

## Studie Warmwasserverteilung

### Kurzstudie über die Energieverluste der verschiedenen Verteilsituationen von Warmwasser im Mehrfamilienhaus

## Schlussbericht

21.12.2006

---

## Impressum

|                      |  |  |
|----------------------|--|--|
| <b>Auftraggeber</b>  | EnFK Konferenz Kantonaler Energiefachstellen<br>Arbeitsgruppe MuKE<br>z.Hd. AWEL Abt. Energie<br>Postfach<br>8090 Zürich |  |
| <b>Auftragnehmer</b> | HTA Luzern<br>Zentrum für Integrale Gebäudetechnik<br>Technikumstrasse 21<br>6048 Horw                                   |  |
| <b>Verfasser</b>     | Adrian Tschui<br>Bruno Stadelmann  | dipl. Ing. FH<br>dipl. San.-Techniker                                |
| <b>Verteiler</b>     | Christoph Gmür<br>Bruno Stadelmann<br>Urs-Peter Menti<br>Adrian Tschui   | Leiter Energietechnik AWEL<br>HTA Luzern<br>HTA Luzern<br>HTA Luzern |
| <b>Version/Datum</b> | Version 1.4<br>22.12.2006  |  |
| <b>SAP-Nr:</b>       | 1100280  |  |
| <b>Filename</b>      | Bericht_Warmwasserverteilung_221206.doc  |  |

## Zusammenfassung

Im Rahmen einer Kurzstudie (Vorabklärung) sollen mit Hilfe des Berechnungsinstruments „Jahresenergieverbrauch von Warmwasseranlagen“ die Energieverluste für verschiedene Verteilsituationen auf die Fragestellung hin untersucht werden, ob eine zentrale oder dezentrale Warmwassererzeugung energieeffizienter ist.

Es werden eine dezentrale Versorgung mit Warmwasserspeicher je Wohnung und eine Verteilung mit zentraler Aufbereitung unterstützt durch Warmhalteband, 2-Rohr oder Rohr an Rohr-Zirkulation miteinander verglichen. Als Varianten werden Mehrfamilienhäuser mit drei, sechs oder zwölf Wohnungen betrachtet.

Dimensionierung und Auslegung der jeweiligen Systeme wird gemäss den einschlägigen Normen und Richtlinien ausgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verteilverluste 24 bis 36 Prozente des gesamten Energiebedarfs für Warmwasserbereitstellung und –verbrauch ausmachen. Diese Verluste verteilen sich je nach Verteilsystem auf die jeweiligen Hauptkomponenten. Beim dezentralen Verteilsystem geht der grösste Teil der Wärme über den Speicher verloren, bei der zentralen Verteilung über die warmgehaltene Verteilung, wobei hier auch ersichtlich ist, dass je grösser die Oberfläche (2- Rohr > Rohr an Rohr > Warmhalteband) desto grösser die Verluste sind. Bei der zentralen Aufbereitung sind die Verluste über den Speicher, welcher aber eben meist im unbeheizten Bereich des Gebäudes steht, im Vergleich gering. Die Verluste über die Anschlussleitungen sind bei allen Varianten genau gleich, da hier keine Unterschiede bestehen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bei den verschiedenen Systemen die Energieverluste von der gleichen Grössenordnung sind. Ab 6 Wohnungen sind die beiden Warmhaltesysteme Rohr an Rohr und das Warmhalteband effizienter. Ab 12 Wohneinheiten wird die Zirkulation mit 2 getrennten Rohren energetisch effizienter.

Wird die Energie nun mit den MINERGIE Energiegewichtungsfaktoren gerechnet und angenommen, dass die dezentrale Einheit direkt mit Elektrizität betrieben wird und die zentrale Aufbereitung mit einem gewichtungsneutralen Energieträger versorgt ist, so fällt die dezentrale Aufbereitung energetisch sehr stark ab. Beim Warmhalteband kompensiert die Gewichtung die vorhandenen energetischen Vorteile, die sich durch die etwas geringere Oberfläche ergeben.

***Unter Berücksichtigung der Primärenergiefaktoren der verschiedenen Energieträger ist aufgrund dieser Studie der Betrieb von dezentralen und direkt elektrisch versorgten Anlagen aus energetischer Sicht nicht empfehlenswert.***

## Résumé

L'objectif de l'étude préliminaire est de déterminer, à l'aide d'un outil permettant de calculer l'énergie nécessaire à la production d'eau chaude pour une année, quelle option présente la meilleure efficacité énergétique entre les systèmes centralisés et les systèmes décentralisés.

L'étude compare une installation décentralisée avec un accumulateur d'eau chaude par appartement et un système centralisé de production d'eau chaude assorti d'un réseau de distribution avec bande chauffante, circulation 2 tuyaux ou circulation tuyau contre tuyau. La comparaison est effectuée sur des immeubles de trois, six et douze appartements.

Les systèmes sont conçus et dimensionnés selon les normes et directives applicables.

Les résultats montrent que les pertes de distribution représentent entre 24 et 36% de l'énergie totale utilisée pour la production et la consommation d'eau chaude. Selon l'option retenue, les pertes se répartissent différemment entre les principaux composants du système. Dans le système décentralisé, la majeure partie de la déperdition d'énergie se fait par les accumulateurs ; dans le système centralisé, c'est par le réseau de distribution maintenu en température, étant précisé que la perte croît avec la surface (2 tuyaux > tuyau contre tuyau > bande chauffante). Avec un système centralisé, les pertes via l'accumulateur sont comparativement moindres, malgré le fait qu'il soit le plus souvent placé dans la partie non chauffée du bâtiment. Les pertes via les conduites de raccordement sont identiques dans tous les cas de figure, vu que les différents systèmes ne présentent pas de différences sur ce point.

De manière générale, on peut affirmer que les pertes d'énergie se situent dans un ordre de grandeur comparable pour tous les systèmes. A partir de 6 appartements, ce sont les deux systèmes du tuyau contre tuyau et de la bande chauffante qui présentent la meilleure efficacité énergétique. A partir de 12 appartements, la circulation à deux tuyaux séparés présente un meilleur bilan.

Enfin, en appliquant les facteurs de pondération Minergie et dans la double hypothèse où l'unité décentralisée est alimentée directement à l'électricité et le système centralisé par un agent énergétique neutre, le bilan du système décentralisé baisse fortement. Pour la bande chauffante, la pondération compense les avantages énergétiques dus à la moindre surface.

***A la lumière des résultats de la présente étude et compte tenu du rapport d'énergie primaire des différents agents énergétiques, il convient de ne pas recommander, du point de vue de l'efficacité énergétique, les installations décentralisées alimentées directement à l'électricité.***

## Summary

In a brief preliminary study the energy losses for various hot-water distribution arrangements were investigated with the aid of computational procedures “Annual yearly energy consumption of hot-water heating systems”. The goal of this investigation was to establish whether central or decentral hot-water heating is more efficient.

A decentral system with hot water storage in each flat was compared with a central hot-water heating system using hot-water temperature maintenance systems such as heat-tracing cables, two-pipe (flow & return) or pipe-to-pipe circulation. Variants involving blocks with three, six or twelve flats were considered.

It was ensured that the sizing and layout of each of the systems installed conformed to accepted standards and guidelines.

The results show that distribution losses comprise 24 to 36 per cent of the total energy demand for the heating and consumption of hot-water. Depending on the type of distribution system, these losses affect the main components in turn. In the case of decentral systems the greatest amount of heat is lost in the storage units. In central systems the greatest loss occurs over the distribution system which is maintained at warm temperatures. In this case it is obvious that the greater the surface area (2 pipe > pipe-to-pipe > heat-tracing cables) the greater is the resulting heat loss. In central hot-water heating the losses at the hot-water storage units, which are usually in unheated areas of the building, are comparatively modest. Since there are no differences between the connecting pipes in any of the variants, the corresponding losses are exactly the same.

Basically it can be asserted that the energy losses are of the same order of magnitude in all the systems considered. In buildings with 6 or more flats hot-water temperature maintenance systems with either pipe-to-pipe circulation or heat-tracing cables show superior efficiency. In buildings with at least 12 flats it is more efficient to use circulation with separate flow & return pipes.

Supposing the energy to be calculated with MINERGIE energy weighting factors and supposing furthermore that the decentral heating units are electrically heated, while the central hot-water heating makes use of an energy source without special weighting factors, the performance of the decentral system turns out to be much weaker. In the case of the heat-tracing cables the energy weighting factors nullify the advantages gained from the somewhat reduced surface areas.

***Taking the weighting factors of the various primary sources of energy into account, this study concludes that decentral systems using direct electrical hot-water heating are not recommendable in terms of good energy practice.***

## Inhaltsverzeichnis

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Einleitung</b> .....                            | <b>1</b>  |
| 1.1       | Ausgangslage und Zielsetzung.....                  | 1         |
| <b>2.</b> | <b>Vorgehen</b> .....                              | <b>2</b>  |
| <b>3.</b> | <b>Ergebnisse</b> .....                            | <b>3</b>  |
| 3.1       | Variante 1: 3-Familienhaus.....                    | 3         |
| 3.2       | Variante 2: 6-Familienhaus.....                    | 5         |
| 3.3       | Variante 3: 12-Familienhaus.....                   | 7         |
| <b>4.</b> | <b>Fazit</b> .....                                 | <b>11</b> |
| 4.1       | Betrachtung ohne Gewichtung der Energieträger..... | 11        |
| 4.2       | Betrachtung mit Gewichtung der Energieträger.....  | 11        |
| <b>5.</b> | <b>Anhang</b> .....                                | <b>12</b> |
| 5.1       | Grundlagen.....                                    | 12        |
| 5.2       | Vorschriften.....                                  | 21        |

# 1. Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie hat die Arbeitsgemeinschaft Amstein+Walthert / HTA Luzern / ARENA auf Excel-Basis ein einfaches EDV-Tool entwickelt, das den (Jahres-)Energieverbrauch für die Warmwasserbereitstellung berechnet.

