

Analyse des Warmwassersystems

1. Warmwassernutzen

Der Warmwassernutzen hängt stark von der Nutzung des Gebäudes und dem spezifischen Flächenbedarf pro Person ab. Für Wohngebäude kann mit Energiewerten von etwa 400 bis 900 kWh/(Person·a) gerechnet werden. Kennwerte für die spezifische mittlere Warmwassernutzwärme in verschiedenen genutzten Gebäuden gibt Tabelle 1.1. Bei der Verbrauchsanalyse sollten real an Warmwasserzählern gemessene Werte bevorzugt verwendet werden.

Gebäudenutzungstyp	EFH	MFH	Lager	Verwaltung, Schulen, Verkauf, Industrie	Säle/Bühnen	Sportstätten, Bäder	Restaurants	Krankenhäuser
Warmwassernutzwärme q_w , in [kWh/(m ² a)]	15...17	15...25	1...2	7...9	15...17	90...100	60...70	30...35

Tabelle 1.1 Warmwassernutzen nach Gebäudenutzungstyp

BEISPIEL MFH:

Für das Mehrfamilienhaus wird ein spezifischer Nutzkennwert für die Warmwasserbereitung von $q_w = 18,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ abgeschätzt.

2. Regelungseinflüsse

Die Regelungseinflüsse auf Komponenten der Warmwasserbereitung lassen sich ebenso begründen und ableiten wie für die Heizung und Lüftung.

Bei der Bilanzierung von Wärmeverlusten der Warmwasserverteilerleitungen und -speicher muss berücksichtigt werden, dass Leitungsteile und Speicher aufgrund einer Abschaltung (Nacht- oder Wochenendabschaltung) nicht ständig durchströmt sind. Sonst ständig durchflossene Leitungsteile werden dann nur noch bei Zapfung von Wasser durchströmt. Sie kühlen danach aus, bis der nächste Zapfvorgang erfolgt. Diese Einflüsse können anhand der in Tabelle 2.1 abgegebenen Faktoren für den Anlagenbetrieb f_{BW} abgeschätzt werden.

Betriebsweise	Gebäudeart	Komponenten	f_{BW} , in [-]
ohne Abschaltung	alle	alle	1,00
mit Abschaltung	MFH und EFH	Stichleitungen	1,00
		Speicher	ca. 1,00
		Zirkulationsleitungen bei 6 h/d Abschaltung	0,88...0,92
	Zirkulationsleitungen bei 8 h/d Abschaltung	0,73...0,75	
	sonstige Gebäude	genauer bestimmen mit Nutzungstagen pro Jahr und Nutzungsstunden pro Tag	

Tabelle 2.1 Einflussfaktoren für den Anlagenbetrieb f_{BW}

BEISPIEL MFH:

Das Gebäude verfügt sowohl über einen Wasserspeicher als auch eine Zirkulationsleitung, aber es gibt keine Abschaltung der Warmwasserzirkulation. Für alle Komponenten der Trinkwarmwasserbereitung ist $f_{BW} = 1,0$.

3. Wärmeverluste des Verteilsystems

Die Ermittlung der Wärmeabgabe der Trinkwarmwasserverteilleitungen $q_{d,W}$ kann nach einem allgemeinen Ansatz erfolgen:

$$q_{d,W} = \frac{\sum U_{\text{Rohr}} \cdot (\vartheta_{\text{im,Rohr}} - \vartheta_{\text{am,Rohr}}) \cdot L}{A_{\text{EB}}} \cdot t_y \cdot$$

Dabei werden über den Zeitraum eines Jahres t_y alle Wärmeverluste der einzelnen Rohrabschnitte L aufsummiert. Die Höhe des Wärmeverlustes wird konkret mit der mittleren Innentemperatur $\vartheta_{\text{im,Rohr}}$, der mittleren Umgebungstemperatur $\vartheta_{\text{am,Rohr}}$ und dem Dämmstandard U_{Rohr} erfasst. Im praktischen Anwendungsfall sind so detaillierte Daten sicher nicht verfügbar. Daher wird der Ansatz wie folgt vereinfacht:

$$q_{d,W} = \sum \left(f_{BW} \cdot \dot{q}_L \cdot \frac{L}{A_{\text{EB}}} \right) \cdot t_y \cdot$$

Zur Anwendung dieser Gleichung werden zwei neue Energiekennwerte benötigt: zum einen die mittlere Wärmeabgabe eines Rohrabschnittes \dot{q}_L , zum anderen die Länge der verlegten Rohrleitungen je Energiebezugsfläche L/A_{EB} .

