

**Reduzierung von Energieverbrauch  
und CO<sub>2</sub>-Emissionen durch dezentrale  
elektrische Warmwasserversorgung**

---



# **Reduzierung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen durch dezentrale elektrische Warmwasserversorgung**

---

**Auftraggeber:**

**ZVEI  
Zentralverband Elektrotechnik-  
und Elektroindustrie e.V.**

**HEA  
Fachgemeinschaft für effiziente  
Energieanwendung e.V.**

**Verschiedene Hersteller**

**FfE-Auftragsnummer:**

**ZVEI-01**

**Bearbeiter/in:**

**Dipl.-Ing.(FH) Schwentzek (FfE)  
Dipl.-Ing. Fieger (FfE)  
Dr.-Ing. Tzeuschtschler (IfE)**

**Fertigstellung:**

**Juli 2011**

**Impressum:**

Endbericht der  
Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft  
mbH (fE GmbH)  
in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für  
Energiewirtschaft und Anwendungstechnik (IfE)  
der TU München

*zum Projekt:*

Reduzierung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-  
Emissionen durch dezentrale elektrische  
Warmwasserversorgung

*Auftraggeber:*

ZVEI

Zentralverband Elektrotechnik- und  
Elektroindustrie e.V.

HEA

Fachgemeinschaft für effiziente  
Energieanwendung e.V.

Verschiedene Hersteller

**Kontakt:**

Am Blütenanger 71  
80995 München  
Tel.: +49 (0) 89 158121-0  
Fax: +49 (0) 89 158121-10  
E-Mail: [info@ffe.de](mailto:info@ffe.de)  
Internet: [www.ffegmbh.de](http://www.ffegmbh.de)

**Wissenschaftlicher Leiter:**

Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

**Geschäftsführer:**

Prof. Dr.-Ing. W. Mauch

**Projekt-Manager:**

Dipl.-Phys. R. Corradini

## Inhaltsverzeichnis

<b>Reduzierung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen durch dezentrale elektrische Warmwasserversorgung .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Ausgangssituation .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Zielsetzung und Vorgehensweise .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Marktstudie WW-Versorgungssysteme .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Zentrale Warmwasserbereitung .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2 Dezentrale Warmwasserbereitung .....</b>	<b>3</b>
3.2.1 Hydraulisch gesteuerter Durchlauferhitzer .....	4
3.2.2 Elektronisch geregelter Durchlauferhitzer .....	4
3.2.3 Kleindurchlauferhitzer für wenig benutzte Einzelzapfstellen .....	4
<b>4 Problematik der Legionellen .....</b>	<b>5</b>
4.1 Allgemeines zu Legionellen .....	5
4.2 Maßnahmen gegen Legionellen .....	5
<b>5 Darstellung der Referenzgebäude .....</b>	<b>6</b>
5.1 Parameter der Referenzgebäude .....	6
5.2 Einfamilienhaus .....	6
5.3 Dreifamilienhaus .....	8
5.4 12-Familienhaus .....	9
<b>6 Darstellung der verlustabhängigen Verbrauchs- bzw. Bedarfsdaten .....</b>	<b>11</b>
6.1 Parameter zur Erstellung von nutzerabhängigen Zapfprofilen .....	11
6.2 Darstellung und Modifikation der Zapfprofile .....	11
6.2.1 Zapfprofil Einfamilienhaus .....	12
6.2.2 Zapfprofil Dreifamilienhaus .....	12
6.2.3 Zapfprofil 12-Familienhaus .....	13
6.2.4 Aufteilung der einzelnen Zapfungen .....	13
6.3 Verluste der zentralen Warmwasserversorgung .....	15
6.3.1 Anlaufverluste .....	16
6.3.2 Verteilverluste .....	17
6.3.3 Zirkulationsverluste .....	17
6.3.4 Stand- bzw. Speicherluste .....	17
6.3.5 Technische Anlagenverluste .....	18
6.4 Verluste der dezentralen Warmwasserversorgung .....	18

6.4.1	Anlaufverluste .....	18
6.4.2	Verteilverluste .....	18
6.4.3	Technische Anlagenverluste .....	18
<b>7</b>	<b>Berechnung der Verluste der WW-Versorgung.....</b>	<b>19</b>
<b>7.1</b>	<b>Berechnung der Leitungslängen.....</b>	<b>19</b>
<b>7.2</b>	<b>Darstellung der Verluste der zentralen WW-Versorgung mit intelligenter Zirkulation .....</b>	<b>19</b>
7.2.1	Verluste im Einfamilienhaus.....	20
7.2.2	Verluste im Dreifamilienhaus .....	20
7.2.3	Verluste im 12-Familienhaus .....	21
<b>7.3</b>	<b>Darstellung der Verluste der zentralen WW-Versorgung mit herkömmlicher Zirkulation .....</b>	<b>21</b>
7.3.1	Verluste im Einfamilienhaus.....	22
7.3.2	Verluste im Dreifamilienhaus .....	22
7.3.3	Verluste im 12-Familienhaus .....	23
<b>7.4</b>	<b>Darstellung der Verluste der dezentralen WW-Versorgung.....</b>	<b>24</b>
7.4.1	Verluste im Einfamilienhaus.....	24
7.4.2	Verluste im Dreifamilienhaus .....	24
7.4.3	Verluste im 12-Familienhaus .....	25
<b>7.5</b>	<b>Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung .....</b>	<b>25</b>
7.5.1	Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH .....	25
7.5.2	Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 3FH.....	26
7.5.3	Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 12FH.....	28
<b>8</b>	<b>Darstellung einer Einzelzapfstelle.....</b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b>Solares Nacherwärmen .....</b>	<b>30</b>
<b>9.1</b>	<b>Das Konzept der Nutzung solarer Strahlungsenergie.....</b>	<b>30</b>
9.1.1	Technische Anlagendetails .....	30
9.1.2	Zapfungen und Verluste.....	30
<b>9.2</b>	<b>Ergebnisse der Simulation.....</b>	<b>30</b>
9.2.1	Einfamilienhaus.....	31
9.2.2	Dreifamilienhaus .....	31
9.2.3	12-Familienhaus .....	32
<b>10</b>	<b>Primärenergieeinsatz und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen.....</b>	<b>34</b>
<b>10.1</b>	<b>Berechnung der Parameter zur Darstellung der dezentralen WW-Bereitung .....</b>	<b>34</b>
<b>10.2</b>	<b>Primärenergetischer Vergleich und Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.....</b>	<b>38</b>
10.2.1	Absolute CO <sub>2</sub> -Emissionen.....	38

---

10.2.2	Primärenergetischer Verbrauch.....	40
<b>11</b>	<b>Investitions- und Betriebskosten .....</b>	<b>43</b>
<b>12</b>	<b>Gesetzliche Vorgaben bei energetischer Bewertung der WW-Versorgung .....</b>	<b>47</b>
<b>12.1</b>	<b>Unterschiedliche Berechnungsmöglichkeiten .....</b>	<b>47</b>
12.1.1	Einfamilienhaus .....	48
12.1.2	Dreifamilienhaus.....	48
12.1.3	12-Familienhaus .....	49
<b>12.2</b>	<b>Unzulänglichkeiten.....</b>	<b>50</b>
12.2.1	Anlaufverluste.....	50
12.2.2	Verteilverluste.....	51
12.2.3	Unterscheidung dezentraler und zentraler WW-Versorgung.....	51
12.2.4	Zirkulationssystem.....	51
<b>13</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>52</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>56</b>



# Reduzierung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen durch dezentrale elektrische Warmwasserversorgung

## 1 Ausgangssituation

Die Bedeutung des Energieverbrauchs durch die Warmwasserbereitung in bewohnten Gebäuden wächst anteilig aufgrund der steigenden Anforderungen an die Dämmung der Gebäudehülle und dem damit abnehmenden Heizenergieverbrauch. Trotz der gesetzlichen Bestimmungen und einer verbesserten Ökoeffizienz des Gebäudesektors, verändert sich das umweltbewusstere Nutzerverhalten der Gesellschaft nicht im gleichen Maße.

Durch die aktuelle Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) /ENEV-01 09/ werden energetische Anforderungen an den Gebäudesektor dem Stand der Technik entsprechend festgelegt. Es werden für Neubauten Heizungs- und Warmwassersystemlösungen hinsichtlich ihres Energiebedarfes bewertet und die wirtschaftlich vertretbaren Energieeinsparungen betrachtet. Bei einem Neubau müssen der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf um durchschnittlich 30 Prozent reduziert oder die Wärmedämmung der Gebäudehülle um 15 Prozent gegenüber der EnEV 2007 verbessert werden. Des Weiteren wurden die Pflichten und Maßnahmen bei der Modernisierung von Altbauten hinsichtlich der Wasserleitungsdämmung deutlich verschärft.

Die Öko-Design-Richtlinie (2005/32/EG) /IEKP-01 07/ schafft einen umfassenden und konsistenten Rahmen für die Festlegung von Anforderungen an die umweltverträgliche Gestaltung energiebetriebener Produkte. Dabei sollen besonders die wesentlichen Umweltaspekte im gesamten Lebenszyklus des Produktes geregelt werden.

Um die negativen Umweltauswirkungen zu minimieren, werden allgemeine und spezifische quantitative Ökodesign-Anforderungen festgelegt und in Durchführungsmaßnahmen vorgeschrieben.

Die dezentrale Warmwasserversorgung mittels Durchlauferhitzer wird aktuell in der EU-Kommission behandelt. Hierfür werden Geräte und Systeme zur Erwärmung von Trinkwasser durch eine Energieverbrauchskennzeichnung mittels einer 7-teiligen Effizienzskala von sehr effizient (Klasse A) bis sehr wenig effizient (Klasse G) bewertet. Diese Effizienzanforderungen basieren auf einer technischen, wirtschaftlichen und umweltbezogenen Analyse der betrachteten Geräte /IEKP-01 07/.

## 2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die folgende Studie „Reduzierung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen durch dezentrale elektrische Warmwasserversorgung“ soll eine Basis für eine realistische und nachvollziehbare Darstellung und Bewertung von dezentraler Warmwasserbereitung bieten. Schwerpunkt der Analyse bilden der Energieverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die Wirtschaftlichkeit von elektronischen Durchlauferhitzern.

Ausgangslage ist der Ersatz des bestehenden dezentralen Systems (hydraulische Durchlauferhitzer) zur Warmwasser-Bereitung in Wohngebäuden. Im Sanierungsfall werden drei Systeme miteinander verglichen:

- Öl-/Gasbrennwertkessel zur zentralen WW-Versorgung (Speicherprinzip) mit einem intelligentem Zirkulationssystem
- dezentrale WW-Bereitung mit elektronischen Durchlauferhitzern
- dezentrale WW-Bereitung mit elektronischen Durchlauferhitzern und solarer Vorwärmung

Nach der Darstellung des Ist-Zustandes werden die Optimierungsmöglichkeiten und auch die anfallenden Kosten für die Umbaumaßnahmen aufgezeigt. Die Betrachtung umfasst neben den Hauptzapfstellen (Dusche, Spüle) auch Einzelzapfstellen, wie das Gäste-WC oder die Dusche im Keller.

Als Basis für die Bewertung der klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen dient das Optimierungsmodell ifeon, des Lehrstuhls für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München. Hierdurch wird abhängig vom Kraftwerkspark, von technischen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen, Technologientwicklungen und der Preisentwicklung die stundenscharfe Stromerzeugung in Deutschland berechnet. Im Rahmen der Studie wird das Jahr 2009 als Referenzjahr für den Stand der Technik betrachtet, um die Bereitstellung von Strom und anderen Energieträgern festzulegen. Des Weiteren wird die Entwicklung der Strombereitstellung bis 2020 bestimmt und die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Warmwasserzeugung dargestellt.

## 3 Marktstudie WW-Versorgungssysteme

Der Nutzer eines Warmwassersystems soll jederzeit Warmwasser mit der gewünschten Temperatur und benötigten Menge ohne größere Verzögerung zur Verfügung haben. Weitere Anforderungen an die Warmwasserbereitung sind beispielsweise hygienisch einwandfreies Wasser, Betriebssicherheit, leichte Bedienbarkeit, Regelbarkeit der Entnahmestellen und ein kostengünstiger, umweltfreundlicher und energiesparender Betrieb.

### 3.1 Zentrale Warmwasserbereitung

Bei einer zentralen Versorgung erfolgt die Erwärmung des benötigten Wassers für alle Zapfstellen eines Gebäudes über eine Warmwassererzeugungseinheit. Als Referenzsystem wird in dieser Studie ein Öl- bzw. Gas-Brennwertkessel verwendet.

Für die zentrale Warmwasserversorgung ist neben einer Kaltwasserleitung ebenso ein Rohrnetz für die Warmwasserverteilung notwendig. Um das warme Wasser ohne hohe Wasserverschwendung durch Anlaufverluste zeitnah nach Zapfbeginn mit der gewünschten Temperatur an der Entnahmestelle zur Verfügung zu haben, ist zusätzlich die Installation eines Zirkulationsnetzes erforderlich. Zur Aufrechterhaltung eines Volumenstroms zur Temperaturhaltung im Netz ist eine temperatur- oder zeitabhängig Steuerung der Wasserzirkulation nötig. Neben den Verteilverlusten fallen somit Zirkulationsverluste an.

Letztere könnten durch den Einsatz einer intelligenten Zirkulation reduziert werden. Das intelligente Zirkulationssystem erfasst hierbei jede Druckänderung in der Leitung. Bei einer Zapfung wird die Temperatur in der Warmwasserverteilleitung gemessen und mit der erforderlichen Zapftemperatur verglichen. Im Bedarfsfall wird die Zirkulationspumpe eingeschaltet, um den gewünschten Sollwert an der Zapfstelle schneller als bei einer herkömmlichen Zirkulation zu erreichen. Die Elektronik des Zirkulationssystems speichert die regelmäßigen und täglichen Warmwasserzapfungen und kann somit für die folgenden Tage entsprechend dem Nutzerverhalten Warmwasser bereitstellen. Hierbei werden auch abweichende Zapfintervalle, wie beispielsweise die Unterschiede zwischen Werktagen und Wochenend- und Feiertagen vom System erkannt und gespeichert. Bei längerer Nichtbenutzung des Warmwassernetzes wird ein Programm aktiviert, welches durch regelmäßige Spülungen des Rohrsystems die Bildung von Legionellen und weiteren Mikroorganismen verhindern soll.

### 3.2 Dezentrale Warmwasserbereitung

Bei dezentraler Warmwasserbereitung durch elektronische Durchlauferhitzer wird jeder Zapfstelle ein für die Anwendung abgestimmtes Gerät installiert. Das benötigte Wasser wird erst beim Zapfvorgang verbrauchsnahe erwärmt. Es entfallen hierbei warmwasserführende Rohrleitungen und Zirkulationsleitungen, da lediglich eine Kaltwasserzuleitung an die Zapfstellen nötig ist.

Ein Durchlauferhitzer geht bedarfsgerecht auf die unterschiedlichen Nutzungsbedingungen ein. Durch die Installation von unterschiedlich leistungsstarken Warm-

wasserbereitern wird für ein Spülbecken in der Küche gradgenau eine Temperatur von 48 °C und für ein Waschbecken im Badezimmer eine Temperatur von 38 °C erreicht.

Die Einbindung von Solarenergie in die dezentrale Warmwasserversorgung ist mit speziellen Durchlauferhitzern möglich. Dazu ist ein Sicherheitssystem notwendig, das bei thermischer Überbeanspruchung und Überdruck das Gerät vom Netz trennt. Hierbei wird das bereits durch die Sonnenenergie vorgewärmte Wasser bei Bedarf durch die dezentrale Warmwasserbereitung auf die erwünschte Temperatur angehoben. Es ist allerdings nötig das abgekühlte Wasser in der Leitung vom Zirkulationsanschluss bis zum Durchlauferhitzer auf Zapftemperatur zu erwärmen.

Generell werden dezentrale Warmwasserbereiter aufgrund der hohen Leitungsaufnahme mit Drehstrom betrieben und können bei Bedarf mehrere Zapfstellen gleichzeitig versorgen.

### **3.2.1 Hydraulisch gesteuerter Durchlauferhitzer**

In Abhängigkeit von der Durchflussmenge schaltet der Differenzdruckschalter bei kleinem Durchfluss auf eine kleine Leistung und bei großem Durchfluss auf große Leistung. Das Wasser wird auf die gewünschte Temperaturstufe erwärmt und anschließend durch Beimischen von Kaltwasser auf die gewünschte Temperatur abgekühlt.

Die Energieaufnahme ist damit abhängig vom Wasserdurchfluss und ebenso von der jahreszeitlichen und ortsabhängigen Kaltwasserzulauftemperatur.

### **3.2.2 Elektronisch geregelter Durchlauferhitzer**

Ein elektronisch geregelter Durchlauferhitzer erfasst die Eingangsgrößen Durchflussmenge, Zulauf- und Warmwassertemperatur. Dabei wird der Soll- und Ist-Zustand ständig verglichen und bei Bedarf die Durchflussmenge über einen integrierten Mischmotor und die Heizleistung elektronisch angepasst. Die Warmwassertemperatur kann dabei stufenlos vorgewählt werden.

Gegenüber hydraulisch gesteuerten Durchlauferhitzern besitzen elektronisch geregelte Durchlauferhitzer einen erhöhten Komfort und einen besseren Wirkungsgrad. Durch die Möglichkeit auch kleinste Wassermengen gradgenau zu erwärmen, verringern sich die Verluste um bis zu 30 % bei Wasser und Energie gegenüber hydraulischen Durchlauferhitzern /STIE-01 10/. Die Verluste eines elektronischen Durchlauferhitzers werden in Anlehnung an die DIN 18599 Teil 8 mit 0 kWh/a bewertet. /DIN-01 07/

### **3.2.3 Kleindurchlauferhitzer für wenig benutzte Einzelzapfstellen**

Kleindurchlauferhitzer sind für Einzelzapfstellen wie beispielsweise Gäste-WC oder auch für verbrauchsarme Einzelzapfstellen (Handwaschbecken), an denen zeitnah ohne größere Verluste warmes Wasser benötigt wird, geeignet.

## 4 Problematik der Legionellen

### 4.1 Allgemeines zu Legionellen

Legionellen sind Krankheitserreger, die eine lebensgefährliche Infektionskrankheit, die so genannte Legionärskrankheit hervorrufen können. Bei einem pH-Wert von etwa 6 bis 8 und einer Temperatur zwischen 35 und 42 °C ist ihr Wachstum besonders stark, erst im Temperaturbereich oberhalb von 50 °C werden die Keime getötet /ZVEI-02 10/. Legionellen treten im Umfeld des Menschen unter anderem in Klimaanlage, Duschköpfen, Wasserhähnen und Wasserleitungssystemen auf.

### 4.2 Maßnahmen gegen Legionellen

Die Trinkwasser-Verordnung soll nach §1 „die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus der Verunreinigung von Wasser ergeben, das für den menschlichen Gebrauch bestimmt ist, durch Gewährleistung seiner Genussstauglichkeit und Reinheit nach Maßgabe [...] schützen.“ Trink- und Brauchwasser kann auch bei Einhalten der Anforderungen der Trinkwasserverordnung und gesetzlichen Vorgaben Keime enthalten.

Durch das DVGW-Arbeitsblatt W551 werden die technischen Maßnahmen bei Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasserinstallation geregelt /DVGW-01 10/. Hierbei werden abhängig vom Speicherinhalt der Wassererwärmungsanlage und dem Inhalt der Rohrleitungen zwischen Warmwassererzeugung und Entnahmestelle Anforderungen bzw. Empfehlungen an das jeweilige System gestellt. Hierdurch soll eine Überdimensionierung des Rohrnetzes vermieden und gegebenenfalls nicht oder wenig benutzte Leitungsabschnitte, indem sich stehendes Wasser befindet, vom Rohrleitungssystem abgetrennt werden. Es ist ebenso darauf zu achten, dass wachstumsfördernde Temperaturbereiche für Krankheitserreger (z.B. Legionellen-Keime) verhindert werden.

Die „Technischen Regeln für die Trinkwasserinstallation“ /DIN-01 10/ hat das Ziel, eine Verschlechterung der Trinkwasserqualität bereits bei der Installation des Warmwassersystems zu vermeiden. Es wird darauf geachtet, dass der erforderliche Durchfluss und Druck an den Entnahmestellen und an den Anschlussstellen für die technischen Geräte wie beispielsweise Wassererwärmer vorhanden sind. Zudem sollen durch die Richtlinie eine Verunreinigung des Trinkwassers aus der öffentlichen Wasserversorgung, sowie die Verschwendung, die Verluste und der Missbrauch bei Wassergebrauch vermieden werden. Dies wird durch Anforderungen an Bauteile, Apparate und Werkstoffe für die Trinkwasser-Installationen umgesetzt. Die Richtlinie fordert, dass 30 s nach dem vollen Öffnen einer Entnahmestelle die Kaltwassertemperatur nicht 25 °C übersteigt und es möglich ist eine WW-Temperatur von mindestens 60 °C zu erreichen. Wie bereits in /DVGW-01 10/ erwähnt, darf für Warmwasser-Anlagen mit einer Zirkulationsleitung die Temperaturdifferenz zwischen dem Trinkwassererwärmer und dem Rücklauf max. 5 K betragen.

## 5 Darstellung der Referenzgebäude

Im folgenden Abschnitt werden Bestandsgebäude, deren Warmwasserverteilnetz saniert wurde, betrachtet. Um die unterschiedlichen Systeme miteinander vergleichen zu können, werden die drei verschiedenen Wohngebäude simuliert.

### 5.1 Parameter der Referenzgebäude

Für den Vergleich werden jeweils ein Einfamilienhaus (EFH), ein Dreifamilienhaus (3FH) und ein 12-Familienhaus (12FH) betrachtet. Die Referenzgebäude wurden 1960 erbaut und 1985 wärmetechnisch saniert. In den Gebäuden ist ein dezentrales WW-System mit hydraulischen Durchlauferhitzern integriert. Im Zuge der Umstellung der WW-Bereitung wird das Trinkwasserverteilungssystem nach den Vorgaben der aktuell gültigen Energie-Einspar-Verordnung (hier: EnEV 2009) ausgeführt.

Die einzelnen Parameter und Zapfstellen der Referenzgebäude sind der **Tabelle 5-1** zu entnehmen.

**Tabelle 5-1:** *Parameter und Zapfstellen der Referenzgebäude je Wohneinheit /IKARUS-01 03/*

Parameter	Gebäudetyp		
	EFH	3FH	12FH
Fläche in m <sup>2</sup>	120	80	60
Spülbecken	1	1	1
Waschbecken	2	2	1
Toiletten	2	2	1
Badewanne	1	1	1
Dusche	1	1	1
Etagen	2 + Keller	2 + Keller	4+ Keller
Bauweise	EFH	RH	RH
Personen	3	2	2

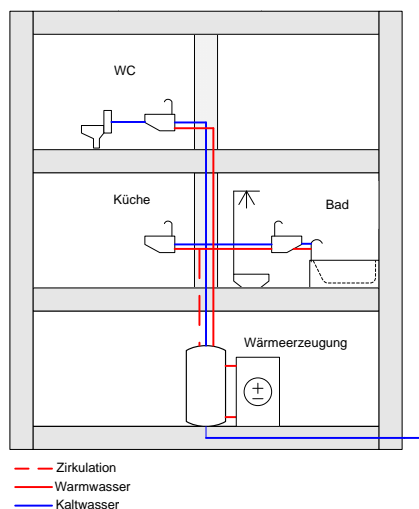
### 5.2 Einfamilienhaus

In **Abbildung 5-1** ist ein Einfamilienhaus mit zentraler Warmwassererzeugung schematisch dargestellt. Die Erwärmung erfolgt im nicht beheizten Keller des zweistöckig bewohnten Wohnhauses. Das Gebäude hat folgende Zapfstellen:

- Küchenspüle
- Dusche im Badezimmer
- Waschbecken im Badezimmer
- Badewanne im Badezimmer
- Waschbecken in der Toilette (Obergeschoss)

#### Zentrale Warmwasserversorgung

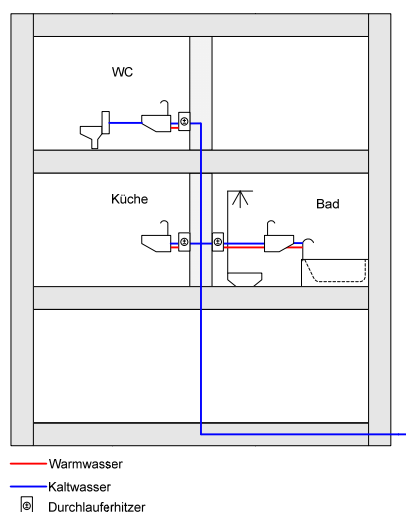
Die Zirkulationsleitung verläuft vom Warmwasserspeicher bis in das erste Stockwerk. Das Waschbecken im Obergeschoss ist aufgrund der geringen Nutzung (kurze Zapfdauer, geringe Zapfleitung) nur mit einer Warmwasserleitung angeschlossen. Dies ist in **Abbildung 5-1** dargestellt. Die gesamte Leitungslänge (Warmwasser inklusive Zirkulation) beträgt etwa 25 m mit einem Rohrdurchmesser von 15 mm bis 22 mm.