Im Rahmen einer Kurzstudie / Vorabklärung wird mit Hilfe dieses Instrumentes für verschiedene Situationen untersucht, ob eine zentrale oder eine dezentrale Warmwassererzeugung effizienter ist. Konkret soll eine zentrale Wassererwärmung für folgende Varianten mit einer dezentralen Elektrowassererwärmung verglichen werden:

- 3-FH mit 3 Geschossen und 1 Steigstrang mit Zirkulation
- 6-FH mit 3 Geschossen und 2 Steigsträngen mit Zirkulation
- 12-FH mit 6 Geschossen und 2 Steigsträngen mit Zirkulation

Zu berücksichtigen sind folgende Randbedingungen:

- Speicherverluste gemäss Eidg. Energieverordnung.
- Wärmedämmung von Zirkulationsleitungen gemäss MuKE

Als Variante soll untersucht werden, wie die Situation aussieht, wenn anstelle der Zirkulation ein Elektro-Warmhalteband eingesetzt wird.

Somit ergeben sich folgende Varianten:

|  | 3-Familienhaus | 6-Familienhaus | 12-Familienhaus |
|--|----------------|----------------|-----------------|
| Dezentrale Aufbereitung  | 1-De           | 2-De           | 3-De            |
| Zentrale Aufbereitung mit Warmhaltung über eine 2 Rohr Zirkulation | 1-Ze-Zi        | 2-Ze-Zi        | 3-Ze-Zi         |
| Zentrale Aufbereitung mit Warmhalteband                            | 1-Ze-Wb        | 2-Ze-Wb        | 3-Ze-Wb         |
| Zentrale Aufbereitung mit Warmhaltung über ein Rohr-an-Rohr-System | 1-Ze-RaR       | 2-Ze-RaR       | 3-Ze-RaR        |

Tabelle 1:        Untersuchte Varianten der verschiedenen Wärmeverteilungs- und Warmhaltearten

## 2. Vorgehen

Bei der Bearbeitung der Fragestellung wird wie folgt vorgegangen:

- Die Anzahl und Art der jeweiligen Warmwasserentnahmestellen wird definiert.
- Die dezentrale sowie die zentrale Verteilung werden in Form von Schematas dokumentiert.
- Die Leitungen werden gemäss [W3] dimensioniert.
- Die jeweiligen Varianten werden mit dem EDV-Tool zur Bestimmung des (Jahres-)Energieverbrauchs für die Warmwasserbereitstellung gerechnet.
- Die Resultate werden grafisch ausgewertet und kommentiert.

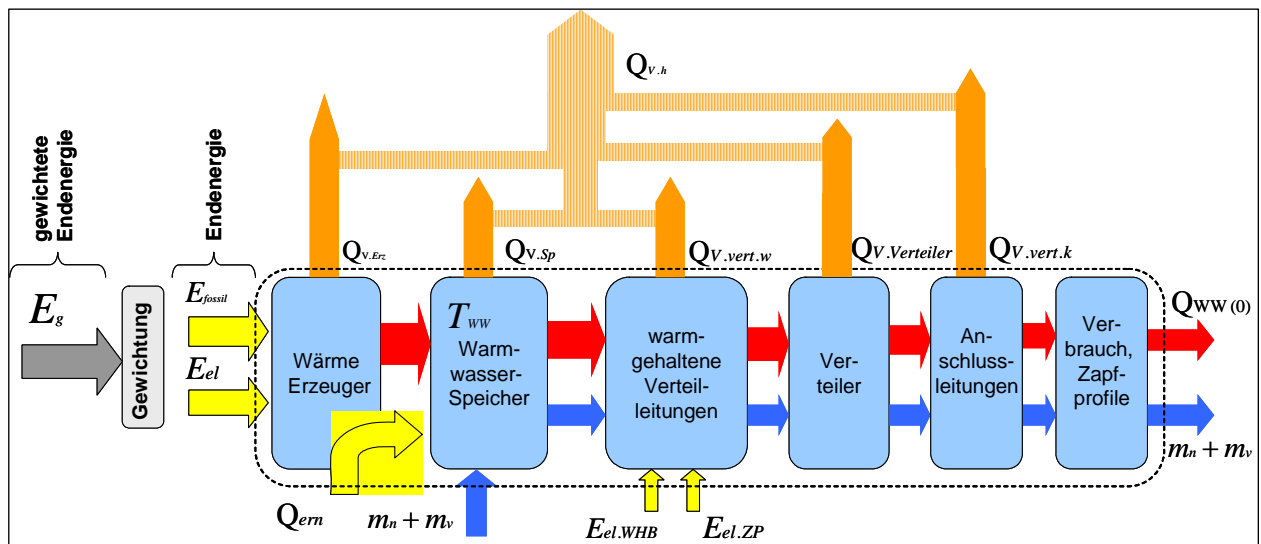


Abbildung 1: Energieflussdiagramm mit den in der Berechnung berücksichtigten Faktoren

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Variante 1: 3-Familienhaus

|                                    |                     | 1-De         | 1-Ze-Zi      | 1-Ze-Wb      | 1-Ze-RaR     |
|------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    |                     | Jahr         | Jahr         | Jahr         | Jahr         |
| Anz. Tage                          |                     | 365          | 365          | 365          | 365          |
| Gleichzeitigkeit                   | -                   |              |              |              |              |
| Vielfaches der Einheitswoche       |                     | 48           | 48           | 48           | 48           |
| $Q_{WW}$                           | kWh                 | <b>8284</b>  | <b>8284</b>  | <b>8284</b>  | <b>8284</b>  |
| $Q_{V,vert.k}$                     | kWh                 | 1112         | 1112         | 1112         | 1112         |
| $Q_{V,Verteiler}$                  |                     | 109          | 118          | 118          | 118          |
| $Q_{V,vert.w}$                     |                     | 0            | 2385         | 1114         | 1333         |
| $Q_{V,Sp}$                         |                     | 1965         | 798          | 743          | 793          |
| $E_{el,WHB}$                       | kWh                 | 0            | 0            | 1036         | 0            |
| $E_{el,ZP}$                        |                     | 0            | 219          | 0            | 219          |
| Anteil im Dämmperimeter            | kWh                 | <b>3186</b>  | <b>3616</b>  | <b>2345</b>  | <b>2564</b>  |
| Nutzbarer Anteil im DP             | 30%                 | <b>956</b>   | <b>1085</b>  | <b>703</b>   | <b>769</b>   |
| "Endenergie" Wärme                 | kWh                 | <b>11470</b> | <b>12480</b> | <b>10336</b> | <b>11422</b> |
| "Endenergie" Wärme abzg. Anteil DP |                     | <b>10514</b> | <b>11395</b> | <b>9633</b>  | <b>10653</b> |
| "Endenergie" Warmhaltung           |                     | <b>0</b>     | <b>219</b>   | <b>1036</b>  | <b>219</b>   |
| "Endenergie"                       |                     | <b>11470</b> | <b>12699</b> | <b>11372</b> | <b>11641</b> |
| $A_E$                              | m <sup>2</sup>      | <b>360</b>   | <b>360</b>   | <b>360</b>   | <b>360</b>   |
| $E_{WW}$                           | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>83</b>    | <b>83</b>    | <b>83</b>    | <b>83</b>    |
| $E_{input,Sp}$                     | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>115</b>   | <b>125</b>   | <b>103</b>   | <b>114</b>   |
| $E_{Wärme abz. Anteil DP}$         | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>105</b>   | <b>114</b>   | <b>96</b>    | <b>107</b>   |
| $E_{Endenergie}$                   | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>115</b>   | <b>127</b>   | <b>114</b>   | <b>116</b>   |

