 °C Kesseltemperatur und 20 °C Umgebungstemperatur, (d.h. Temperaturdifferenz Kessel-Umgebung: 50 K), s. tabellierte Werte [-]

Mittlere Kesseltemperatur während der Heizperiode $\vartheta_{k,m,H}$:

- $\vartheta_{k,m,H}$ = mittlere Heizkreistemperatur $\vartheta_{HK,m}$ (s. u.) bei Niedertemperatur- und Brennwertkesseln
50 °C bei Kesseln mit gleitender Temperaturregelung, in denen kein Kondensat

anfallen darf („unechte“ Niedertemperaturkessel)

Auslegungs-Voraufemperatur des Heizsystems, mindestens aber 70 °C bei Standardkesseln und Standard-Umlauf-Wasserheizern

Umgebungstemperatur des Kessels in der Heizperiode $\vartheta_{k,u}$

$\vartheta_{k,u}$ = 20 °C bei Aufstellung im beheizten Bereich
15 °C bei Aufstellung im unbeheizten Bereich (z.B. im Keller)

Wirkungsgradkorrektur aufgrund der tatsächlichen mittleren Betriebstemperatur:

$\Delta\eta_{\text{Betrieb}}$ = 0,0004 (70 - $\vartheta_{k,m,h}$) für Niedertemperaturkessel, falls $\vartheta_{k,m,h} < 70^\circ\text{C}$
0,0016 (70 - $\vartheta_{k,m,h}$) für Ölbrennwertkessel, falls $\vartheta_{k,m,h} < 70^\circ\text{C}$
0,0024 (70 - $\vartheta_{k,m,h}$) für Gasbrennwertkessel, falls $\vartheta_{k,m,h} < 70^\circ\text{C}$
0 für Standardkessel und Standard-Umlauf-Wasserheizer, bzw. falls $\vartheta_{k,m,h} \geq 70^\circ\text{C}$

Ausnutzungsfaktor der Wärmenutzung $f_{\text{Wärmenutzung}}$

$f_{\text{Wärmenutzung}}$ = 0,85 bei Aufstellung des Kessels im beheizten Bereich (d.h. i.A. in der Wohnung)
0 bei Aufstellung des Kessels im unbeheizten Bereich (z.B. Keller, unbeh. Dachboden)

2. Jahresnutzungsgrad des Kessels für Trinkwarmwasserbereitung

$\eta_{\text{ges,TW}}$

$$\eta_{\text{ges,TW}} = \frac{\eta_{k,70} + \Delta\eta_{\text{Betrieb,TW}}}{1 + q_{B,m,TW} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_{\text{TW}}} - 1\right) \cdot \left(1 - \frac{t_{k,H}}{t_{k,TW}}\right)} \quad [-]$$

$\eta_{k,70}$:	Nennwirkungsgrad des Kessels bei 70 °C Kesseltemperatur, s.o.	[-]
$\Delta\eta_{\text{Betrieb,TW}}$	Wirkungsgradkorrektur aufgrund der tatsächlichen mittleren Betriebstemperatur	[-]
$q_{B,m,TW}$	mittlere Bereitschaftsverluste relativ zur Kessel-Nennleistung bei der Trinkwarmwasserbereitung	[-]
φ_{TW}	Belastungsgrad des Kessels für die Trinkwarmwasserbereitung (s. u.)	[-]
$t_{k,H}$	Anzahl der Tage/Jahr, an denen der Kessel zur Heizung beiträgt = t_{HP} (Dauer der Heizperiode in Tagen/Jahr), wenn der Kessel auch zur Heizung dient = 0, wenn der Kessel nur zur Trinkwarmwasserbereitung dient	[d/a]
$t_{k,TW}$	Länge der „Trinkwarmwasserperiode“: 350 d/a (Tage/Jahr)	[d/a]

Mittlere Betriebsbereitschaftsverluste des Kessels bei der Trinkwarmwassererzeugung:

$$q_{B,m,TW} = c_{K,V} \cdot (\vartheta_{k,Bereit,TW} - \vartheta_{k,U}) \quad [-]$$

$c_{k,v}$:	Verlustkoeffizient des Kessels: s.o.	[1/°C]
$\vartheta_{k,Bereit,TW}$	Mittlere Kesseltemperatur in der Bereitschaftszeit während der Trinkwarmwasserperiode	[°C]
$\vartheta_{k,U}$	Umgebungstemperatur des Kessels, s.o.	[°C]

Mittlere Kesseltemperatur $\vartheta_{k,Bereit,TW}$ während der Bereitschaftszeit in der Trinkwarmwasserperiode:

$$\vartheta_{k,Bereit,TW} = 60 \text{ °C}$$

(Erläuterung: Der Kessel ist am Ende der Speichererwärmung ca. 70 °C warm und kühlt dann nur sehr langsam aus.)

