Relevanz und Planung der Wärmeverteilung und Übergabe in energieeffizienten Gebäuden

Bremer Energiekonsens,
März 2016

Dr.-Ing. Kati Jagnow
TGA-Büro Braunschweig, Professur FH Magdeburg/Stendal

Tagesplan

- 13:30 – 15:00 Uhr
  Wärmenetze außerhalb von Gebäuden
  Verteilnetze Trinkwarmwasser und Heizung
  Bilanzierung in den Normen
  Problem der Heizkostenabrechnung
  Ausblick auf die Wärmeübergabe

- 15:20 – 16:00 Uhr
  Fragerunde & Diskussion

- 16:00 – 17:30 Uhr
  Hinweise zur Excelanwendung
  Beispielrechnungen per Hand und am PC

1.Wärmenetze außerhalb von Gebäuden

Dämmanforderungen für Leitungen außerhalb des Gebäudes

- Gebäudeleitungen, die an Außenluft grenzen: 200 %
- Leitungen im Erdreich: **unterliegen nicht der EnEV**

Dämmung von Fernwärmeleitungen						
Innendurchmesser d_i in mm	Dämmdicke d_{Da} in mm			Verhältnis d_{Da}/d_i in %		
	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
28,5	26	36	43	91 %	126 %	151 %
54,5	30	37	47	55 %	68 %	86 %
82,5	33	43	52	40 %	52 %	63 %
107,1	40	52	64	37 %	49 %	60 %
210,1	43	62	68	20 %	30 %	32 %
393,7	68	102	146	17 %	26 %	37 %
595,8	83	132	182	14 %	22 %	31 %

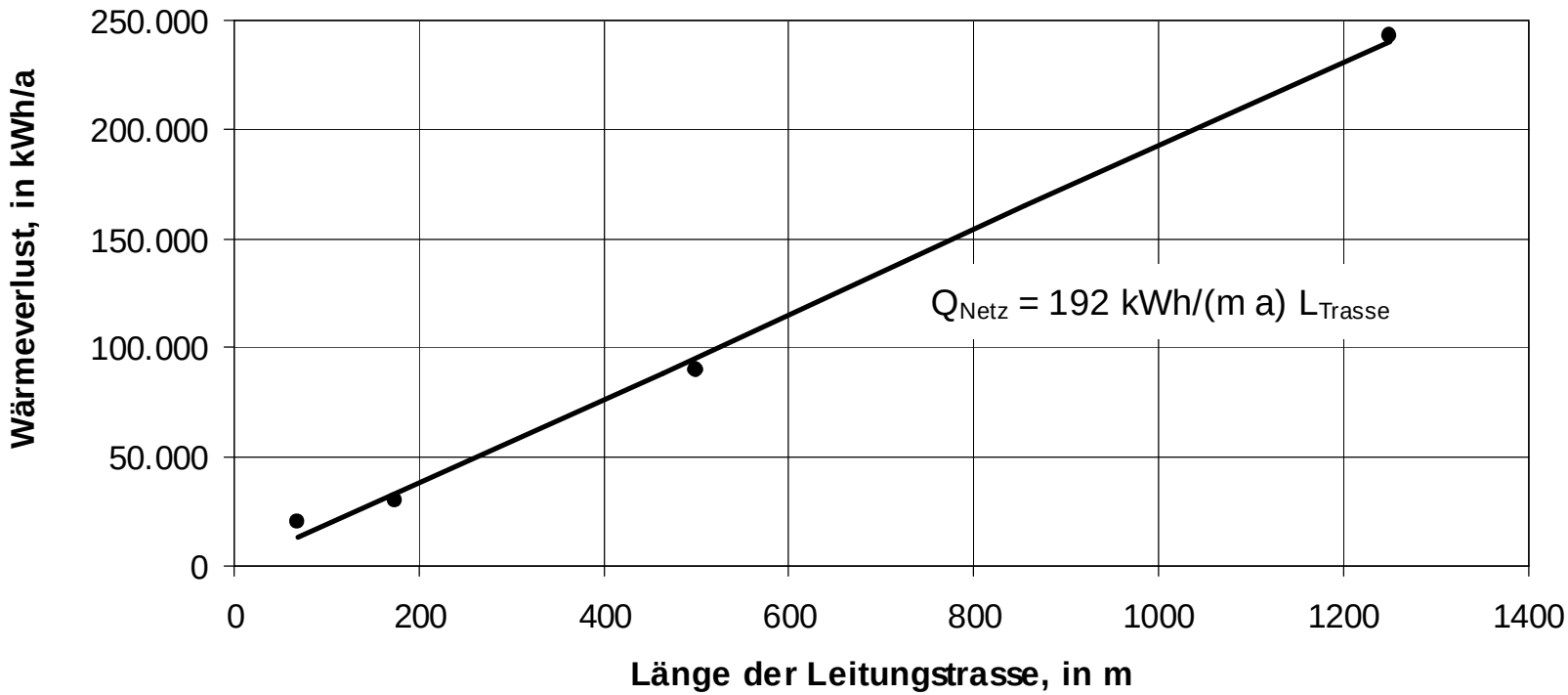
AGFW-Empfehlung

Quelle: Miehe, IKZ, 2014

Typische Wärmeverluste von Wärmenetzen (ans Erdreich)

- 1 m Nahwärmetrasse (neuwertig!) verliert ca. 200 kWh/a Wärme an das Erdreich.
- 40 m Trasse verlieren so viel wie ein neues Einfamilienhaus.

Basis:
4 Feldanlagen mit Wärmenetz



Quelle: BMU-Projekt Solarkessel

Typische wohn/nutzflächenbezogene Verteilverluste (Kennwerte)

- staatl. gefördert wird der Netzausbau ab 500 kWh/a Wärmeübertragung eines Trassenmeters
- also ab ca. 71 % Nutzungsgrad (bei 29 % Verlust)

Quelle: IWU Planung NEH Siedlungstyp	typischer Verteilverlust bezogen auf die real beheizte Fläche, in kWh/(m²a)
Einfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	35
EFH-Siedlung hoher Dichte, Reihenhäuser	25
Zeilenbebauung mittlerer Dichte (3-5 Geschosse)	10
Zeilenbebauung hoher Dichte, Hochhäuser	6

Studie zur Nah- und Fernwärme

▶ verfügbar unter:
www.delta-q.de

Empfehlungen werden gegeben für:

- die Abkopplung vom Netz,
- die Beibehaltung des Anschlusses am Netz,
- den Neubau eines Netzes,
- die Erweiterung eines bestehenden Netzes.

maximale Verteilverluste bezogen auf die versorge Wohnfläche

- Nutzungsgrad des Netzes über 90 %
- 25 … 30 kWh/(m^2_{Wfl}a) bei Netzen für Bestandsbauten
- 10 … 15 kWh/(m^2_{Wfl}a) bei Netzen für neue Gebäude

Beispiel 1: großes Verbundnetz mit BHKW

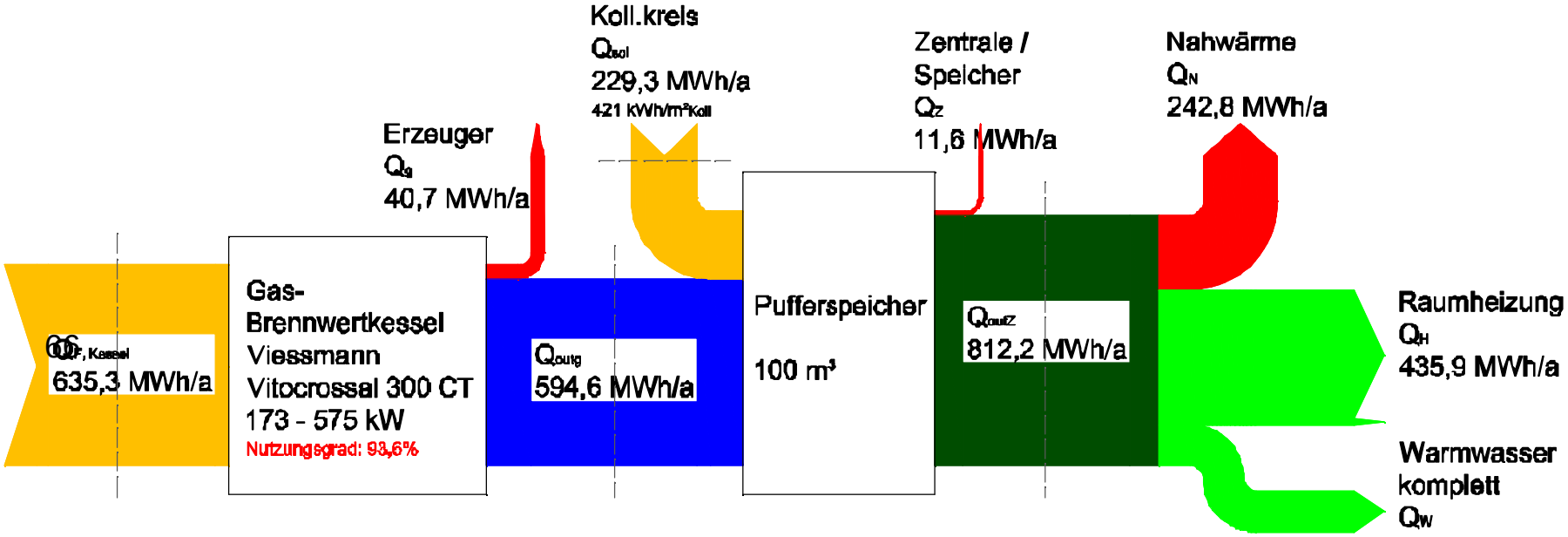
- 240.000 m² Wohnfläche
- 14,5 km Trasse
- zentraler Gasbrennwertkessel (30 %) und BHKW (70 % Deckungsanteil)