Tabelle 2: Zusammenstellung der Energieflüsse im 3-Familienhaus

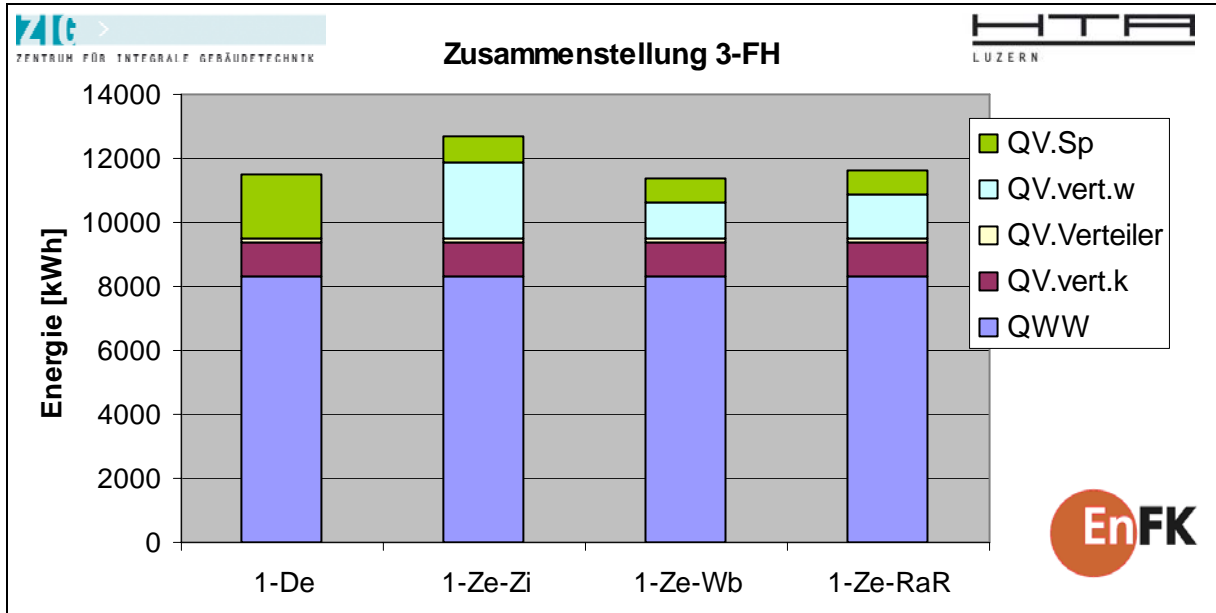


Abbildung 2: Energieverbrauch Warmwasserbereitstellung im 3-Familienhaus

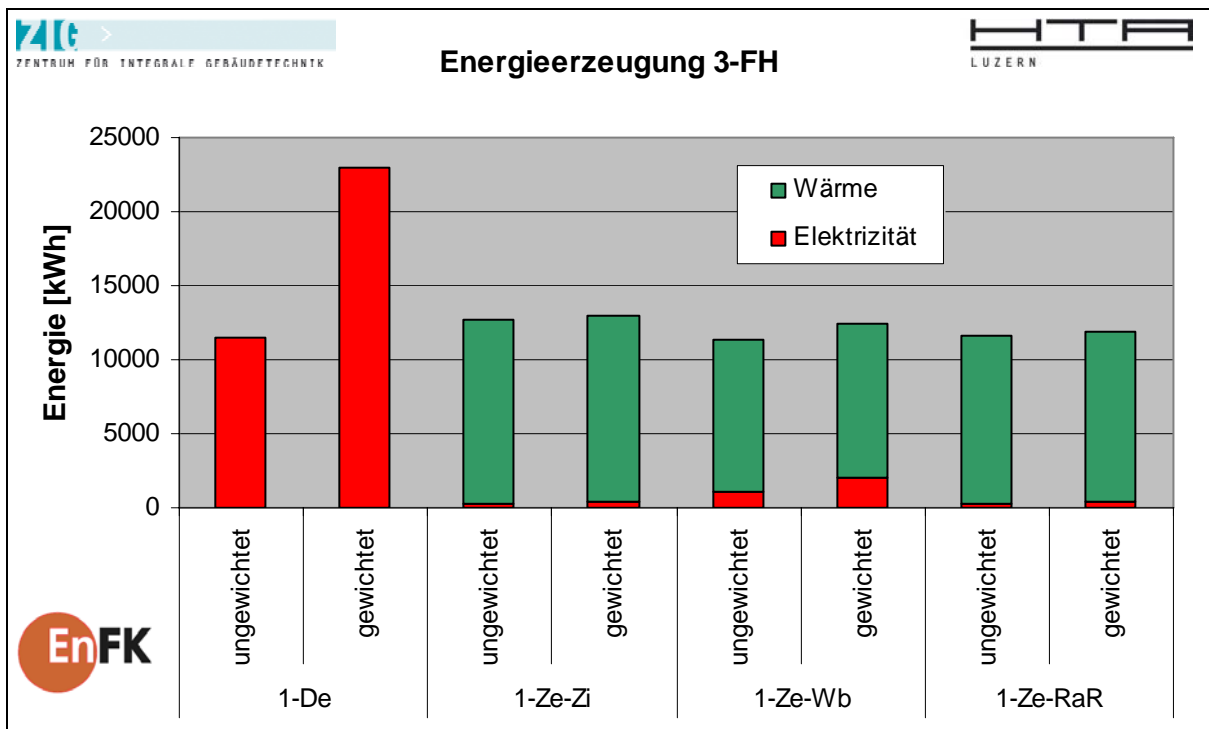


Abbildung 3: Diagramm des ungewichteten und gewichteten Energieverbrauchs für das 3-Familienhaus mit der Annahme, dass die dezentrale Erzeugung direkt elektrisch erfolgt.

### 3.2 Variante 2: 6-Familienhaus

|                                    |                     | 2-De         | 2-Ze-Zi      | 2-Ze-Wb      | 2-Ze-RaR     |
|------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    |                     | Jahr         | Jahr         | Jahr         | Jahr         |
| Anz. Tage                          |                     | 365          | 365          | 365          | 365          |
| Gleichzeitigkeit                   | -                   |              |              |              |              |
| Vielfaches der Einheitswoche       |                     | 48           | 48           | 48           | 48           |
| $Q_{WW}$                           | kWh                 | <b>16568</b> | <b>16568</b> | <b>16568</b> | <b>16568</b> |
| $Q_{V,vert.k}$                     | kWh                 | 2225         | 2225         | 2225         | 2225         |
| $Q_{V,Verteiler}$                  |                     | 218          | 237          | 237          | 237          |
| $Q_{V,vert.w}$                     |                     | 0            | 4675         | 2298         | 2517         |
| $Q_{V.Sp}$                         |                     | 3929         | 1087         | 1029         | 1081         |
| $E_{el,WHB}$                       | kWh                 | 0            | 0            | 2057         | 0            |
| $E_{el,ZP}$                        |                     | 0            | 219          | 0            | 219          |
| Anteil im Dämmperimeter            | kWh                 | <b>6372</b>  | <b>7136</b>  | <b>4759</b>  | <b>4978</b>  |
| Nutzbarer Anteil im DP             | 30%                 | <b>1911</b>  | <b>2141</b>  | <b>1428</b>  | <b>1493</b>  |
| "Endenergie" Wärme                 | kWh                 | <b>22940</b> | <b>24573</b> | <b>20300</b> | <b>22408</b> |
| "Endenergie" Wärme abzg. Anteil DP |                     | <b>21028</b> | <b>22432</b> | <b>18872</b> | <b>20915</b> |
| "Endenergie" Warmhaltung           |                     | <b>0</b>     | <b>219</b>   | <b>2057</b>  | <b>219</b>   |
| "Endenergie"                       |                     | <b>22940</b> | <b>24792</b> | <b>22357</b> | <b>22627</b> |
| $A_E$                              | m <sup>2</sup>      | <b>720</b>   | <b>720</b>   | <b>720</b>   | <b>720</b>   |
| $E_{WW}$                           | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>83</b>    | <b>83</b>    | <b>83</b>    | <b>83</b>    |
| $E_{input.Sp}$                     | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>115</b>   | <b>123</b>   | <b>101</b>   | <b>112</b>   |
| $E_{Wärme abz. Anteil DP}$         | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>105</b>   | <b>112</b>   | <b>94</b>    | <b>105</b>   |
| $E_{Endenergie}$                   | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>115</b>   | <b>124</b>   | <b>112</b>   | <b>113</b>   |

Tabelle 3: Zusammenstellung der Energieflüsse im 6-Familienhaus

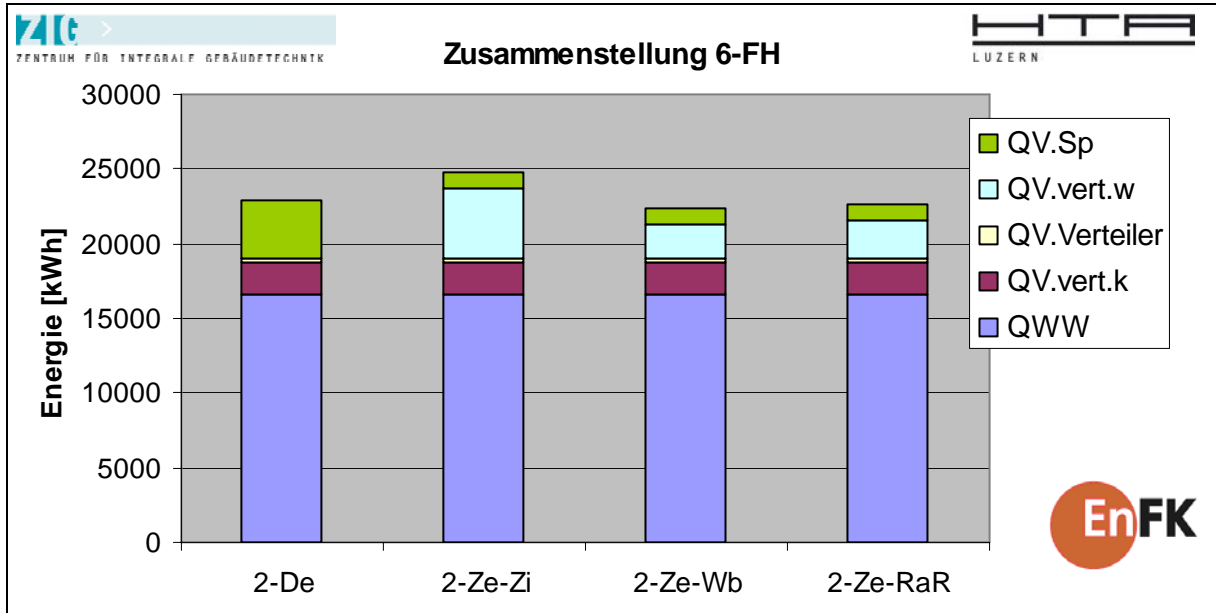


Abbildung 4: Energieverbrauch Warmwasserbereitstellung im 6-Familienhaus

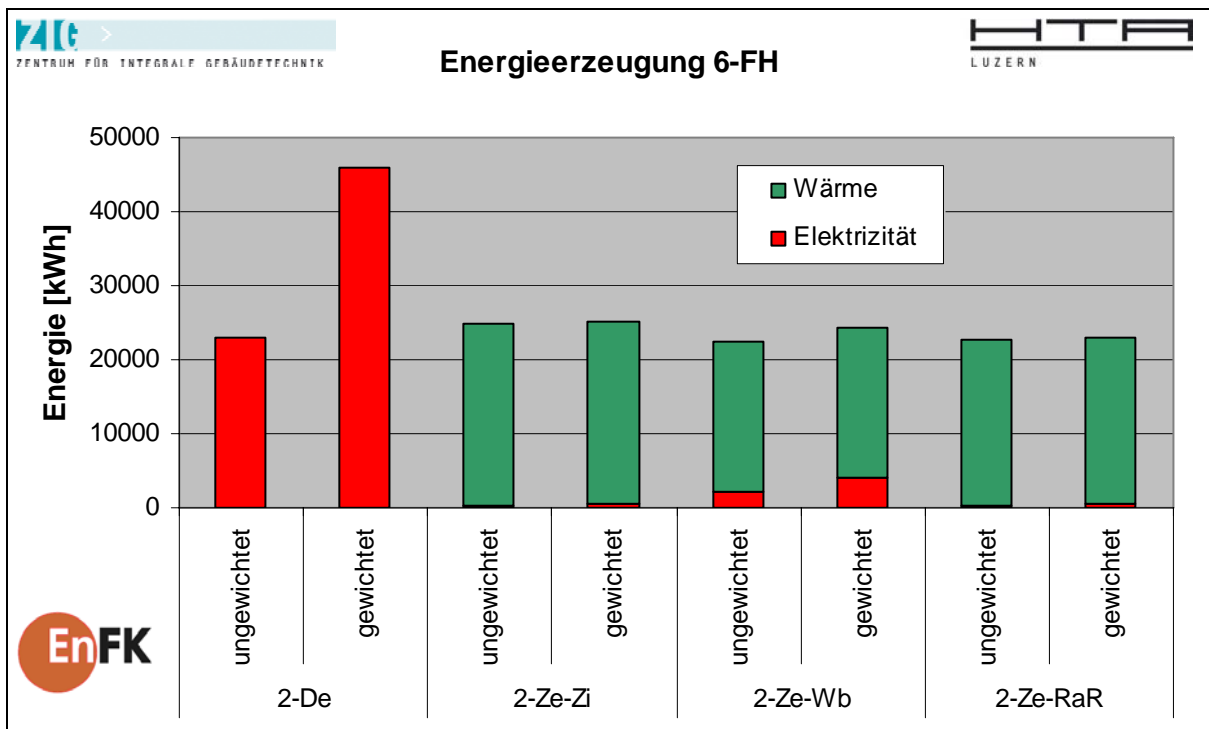


Abbildung 5: Diagramm des ungewichteten und gewichteten Energieverbrauchs für das 6-Familienhaus mit der Annahme, dass die dezentrale Erzeugung direkt elektrisch erfolgt.