Wirkungsgradkorrektur aufgrund der tatsächlichen mittleren Betriebstemperatur:

$\Delta\eta_{\text{Betrieb}} =$	0,0004 (70 - $\vartheta_{k,m,h}$)	für Niedertemperaturkessel, falls $\vartheta_{k,m,h} < 70^\circ\text{C}$
	0,0016 (70 - $\vartheta_{k,m,h}$)	für Ölbrennwertkessel, falls $\vartheta_{k,m,h} < 70^\circ\text{C}$
	0,0024 (70 - $\vartheta_{k,m,h}$)	für Gasbrennwertkessel, falls $\vartheta_{k,m,h} < 70^\circ\text{C}$
	0	für Standardkessel und Standard-Umlauf-Wasserheizer, bzw. falls $\vartheta_{k,m,h} \geq 70 \text{ °C}$

Mittlere Kesselbetriebstemperatur bei der Trinkwarmwassererwärmung $\vartheta_{k,Betrieb,TW}$

$\vartheta_{k,Betrieb,TW} =$	40 °C bei Niedertemperatur- und Brennwertkesseln
	70 °C bei Standardkesseln

3. Schnittstelle Kessel - Gebäude/Heizsystem

Belastungsgrad des Kessels φ_H für die Heizung:

$$\varphi_H = 0,3 \frac{\dot{Q}_{GB}}{\dot{Q}_n}$$

\dot{Q}_{GB}	Gebäude-Heizleistung	[kW]
----------------	----------------------	------

\dot{Q}_n	Nennleistung des Kessels	[kW]
-------------	--------------------------	------

Anders als bei der Ermittlung der spezifischen Kessel-Nennleistung q_n in Kap. 2.1 ist bei der Ermittlung von φ_H die aktuelle Gebäude-Heizleistung maßgeblich.

Mittlere Temperatur des Heizkreises $\vartheta_{HK,m}$: s. Kapitel 1.2.1.

Belastungsgrad des Kessels φ_{TW} für die Trinkwarmwasserbereitung:

$$\varphi_{TW} = \frac{Q_{TW}^*}{\dot{Q}_n \cdot 24 \frac{h}{d} \cdot t_{k,TW}}$$

Q_{TW}^* Wärmebedarf der Trinkwarmwasser-Anlage (Nutzwärme + Verteilverluste + Speicherverluste) [kWh/a]

$t_{k,TW}$ Länge der „Trinkwarmwasserperiode“: 350 d/a (Tage/Jahr) [d/a]

4. Herleitung des Modells für den Jahresnutzungsgrad eines Kessels (am Beispiel Heizwärmeerzeugung)

Der Gesamtjahresnutzungsgrad berechnet sich aus der vom Kessel zur Verfügung gestellten nutzbaren Wärme dividiert durch den gesamten Brennstoffeinsatz B_{ges} :

$$\eta_{ges,H} = \frac{Q_{Heizkreis} + Q_{Heizraum,nutzbar}}{B_{ges}} = \frac{Q_{Heizkreis}}{B_{ges}} + \frac{Q_{Heizraum,nutzbar}}{B_{ges}} = I + II$$

Als nutzbare Wärme treten zwei Größen auf:

$Q_{Heizkreis}$ ist die direkt an den Heizkreis abgegebene Wärme

$Q_{Heizraum,nutzbar}$ sind die Oberflächen-Wärmeverluste des Kessels, soweit sie zur Raumheizung beitragen. Sie treten nur dann auf, wenn der Kessel im beheizten Bereich installiert ist.

Eine wichtige charakteristische Kenngröße des Heizkessels ist der Kesselwirkungsgrad η_K . Er gibt die Effizienz der Brennstoffausnutzung im Idealbetrieb (ohne Betriebsunterbrechungen) an.

