

Kati Jagnow

Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

**3. KAplus-Fachseminar
Eckernförde, 07.09.2015**

Überblick

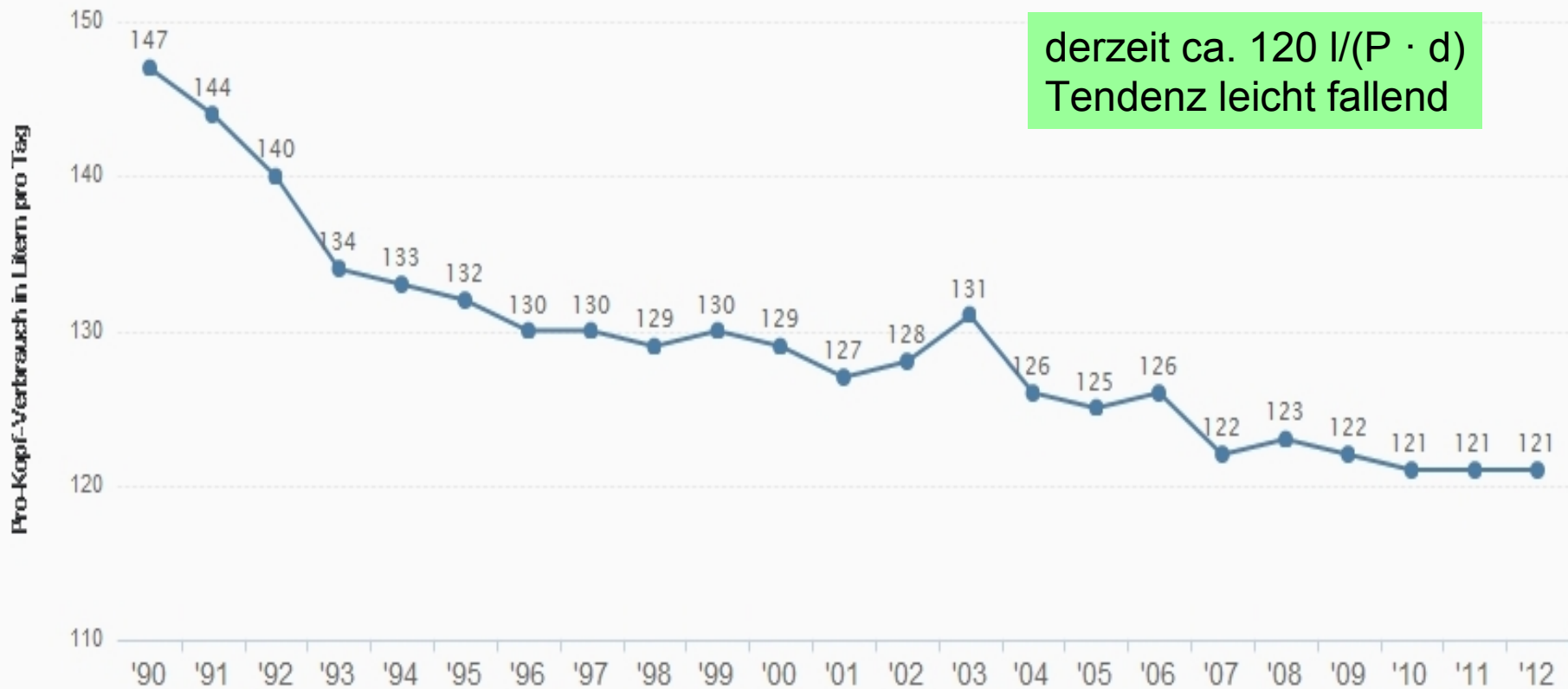
- Einfluss der Verteilverluste bei der Warmwasserbereitung
- Messwerte und Berechnung
- zentrale und dezentrale Systeme
- Vor- und Nachteile
- Ansätze und Probleme,
Fallstricke in der Planungsphase
- Optimierung der Systemtemperatur
- Möglichkeit der Nutzung
von regenerativen Energien



Verbrauchskennwerte

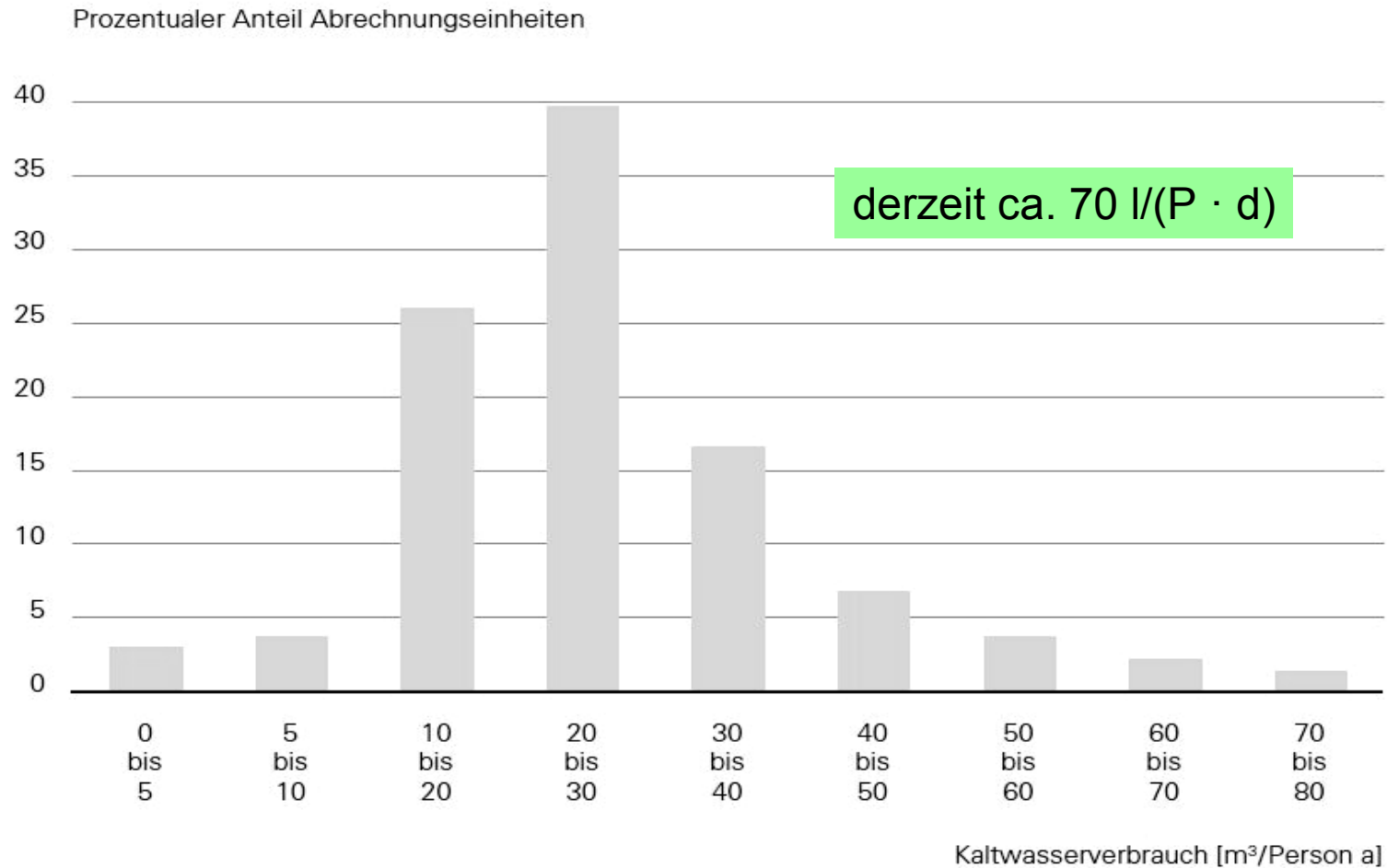
Wasser und Energie

Pro-Kopf-Wasser-Verbrauch



Quelle: statista/BDEW, 2015

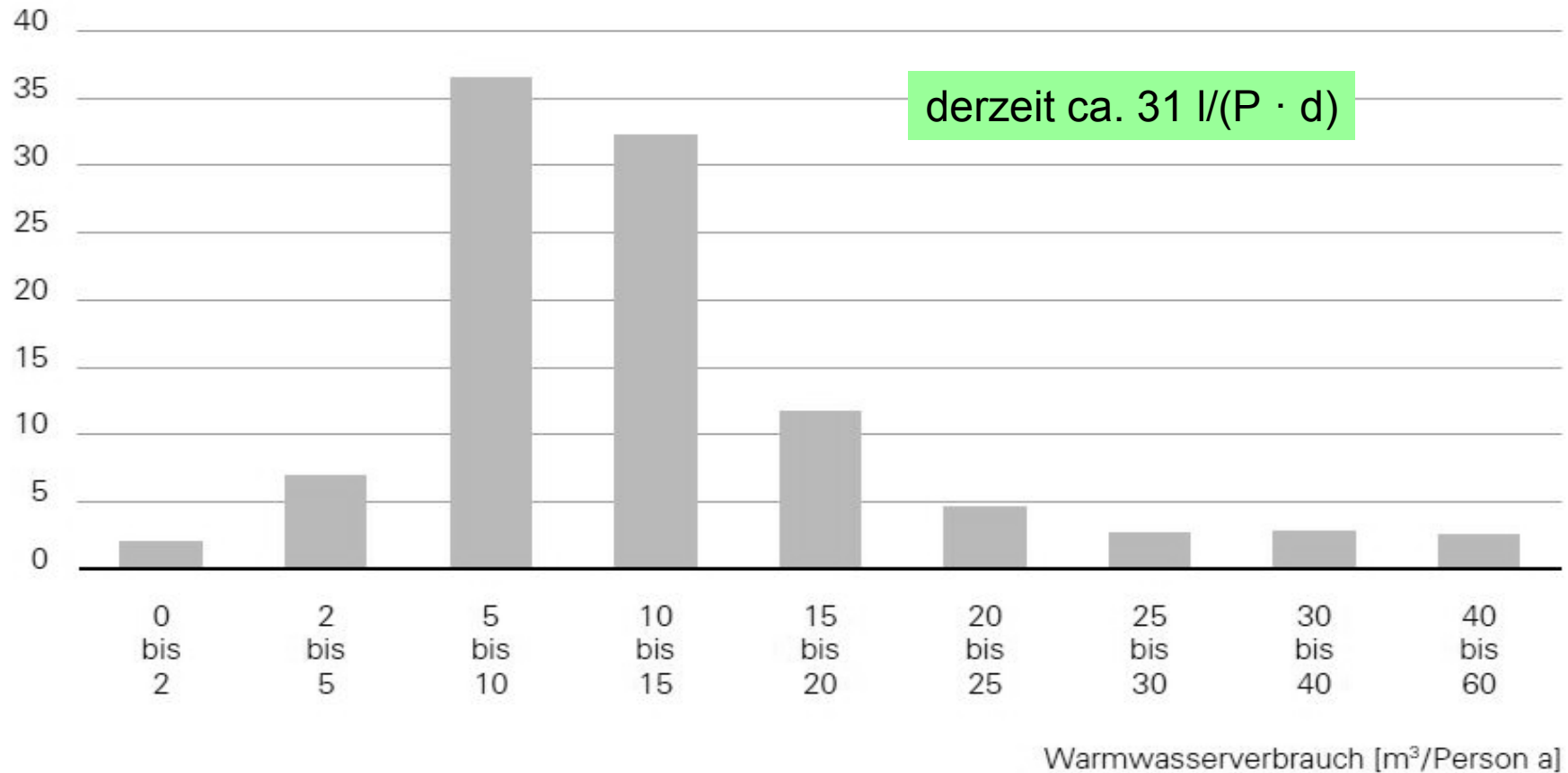
Kaltwasserverbrauch



Der Mittelwert liegt bei rund 25,4 m³ (entspricht 69,6 Liter/Person und Tag).
Die Bandbreite der Verteilung entspricht ungefähr der des Warmwasserverbrauchs.

Warmwasserverbrauch

Prozentualer Anteil Abrechnungseinheiten



Der Mittelwert liegt bei rund 11,4 m³ (entspricht 31,3 Liter/Person und Tag).

Quelle: Techem, 2014

Wärmeverbrauch für Warmwasser

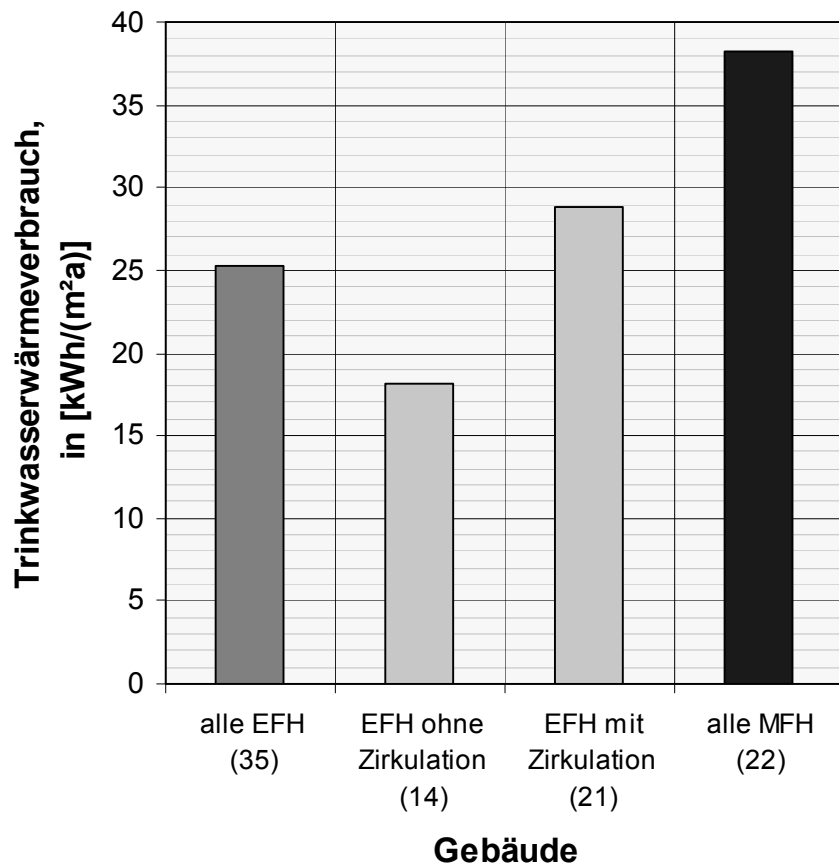
in kWh/(m ² a)	Gebäude mit dezentraler Warmwasserbereitung		Gebäude mit zentraler Warmwasserbereitung	
	Energieträger	Raumheizung	Raumheizung	Warmwasser
Erdgas	142	127	32	
Heizöl	140	129	28	
Fernwärme	112	91	26	
	Werte witterungskorrigiert, heizwertbezogen, bezogen auf die Wohnfläche			