**Abbildung 5-1:** Schematische Darstellung der zentralen WW-Versorgung des EFH

### Dezentrale Warmwasserversorgung (siehe **Abbildung 5-2**)

Die Küchenspüle und das Waschbecken im ersten Stockwerk sind jeweils mit einem elektronischen Durchlauferhitzer ausgestattet. Im Badezimmer ist ein leistungsstarker elektronischer Durchlauferhitzer installiert, welcher die einzelnen Zapfstellen (Waschbecken, Dusche, Badewanne) über ein Warmwasserleitungsnetz mit der gewünschten Temperatur versorgt.

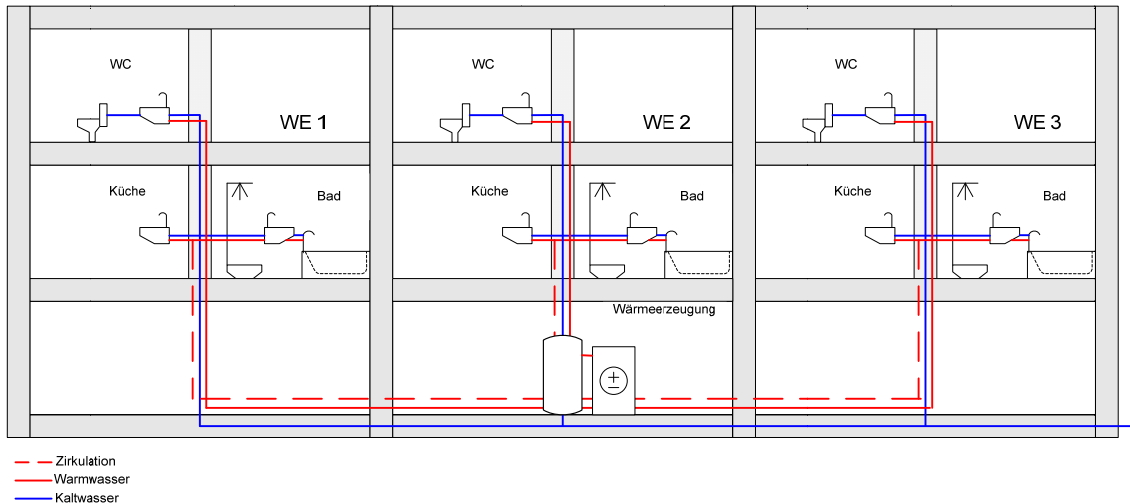


**Abbildung 5-2:** Schematische Darstellung der dezentralen WW-Versorgung des EFH

## 5.3 Dreifamilienhaus

### Zentrale Warmwasserversorgung

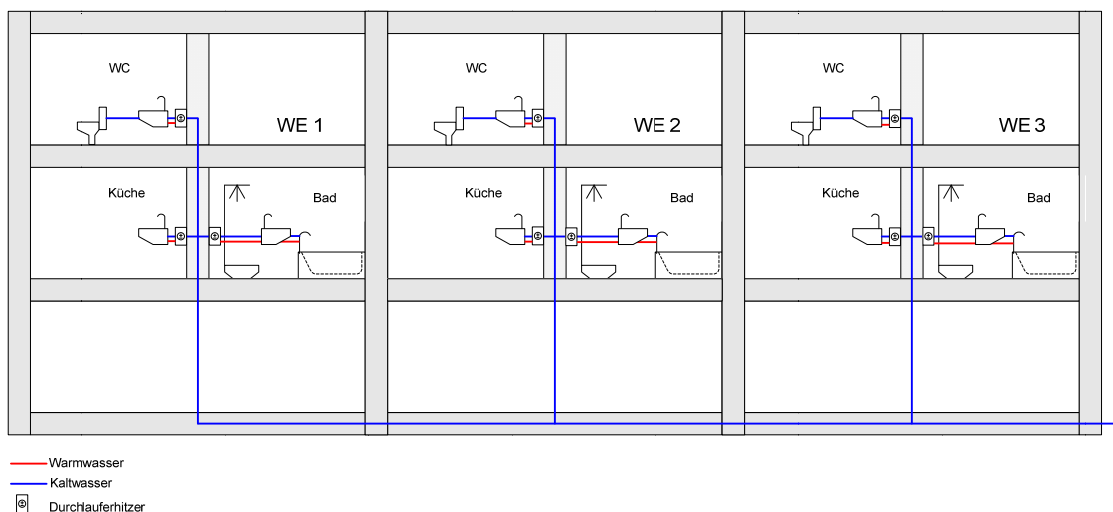
Jede Wohneinheit des in **Abbildung 5-3** dargestellten 3FH besitzt die gleiche Anzahl an Zapfstellen wie das EFH. Im Gegensatz zu einem Reihenhaus existiert nur eine Feuerungsstelle, die das gesamte Gebäude mit Raumwärme und Warmwasser versorgt. Dadurch ergeben sich aufgrund des langen Verteilnetzes erhöhte Wärmeverluste im Keller. Die gesamte Leitungslänge (Warmwasser inklusive Zirkulation) beträgt etwa 110 m mit einem Rohrdurchmesser von 15 mm bis 28 mm.



**Abbildung 5-3:** Schematische Darstellung der zentralen WW-Versorgung des 3FH

### Dezentrale Warmwasserversorgung (siehe **Abbildung 5-4**)

Die Anordnung des Rohrnetzes und die Aufteilung der elektronischen Durchlauferhitzer erfolgen analog dem EFH der dezentralen WW-Versorgung.

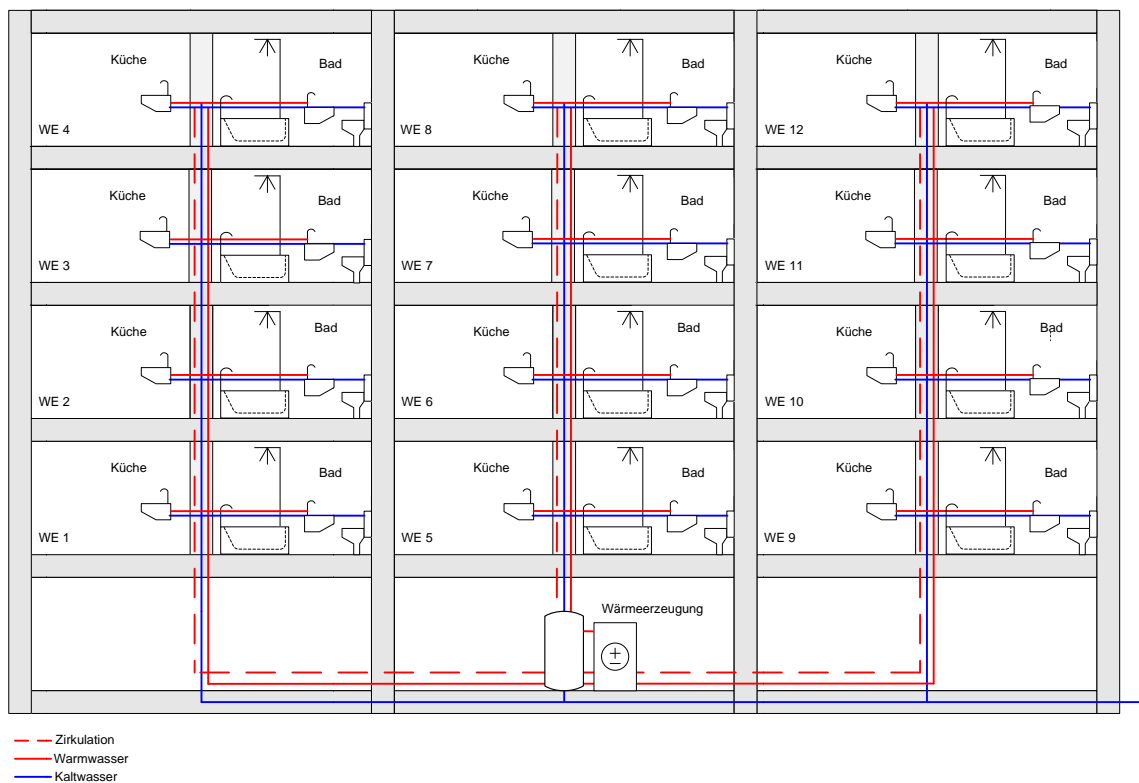


**Abbildung 5-4:** Schematische Darstellung der dezentralen WW-Versorgung des 3FH

## 5.4 12-Familienhaus

### Zentrale Warmwasserversorgung

Die zentrale WW-Bereitstellung im 12-Familienhaus erfolgt analog der **Abbildung 5-5** im unbeheizten Keller. Über drei Steigleitungen wird das vierstöckig bewohnte Gebäude mit Warmwasser versorgt. Die Wohnungen besitzen jeweils eine Küchenspüle, Dusche, Waschbecken und Badewanne. Auf eine extra Toilette wird hierbei aufgrund der geringen Wohnraumfläche von 60 m<sup>2</sup> verzichtet. Die Zirkulationsleitung umfasst alle Stockwerke. Die gesamte Leitungslänge (Warmwasser inklusive Zirkulation) beträgt etwa 210 m mit einem Rohrdurchmesser von 15 mm bis 35 mm.



**Abbildung 5-5:** Schematische Darstellung der zentralen WW-Versorgung des 12FH

## Dezentrale Warmwasserversorgung

Die dezentrale WW-Bereitstellung im 12-Familienhaus erfolgt analog der **Abbildung 5-6**. Das Badezimmer (Waschbecken, Dusche, Badewanne) und die Küche (Spüle) sind jeweils mit einem elektronischen Durchlauferhitzer ausgestattet. Die Warmwasserstichleitungen befinden sich zwischen Durchlauferhitzer und den einzelnen Zapfstellen.



**Abbildung 5-6:** Schematische Darstellung der dezentralen WW-Versorgung des 12FH

## 6 Darstellung der verlustabhängigen Verbrauchs- bzw. Bedarfsdaten

### 6.1 Parameter zur Erstellung von nutzerabhängigen Zapfprofilen

Durch ein Zapfprofil werden typische Zapffolgen mit entsprechenden Mengen und Temperaturniveaus eines Gebäudes bzw. einer Entnahmestelle dargestellt. Für die Verluste der WW-Verteilung sind die Zapfprofile von entscheidender Bedeutung. Als Basis für die Darstellung der Energieverluste werden bezüglich der Verbrauchsmengen zwei unterschiedliche Zapfprofile verwendet. Es erfolgt eine Aufteilung auf einen spezifischen Werktag und auf einen spezifischen Wochenendtag bzw. Feiertag, um das unterschiedliche Nutzerverhalten abzubilden. Die Zapfprofile stammen aus /FFE-05 02/ und wurden mit Werten aus der Literatur wie /REC-01 09/ und Normen wie /DIN-01 07/, /DIN-02 10/ und /DIN-03 10/ abgeglichen.

**Tabelle 6-1** zeigt die Nutzenergie einzelner Zapfstellen mit deren Zapfdauer, Durchfluss und der jeweiligen Zapftemperatur. /DIN-03 10/

**Tabelle 6-1:** *Parameter der Zapfstellen*

	Durchfluss in l/min	Warmwassernutzenergie in Wh	Zapfdauer in s	Zapftemperatur in °C
Waschbecken Toilette	2	15	26	25
Waschbecken Bad	3,5	105	52	40
Dusche Bad	6	1.050	322	38
Badewanne Bad	8	2.794	599	40
Küchenspüle	4	315	107	48

Eine Person benötigt eine jährliche Warmwassernutzenergie von 370 kWh an Werktagen und 140 kWh an Wochenend- bzw. Feiertagen. Hieraus erschließt sich eine tägliche Zapfmenge von etwa 44 l an einem Werktag und etwa 40 l an einem Wochenendtag bzw. Feiertag bei einer Temperaturspreizung von 28 K. Es wurden mit 104 Wochenend- und Feiertagen und 261 Werktagen gerechnet. Es ergibt sich eine durchschnittliche Warmwassernutzenergie pro Nutzer von ca. 500 kWh/a. Diese errechneten Daten wurden mit praktischen Erfahrungswerten aus vorangegangenen Studien der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. abgeglichen. Die Zapfenergie liegt hierbei zwischen 520 und 770 kWh/(a\*Nutzer). Die tägliche Zapfmenge eines Nutzers beträgt 60 bis 70 l /FFE-05 02/. Die Gründe für die kleineren, berechneten Werte sind Vorgaben durch die beschränkten Durchflussmengen der Armaturen, sowie die genormten und durchschnittlichen Energiemengen zur Erwärmung des Wassers für den jeweiligen Zapfvorgang.

### 6.2 Darstellung und Modifikation der Zapfprofile

Im Folgenden sind die Zapfprofile der unterschiedlichen Gebäudetypen nacheinander dargestellt und in Werk- und Wochenend- bzw. Feiertagen unterteilt. Daraus wird der Nutzereinfluss ersichtlich. Die Verbrauchsspitzen am Morgen und am Abend sind auf Duschvorgänge zurückzuführen. Mittags wird meist Warmwasser an der Küchenspüle zum Kochen und Putzen benötigt. Es ergeben sich für die beiden betrachteten Typtage

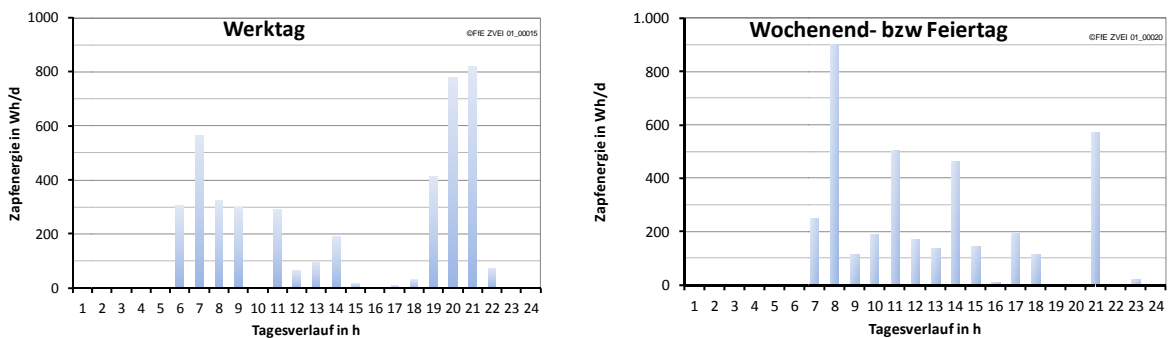
Unterschiede in der zeitlichen Abfolge, sowie auch in der Wassermenge der jeweiligen Zapfungen.

Um die Zapfprofile von Mehrfamilienhäusern mit einer erhöhten Bewohnerzahl zu erhalten, werden die stündlichen Energiemengen über eine mathematische Funktion generiert. Die Gleichzeitigkeit, sowie die zeitliche Verschiebung, als auch die Menge der jeweiligen Zapfungen an den verschiedenen Zapfstellen in den einzelnen Wohnungen werden berücksichtigt. Somit wird das Nutzerverhalten der Personen in den Mehrfamilienhäusern einbezogen, da die zeitliche Abfolge und die Höhe der Zapfungen nicht linear übertragen werden können. Durch das Einfügen eines Gleichzeitigkeitsfaktors werden die Zapfenergiespitzen abgeflacht und auf die angrenzenden Stunden aufgeteilt.

### 6.2.1 Zapfprofil Einfamilienhaus

In der **Abbildung 6-1** (links) ist das nutzerabhängige Werktagzapfprofil eines Einfamilienhauses abgebildet. Die spezifische Gesamtenergiemenge eines EFH am Werktag liegt mit 4.280 Wh/d etwa 12 % über der Zapfenergie eines Wochenend- bzw. Feiertages. Des Weiteren tritt am Werktag der Warmwasserverbrauch bereits um 6 Uhr auf. Das Zapfprofil eines Werktages zeigt mit Ausnahme am Mittag, dass im Tagesverlauf nur vereinzelt Warmwasser benötigt wird. Am Abend ergibt sich das Tagesmaximum zwischen 19 und 21 Uhr mit insgesamt 1.600 Wh.

Die **Abbildung 6-1** (rechts) stellt das Zapfprofil eines Einfamilienhauses am Wochenende dar. Durch die Aufteilung in Werktage und Wochenend- bzw. Feiertage zeigt sich der kleinere Verbrauch von 3.800 Wh/d an einem Wochenend- bzw. Feiertage. Während das Tagesmaximum an Werktagen am Abend auftritt, wird an Wochenendtagen ein Spitzenverbrauch von 900 Wh/d gegen 8 Uhr erreicht. Des Weiteren ist ein Grundverbrauch von ca. 200 Wh/d mit einzelnen Spitzen im Tagesverlauf gegen 11, 14 Uhr und gegen 21 Uhr zu erkennen.



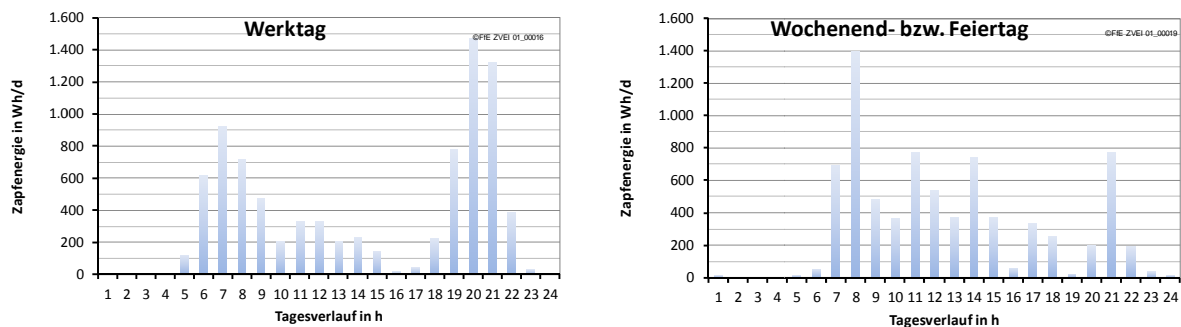
**Abbildung 6-1:** Mittlerer Tagesgang der Warmwasserzapfenergie an Werktagen (links) und an Wochenend- bzw. Feiertagen (rechts) für ein Einfamilienhaus

### 6.2.2 Zapfprofil Dreifamilienhaus

**Abbildung 6-2** (links) zeigt das Zapfprofil eines Dreifamilienhauses am Werktag. Zur Abbildung eines Dreifamilienhauses ist die Verwendung eines Gleichzeitigkeitsfaktors nötig /REC-01 09/. Durch die zeitliche Verschiebung der einzelnen Zapfungen in den unterschiedlichen Wohnungen des Dreifamilienhauses ergibt sich ein spezifisches Zapfprofil. Dabei sind ein höherer Grundbedarf und kleinere Verbrauchsspitzen gegenüber dem Einfamilienhaus zu erkennen. Dadurch wird früher am Morgen und auch später am

Abend Warmwasser benötigt. Der tägliche Gesamtverbrauch in einem Dreifamilienhaus beträgt 8.560 Wh.

Das Zapfprofil eines Dreifamilienhauses für ein Wochenende ist in **Abbildung 6-2** (rechts) dargestellt. Die tägliche Warmwasserzapfenergie liegt bei 7.600 Wh. Abhängig vom Nutzer ergeben sich im Verlauf des Tages um 8, 11, 14 und 21 Uhr erhöhte Zapfspitzen.

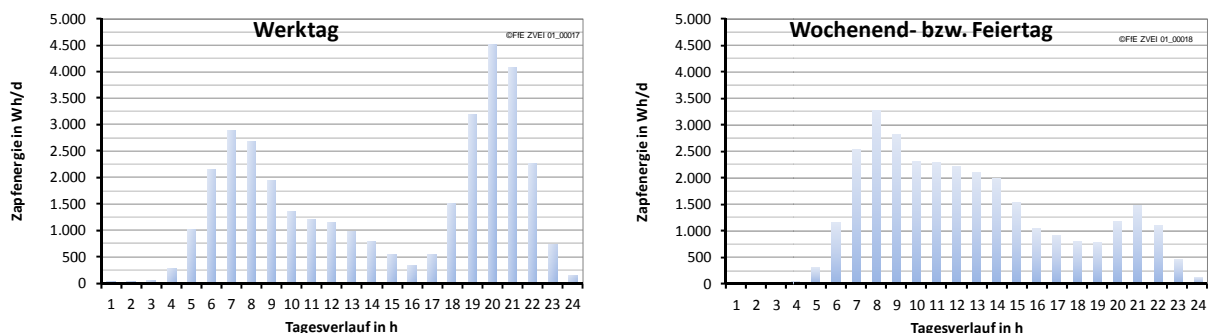


**Abbildung 6-2:** Mittlerer Tagesgang der Warmwasserzapfenergie an Werktagen (links) und an Wochenend- bzw. Feiertagen (rechts) für ein Dreifamilienhaus

### 6.2.3 Zapfprofil 12-Familienhaus

Für ein 12-Familienhaus (Werktag) liegt das in **Abbildung 6-3** (links) dargestellte Zapfprofil mit einem Gesamtenergieverbrauch von 34.000 Wh/d zu Grunde. Durch die Verwendung des Gleichzeitigkeitsfaktors werden die stündlichen Spitzen auf weitere Stunden verteilt. Es ergibt sich somit ein breiter Grundverbrauch mit einer Erhöhung am Vormittag und mit einem Tagesmaximum am Abend.

Ein 12-Familienhaus benötigt an Wochenend- bzw. Feiertagen 30.400 Wh an Warmwasser. Die **Abbildung 6-3** (rechts) zeigt den stündlichen Verlauf der Warmwasserzapfungen. Durch die unterschiedlichen Zapfzeiten der Nutzer, entsteht ein breiter Grundverbrauch über den ganzen Tag. Morgens ergibt sich um 8 Uhr durch Duschvorgänge ein Maximum von 3.280 Wh.



**Abbildung 6-3:** Mittlerer Tagesgang der Warmwasserzapfenergie an Werktagen (links) und an Wochenend- bzw. Feiertagen (rechts) für ein 12-Familienhaus

### 6.2.4 Aufteilung der einzelnen Zapfungen

Im Folgenden werden dem zeitlich abhängigen Tagesgang die einzelnen Zapfungen an den Warmwasserstellen zugewiesen. Demnach werden typische Verhaltensweisen der

Nutzer in die Methodik einbezogen. Das Ergebnis dieser Methode ist in **Tabelle 6-2** und **Tabelle 6-3** dargestellt. Hierbei wird beispielsweise vereinfacht angenommen, dass die Badewanne an Werktagen nur in dem Zeitraum zwischen 19 und 24 Uhr und an Wochenend- und Feiertagen zwischen 15 und 24 Uhr benutzt wird.

**Tabelle 6-2:** *Zeitliche Aufteilung der einzelnen Zapfungen an den unterschiedlichen Zapfstellen an Wochenend- bzw. Feiertagen*

	Zapfstelle	Anzahl der Zapfungen				Gesamt
		0 - 10 h	10 - 15 h	15 - 18 h	19 - 24 h	
EFH	Dusche	1,0	0,6	0,1	0,5	<b>2,2</b>
	Washbecken (1.Stock)	1,5	1,4	1,4	0,4	<b>4,7</b>
	Washbecken (2.Stock)	0,5	0,3	1,5	0,2	<b>2,5</b>
	Spüle	0,7	1,5	0,1	0,1	<b>2,3</b>
	Badewanne	-	-	-	0,01	<b>0,01</b>
	<b>Gesamt</b>					<b>11,78</b>
3FH	Dusche	2,0	1,1	0,2	1,0	<b>4,3</b>
	Washbecken (1.Stock)	3,0	2,7	2,8	0,8	<b>9,5</b>
	Washbecken (2.Stock)	1,0	0,7	3,0	0,4	<b>5,1</b>
	Spüle	1,3	2,9	0,2	0,2	<b>4,7</b>
	Badewanne	-	-	-	0,02	<b>0,02</b>
	<b>Gesamt</b>					<b>23,55</b>
12FH	Dusche	8,0	4,6	0,8	4,0	<b>17,3</b>
	Washbecken	16,2	13,4	23,9	4,6	<b>58,1</b>
	Spüle	5,3	11,8	0,8	0,8	<b>18,7</b>
	Badewanne	-	-	-	0,08	<b>0,08</b>
	<b>Gesamt</b>					<b>94,21</b>

**Tabelle 6-3:** *Zeitliche Aufteilung der einzelnen Zapfungen an den unterschiedlichen Zapfstellen an Werktagen*

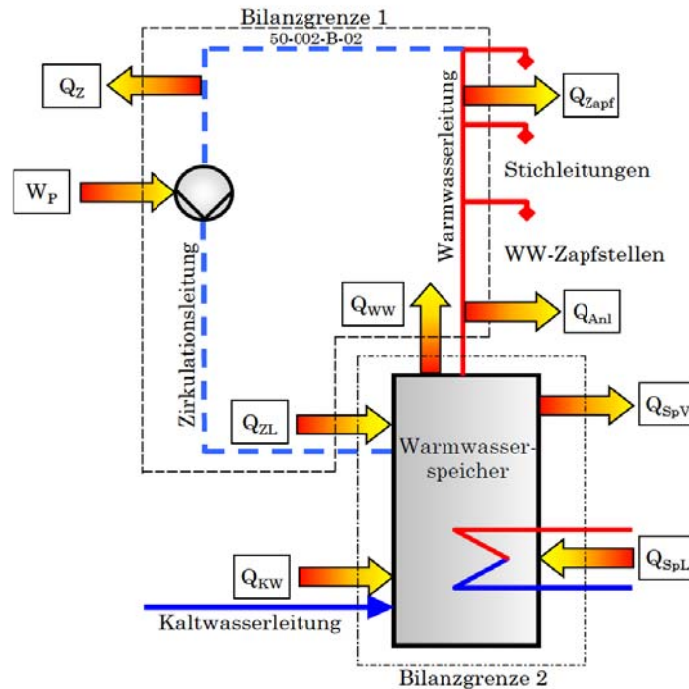
	Zapfstelle	Anzahl der Zapfungen		
		0 - 10 h	10 - 15 h	15 - 24 h
EFH	Dusche	1,0	0,1	1,5
	Waschbecken	2,2	1,7	1,5
	Waschbecken	1,0	0,5	1,5
	Spüle	0,3	1,3	0,7
	Badewanne	-	-	0,1
	<b>Gesamt</b>			13,25
3FH	Dusche	1,9	0,2	2,9
	Waschbecken	4,4	3,4	3,0
	Waschbecken	2,0	1,0	3,0
	Spüle	0,7	2,7	1,3
	Badewanne	-	-	0,0
	<b>Gesamt</b>			26,49
12FH	Dusche	7,8	0,4	11,8
	Waschbecken	25,6	17,6	24,0
	Spüle	2,7	10,7	5,3
	Badewanne	-	-	0,1
	<b>Gesamt</b>			105,97

### 6.3 Verluste der zentralen Warmwasserversorgung

Bei Energieangaben zum Warmwasserbedarf muss zwischen dem Energieinhalt des abgegebenen Warmwassers (Nutzenergie) und dem Energiebedarf für die Warmwasserbereitung (Endenergie), der sich aus dem Brennstoff- und Strombedarf für Regelung und Zirkulation zusammensetzt, unterschieden werden.