In der Realität treten dagegen Betriebsunterbrechungen auf. Es gibt daher „Ausfallzeiten“ $t_{Ausfall}$, in denen keine Nutzwärme an den Heizkreis abgegeben wird, aber dennoch Wärmeverluste über die Kesseloberfläche entstehen. Im Jahresmittel muss der Kessel in der Betriebszeit des Brenners soviel Energie produzieren, dass auch diese Verluste ausgeglichen werden. Dieser komplexe dynamische Prozess wird hier vereinfachend betrachtet, indem der Gesamtbrennstoffeinsatz im Kessel in zwei Anteile zerlegt wird:

$$B_{ges} = B_{Idealbetrieb} + B_{Bereitschaftsverluste}$$

Der erste Term beschreibt denjenigen Anteil des Brennstoffeinsatzes, der unter Annahme, dass die Energieumwandlung mit der Effizienz des Kesselwirkungsgrads erfolgt, während der Heizperiode zur Wärmeabgabe an den Heizkreis $Q_{\text{Heizkreis}}$ aufgewendet wird.

$$B_{\text{Idealbetrieb}} = \frac{Q_{\text{Heizkreis}}}{\eta_K}$$

Der zweite Term beschreibt denjenigen Anteil des Brennstoffeinsatzes, der zur Deckung der Bereitschaftswärmeverluste benötigt wird. Unter der Annahme, dass auch hier die Wärmeerzeugung mit der Effizienz des Kesselwirkungsgrads erfolgt, kann dieser Anteil aus den Bereitschaftswärmeverlusten des Kessels während der „Ausfallzeit“ $Q_{\text{Bereitschaftsverluste}}$ ermittelt werden:

$$B_{\text{Bereitschaftsverluste}} = \frac{Q_{\text{Bereitschaftsverluste}}}{\eta_K}$$

Für den ersten Summanden in der Gleichung, die den Gesamt-Jahresnutzungsgrad beschreibt, gilt damit:

$$\begin{aligned} I &= \frac{Q_{\text{Heizkreis}}}{B_{\text{ges}}} = \frac{\eta_K \cdot B_{\text{Bereitschaftsverluste}}}{B_{\text{Idealbetrieb}} + B_{\text{Bereitschaftsverluste}}} = \frac{\eta_K}{1 + \frac{B_{\text{Bereitschaftsverluste}}}{B_{\text{Idealbetrieb}}}} \\ &= \frac{\eta_K}{1 + \frac{Q_{\text{Bereitschaftsverluste}}}{Q_{\text{Heizkreis}}}} \end{aligned}$$

Für die Bereitschaftsverluste gilt:

$$Q_{\text{Bereitschaftsverluste}} = q_{B,m,h} \cdot \dot{Q}_n \cdot t_{\text{Ausfall}}$$

Dabei sind \dot{Q}_n die Nenn-Wärmeleistung des Kessels und $q_{B,m,h}$ der mittlere Bereitschaftswärmeverlust während der Heizperiode.

Für die weiteren Umformungen sind noch folgende Gleichungen zu beachten:

Die Vollbetriebszeit ist als die Zeit definiert, die der Kessel im Idealbetrieb, d.h. ohne Betriebsunterbrechungen, benötigen würde, um die Wärmemenge $Q_{\text{Heizkreis}}$ zu erzeugen:

$$t_{\text{Vollbetrieb}} = \frac{Q_{\text{Heizkreis}}}{\dot{Q}_n}$$

Die Vollbetriebszeit ist damit kleiner als die Brennerlaufzeit, denn durch den Brennerbetrieb müssen ja auch die Bereitschaftsverluste gedeckt werden, d.h. der in der Stillstandszeit abgekühlte Kessel wird wieder erwärmt.

Die Ausfallzeit t_{Ausfall} wird als die Differenz der Heizperiode und der Vollbetriebszeit berechnet:

$$t_{\text{Ausfall}} = t_{\text{HP}} - t_{\text{Vollbetrieb}}$$

Dabei handelt es sich um eine vereinfachende Annahme: Ein Teil der Brennerlaufzeit (nämlich derjenige, der nicht Vollbetriebszeit gehört, also nicht zur Wärmeabgabe an den Heizkreis unter idealisierten Wirkungsgradannahmen beiträgt) wird hier der Ausfallzeit zugerechnet und geht damit in Ermittlung der Bereitschaftswärmeverluste ein. Die Transmissionsverluste des Kessels während dieser Zeit sind aber eigentlich bereits in der Größe η_K berücksichtigt, mit der der Brennstoffeinsatz zur Deckung der Bereitschaftsverluste aus den Bereitschaftswärmeverlusten ermittelt wird. Man muss sich hier der Tatsache bewusst sein, dass komplexe dynamische Vorgänge durch vereinfachende Ansätze in einem leicht handhabbaren Berechnungsmodell abgebildet werden.