Quelle: Techem, 2014

Wärmeverbrauch für Warmwasser

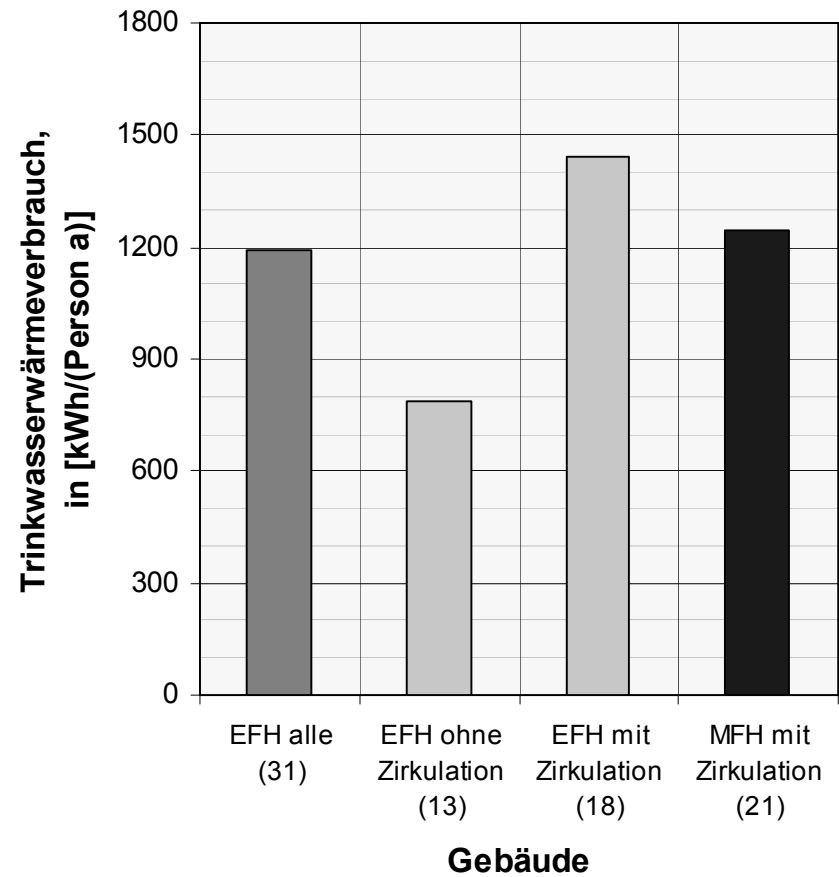
Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch
aus Jahresmessdaten

(Werte ab Erzeuger,
bezogen auf die beheizte Fläche)



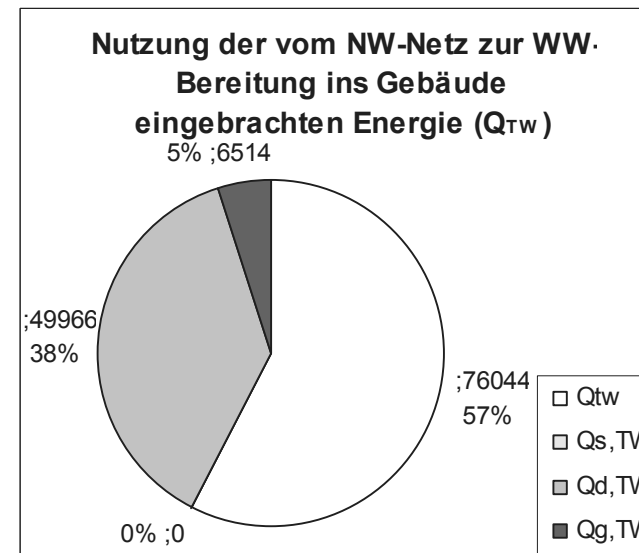
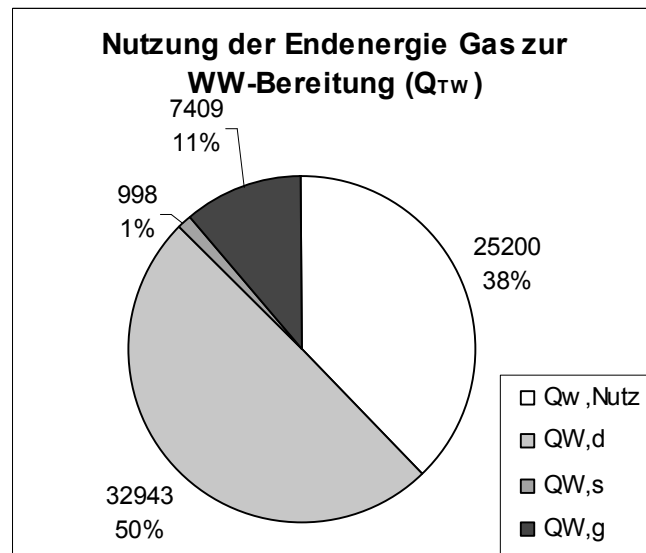
Bereinigter Trinkwasserwärmeverbrauch
aus Jahresmessdaten

(Werte ab Erzeuger,
bezogen auf die Personenzahl)



Quelle: Optimus, 2006

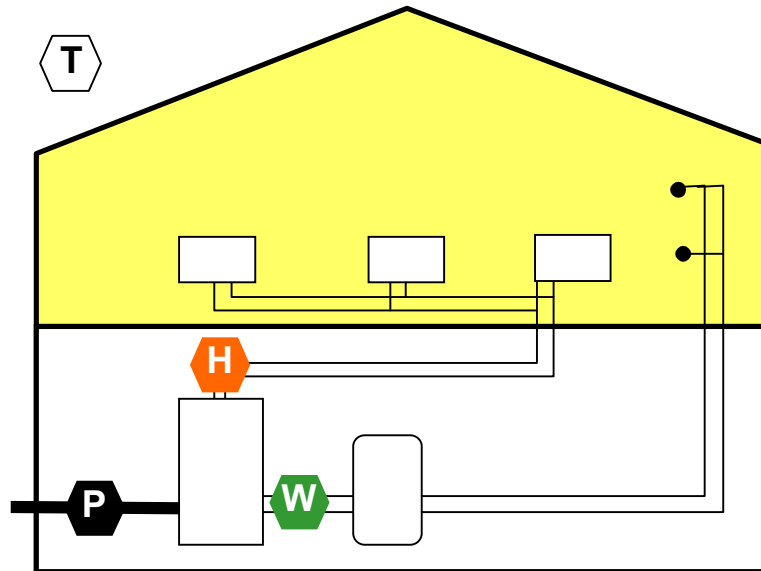
2 typische Beispiele



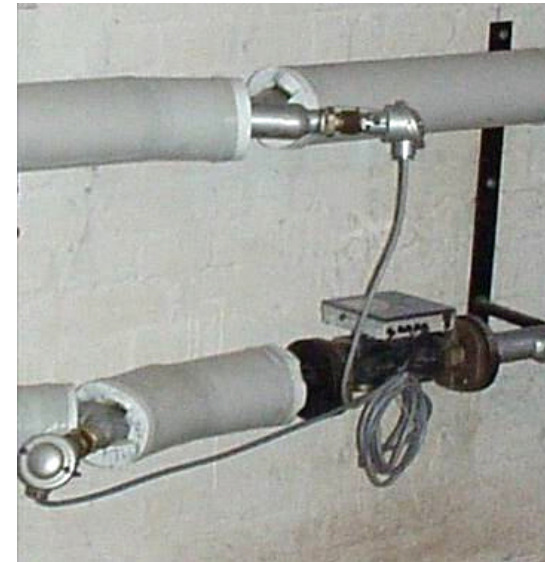
Quelle: eigene

Auswerteverfahren

Messung von Verbrauchsdaten zur Detailanalyse

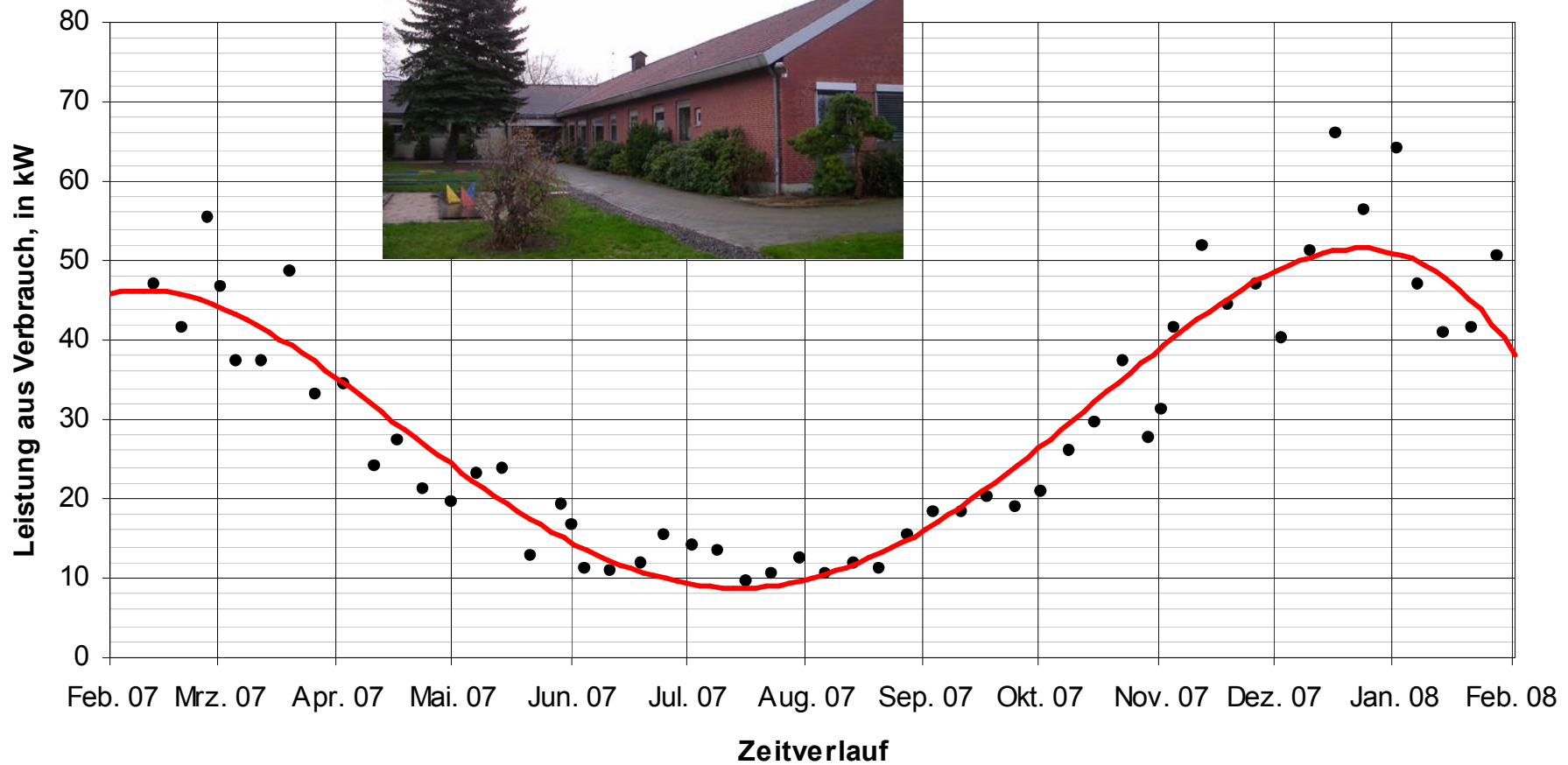


- P** Primärzähler (Gas, Wärme, Heizstrom)
- H** Wärmemengenzähler für Heizung
- W** Wärmemengenzähler für Trinkwarmwasser
- T** Außentemperatur



sinnvoll ist eine monatliche
oder wöchentliche
Erfassung

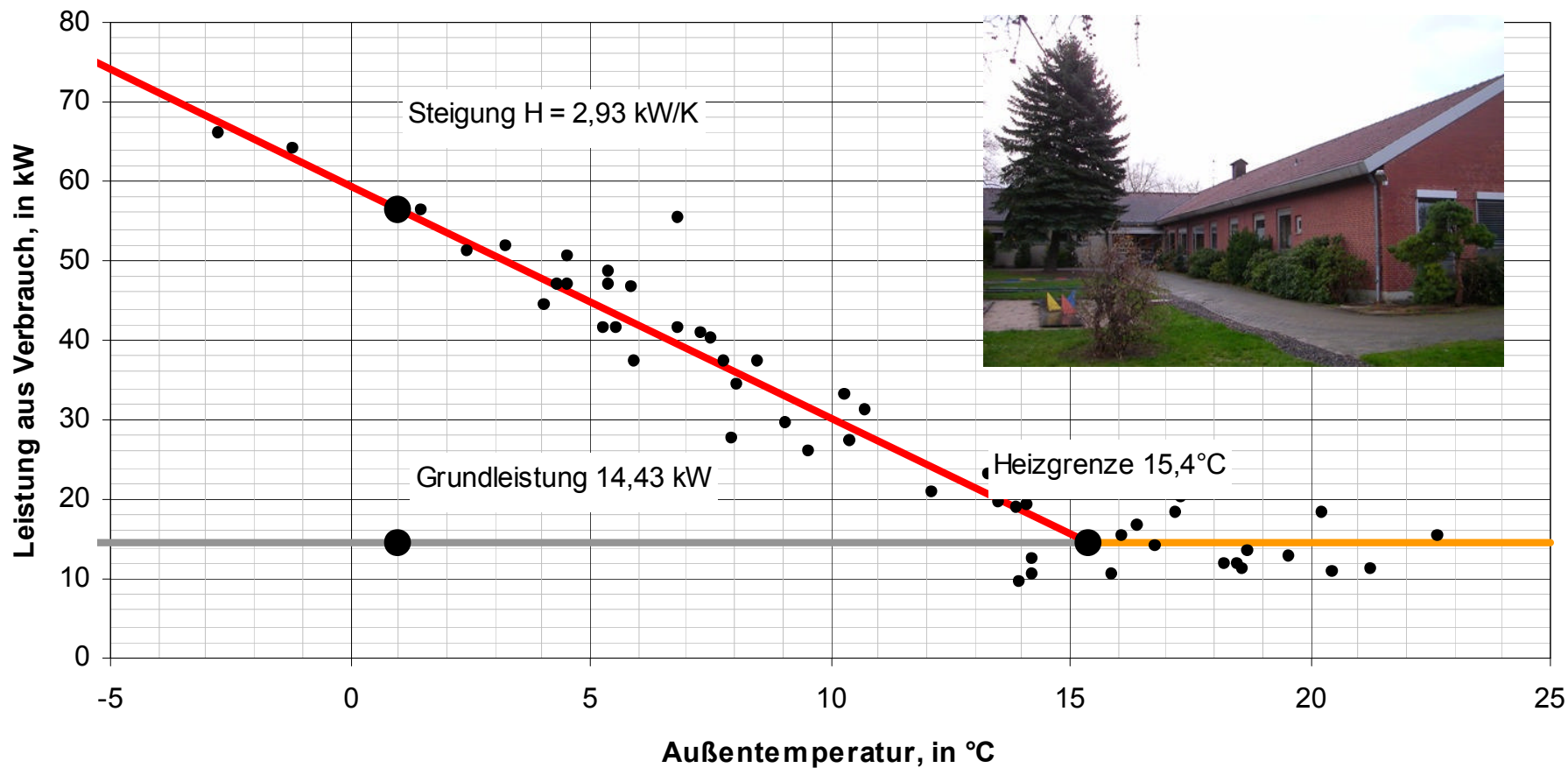
Pflegeheim, Wärme vor Sanierung Zeitabhängige Auftragung