### 3.3 Variante 3: 12-Familienhaus

|                                     |                     | 3-De         | 3-Ze-Zi      | 3-Ze-Wb      | 3-Ze-RaR     |
|-------------------------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                     |                     | Jahr         | Jahr         | Jahr         | Jahr         |
| Anz. Tage                           | -                   | 365          | 365          | 365          | 365          |
| Gleichzeitigkeit                    | -                   |              |              |              |              |
| Vielfaches der Einheitswoche        | -                   | 48           | 48           | 48           | 48           |
| $Q_{WW}$                            | kWh                 | <b>33137</b> | <b>33137</b> | <b>33137</b> | <b>33137</b> |
| $Q_{V,vert.k}$                      | kWh                 | 4449         | 4449         | 4449         | 4449         |
| $Q_{V,Verteiler}$                   |                     | 435          | 474          | 474          | 474          |
| $Q_{V,vert.w}$                      |                     | 0            | 6755         | 3385         | 3604         |
| $Q_{V,Sp}$                          |                     | 7858         | 1495         | 1461         | 1487         |
| $E_{el,WHB}$                        | kWh                 | 0            | 0            | 2631         | 0            |
| $E_{el,ZP}$                         |                     | 0            | 219          | 0            | 219          |
| Anteil im Dämmperimeter             | kWh                 | <b>12743</b> | <b>11677</b> | <b>8308</b>  | <b>8527</b>  |
| Nutzbarer Anteil im DP              | 30%                 | <b>3823</b>  | <b>3503</b>  | <b>2492</b>  | <b>2558</b>  |
| "Endenergie" Wärme                  | kWh                 | <b>45880</b> | <b>46090</b> | <b>40275</b> | <b>42932</b> |
| "Endenergie" Wärme abzg. Anteil DP  |                     | <b>42057</b> | <b>42587</b> | <b>37782</b> | <b>40374</b> |
| "Endenergie" Warmhaltung            |                     | <b>0</b>     | <b>219</b>   | <b>2631</b>  | <b>219</b>   |
| "Endenergie"                        |                     | <b>45880</b> | <b>46309</b> | <b>42906</b> | <b>43151</b> |
| $A_E$                               | m <sup>2</sup>      | <b>1440</b>  | <b>1440</b>  | <b>1440</b>  | <b>1440</b>  |
| $E_{WW}$                            | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>83</b>    | <b>83</b>    | <b>83</b>    | <b>83</b>    |
| $E_{input,Sp}$                      | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>115</b>   | <b>115</b>   | <b>101</b>   | <b>107</b>   |
| $\dot{E}_{Wärme\ abz.\ Anteil\ DP}$ | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>105</b>   | <b>106</b>   | <b>94</b>    | <b>101</b>   |
| $E_{Endenergie}$                    | MJ/m <sup>2</sup> a | <b>115</b>   | <b>116</b>   | <b>107</b>   | <b>108</b>   |

Tabelle 4: Zusammenstellung der Energieflüsse im 12-Familienhaus

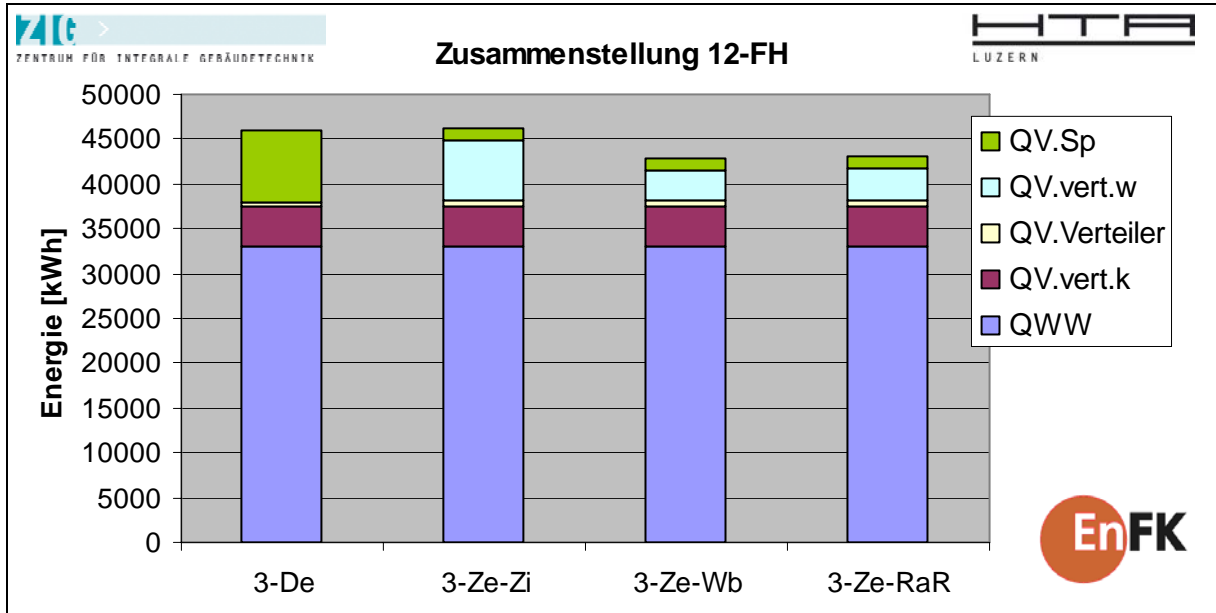


Abbildung 6: Energieverbrauch Warmwasserbereitstellung im 12-Familienhaus

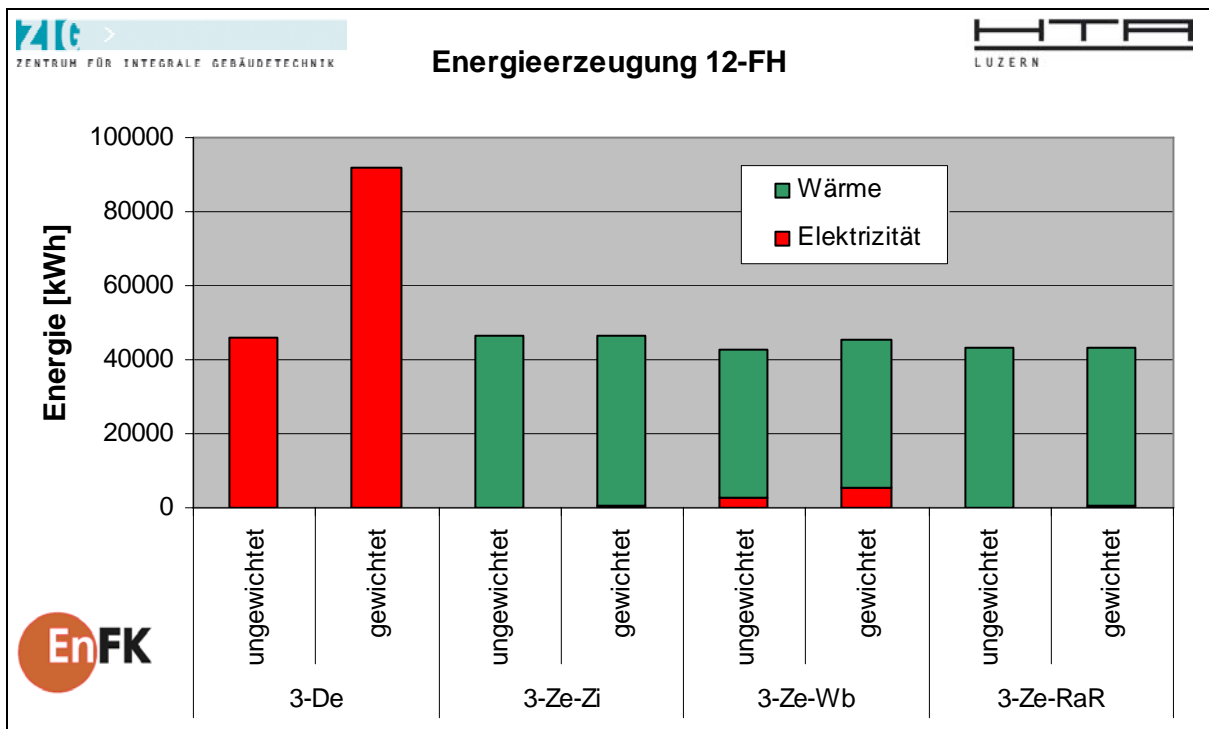


Abbildung 7: Diagramm des ungewichteten und gewichteten Energieverbrauchs für das 12-Familienhaus mit der Annahme, dass die dezentrale Erzeugung direkt elektrisch erfolgt.