Bild: http://www.fly-gyro-with.me/fotos.html

- Wärmelieferung an die Gebäude: 87 kWh/(m²a)
- Netzverlust: 9 kWh/(m²a), entspricht 9 %

Beispiel 2: kleines Verbundnetz mit Solarthermie

- 21 Baukörper mit 61 WE
- 9.634 m² Wohnfläche
- 1250 m Trasse
- zentraler Gasbrennwertkessel 575 kW
- 545 m² Solarthermie, 100 m³ Speicher

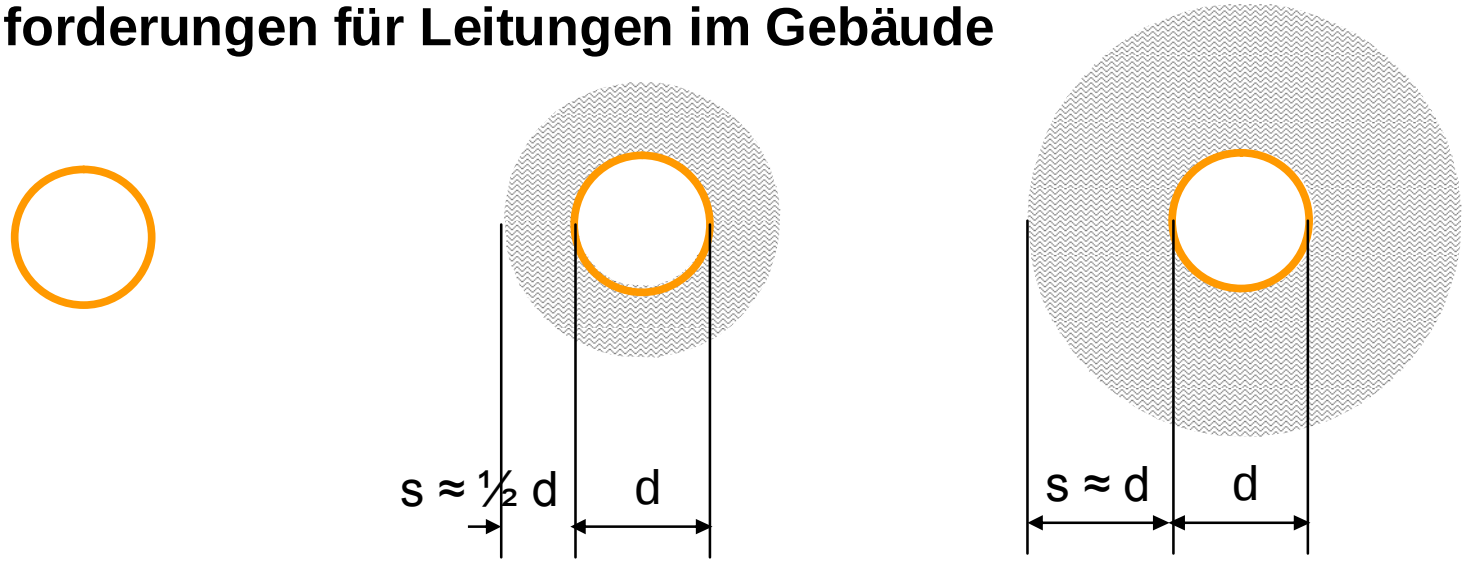


- Wärmelieferung an die Gebäude: 59 kWh/(m²a)
- Netzverlust: 25 kWh/(m²a), entspricht 30 %

2. Verteilnetze im Gebäude

2.1 Dämmanforderungen und U-Wert

Dämmanforderungen für Leitungen im Gebäude



ungedämmt
0 %

- absperrbare Leitungen innerhalb einer Nutzeinheit
- Stichleitungen TWW (bis 3 l Inhalt) im beh. Bereich

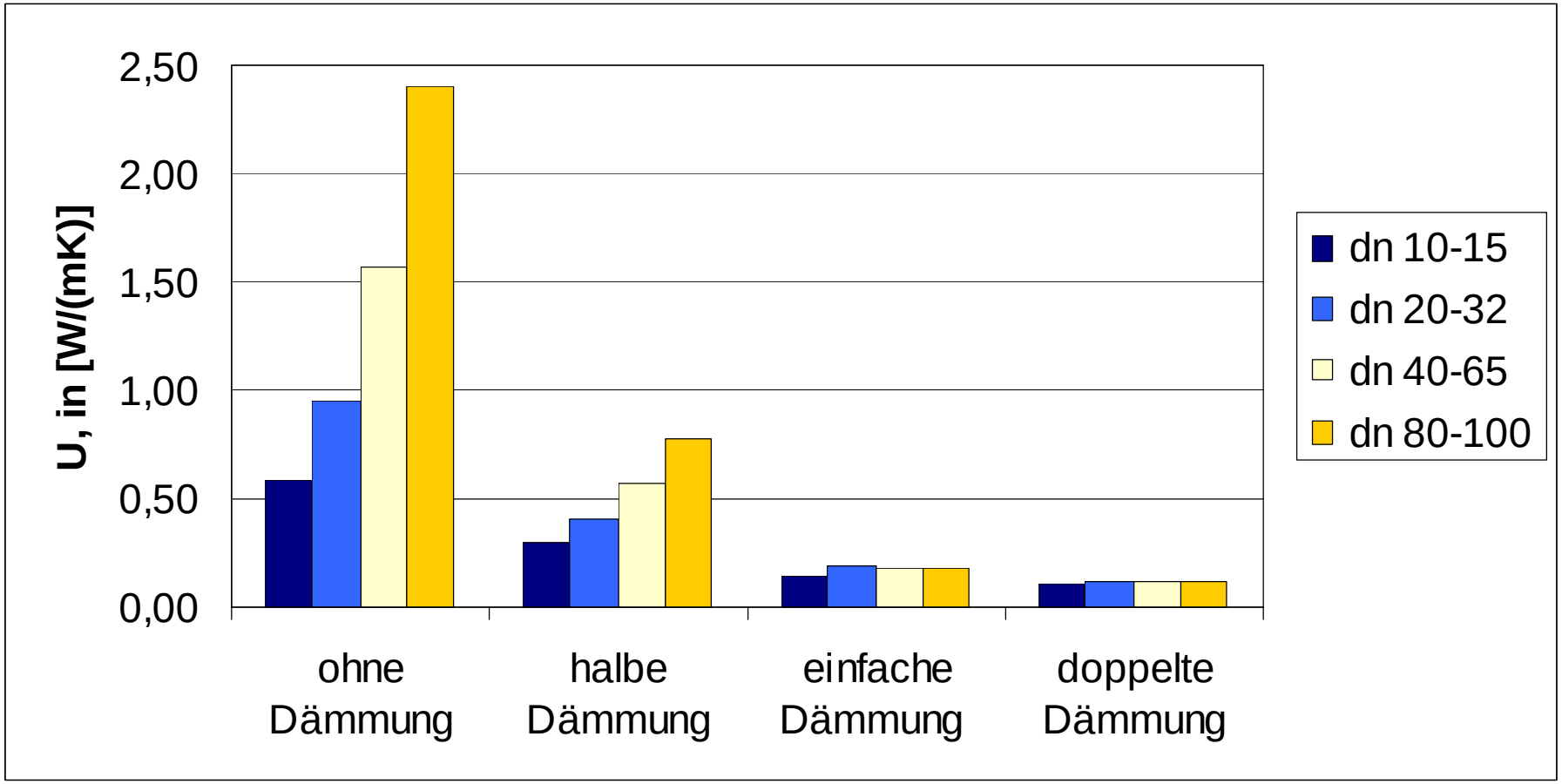
halbe Dämmung
ca. 50 % bzw. 6 mm

- Leitungen im Estrich, in Wänden verschiedener Nutzer
- Kreuzungsbereiche von Leitungen

einfache Dämmung
ca. 100 %

- Leitungen in unbeheizten Bereichen
- Zirkulationsleitungen und nicht absperrbare Leitungen im beheizten Bereich

Einfluss der Dämmung einer Leitung auf den Wärmeverlust:



Dämmung von H-Leitungen nach EnEV

(detaillierter)

Heizung	Mehrfamilienhaus / Nichtwohngebäude mehrere Nutzer	Einfamilienhaus / Nichtwohngebäude 1 Nutzer
Leitungen in unbeheizten Räumen und Kellerräumen	100%	100%
Leitungen in Außenwänden, in Außenbauteilen, zwischen einem unbeheizten und beheizten Raum, in Schächten und Kanälen	100%	100%
Verteilleitungen zur Versorgung mehrerer, unterschiedlicher Nutzer	100%	./. keine Anforderung
Im Fußboden verlegte Leitungen auch HK- Anschlussleitungen gegen Erdreich / unbeheizte Räume [1)]	100%	100%
Leitungen und Armaturen in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, an zentralen Leitungsverteilern	50%	50%
Leitungen in Bauteilen, zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer	50%	./. keine Anforderung
Im Fußbodenaufbau verlegte Leitungen, zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer.	siehe EnEV,Tabelle 1, Anlage 5, Zeile 7 [3)]	./. keine Anforderung
Heizungsleitungen in beheizten Räumen oder in Bauteilen zwischen beheizten Räumen eines Nutzers und absperrbar	./.	keine Anforderung[2)]
Wärmeverteilleitungen, die direkt an Außenluft angrenzend verlegt sind [4)]	**200%**	**200%**

1) Exzentrische/asymmetrische Rohrschläuche sind zur Begrenzung der Wärmeabgabe zulässig. Die Nenndicke ist zur Kaltseite anzuordnen. Einzelheiten sind aus der notwendigen Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (ABZ) des jeweiligen Herstellers zu entnehmen.

2)Obwohl hier keine Anforderungen vom Gesetzgeber gestellt sind, muss aus folgenden Gründen gedämmt werden: Korrosionsschutz, Vermeidung von Knack- und Fließgeräuschen, Körperschalldämmung, Verringerung der Wärmebelastung.