Quelle: eigene

Pflegeheim, Wärme vor Sanierung Temperaturabhängige Auftragung

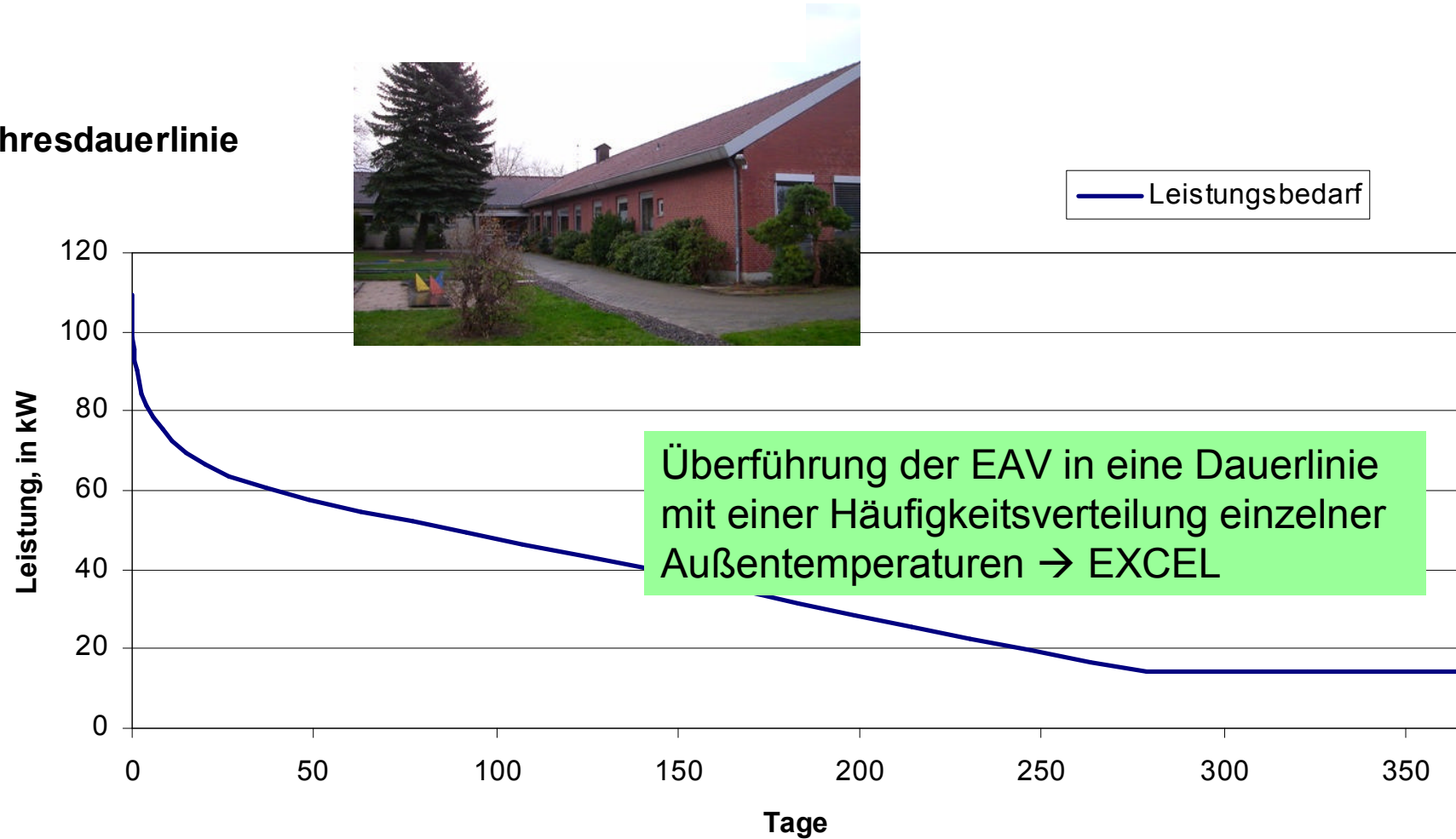
- Messpunkte
- Winterleistung
- Sommerleistung



Quelle: eigene

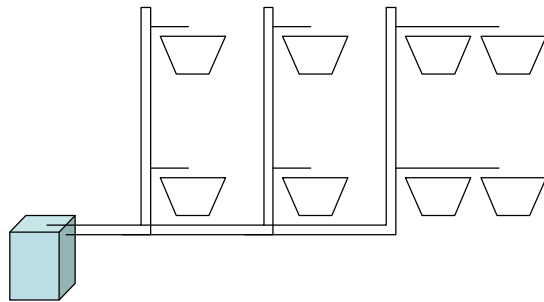
Pflegeheim, Wärme vor Sanierung sortierte Leistungen = Jahresdauerlinie

Jahresdauerlinie



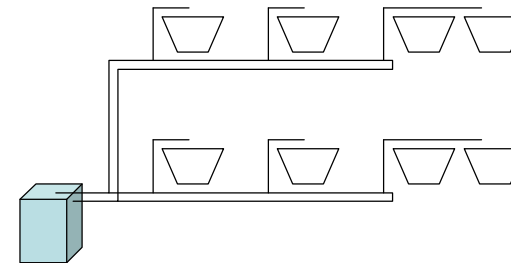
Systemvarianten Verteilung

- Steigestrangtyp-



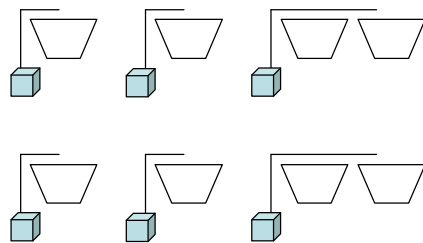
eine Verteilebene waagrecht (mit Zirkulation)
mehrere Steigestränge (mit Zirkulation)
Anbindung vom Steigestrang kurz
typisch bei übereinander liegenden (gleichen) Einheiten

- Ebenentyp-



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

- Dezentrale Versorgung-

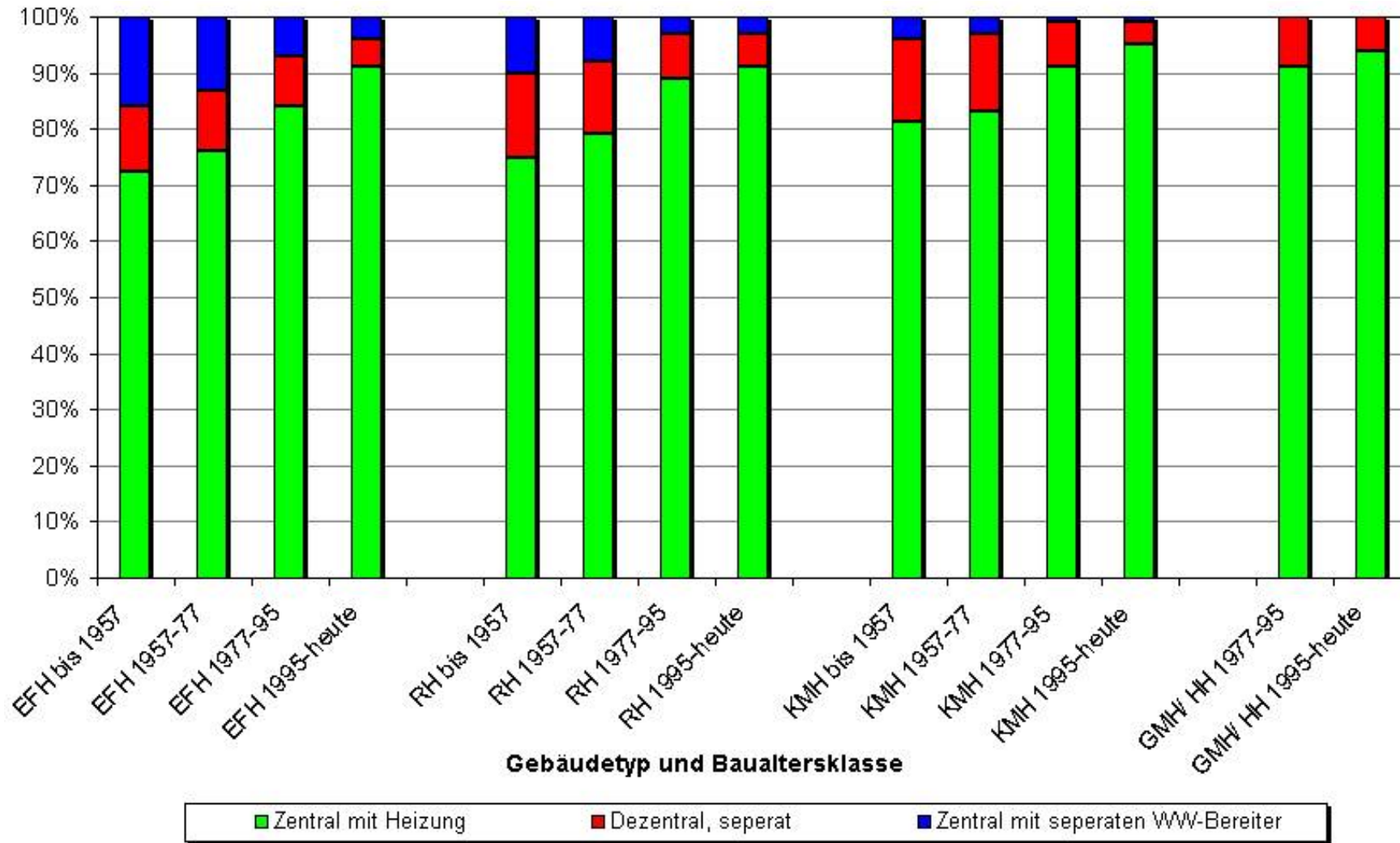


keine Verteilebene
kein Steigestrang
Anbindung kurz

→ ggf. auch ohne Zirkulation
in kleinen Gebäuden

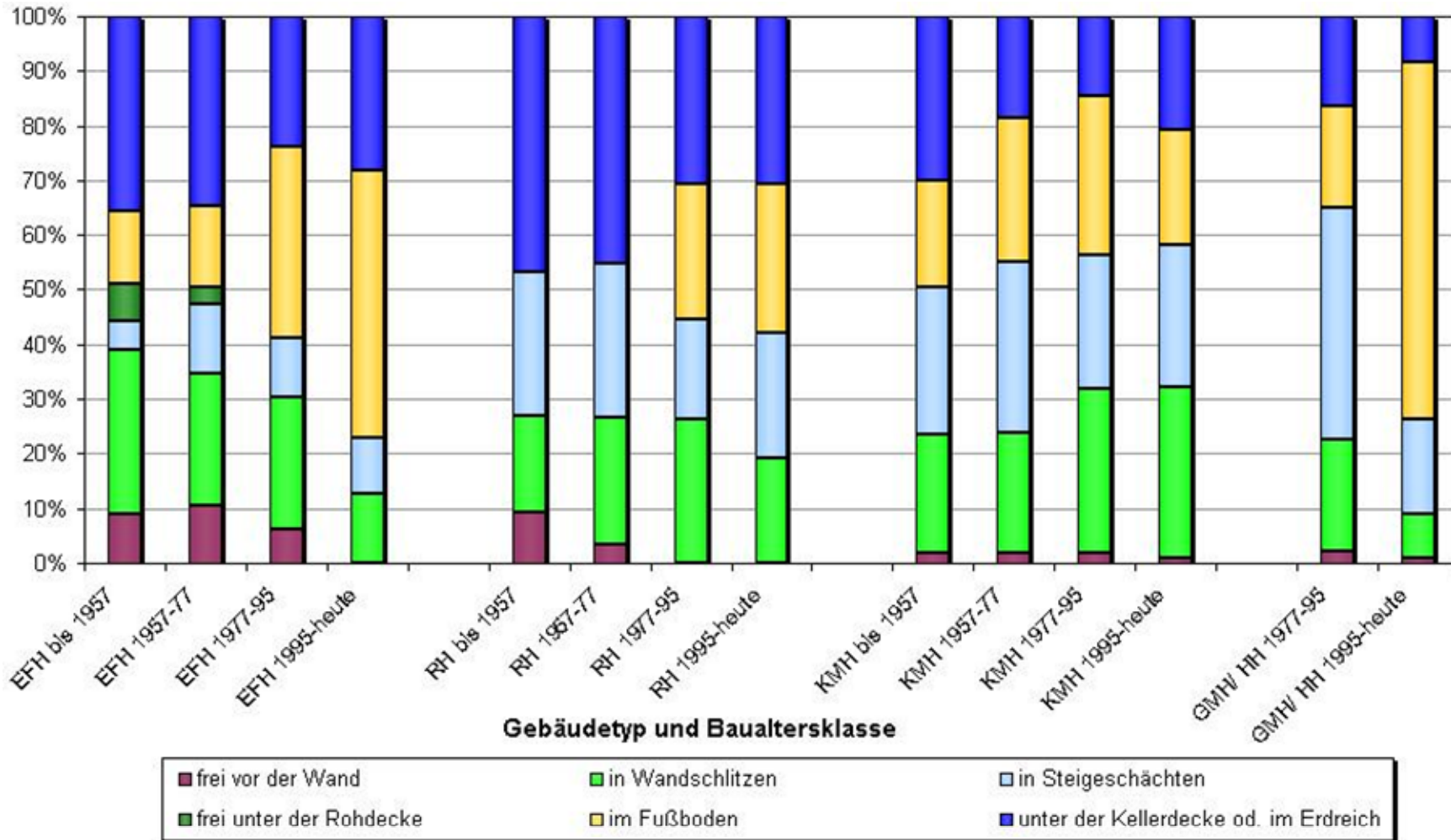
Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