Der Belastungsgrad φ_H des Kessels ist das Verhältnis der an den Heizkreis abgegebenen Wärme zur theoretisch möglichen, maximalen Wärmeproduktion während der Zeit der Heizperiode t_{HP} :

$$\varphi_H = \frac{Q_{\text{Heizkreis}}}{\dot{Q}_n \cdot t_{\text{HP}}} = \frac{t_{\text{Vollbetrieb}}}{t_{\text{HP}}}$$

Damit gilt:

$$\begin{aligned} I = \frac{Q_{\text{Heizkreis}}}{B_{\text{ges}}} &= \frac{\eta_K}{1 + \frac{q_{B,m,h} \cdot \dot{Q}_n \cdot t_{\text{Ausfall}}}{Q_{\text{Heizkreis}}}} = \frac{\eta_K}{1 + \frac{q_{B,m,h} \cdot t_{\text{Ausfall}}}{t_{\text{Vollbetrieb}}}} \\ &= \frac{\eta_K}{1 + \frac{q_{B,m,h} \cdot (t_{\text{HP}} - t_{\text{Vollbetrieb}})}{t_{\text{Vollbetrieb}}}} = \frac{\eta_K}{1 + q_{B,m,h} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right)} \end{aligned}$$

Diese Formel ist aus verschiedenen Veröffentlichungen und Richtlinien als Modell für Standard-Heizkessel bekannt.

Um auch Niedertemperatur- und Brennwertkessel berücksichtigen zu können, werden der Kesselwirkungsgrad und die Bereitschaftsverluste, η_K und $q_{B,m,h}$, hier nicht als konstante Gerätekennwerte, sondern als von der Kesseltemperatur abhängige Größen aufgefasst:

$$\eta_K = \eta_{k,70} + \Delta\eta_{\text{Betrieb},H}$$

$$q_{B,m,H} = c_{K,V} \cdot (\vartheta_{k,m,H} - \vartheta_{k,U}) \quad [-]$$

$\eta_{k,70}$	Nennwirkungsgrad des Kessels bei 70 °C Kesseltemperatur: Konstanter Gerätekenwert	[-]
$\Delta\eta_{\text{Betrieb},H}$	Wirkungsgradkorrektur aufgrund der tatsächlichen mittleren Betriebstemperatur	[-]
$q_{B,m,H}$	mittlere Bereitschaftsverluste relativ zur Kessel-Nennleistung in der Heizperiode (z.B. $q_{B,m}=0,01$: Bereitschaftsverlustleistung = 1 % der Nennleistung)	[-]
$c_{k,v}$	Verlustkoeffizient des Kessels (Gerätekenwert): Wärmeverlustleistung relativ zur Kessel-Nennleistung pro °C Temperaturdifferenz zur Umgebungstemperatur	[1/°C]
$\vartheta_{k,m,H}$	Mittlere Kesseltemperatur während der Heizperiode	[°C]
$\vartheta_{k,U}$	Umgebungstemperatur des Kessels	[°C]

Der Verlustkoeffizient des Kessels $c_{k,v}$ lässt sich aus Herstellerangaben zu q_B -Werten bestimmen, wenn die Temperaturdifferenz Kessel-Umgebung bekannt ist.

$$c_{k,v} = \frac{q_{B,70}}{50K} \quad [1/^\circ\text{C}]$$

$q_{B,70}$	Bereitschaftsverluste bei 70 °C Kesseltemperatur und 20 °C Umgebungstemperatur, (d.h. Temperaturdifferenz Kessel-Umgebung: 50 K), Gerätekenwert	[-]
------------	---	-----

Für die mittlere Kesseltemperatur während der Heizperiode $\vartheta_{k,m,H}$ werden folgende Annahmen getroffen:

$\vartheta_{k,m,H} =$	mittlere Heizkreistemperatur $\vartheta_{HK,m}$ bei Niedertemperatur- und Brennwertkesseln 50 °C bei Kesseln mit gleitender Temperaturregelung, in denen kein Kondensat anfallen darf („unechte“ Niedertemperaturkessel) Auslegungs-Vorauftemperatur des Heizsystems, mindestens aber 70 °C bei Standardkesseln und Standard-Umlauf-Wasserheizern
-----------------------	---

Die minimale Untergrenze für die mittlere Kesseltemperatur ist bei der Berechnung der Wert 20 °C einzuhalten.