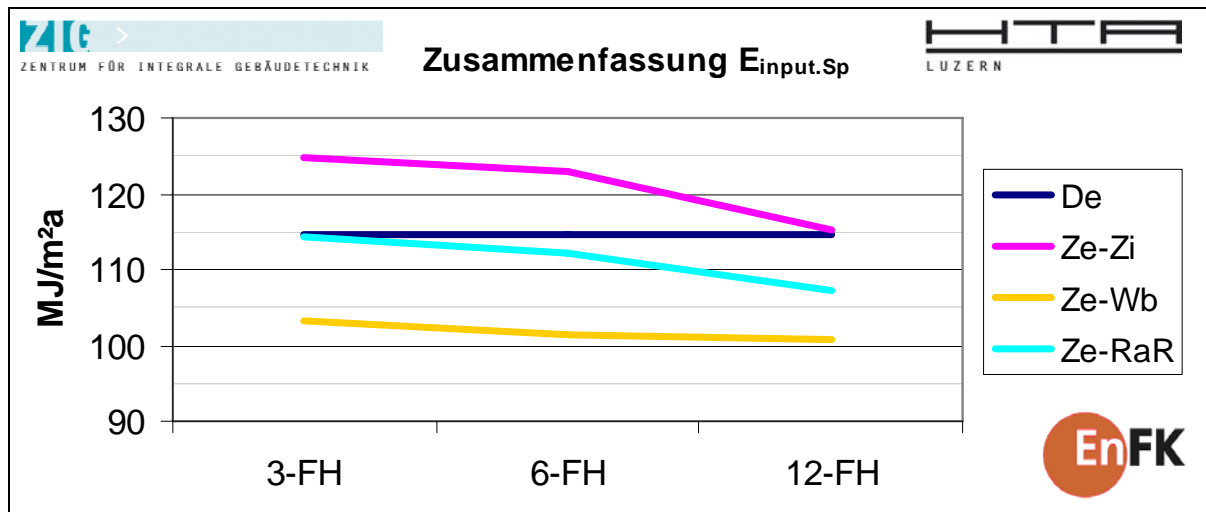


Abbildung 8: Spezifischer Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung (Erzeugung und Deckung der Verluste; ohne elektrische Energie für Zirkulationspumpe und Warmhalteband).

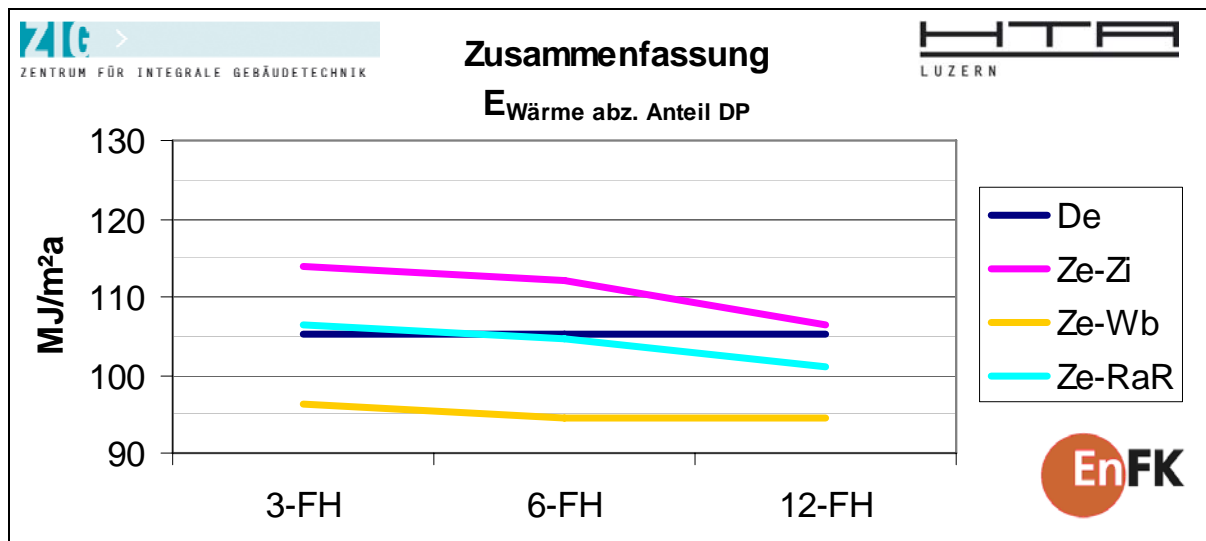


Abbildung 9: Spezifischer Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung (Erzeugung und Deckung der Verluste; abzüglich 30% der Verlustenergie, welche dem Gebäude als „Heizenergie“ zugute kommt).

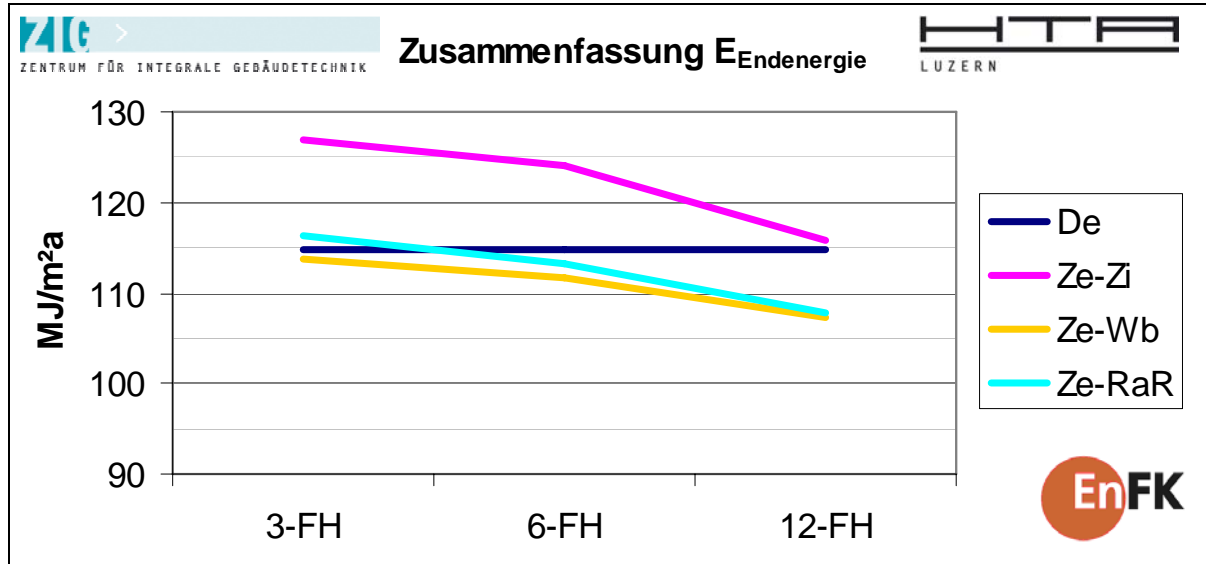


Abbildung 10: Spezifischer Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung (Erzeugung und Deckung der Verluste; abzüglich 30% der Verlustenergie, mit elektrischer Energie für Zirkulationspumpe und Warmhalteband).

## 4. Fazit

### 4.1 Betrachtung ohne Gewichtung der Energieträger

Es zeigt sich, dass die Verteilverluste 24 bis 36 Prozent des gesamten Energiebedarfs für die Warmwasserbereitstellung und –verbrauch ausmachen. Diese Verluste verteilen sich je nach Verteilsystem auf die jeweilige Hauptkomponente.

Beim dezentralen Verteilsystem geht der grösste Teil der Wärme über den Speicher verloren, wobei dieser meist innerhalb des Dämmperimeters platziert sind und die Verluste so zum Teil einen Beitrag an die Raumheizung liefern. Bei der zentralen Verteilung entsprechen die Wärmeverluste über die warmgehaltenen Rohre etwa den Verhältnissen der Dämmoberflächen (2- Rohr > Rohr an Rohr > Warmhalteband).

Bei der zentralen Aufbereitung sind die Verluste über den Speicher, welcher meist im unbeheizten Bereich des Gebäudes steht, gering (im Vergleich zu den Speicherverlusten beim dezentralen System).

Die Verluste über die Anschlussleitungen sind bei allen Varianten genau gleich, da hier keine Unterschiede bestehen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass bei den verschiedenen Systemen die Energieverluste von der gleichen Grössenordnung sind. Ab 6 Wohnungen sind die beiden Warmhaltesysteme Rohr an Rohr und das Warmhalteband effizienter. Ab 12 Wohneinheiten wird die Zirkulation mit 2 getrennten Rohren energetisch effizienter. Dabei ist aber zu beachten, dass dies stark von der jeweiligen Steuerung der Warmhaltung abhängt. Diese können mit dem verwendeten Berechnungsprogramm aber nicht variiert werden.

### 4.2 Betrachtung mit Gewichtung der Energieträger

Wird die Energie mit den Energiegewichtungsfaktoren von MINERGIE hochgerechnet zeigt sich folgendes Bild:

Wird die dezentrale Einheit direkt elektrisch betrieben und die zentrale Aufbereitung mit einem gewichtungsneutralen Energieträger versorgt, so fällt die dezentrale Aufbereitung energetisch sehr stark ab. Beim Warmhalteband kompensiert die Gewichtung die vorhandenen energetischen Vorteile, die sich durch die etwas geringere Oberfläche ergeben.