Art des Versorgung



Quelle: Schüßler, 2001

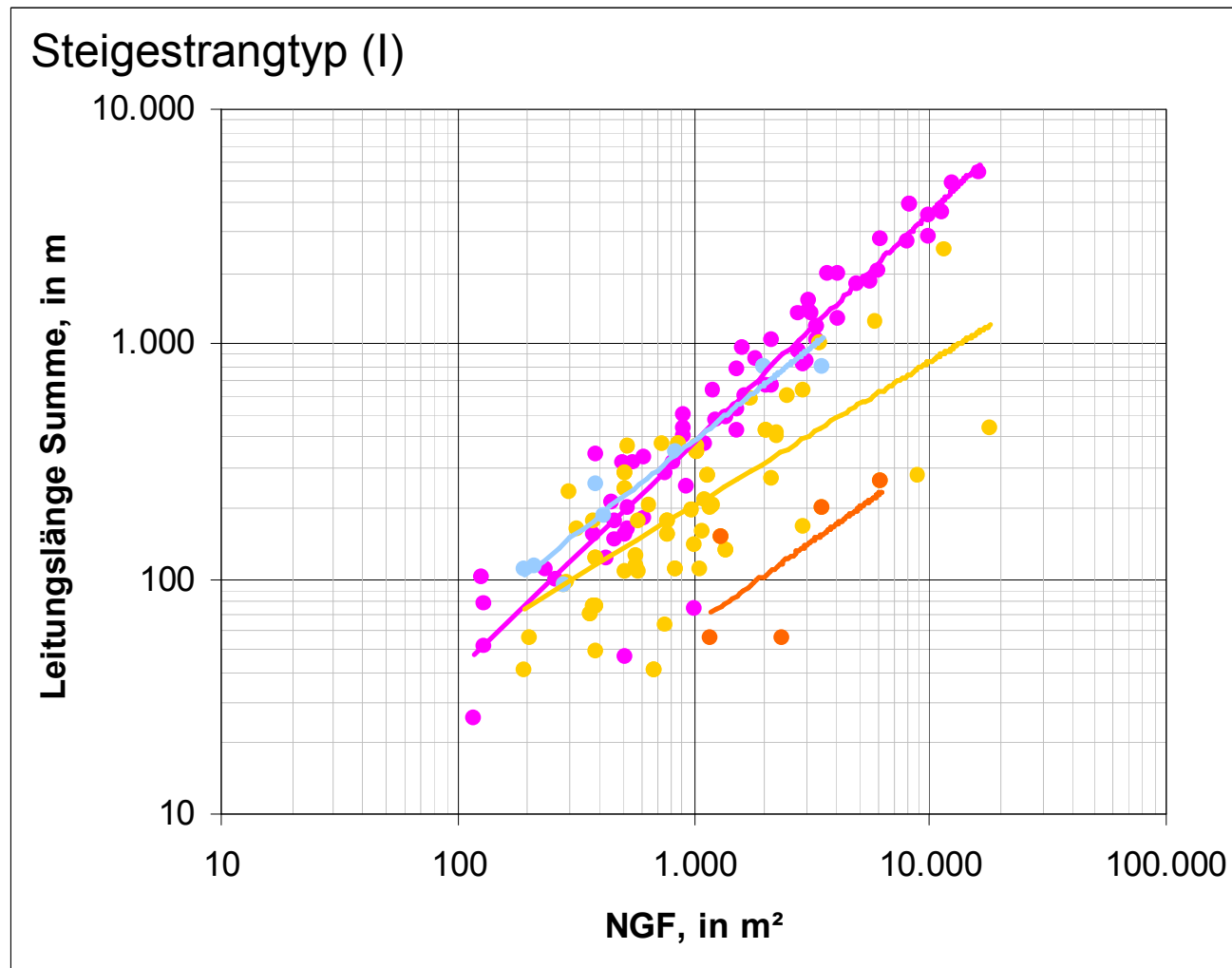
Anordnung der Trinkwarmwasserleitungen



Quelle: Schüßler, 2001

Leitungslängen

Leitungslängen: zentrales Netz (Steigestrangtyp)

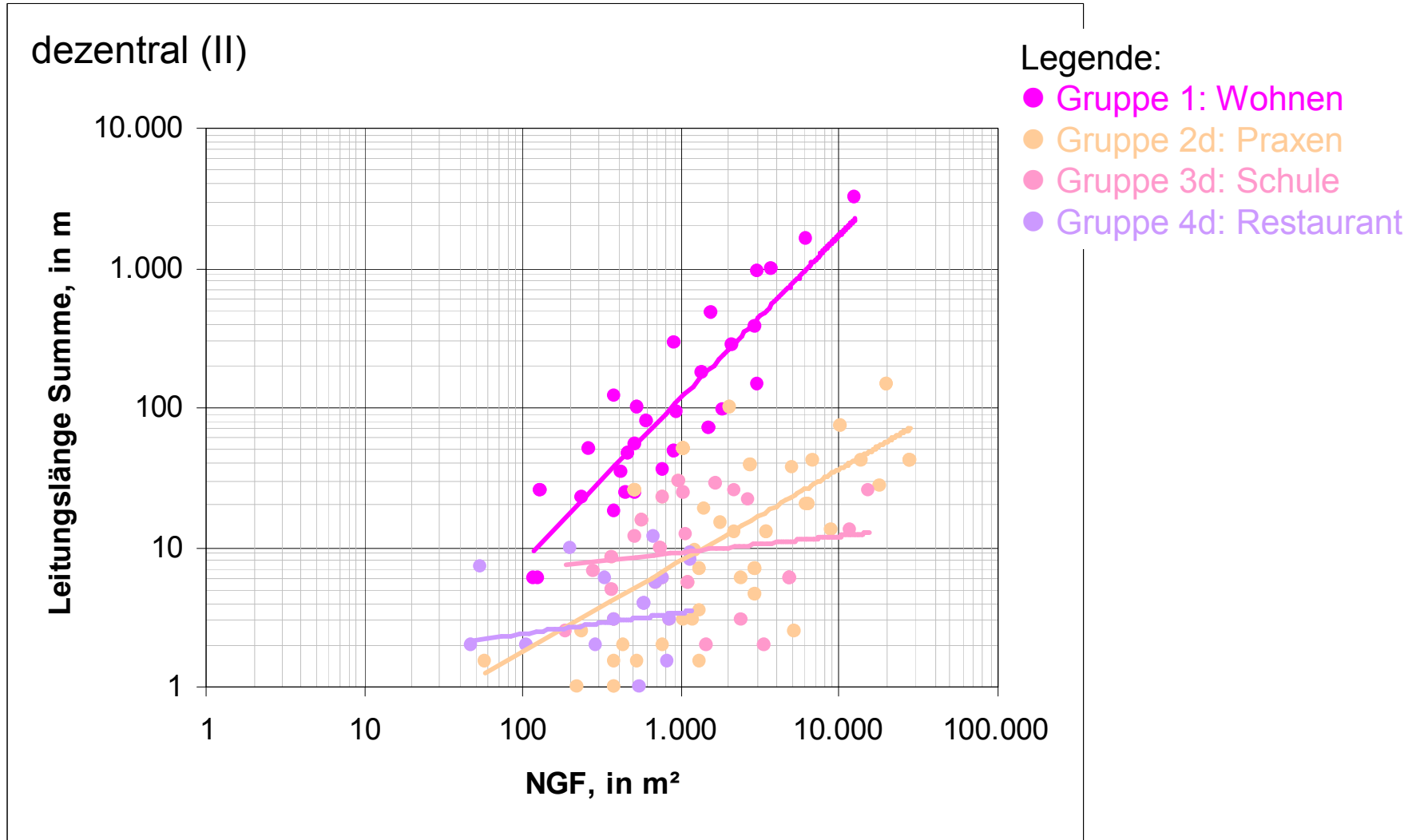


Legende:

- Gruppe 1: Wohnen
- Gruppe 2: Büro
- Gruppe 3: Hörsaal
- Gruppe 4: Sport

Quelle: eigene für BBSR

Leitungslängen: dezentrales Netz



Quelle: eigene für BBSR

Formeln für den Wohnungsbau

Einzelkennwerte

Typ	Verteilung	Steigestränge	Anbindeleitungen
I (zen)	$0,11 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF,Geschoss}} / \text{m}^2]^{1,24}$	$0,005 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{1,38}$	$0,09 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{1,00}$
II (zen)	$0,035 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF,Geschoss}} / \text{m}^2]^{1,50}$	$0,36 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{0,58}$	$0,09 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{1,00}$
III (dez)			$0,09 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{1,00}$

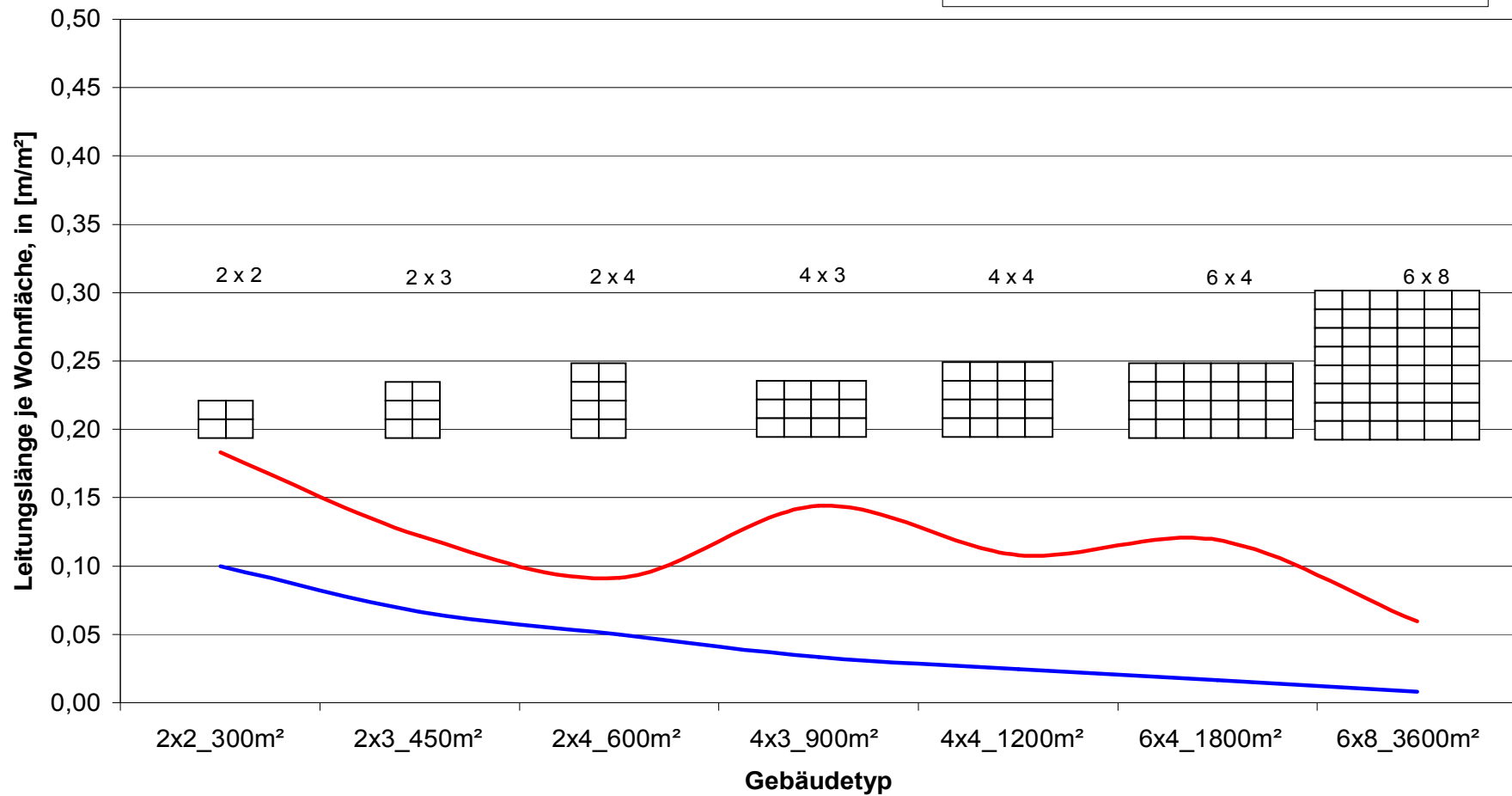
Gesamtkennwerte

I-Netz (Steigestrangtyp)			II-Netz (Ebenentyp)		
$0,44 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{0,98}$			$0,21 \text{ m} \cdot [A_{\text{NGF}} / \text{m}^2]^{1,09}$		
V. 30 %	S: 35 %	A: 35 %	V. 66 %	S: 2 %	A: 32 %

Visualisierung: Leitungen im Unbeheizten

Typische Verlegedichte von Leitungen
Warmwassernetze, Leitungen im unbeheizten Bereich

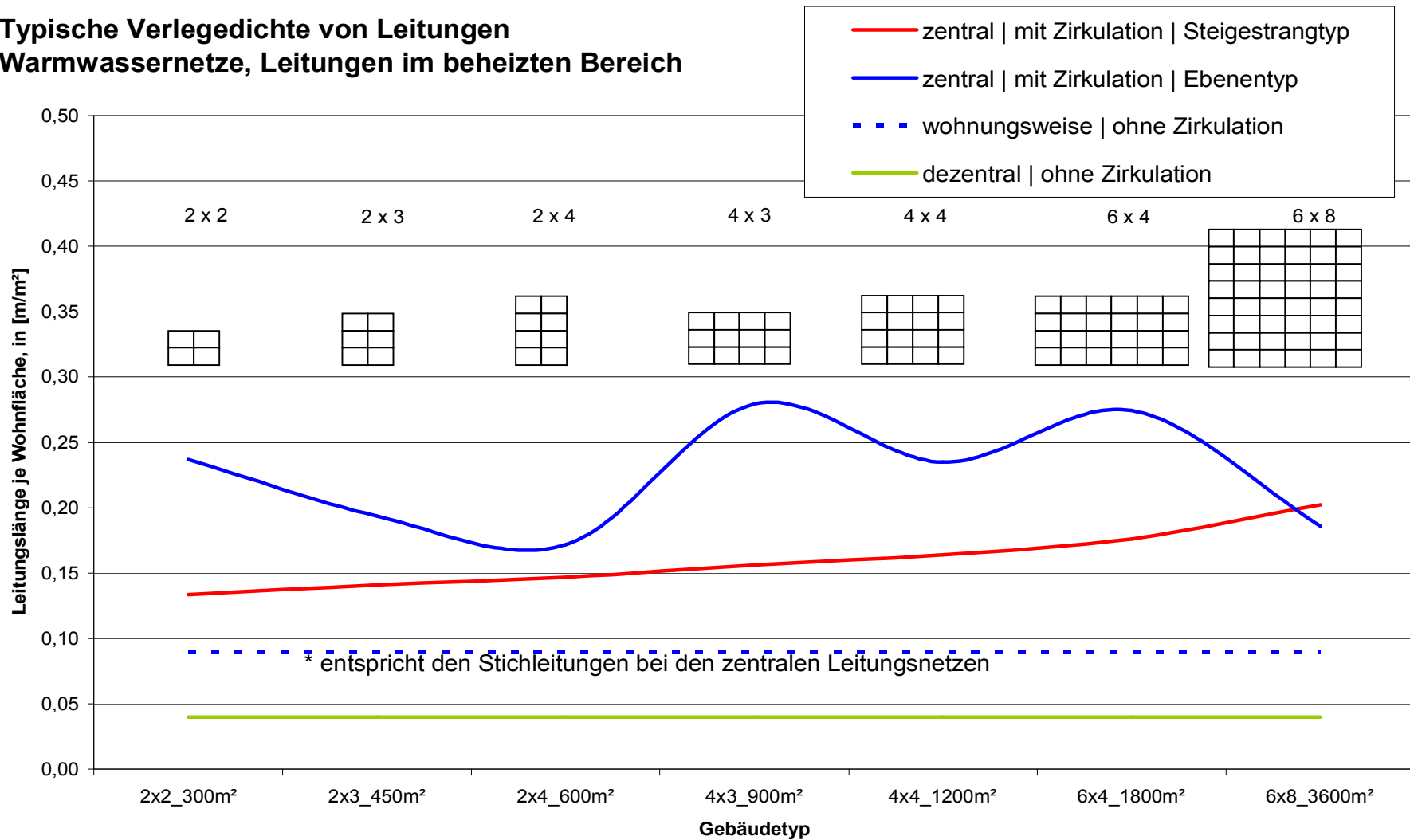
- zentral | mit Zirkulation | Steigestrangtyp
- zentral | mit Zirkulation | Ebenentyp