In **Abbildung 6-4** sind die Bilanzgrenzen und Energieflüsse zur Beurteilung der Warmwassererzeugung und des Warmwasserverteilsystems graphisch dargestellt. Somit ist es möglich die einzelnen Verluste aufzuzeigen. Abgebildet sind darin der Warmwasserspeicher und das Warmwasserverteilungssystem mit den spezifischen Wärmeein- und -austrägen.

Bei einer zentralen Warmwasserverteilung entstehen Wärmeverluste vom Warmwassererzeuger bzw. -speicher bis zur Zapfstelle aufgrund der Wärmeabgabe des Wassers an die Umgebung. Ein wichtiger Einfluss auf die Verluste bei der Warmwasserversorgung ist das Material, die Dämmung und die Länge der Warmwasserleitungen. Während bei dezentraler Versorgung die Warmwassererzeuger durch kurze Verteilleitungen mit dem Verbraucher verbunden sind, treten bei zentralen Systemen bei gleichem Dämmstandard durch lange Zirkulations- und/oder Stichleitungen höhere Wärmeverluste und Hilfsenergieverbräuche auf.



**Abbildung 6-4:** Wärmeein- bzw. -austräge in Warmwasserspeicher- bzw. Warmwasserverteilsystem /MUE-01 07/

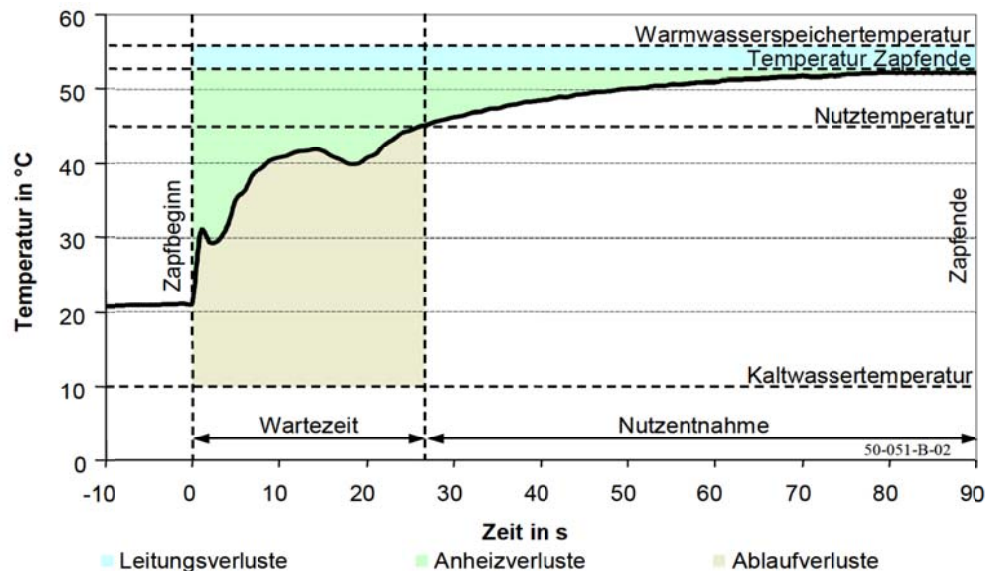
$Q_Z$ :	Zirkulationsverlust
$Q_{Zapf}$ :	in den Stichleitungen abgegebene Wärmemenge
$Q_{WW}$ :	aus dem Warmwasserspeicher entnommene Wärmemenge
$Q_{ZL}$ :	in den Warmwasserspeicher abgegebene Wärmemenge
$Q_{AnI}$ :	Rohraufheizverluste
$W_p$ :	Wärmeeintrag durch die Zirkulationspumpe
$Q_{SpV}$ :	Warmwasserspeicherverluste
$Q_{SpL}$ :	benötigte Wärmemenge
$Q_{KW}$ :	Wärmemenge Kaltwasser

In einem zentralen Warmwassersystem treten ab dem Kessel folgende Wärmeverluste auf: Speicher-, Verteil-, Zirkulations-, - und Anlaufverluste. Die Verluste sind abhängig von dem Nutzenergiebedarf, der Zapfmenge, der zeitlichen Bedarfsgänge und des Temperaturniveaus. Somit sind die Angaben stark vom Nutzer beeinflussbar.

### 6.3.1 Anlaufverluste

Der Temperaturverlauf an der Zapfstelle bei der Entnahme von Warmwasser in zentralen Warmwasserversorgungssystemen wird stark vom Verhalten des Nutzers und dem vorgelagerten Warmwasserverteilnetz beeinflusst. Befindet sich die Zapfstelle direkt am Warmwasserbereiter oder an der Zweigstelle der Zirkulationsleitung, so ist bei Zapfvorgängen nahezu sofort warmes Wasser verfügbar. Üblicherweise muss das in der Warmwasserleitung ausgekühlte Wasser ausgeschoben und die Rohrleitung aufgeheizt werden, bevor Wasser mit der gewünschten Temperatur an der Zapfstelle zur Verfügung steht. Die Anlaufverluste bestehen aus den Wärmeverlusten für das ungenutzt ablaufende und ausgekühlte Wasser bis die gewünschte Temperatur an der Zapfstelle zur Verfügung steht.

In **Abbildung 6-5** sind der Temperaturverlauf und die Verluste am Beispiel einer Warmwasserentnahme an einem Küchenwaschbecken einer zentralen WW-Versorgungsschematisch dargestellt / MUE-01 07/. Am Zapfbeginn hat das Wasser an der Zapfstelle fast Umgebungstemperatur. Abhängig von der Installation und dem Dämmstandard der Stichleitungen ist deren Wasserinhalt in den einzelnen Leitungsstücken auf unterschiedliche Temperaturen abgekühlt, was sich in einem charakteristischen Temperaturverlauf widerspiegelt. Die Starttemperatur zu Beginn eines Zapfvorganges ist sehr stark von der Länge der Zapfpausen abhängig, wohingegen sich an den Zapfenden immer gleiche Temperaturniveaus einstellen.



**Abbildung 6-5:** Temperaturverlauf und die Verluste am Beispiel einer Warmwasserentnahme an einem Küchenwaschbecken einer zentralen WW-Versorgung / MUE-01 07/

### 6.3.2 Verteilverluste

Die Verteilverluste entstehen während der Entnahmedauer von Warmwasser beim Durchfließen durch die Rohrleitungen von dem Abzweig der Zirkulation bis zur Entnahmestelle. Sie sind abhängig von der Länge, dem Rohrwerkstoff und dem Dämmstandard der Verteilleitungen, der Zapfhäufigkeit und der Warmwasser- und Umgebungstemperatur. Zudem muss die Energie berücksichtigt werden, welche durch das Aufheizen der ausgekühlten Rohrleitung aufgewendet werden muss.

### 6.3.3 Zirkulationsverluste

Erfolgt die Warmwasserverteilung mittels eines Zirkulationssystems, werden die Verluste, die während den Betriebszeiten der Zirkulationspumpe im Vor- und Rücklauf entstehen, als Zirkulationsverluste bezeichnet. Bei unterbrochener Zirkulation müssen noch Leitungsaufheizverluste berücksichtigt werden. Diese Verluste sind abhängig von der Wasser- und Umgebungstemperatur, der Pumpenlaufdauer sowie der Länge, dem Rohrwerkstoff und dem Dämmstandard der Leitung.

### 6.3.4 Stand- bzw. Speicherverluste

Während der Zapfpausen ergeben sich in den Leitungen Standverluste durch das Auskühlen des erwärmten Wassers. In den Zeiten der Nutzung von Warmwasser wird Ener-

gie über die Rohre an die Umgebung abgegeben. Der Warmwasserspeicher gibt laufend Wärmeenergie an die Umgebung ab.

### **6.3.5 Technische Anlagenverluste**

Bei einer zentralen WW-Bereitung wird durch die Kesselregelung und die Zirkulationspumpe elektrische Hilfsenergie benötigt. Da die zentrale Brennwertanlage Warmwasser für die Heizung als auch für das Trinkwasser bereitstellt, wird die Leistungsaufnahme auf beide Systeme zu gleichen Anteilen (je 1 W) aufgeteilt. Die Kenndaten für eine Zirkulationspumpe stammen aus /WILO-01 10/. Des Weiteren ergeben sich durch den Nutzungsgrad der Brennwertanlage Verluste in der Gesamtdarstellung.

## **6.4 Verluste der dezentralen Warmwasserversorgung**

### **6.4.1 Anlaufverluste**

In der dezentralen Warmwasserversorgung ergeben sich bei jeder Zapfung Anlaufverluste, da das ausgekühlte Wasser in der Stichleitung ausgeschoben werden muss, bevor das im elektronischen Durchlauferhitzer erwärmte Wasser mit der gewünschten Temperatur an der Zapfstelle zur Verfügung steht.

### **6.4.2 Verteilverluste**

Die Verteilverluste entstehen während der Entnahmedauer von Warmwasser beim Durchfließen der Stichleitung von dem Durchlauferhitzer bis zur Entnahmestelle. Entscheidend sind hierbei die Leitungslänge und -querschnitt, das Rohrmaterial und der Dämmstandard der Stichleitungen, die Zapfhäufigkeit und die Warmwasser- und Umgebungstemperatur. Zudem muss die Energie berücksichtigt werden, welche durch das Aufheizen der ausgekühlten Rohrleitung aufgewendet werden muss.

### **6.4.3 Technische Anlagenverluste**

Die Regelungstechnik der elektronischen Durchlauferhitzer benötigt 1 W an Leistungsaufnahme.

## 7 Berechnung der Verluste der WW-Versorgung

### 7.1 Berechnung der Leitungslängen

Für die Berechnung der Verluste in einem Warmwassersystem sind die Leitungslängen ein wichtiger Parameter. Diese sind abhängig von dem eingebauten Warmwassersystem, dem Gebäudetyp und dem Gebäudestandard.

Das zentrale WW-Versorgungsnetz besteht prinzipiell aus einer Kalt- und einer Warmwasserleitung. Dabei ist das Warmwasserleitungssystem aufgeteilt in das Zirkulations- und das Verteilnetz. In dieser Studie werden als Stand der Technik zur Warmwasserversorgung PE-Rohre verwendet.

### 7.2 Darstellung der Verluste der zentralen WW-Versorgung mit intelligenter Zirkulation

Die Rahmenparameter sind in **Tabelle 7-1** aufgelistet. Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient  $U_z$  für die Zirkulationsleitung, sowie der volumenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient für Speicher werden abgeschätzt /REC-01 09/. Hierbei wird angenommen, dass die Warmwasserleitungen und der Speicher nach EnEV 2009 gedämmt sind. Für Stichleitungen- und Verteilleitungen wird mit einem 20 %-igen Abzug gerechnet. Die **Tabelle 7-2** stellt die Ergebnisse der Verlustberechnung in einem zentralen WW-Versorgungssystem dar. Auf Basis der eingangs dargestellten Gebäudemodellierung dienen die Leitungslängen, Rohrdimensionierung, der Dämmstandard und die beteiligten Temperaturen, wie Umgebungs-, Leitungs- und Zapfemperatur als maßgebliche Einflussfaktoren für die Verlustberechnung. Die Kaltwassereintrittstemperatur in den Wärmerezeuger beträgt im zentralen System 10°C.

**Tabelle 7-1:** *Parameter der zentralen WW-Bereitstellung*

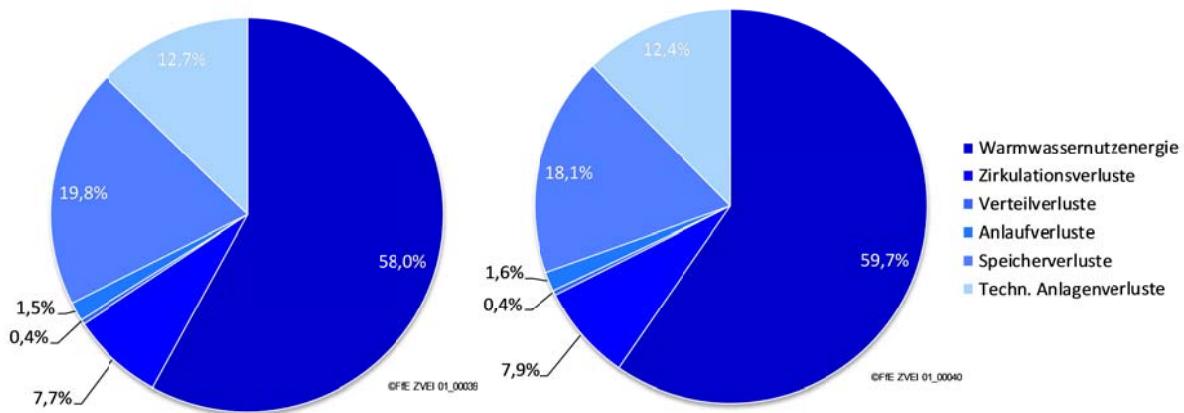
	charakteristische Größe			Einheit
	EFH	3FH	12FH	
mittlere Temperatur im unbeheizten Raum	15			°C
mittlere Temperatur im beheizten Raum	20			°C
mittlere Temperatur im Speicher	50			°C
mittlere Temperatur der ausgekühlten Rohrleitung	20			°C
Warmwasserspeichergröße	300	500	1.200	l
Länge der Zirkulationsleitung	11	53	114	m

**Tabelle 7-2:** Darstellung der Energiemengen der zentralen WW-Bereitung mit intelligenter Zirkulation an Werktagen(WT) und Wochenend- bzw. Feiertagen (WE)

	EFH		3FH		12FH		
	WT	WE	WT	WE	WT	WE	
Warmwassernutzenergie	4.280	3.800	8.500	7.600	34.000	30.400	Wh/d
Zirkulationsverluste	570	500	3.000	2.700	12.000	10.500	Wh/d
Verteilverluste	27	23	50	45	180	160	Wh/d
Anlaufverluste	110	100	160	140	730	630	Wh/d
Speicherverluste	1.300	1.300	2.100	2.100	4.000	4.000	Wh/d
Techn. Anlagenverluste	890	830	2200	2050	10500	9900	Wh/d
<b>Gesamtwarmwasserbedarf</b>	<b>7.177</b>	<b>6.553</b>	<b>16.010</b>	<b>14.635</b>	<b>61.410</b>	<b>55.590</b>	<b>Wh/d</b>

### 7.2.1 Verluste im Einfamilienhaus

In **Abbildung 7-1** ist die Aufteilung der eingespeisten Wärmemenge auf die Warmwassernutzenergie und die verschiedenen Verluste der Warmwasserbereitung eines EFH an einem spezifischen Wochenend- bzw. Feiertag (WE) und einem spezifischen Werktag (WT) dargestellt. An der Zapfstelle stehen 58,0 (59,7) % von der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Energie als Nutzwärme zur Verfügung. Die restlichen 42 (40,3) % werden auf die Speicherverluste mit 19,8 (18,1) %, technische Anlagenverluste mit 12,7 (12,4) %, Verteilverluste mit 0,4 % und auf die Anlaufverluste mit 1,5 (1,6) % aufgeteilt. Aufgrund der kurzen Zirkulationsleitungen ergeben sich verhältnismäßig geringe Zirkulationsverluste von 7,7 (7,9) %.

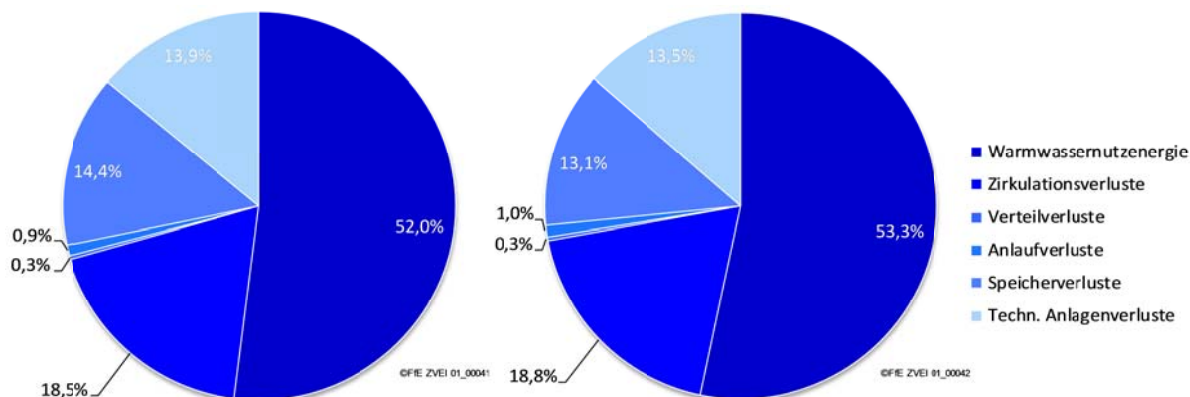


**Abbildung 7-1:** Aufteilung der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten eines EFH an WE(links) und WT(rechts)

### 7.2.2 Verluste im Dreifamilienhaus

In **Abbildung 7-2** ist die Aufteilung der Warmwasserspeicherladeenergie auf die Warmwassernutzenergie und die verschiedenen Verluste für ein 3FH am WE (WT) dargestellt. Es entstehen dabei 52,0 (53,3) % von der in den Warmwasserspeicher eingespeicherten Energie als Nutzwärme an der Zapfstelle. Aufgrund der reihenhausartigen Gebäudemodellierung des 3FH, ergeben sich erhöhte Zirkulationsverluste von etwa 18,5 (18,8) %. Die Speicherverluste betragen ca. 14,4 (13,1) % und die Anlauf- und Ver-

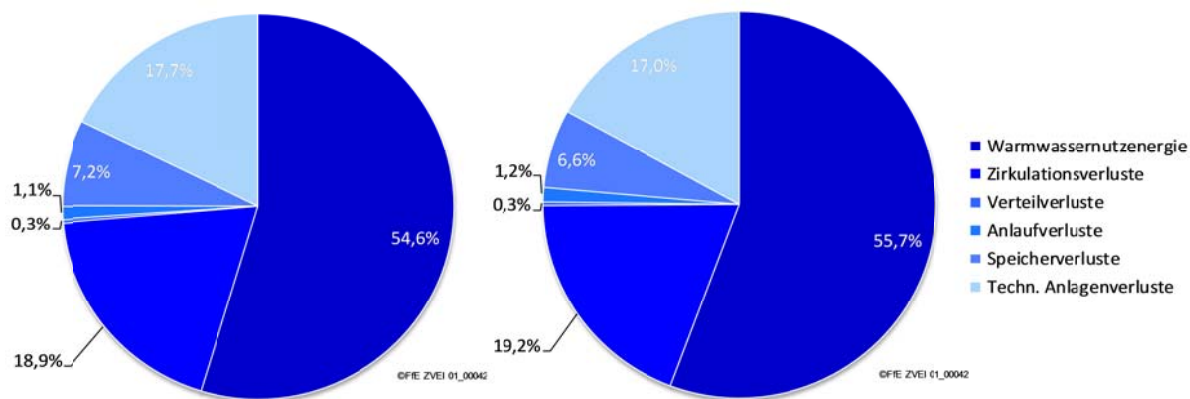
teilverluste jeweils etwa 1 %. Es ergeben sich zudem etwa 14 % an technischen Anlagenverlusten.



**Abbildung 7-2:** Aufteilung der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten eines 3FH an WE(links) und WT(rechts)

### 7.2.3 Verluste im 12-Familienhaus

In **Abbildung 7-3** ist die Aufteilung der Warmwasserspeicherladeenergie auf die Warmwassernutzenergie und die einzelnen Verluste für ein 12FH am WE (WT) dargestellt. An der Zapfstelle können etwa 54,6 (55,7) % von der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Energie als Wärme genutzt werden. Die restlichen 45,4 (44,3) % werden auf die Speicherverluste mit etwa 7,2 (6,6) %, die techn. Anlagenverluste mit etwa 17,7 (17,0) %, die Anlaufverluste mit etwa 1 %, die Verteilverluste mit ca. 0,3 % und auf die Zirkulationsverluste mit etwa 19 % aufgeteilt.



**Abbildung 7-3:** Aufteilung der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten eines 12FH an WE(links) und WT(rechts)

## 7.3 Darstellung der Verluste der zentralen WW-Versorgung mit herkömmlicher Zirkulation

Die Rahmenparameter sind in Tabelle 7-1 aufgelistet. Die **Tabelle 7-3** stellt die Ergebnisse der Verlustberechnung in einem zentralen WW-Versorgungssystem dar. Auf

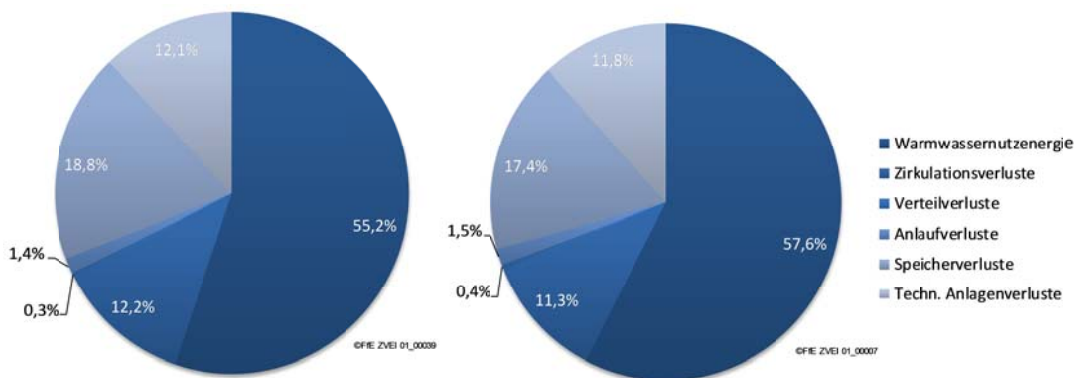
Basis der eingangs dargestellten Gebäudemodellierung dienen die Leitungslängen, Rohrdimensionierung, der Dämmstandard und die beteiligten Temperaturen, wie Umgebungs-, Leitungs- und Zapftemperatur als maßgebliche Einflussfaktoren für die Verlustberechnung.

**Tabelle 7-3:** Darstellung der Energiemengen der zentralen WW-Bereitung mit herkömmlicher Zirkulation an Werktagen(WT) und Wochenend- bzw. Feiertagen (WE)

	EFH		3FH		12FH		
	WT	WE	WT	WE	WT	WE	
Warmwassernutzenergie	4.280	3.800	8.500	7.600	34.000	30.400	Wh/d
Zirkulationsverluste	840	840	4.760	4.760	12.500	12.500	Wh/d
Verteilverluste	27	23	50	45	180	160	Wh/d
Anlaufverluste	110	100	160	140	730	630	Wh/d
Speicherverluste	1.300	1.300	2.100	2.100	4.000	4.000	Wh/d
Techn. Anlagenverluste	880	830	2.300	2.200	9.800	9.400	Wh/d
<b>Gesamtwarmwasserbedarf</b>	<b>7.437</b>	<b>6.893</b>	<b>17.870</b>	<b>16.845</b>	<b>61.210</b>	<b>57.090</b>	<b>Wh/d</b>

### 7.3.1 Verluste im Einfamilienhaus

In **Abbildung 7-4** ist die Aufteilung der eingespeisten Wärmemenge auf die Warmwassernutzenergie und die verschiedenen Verluste der Warmwasserbereitung eines EFH an einem spezifischen Wochenend- bzw. Feiertag (WE) und einem spezifischen Werktag (WT) dargestellt. An der Zapfstelle stehen an Wochenend- bzw. Feiertagen ca. 55,2 (WT: 57,6) % von der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Energie als Nutzwärme zur Verfügung. Die restlichen etwa 44,8 (42,4) % werden auf die Speicherverluste mit ca. 18,8 (17,4) %, technische Anlagenverluste mit ca. 12,1 (11,8) %, Verteilverluste mit ca. 0,3 (0,4) % und auf die Anlaufverluste mit etwa 1,4 (1,5) % aufgeteilt. Es ergeben sich zudem Zirkulationsverluste von ca. 12,2 (11,3) %.