***Unter Berücksichtigung der Primärenergiefaktoren der verschiedenen Energieträger ist aufgrund dieser Studie der Betrieb von dezentralen und direkt elektrisch versorgten Anlagen aus energetischer Sicht nicht empfehlenswert.***

## 5. Anhang

### 5.1 Grundlagen

#### 5.1.1 Variantenbezeichnung

Gebäudetyp (ergänzend Schemata Abbildung 15 und Abbildung 16):

- 1 3-FH mit 3 Geschossen und 1 Steigstrang
- 2 6-FH mit 3 Geschossen und 2 Steigsträngen
- 3 12-FH mit 6 Geschossen und 2 Steigsträngen

Warmwassererzeugungssystem (ergänzend Schemata Abbildung 15 und Abbildung 16):

- Ze Zentrale Warmwassererzeugung (nicht im gedämmten Perimeter)  
De Dezentrale Warmwassererzeugung (je Wohnung einen Elektrowasserwewärmer)

Warmhaltesystem (ergänzend Schemata Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13):

- Zi Zirkulation  
Wb Warmhalteband  
RaR Rohr an Rohr

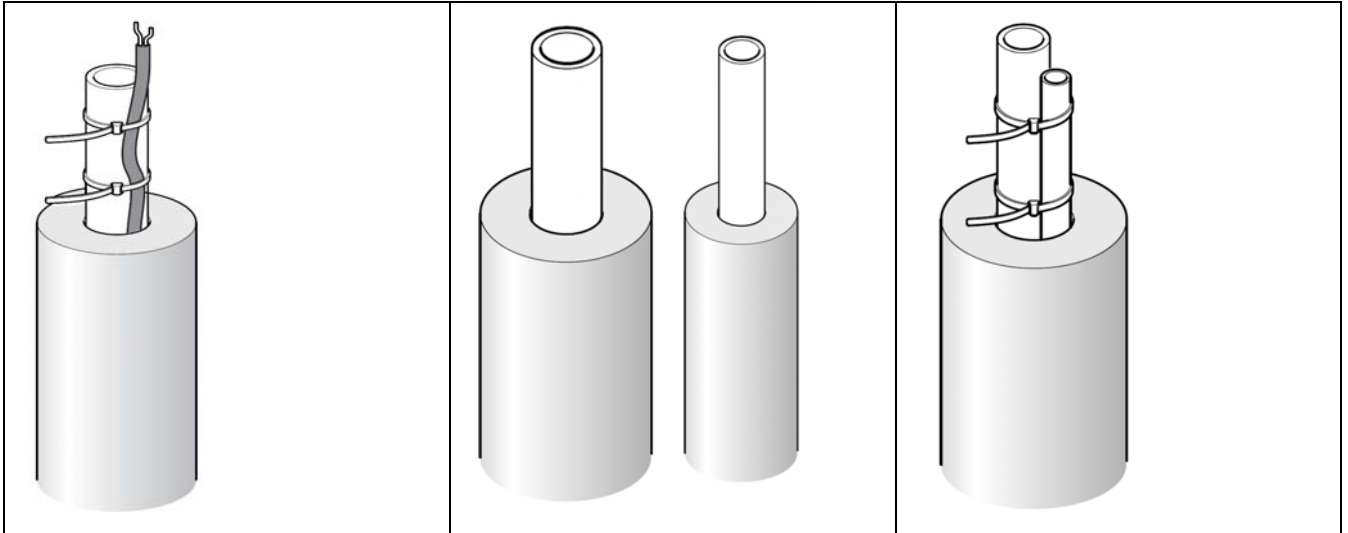


Abbildung 11: Warmhalteband  
[Planungshandbuch  
Geberit 2003]

Abbildung 12: Zirkulation

Abbildung 13: Rohr an Rohr  
[Planungshandbuch  
Geberit 2003]

Es ergeben sich folgende Varianten:

|  | 3-Familienhaus | 6-Familienhaus | 12-Familienhaus |
|--|----------------|----------------|-----------------|
| Dezentrale Aufbereitung  | 1-De           | 2-De           | 3-De            |
| Zentrale Aufbereitung mit Warmhaltung über eine 2 Rohr Zirkulation | 1-Ze-Zi        | 2-Ze-Zi        | 3-Ze-Zi         |
| Zentrale Aufbereitung mit Warmhalteband                            | 1-Ze-Wb        | 2-Ze-Wb        | 3-Ze-Wb         |
| Zentrale Aufbereitung mit Warmhaltung über ein Rohr-an-Rohr-System | 1-Ze-RaR       | 2-Ze-RaR       | 3-Ze-RaR        |

Somit wird zum Beispiel die Variante für das 6-Familienhaus mit drei Geschossen und zwei Steigsträngen, wo das Warmwasser zentral im Keller erzeugt und die Verteilung mit einem Warmhalteband ausgestattet ist, als „2-Ze-Wb“ bezeichnet.

**5.1.2 Warmwasserzapfstellen**

Für die Bestimmung der Warmwasserzapfstellen wird eine durchschnittliche Wohnung mit 3-4 Personen angenommen.














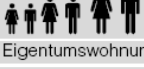

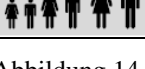
|   | WC  | Waschtisch  | Badewanne   | Dusche  | Urinal  | Spültisch   | Geschirrspüler  | Waschmaschine pro Wohnung   | Wäschetrockner pro Wohnung  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   | WC  | WT  | BW  | DU  | UR  | SP  | GWA   | WM  | TU  |
|   |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Wohnungsbau, minimaler Ausbaustandard   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|  1-2   | 1   | 1   | 1   |   |   | 1   |   |   |   |
|  3-4  | 2   | 1   | 1   | 1   |   | 1   |   |   |   |
|  5-7 | 2   | 2   | 1   | 1   |   | 1   | 1   |   |   |
| Wohnungsbau, durchschnittlicher Ausbaustandard  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|  1-2 | 1   | 1   | 1   | 1   |   | 1   | 1   |   |   |
|  3-4 | 2   | 2   | 1   | 1   |   | 1   | 1   |   |   |
|  5-7 | 3   | 3   | 1   | 1   |   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| Eigentumswohnungen, Eigenheim, erhöhter Ausbaustandard                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|  1-2 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|  3-4 | 2   | 2   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
|  5-7 | 3   | 3   | 1   | 2   | 1   | 2   | 1   | 1   | 1   |

Abbildung 14 Bedarfszahlen pro Komfortstufe im Wohnungsbau (Empfehlung Geberit) [Planungshandbuch Geberit 2003]

5.1.3 Schemata

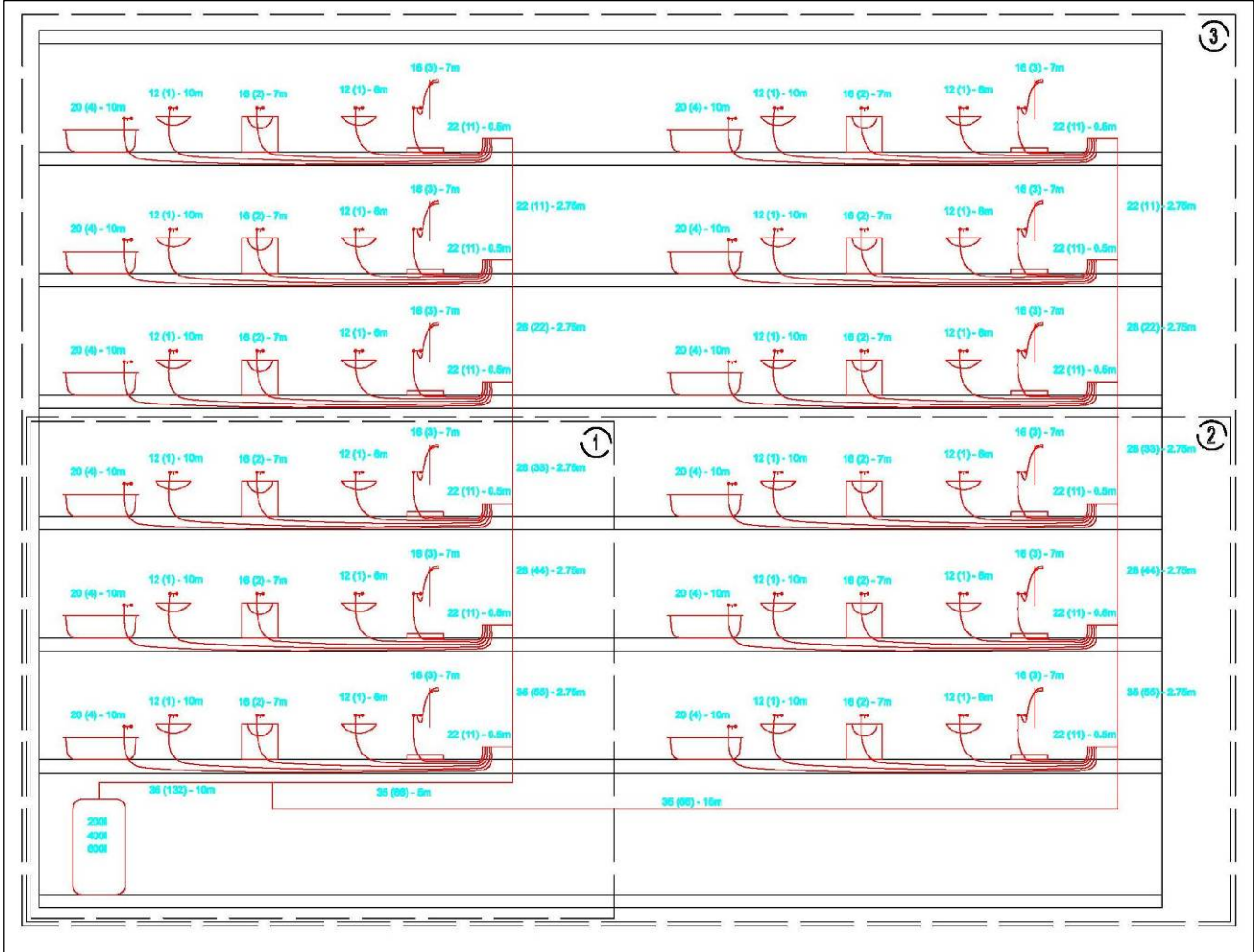


Abbildung 15 Schema zentrale Erzeugung mit den 3 Varianten (3-FH, 6-FH und 12-FH)