Quelle: eigene

Visualisierung: Leitungen im Beheizten

Typische Verlegedichte von Leitungen
Warmwassernetze, Leitungen im beheizten Bereich

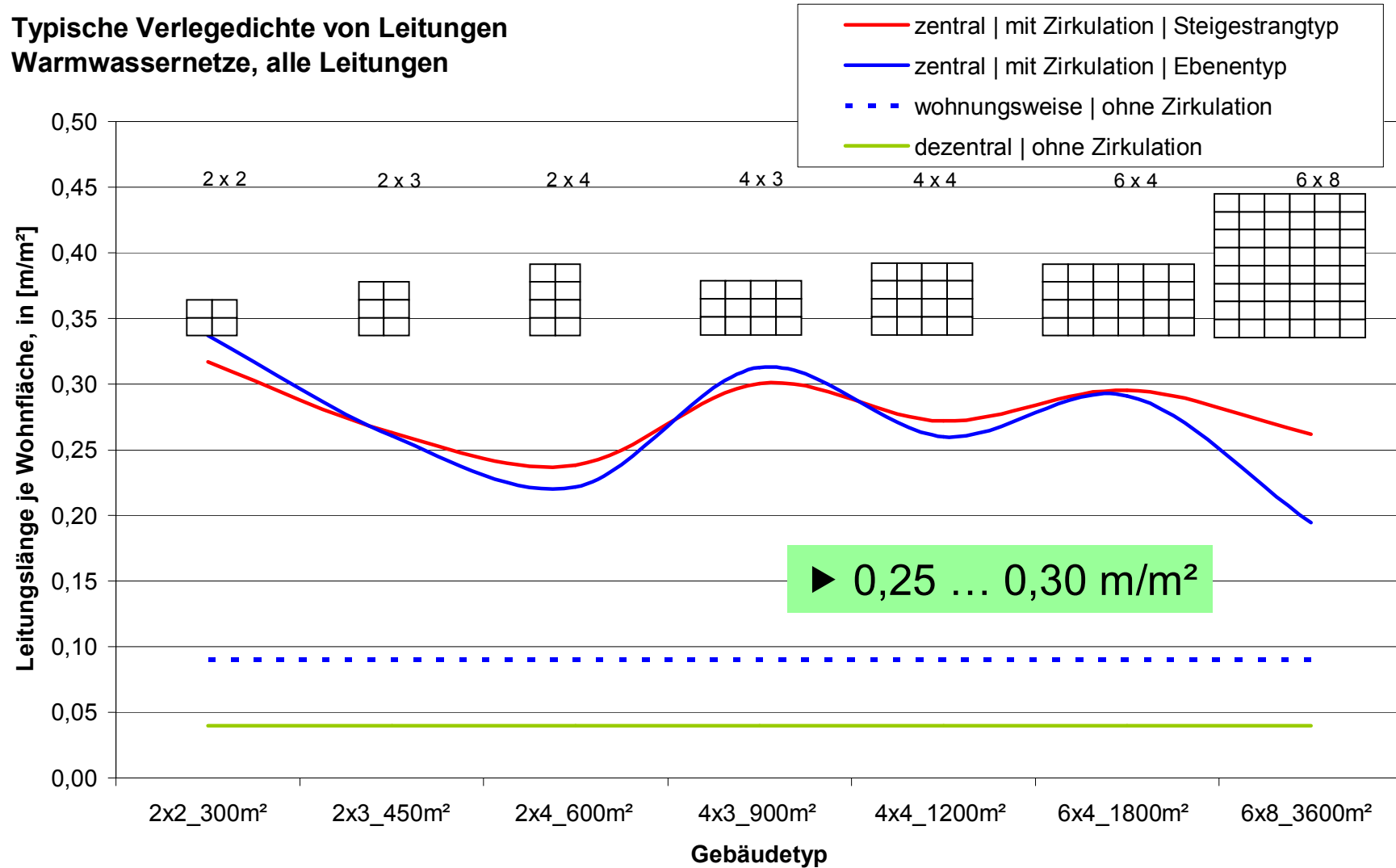


Quelle: eigene

Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

Verlegedichte

Typische Verlegedichte von Leitungen
Warmwassernetze, alle Leitungen



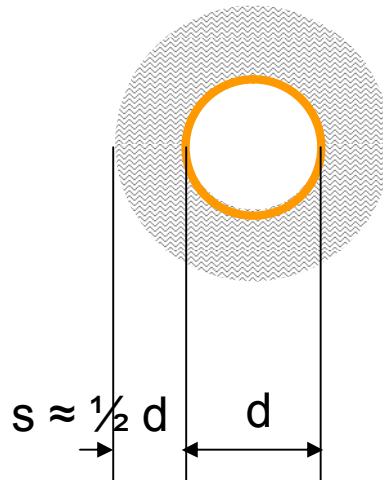
Dämmung

Dämmanforderungen für Leitungen im Gebäude



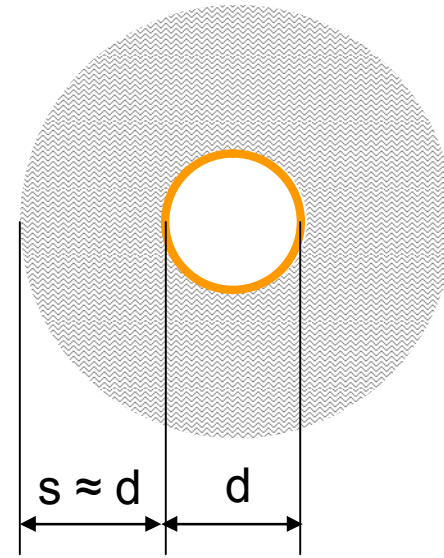
ungedämmt
0 %

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



halbe Dämmung
ca. 50 % bzw. 6 mm

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



einfache Dämmung
ca. 100 %

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

Dämmung von Kaltwasserleitungen nach DIN 1988 und Warmwasser/Zirkulations/Heizleitungen nach EnEV

warm →

kalt ↓

Einbausituation	Dämmschichtdicke bei $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})^*$ mm
Rohrleitung frei verlegt, in nicht beheiztem Raum (z. B. Keller)	4
Rohrleitung frei verlegt, in beheiztem Raum	9
Rohrleitung im Kanal, ohne warmgehende Rohrleitungen	4
Rohrleitung im Kanal, neben warmgehenden Rohrleitungen	13
Rohrleitung im Mauerschlitz, Steigleitung	4
Rohrleitung in Wandaussparung, neben warmgehenden Rohrleitungen	13
Rohrleitung auf Betondecke	4
*) Für andere Wärmeleitfähigkeiten sind die Dämmschichtdicken, bezogen auf einen Durchmesser von $d = 20 \text{ mm}$, entsprechend umzurechnen	

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	$\frac{1}{2}$ der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	$\frac{1}{2}$ der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm
8	Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen	6 mm

Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

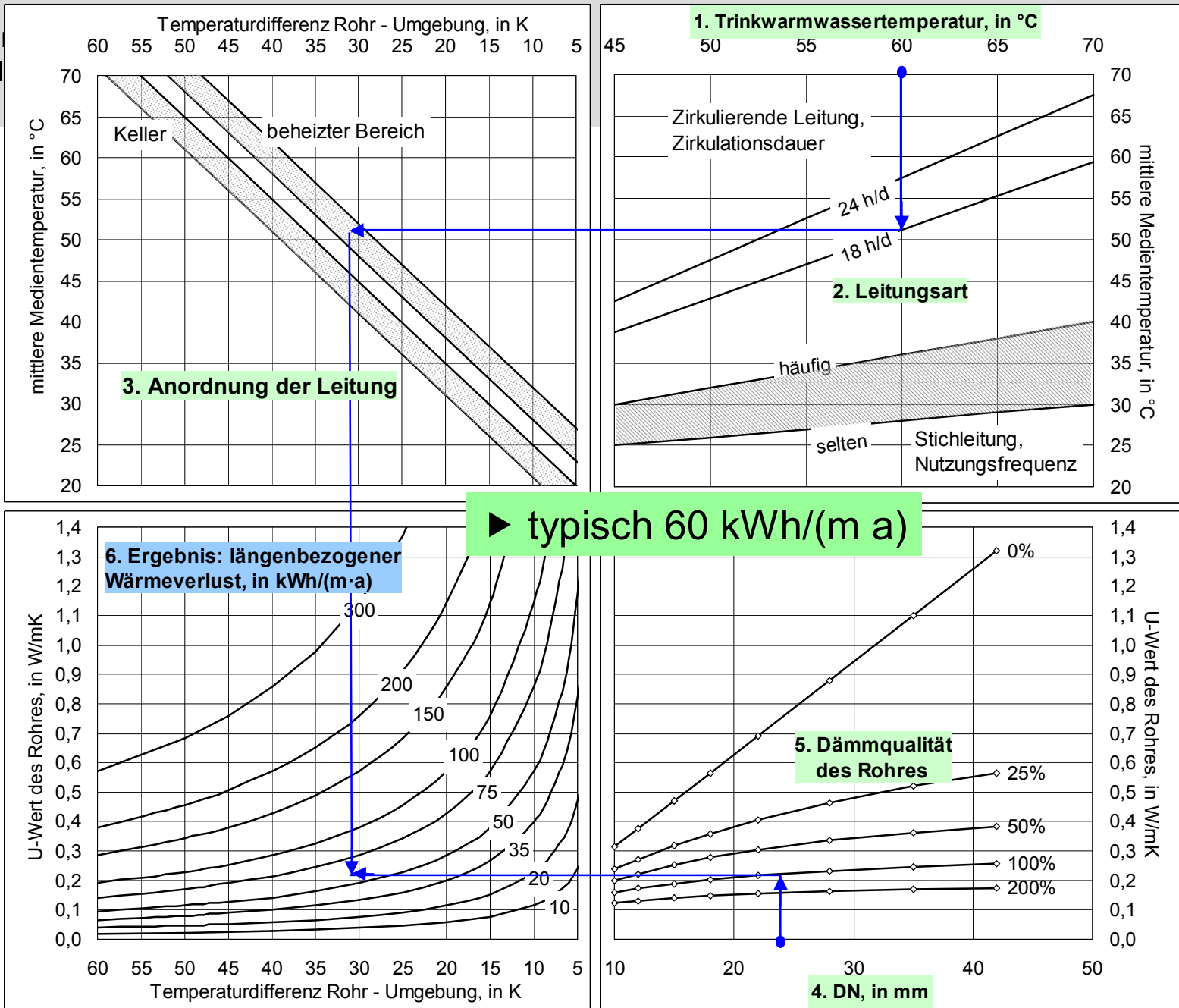
Dämmung von TWW-Leitungen nach EnEV

(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 Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, an zentralen Leitungsverteilern.	50%	50%	50%
Warmwasserleitungen, die direkt an Außenluft angrenzend verlegt sind²⁾	200%	200%	200%
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>Rohrleitungen von Solaranlagen unterliegen nicht der Energieeinsparverordnung (EnEV): Erzeugung und Verbrauch von Solarenergie sind CO₂-neutral. Rohrleitungen von Solaranlagen sind jedoch ebenfalls so zu dämmen, dass die erzeugte Energie der Anlage ohne wesentliche Verluste genutzt werden kann.</p>			

Wärmeverluste

Verlustkennwerte



Quelle: eigene

Problemfall?

- Bad, ca. 12 m² Grundfläche
- Leitungen:
 - DN ca. 10 ... 15
 - 10 m gedämmt 100 %
 - 3 m ungedämmt
 - 24 h/d Zirkulation
- Welcher Verlustkennwert



Systemvarianten Speicherung

Systemüberblick

	zentral	dezentral	allgemein
Durchlaufprinzip	Frischwasserstation	Durchlauferhitzer (Gas, Strom)	große Leistung erforderlich, geringe Wärmeverluste
Speicherprinzip	indirekt beheizter Speicher, direkt beheizter Gasspeicher	direkt beheizter Gasspeicher, Elektrospeicher	kleine Leistung erforderlich, größere Wärmeverluste

Warmwasserbereitung mit Speicher

zentraler Elektrospeicher



Elektroklein-
speicher (8 l)



indirekt beheizter
Trinkwarmwasserspeicher



gasbeheizter
Trinkwarmwasserspeicher



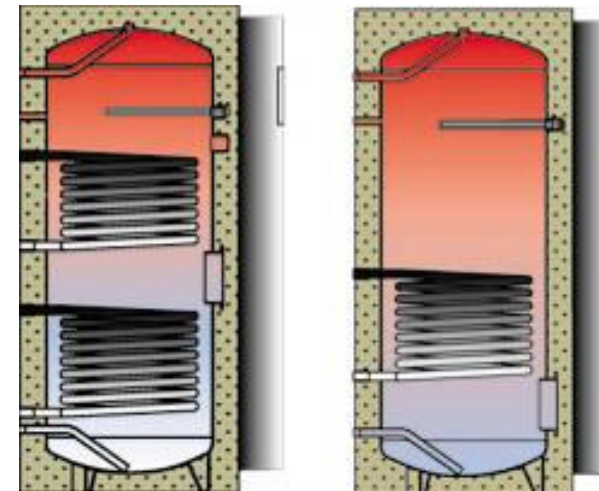
Indirekt beheizte Speicher



indirekt beheizter Speicher
(stehende Ausführung)