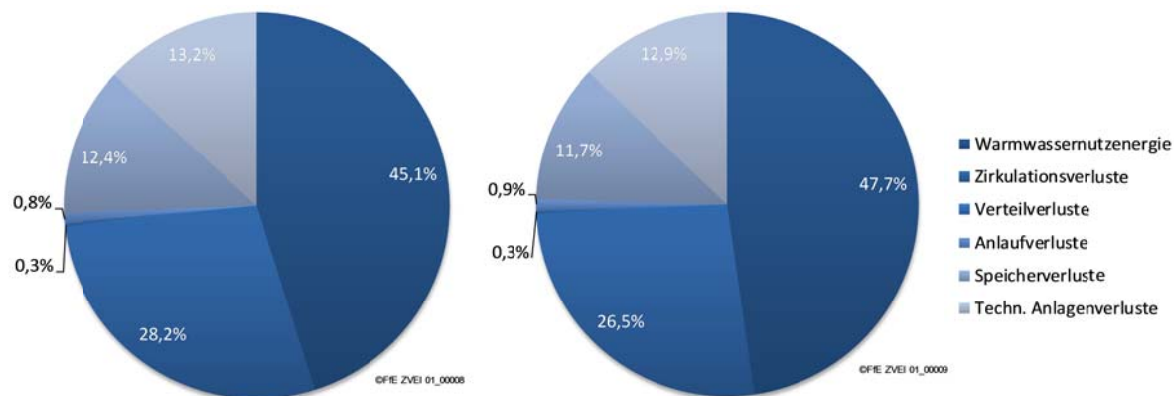


**Abbildung 7-4:** Aufteilung der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten eines EFH an WE(links) und WT(rechts)

### 7.3.2 Verluste im Dreifamilienhaus

In **Abbildung 7-5** ist die Aufteilung der Warmwasserspeicherladeenergie auf die Warmwassernutzenergie und die verschiedenen Verluste für ein 3FH am WE (WT) dargestellt. Es entstehen an Wochenend- bzw. Feiertagen ca. 45,1 (WT: 47,7) % von der in

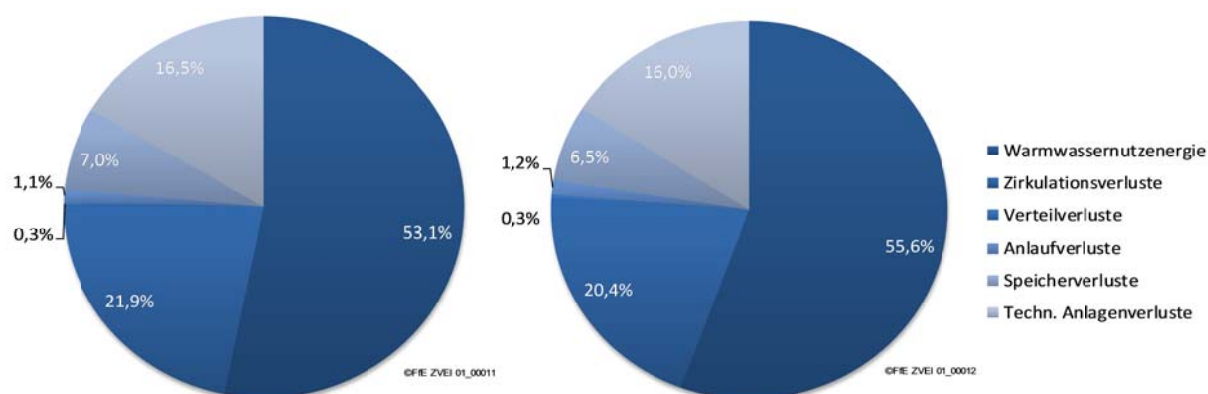
den Warmwasserspeicher eingespeicherten Energie als Nutzwärme an der Zapfstelle. Aufgrund der reihenhausartigen Gebäudemodellierung des 3FH, ergeben sich erhöhte Zirkulationsverluste von etwa 28,2 (26,5) %. Die Speicherverluste betragen ca. 12,4 (11,7) % und die Anlauf- und Verteilverluste jeweils unter 1 %. Es ergeben sich zudem etwa 13,2 (12,9) % an technischen Anlagenverlusten.



**Abbildung 7-5:** Aufteilung der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten eines 3FH an WE(links) und WT(rechts)

### 7.3.3 Verluste im 12-Familienhaus

In **Abbildung 7-6** ist die Aufteilung der Warmwasserspeicherladeenergie auf die Warmwassernutzenergie und die einzelnen Verluste für ein 12FH am WE (WT) dargestellt. An der Zapfstelle können an Wochenend- bzw. Feiertagen etwa 53,1 (WT: 55,6) % von der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Energie als Wärme genutzt werden. Die restlichen 46,9 (44,4) % werden auf die Speicherverluste mit etwa ca. 7,0 (6,5) %, die techn. Anlagenverluste mit etwa 16,5 (16,0) %, die Anlaufverluste mit etwa 1,1 (1,2)% und auf die Zirkulationsverluste mit etwa 21,9 (20,4) % aufgeteilt.



**Abbildung 7-6:** Aufteilung der in den Warmwasserspeicher eingespeisten Wärmemenge in Nutzenergie und die verschiedenen Verlustarten eines 12FH an WE(links) und WT(rechts)

## 7.4 Darstellung der Verluste der dezentralen WW-Versorgung

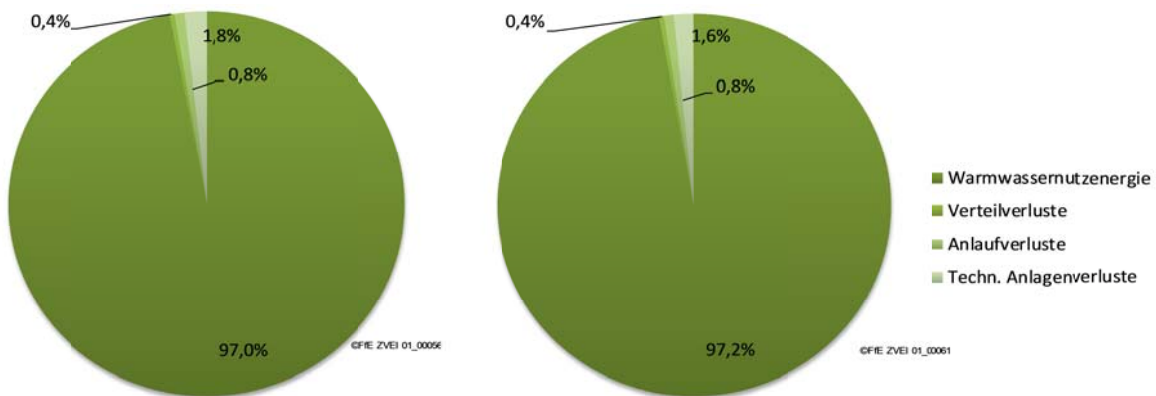
In **Tabelle 7-4** sind die Ergebnisse der Verlustberechnung in einem dezentralen WW-Versorgungssystem dargestellt. Hierbei werden die Hilfsenergieverluste eines elektronischen Durchlauferhitzers nach /DIN-01 07/ mit 0 kWh/a bewertet. Es ergeben sich Anlaufverluste des gesamten Bereitstellungssystems durch Wärmeverluste für das ungenutzt ablaufende und ausgekühlte Wasser bis die gewünschte Temperatur an der Zapfstelle zur Verfügung steht. Die zugrunde gelegten Wassertemperaturen sind Tabelle 7-1 zu entnehmen.

**Tabelle 7-4:** *Darstellung der Energiemengen der dezentralen WW-Bereitung*

	EFH		3FH		12FH		
	WT	WE	WT	WE	WT	WE	
Warmwassernutzenergie	4.280	3.800	8.500	7.600	34.000	30.400	Wh/d
Verteilverluste	20	15	45	40	170	130	Wh/d
Anlaufverluste	35	30	70	60	380	330	Wh/d
Techn. Anlagenverluste	70	70	210	210	580	580	Wh/d
<b>Gesamtwarmwasserbedarf</b>	<b>4.405</b>	<b>3.915</b>	<b>8.825</b>	<b>7.910</b>	<b>35.130</b>	<b>31.440</b>	<b>Wh/d</b>

### 7.4.1 Verluste im Einfamilienhaus

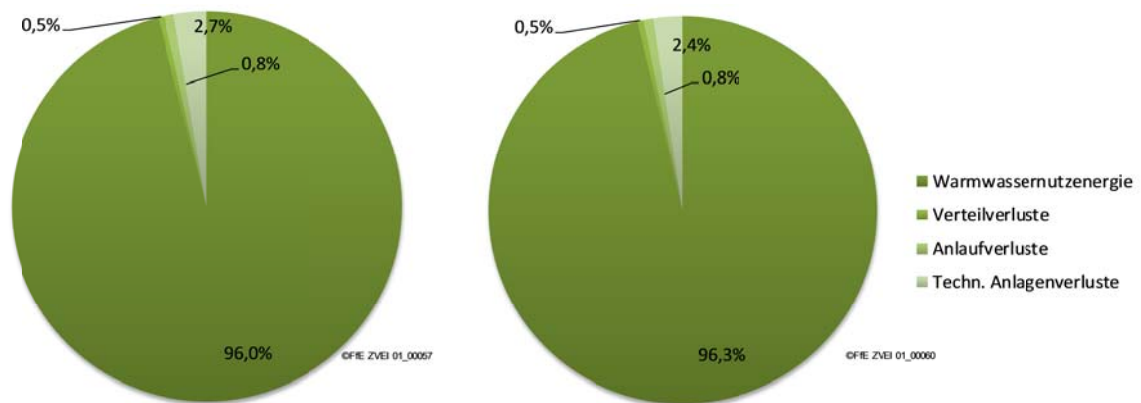
In **Abbildung 7-7** ist die Aufteilung auf die Warmwassernutzenergie und die Verluste für ein EFH dargestellt. Der Anteil der Warmwassernutzenergie an Wochenend- bzw. Feier- und Werktagen beträgt im EFH etwa 97 %. Die restlichen 3 % sind Anlauf-, Verteil- und technische Anlagenverluste.



**Abbildung 7-7:** *Aufteilung der Warmwassernutzenergie und der verschiedenen Verlustarten eines EFH an WE(links) und WT(rechts)*

### 7.4.2 Verluste im Dreifamilienhaus

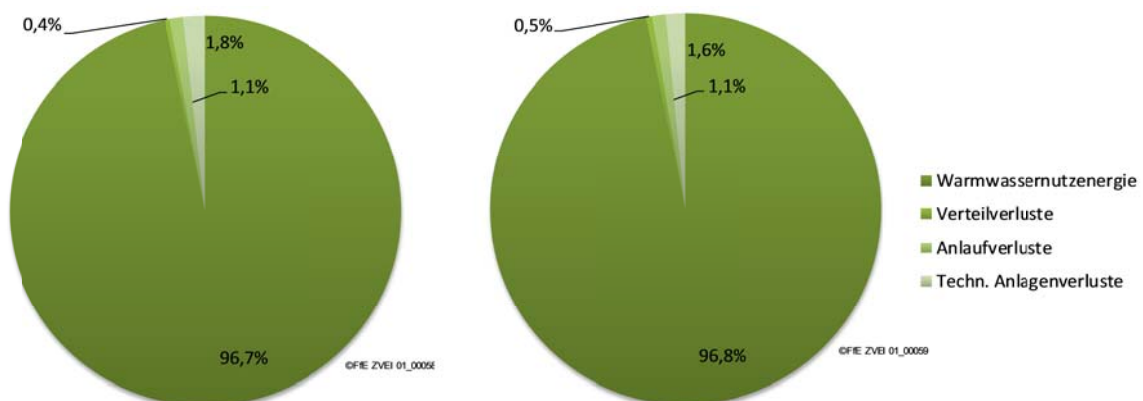
Die **Abbildung 7-8** zeigt die Aufteilung auf die Warmwassernutzenergie und die Verluste für ein 3FH. In einer dezentralen WW-Versorgung betragen die Warmwassernutzenergie ca. 96 % und die Verluste etwa 4 %.



**Abbildung 7-8:** Aufteilung der Warmwassernutzenergie und der verschiedenen Verlustarten eines 3FH an WE(links) und WT(rechts)

### 7.4.3 Verluste im 12-Familienhaus

In **Abbildung 7-9** ist die Aufteilung auf die Warmwassernutzenergie und die Verluste dargestellt. In einem dezentralen System ergeben sich Anlauf-, Verteil- und techn. Anlagenverluste von ca. 3,3(3,2) %. Somit werden ca. 96,7 (96,8) % der bereitgestellten Warmwasserenergie genutzt.

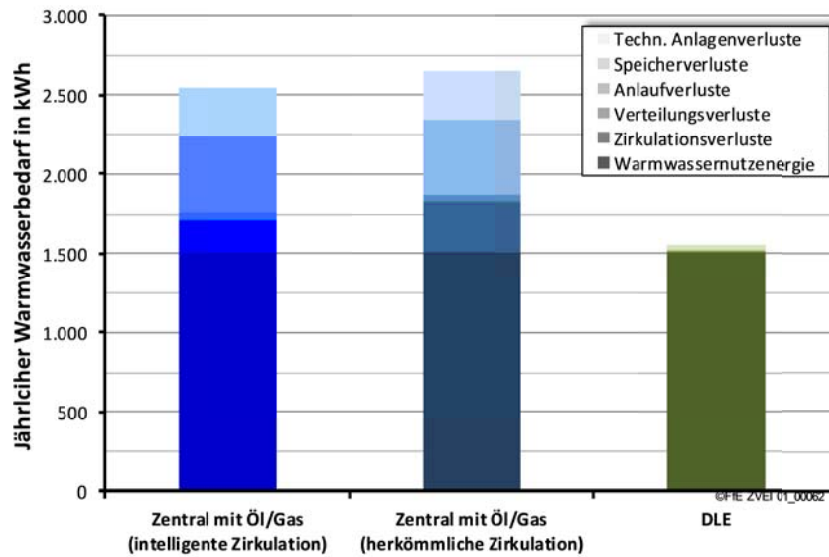


**Abbildung 7-9:** Aufteilung der Warmwassernutzenergie und der verschiedenen Verlustarten eines 12FH an WE(links) und WT(rechts)

## 7.5 Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung

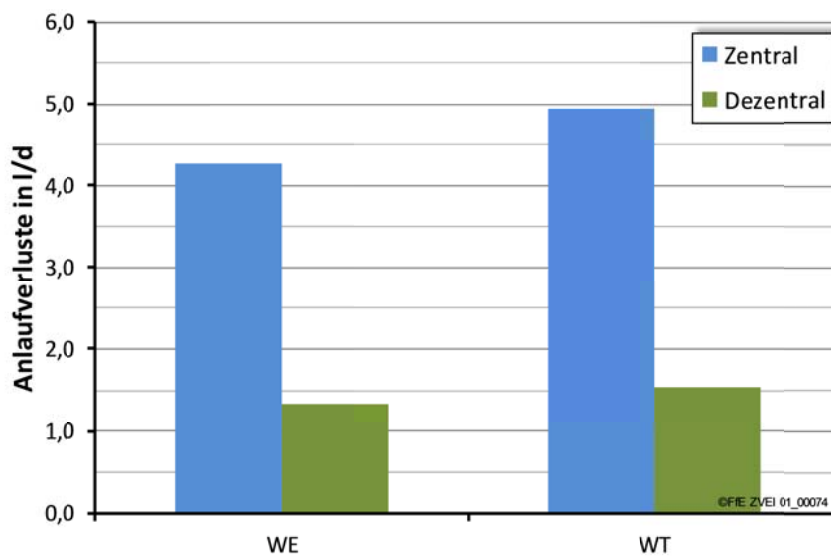
### 7.5.1 Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH

Die **Abbildung 7-10** zeigt den Vergleich der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH. Aufgrund des zentralen Anlagensystems mit einem integrierten Warmwasserspeicher und der Zirkulationsleitung ergeben sich hohe Verluste. In der dezentralen Variante treten geringe Verluste durch das Auslaufen des ausgekühlten Wassers an der Zapfstelle und durch Verteilverluste auf. Während die Verluste in einem zentralen System mit intelligenter Zirkulation etwa 1.000 kWh/a (1.150 kWh/a; herkömmlich) betragen, ergeben sich bei dezentraler Ausführung etwa 50 kWh/a.



**Abbildung 7-10:** Vergleich der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH

In **Abbildung 7-11** ist die Gegenüberstellung der Anlaufverluste im dezentralen und zentralen Warmwasserversorgungssystem dargestellt. Aufgrund der geringeren Leitungslängen und des direkten Anschlusses der elektronischen Durchlauferhitzer in unmittelbarer Nähe zu den Zapfstelle ergeben sich im EFH im dezentralen System tägliche Anlaufverluste von etwa 1,3 (1,5) l. Im zentralen System werden täglich etwa 4,3 (5,0) l durch ablaufendes und noch nicht auf die gewünschte Temperatur erhitztes Wasser verschwendet.

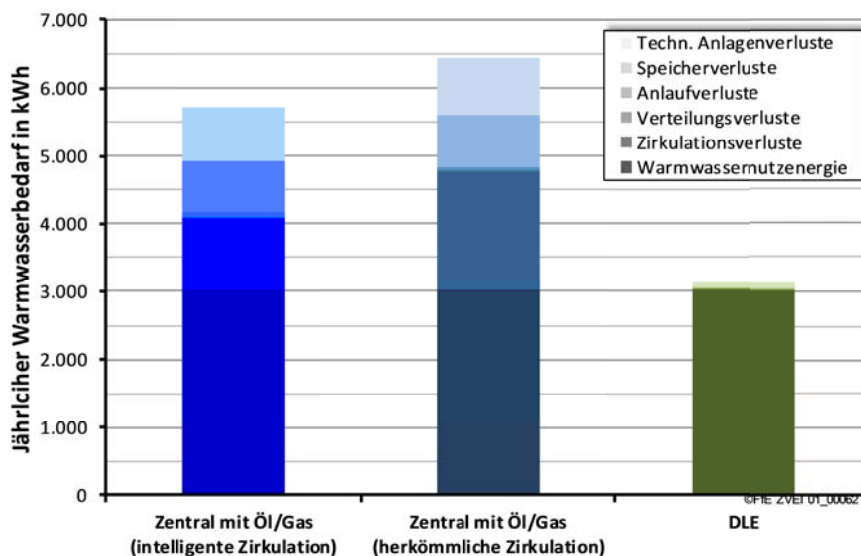


**Abbildung 7-11:** Vergleich der Anlaufverluste bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH

### 7.5.2 Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 3FH

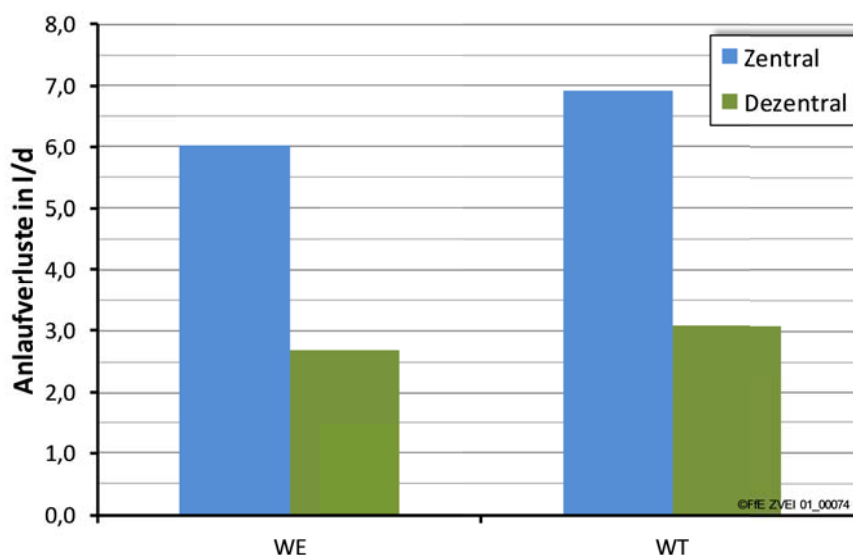
Die **Abbildung 7-12** zeigt den Vergleich der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 3FH. Aufgrund des zentralen Anlagensystems mit einem integrierten Warmwasserspeicher und der Zir-

kulationsleitung ergeben sich hohe Verluste. In der dezentralen Variante treten geringe Verluste von etwa 120 kWh/a auf. Bei zentraler Ausführung mit intelligenter Zirkulation betragen die auftretenden Verluste etwa 2.700 kWh/a (3.400 kWh/a; herkömmlich).



**Abbildung 7-12:** Vergleich der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 3FH

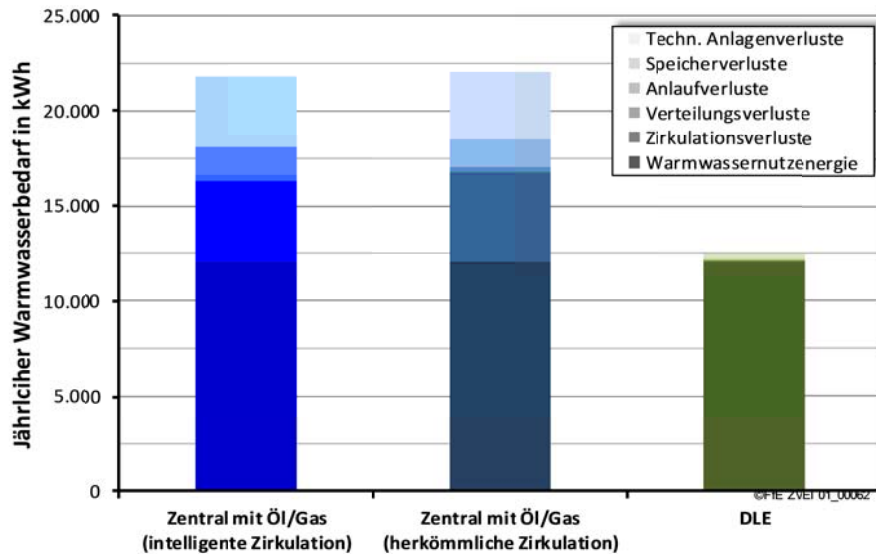
Abbildung 7-13 zeigt den direkten Vergleich der Anlaufverluste im dezentralen und zentralen Warmwasserversorgungssystem. Aufgrund der geringeren Leitungslängen und des direkten Anschlusses der elektronischen Durchlauferhitzer an der Zapfstelle ergeben sich im 3FH im dezentralen System Anlaufverluste von etwa 2,7 (3,1) l/d. Im zentralen System werden täglich etwa 6,0 (6,9) l/d durch ablaufendes und noch nicht auf die gewünschte Temperatur erhitztes Wasser verschwendet.



**Abbildung 7-13:** Vergleich der Anlaufverluste bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 3FH

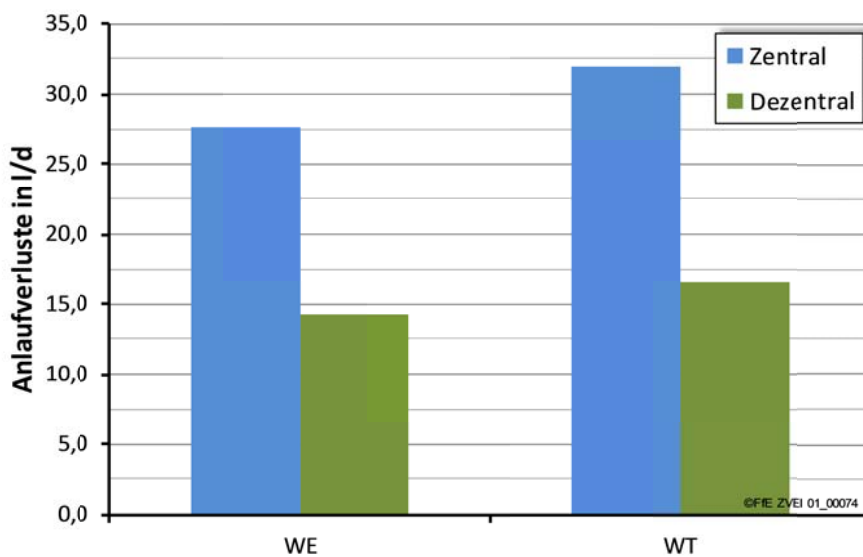
### 7.5.3 Vergleich dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 12FH

Die Gegenüberstellung der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 12FH ist in **Abbildung 7-14** dargestellt. Im zentralen System mit intelligenter Zirkulation treten etwa 9.700 kWh/a (9.900 kWh/a; herkömmlich) an Verlusten auf. In der dezentralen Variante treten im Verhältnis geringe Verluste von etwa 400 kWh/a auf.