Für die Umgebungstemperatur des Kessels in der Heizperiode $\vartheta_{k,u}$ werden angesetzt:

$\vartheta_{k,u} =$	20 °C bei Aufstellung im beheizten Bereich 15 °C bei Aufstellung im unbeheizten Bereich (z.B. im Keller)
---------------------	---

Die Wirkungsgradkorrektur aufgrund der tatsächlichen mittleren Betriebstemperatur wird über eine Näherungsformel beschrieben. Bei Niedertemperaturkesseln wird die eher geringe Abnahme der Wärmeverluste

bei sinkender Kesseltemperatur, bei Brennwertkesseln zusätzlich die weitaus stärker ins Gewicht fallende Ausnutzung der Kondensationswärme der Brennstoffe Öl bzw. Gas berücksichtigt:

$$\Delta\eta_{\text{Betrieb}} = \begin{cases} 0,0004 (70 - \vartheta_{k,m,h}) & \text{für Niedertemperaturkessel, falls } \vartheta_{k,m,h} < 70^{\circ}\text{C} \\ 0,0016 (70 - \vartheta_{k,m,h}) & \text{für Ölbrennwertkessel, falls } \vartheta_{k,m,h} < 70^{\circ}\text{C} \\ 0,0024 (70 - \vartheta_{k,m,h}) & \text{für Gasbrennwertkessel, falls } \vartheta_{k,m,h} < 70^{\circ}\text{C} \\ 0 & \text{für Standardkessel und Standard-Umlauf-Wasserheizer, bzw.} \\ & \text{falls } \vartheta_{k,m,h} \geq 70^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

Im Fall, dass der Heizkessel im beheizten Bereich aufgestellt ist, so dass auch die Wärmeverluste über die Kesseloberfläche teilweise für die Beheizung des Gebäudes nutzbar sind, ist bei der Ermittlung des Kesselnutzungsgrads auch der Term II der oben angegebenen Gleichung zu berücksichtigen:

$$II = \frac{Q_{\text{Heizraum,nutzbar}}}{B_{\text{ges}}}$$

Der zur Heizung nutzbare Anteil der Oberflächenverluste des Kessels kann nach dem folgenden Ansatz ermittelt werden:

$$Q_{\text{Heizraum,nutzbar}} = f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,h} \cdot \dot{Q}_n \cdot t_{HP}$$

Dabei wird angenommen, dass im Mittel über die ganze Heizperiode die Bereitschafts-Wärmeverluste des Kessels im Heizraum anfallen. Durch den Faktor $f_{\text{Wärmenutzung}}$ wird berücksichtigt, dass diese Wärmemenge nicht vollständig nutzbar ist.

Ausnutzungsfaktor der Wärmenutzung im beheizten Bereich $f_{\text{Wärmenutzung}}$

$$f_{\text{Wärmenutzung}} = \begin{cases} 0,85 & \text{bei Aufstellung des Kessels im beheizten Bereich} \\ 0 & \text{bei Aufstellung des Kessels im unbeheizten Bereich} \end{cases} \quad [-]$$

Der Wert von $f_{\text{Wärmenutzung}}$ wurde entsprechend den Ansätzen von DIN V 4701-10 für die Ausnutzung der Wärmeabgabe von heiztechnischen Komponenten (z.B. Verteilleitungen) gewählt.

Mit diesem Ansatz gilt:

$$II = \frac{Q_{\text{Heizraum,nutzbar}}}{B_{\text{ges}}} = \frac{f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,h} \cdot \dot{Q}_n \cdot t_{HP}}{B_{\text{Idealbetrieb}} + B_{\text{Bereitschaftsverluste}}}$$

$$= \frac{f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,h} \cdot \dot{Q}_n \cdot t_{HP} \cdot \frac{1}{B_{\text{Idealbetrieb}}}}{1 + \frac{B_{\text{Bereitschaftsverluste}}}{B_{\text{Idealbetrieb}}}}$$

Der Nenner ist derselbe wie derjenige von Term I. Für $B_{\text{Idealbetrieb}}$ lässt sich nach den oben angegebenen Gleichungen der Quotient aus $Q_{\text{Heizkreis}}/\eta_K$ ansetzen.