3)

Für Rohrleitungen sämtlicher Dimensionen, die im Fußbodenaufbau (unabhängig von ihrer dortigen Lage) zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt sind, gelten die folgenden Dämmdicken:		
Mindestdicke der Dämmschicht bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit bei 40°C		
0,035 W/(m K) für konzentrische Dämmung	0,040 W/(m K) für konzentrische Dämmung	0,040 W/(m K) für exzentrische / asymmetrische Dämmung
≥ 6 mm	≥ 9 mm	siehe Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (ABZ) des jeweiligen Herstellers

4) Liegen Rohrleitungen in frostgefährdeten Bereichen, so kann bei längeren Stillstandszeiten auch eine Dämmung keinen dauerhaften Schutz vor Einfrieren bieten. Sie müssen entleert oder anderweitig (z.B. durch Begleitheizung) geschützt werden [3]. Einzelheiten regeln die VDI-Richtlinien VDI 2055 bzw. VDI 2069.

Rohrleitungen von Solaranlagen unterliegen nicht der Energieeinsparverordnung (EnEV); Erzeugung und Verbrauch von Solarenergie sind CO_2-neutral. Rohrleitungen von Solaranlagen sind jedoch ebenfalls so zu dämmen, dass die erzeugte Energie der Anlage ohne wesentliche Verluste genutzt werden kann.

www.sbz-monteur.de

Dämmung von TWW-Leitungen nach EnEV

(detaillierter)

Trinkwasserleitungen Warm (TWW)	Mehrfamilienhaus	Einfamilienhaus	Nichtwohngebäude mehrere Nutzer
Warmwasserleitungen	100%	100%	100%
Warmwasserstichleitungen	100%	100%	100%
Warmwasserleitungen ohne Zirkulation / elektrischer Begleitheizung **bis zu 4 m Länge**	Keine Anforderung [1)]	keine Anforderung [1)]	100%
Leitungen und Armaturen in Wand- und Decken-durchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, an zentralen Leitungsverteilern.	50%	50%	50%
Warmwasserleitungen, die direkt an Außenluft angrenzend verlegt sind [2)]	**200%**	**200%**	**200%**

[1)] Obwohl hier keine Anforderungen vom Gesetzgeber gestellt sind, muss aus folgenden Gründen gedämmt werden: Korrosionsschutz, Vermeidung von Knack- und Fließgeräuschen, Körperschalldämmung, Verringerung der Wärmebelastung. Zur Erhaltung des Nutzungskomforts sollten diese Warmwasserleitungen auch gedämmt werden, damit keine unnötige Abkühlung durch Bauteile usw. entsteht.
2) Liegen Rohrleitungen in frostgefährdeten Bereichen, so kann bei längeren Stillstandszeiten auch eine Dämmung keinen dauerhaften Schutz vor Einfrieren bieten. Sie müssen entleert oder anderweitig (z.B. durch Begleitheizung) geschützt werden [3]. Einzelheiten regeln die VDI-Richtlinien VDI 2055 bzw. VDI 2069.

Rohrleitungen von Solaranlagen unterliegen nicht der Energieeinsparverordnung (EnEV): Erzeugung und Verbrauch von Solarenergie sind CO_2-neutral. Rohrleitungen von Solaranlagen sind jedoch ebenfalls so zu dämmen, dass die erzeugte Energie der Anlage ohne wesentliche Verluste genutzt werden kann.

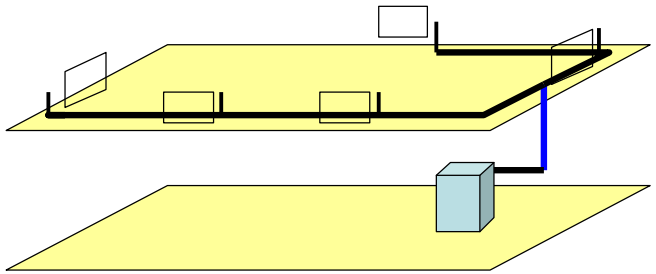
www.sbz-monteur.de

2.2 Heizungsnetze

Netztypen Heizung

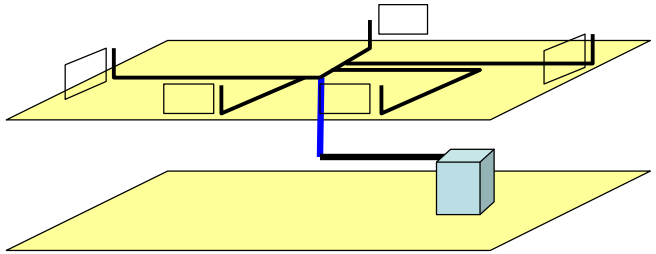
Neubau

- Etagenringtyp-



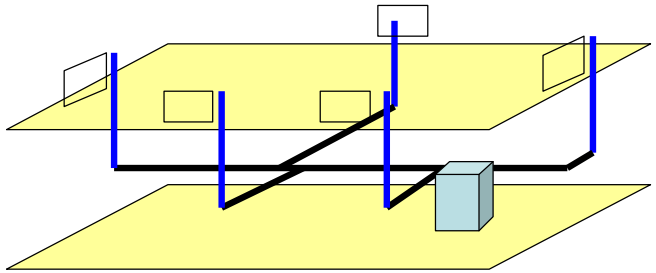
lange Verteilebene
wenige Steigestränge
kurze Anbindeleitungen