**Abbildung 7-14:** Vergleich der täglichen Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 12FH

**Abbildung 7-15** ist der direkte Vergleich der Anlaufverluste im dezentralen und zentralen Warmwasserversorgungssystem dargestellt. Während in einem zentralen System etwa 28 bzw. 32 l/d an Anlaufverlusten anfallen werden, betragen diese in einer dezentralen WW-Versorgung etwa 14 bzw. 16 l/d.



**Abbildung 7-15:** Vergleich der täglichen Anlaufverluste bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im 12FH

## 8 Darstellung einer Einzelzapfstelle

Einzelzapfstellen, wie z.B. eine Gäste-Toilette, eine Dusche im Keller oder wenig benutzte Zapfstellen in Wohnhäusern und Wohnungen besitzen erhebliche Wärmeverluste.

Hierbei werden zwei Fälle unterschieden:

- Zirkulationsleitung bis an die Zapfstelle

Bei dieser Anordnung werden die Verteilleitungen kurz gehalten und es steht nach Abfluss der Anlaufverluste sofort Wasser zur gewünschten Temperatur zur Verfügung. Allerdings wird die Zirkulationsleitung mit heißem Wasser durchströmt, wobei Energie an die Umgebung abgegeben wird. Zudem müssen die Anlaufverluste berücksichtigt werden, wenn das Wasser nicht auf Zapftemperatur erhitzt ist.

- Lange Verteilleitung zwischen Entnahmestelle und Zirkulation

Ist eine lange Verteilleitung zwischen Entnahmestelle und Zirkulation vorhanden, entstehen bei einer Zapfung Energieverluste durch das Erwärmen der Rohrleitung auf Zapftemperatur und für die Verteilungen. Zudem müssen die Anlaufverluste berücksichtigt werden, wenn das Wasser nicht auf Zapftemperatur erhitzt ist.

Die Zirkulationsverluste in einem zentralen WW-Versorgungssystem betragen zwischen 10 bis 22 % (WT) bzw. 10 bis 25 % (WE) (siehe Kapitel 7). Da die Verteilverluste vernachlässigbar klein sind, ergeben sich bei direktem Anschluss der Einzelzapfstelle an der Zirkulationsleitung höhere Verluste.

Außerdem ist schon bei der Installation von Wasserleitungssystemen darauf zu achten, dass lange Leitungen für Zapfstellen mit seltener Benutzung vermieden und zudem nicht mit Warmwasserrohren in einem Rohrkanal verlegt werden. Bei Verwendung eines zentralen Systems besitzt diese Leitung das höhere Risiko die Ursache für die Vermehrung von Legionellen-Keimen zu sein. Im Besonderen betrifft das Einzelzapfstellen, wie beispielsweise Gäste-WCs und selten benutzte Duschen im Keller, welche zur Vermeidung von Verlusten und der Legionellenproblematik mit elektronischen Durchlauferhitzern ausgestattet werden könnten.

## 9 Solares Nacherwärmen

### 9.1 Das Konzept der Nutzung solarer Strahlungsenergie

Anders als bei der Nutzung solarer Strahlungsenergie in konventionellen Systemen mit einer integrierten Zentralheizung bieten sich bei der Kombination mit einem elektronischen Durchlauferhitzer neue Möglichkeiten zur Energie- und Kosteneinsparung. Das Problem, dass der Warmwasserspeicher am Morgen durch die Heizung aufgeheizt wird und dann der solare Ertrag über den Vormittag nur zum Teil nutzbar ist, kann nicht auftreten. Damit ist eine deutliche Steigerung des solaren Deckungsgrades und somit eine Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verbunden.

#### 9.1.1 Technische Anlagendetails

Die Auslegung der technischen Komponenten erfolgt in Abhängigkeit der Personenzahl im untersuchten Objekt. Es wird angenommen, dass in einem Einfamilienhaus mit drei Bewohnern ein Speichervolumen von 300 l (3 Personen) vorgehalten wird, was in etwa einem Zweitagesbedarf entspricht. Durch die erhöhten stündlichen Zapfmengen werden in den Mehrfamilienhäusern die Pufferspeicher größer dimensioniert. So ergibt sich für das Dreifamilienhaus ein Volumen von 1000 l (6 Personen) und für das 12-Familienhaus ein Speicherinhalt von 3.000 l (24 Personen). Die Kollektorfläche wird in Abhängigkeit des Warmwasservolumens ermittelt und mit 1,5-2 m<sup>2</sup> je 100 l festgesetzt.

#### 9.1.2 Zapfungen und Verluste

Die nötige Zapftemperatur wird bei ausreichender Speicherbeladung über eine Kaltwasserbeimischung erreicht. Ist die Temperatur aus dem Warmwasserspeicher zu niedrig, erfolgt über den Durchlauferhitzer die Nacherwärmung. Es treten neben den Speicher-verlusten, den Verlusten für die Bereitstellung von Hilfsenergie auch Zirkulationsverluste auf. Diese werden analog zu den Verlusten, die bei der Warmwasserbereitung durch ein Öl- bzw. Gas-Brennwertgerät entstehen, berechnet (siehe **Kapitel 7**).

### 9.2 Ergebnisse der Simulation

Im Folgenden werden die vorgegebenen Rahmenbedingungen und die Ergebnisse der Simulation zusammengefasst und das methodische Vorgehen des Simulationstools beschrieben.

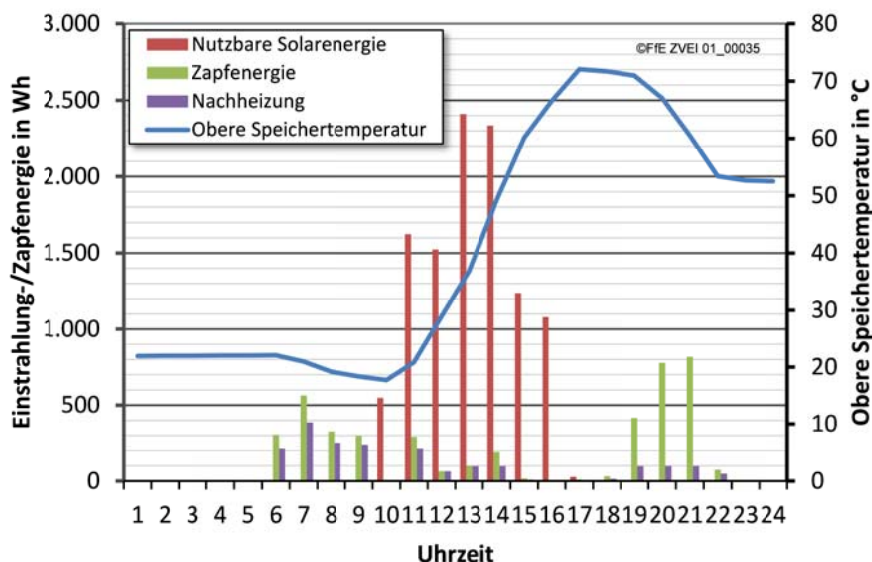
Basierend auf der zu erwartenden solaren Einstrahlung wird über dem Kollektorkreislauf die Energie in den Warmwasserspeicher transportiert und dort eingespeichert. Hierbei werden die Verluste des Kollektorkreislaufes berücksichtigt. Das Wasser im Speicher besitzt zu Beginn eine Temperatur von 10 °C, was bei einer Umgebungstemperatur von konstant 18 °C im Aufstellungsraum einen Wärmeeintrag in den Speicher bewirkt. Steigt die Temperatur im gesamten Speicherbereich über die 18 °C Marke, treten dementsprechend Speicherverluste auf. Eine Differenzierung der Temperaturschichtung des Warmwasserspeichers findet nur insoweit statt, dass ein oberer und ein unterer Bereich betrachtet werden. Aus dem oberen Teil wird die benötigte Energiemenge entnommen, was bei ausreichender Temperatur im unteren Teil zu einem Nachladen aus diesem Bereich führt. Die Wärme „steigt“ nach oben. Weiter werden die anfallenden Zirkulations-, Verteil- und Speicherverluste in die Berechnung mit einbezogen.

### 9.2.1 Einfamilienhaus

Im Einfamilienhaus besteht die Solarthermieanlage aus einer Kollektorfläche von 6 m<sup>2</sup> und einem Warmwasserspeicher mit 300 l Speichervolumen. Die Anlage besitzt eine Südausrichtung mit einer Kollektorneigung von 40 °. Die zur Berechnung notwendigen Einstrahlungs- und Temperaturwerte stammen aus dem Jahr 2003.

#### Simulationsergebnisse

Für das Einfamilienhaus (3 Personen) ergibt sich unter Berücksichtigung der Zirkulations- und Verteilverluste ein jährlicher Gesamtenergiebedarf zur Warmwasserbereitstellung von 2.200 kWh. Davon können etwa 80 % über die Solarthermieanlage gedeckt werden. Auf die elektrische Nachheizung entfällt demzufolge ein Wert von jährlich ca. 460 kWh. Es wird eine elektrische Hilfsenergie für den Betrieb der Solarthermieanlage von ca. 60 kWh/a, der Regelung der Kesselanlage von ca. 9 kWh/a und der Zirkulationspumpe von ca. 65 kWh/a benötigt. In **Abbildung 9-1** ist der Tagesverlauf vom 15.01. mit solarem Ertrag, Energieentnahme durch die Zapfung und Verlauf der Speichertemperatur dargestellt.



**Abbildung 9-1:** Tagesprofil Zapfung, Solare Einstrahlung, Speicher Temperatur

Eine Besonderheit stellen die kleinen Zapfmengen um 12 und 13 Uhr dar. Zu diesen Zeiten ist eine elektrische Nachheizung in Höhe der gezapften Energiemenge nötig, obwohl die Speichertemperatur eine Temperatur von mehr als 10 °C aufweist. Die Ursache liegt in der geringen Zapfmenge. Der Wasserinhalt der Stichleitung – diese reicht vom Anschluss der Zirkulationsleitung bis zur Zapfstelle – ist größer als das gezapfte Volumen. Somit kann die Energie aus dem Speicher keinen Beitrag leisten und es muss komplett elektrisch nachgeheizt werden.

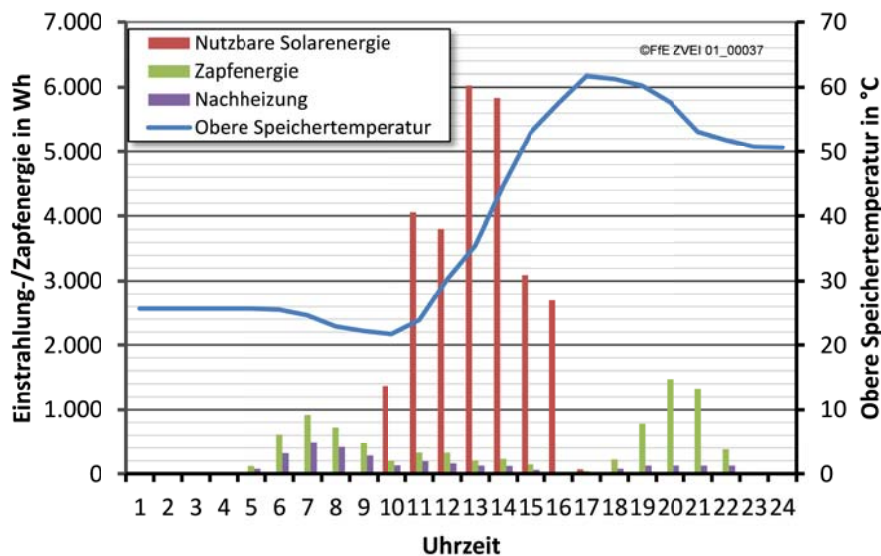
### 9.2.2 Dreifamilienhaus

Die Solarthermieanlage im Dreifamilienhaus setzt sich aus einer Kollektorfläche von 15 m<sup>2</sup> und einem Pufferspeicher mit 1000 l Speichervolumen zusammen. Die Energie wird dem Speicher über ein Frischwassermodul entnommen, welches im Durchlaufprinzip über einen Plattenwärmetauscher die Energie an das Kaltwasser abgibt. Die Anlage

besitzt eine Südausrichtung mit einer Kollektorneigung von 40°. Die zur Berechnung notwendigen Einstrahlungs- und Temperaturwerte stammen aus dem Jahr 2003.

### Simulationsergebnisse

Das Dreifamilienhaus (6 Personen) hat unter Berücksichtigung der Zirkulations- und Verteilverluste einen jährlichen Gesamtenergiebedarf zur Warmwasserbereitstellung von ca. 3.600 kWh. Davon können etwa 81 % über die Solarthermieanlage gedeckt werden. Die notwendige Energie zur elektrischen Nachheizung beträgt etwa 700 kWh/a. Die Regelung der Kesselanlage benötigt ca. 9 kWh/a und die Zirkulationspumpe etwa 250 kWh/a. Auf die eingesetzte Hilfsenergie zum Betrieb der Solaranlage entfallen jährlich ca. 100 kWh. In **Abbildung 9-2** ist der Tagesverlauf vom 15.01 mit solarem Ertrag, Energieentnahme durch die Zapfung und Verlauf der Speichertemperatur dargestellt.



**Abbildung 9-2:** Tagesprofil Zapfung, Solare Einstrahlung, Speicher Temperatur

### 9.2.3 12-Familienhaus

Die Solarthermieanlage im 12-Familienhaus besitzt eine Kollektorfläche von 45 m<sup>2</sup> und einen Pufferspeicher mit 3000 l Speichervolumen. Die Energie wird dem Speicher über ein Frischwassermodul entnommen, welches im Durchlaufprinzip über einen Plattenwärmetauscher die Energie an das Kaltwasser abgibt. Die Anlage ist in Südausrichtung mit einer Kollektorneigung von 40° montiert. Die zur Berechnung notwendigen Einstrahlungs- und Temperaturwerte werden dem Jahr 2003 entnommen.

### Simulationsergebnisse

Das 12-Familienhaus (24 Personen) weist unter Berücksichtigung der Zirkulations- und Verteilverluste einen jährlichen Gesamtenergiebedarf zur Warmwasserbereitstellung von ca. 14.500 kWh aus. Es ergibt sich ein solarer Deckungsgrad von etwa 77 %. Die notwendige Energie zur elektrischen Nachheizung beträgt etwa 3.400 kWh/a. Auf die eingesetzte Hilfsenergie zum Betrieb der Solaranlage entfallen jährlich ca. 150 kWh. Es werden für die Regelung der Kesselanlage jährlich etwa 9 kWh und für die Zirkulationspumpe etwa 1.500 kWh benötigt. In **Abbildung 9-3** ist der Tagesverlauf vom 15.01. mit solarem Ertrag, Energieentnahme durch die Zapfung und Verlauf der Speichertemperatur dargestellt.

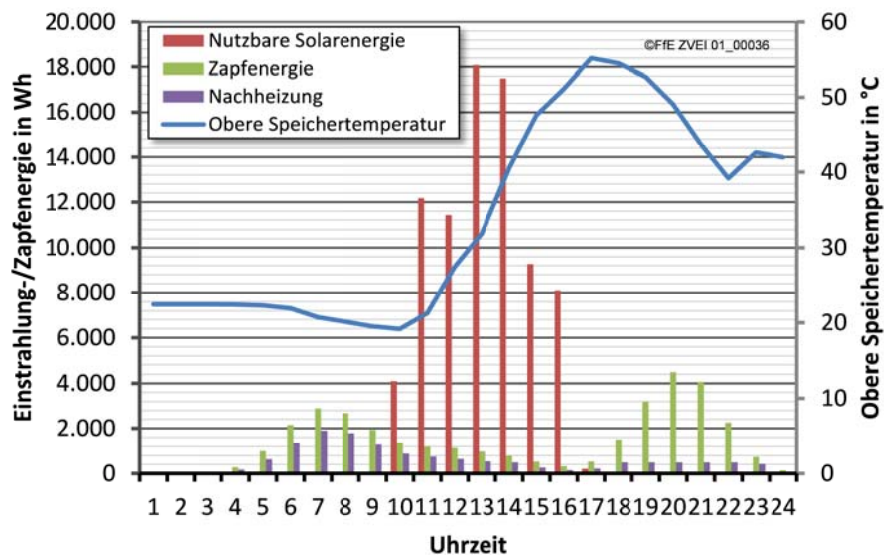


Abbildung 9-3: Tagesprofil Zapfung, Solare Einstrahlung, Speicher Temperatur

## 10 Primärenergieeinsatz und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen

Da zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Kraftwerkstypen mit verschiedenen Brennstoffen im Einsatz sind, schwanken die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Primärenergieeinsatz der Stromerzeugung. Dies hat auch Einfluss auf die anrechenbaren Emissionsmengen und Primärenergieaufwendungen bei der Warmwasserbereitung mit elektronischen Durchlauferhitzern. Im Folgenden soll daher für die Bezugsjahre 2009 und 2020 eine stundenscharfe Darstellung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und des spezifischen Primärenergieeinsatzes des Stroms erfolgen. Der Primärenergiefaktor und die spezifischen Emissionen für ein zentrales System durch einen Gas bzw. Ölbrennwertkessel sind in **Tabelle 10-1** dargestellt.

**Tabelle 10-1:** *Primärenergiefaktor und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen inkl. Vorkette für Gas bzw. Öl nach /ENEV-01 09/ und /GEM-01 10/*

		Öl	Gas
Primärenergiefaktor in kWh <sub>PE</sub> /kWh	2009	1,1	1,1
	2020	1,1	1,1
spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen in g/kWh	2009	324	226
	2020	324	226

### 10.1 Berechnung der Parameter zur Darstellung der dezentralen WW-Bereitung

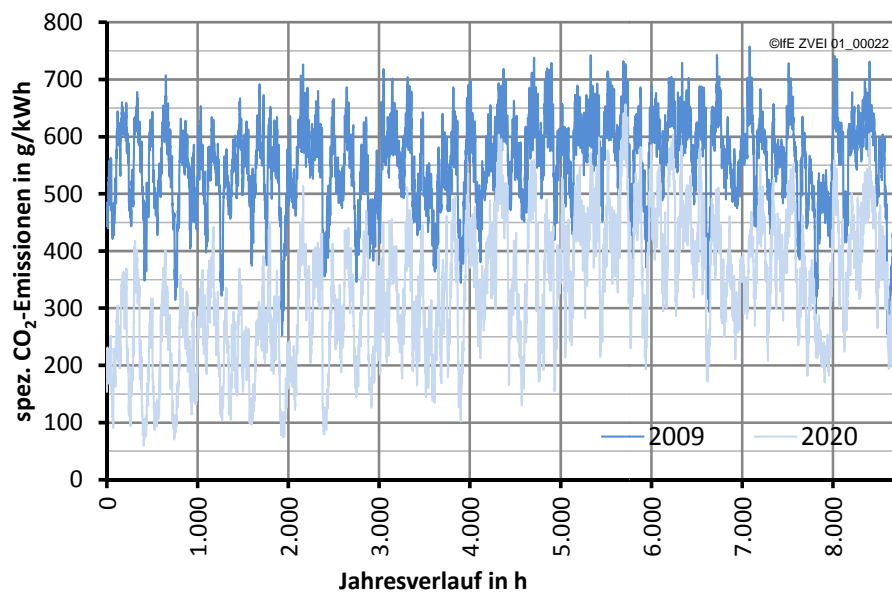
Der Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik verfügt über ein Simulationsmodell des Kraftwerksparks Deutschlands, in dem alle relevanten Erzeugereinheiten mit ihren Betriebsparametern (Leistung, Wirkungsgrad, Kosten) hinterlegt sind. Dieses Modell wird genutzt, die eingesetzten Kraftwerke zu bestimmen. Hierfür maßgeblich ist die residuale Last, die sich ergibt, wenn vom Strombedarf die bevorzugte Einspeisung (Anlagen nach dem EEG und KWKG) abgezogen und die Netzverluste addiert werden. Der Kraftwerkseinsatz erfolgt nach Merit-Order, d.h. nach steigenden Betriebskosten der Kraftwerke.

Für das Bezugsjahr 2009 wurden Jahreswerte der Stromerzeugung und des Energieträgereinsatzes /AGEB-01 10, BMWI-01 10/, Stundenwerte des Strombedarfs /ENTSOE-01 10/ und Daten der Windeinspeisung /EEX-01 10/ unter ganzheitlicher Betrachtung durch Einbezug der Vorkette verwendet. Die Stromerzeugung durch KWK-Anlagen wurde anhand des Außentemperaturverlaufs abgeschätzt. Demnach betrug im Jahr 2009 bei einem Strombedarf von 505 TWh (inkl. Exportüberschuss) der Primärenergieeinsatz 1.458 TWh (davon 1.282 TWh fossile Primärenergie) und der CO<sub>2</sub>-Ausstoß 281 Mio. t. Erneuerbare Energien hatten einen Anteil von 16,4 %. Dies führt zu einem durchschnittlichen Primärenergiefaktor von 2,88 kWh<sub>PE</sub>/kWh (davon 2,55 kWh<sub>PE</sub>/kWh für fossile Primärenergie). Der Wert für den Primärenergiefaktor ist hierbei der Quotient aus Primärenergieeinsatz und Strombedarf. Somit basieren diese Werte auf tatsächlichen Werten und nicht auf den Annahmen aus der EnEV bzw. der DIN V 18599.

Aus obigen Daten ergibt sich ein CO<sub>2</sub>-Ausstoß von rund 280 Mio. t für 2009 und spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen von 553 g CO<sub>2</sub>/kWh. Das UBA geht in seiner Veröffentlichung /UBA-03 10/ von höheren Emissionen (296 Mio. t) für das Jahr 2009 aus, bezieht diese jedoch auch auf eine höhere Strommenge, so dass der spezifische Wert mit 565 g CO<sub>2</sub>/kWh geringfügig höher ausfällt.

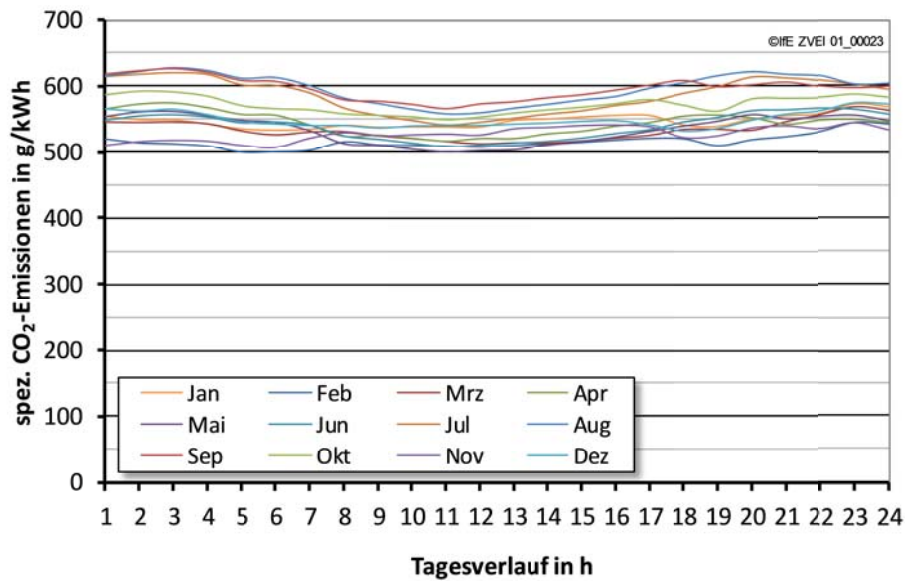
Für das Bezugsjahr 2020 wurden Annahmen auf Basis des BMU Leitszenarios 2009 zurückgegriffen /DLR-01 10/. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung steigt bis 2020 auf 35 %. Für die Entwicklung des Kraftwerkparks wurden im Bau und in Planung befindliche Erzeugungsanlagen berücksichtigt und fehlende Kapazitäten kostenoptimal zugebaut. Die Restlaufzeiten der Kernkraftwerke wurde gemäß den Beschlüssen von 2001 berücksichtigt. Der Strombedarf der Verbraucher steigt auf 516 TWh an, die CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken auf 173 Mio. t ab, der Primärenergieeinsatz beträgt 1.129 TWh (948 TWh fossile Primärenergie). Daraus ergeben sich ein durchschnittlicher Primärenergiefaktor von 2,19 kWh<sub>PE</sub>/kWh (davon 1,84 kWh<sub>PE</sub>/kWh für fossile Primärenergie) und spezifische Emissionen von 335 g CO<sub>2</sub>/kWh.

**Abbildung 10-1** zeigt für die beiden Bezugsjahre die stündlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung. Erkennbar sind die starken Schwankungen und das deutlich niedrigere Niveau der Werte im Jahr 2020 gegenüber 2009.