Beide Kennwerte können anhand von Standardwerten aus Tabelle 3.1 bzw. Tabelle 3.2 abgeschätzt werden. Da die Verluste der Verteilung um so geringer sind, je optimierter die Ausführung des Warmwassersystems, d.h. je kürzer die Leitungslängen sind, ist es jedoch empfehlenswert, wenn immer möglich die verlegten Rohrleitungslängen anhand der realen Verhältnisse zu bestimmen. Die tabellierten Rohrleitungslängen gelten für übliche Ausführungsarten des Verteilnetzes.

verlegte Rohrleitungslängen L/A_{EB} , in $[\text{m}/\text{m}^2]$			A_{EB} bis 300 m^2	A_{EB} ab 300 m^2
zentrale Trinkwarmwasserversorgung	Gesamtleitungen davon:			0,32...0,54
	nicht ständig durchflossene Leitungen (Stichleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,01...0,35	0,01...0,09
		innerhalb des beheizten Bereiches	0,05...0,54	0,08...0,28
	ständig durchflossene Leitungen (Zirkulationsleitungen)	außerhalb des beheizten Bereiches	0,00...0,35	0,00...0,25
innerhalb des beheizten Bereiches		0,09...0,49	0,05...0,28	
dezentrale Trinkwarmwasserversorgung	Gesamtleitungen davon:			0,02...0,06
	nicht ständig durchflossene Leitungen (Stichleitungen)	innerhalb des beheizten Bereiches	0,02...0,06	0,02...0,06

Tabelle 3.1 Verlegte Rohrleitungslängen des Trinkwarmwassernetzes

Wärmeabgabe von Trinkwarmwasserleitungen \dot{q}_L , in [W/m]									
		außerhalb des beheizten Bereiches verlegt				innerhalb des beheizten Bereiches verlegt			
		DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100	DN 10-15	DN 20-32	DN 40-65	DN 80-100
nicht ständig durchflossene Leitungen (Stichleitungen)	ungedämmt	24,9	33,2	47,7	68,4	14,9	19,9	28,6	41,0
	halbe Dämmdicke wie EnEV	5,7	8,8	13,5	20,7	3,4	5,3	8,1	12,4
	gedämmt nach EnEV	4,1	4,6	4,6	4,6	2,5	2,7	2,7	2,7
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	3,0	3,4	3,2	3,2	1,8	2,0	1,9	1,9
ständig durchflossene Leitungen (Zirkulationsleitungen)	ungedämmt	53,5	71,3	102,5	147,1	37,3	49,8	71,5	102,6
	halbe Dämmdicke wie EnEV	12,3	18,9	29,0	44,6	8,6	13,2	20,2	31,1
	gedämmt nach EnEV	8,8	9,8	9,8	9,8	6,1	6,8	6,8	6,8
	doppelte Dämmdicke wie EnEV	6,5	7,2	6,9	6,9	4,5	5,1	4,8	4,8

Tabelle 3.2 Wärmeabgabe von Trinkwarmwasserleitungen

Es wird in ständig und nur periodisch durchflossene Leitungen unterschieden. Als ständig durchströmte Leitungen können die konstant auf Temperatur gehaltenen Zirkulations- und Transportleitungen des Warmwassernetzes angesehen werden. Periodisch durchflossen sind Stichleitungen der Warmwasserbereitung, die nur bei Zapfung erwärmt werden.