- Etagenverteilertyp -



kurze Verteilebene
wenige Steigestränge
lange Anbindeleitungen

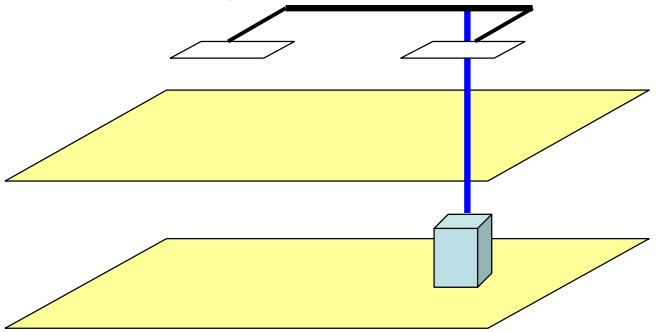
- Steigestrangtyp -



lange Verteilebene
viele Steigestränge
kurze Anbindeleitungen

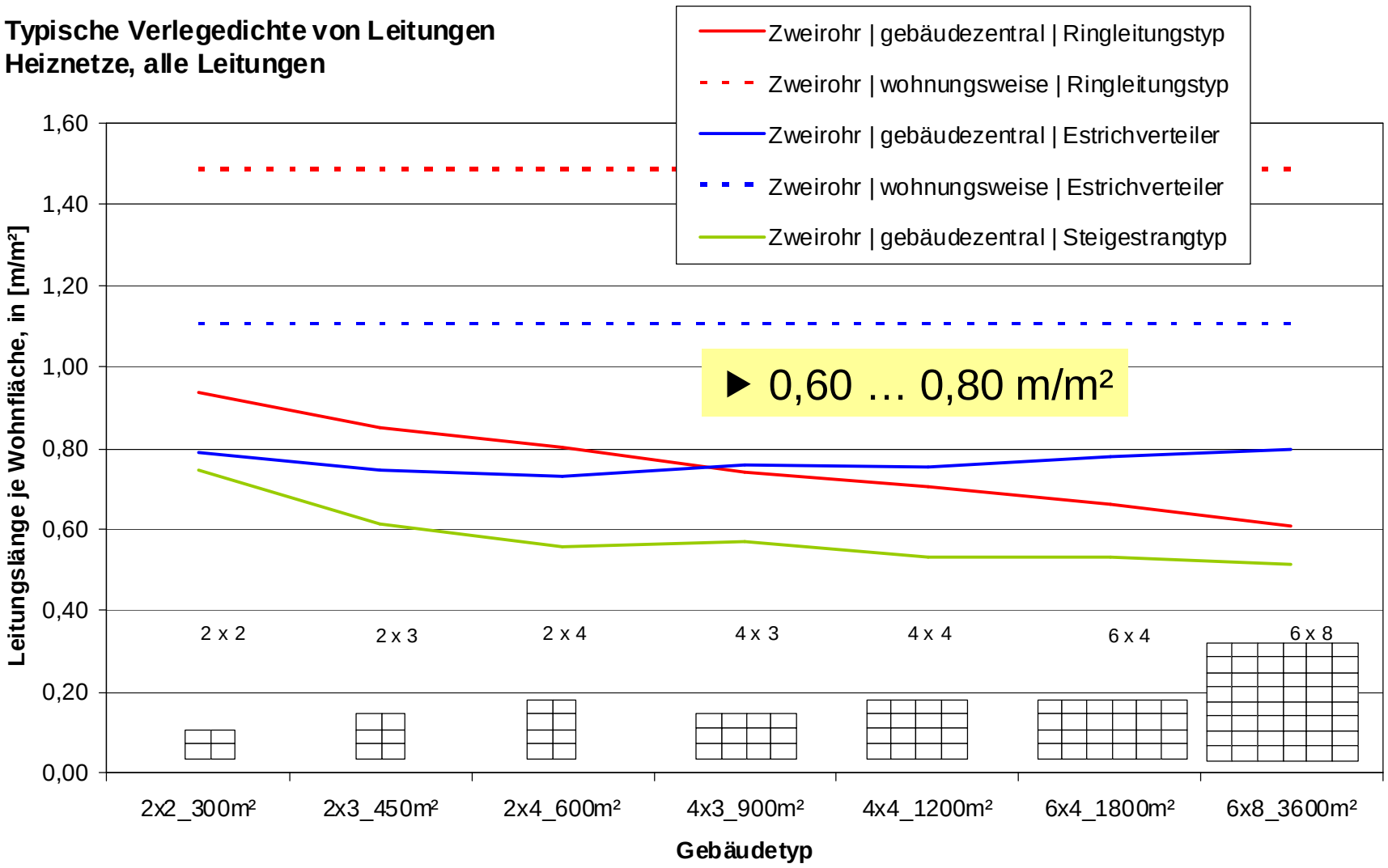
Bestand

- Strahlungs- und Luftheizung -

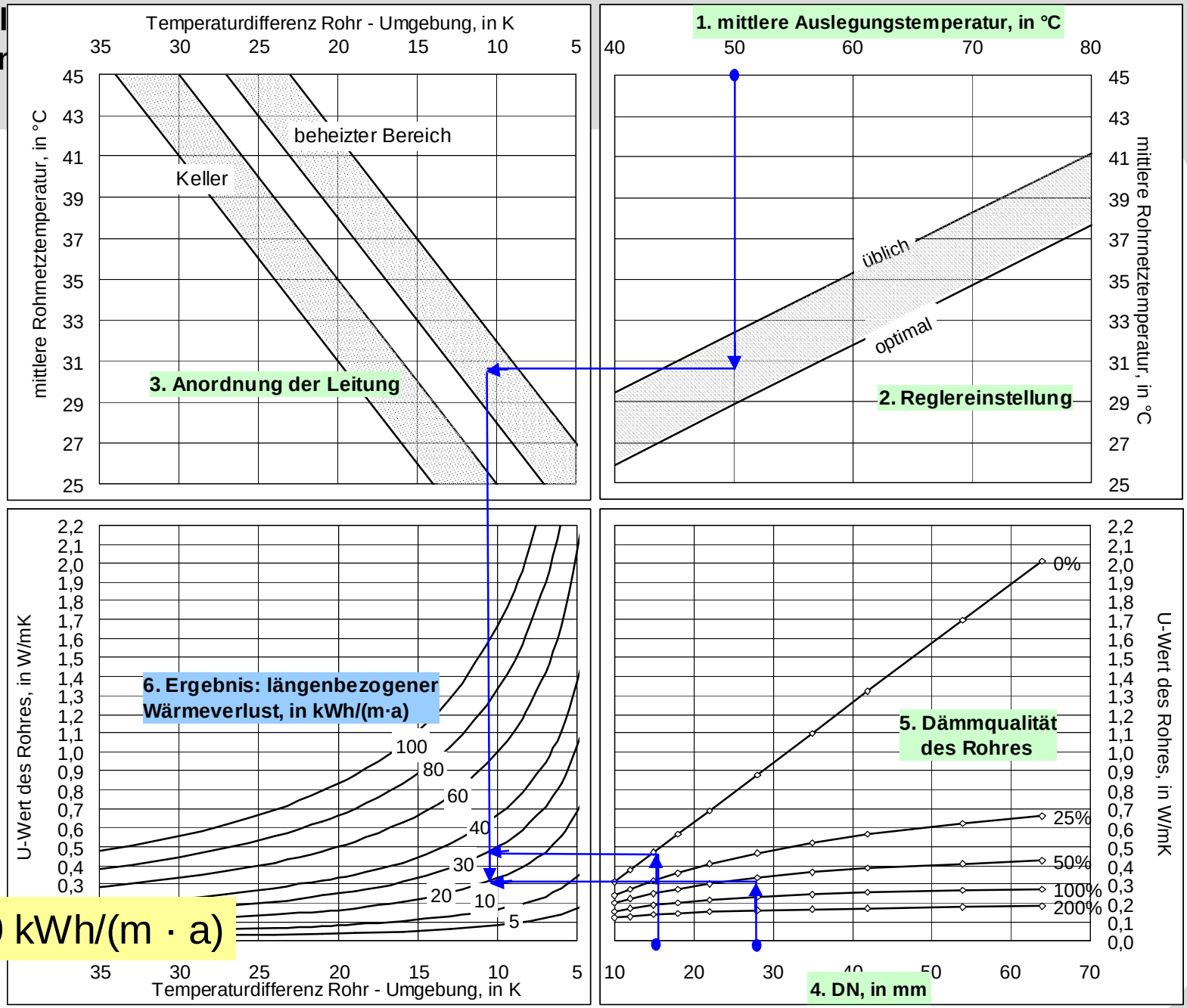


kurze Verteilebene
kurze Steigestränge
kurze Anbindeleitungen

Verlegedichte



Verlustkennwerte

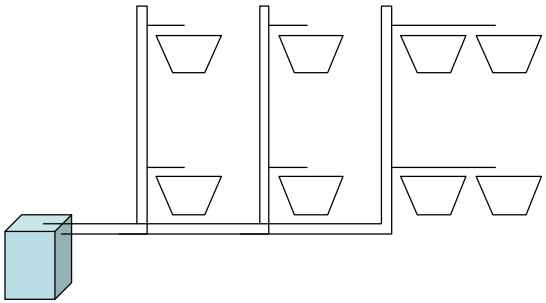


▶ 20 … 30 kWh/(m · a)

2.3 Trinkwarmwasserbereitung

Netztypen Trinkwarmwasser

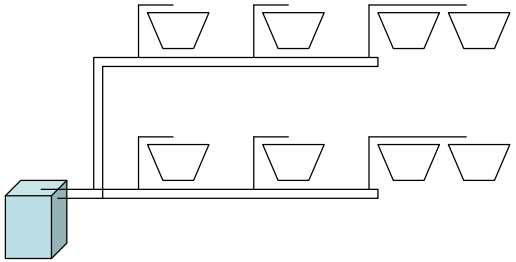
- Steigestrangtyp-



eine Verteilebene waagerecht (mit Zirkulation)
mehrere Steigestränge (mit Zirkulation)
Anbindung vom Steigestrang kurz
typisch bei übereinander liegenden (gleichen) Einheiten

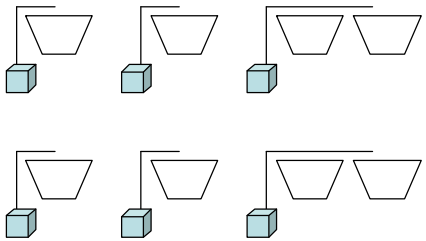
Neubau

- Ebenentyp-



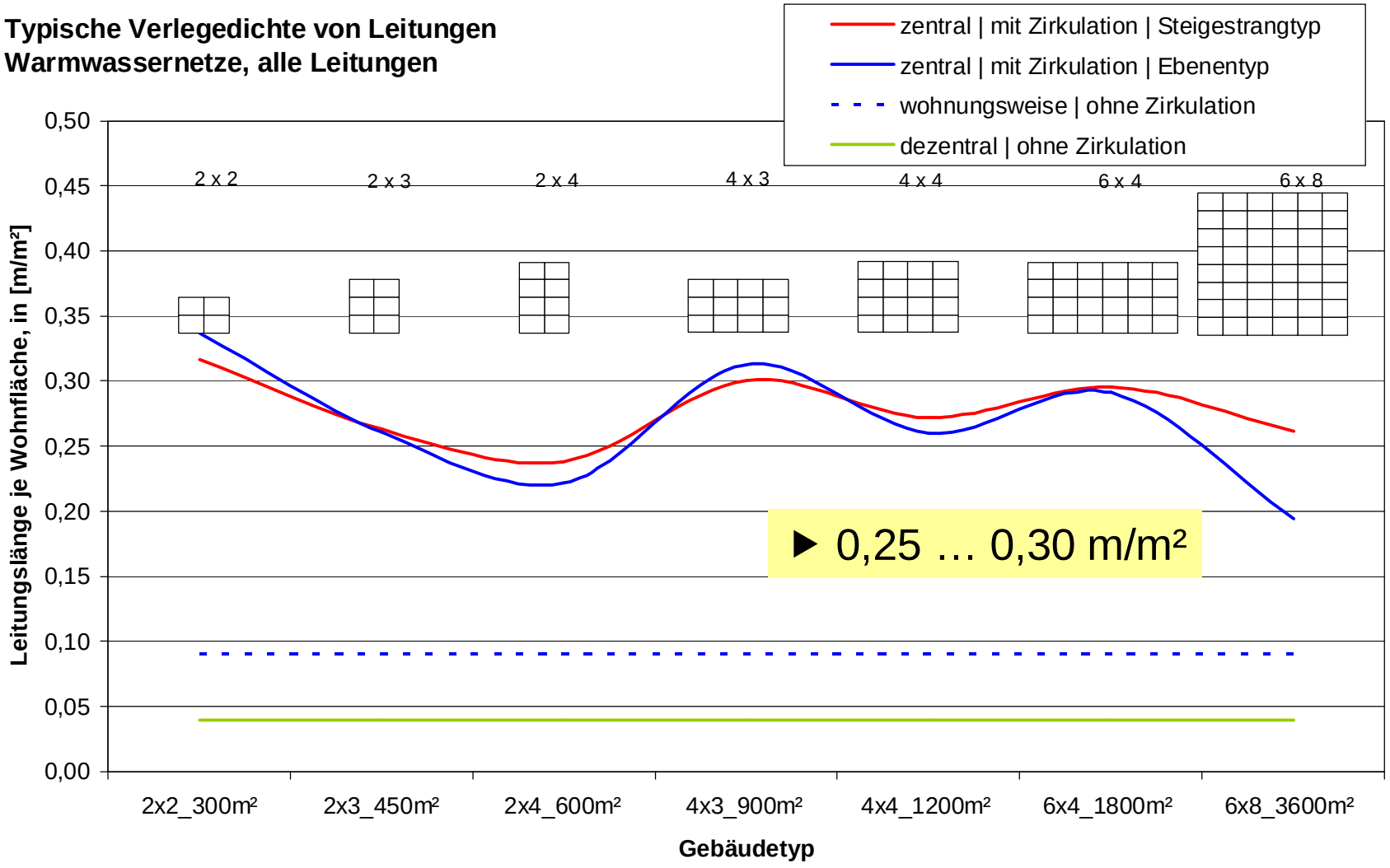
mehrere Verteilebenen waagerecht (mit Zirkulation)
ein Steigestrang (mit Zirkulation)
Anbindung von der Verteilebene kurz
typisch bei versetzt liegenden (unterschiedlichen) Einheiten