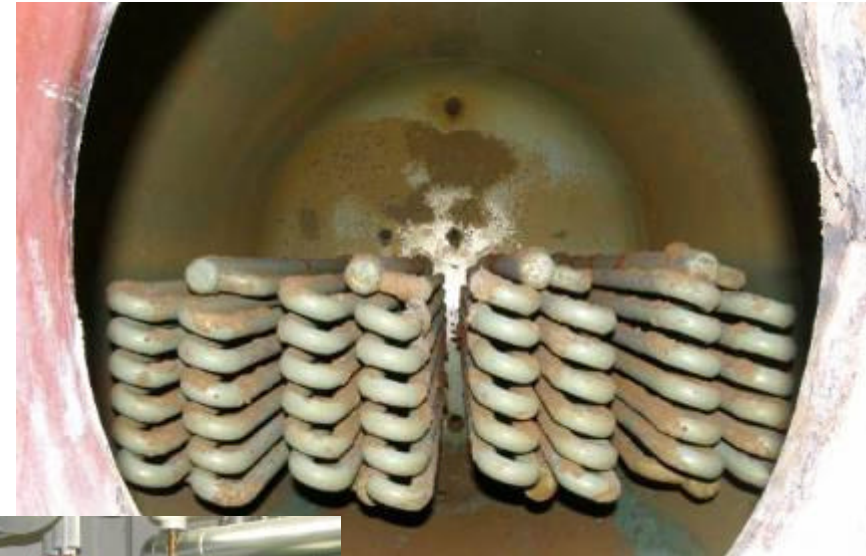
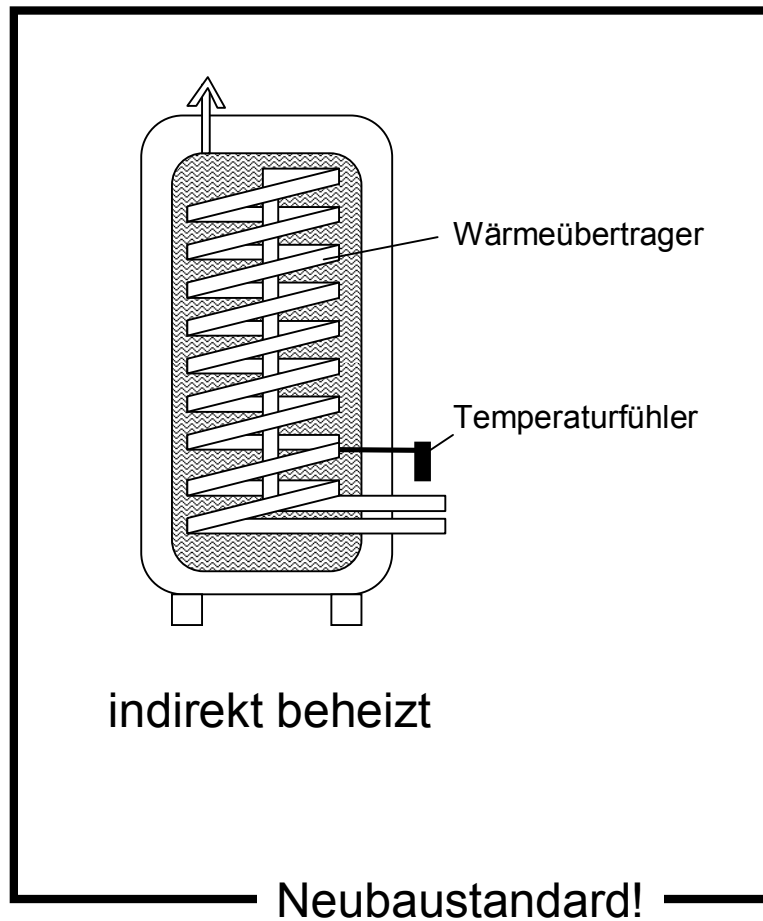
indirekt beheizter Speicher
(liegende Ausführung, untergebaut)



bivalent und monovalent

Effiziente Trinkwarmwasserbereitung
Bedeutung der Verteilverluste

Indirekt beheizter zentraler Speicher



Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

Warmwasserbereitung im Durchlauf



Elektro- Durchlauferhitzer

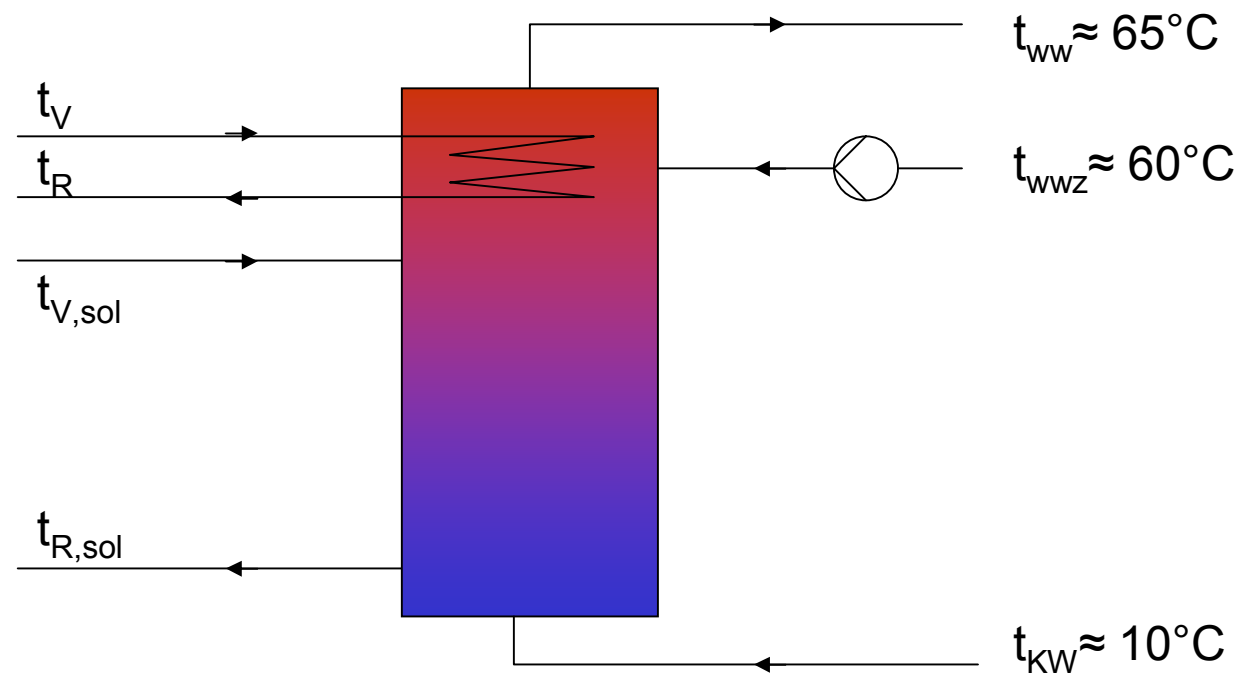


Durchlaufwassererwärmung
mit Wärmeübertrager
(36-Familienhaus, je ca. 80 kW Leistung)



Gasdurchlauf-
wassererwärmer

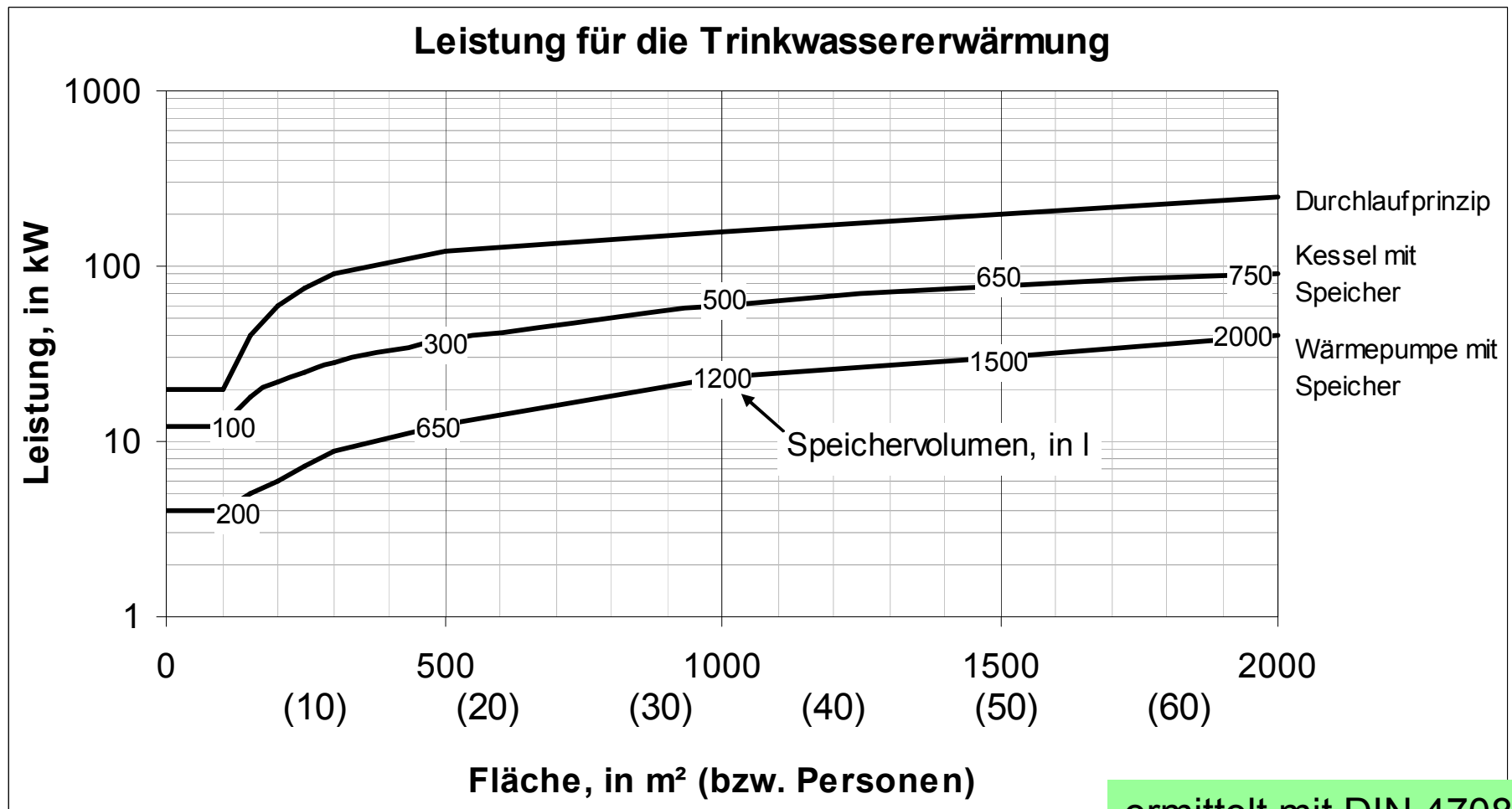
Problematik der Zirkulation in vereinfachter Darstellung



Zirkulationsverluste können zu großen Teilen nur durch den 2. Wärmeerzeuger gedeckt werden – es ist hier nicht nur die Energiemenge, sondern die Temperatur entscheidend!

Leistung

Zusammenhang von Speichervolumen und Leistung



ermittelt mit DIN 4708

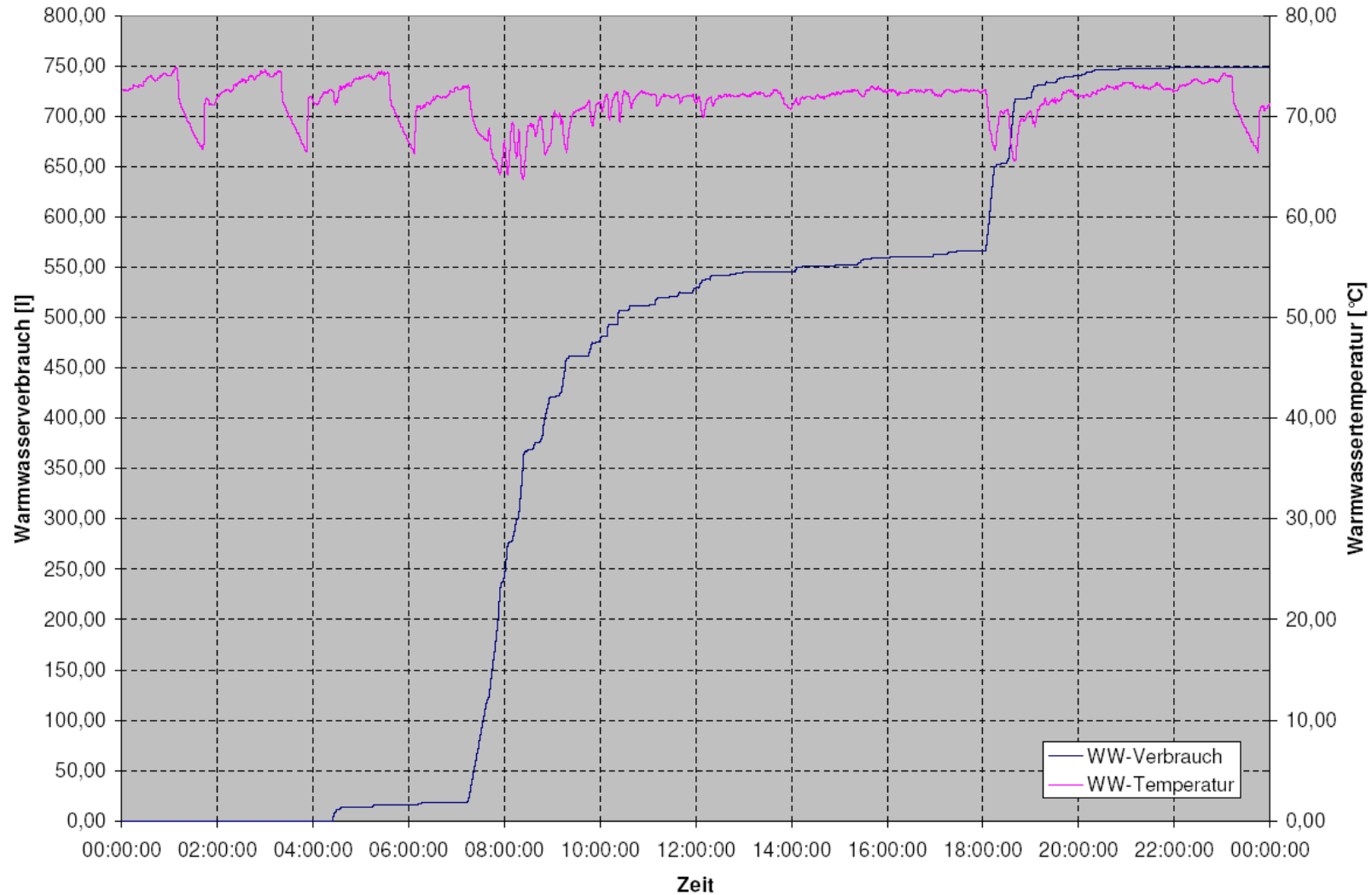
(Überschlägige) Bemessung von Trinkwasserspeichern für Kleinanlagen

Erzeuger	Ansatz
alle Kessel	nach DIN 4708, mit 0,5 ... 1 h Ladezeit überschlägig: 30 l/Person
Wärmepumpe, BHKW	nach DIN 4708, mit 2 ... 3 h Ladezeit überschlägig: 45 l/Person
TWW-Speicher mit Solaranschluss	50 ... 60 ... 70 l / m ² Kollektor, aber mindestens so groß wie oben berechnet

(Überschlägige) Festlegung der Erzeugerleistung für Kleinanlagen

Erzeuger	Ansatz
Systeme ohne TWW-Speicher	nach Heizlast, aber für EFH mindestens 20 kW
alle Kessel	größerer Wert aus Heizlast und TWW-Speicherladeleistung (berechnet mit 0,5 ... 1 h Ladezeit)
Wärmepumpe, BHKW	größerer Wert aus Heizlast und TWW-Speicherladeleistung (berechnet mit 2 ... 3 h Ladezeit) → $\dot{Q} = \frac{V \text{ [in m}^3\text{]} \cdot 58 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}}{z \text{ [in h]}}$
alle Kombinationen mit Solarthermie	nur auf Basis der Heizlast (Grund: der Speicher ist i. d. R. sehr groß, es besteht kein Grund zum Schnellaufladen, da genug Vorrat vorhanden ist.)