Die mittlere Temperatur eines ständig durchströmten Rohrabschnittes der Warmwasserverteilung kann mit $\vartheta_{im,Rohr} = 50$ bis 55 °C angenommen werden. Wenn der geforderte Legionellenschutz in der Praxis tatsächlich umgesetzt wird, sind Werte von $\vartheta_{im,Rohr} = 55$ bis 60 °C realistisch. Für nicht ständig auf Temperatur gehaltene Rohrleitungen hängt die mittlere Temperatur stark von der Zapfhäufigkeit ab. Zur Bestimmung der Tabellenwerte ist eine Temperatur von $\vartheta_{im,Rohr} = 32$ °C zugrunde gelegt. Die mittlere Temperatur der umgebenden Luft $\vartheta_{am,Rohr}$ wurde mit 20 °C bei Verlegung innerhalb und 12 °C bei Lage des Rohrabschnittes außerhalb des beheizten Bereiches angesetzt.

Die Wärmeverluste der Trinkwarmwasserverteilung können, sofern sie innerhalb des beheizten Bereiches auftreten, als innerer Fremdwärmeanfall angesehen werden. Dabei werden nur Wärmegewinne, die in der Heizzeit anfallen, berücksichtigt.

BEISPIEL MFH:

Für das Gebäude werden nach Ortsbesichtigung und Abschätzung der Verteillängen folgende Kennwerte ermittelt: Die Leitungen verlaufen vom Kessel ab unter der Kellerdecke. Sie sind mäßig gedämmt. Von dort aus steigen sie mäßig gedämmt in Schächten in die Wohnungen. Die Zirkulation ist bis in die obersten Geschosse mitgeführt.

		L, in [m]	L/A _{EB} , in [m/m ²]	f _{BW} , in [-]	q̇ _L , in [W/m]	L/A _{EB} · f _{BW} · q̇ _L , in [W/m ²]	q _{d,W} , in [kWh/(m ² a)]
innerhalb des beheizten Bereiches	Zirkulationsleitungen	60	0,055	1,0	8,6	0,473	4,1
	Stichleitungen	200	0,182	1,0	3,4	0,619	5,4
außerhalb des beheizten Bereiches	Zirkulationsleitungen	120	0,109	1,0	18,9	2,060	18,0
	Stichleitungen	0	0,000	1,0	0,0	0,000	0,0

Damit ergibt sich für das ganze Jahr ein Wärmeverlust aller Rohrleitungen der Trinkwarmwasserversorgung von q_{d,W} = 27,5 kWh/(m²a). Der innere Fremdwärmeanfall im beheizten Bereich und in der Heizzeit t_{HP} = 295 d/a = 7080 h/a beträgt q_{WG,d} = 8 kWh/(m²a).

4. Wärmeverluste der Warmwasserspeicherung

Die Berechnung des Wärmeverlustes eines Trinkwarmwasserspeichers erfolgt in Analogie zur Bewertung eines Heizwasserspeichers nach folgendem Ansatz:

$$q_{s,W} = \frac{\sum U_{\text{Speicher}} \cdot (\vartheta_{\text{im,Speicher}} - \vartheta_{\text{am,Speicher}}) \cdot V_S}{A_{EB}} \cdot t_y$$

Dabei werden das Speichervolumen V_S, sein volumenbezogener Dämmstandard U_{Speicher}, die mittlere Temperatur innerhalb ϑ_{im,Speicher} und außerhalb ϑ_{am,Speicher} des Speichers über den Verlauf eines Jahres t_y berücksichtigt. Auch dieser Ansatz kann vereinfacht werden. Als Standardwerte können die in Tabelle 4.1 und Tabelle 4.2 gegebenen Werte herangezogen werden.

$$q_{s,W} = \sum \left(f_{BW} \cdot \dot{q}_{SP} \cdot \frac{V_S}{A_{EB}} \right) \cdot t_y$$

installiertes Speichervolumen V _S /A _{EB} , in [l/m ²]					
AEB, in [m ²]	indirekt beheizter Speicher	gasbeheizter Speicher und Elektrospeicher (Aufheizung Tag und Nacht)	Elektrospeicher (Aufheizung nur nachts)	Elektro-Kleinspeicher	bivalenter Solarspeicher
80...160	1,5...1,9	1,0...1,3	2,2...2,7	0,1	3,0...3,5
160...400	1,2...1,5	0,8...1,0	1,6...2,2	0,1	2,5...3,0
400...2000	0,7...1,2	0,5...0,8	1,0...1,6	0,1	0,7...0,9
2000...8000	0,5...0,7	0,3...0,5	0,7...1,0	0,1	0,5...0,7