- Dezentrale Versorgung-

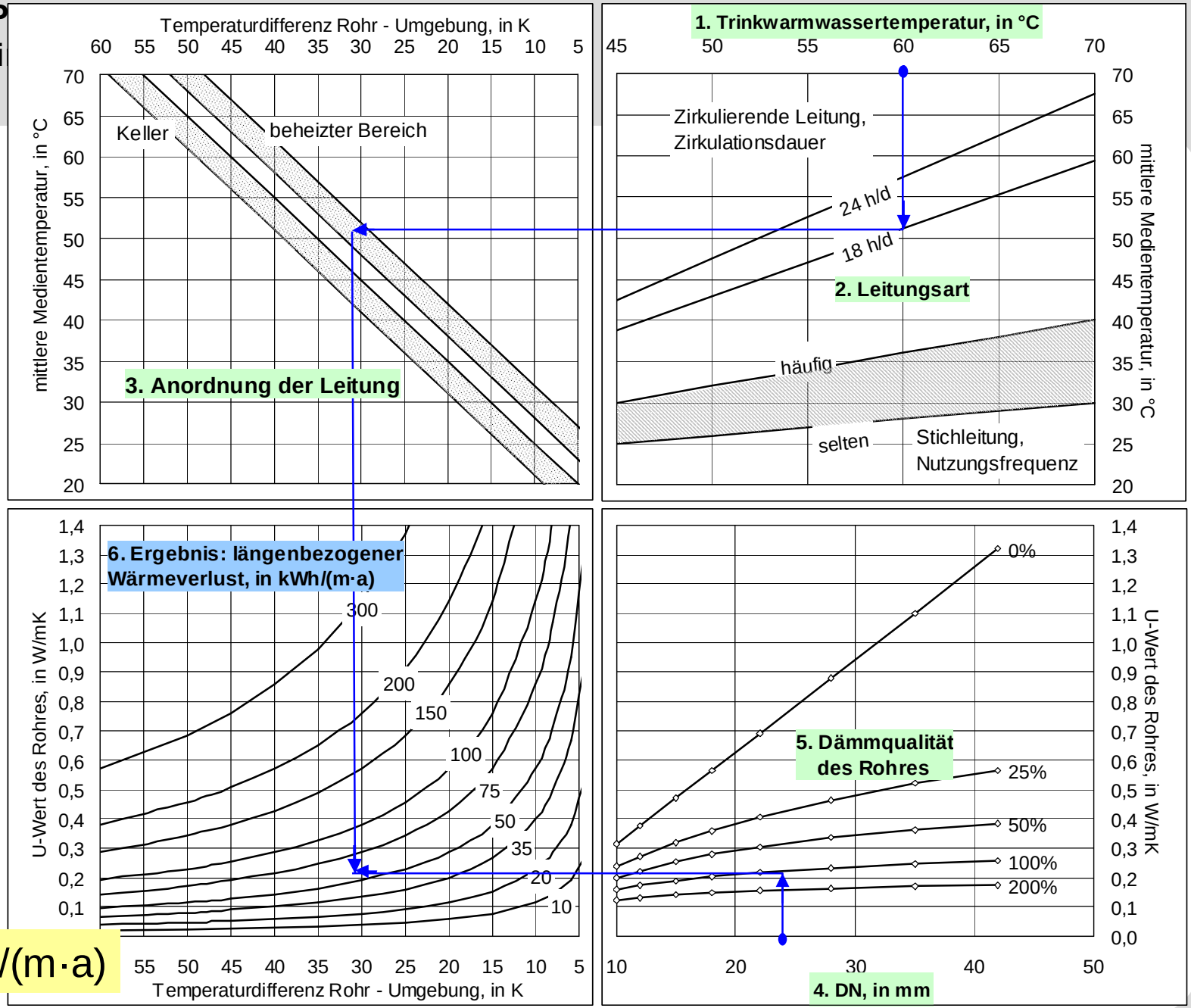


keine Verteilebene
kein Steigestrang
Anbindung kurz

Verlegedichte



Verlustkennwerte



▶ 60 kWh/(m·a)

2.4 Empfehlungen

Verteilleitungen

- Leitungen zu kurz wie möglich!!!
- im unbeheizten Bereich ist die Leitungsdämmung praktisch immer wirtschaftlich!
- im beheizten Bereich ist Leitungsdämmung umso wichtiger, je besser gedämmt die Gebäude sind

  Beispiel 1: heutiger Neubau mit Einrohrheizung
  (Überwärmung einzelner Räume durch Rohrwärme)

  Beispiel 2: „Passivhaus im Bestand“: ungedämmte oder gering gedämmte Trinkwasserzirkulationsleitungen können (außer im Kernwinter) den Wärmebedarf des gesamten Hauses decken!
- auch Leitungen im Estrich dämmen – sonst unfreiwillige Fußbodenheizung

Details: Heizleitungen

- Grundsätzlich gelten die EnEV-Anforderungen als unterstes Niveau einer Empfehlung zur Leitungsdämmung, auch für die Modernisierung
- Niedrigenergiehaus (neu oder modernisiert), z.B. heutiges EnEV-Niveau: wie vor + mindestens Rohre dort dämmen, wo hohe Verlegedichten und eigentlich kein Bedarf (Flure, Abluftträume, auch Rohre im Estrich)
- Niedrigstenergiehaus, z.B. KfW85 und besser: wie vor + alle Leitungen (außer die sichtbaren Anbindeleitungen direkt am Heizkörper) dämmen
- Passivhaus: am besten gar kein Heiznetz verlegen

Systemvergleich Heizung

Versorgung Heizung	Typ	geringe Investitions- und Instandhaltungskosten für die Erzeuger	gute Modernisierungsmöglichkeiten des Netzes	geringe Verteilverluste im unbeheizten Bereich	geringe Überwärmungsgefahr durch Verteilverluste im beheizten Bereich	hoher Nutzereinfluss auf den Endenergieverbrauch durch Komfortabstriche	gerechte Heizkostenabrechnung aus Sicht der Leitungsabwärme	gerechte Heizkostenabrechnung durch hohen flächenbezogenen Anteil	geringer Stromverbrauch der Pumpen	geringe Kosten für Leistungspreise / Anschlusspreis / Grundgebühr	geringe Kosten der Heizkostenabrechnung und hohe Heizkostengerechtigkeit	geringe Kosten für Wartung und Instandhaltung	hohe Flexibilität zur Einbindung von KWK oder regenerative Energien
wohnungsweise	Etagen-verteiler	■	■	■■■	■	■■■	■■■	■	■	■	■■■	■	■
	Etagenring	■	■■	■■■	■■	■■■	■■	■	■	■	■■■	■	■
gebäude-zentral, Zweirohr	Etagen-verteiler	■■■	■	■■	■	■■	■■■	■■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
	Etagenring	■■■	■■	■■	■■	■■	■■	■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
	Steigestrang	■■■	■■	■	■■	■■	■	■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
gebäude-zentral, Einrohr	Etagenring	■■■	■■	■	■	■	■	■■	■■	■■	■	■■	■■
	Steigestrang	■■■	■■	■	■	■	■	■■	■■	■■	■	■■	■■
Legende:		■ wenig erfüllt ■■ mittelmäßig erfüllt ■■■ gut erfüllt											

Details: Trinkwarmwasserleitungen

- Grundsätzlich gelten die EnEV-Anforderungen als unterstes Niveau einer Empfehlung zur Leitungsdämmung, auch für die Modernisierung
- Bestand: Verteilleitungen in Schächten oder freiliegend sofern möglich nachdämmen
- Niedrigenergiehaus: nicht dünner als 100 %-EnEV dämmen, auch wenn dies erlaubt wäre
- Passivhaus: möglichst doppelte Dämmdicke
- bei langen Leitungswegen besser dezentrale Warmwasserbereitung

Systemvergleich Trinkwarmwasser

Versorgung TWW	Netztyp	geringer Investitions- und Instandhaltungskosten für die Erzeuger	gute Modernisierungsmöglichkeiten des Netzes	geringe Verteilverluste im unbeheizten Bereich	geringe Überwärmungsgefahr durch Verteilverluste im beheizten Bereich	geringer Hilfsenergiebedarf für Pumpen	geringe Kosten für Wartung und Instandhaltung	hohe Flexibilität zur Einbindung von KWK oder regenerative Energien	hohe Trinkwarmwasserhygiene
elektrisch direkt	ohne	■■■	■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■	■■■
wohnungs-weise	ohne Zirkulation	■	■	■■■	■■■	■■■	■	■■	■■
	mit Zirkulation	■	■	■■■	■■	■	■	■■	■■
gebäude-zentral	zentral mit Zirkulation	■■	■	■	■	■	■■	■■■	■
	mit Wohnungsüber-gabe (2-Leiter)	■■	■	■■	■■	■■	■■■	■■■	■■