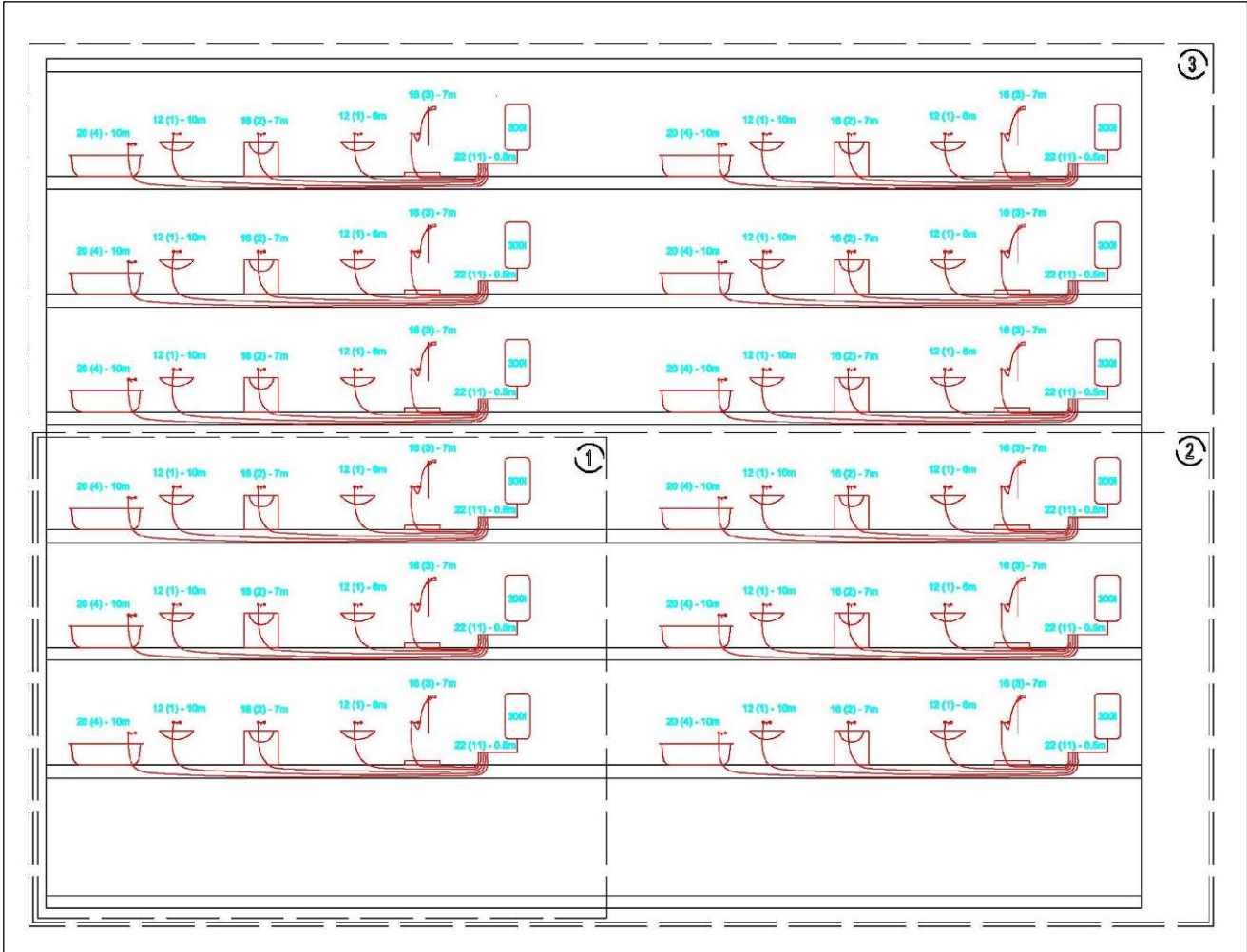


Abbildung 16 Schema dezentrale Erzeugung mit den 3 Varianten (3-FH, 6-FH und 12-FH)

**5.1.4 Dimensionierung dezentrale Anordnung**

| <b>Richtwerte zur Bestimmung von Elektro-(Speicher)Wassererwärmern</b> |                 |                                       |               |
|--|-----------------|---------------------------------------|---------------|
| Wohnungsgrösse   | Anzahl Personen | Warmwasserbedarf in Liter à 60 °C/Tag |               |
|  |                 | mittlerer Komfort                     | hoher Komfort |
| 1-Zimmer-Wohnung   | 1 Person        | 75                                    | 100           |
| 2-Zimmer-Wohnung   | 2 Personen      | 95                                    | 120           |
| 3-Zimmer-Wohnung oder Haus   | 3 Personen      | 150                                   | 200           |
|  | 4 Personen      | 250                                   | 300           |
| 4-Zimmer-Wohnung oder Haus   | 5 Personen      | 250                                   | 300           |
|  | 6 Personen      | 300                                   | 400           |
| 5-Zimmer-Wohnung oder Haus   | 7 Personen      | 400                                   | 600           |
|  | 8 Personen      | 400                                   | 600           |
| 6-Zimmer-Wohnung oder Haus   | 9 Personen      | 500                                   | 800           |
|  | 10 Personen     | 500                                   | 800           |

Abbildung 17 Bestimmung Warmwasserbedarf für einen Tag bei dezentraler Anordnung [Technische Broschüre Warmwasserbedarf Domotec]

Für die Studie wird je Wohnung mit einer Speichergrösse von 300 Liter gerechnet.

### 5.1.5 Dimensionierung zentrale Anordnung

| Warmwasserbedarf im Wohnungsbau |                            |       |                           |       |                            |       |                                  |       |                     |       |
|---------------------------------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------------|-------|---------------------|-------|
| Anzahl Normal-<br>wohnungen     | Spitzenbedarf<br>l/10 Min. |       | max.Stundenbedarf<br>in l |       | max. Stundenbedarf<br>in l |       | max. Stundenbedarf<br>in l       |       | Tagesbedarf<br>in l |       |
|                                 |                            |       | erste Stunde              |       | zweite Stunde              |       | Dauerleistung<br>06.00–22.00 l/h |       |                     |       |
|                                 | 45 °C                      | 60 °C | 45 °C                     | 60 °C | 45 °C                      | 60 °C | 45 °C                            | 60 °C | 45 °C               | 60 °C |
| 4                               | 290                        | 200   | 560                       | 390   | 230                        | 160   | 57                               | 40    | 960                 | 670   |
| 6                               | 360                        | 250   | 720                       | 500   | 320                        | 220   | 88                               | 62    | 1430                | 1000  |
| 8                               | 420                        | 290   | 870                       | 610   | 430                        | 300   | 118                              | 83    | 1920                | 1340  |
| 10                              | 470                        | 330   | 1040                      | 730   | 520                        | 360   | 150                              | 105   | 2390                | 1670  |
| 12                              | 520                        | 360   | 1140                      | 800   | 570                        | 400   | 178                              | 125   | 2860                | 2000  |
| 14                              | 560                        | 390   | 1250                      | 880   | 630                        | 440   | 208                              | 146   | 3350                | 2340  |
| 16                              | 600                        | 420   | 1370                      | 960   | 740                        | 520   | 238                              | 167   | 3820                | 2670  |
| 18                              | 650                        | 450   | 1530                      | 1070  | 860                        | 600   | 267                              | 187   | 4290                | 3000  |
| 20                              | 680                        | 470   | 1700                      | 1180  | 970                        | 680   | 297                              | 208   | 4770                | 3340  |
| 25                              | 760                        | 530   | 1970                      | 1380  | 1140                       | 800   | 370                              | 260   | 5960                | 4170  |
| 30                              | 820                        | 570   | 2250                      | 1580  | 1310                       | 920   | 447                              | 313   | 7160                | 5010  |
| 35                              | 900                        | 630   | 2480                      | 1760  | 1570                       | 1100  | 521                              | 365   | 8350                | 5840  |
| 40                              | 980                        | 680   | 2700                      | 1900  | 1720                       | 1200  | 525                              | 417   | 9550                | 6680  |
| 45                              | 1030                       | 720   | 2960                      | 2070  | 1940                       | 1360  | 670                              | 470   | 10740               | 7515  |
| 50                              | 1070                       | 750   | 3215                      | 2250  | 2290                       | 1600  | 740                              | 520   | 11930               | 8350  |
| 60                              | 1200                       | 840   | 3715                      | 2600  | 2570                       | 1800  | 890                              | 626   | 14290               | 10000 |
| 70                              | 1300                       | 910   | 4140                      | 2900  | 3120                       | 2180  | 1040                             | 730   | 16700               | 11690 |
| 80                              | 1400                       | 980   | 4570                      | 3200  | 3290                       | 2300  | 1180                             | 825   | 19100               | 13360 |
| 90                              | 1520                       | 1060  | 5140                      | 3600  | 3860                       | 2700  | 1343                             | 960   | 21500               | 15030 |
| 100                             | 1650                       | 1150  | 5570                      | 3900  | 4000                       | 2800  | 1495                             | 1045  | 23900               | 16700 |

Quelle KRW

Grundlage: Normalwohnung mit  
 1–2 Handwaschbecken  
 1 Spülbecken in der Küche  
 1 Badewanne 150 Liter

Abbildung 18 Warmwasserbedarf im Wohnungsbau [Technische Broschüre Warmwasserbedarf Domotec]

Für das Dreifamilienhaus wird der gut halbe Werte der 6 Wohnungen angenommen (500 Liter für das 6.FH bzw. 300 Liter für das 3-FH).

Für die Speicherdimensionierung wird jeweils der halbe Tagesbedarf als Auslegungsgrösse genommen. Dies entspricht einem Speicher, der die Wärmeerzeugung mit einer Wärmepumpe, aber auch mit anderen Wärmeerzeugern ermöglicht.

Es ergeben sich folgende Speichergrössen:

|  |            |
|--|------------|
| 3-FH mit 3 Geschossen und 1 Steigstrang    | 300 Liter  |
| 6-FH mit 3 Geschossen und 2 Steigsträngen  | 500 Liter  |
| 12-FH mit 6 Geschossen und 2 Steigsträngen | 1000 Liter |

Die jeweiligen Speichergrössen können auch noch mit dem jeweiligen Lastverlauf betrachtet werden – um neben der Leistung auch die energetische Seite zu optimieren und umgekehrt.

### 5.1.6 Rohrmaterial und Dimensionierung

Für die Verteilung werden Pe-X-Rohre verwendet. Die Steigstränge und Verteilung ab Warmwassererwärmer bis zum Verteiler werden in rostbeständigen Stahlrohren ausgeführt. Dimensionierung gemäss [SVGW W3 Ausgabe 2000].