Tabelle 4.1 Volumen für Trinkwarmwasserspeicher

Für die Speichervolumina ist eine Verwendung der realen Werte - sofern vorhanden - der Abschätzung mit Tabellenwerten vorzuziehen.

durchschnittliche Wärmeverlustleistung von Speichern, \dot{q}_{SP} in [W/l]						
Aufstellung	Volumen, in [l]	indirekt beheizte Speicher, bivalente Solarspeicher, elektrische Tag- und Nachtspeicher			elektrische Kleinspeicher	gasbeheizte Speicher
		Dämmung gut (ca. 10 cm)	Dämmung mäßig (bis 5 cm)	Dämmung schlecht (bis 2 cm)		
außerhalb des beheizten Bereiches	25	0,68	1,13	2,04	2,80	3,13
	50	0,54	0,86	1,58	2,80	3,07
	100	0,43	0,65	1,23	2,80	3,02
	200	0,34	0,49	0,95	2,80	2,96
	500	0,25	0,34	0,68	2,80	2,89
	1000	0,20	0,26	0,53	2,80	2,84
	1500	0,18	0,22	0,46	2,80	2,81
	2000	0,16	0,20	0,41	2,80	2,78
innerhalb des beheizten Bereiches	25	0,55	0,92	1,66	2,28	2,55
	50	0,44	0,70	1,29	2,28	2,50
	100	0,35	0,53	1,00	2,28	2,46
	200	0,28	0,40	0,78	2,28	2,41
	500	0,21	0,28	0,56	2,28	2,35
	1000	0,17	0,21	0,43	2,28	2,31
	1500	0,14	0,18	0,37	2,28	2,28
	2000	0,13	0,16	0,33	2,28	2,27

Tabelle 4.2 Wärmeabgabe für Trinkwarmwasserspeicher

Die mittlere Innentemperatur des Speichers über ein Jahr wird für einen Trinkwasserspeicher mit etwa $\vartheta_{im, \text{speicher}} = 55$ bis 60 °C angenommen. Die Umgebungstemperaturen innerhalb und außerhalb des beheizten Bereiches werden mit 20 °C bzw. 12 °C angesetzt. Auch die Wärmeverluste der Speicherung sind, sofern sie innerhalb des beheizten Bereiches auftreten, dem inneren Fremdwärmeanfall zuzurechnen. Dabei wird nur die Fremdwärme $q_{WG,s}$ berücksichtigt, die in der Heizzeit t_{HP} anfällt.

BEISPIEL MFH:

Das Gebäude hat einen mäßig gedämmten, indirekt beheizten Trinkwasserspeicher, der im Keller aufgestellt ist. Das Volumen wurde nach Besichtigung auf 1000 l geschätzt. Folgende Kennwerte wurden ermittelt:

V_S , in [l]	V_S/A_{EB} , in [l/m ²]	f_{BW} , in [-]	\dot{q}_{SP} , in [W/l]	$V_S / A_{EB} \cdot f_{BW} \cdot \dot{q}_{SP}$, in [W/m ²]	$q_{s,W}$, in [kWh/(m ² a)]
1000	0,911	1,0	0,26	0,237	2,1

Damit ergibt sich ein Wärmeverlust der Trinkwarmwasserspeicherung von $q_{s,W} = 2$ kWh/(m²a). Da der Speicher außerhalb des beheizten Bereiches aufgestellt ist, kann kein Fremdwärmeanfall für die Heizung $q_{WG,s}$ gewertet werden.

5. Wärmeerzeugung

Im folgenden werden die in Tabelle 5.1 gegebenen Anhaltswerte für Erzeugungsaufwandszahlen $e_{g,w}$ der Wärmeerzeuger für die Trinkwarmwasserbereitung näher erläutert.

Die Erzeugeraufwandszahl eines Wärmeerzeugers wird um so niedriger, je kleiner die Verluste bei der Wärmeerzeugung werden. Erzeugeraufwandszahlen sind schlechter (größer), wenn Wärmeerzeuger sehr geringe Auslastungen - durch Überdimensionierung oder geringe Nutzenabnahme - aufweisen.