Legende:
- ■ wenig erfüllt
- ■■ mittelmäßig erfüllt
- ■■■ gut erfüllt

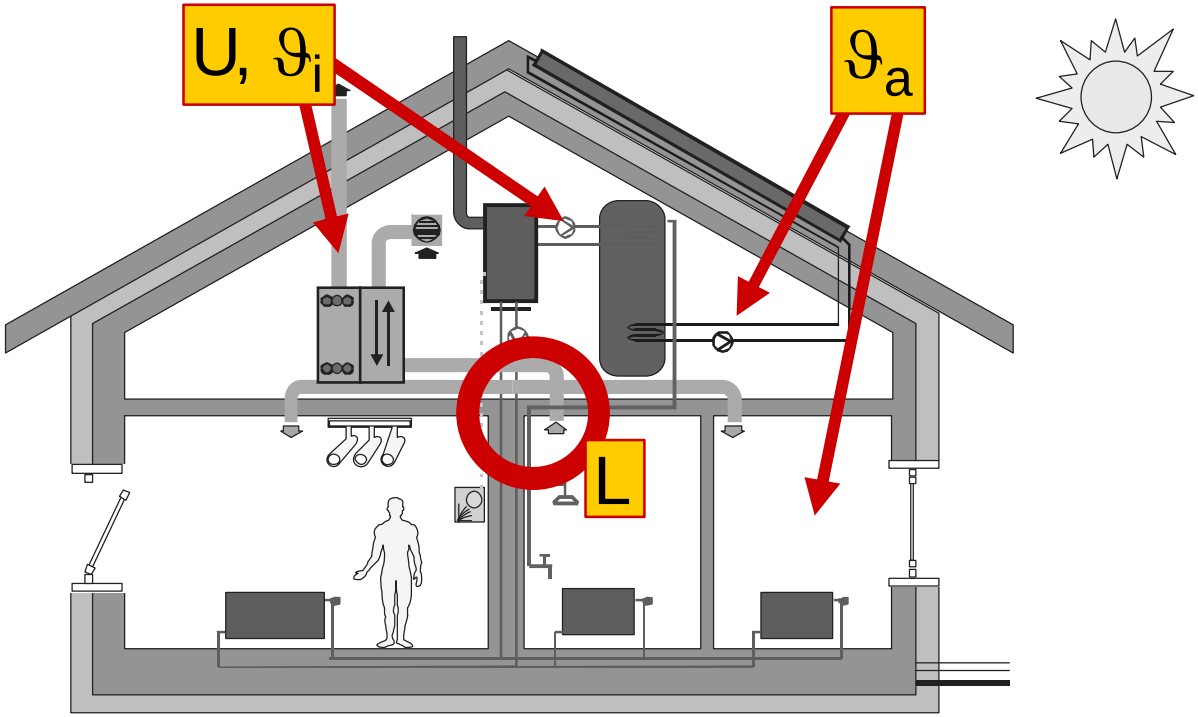
3. Bilanzierung der Verteilung

Wärmeverluste der Wärmeverteilung

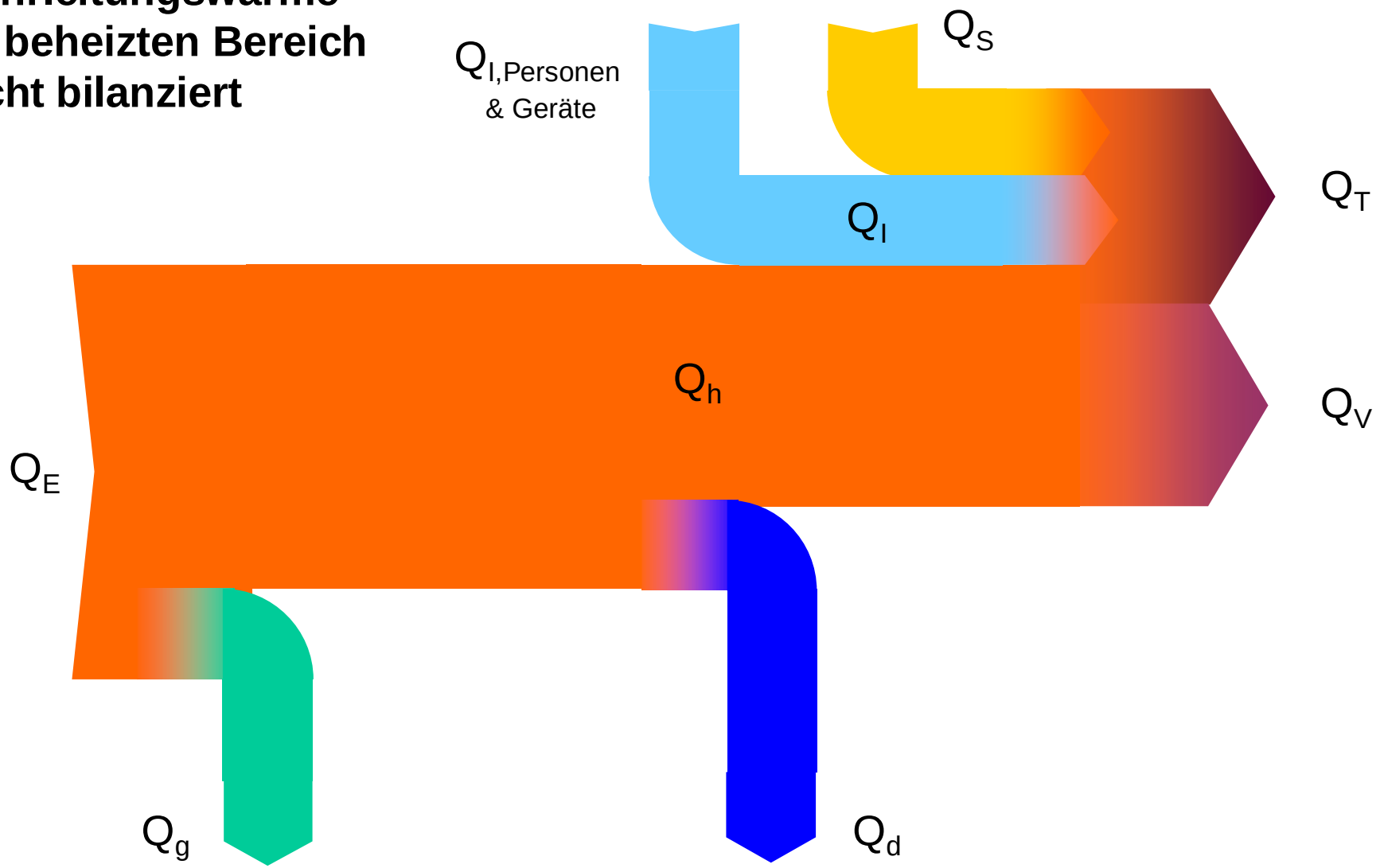
$$Q_d = \Sigma\left[U_{Rohr} \cdot L_{Rohr} \cdot (\vartheta_{i,Rohr} - \vartheta_{a,Rohr})\right] \cdot t$$

Kann auch als Verteilungsnutzungsgrad dargestellt werden.

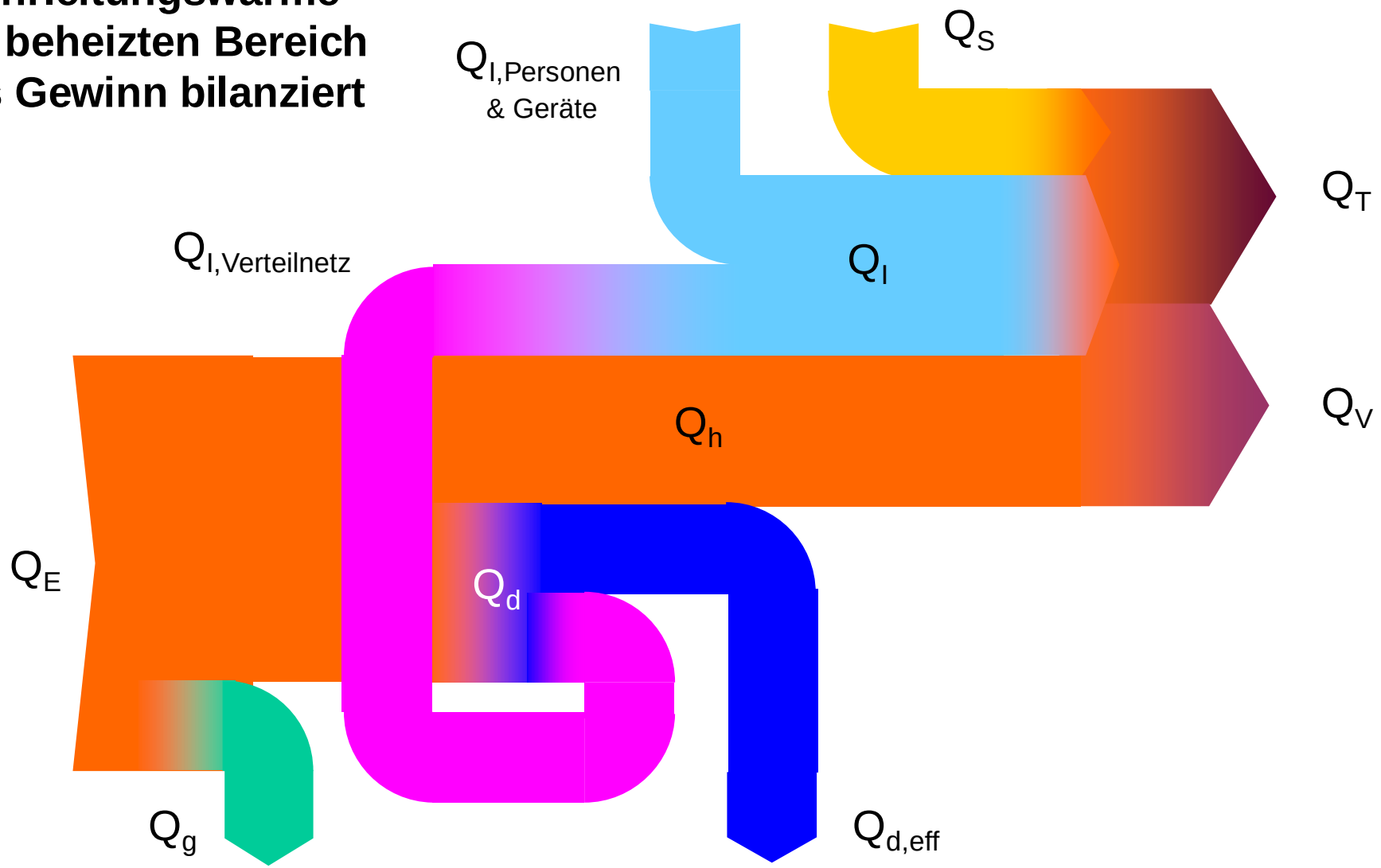
U ist der Leitungsverlustkennwert in W/(m·K)