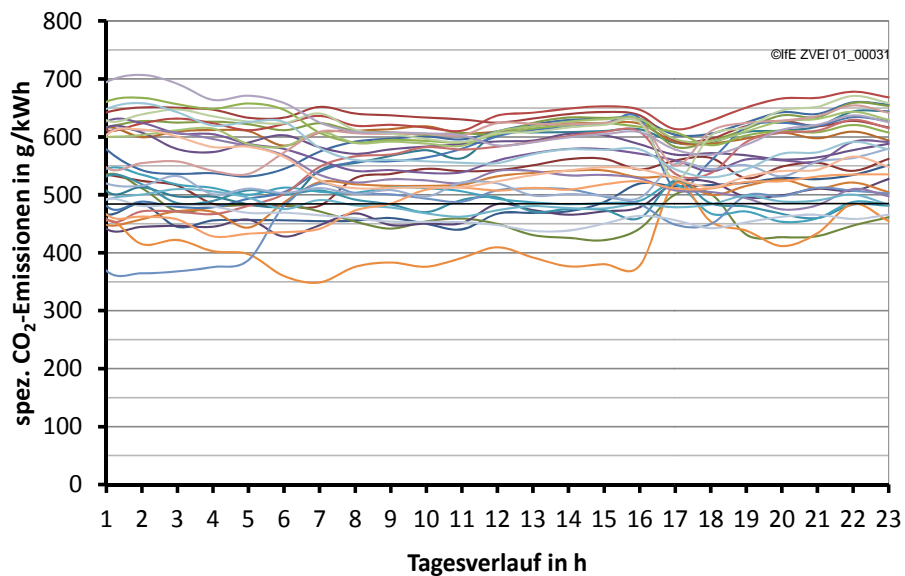


**Abbildung 10-1:** Stündliche, spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stromerzeugung /IFE-01 10/

**Abbildung 10-2** zeigt die nach Monaten differenzierten, durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Referenzjahres 2009. Der Tagesverlauf ist wenig ausgeprägt, die Schwankungen von Monat zu Monat eher gering. Dagegen ist die Streuung der Werte innerhalb der Tage eines Monats sehr groß, wie **Abbildung 10-3** zeigt.

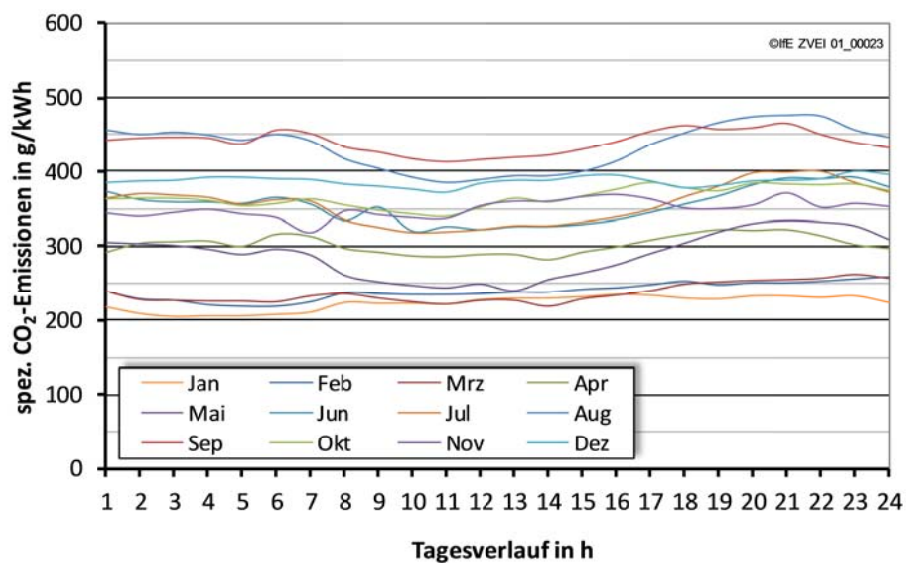


**Abbildung 10-2:** Tagesverlauf der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Abhängigkeit des Monats im Jahr 2009 /IFE-01 10/

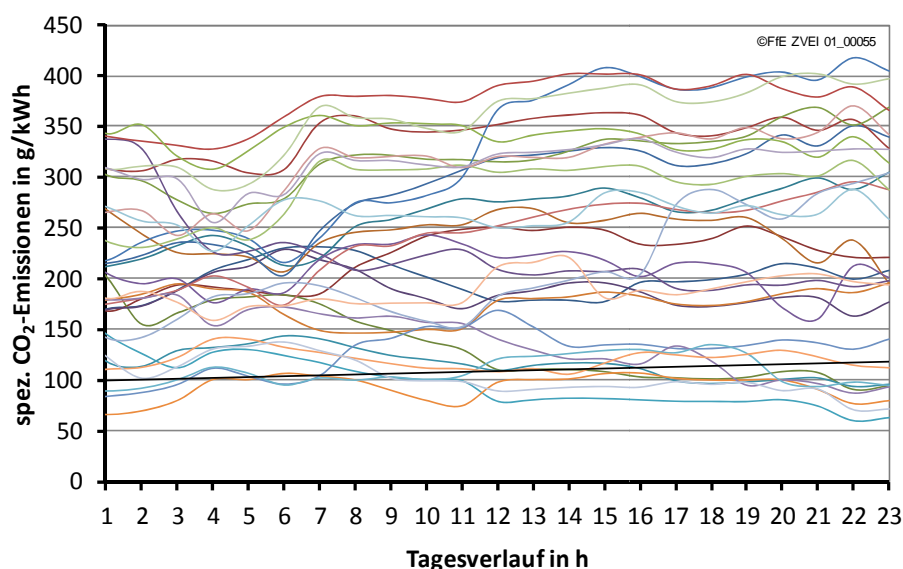


**Abbildung 10-3:** Tagesverlauf der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Tage im Januar 2009 /IFE-01 10/

**Abbildung 10-4** zeigt die nach Monaten differenzierten, durchschnittlichen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Referenzjahres 2020. Der Tagesverlauf ist wenig ausgeprägt, die Schwankungen von Monat zu Monat sind sehr ausgeprägt. Die Streuung der Werte innerhalb der Tage eines Monats ist sehr groß, wie **Abbildung 10-5** zeigt.

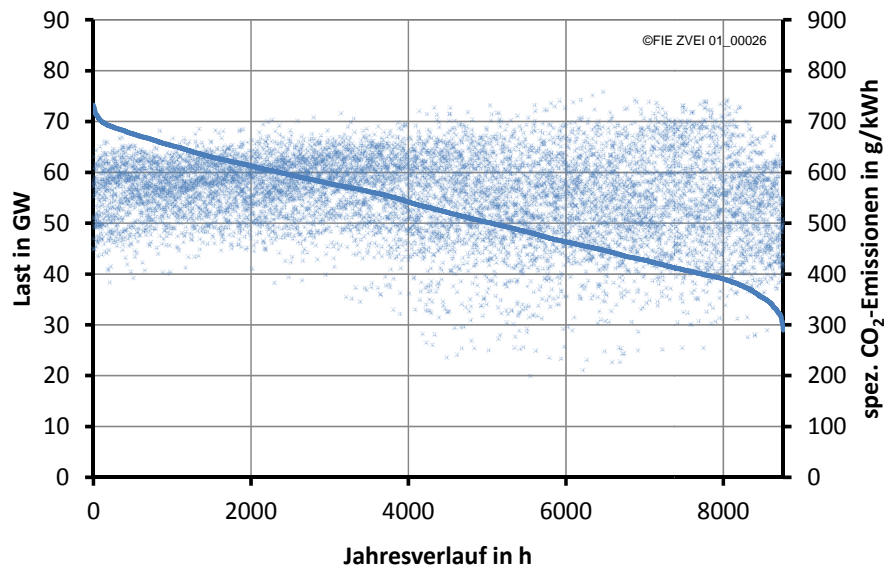


**Abbildung 10-4:** Tagesverlauf der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Abhängigkeit des Monats im Jahr 2020 /IFE-01 10/

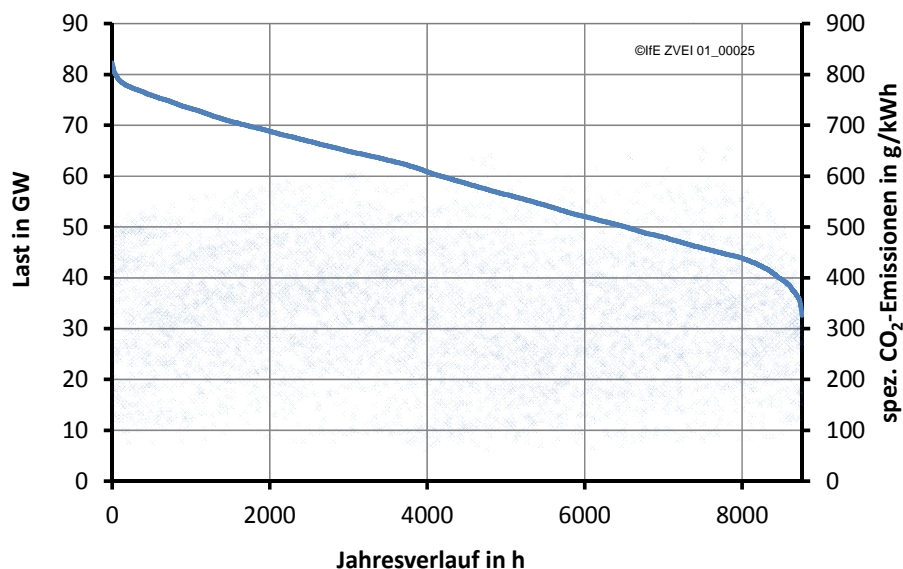


**Abbildung 10-5:** Tagesverlauf der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Tage im Januar 2020 /IFE-01 10/

Noch deutlicher stellen dies **Abbildung 10-6** und **Abbildung 10-7** dar. Hier ist die geordnete Dauerlinie der Verbraucherlast aufgetragen und die zugehörigen spezifischen Emissionswerte von dem Jahr 2009. Deutlich erkennbar ist die große Bandbreite der Streuung von rund 300 bis 700 g CO<sub>2</sub>/kWh für das Jahr 2009 und 100 bis 600 g CO<sub>2</sub>/kWh für das Jahr 2020. Verursacht wird dies vor allem durch die fluktuierende Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien.



**Abbildung 10-6:** Jahresdauerlinie der Verbraucherlast und zugehörige spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen 2009 /IFE-01 10/



**Abbildung 10-7:** Jahresdauerlinie der Verbraucherlast und zugehörige spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen 2020 /IFE-01 10/

Die Schwankungen von einem Tag zum nächsten sind deutlich ausgeprägter als der Verlauf innerhalb eines Tages und der Einfluss von Wochentagen, Arbeits- und Feiertagen oder Monaten. Deshalb ist hier eine signifikante Abhängigkeit nicht gegeben.

## 10.2 Primärenergetischer Vergleich und Darstellung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

### 10.2.1 Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen

Bei der Bereitstellung von Warmwasser mit elektronischen Durchlauferhitzern ergeben sich Anlauf- und Anlagenverluste durch die Regelungstechnik. In **Abbildung 10-8** sind

die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen eines EFH in t/a für den jeweils eingesetzten Energieträger dargestellt. Durch den veränderten Strom-Mix im Jahr 2020 gehen die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der WW-Bereitstellung durch elektronische Durchlauferhitzer von 0,86 t/a um etwa 40 % auf 0,52 t/a zurück. Die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Gas- bzw. Ölbrennwertkessel gehen im betrachteten Zeitraum um etwa 5 % aufgrund der verbesserten Technik und der veränderten Stromerzeugungsstruktur etwas zurück.

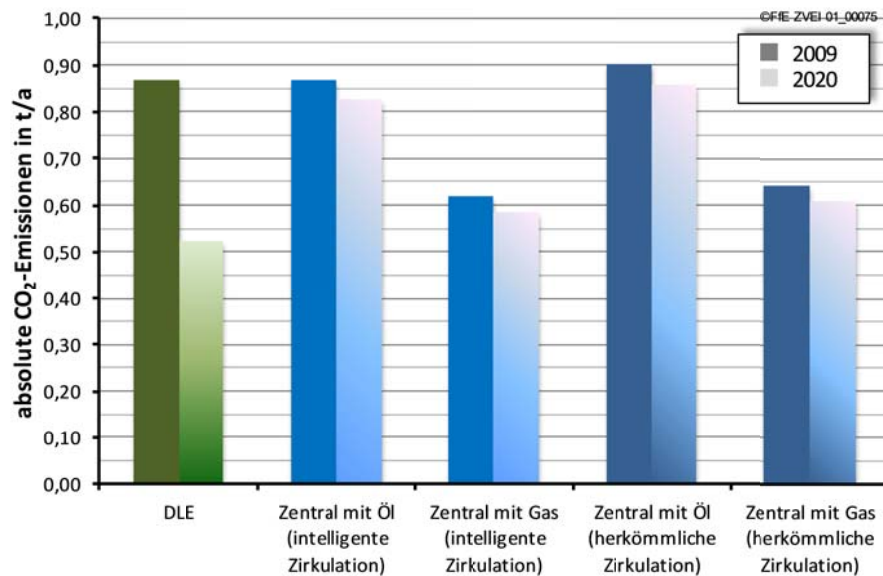


Abbildung 10-8: Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen für die WW-Bereitstellung eines EFH

Die **Abbildung 10-9** zeigt die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen der eingesetzten Energieträger in einem 3FH. Aufgrund der veränderten Stromerzeugungsstruktur minimieren sich die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei dezentraler WW-Versorgung von 1,74 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2009 auf 1,05 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020. Die Umweltkennzahl der elektronischen Durchlauferhitzer sinkt hier unter die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei zentraler WW-Versorgung durch einen Öl/ bzw. Gasbrennwertkessel.

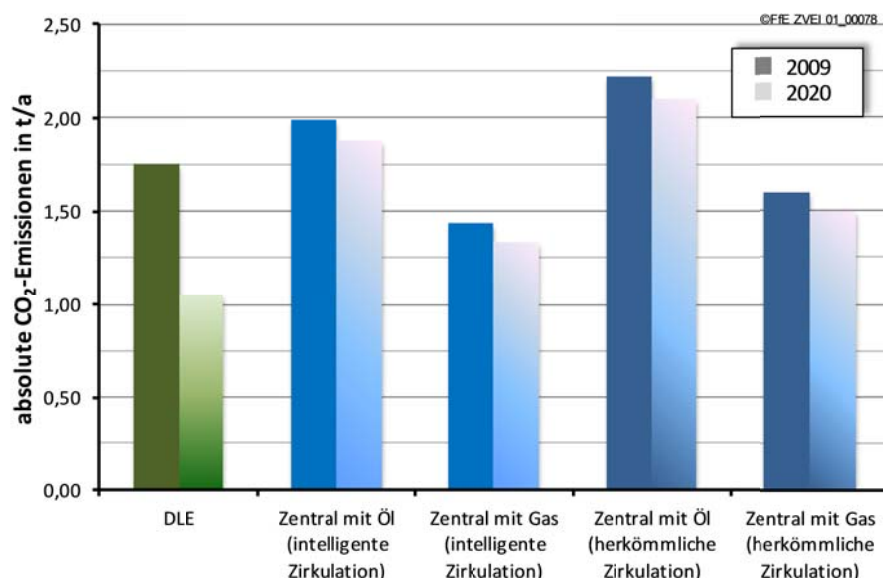
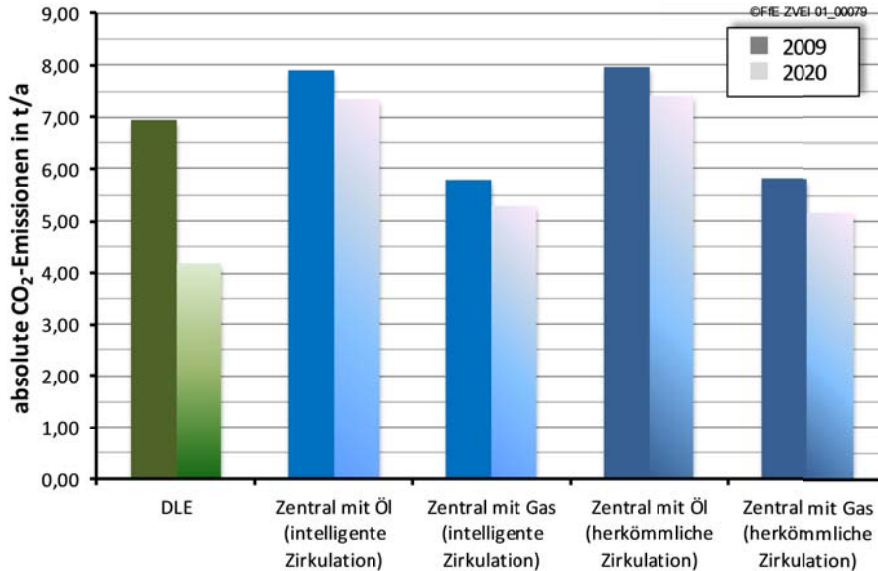


Abbildung 10-9: Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen für die WW-Bereitstellung eines 3FH

Durch die Vorgaben der Gebäudemodellierung und den bei zentraler WW-Bereitstellung resultierenden Verlusten ergeben sich die in **Abbildung 10-10** dargestellten absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen für ein 12FH. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die dezentrale WW-Bereitstellung betragen demnach 6,91 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2009 und 4,19 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020.



**Abbildung 10-10:** Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen für die WW-Bereitstellung eines 12FH

Die oben dargestellten Abbildungen zeigen, dass durch den veränderten Kraftwerkspark im Jahr 2020 die CO<sub>2</sub>-Bilanz für das dezentrale System deutlich von der im Jahr 2009 abweicht. Durch die zentrale Bereitstellung von Warmwasser minimieren sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund der verbesserten Technik der Brennwertkessel und des veränderten Strom-Mixes für die Bereitstellung von Hilfsenergie. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des beschriebenen dezentralen Systems werden sich bei prognostiziertem Szenario um gemittelte 40 % vermindern und in jedem der betrachteten Gebäudetypen unter den CO<sub>2</sub>-Emissionen der zentralen Variante liegen.

### 10.2.2 Primärenergetischer Verbrauch

In **Abbildung 10-11** ist der primärenergetische Verbrauch der WW-Versorgung eines EFH dargestellt. Basierend auf dem Primärenergiefaktor für elektrische Energie von 2,55 kWh<sub>PE</sub>/kWh<sub>el</sub> (nur fossiler Primärenergieeinsatz) resultiert ein jährlicher Primärenergieverbrauch (PEV) für die dezentrale Erzeugung von Warmwasser von ca. 4.000 kWh<sub>PE</sub> im Jahr 2009. Durch den steigenden Anteil erneuerbarer Energien und Modernisierung fossiler Kraftwerkstechnik sinkt der Primärenergiefaktor bis 2020 auf 1,84 kWh<sub>PE</sub>/kWh (nur fossiler Primärenergieeinsatz) und der jährliche PEV für die dezentrale Erzeugung von Warmwasser auf ca. 2.900 kWh<sub>PE</sub>. Ein zentrales System mit intelligenter Zirkulation benötigt im Jahr 2009 etwa 3.000 kWh<sub>PE</sub> (3.100 kWh<sub>PE</sub>; herkömmlich). Eine Veränderung des Primärenergiefaktors für Öl bzw. Gas ist in dem Betrachtungszeitraum unbedeutend und deshalb nicht berücksichtigt. Durch eine verbesserte Technologie der Brennwertausnutzung reduziert sich der PEV in einem intelligenten System auf knapp unter 3.000 kWh<sub>PE</sub>/a.

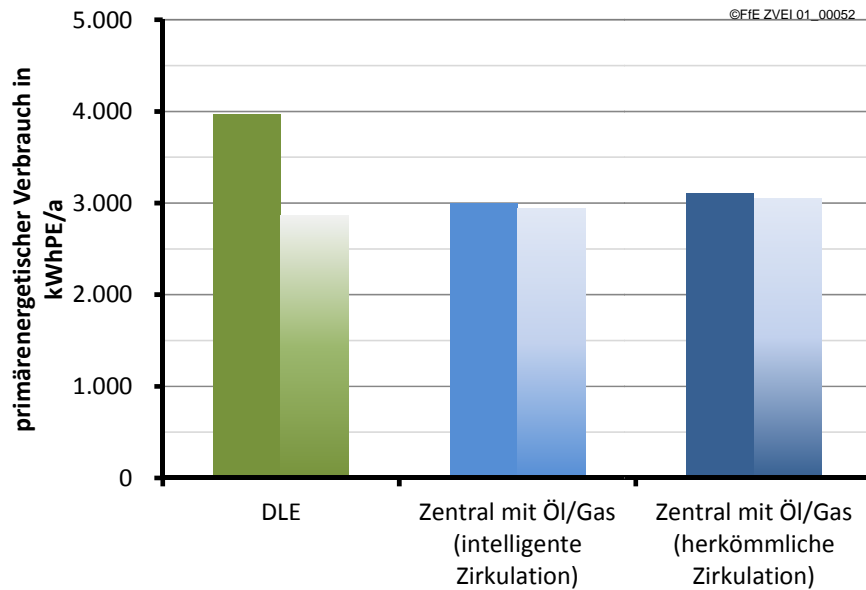


Abbildung 10-11: Primärenergetischer Verbrauch der WW-Versorgung eines EFH

Die **Abbildung 10-12** stellt den primärenergetischen Verbrauch der WW-Versorgung eines 3FH dar. Der Primärenergieverbrauch im Jahr 2009 (2020) einer zentralen WW-Bereitstellung mit intelligenter Zirkulation beträgt etwa 7.000 (ca. 6.800) kWh<sub>PE</sub>. Der PEV eines dezentralen Systems ist aufgrund eines Primärenergiefaktors von 2,55 kWh<sub>PE</sub>/kWh (nur fossiler Primärenergieeinsatz) im Jahr 2009 mit ca. 8.000 kWh<sub>PE</sub> höher als im Jahr 2020 mit ca. 5.800 kWh<sub>PE</sub>.

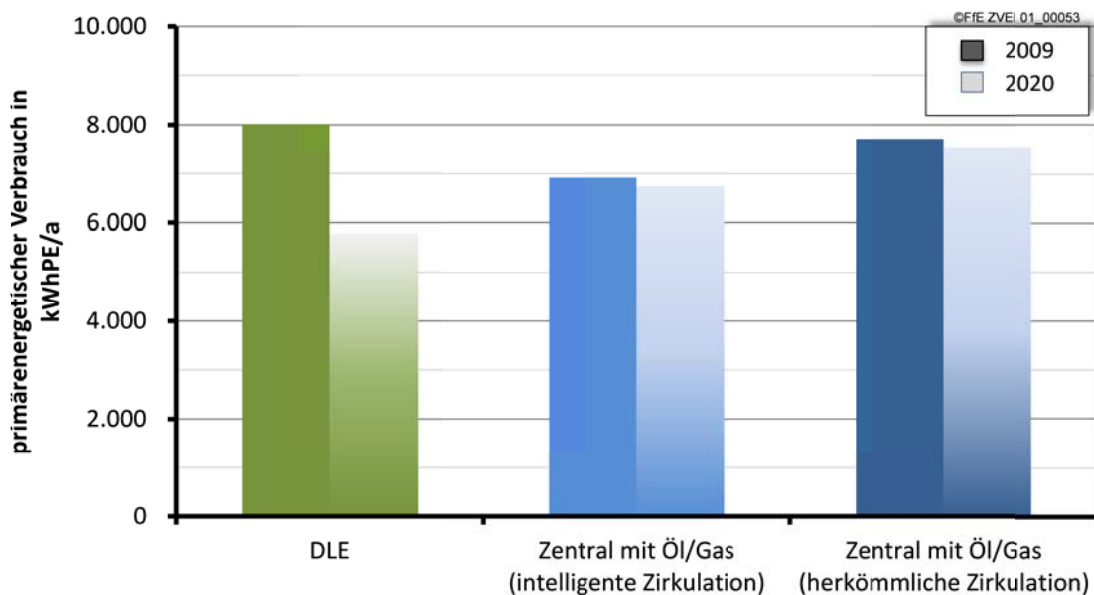


Abbildung 10-12: Primärenergetischer Verbrauch der WW-Versorgung eines 3FH

In **Abbildung 10-13** ist der primärenergetische Verbrauch der WW-Versorgung eines 12FH dargestellt. Durch einen geringeren Primärenergiefaktor von 1,84 kWh<sub>PE</sub>/kWh (nur fossiler Primärenergieeinsatz) im Jahr 2020 verringert sich der PEV um 24 % von

ca. 31.900 auf 23.000 kWh<sub>PE</sub>. Ein zentrales System hat im Jahr 2009 (2020) einen PEV von ca. 28.000 (ca. 27.000) kWh<sub>PE</sub>.