Wärmeerzeuger		Aufwandszahl $e_{g,w}$, in [-]	Hinweise
Nah- und Fernwärme	nur Warmwasserbereitung	1,11...1,14	kompakte Ausführung mit Gehäuse
		1,18...1,25	Ausführung ohne Gehäuse
	Warmwasserbereitung und Heizung	1,03...1,06	kompakte Ausführung mit Gehäuse
		1,04...1,13	Ausführung ohne Gehäuse
Elektrische Systeme	Speichergeräte	1,00...1,04	ohne Wärmeverlust des Speichers
	Durchlaufgeräte	1,00...1,01	
Elektrowärmepumpen	Wasser-Wasser	0,22...0,33	
	Sole-Wasser	0,26...0,38	
	Luft-Wasser	0,32...0,45	
dezentrale Gasgeräte	Durchlaufgeräte mit el. Zündung	1,00...1,19	
	Durchlaufgeräte mit Zündflamme	1,35...6,24	
Kessel	Konstanttemperatur (detaillierter unter "Heizung")	1,39...2,50	Kessel nur für Warmwasserbereitung
		1,30...1,55	Kessel für Heizung und Warmwasserbereitung
	Niedertemperatur	1,11...1,21	bis 50 kW
		1,09...1,14	ab 50 kW
	Brennwert	1,10...1,17	bis 50 kW
1,08...1,13		ab 50 kW	
Kombigerät	1,15...1,41		
BHKW	Erdgas, Propan, Butan	0,59...0,65	bis 100 kW
		0,52...0,58	ab 100 kW
	Diesel	0,52...0,64	bis 100 kW
		0,45...0,48	ab 100 kW
Brennstoffbetriebene Wärmepumpen	Wasser-Wasser	0,55...0,60	
	Sole-Wasser	0,58...0,65	
	Luft-Wasser	0,63...0,73	
regenerative Systeme	Solaranlagen, Wärmerückgewinnungen	0,00	

Tabelle 5.1 Erzeugeraufwandszahlen für die Trinkwarmwasserbereitung

Wird ein Gebäude von mehreren Wärmeerzeugern, zum Beispiel einer Kesselanlage mit solarer Unterstützung, versorgt (multivalente Anlage), so sind für jeden Erzeuger Deckungsanteile an der jährlichen Energieanforderung des Gebäudes für die Trinkwarmwasserbereitung zu bestimmen. Übliche Werte sind in Tabelle 5.2 wiedergegeben.

Deckungsanteile a, in [-]	Solaranlage	Grundlasterzeuger (Kessel, Wärmepumpe, Fernwärmeübergabestation, usw.)	Spitzenlast (Elektroheizstab, usw.)	Hinweise
Anlage ohne Solarunterstützung	0,00	1,00	0,00	nur ein Erzeuger
	0,00	0,80...0,95	0,05...0,20	Erzeuger plus Elektronachheizung
	0,00	0,30...0,90	0,10...0,70	Wärmepumpe plus Kessel (alternativer Betrieb)
	0,00	0,80...0,98	0,02...0,20	Wärmepumpe plus Kessel (paralleler Betrieb)
Anlage mit Solarunterstützung	0,50...0,65	0,35...0,50	0,00	$A_{EB} < 300 \text{ m}^2$
	0,45...0,60	0,40...0,50	0,00	$A_{EB} 300...1000 \text{ m}^2$
	0,30...0,50	0,50...0,70	0,00	$A_{EB} > 1000 \text{ m}^2$

Tabelle 5.2 Deckungsanteile für die Trinkwarmwasserbereitung

BEISPIEL MFH:

Das Mehrfamilienhaus wird allein von einem Niedertemperaturkessel versorgt. Der Deckungsanteil beträgt $a = 1,0$. Der Kessel hat eine Leistung von 105 kW, die Erzeugeraufwandszahl wird zu $e_{g,W} = 1,12$ abgeschätzt.

Quelle: Jagnow, Horschler, Wolff;
Die neue Energieeinsparverordnung 2002;
Deutscher Wirtschaftsdienst; Köln; 2002