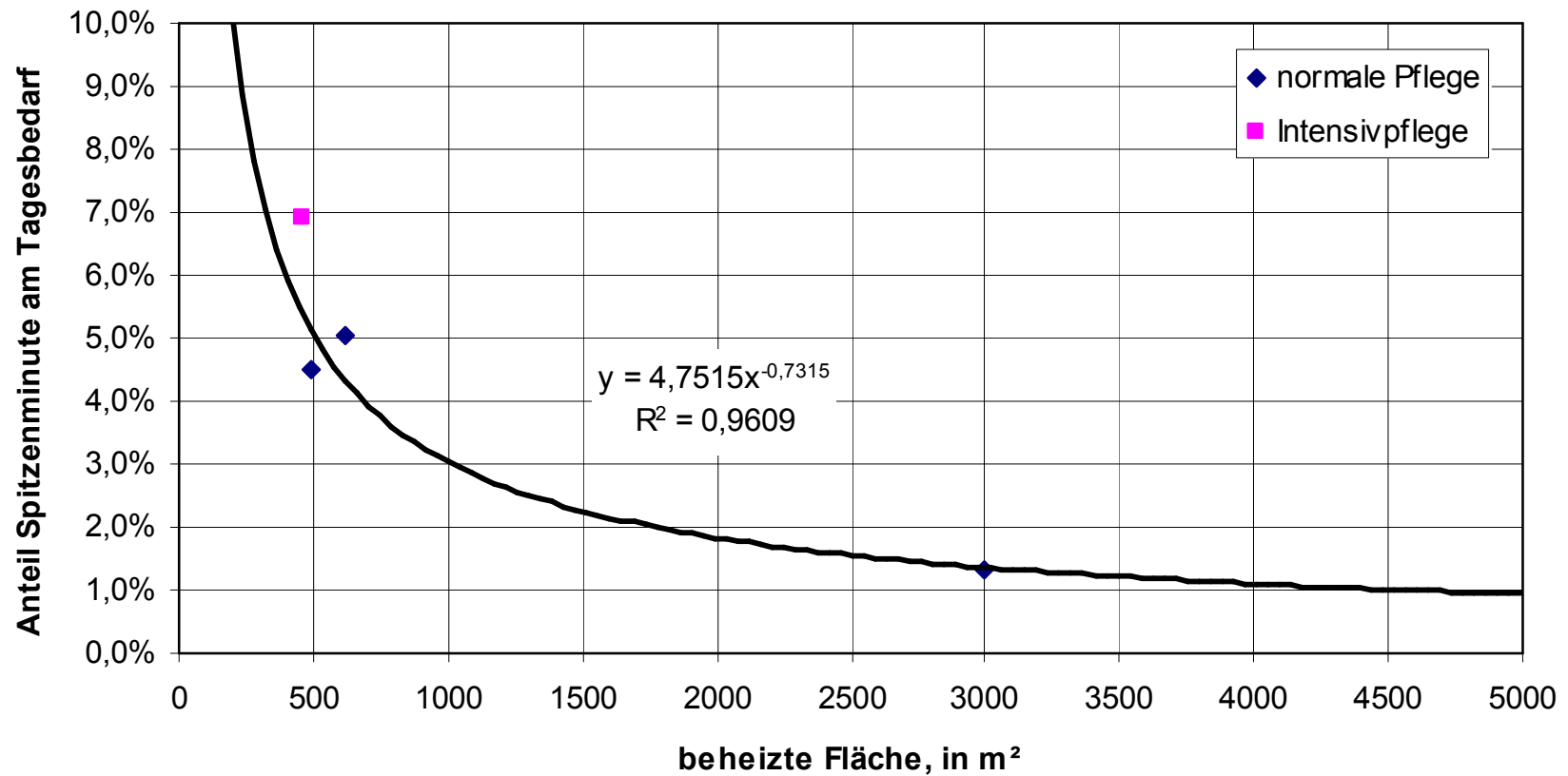
Sonderfälle jenseits des Wohnbaus: Messung von Verbrauchskurven



Quelle: Daten Solvis, Auswertung eigene

Sonderfälle jenseits des Wohnbaus: Spitzenzapfmengen

Spitzenzapfmengen, flächenbezogen

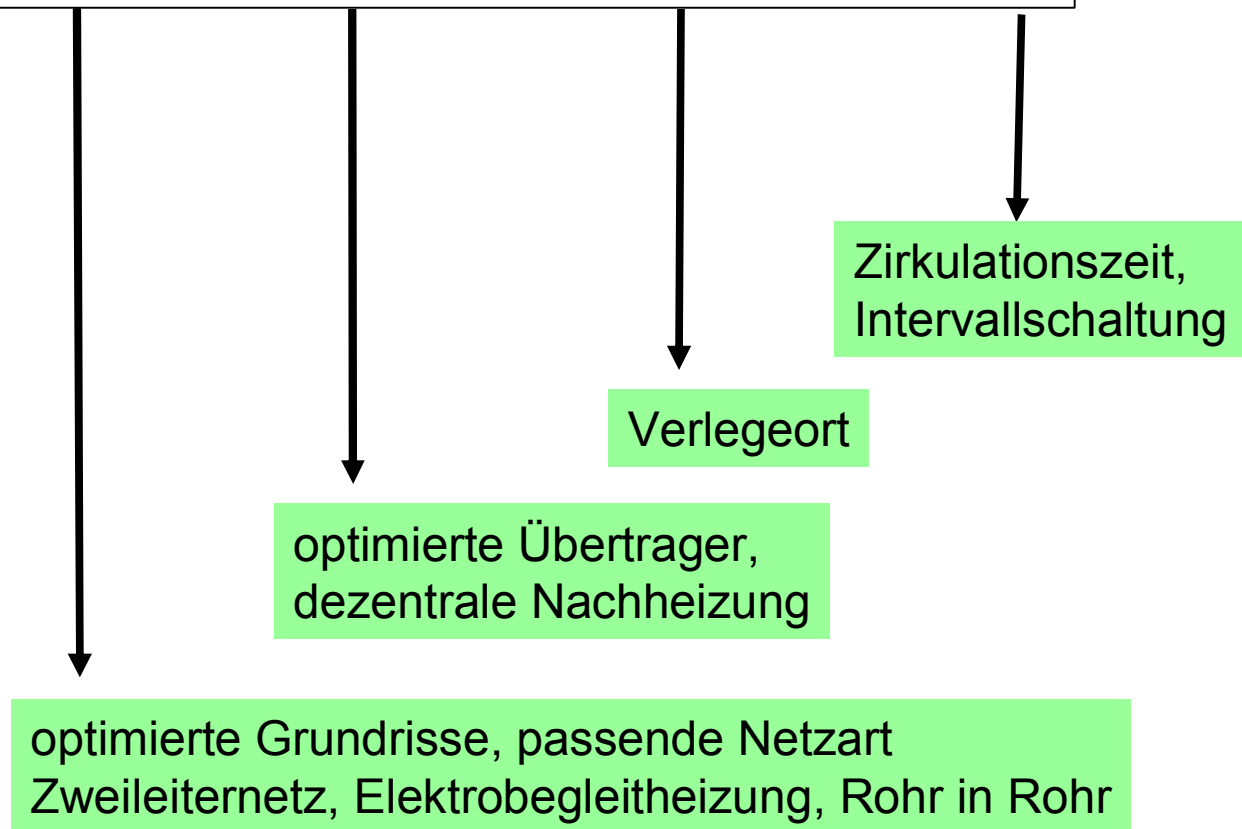


Quelle: eigene

Optimierungsansätze

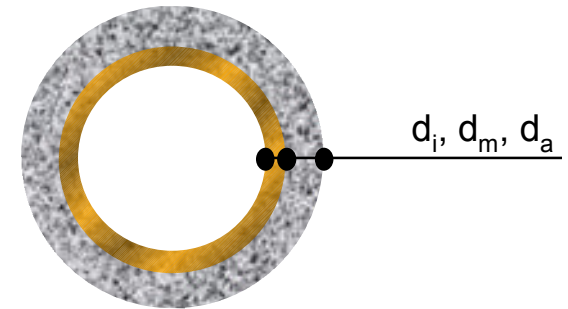
Optimierungsansätze zur Verminderung der Verteilverluste

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



Optimierungsansätze zur Verminderung der Verteilverluste

$$U = \frac{\Pi}{\left(\frac{1}{2\lambda_{\text{Rohr}}} \cdot \ln \frac{d_m}{d_i} \right) + \left(\frac{1}{2\lambda_{\text{Dä}}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_m} \right) + \frac{1}{\alpha_a d_a}}$$



$\alpha_a \approx 8 \dots 10 \text{ W/m}^2\text{K}$

unbelüftete
Schächte

größere
Dämmdicke

bessere Wärmedämmmaterialien

passende Dimensionierung,
ggf. kleinere Durchmesser

Verlegedichte von TWW-Leitungen und Konsequenzen

ungünstig: lange flache Baukörper



0,38 m/m²

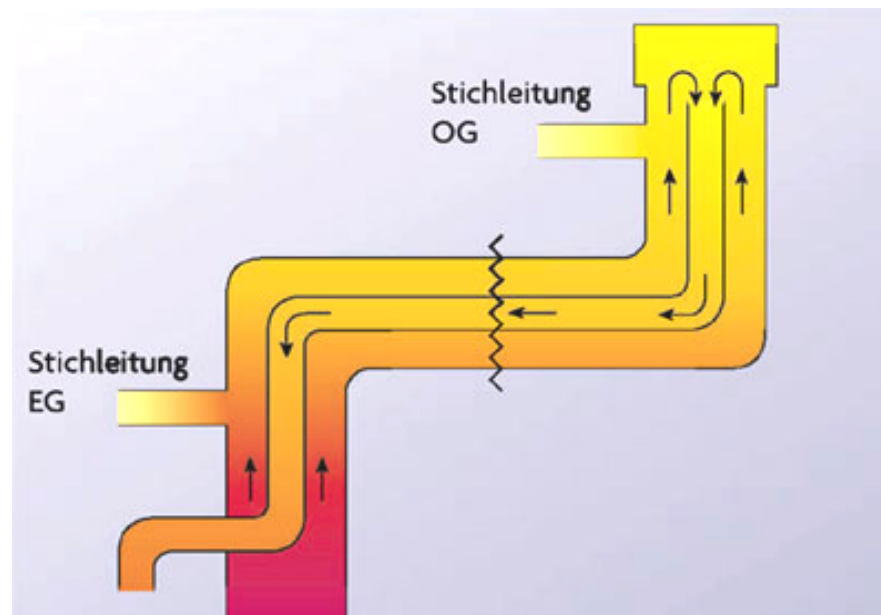
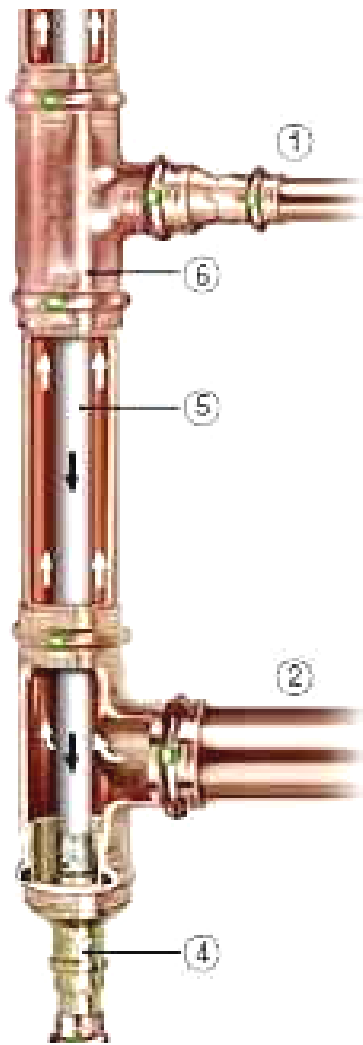
günstig: kompakte, hohe Baukörper



0,14 m/m²

- im Beispiel links ergeben sich gemessen für 2011:
19 kWh/(m²a) Zirkulationsverlust bei 12 kWh/(m²a) Warmwassernutzen
- selbst mit Solarthermie (hier 34 % Deckungsanteil) und einem üblichen Kessel (88 % brennwertbezogener Nutzungsgrad) rückt elektrische Versorgung in den Fokus der Überlegungen