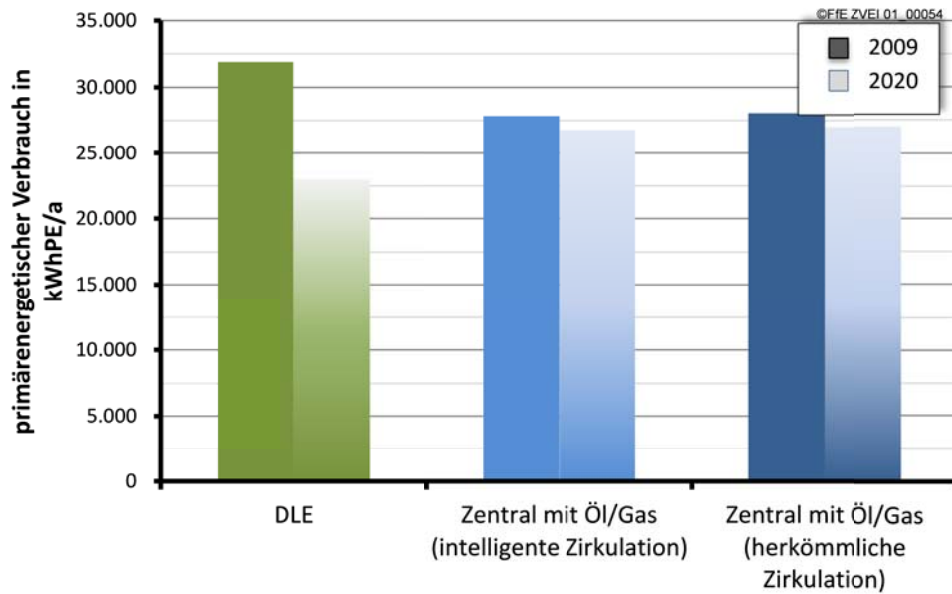


Abbildung 10-13: Primärenergetischer Verbrauch der WW-Versorgung eines 12FH

## 11 Investitions- und Betriebskosten

Im Folgenden werden die Investitions- und Betriebskosten bei Sanierung der Warmwasserversorgung der betrachteten Gebäudetypen miteinander verglichen. Bei Installation eines zentralen bzw. dezentralen Systems fallen die nachfolgend beschriebenen Kostenpunkte (siehe **Tabelle 11-1**) an, wobei für die Investition in eine intelligente Zirkulation eine Internetrecherche durchgeführt wurde. Diese ergab für die Zirk 24 Kosten in Höhe von ca. 200 € /ZIRK24-01 11, ZIRK24-02 11/:

- Materialkosten für Wasserverteilung /GIE-01 10/
- Variantenabhängige Materialkosten (Warmwasserspeicher /VIE-01 10/, elektronische Durchlauferhitzer /ZVEI-01 10/)
- Arbeitskosten für Sanierung /BKI-01 10/
  - Entfernen und Neuinstallation der Wasserverteilung
  - Maurer- und Verputzarbeiten

**Tabelle 11-1:** Auflistung der Kostenpunkte

	EFH			3FH			12FH		
	intelligent	herkömmlich	dezentral	intelligent	herkömmlich	dezentral	intelligent	herkömmlich	dezentral
Materialkosten	2.350 €	2.150 €	1.500 €	4.500 €	4.250 €	4.400 €	9.250 €	8.800 €	14.400 €
Arbeitskosten	3.900 €	3.900 €	2.000 €	6.000 €	6.000 €	3.600 €	13.000 €	13.000 €	7.500 €
Sonstiges (ohne MwSt.)	1.250 €	1.210 €	700 €	2.100 €	2.050 €	1.600 €	4.450 €	4.360 €	4.380 €
<b>Gesamtkosten inkl. MwSt (19 %)</b>	<b>8.688 €</b>	<b>8.410 €</b>	<b>4.865 €</b>	<b>14.595 €</b>	<b>14.248 €</b>	<b>11.120 €</b>	<b>30.928 €</b>	<b>30.302 €</b>	<b>30.441 €</b>

Die **Abbildung 11-1** zeigt die unterschiedlichen Sanierungskosten der WW-Bereitung durch ein zentrales bzw. dezentrales System. In einem Einfamilienhaus betragen die Kosten der Umbaumaßnahmen bei der Installation einer dezentralen WW-Versorgung ca. 4.900 €, die der zentralen Lösung mit intelligenter Zirkulation ca. 8.700 € und mit herkömmlicher Zirkulation ca. 8.400 €. Aufgrund der steigenden Anzahl von elektronischen Durchlauferhitzern im 3FH ergeben sich Sanierungskosten von ca. 11.000 € (zentral: etwa. 14.500 €). Bei Sanierung der WW-Bereitung im 12FH müssen für die dezentrale Variante bereits ca. 30.400 € investiert werden, wohingegen das zentrale System mit intelligenter Zirkulation ca. 31.000 (herkömmlich: 30.300) € kostet.

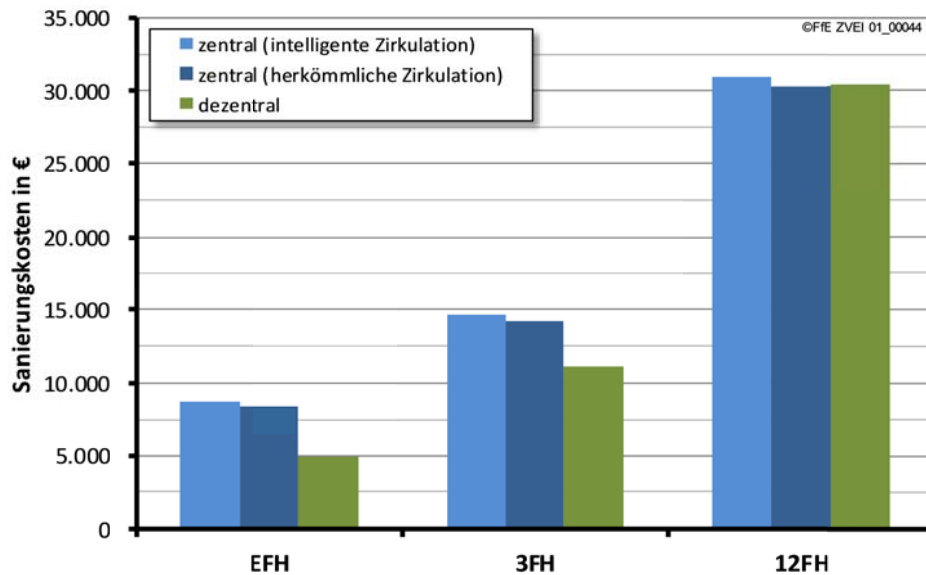


Abbildung 11-1: Sanierungskosten

Ausschlaggebend für die höheren Investitionskosten der dezentralen WW-Versorgung bei größerer Anzahl an Wohneinheiten je Gebäude ist die steigende Zahl elektronischer Durchlauferhitzer. Die Materialkosten für das Warmwassernetz und den Warmwasserspeicher im zentralen System steigen jedoch nicht im gleichen Maße.

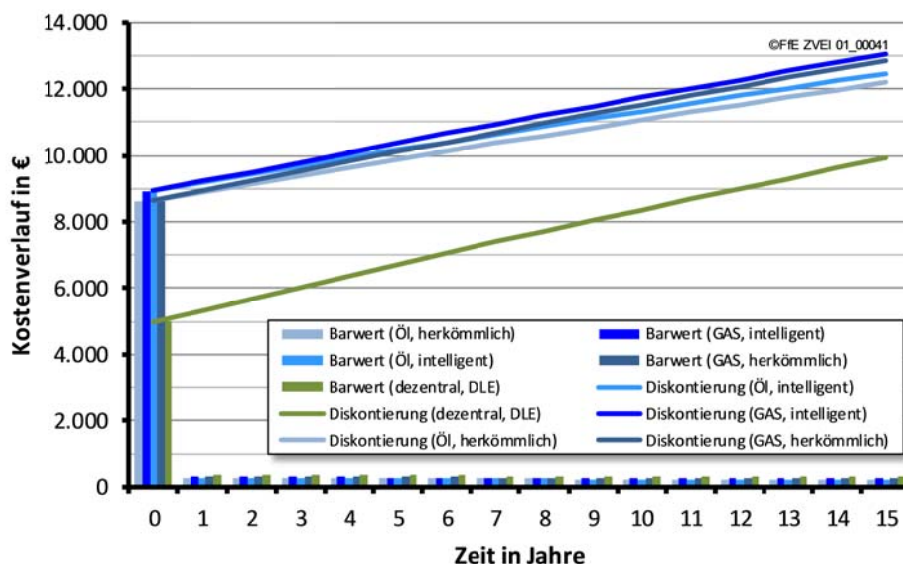
In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fließen neben den Sanierungskosten auch die laufenden Kosten für den Betrieb des jeweiligen Versorgungssystems ein. Diese Kosten setzen sich aus den Parametern typtagabhängiger Energieverbrauch des Gebäudes (EFH, 3FH oder 12FH), Preissteigerungsfaktor, Wartungskosten und Energiepreis für Strom, Gas und Öl nach /BMWI-01 10/ zusammen. Diese Größen sind in **Tabelle 11-2** aufgeführt.

Tabelle 11-2: Allgemeine Rahmenbedingungen

Allgemeine Rahmenbedingungen	
Energiekosten Öl	5,3 Cent/kWh
Energiekosten Gas	6,9 Cent/kWh
Energiekosten Strom	22,7 Cent/kWh
Zinssatz	5 %
Preissteigerungsfaktor	4 %
Wartungskosten für zentrales System	2 %
Wartungskosten für dezentrales System	1 %

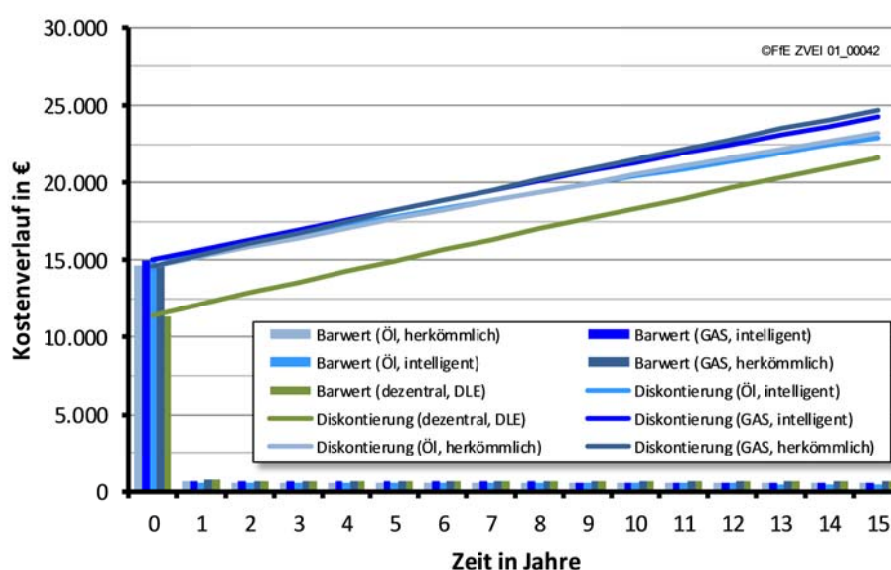
In den folgenden Diagrammen sind die Barwerte der Zahlungen und die diskontierten Zahlungsflüsse einer Sanierung der WW-Bereitung durch ein zentrales bzw. dezentrales Versorgungssystem dargestellt. Der Barwert beschreibt die diskontierte Summe der jährlichen Einnahmen und Ausgaben und ist in den Diagrammen als Säule dargestellt. Die Diskontierung entspricht der Abzinsung eines Betrags auf das Startjahr der Sanierungsmaßnahme. Die diskontierten Zahlungsflüsse bedeuten die Aufsummierung der Barwerte bis zu dem aktuell betrachteten Jahr. Diese Kurve kann der Geldanlage bei der Bank gleichgesetzt werden.

In **Abbildung 11-2** sind die Barwerte der Zahlungen und die diskontierten Zahlungsflüsse bei Sanierung der WW-Versorgung eines EFH dargestellt. Die diskontierten Zahlungsflüsse bei Installation einer zentralen WW-Bereitung mit intelligenter Zirkulation betragen ca. 12.200 € (Öl) bzw. 13.000 € (Gas) und belaufen sich bei einer dezentralen WW-Bereitung auf ca. 10.000 €.



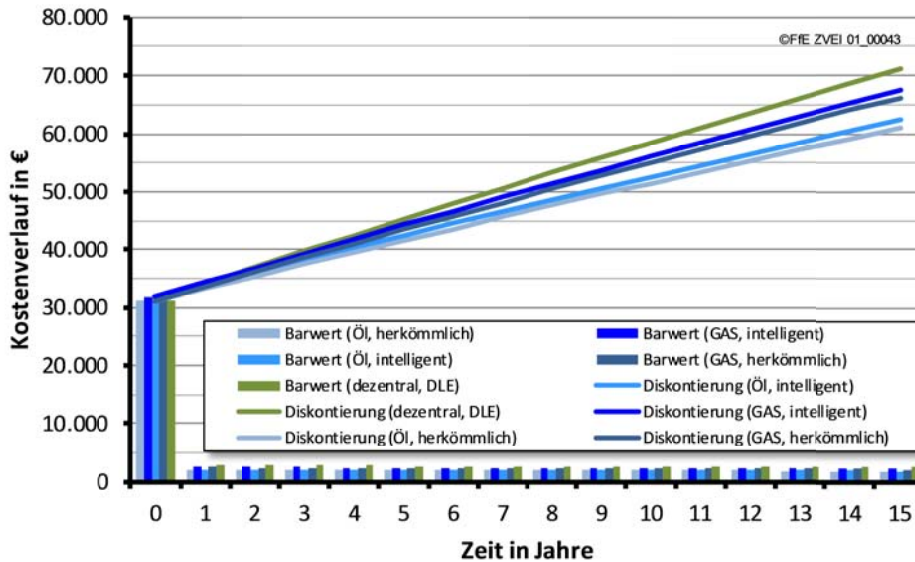
**Abbildung 11-2:** Barwerte und diskontierte Zahlungsflüsse (EFH)

**Abbildung 11-3** zeigt die Barwerte der Zahlungen und die diskontierten Zahlungsflüsse bei Sanierung der WW-Versorgung eines 3FH. Für eine zentrale WW-Versorgung mit herkömmlicher Zirkulation durch einen Gas-Brennwertkessel betragen die diskontierten Zahlungsflüsse über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren ca. 24.700 € (Öl-Brennwertkessel: ca. 23.200 €). Aufgrund der geringeren Installationskosten eines dezentralen Systems von ca. 11.000 € (zentral ca. 14.500 €) und des betrachteten Zeitraums von 15 Jahren ergeben sich diskontierte Zahlungsflüsse von ca. 21.500 €.



**Abbildung 11-3:** Barwerte und diskontierte Zahlungsflüsse (3FH)

Die Barwerte der Zahlungen und die diskontierten Zahlungsflüsse bei Sanierung der WW-Versorgung eines 3FH sind in **Abbildung 11-4** dargestellt. Hierbei sind die unterschiedlichen Sanierungskosten im Jahr 0 der Systeme zu erkennen. Die diskontierten Zahlungsflüsse für ein dezentrales WW-Versorgungssystem betragen etwa 72.000 €. Die diskontierten Zahlungsflüsse einer zentralen WW-Bereitung mit herkömmlicher Zirkulation durch einen Gas-Brennwertkessel ergeben etwa 66.000 € und etwa 61.000 € durch einen Öl-Brennwertkessel.



**Abbildung 11-4:** Barwerte und diskontierte Zahlungsflüsse (12FH)

## 12 Gesetzliche Vorgaben bei energetischer Bewertung der WW-Versorgung

Durch die Einführung der EnEV 2009 wurde ein neues Bilanzierungsverfahren für Wohngebäude zur Ermittlung der energetischen Qualität von Systemen zur Trinkwassererwärmung im Neubau und im Gebäudebestand auf Basis der DIN V 18599 eingeführt. Zudem ist auch die DIN 4701-10 /DIN-02 07/ gültig, um Warmwasserbedarf, -nutzenergie und -verluste zu berechnen.

### 12.1 Unterschiedliche Berechnungsmöglichkeiten

Im Folgenden ist ein Vergleich der beiden normativen Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Warmwasserenergie dargestellt. Die Berechnung nach DIN 4701 basiert auf einem standardisierten Tabellenverfahren. Die Methodik nach DIN V 18599 beruht auf detaillierten Anlagen- und Rohrleitungsangaben. In **Tabelle 12-1** und **Tabelle 12-2** sind die berechneten Warmwasserbedarfe, -nutzenergien und -verluste dargestellt. Die Warmwassernutzenergie wird nach /DIN-02 07/ und /DIN-01 07/ flächenbezogen für die jeweiligen Gebäudetypen unabhängig von der Bewohnerzahl und des Wochentages angegeben. In diesem Kapitel ist die intelligente Zirkulation in der zentralen Lösung als Vergleichssystem zu den Normenberechnungen dargestellt.

**Tabelle 12-1:** Warmwasserbedarf, -nutzenergie und -verluste nach /DIN-02 07/, DIN-01 07/ und Berechnungen der FfE GmbH

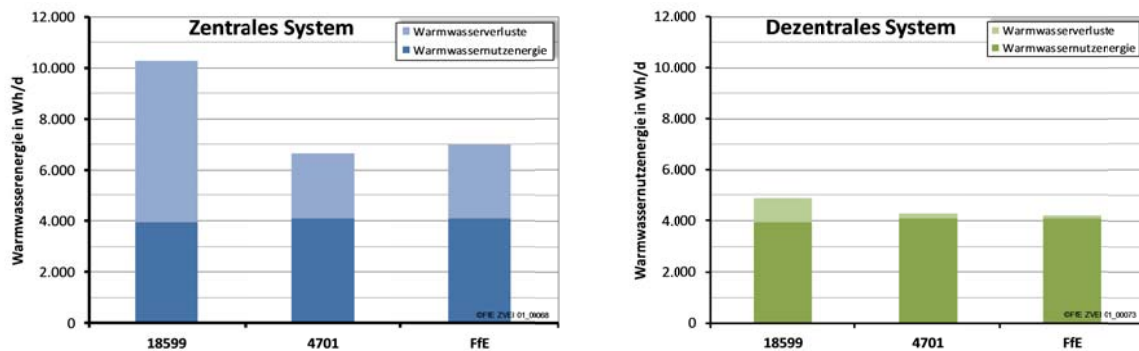
	EFH		3FH		12FH		
	zentral	dezentral	zentral	dezentral	zentral	dezentral	
<b>Warmwasserbedarf</b>							
18599	10.300	4.900	29.800	13.400	75.800	42.000	Wh/d
4701	6.600	4.300	11.900	8.600	33.000	25.800	Wh/d
FfE	7.000	4.200	15.650	8.600	59.800	34.000	Wh/d
<b>Warmwassernutzenergie</b>							
18599	3.950	3.950	10.520	10.520	31.560	31.560	Wh/d
4701	4.110	4.110	8.220	8.220	24.650	24.650	Wh/d
FfE	4.100	4.100	8.280	8.280	33.140	33.140	Wh/d
<b>Warmwasserverluste</b>							
18599	6.350	950	19.280	2.880	44.240	10.440	Wh/d
4701	2.490	190	3.680	380	8.350	1.150	Wh/d
FfE	2.900	100	7.370	320	26.660	860	Wh/d

**Tabelle 12-2:** Warmwassernutzenergie nach /DIN-02 07/ und DIN-01 07/

	Warmwassernutzenergie	
<b>18599</b>	EFH	12 kWh/m <sup>2</sup> a
	MFH	16 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>4701</b>		12,5 kWh/m <sup>2</sup> a

### 12.1.1 Einfamilienhaus

In **Abbildung 12-1** ist die normative Berechnungsmethodik für zentrale bzw. dezentrale WW-Versorgung im EFH den Ergebnissen der Simulation gegenübergestellt. Die Warmwassernutzenergie beträgt in den betrachteten Fällen etwa 4.000 Wh/d. Die Warmwasserverluste nach DIN V 18599 (18599) sind im zentralen (bzw. dezentralen) System um etwa die Hälfte höher als durch die Berechnung nach DIN 4701 (4701) und den Ergebnissen der Simulation der FfE GmbH. Es errechnet sich ein Warmwasserbedarf für ein zentrales System nach DIN V 18599 von etwa 10.000 (dezentral: ca. 4.900) Wh/d, nach DIN 4701 von etwa 6.600 (ca. 4.300) Wh/d und nach FfE GmbH (FfE) von etwa 7.000 (ca. 4.200) Wh/d.



**Abbildung 12-1:** Vergleich der normativen Berechnungsmethodik für eine zentrale (links) bzw. dezentrale (rechts) Warmwasserversorgung im EFH mit den Ergebnissen der Simulation der FfE GmbH

### 12.1.2 Dreifamilienhaus

Die normative Berechnungsmethodik für zentrale bzw. dezentrale WW-Versorgung im 3FH wird in **Abbildung 12-2** mit den Ergebnissen der Simulation verglichen. Die Warmwassernutzenergie der zentralen Variante beträgt nach Berechnung nach DIN 4701 und nach der Simulation etwa 8.200 Wh/d. Auf Basis der DIN V 18599 betragen die Warmwassernutzenergie etwa 10.500 Wh/d und die WW-Verluste etwa 19.280 Wh/d. Die WW-Verluste bei den anderen beiden Berechnungsmethoden ergeben etwa 3.680 Wh/d (DIN 4701) und 7.370 Wh/d (FfE GmbH). Die Ergebnisse der dezentralen WW-Versorgung der betrachteten Fälle verhalten sich ähnlich.

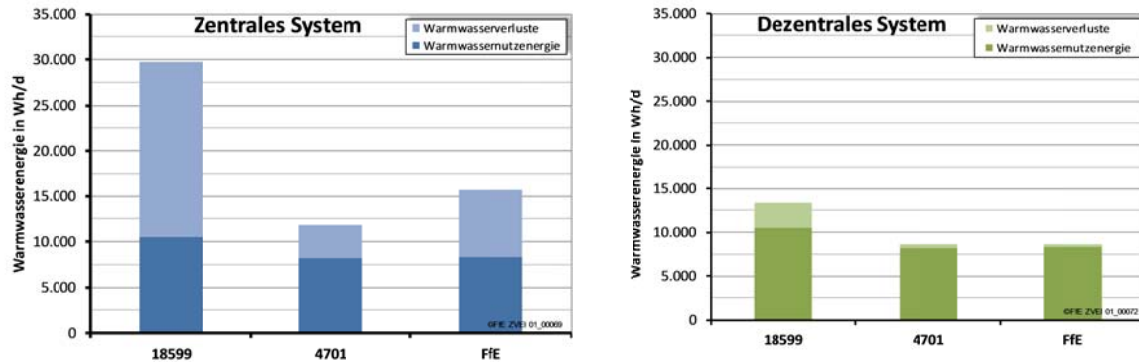


Abbildung 12-2: Vergleich der normativen Berechnungsmethodik für eine zentrale (links) bzw. dezentrale (rechts) Warmwasserversorgung im 3FH mit den Ergebnissen der Simulation der FfE GmbH

### 12.1.3 12-Familienhaus

In **Abbildung 12-3** ist die normative Berechnungsmethodik für zentrale bzw. dezentrale WW-Versorgung im 12FH den Ergebnissen der Simulation gegenübergestellt. Die Warmwassernutzenergie beträgt 31.560 Wh/d (DIN V 18599), 24.650 Wh/d (DIN 4701) und 33.140 Wh/d (FfE GmbH). Die Warmwasserverluste nach DIN V 18599 sind im zentralen System um den Faktor 5,2 bzw. den Faktor 1,7 höher als durch die Berechnung nach DIN 4701 und den Ergebnissen der Simulation der FfE GmbH. Es errechnet sich ein Warmwasserbedarf für ein zentrales (bzw. dezentrales) Systems nach DIN V 18599 von etwa 75.800 (42.000) Wh/d, nach DIN 4701 von etwa 33.000 (25.800) Wh/d und nach FfE GmbH von etwa 59.800 (34.000) Wh/d.

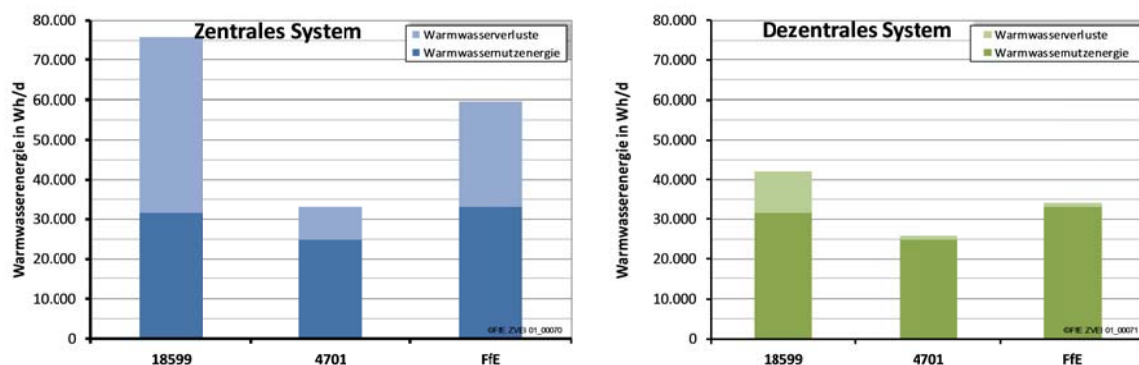


Abbildung 12-3: Vergleich der normativen Berechnungsmethodik für eine zentrale (links) bzw. dezentrale (rechts) Warmwasserversorgung im 12FH mit den Ergebnissen der Simulation der FfE GmbH

## 12.2 Unzulänglichkeiten

Im Folgenden werden Unzulänglichkeiten in den aktuellen Normen aufgezeigt und Möglichkeiten zur Problembehandlung vorgeschlagen.

Die Werte für die WW-Nutzenergie werden nach /DIN-01 07/ und nach /DIN-02 07/ auf die beheizte Wohnfläche bezogen. Der Richtwert für ein EFH beträgt nach /DIN-01 07/ 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) für ein EFH und 16 kWh/(m<sup>2</sup>a) für ein MFH.