### 5.1.7 Warmwasserbedarf

Es wird mit einer durchschnittlichen Wohnung gerechnet. Diese benötigt gemäss der [Handrechenmethode Warmwasser]<sup>1</sup> durchschnittlich 164 l/d Warmwasser mit einer Temperatur von 60°C.

### 5.1.8 Wohnungsflächen

Für die Wohnfläche werden 120 m<sup>2</sup> angenommen. Diese Zahl entspricht in etwa einem gemittelten Wert des [Bundesamt für Statistik, Volkszählungen; Miet- und Eigentümerwohnungen 1990-2000].

Als Kontrolle werden diese Annahmen hochgerechnet (12-FH):

$$1440 \text{ m}^2 / 40 \text{ m}^2/\text{P} = 36 \text{ P (nach 380/1)}$$

$$1440 \text{ m}^2 * 75 \text{ MJ/m}^2 = 108000 \text{ MJ/a (nach 380/1)}$$

$$119293 \text{ MJ/a (nach WW-Tool)}$$

### 5.1.9 Steuerungen der Zirkulation, Rohr an Rohr und Warmhalteband

Gemäss der [Handrechenmethode Warmwasser]<sup>1</sup> werden die Warmhaltesysteme mit folgenden Steuerungen gefahren:

#### Warmhaltesysteme:

Bei der Wohnnutzung werden die Warmhaltesysteme dauernd, also 168 Stunde pro Woche betrieben. Spezialfälle bilden Einfamilienhäuser, allenfalls Zweifamilienhäuser, wo unter den Bewohnern ein Konsens besteht für gewisse abschaltbare Zeitblöcke. Der hier abgebildete Normalfall ist jedoch die volle Betriebszeit, einerseits um vollen Komfort zu gewährleisten, andererseits um unnötige Ausstossmengen zu verhindern.

<sup>1</sup> Methode zur Berechnung des Jahresenergieverbrauchs von Warmwasseranlagen; REN; BFE; 2006

Zirkulation

Die Verteilleitung und die Zirkulationsleitung, die sich normalerweise in ihrer Dimension unterscheiden, haben die unterschiedlichen Verlustfaktoren. Diese Verlustfaktoren repräsentieren eine hydraulisch abgegliche Zirkulation, deren Rücklauf-Temperatur beim Speicher auf 50°C (bei  $T_{WW}=60^{\circ}\text{C}$ ) reguliert wird. Eine richtig dimensionierte Zirkulationspumpe braucht, um diese Anforderung zu erfüllen, im Verhältnis zu den Wärmeverlusten sehr wenig Energie. Die Hälfte dieser el. Energiemengen (Laufzeit mal Leistung) wird als thermischer Benefit bilanziert, also von der Wärmeverlustenergie subtrahiert.

Rohr an Rohr

Dieses System wird im Prinzip gleich behandelt wie die Zirkulation. Der Unterschied ist, dass der Wärmeverlust der separaten Zirkulationsleitung fehlt.

Warmhalteband:

Dieses benötigt elektrische Energie für eine definierte Temperaturhaltung. Diese Energiemenge muss nicht im Speicher aufbereitet werden. Die Mengen sind vom Dämmstandard, dem Temperaturniveau und der zeitlichen Steuerung abhängig. Die Regulierungscharakteristik von realen WHB's ist nicht optimal, was zu unerwünschtem Nachheizen führen kann. In der Praxis werden Optimierungen mit Zeitsteuerungsprogrammen angeboten. Für das Modell wurde mit dem idealen Zweipunkt-Regler ohne Hysterese gearbeitet, auf eine Zeitsteuerung wurde verzichtet.

**5.1.10 Vergleich der Speicherverluste**

Das Berechnungstool wurde dafür auf die Normbedingungen angepasst:

|                          |         | 300 l dezentral | 300 l zentral (2/3) | 500 l zentral (2/3) | 1000 l zentral (2/3) |
|--------------------------|---------|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Tagesverlust gemäss EnV  | [kWh/d] | 2.6             | 2.6 / 2.7           | 3.5 / 3.6           | 4.7 / 4.8            |
| Tagesverlust gemäss Tool | [kWh/d] | 2.52            | 2.52 / 2.69         | 3.38 / 3.55         | 4.62 / 4.70          |
| Dämmstärke               | [mm]    | 80              | 80 / 90             | 70 / 75             | 70 / 75              |

Ebenfalls sind hier auch die für die Berechnung gewählten Dämmstärken ersichtlich.

## 5.2 Vorschriften

### 5.2.1 Warmwasserverbrauch nach SIA

| Ziffer  |  |  | I          | II         | III        | IV      | V       | VI          | VII                | VIII     | IX        | X     | XI          | XII         |
|---------|--|--|------------|------------|------------|---------|---------|-------------|--------------------|----------|-----------|-------|-------------|-------------|
|         |  |  | Wohnen MFH | Wohnen EFH | Verwaltung | Schulen | Verkauf | Restaurants | Versammlungslokale | Spitäler | Industrie | Lager | Sportbauten | Hallenbäder |
| 3.5.1.1 | Raumtemperatur                             | $\theta_o$<br>°C                                     | 20         | 20         | 20         | 20      | 20      | 20          | 20                 | 22       | 18        | 18    | 18          | 28          |
| 3.5.1.2 | Personenfläche                             | $A_P$<br>m <sup>2</sup> /P                           | 40         | 60         | 20         | 10      | 10      | 5           | 5                  | 30       | 20        | 100   | 20          | 20          |
| 3.5.1.3 | Wärmeabgabe pro Person                     | $Q_P$<br>W/P   | 70         | 70         | 80         | 70      | 90      | 100         | 80                 | 80       | 100       | 100   | 100         | 60          |
| 3.5.1.4 | Präsenzzeit pro Tag                        | $t_p$<br>h   | 12         | 12         | 6          | 4       | 4       | 3           | 3                  | 16       | 6         | 6     | 6           | 4           |
| 3.5.1.5 | Elektrizitätsverbrauch                     | $Q_E$<br>MJ/m <sup>2</sup>                           | 100        | 80         | 80         | 40      | 120     | 120         | 60                 | 100      | 60        | 20    | 20          | 200         |
| 3.5.1.6 | Reduktionsfaktor<br>Elektrizitätsverbrauch | $f_E$<br>-   | 0,7        | 0,7        | 0,9        | 0,9     | 0,8     | 0,7         | 0,8                | 0,7      | 0,9       | 0,9   | 0,9         | 0,7         |
| 3.5.1.7 | Aussenluft-Volumenstrom                    | $\dot{V}/A_{EF}$<br>m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,7     | 0,7     | 1,2         | 1,0                | 1,0      | 0,7       | 0,3   | 0,7         | 0,7         |
| 4.3     | Wärmebedarf Warmwasser                     | $Q_{ww}$<br>MJ/m <sup>2</sup>                        | 75         | 50         | 25         | 25      | 25      | 200         | 50                 | 100      | 25        | 5     | 300         | 300         |

Abbildung 19: Personenfläche und Warmwasserbedarf nach der Norm SIA 380/1:2007  
[Entwurf SIA 380/1 Stand 07.08.2006]

### 5.2.2 Wärmedämmungen nach MuKE n

| Rohrnennweite | Zoll                               | bei $\lambda > 0,03$ W/mK<br>bis $\lambda \leq 0,05$ W/mK | bei $\lambda \leq 0,03$ W/mK |
|---------------|------------------------------------|---|------------------------------|
| 10 - 15       | $\frac{3}{8}$ " - $\frac{1}{2}$ "  | 40 mm   | 30 mm                        |
| 20 - 32       | $\frac{3}{4}$ " - $1\frac{1}{4}$ " | 50 mm   | 40 mm                        |
| 40 - 50       | $1\frac{1}{2}$ " - 2"              | 60 mm   | 50 mm                        |
| 65 - 80       | $2\frac{1}{2}$ " - 3"              | 80 mm   | 60 mm                        |
| 100 - 150     | 4" - 6"                            | 100 mm  | 80 mm                        |
| 175 - 200     | 7" - 8"                            | 120 mm  | 80 mm                        |

Abbildung 20 Minimale Dämmstärken bei Verteilleitungen der Heizung sowie bei Warmwasserleitungen  
[Art. 1.11 MuKE n 2000]

### 5.2.3 Speicherverluste gemäss eidg. Energieverordnung

| Nenninhalt in Litern <sup>a</sup> | max. zulässige Wärmeverluste in kWh in 24 h | Nenninhalt in Litern | max. zulässige Wärmeverluste in kWh in 24 h |
|-----------------------------------|---|----------------------|---|
| 30                                | 0,75  | 700                  | 4,1   |
| 50                                | 0,90  | 800                  | 4,3   |
| 80                                | 1,1   | 900                  | 4,5   |
| 100                               | 1,3   | 1000                 | 4,7   |
| 120                               | 1,4   | 1100                 | 4,8   |
| 150                               | 1,6   | 1200                 | 4,9   |
| 200                               | 2,1   | 1300                 | 5,0   |
| 300                               | 2,6   | 1500                 | 5,1   |
| 400                               | 3,1   | 2000                 | 5,2   |
| 500                               | 3,5   |                      |   |
| 600                               | 3,8   |                      |   |

<sup>a</sup> Zwischengrössen sind linear zu interpolieren.  
Der tatsächliche Inhalt darf den Nenninhalt um max. 5 % unterschreiten.

Abbildung 21 Anforderungen für das Inverkehrbringen von Wassererwärmern, Warmwasser- und Wärmespeichern [730.01 Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (EnV)]

Die maximal zulässigen Wärmeverluste gelten für Anlagen und Geräte mit höchstens zwei Wasser führenden Rohrstutzen. Für jeden weiteren Wasser führenden Rohrstutzen erhöhen sie sich um je 0,1 kWh in 24 Stunden bis maximal 0,3 kWh in 24 Stunden.

Die Messung erfolgt unter folgenden Bedingungen:

- a. mittlere Wassertemperatur 65°C;
- b. Umgebungstemperatur 20°C;
- c. keine Wasserentnahme;
- d. vollständig mit Wasser gefülltes Gerät.