Rohr- in Rohr-Zirkulation

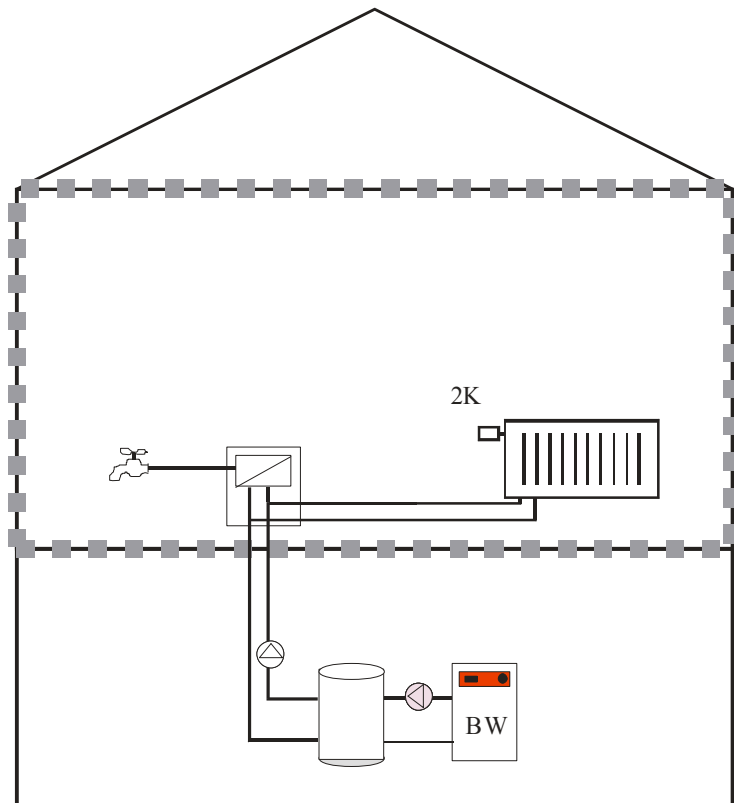


elektrische Begleitheizung



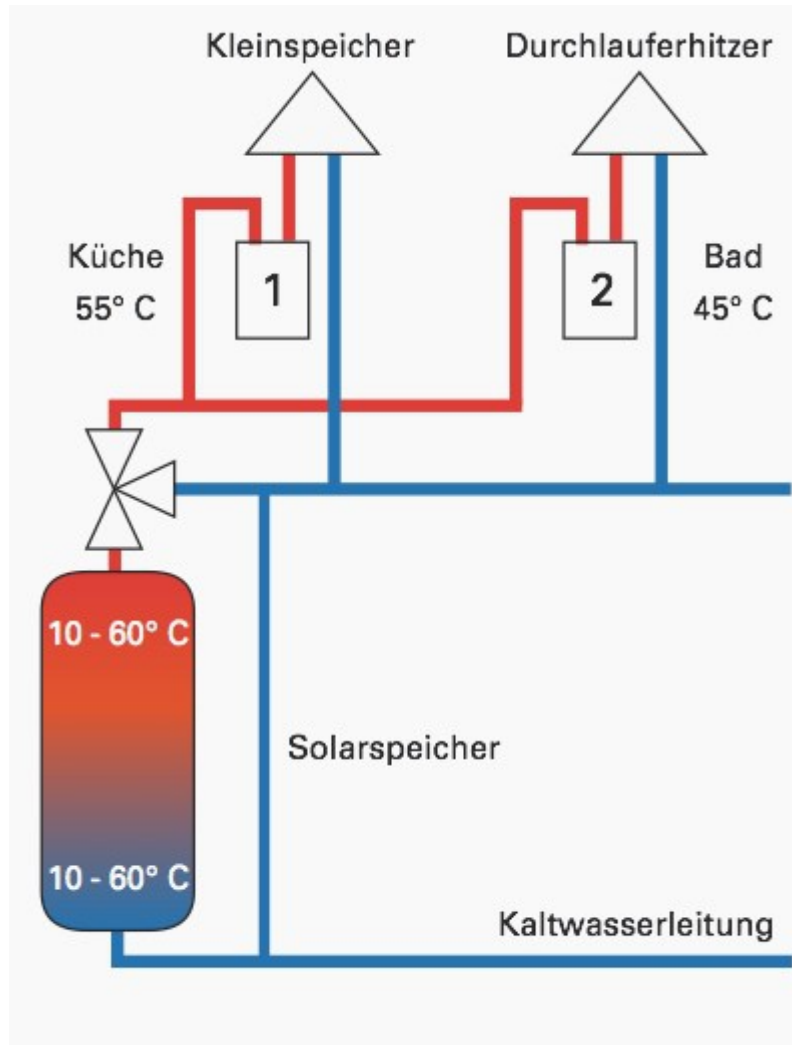
Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

Zweileiternetz mit Wohnungsübergabestation



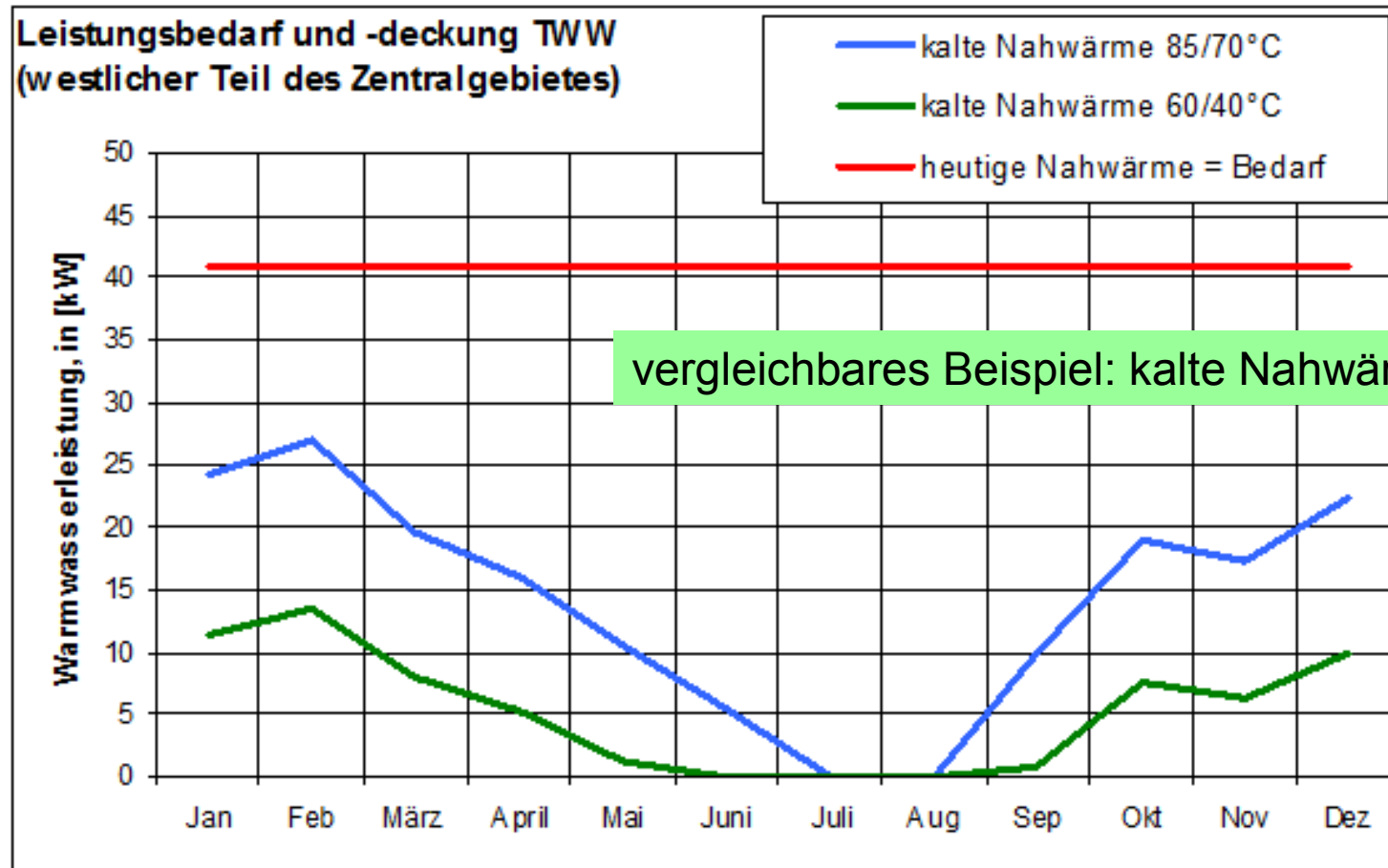
Effiziente Trinkwarmwasserbereitung Bedeutung der Verteilverluste

Wohnungsübergabestation mit lokaler Nacherwärmung



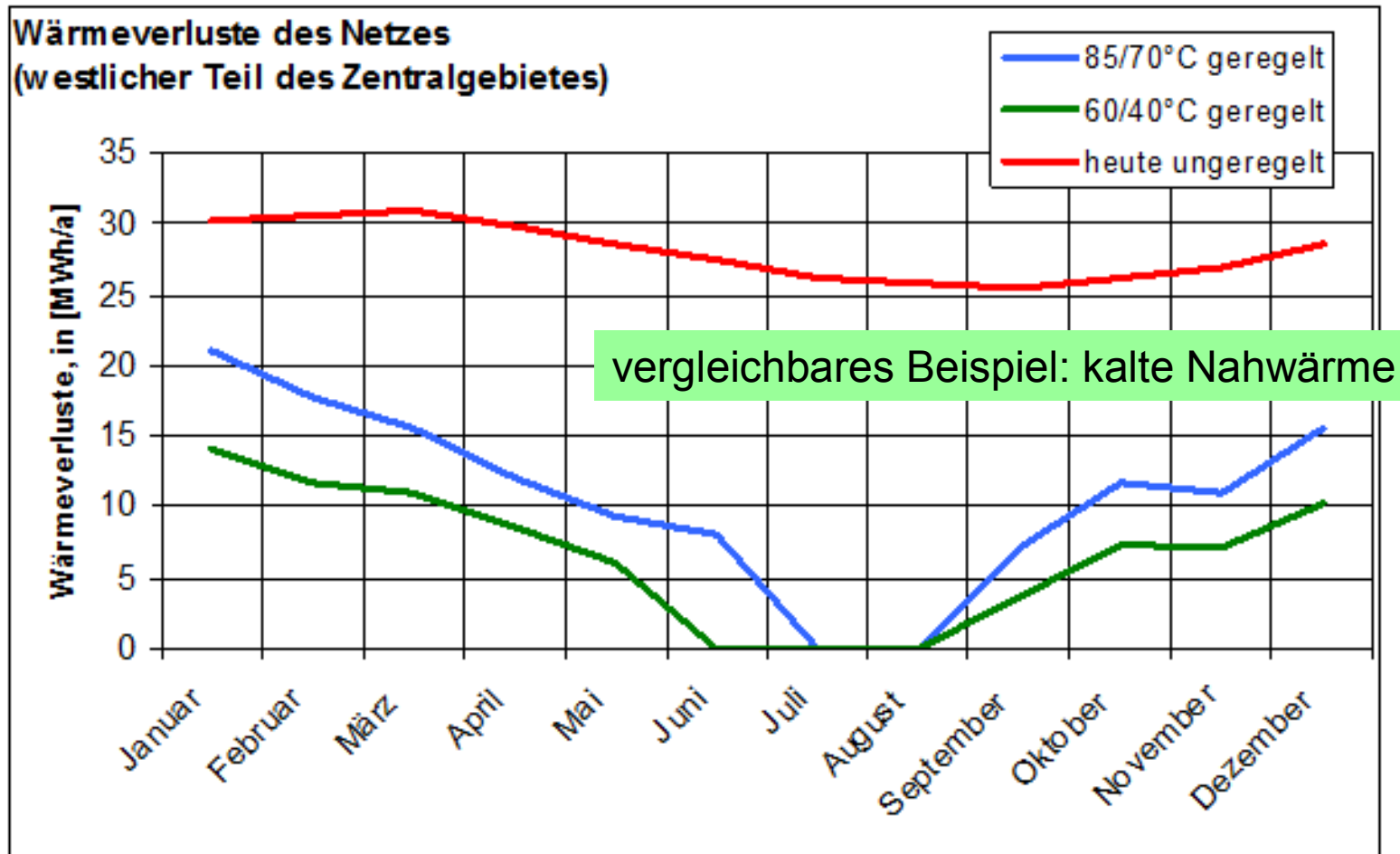
Quelle: Delta, HEA, 2015

Leistungsminderung durch geregelte Heiznetztemperatur



Quelle: DBU Neuerkerode, 2014

verminderte Verteilverluste durch geregelte Heiznetztemperatur



Regel für Einsatz von Zirkulationsleitungen

Bei einem Rohrleitungsinhalt mit mehr als 3 Liter Volumen
**zwischen dem Abgang des Warmwasser-Speichers
und der entferntesten bzw. ungünstigsten Entnahmestelle
sind Zirkulationssysteme zu installieren**

heißt beispielsweise für Kupferrohre:

	Durchmesser		Wasserinhalt Liter/m	maximale Leitungslänge m
	außen	innen		
DN 10	12 mm	10 mm	0,079	38
DN 12	15 mm	13 mm	0,133	22
DN 15	18 mm	16 mm	0,201	15
DN 20	22 mm	20 mm	0,314	10
DN 25	28 mm	25 mm	0,491	6
DN 32	35 mm	32 mm	0,804	4

Effiziente Trinkwarmwasserbereitung
Bedeutung der Verteilverluste

PV mit Gleichstromheizung



Quelle: Rennergy PV Heiz, 2015

PV Batteriespeicher

- üblich für EFH bzw. eine Wohneinheit ist ein Tagesspeicher
- ausgeführt als Li-Ionen-Batterie
- ca. 10 ... 12 kWh Speichervermögen
- Kosten derzeit ca. 10.000 €

	Kondensatoren (supercaps)	Supraleitende Spulen (SMES)	Schwungrad (status quo)	Akkumulator (Batterie)
Leistungszeit [sec]	≤ 1	1 -20	10 - 30	> 1.000
Energiedichte [kWs/kg Speicher]	5 - 20	< 5	15 -200	100 - 800
Leistung [kW]	≤ 10	≤ 7.000	≤ 15.000	≤ 500
Lebensdauer [Zyklenzahl]	> 1.000.000	Ca. 1.000.000	Ca. 1.000.000	≤ 1.000
Effizienz [%]	> 95	Ca. 90	85 - 90	70 - 85
Stand-by-Verluste	0,1 - 0,2 %/h	Kühlleistung	3 - 20 %/h	< 0,01 %/h
Kosten [T€/kWh]	10 -20	30 -200	1	0,08

Quelle: Bine, 2013

Fazit

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	■■■	■■	■■■	■■■	■■■	■■■	■	■■■
wohnungsweise	ohne Zirkulation	■	■	■■■	■■■	■■■	■	■■	■■
	mit Zirkulation	■	■	■■■	■■	■	■	■■	■■
gebäudezentral	zentral mit Zirkulation	■■	■	■	■	■	■■	■■■	■
	mit Wohnungsübergabe (2-Leiter)	■■	■	■■	■■	■■	■■■	■■■	■■
Legende:		■ wenig erfüllt ■■ mittelmäßig erfüllt ■■■ gut erfüllt							

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
wohnungswweise	Etagenverteiler	■	■	■■■	■	■■■	■■■	■	■	■	■■■	■	■
	Etagenring	■	■■	■■■	■■	■■■	■■	■	■	■	■■■	■	■
gebäudezentral, Zweirohr	Etagenverteiler	■■■	■	■■	■	■■	■■■	■■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
	Etagenring	■■■	■■	■■	■■	■■	■■	■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
	Steigestrang	■■■	■■	■	■■	■■	■	■■	■■■	■■	■■	■■	■■■
gebäudezentral, Einrohr	Etagenring	■■■	■■	■	■	■	■	■■	■■	■■	■	■■	■■
	Steigestrang	■■■	■■	■	■	■	■	■■	■■	■■	■	■■	■■
Legende:		■ wenig erfüllt ■■ mittelmäßig erfüllt ■■■ gut erfüllt											

Literatur und Links



Internet

www.Delta-Q.de

→ [Wärmenetze](#)

www.iwu.de

Normen/Richtlinien:

VDI 2067, VDI 3807
DIN V 4108-6, 4701-10, 18599

Fachliteratur:

Energiepass Hessen / LEG