In **Tabelle 12-3** ist die Berechnung der WW-Nutzenergie nach /DIN-01 07/ dargestellt. Für ein EFH mit einer Fläche von 120 m<sup>2</sup> errechnet sich eine jährliche WW-Nutzenergie von 1.440 kWh und für ein MFH (80 m<sup>2</sup>) von 1.280 kWh.

**Tabelle 12-3:** Berechnung der WW-Nutzenergie /DIN-01 07/

Eingangsparameter	
WW-Nutzenergie (EFH)	12 kWh/(m <sup>2</sup> a)
WW-Nutzenergie (MFH)	16 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Fläche (EFH)	120 m <sup>2</sup>
Fläche (MFH)	80 m <sup>2</sup>
Ergebnis	
WW-Nutzenergie (EFH)	1.440 kWh/a
WW-Nutzenergie (MFH)	1.280 kWh/a

**Tabelle 12-4** zeigt eine beispielhafte Berechnung der WW-Nutzenergie für ein EFH und ein MFH mit unterschiedlichen Bewohnerzahlen. Hierbei wird die Problematik des flächenabhängigen Ansatzes deutlich. In einem EFH mit zwei Nutzern beträgt die Wärmemenge 720 kWh/Nutzer, wobei sich bei vier Bewohnern eine Nutzenergie für den Einzelnen von 360 kWh ergibt. Analog zeigt sich dies im MFH.

**Tabelle 12-4:** Beispielhafte Berechnung des WW-Nutzenergie nach /DIN-01 10/

	2 Nutzer	3 Nutzer	4 Nutzer
WW-Nutzenergie (EFH) in kWh/(Nutzer·a)	720	480	360
WW-Nutzenergie (MFH) in kWh/(Nutzer·a)	640	427	320

Die Berechnung der Warmwasserenergie muss personenbezogen erfolgen, da die Fläche eines Gebäudes keinen Einfluss auf die nötige Energiemenge an Warmwasser hat. Hierbei besteht die Möglichkeit, auf Basis genormter Zapfprofile, verschiedene Einflüsse miteinzubeziehen. So ergeben sich beispielsweise durch effiziente Spararmaturen mit geringem Durchfluss niedrige Verbräuche, während beim Einsatz von Regenduschen ein deutlich erhöhter Warmwasserbedarf entsteht.

### 12.2.1 Anlaufverluste

In den oben genannten Normen sind die Verluste durch ungenutzt auslaufendes warmes Trinkwasser bereits im Trinkwasser-Endbedarf berücksichtigt. Die Verluste werden mit 0 kWh/Monat beziffert.

Wie bereits Kapitel 7 und /MUE-01 07/ zeigen, ergeben sich abhängig von der Länge der Verteil- und Stichleitungen Anlaufverluste in einem WW-Versorgungssystem. Die Anlaufverluste bestehen aus den Wärmeverlusten für das ungenutzt ablaufende und ausgekühlte Wasser bis die gewünschte Temperatur an der Zapfstelle zur Verfügung steht. Bei Durchlauferhitzern sind die Anlaufverluste sehr gering, da sich die Warmwasserbereiter unmittelbar vor der Zapfstelle befinden und die Anschlussleitung sehr kurz ist.

### 12.2.2 Verteilverluste

Zur Berechnung der Verteilverluste und Verlusten in den Stichleitungen eines zentralen und dezentralen WW-Systems wird nach DIN V 18599 eine „tägliche Nutzungsdauer“ von 24 Stunden zugrunde gelegt. Durch diese Annahme werden diese Wärmeverluste zu hoch berechnet und somit ein zu hoher Warmwasserbedarf prognostiziert. Die Leitungen werden allerdings nur während den Zapffolgen mit der gewünschten Warmwassertemperatur durchflossen. Hierbei sollte die Berechnung auf den getätigten Zapfungen und somit den jeweiligen Zapfdauern beruhen.

### 12.2.3 Unterscheidung dezentraler und zentraler WW-Versorgung

Bei der Betrachtung eines zentralen bzw. dezentralen Anlagensystems ergeben sich unterschiedliche Peripheriegeräte und Rohrleitungsnetze. In den Normen wird zwischen der Zulufttemperatur im dezentralen und zentralen Fall nicht unterschieden. Es wird von einer durchschnittlichen Temperatur von 20 °C ausgegangen. In dieser Studie erfolgt die Erzeugung der Energie für Warmwasser im Fall einer zentralen WW-Bereitung im Keller und somit nah an der Zuleitung des Kaltwassers in das Gebäude. Hierbei ist von einer Kaltwasserzulufttemperatur von etwa 10 °C auszugehen. Bei dezentraler Variante verläuft das Kaltwasserrohr in dem Gebäude bis zu dem jeweiligen elektronischen Durchlauferhitzer, wodurch sich das kalte Wasser an die Umgebungstemperatur des Mauerwerks anpasst.

### 12.2.4 Zirkulationssystem

Die tägliche Laufzeit  $z$  (in h) der Zirkulationspumpe ist in der Vornorm abhängig von gebäudetechnischen Daten angegeben:

$$z = 10 + \frac{1}{0,07 + \frac{50}{0,32 \cdot L_G \cdot B_G \cdot n_G \cdot h_G}}$$

Mit:  $L_G$ : Länge des Gebäudes  
 $B_G$ : Breite des Gebäudes  
 $n_G$ : Anzahl beheizter Geschosse  
 $h_G$ : Geschosshöhe

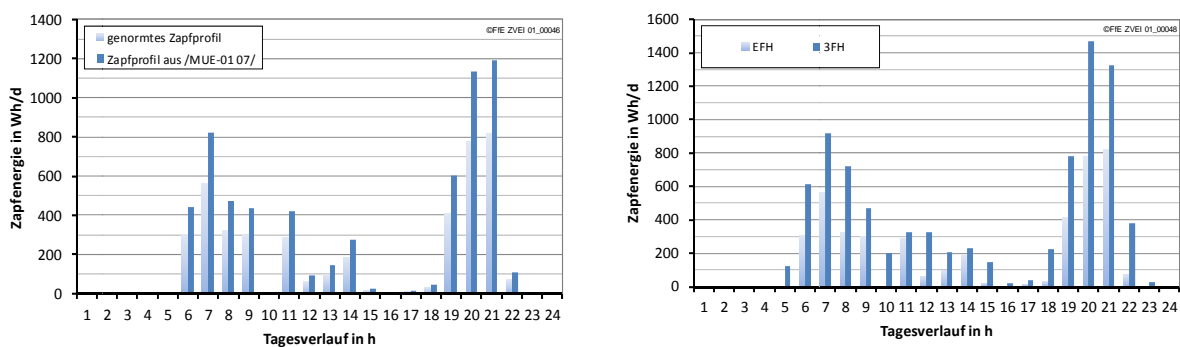
Die Berechnung der Laufzeit der Zirkulationspumpe sollte nicht abhängig von Gebäudetypen, sondern vom nutzerabhängigen Energiebedarf für Warmwasser sein. Die Funktionsweise einer Zirkulationspumpe im EFH nach Stand der Technik ist bereits in Kapitel 3 beschreiben. Hierbei wird bereits vor dem Zapfvorgang das Warmwassernetz aufgeheizt, um bei Bedarf die erwünschte Temperatur schneller zur Verfügung zu haben. Unter Einbezug der zeitlich über den Tag verteilten Zapfungen kann somit bedarfsgerecht Warmwasser bereitgestellt und unnötige Wärmeverluste vermieden werden.

## 13 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Projekt wurde die zentrale WW-Versorgung durch Öl- bzw. Gasbrennwertkessel mit der dezentralen WW-Bereitung durch elektronische Durchlauferhitzer in bestehenden Wohngebäuden verglichen. Ebenso wurde die Möglichkeit der solaren Nacherwärmung im dezentralen System bewertet. Für den Vergleich wurden ein Ein-, ein Drei- und ein Mehrfamilienhaus aus dem Jahr 1960 zugrunde gelegt. Im Jahr 2010 wird die installierte dezentrale WW-Versorgung mit hydraulischen Durchlauferhitzern nach EnEV 2009 saniert.

Um das tagestypabhängige Nutzerverhalten abzubilden, wurde als Basis für die Berechnung der Energieverluste ein Zapfprofil eines Werktages und eines Wochenend- bzw. Feiertages definiert. Die Basis für die weiteren Berechnungen stammt aus /MUE-01 07/ und wurde mit Werten aus der Literatur nach /REC-01 09/, sowie der Gesetzgebung nach /DIN-03 10/ und /DIN-02 10/ verknüpft. In **Abbildung 13-1** (links) sind die gemessenen (dunkel) und die genormten (hell) Zapfprofile im EFH eines Werktages dargestellt. Die genormten Energiemengen zur Erwärmung des Wassers liegen aufgrund gesetzlicher Vorgaben und beschränkter Durchflussmengen der Armaturen unter den praktischen Erfahrungswerten aus /MUE-01 07/.

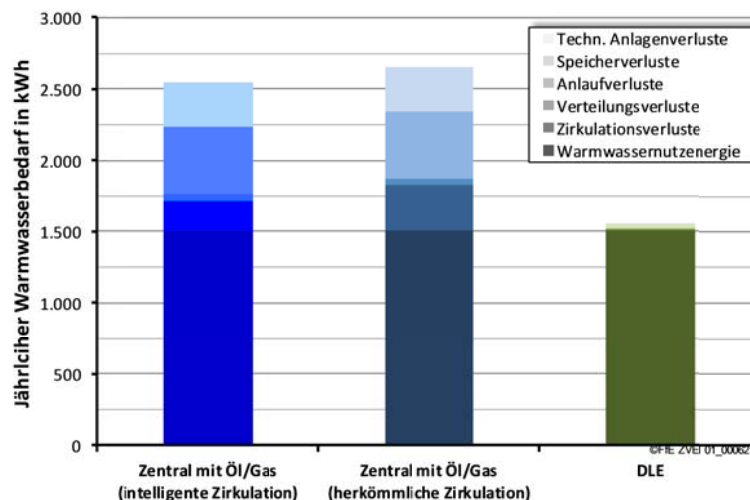
Die **Abbildung 13-1** (rechts) zeigt zudem das Zapfprofil eines EFH und eines 3FH an einem Werktag. Zur Darstellung des Zapfprofils eines MFH wurden die stündlichen Energiemengen unter Vorgabe eines Gleichzeitigkeitsfaktors durch eine mathematische Funktion generiert und somit die Zapfenergiespitzen abgeflacht und auf die angrenzenden Stunden aufgeteilt. Dadurch werden sowohl die zeitliche Verschiebung, als auch die Menge der jeweiligen Zapfungen an den verschiedenen Zapfstellen in den einzelnen Wohnungen berücksichtigt.



**Abbildung 13-1:** Darstellung der zeitabhängigen Zapfenergie im EFH bzw. 3FH am Werktag

Auf Grundlage der dargestellten Zapfprofile konnten anschließend die Wärmeverluste in der zentralen WW-Bereitung berechnet werden. Diese Studie zeigt, dass in einer zentralen WW-Bereitung mit intelligenter Zirkulation, ausgehend vom Nutzereinfluss und vom Warmwasserenergiebedarf Verluste von etwa 41 % (herkömmliche Zirkulation: ca. 43 %) im EFH, etwa 47 % (ca. 53 %) im 3FH und etwa 45 % (ca. 46 %) im 12FH auftreten. Durch den Einsatz von elektronischen Durchlauferhitzern kann ein hohes Einsparpotential hinsichtlich des Energieverbrauchs abgeleitet werden. Die

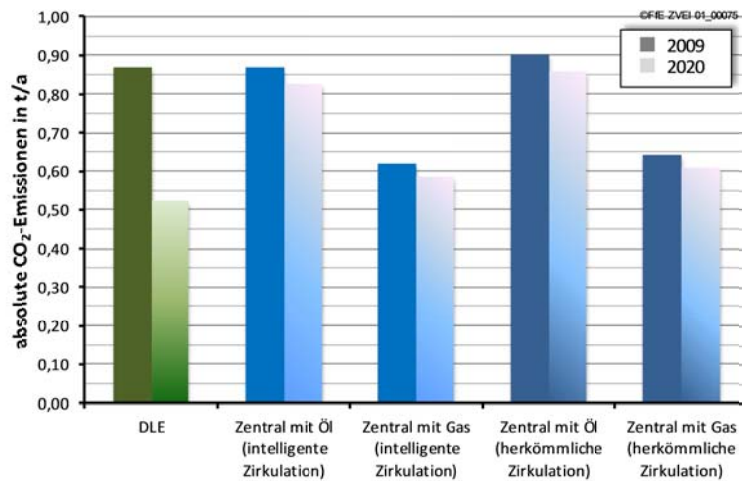
**Abbildung 13-2** zeigt den Vergleich der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH. Während die Verluste in einem zentralen System mit intelligenter Zirkulation etwa 1.000 kWh/a (1.150 kWh/a; herkömmlich) betragen, ergeben sich bei dezentraler Ausführung etwa 50 kWh/a.



**Abbildung 13-2:** Vergleich der Warmwassernutzenergie und der einzelnen Verlustarten bei dezentraler und zentraler Warmwasserversorgung im EFH

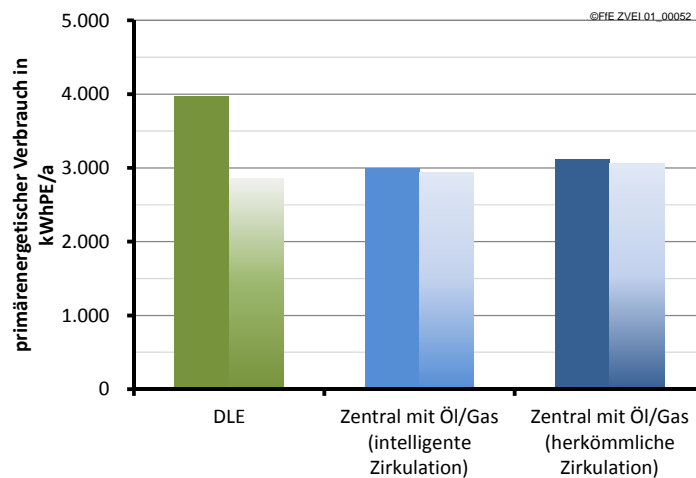
Aus ökologischer Sicht ist ein Ersatz durch ein dezentrales System mit zunehmendem erneuerbaren Stromanteil anzuraten. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der mit dem Betrieb eines WW-Versorgungssystem verbundene Einsatz von Primärenergie wurden auf Basis der ermittelten Stromerzeugungsstruktur quantifiziert. Um der zukünftigen Entwicklung des Primärenergiebedarfs Rechnung zu tragen, wurde neben dem Jahr 2009 auch das Jahr 2020 betrachtet. Der Primärenergiefaktor (nur fossiler Einsatz) beträgt demnach im Jahr 2009 2,55 kWh<sub>PE</sub>/kWh. Dabei treten spezifische Emissionen inkl. Vorkette von 553 g CO<sub>2</sub>/kWh durch die Erzeugung von Strom auf.

Aufgrund des veränderten Strom-Mixes sinkt der Primärenergiefaktor im Jahr 2020 auf 1,84 kWh<sub>PE</sub>/kWh (nur fossiler Einsatz) und die spezifischen Emissionen inkl. Vorkette um etwa 40 % auf 335 g CO<sub>2</sub>/kWh. Durch die Bereitstellung von Warmwasser mit elektronischen Durchlauferhitzern ergeben die Berechnungen für das Referenzjahr 2020 eine deutliche Minimierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 % gegenüber dem Jahr 2009. In **Abbildung 13-3** ist zu erkennen, dass die dezentrale Variante im EFH mit 0,52 g CO<sub>2</sub>/kWh im Referenzjahr 2020 die geringsten absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist.



**Abbildung 13-3:** Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen eines EFH

In **Abbildung 13-4** ist der primärenergetische Verbrauch der WW-Versorgung eines EFH dargestellt. Es ergibt sich ein jährlicher Primärenergieverbrauch (PEV) für die dezentrale Erzeugung von Warmwasser mit elektronischen Durchlauferhitzern von ca. 4.000 kWh<sub>PE</sub> im Jahr 2009 und durch einen geringeren Primärenergiefaktor von 1,84 kWh<sub>PE</sub>/kWh von ca. 2.900 kWh<sub>PE</sub> im Jahr 2020. Ein zentrales System benötigt im Jahr 2009 etwa 3.000 kWh<sub>PE</sub>. Der primärenergetische Verbrauch in einem dezentralen WW-Versorgungssystem eines 3FH und eines 12FH sinkt in dem Betrachtungszeitraum unter das Niveau eines zentralen Systems. (vgl. **Abbildung 10-11** und **Abbildung 10-12**)



**Abbildung 13-4:** Primärenergetischer Verbrauch der WW-Versorgung eines EFH

Abschließend wurden die unterschiedlichen Varianten zur Bereitstellung von Warmwasser aus ökonomischer Sicht unter Einbezug des Barwerts der Zahlungen und der diskontierten Zahlungsflüsse über einen Zeitraum von 15 Jahren miteinander verglichen. Aufgrund der hohen Investitionskosten für elektronische Durchlauferhitzer und den verhältnismäßig geringen Energiepreisen für Öl bzw. Gas gegenüber Strom ist heute noch das zentrale System für 12FH günstiger, als die dezentrale Lösung. In einem EFH und dem eingangs dargestellten 3FH (siehe **Abbildung 13-5**) ist die dezentrale Variante über den Betrachtungszeitraum von 15 Jahren ökonomischer.

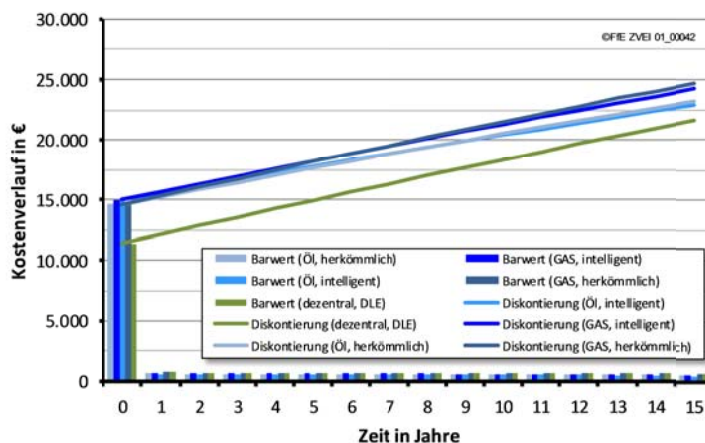


Abbildung 13-5: Barwerte und diskontierte Zahlungsflüsse (3FH)

Besonders sinnvoll ist der Betrieb von elektronischen Warmwasserbereitern mit einem steigenden Anteil an Ökostrom. Das Konzept der Solaren Nacherwärmung bietet hohe Energie- und Kosteneinsparungen. Im EFH werden mit diesem System 80 % der Energiemenge durch die solarthermische Anlage zur Verfügung gestellt, damit müssen die installierten elektronischen Durchlauferhitzer nur noch 20 % des Energiebedarfs decken. Im 3FH beträgt der Deckungsgrad durch die solare Strahlungsenergie 81 % und im 12FH 77 %.

Des Weiteren ergeben sich Vorteile durch den Einbau einer dezentralen WW-Bereitstellung im Wohn- und Mietwesen für Mieter sowie Vermieter. Während bei Einbau einer zentralen WW-Versorgung das komplette Gebäude für den Zeitraum der Sanierung unbewohnbar ist, werden durch die Möglichkeit der wohnungsweisen Sanierung durch die Installation eines dezentralen Systems Mieteinbußen der Vermieter vermieden. Zudem hat die dezentrale Lösung den Vorteil, dass in Mietwohnungen die Abrechnung für die Bereitstellung von Warmwasser dezentral über den Stromzähler in jeder Wohnung bedarfsgerecht erfolgt. Somit zahlt der Mieter bei einer dezentralen WW-Bereitung nur die wohnungsspezifische Energie für die Erzeugung der benötigten Warmwassermenge und nicht für die Wärmeverluste, die beim Transport von der Erzeugerzentrale zur jeweiligen Wohnung auftreten.

Durch die Integration einer dezentralen WW-Bereitung beim Neubau von Wohngebäuden kann der nach EnEV 2009 geforderte Primärenergieverbrauch im Hinblick auf den zukünftigen Strom-Mix deutlich gesenkt werden. Hier besteht die Möglichkeit die elektronischen Durchlauferhitzer in Kombination mit innovativen Technologien wie Wärmepumpe oder einer solartechnischen Anlage einzusetzen.

Die dezentrale WW-Versorgung durch elektronische Durchlauferhitzer stellt ein System mit hoher Effizienz und hohem Energieeinsparpotential dar. Zudem werden durch den veränderten Kraftwerkspark im Jahr 2020 aufgrund des steigenden Anteils an Erneuerbarer Energie und einem sinkenden Primärenergiefaktor die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei dezentraler Erzeugung von Warmwasser weiter minimiert.

## Literaturverzeichnis

- IEKP-01 07 Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung IEKP. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), 2007
- ENEV-01 09 Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Berlin: Bundesrepublik Deutschland, 2009
- BMU-11 08 Wärme aus erneuerbaren Energien-Was bringt das neue Wärmege-  
setz? Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Re-  
aktorsicherheit (BMU), 2008
- STIE-01 10 [http://www.stiebel-eltron.de/warmwasser/produkte/durchlauferhit-  
zer/vollelektronisch-geregelte-durchlauferhitzer/](http://www.stiebel-eltron.de/warmwasser/produkte/durchlauferhit-<br/>zer/vollelektronisch-geregelte-durchlauferhitzer/)
- DIN-01 07 DIN V 18599-Energetische Bewertung von Gebäuden-Berechnung  
des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung,  
Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Berlin: DIN Deut-  
sches Institut für Normung e.V., 2007
- DIN-02 07 DIN 4701-Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer  
Anlagen: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2003
- DIN-01 10 DIN EN 806-Technische Regeln für Trinkwasser-Installation; Ber-  
lin; DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; 2001
- IKARUS-01 03 IKARUS-Datenbank Vers. 4.1. Eggenstein-Leopoldshafen: Fachin-  
formationszentrum Karlsruhe GmbH, 2003
- DIN-02 10 DIN 4708-Zentrale Wassererwärmungsanlagen; Berlin; DIN Deut-  
sches Institut für Normung e.V., 1994
- DIN-03 10 prEN 50193; Electrical instantaneous water heaters-Efficiency and  
Performance for multifunctional electric instantaneous water heat-  
ers; 2010
- WILO-01 10 WILO Produktkatalog; Dortmund; 2009;
- DVGW-01 10 DVGW Regelwerk, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches  
e.V. DVGW Arbeitsblatt W551, Technische Maßnahmen zur Ver-  
meidung des Legionellenwachstums. Planung, Errichtung, Betrieb  
und Sanierung von Trinkwasser-Installation, 2004

- MUE-01 07 Mühlbacher, H.: Verbrauchsverhalten von Wärmeezeugern bei dynamisch variierten Lasten und Übertragungskomponenten. Dissertation. München: TU München, 2007
- REC-01 09 Schramek, Ernst-Rudolf; Sprenger, Eberhard; Recknagel, Hermann: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 09/10. München: Oldenburg Industrieverlag GmbH, 2009
- GEM-01 10 Öko-Institut für angewandte Ökologie: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) Version 4.6
- AGEB-01 10 AG-Energiebilanzen: Auswertungstabellen zur Energiebilanz 2009. Stand 4.08.2010 [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)
- EEX-01 10 Strom Spotmarktpreise in: <http://www.eex.com/de/>. Leipzig: European Energy Exchange AG (EEX), zuletzt aufgerufen am 15.07.2010
- ENTSOE-01 10 ENTSO-E: Country Data Packages – Germany. Stand 20.07.2010 [www.entsoe.eu](http://www.entsoe.eu)
- DLR-01 09 Nitsch, Joachim Dr.; Wenzel, Bernd Dr.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland - Leitszenario 2009. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2009
- IFE-01 10 Simulationsprogramm ifeon, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München.
- VIE-01 10 Fa. Viessmann: Preisliste 2008. Allendorf, Deutschland
- GIE-01 10 Fa. Gienger: Preiskatalog 2008. Deutschland
- ZVEI-01 10 Projekttreffen am 15.06.2010; Aussage von Herrn Dipl.-Ing. Koch (Fa. CLAGE)
- BKI-01 10 BKI Baukosten, Statistische Kostenkennwerte Altbau; Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern 2010, Stuttgart
- BMWI-01 10 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Energiedaten <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/energiedaten.html>
- UBA-03 10 Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009. Umweltbundesamt 2010, Dessau
- ZVEI-02 10 Telefonkonferenz vom 12.10.2010; Aussage von Herrn Dipl.-Ing. Koch (Fa. CLAGE)

- ZIRK24-01 11 technische Beschreibung der intelligenten Zirkulation,  
[http://www.umweltzentrum.de/index.php?option=com\\_content&task=view&id=1&Itemid=3](http://www.umweltzentrum.de/index.php?option=com_content&task=view&id=1&Itemid=3), Stand 02.03.11
- ZIRK24-02 11 Preisbeispiel der ZIRK 24, [http://www.haus-reha-pool.de/contents/de/d150\\_zirkomat.html](http://www.haus-reha-pool.de/contents/de/d150_zirkomat.html), Stand 02.03.11