Für den Term II erhält man somit:

$$\begin{aligned}
 II &= \frac{Q_{\text{Heizraum,nutzbar}}}{B_{\text{ges}}} = \frac{f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,h} \cdot \eta_K \cdot \frac{\dot{Q}_n \cdot t_{HP}}{Q_{\text{Heizkreis}}}}{1 + q_{B,m,h} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right)} \\
 &= \frac{f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,h} \cdot \eta_K \cdot \frac{1}{\varphi_H}}{1 + q_{B,m,h} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right)}
 \end{aligned}$$

Insgesamt ergibt sich für den Jahresnutzungsgrad des Kessels zur Heizwärmeerzeugung:

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{ges},H} = I + II &= \frac{\eta_K \cdot \left(1 + \frac{f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,h}}{\varphi_H}\right)}{1 + q_{B,m,h} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right)} \\
 \eta_{\text{ges},H} &= \frac{(\eta_{k,70} + \Delta\eta_{\text{Betrieb},H}) \cdot \left(1 + \frac{f_{\text{Wärmenutzung}} \cdot q_{B,m,H}}{\varphi_H}\right)}{1 + q_{B,m,H} \cdot \left(\frac{1}{\varphi_H} - 1\right)}
 \end{aligned}$$

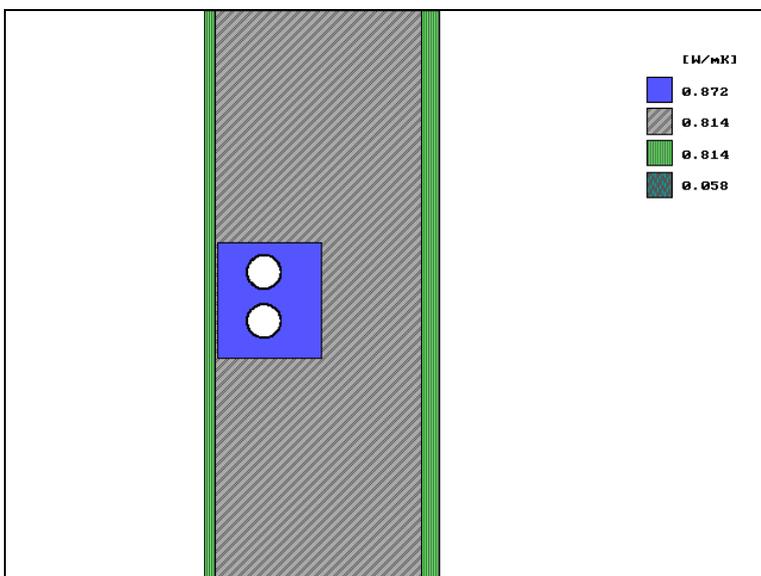
oder:

$$\eta_{\text{ges},H} = \frac{(\eta_{k,70} + \Delta\eta_{\text{Betrieb},H}) \cdot (\varphi_H + q_{B,m,H} \cdot f_{\text{Wärmenutzung}})}{\varphi_H + q_{B,m,H}(1 - \varphi_H)}$$

Anhang C Berechnung der Wärmeverluste durch in der Außenwand eingeputzte Heizleitung

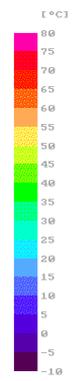
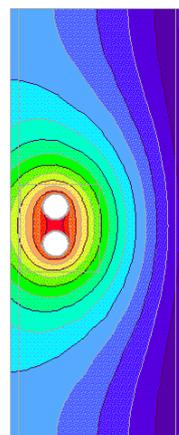
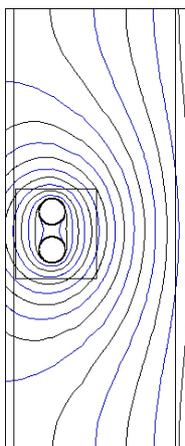
Es wurden zwei Varianten miteinander verglichen:

1. Ungedämmte 36 cm dicke Altbau-Ziegelwand, Heizleitungen in der Außenwand eingeputzte, um die Heizleitungen herum einen Dämmfilz mit 5 mm Stärke. Temperatur der Heizleitungen 80 °C (Mitteltemperatur im System 90/70 °C)



U-Wert der Wand = 1,455 W/(m²K)

Wärmestrom durch die Wand ohne Heizleitungen: Q = 43,647 W



	Gesamtwärmestrom [W/m]	Wärmestrom ohne Heizleitung [W/m]	Wärmestrom aus Heizleitung [W/m]	Aufteilung [%]

Vom Rohr	163,722			
Außen	107,366	- 43,647	63,719	39
Innen	56,356	+ 43,647	100,003	61

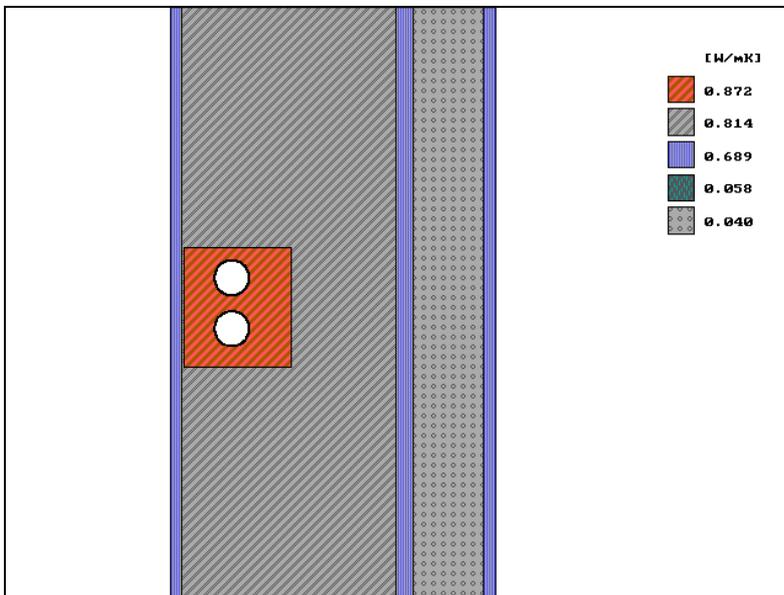
gewichtete Bezugstemp.: $(100 \cdot 20 + 64 \cdot -10) / 164 = 8,3 \text{ °C}$

gewichtete Temp.-Diff.: $80 - 8,3 = 71,7 \text{ °C}$

$164 / 71,7 = 2,28 \text{ W/(mK)}$

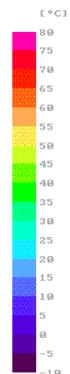
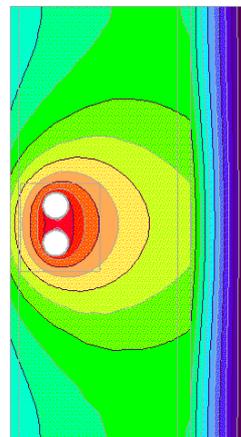
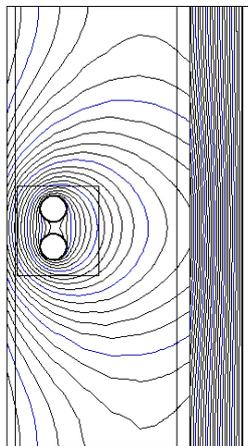
Verlustfaktor = $64 / 164 = 0,39$

2. Gleiche Altbau-Ziegelwand, jedoch mit 12 cm Wärmedämmung (WLG 040) und Heizleitungen in der Außenwand eingeputzt. Temperatur der Heizleitungen 80 °C (Mitteltemperatur im System $90/70 \text{ °C}$)



U-Wert der Wand = $0,271 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Wärmestrom durch die Wand ohne Heizleitungen: $Q = 8,124 \text{ W}$



	Gesamtwärme-	Wärmestrom ohne	Wärmestrom	Aufteilung
--	--------------	-----------------	------------	------------

	strom [W/m]	Heizleitung [W/m]	aus Heizleitung [W/m]	[%]
Vom Rohr	117,397			
Außen	16,450	- 8,124	8,326	7
Innen	100,947	+ 8,124	109,071	93