Rohrleitungswärme im beheizten Bereich nicht bilanziert



Rohrleitungswärme im beheizten Bereich als Gewinn bilanziert



Fazit

- die Bedeutung der Verteilung in der Energiebilanz steigt (relativer Anteil am Endergebnis)
- Verteilverluste im unbeheizten Bereich können in allen Rechenverfahren gut sichtbar gemacht werden
- die Beiträge der Rohrleitungsabwärme zu den ungeregelten internen Wärmegewinnen und mögliche Überwärmungsgefahr (Iterationsfehler) lassen sich mit DIN V 18599 bilanzieren
- das Rechenverfahren der DIN V 18599 enthält Ansätze zur detaillierten Abbildung von Leitungen im Erdreich

4. Heizkosten-abrechnung

4.1 Heizkostenverordnung

Heizungs- und Warmwasseranteil, Umlageprinzip

- **Aufteilung Wärme**: zu 50 % … 70 % nach Verbrauch, Rest nach Wohn- oder Nutzfläche oder umbautem Raum

- **Aufteilung Warmwasser**: zu 50 % … 70 % nach Verbrauch, Rest nach Wohn- oder Nutzfläche oder umbautem Raum

Warmwasseranteil:

- ab 31.12.2013 ist mit Wärmemengenzähler die Gesamtmenge zu erfassen
- bei Unverhältnismäßigkeit der Kosten in Ausnahmefällen: Berechnung über Jahreswarmwassermenge oder Wohnfläche

$$Q_{WW} = 2{,}5 \frac{kWh}{m^3K} \cdot V \cdot (t_w - 10°C)$$

$$Q_{WW} = 32 \frac{kWh}{m^2a} \cdot A_{Wohn}$$

Ausnahmetatbestände bei Heizkostenabrechnung

Heizkostenverordnung muss nicht angewendet werden:

- in Gebäuden mit Heizwärmebedarf von ≤ 15 kWh/(m² a)
- in Alters-, Pflege-, Studenten- und Lehrlingsheimen (es werden Warmmietverträge geschlossen)
- in Gebäuden, die überwiegend mit Wärme aus Wärmerückgewinnungs-, Wärmepumpen-, Solar-, Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen oder Abwärmeanlagen versorgt werden

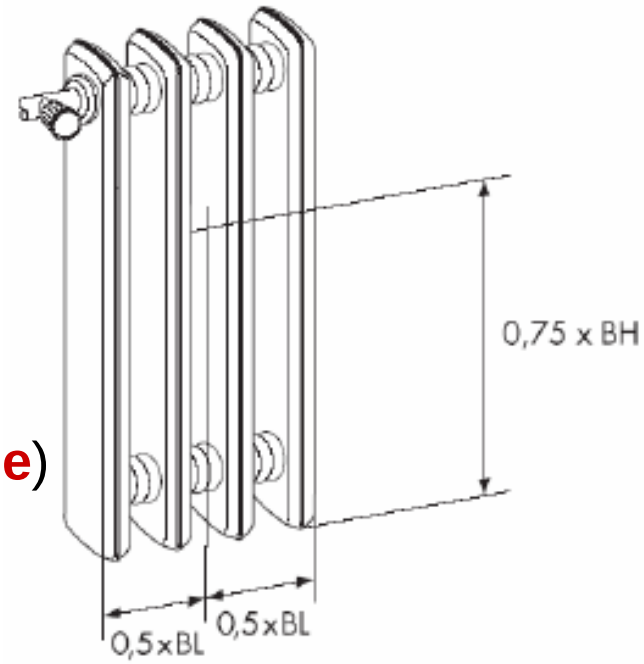
4.2 Erfassungsgeräte

Allgemeines

- Heizkostenverteiler sind **keine Messgeräte**,
  sondern **Erfassungsgeräte**
- messen nur prozentuale Anteile am Gesamtenergieverbrauch
- unterliegen nicht dem Eichgesetz
- müssen zugelassen sein und DIN-Anforderungen erfüllen

- es gibt genaue Regelungen zum
  Befestigungsort am Heizkörper

- zusätzlich muss ein Bewertungsfaktor
  für die Wärmeleistung des jeweiligen
  Heizkörpers eindeutig bestimmbar sein
  (**Umrechnung der Anzeige in Energieanteile**)



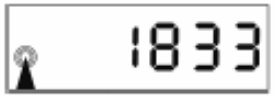
Elektronische Erfassung

nach DIN EN 834

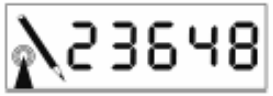
- **Einfühler-Messverfahren** mit einem Temperatursensor (erfasst nur die Temperatur des Heizmediums)
- **Zweifühler-Messverfahren** mit zwei Temperatursensore (ein Sensor misst die Temperatur des Heizmediums, ein zweiter Sensor misst die Raumtemperatur)

- Anzeigewert kann unbewertet sein (dann muss er mit Hilfe von Bewertungsfaktoren korrigiert werden)
- es kann aber auch schon der Verbrauchswert angezeigt werden (wird durch die Programmierung des Gerätes festgelegt)

LC-Anzeigen



Aktueller Verbrauch



Stichtags-Verbrauch

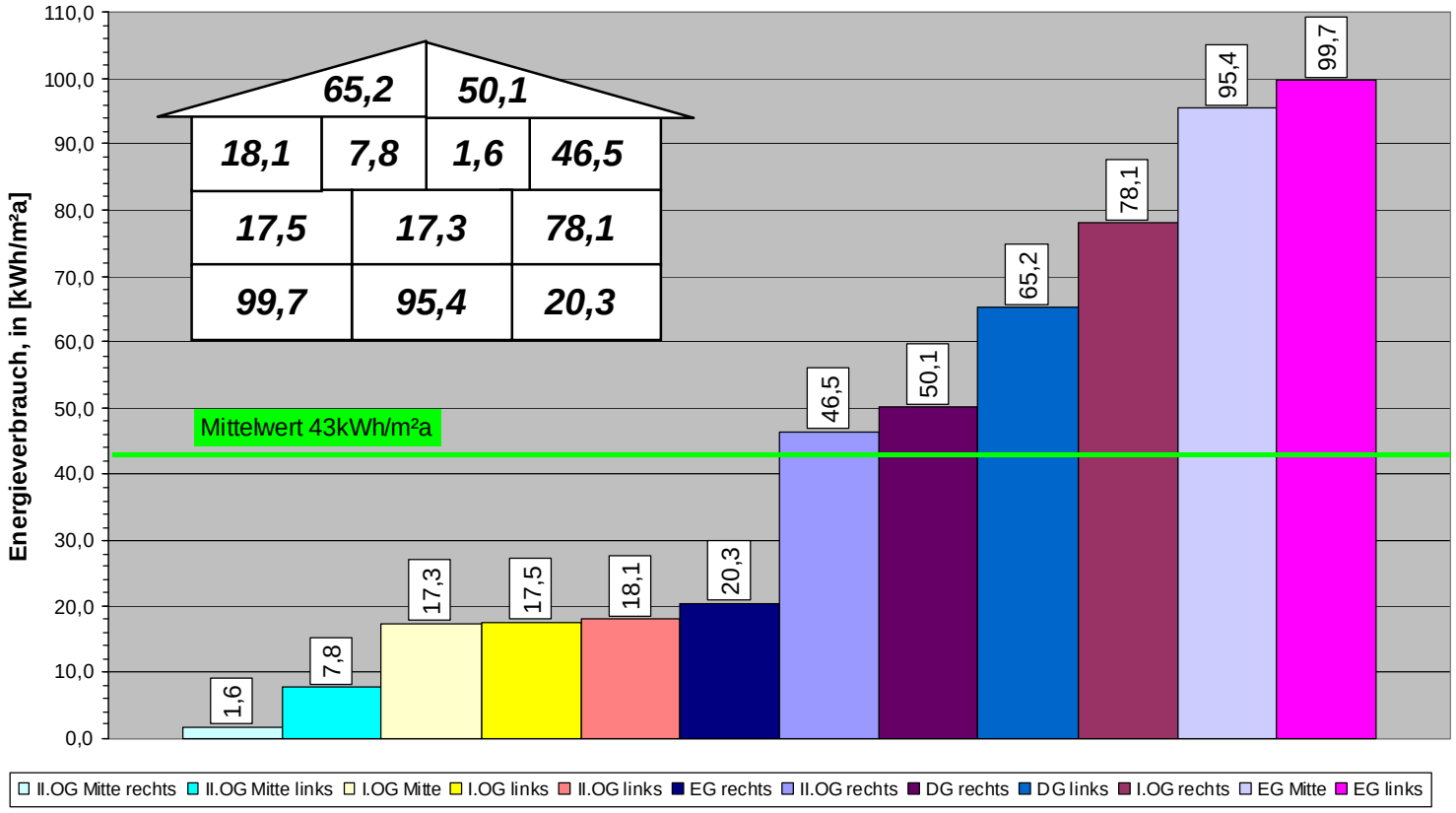
4.3 Ungerechte Heizkostenabrechnung

Ungerechtigkeitsprobleme

- Kosten der Abrechnung übersteigen die eigentlichen Energiekosten (oder nähern sich denen stark)
- es gibt Wärmeeinträge in den zu beheizenden Bereich, welche gar nicht von Zählern erfasst werden (z.B. Rohre)
- es gibt Wärmeklau der Wohnungen untereinander

Heizkörper und Komfortlüftung Faktor-10-Häuser (proklima) Komfortlüftung unter Beibehaltung der alten Heizkörper