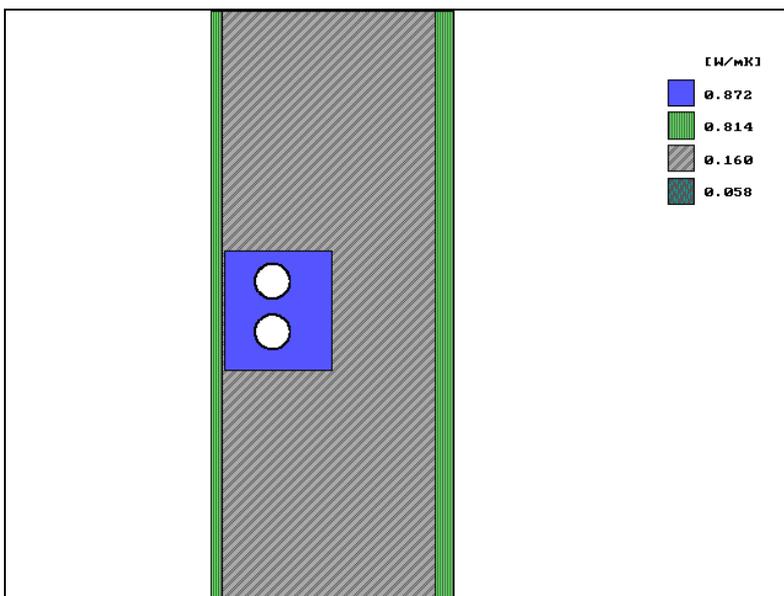
gewichtete Bezugstemp.: $(109 \cdot 20 + 8 \cdot -10) / 117 = 17,9 \text{ } ^\circ\text{C}$

gewichtete Temp.-Diff.: $80 - 17,9 = 62,1 \text{ } ^\circ\text{C}$

$117 / 62,1 = 1,88 \text{ W/(mK)}$

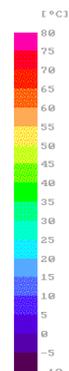
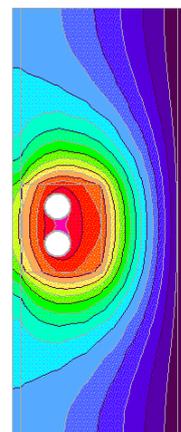
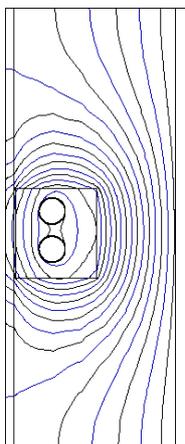
Verlustfaktor = $8 / 117 = 0,068$

3. Neue HLZ-Wand 36 cm, Heizleitungen in der Außenwand eingeputzt, um die Heizleitungen herum einen Dämmfilz mit 5 mm Stärke. Temperatur der Heizleitungen $80 \text{ } ^\circ\text{C}$ (Mitteltemperatur im System $90/70 \text{ } ^\circ\text{C}$)



U-Wert der Wand = $0,399 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Wärmestrom durch die Wand ohne Heizleitungen: $Q = 11,976 \text{ W}$



	Gesamtwärme- strom [W/m]	Wärmestrom ohne Heizleitung [W/m]	Wärmestrom aus Heizleitung [W/m]	Aufteilung [%]
Vom Rohr	91,387			
Außen	33,578	- 11,976	21,602	24
Innen	57,810	+ 11,976	69,786	76

gewichtete Bezugstemp.: $(70 \cdot 20 + 22 \cdot -10) / 92 = 12,8 \text{ °C}$

gewichtete Temp.-Diff.: $80 - 12,8 = 67,2 \text{ °C}$

$92 / 67,2 = 1,37 \text{ W/(mK)}$

Verlustfaktor = $22 / 92 = 0,24$

Randbedingungen:

Innenraumtemperatur: 20 °C

Außentemperatur: -10 °C

α_{Innen} : $7,69 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

$\alpha_{\text{Außen}}$: $25 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Materialien:

Gipsputz: $0,872 \text{ W/(mK)}$

Innen/Außenputz: $0,689 \text{ W/(mK)}$

Ziegelmauerwerk: $0,814 \text{ W/(mK)}$

Neues Mauerwerk: $0,16 \text{ W/(mK)}$

Dämmfilz: $0,058 \text{ W/(mK)}$

Außendämmung: $0,040 \text{ W/(mK)}$