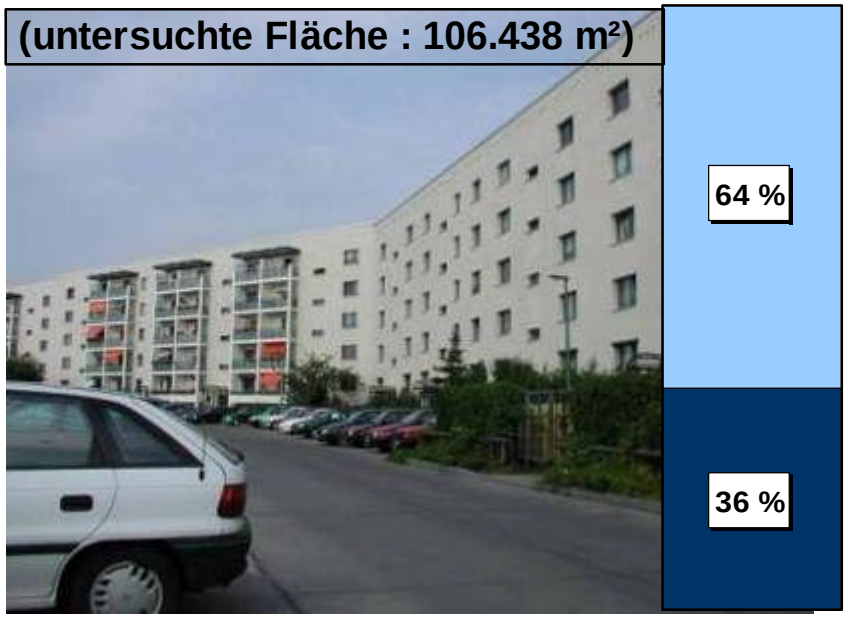
Bezogene Energiekennwerte des Jahresenergieverbrauchs der 12 Wohnungen eines auf Passivhausniveau sanierten MFH



Praxisbeispiel: Mehrverbrauch trotz guter Hülle?

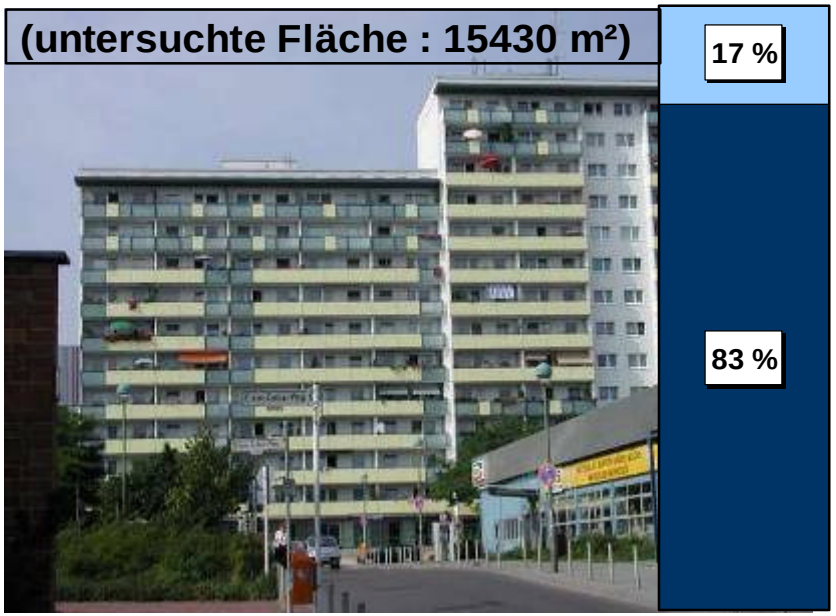
In modernisierten Plattenbauten: bei gleicher Qualität der Außenfassade und gleicher Erzeugung sehr unterschiedliche Heizenergieverbräuche

94 kWh/(m²a)



5-Geschosser Zweirohrheizung

120 kWh/(m²a)



11- und 14-Geschosser Einrohrheizung

kontrolliert in der Wohnung abgegeben
über die Leitungen abgegeben

5. Ausblick Wärmeübergabe

Heizkörper und Fußbodenheizung

- Konvektoren: mit niedrigen Vorlauftemperaturen sind Konvektoren ohne Einsatz von Gebläsen praktisch nicht regelbar (Verkleinerung der Leistung ist dann nur durch Abschaltung von Konvektoren möglich!)
- Flächenheizung: in hochwärmegedämmten Gebäuden schlecht regelbar (wegen der geringen Übertemperatur)
- Vorsicht bei massereichen/trägen Heizsystemen im Niedrigstenergiebau, v. a. im Zusammenhang mit großen Fensterflächen: Fußbodenheizung oder Betonkernaktivierung

Auslegung im Effizienzhaus

- Plattenheizkörper und Handtuchradiatoren problemlos einsetzbar, auch mit 45 … 50°C Auslegungsvorlauftemperatur
- auf geringe Konvektionsanteile bei den Platten achten
- bei Flächenheizungen: extrem kleine Vorlauftemperaturen (schlechter regelbar) bei normalen Verlegeabständen oder extrem hohe Abstände (> 30 cm) bei üblichen Temperaturen
- evtl. keine Vollbelegung der Grundflächen vorsehen!

Herstellerdaten einer FBH

6.3 Auslegungstabelle
xnet C11 Noppensystem/
C12 Tackersystem

$R_{\lambda,B} = 0{,}00 \ \frac{m^2K}{W}$

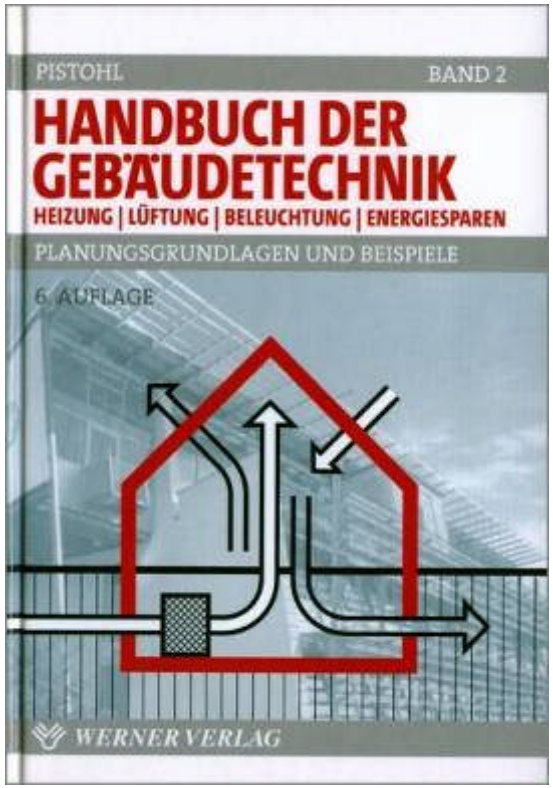
z. B.
Keramik/
Fliesen 5 mm
Auslegung

Raumtemperatur / Vorlauftemperatur		Aufenthaltszone													
		24				25			26			27		28	
		← Wärmestromdichte (Watt/m²) —													
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
20 °C	35 °C	**33**	**27,5**	**27,5**	**22**	**22**	**16,5**	**16,5**	**16,5**	**11**	**11**	**11**	**5,5**	**5,5**	**5,5**
		37,0	30,8	27,7	23,7	19,6	17,2	13,5	11,5	10,8	9,4	7,4	6,2	6,0	5,1
		104	102	91	100	82	96	76	64	91	79	62	104	100	85
	40 °C			**33**	**27,5**	**27,5**	**22**	**22**	**22**	**16,5**	**16,5**	**16,5**	**16,5**	**16,5**	**11**
				37,0	30,8	30,7	23,7	23,2	20,1	18,5	16,5	15,0	12,7	11,5	11,3
				104	102	101	100	97	84	104	92	84	71	64	95
	45 °C					**33**	**27,5**	**27,5**	**22**	**22**	**22**	**22**	**22**	**16,5**	**16,5**
						37,0	30,8	30,8	24,6	24,5	23,3	20,8	17,7	17,1	15,1
						104	102	102	103	103	98	87	74	96	85
	50 °C	VA (Verlege-Abstand) / cm					**33**	**33**	**27,5**	**27,5**	**27,5**	**22**	**22**	**22**	**22**
		max. Fläche / m² je Heizkreis					37,0	36,9	30,8	30,7	29,3	24,6	24,6	22,1	20,7
		max. Heizkreislänge / m					104	103	102	101	97	103	103	93	87

4. Literatur

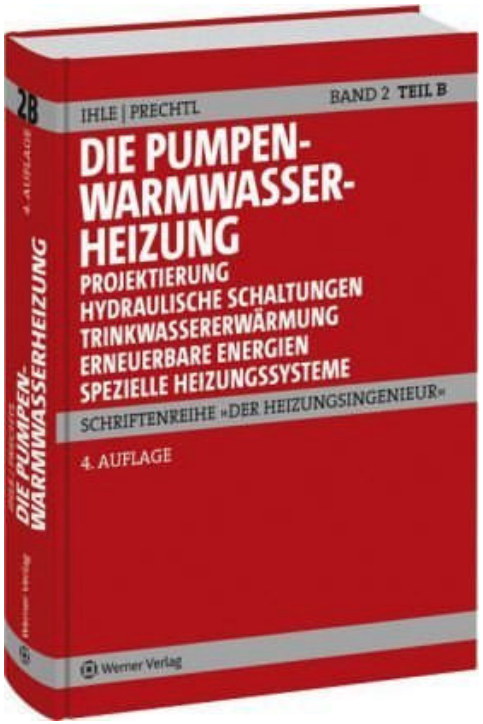
Erklärungen:

Planung:



Grundlagen:

Vertiefung:



Im Netz:

www.Delta-Q.de