

## **Wie sind zentrale Wärmeversorgungssysteme in hochgedämmten Gebäuden zu gestalten?**

### **- Ausführliches Skript -**

O. Mercker, O. Arnold, G. Rockendorf

Am Ohrberg 1, D-31860 Emmerthal

Tel.: +49 (0) 5151/999-645, Fax: +49 (0) 5151 999 400

E-Mail: MFH-re-Net@isfh.de

Internet: www.isfh.de

### **Einleitung**

Die in der Planung berechneten Energieeinsparungen durch das Dämmen von Gebäuden werden in der Praxis oft nicht realisiert. Die nach Norm ermittelten Heizlasten von Altbauten sind zum einen real meist geringer als erwartet, während zum anderen der gemessene Energiebedarf gedämmter Gebäude die Rechenwerte nach Energieeinsparverordnung (EnEV) häufig übersteigt [Sch09, Gre10]. Dies gilt sowohl für Gebäude in Deutschland als auch in anderen Staaten der EU [Maj13].

Als Ursachen zu geringer Energieeinsparungen durch Dämmmaßnahmen gelten sozio-ökonomische Aspekte. Wesentlich sind dabei gestiegene Komfortansprüche der Bewohner, die sich in höheren Raumsolltemperaturen bemerkbar machen und oft erst nach der Dämmung realisier- und finanzierbar sind. Ferner spielen auch rein technische Rebound-Effekte wie der zunehmende Anteil unregelter Gewinne (vor allem in Form von Wärmeverlusten der Verteilrohre) an der Energiebilanz der Gebäude eine wichtige Rolle [Gro10].

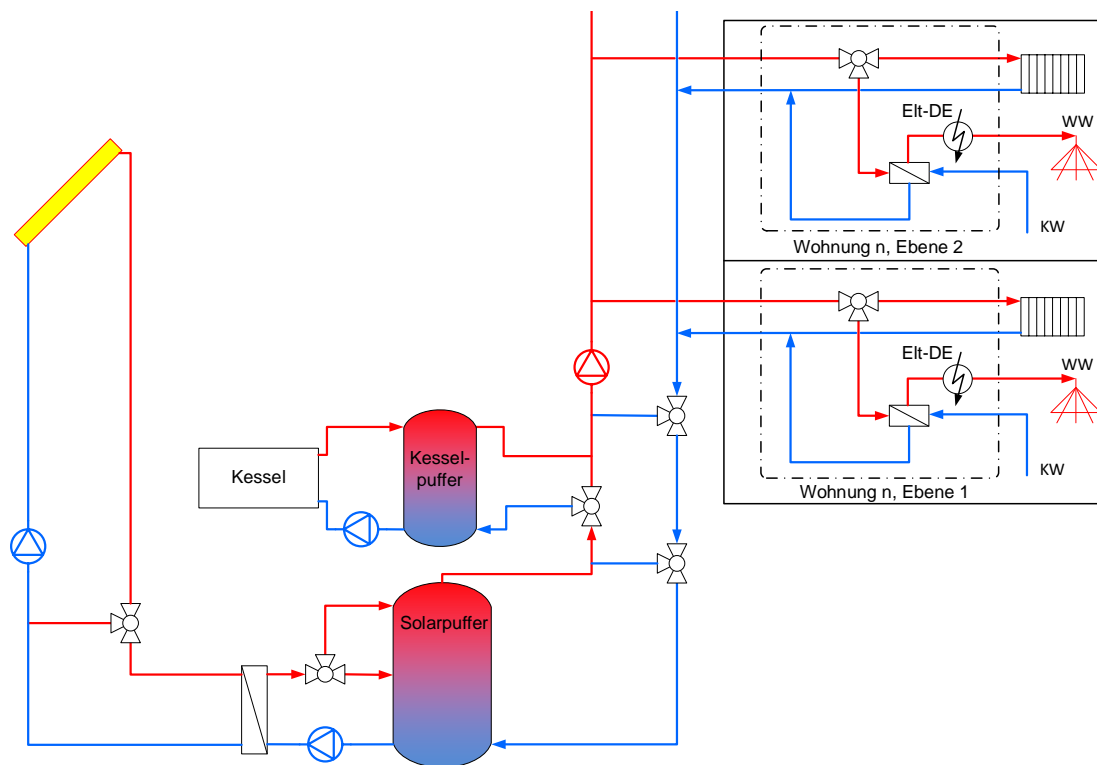
Hieran anknüpfend untersucht das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Projekt "Ansätze zur Reduktion der konventionell erzeugten Wärmeverteilverluste in solar unterstützten Mehrfamilienhäusern" (kurz: „MFH-re-Net“) verschiedene Wärmeverteilsysteme für ein typisches Mehrfamilienhaus (MFH) mit dem dynamischen Simulationswerkzeug TRNSYS. Ziel ist die Bewertung und Optimierung der Energieeffizienz der einzelnen Systeme, eine genaue Analyse der Verteilverluste hinsichtlich Auftreten, Nutzbarkeit und Möglichkeiten zur Reduzierung, sowie die Bestimmung einer sinnvollen Auslegung und Einbindung einer solarthermischen Anlage.

Die Solarthermieanlage soll neben der Trinkwarmwasserbereitung auch noch zur Heizungsunterstützung sowie zur Deckung der unvermeidbaren (dem jeweiligen Wärmeverteilkonzept immanenten) Wärmeverteilverluste beitragen. Die zu diesem Zweck simulierten Kollektorflächen gehen zum Teil erheblich (Faktor 4 bis 8) über die Vorgaben zur Dimensionierung nach der entsprechenden VDI Richtlinie 6002-1 hinaus und entsprechen somit Anlagengrößen wie sie in [Fin04] diskutiert werden.

## Randbedingungen

Gegenstand der Untersuchungen ist ein MFH, dessen Aufbau auf Grundlage von Statistiken [Sta12, Die10] als für Deutschland „typisch“ erachtet wird. Es weist 4 Etagen sowie 8 identisch aufgeteilte Wohnungen zu je 65 m<sup>2</sup> mit 5 Zimmern auf, die von jeweils 2 Personen belegt werden. Weiterhin verfügt das Gebäude über ein Flachdach, ein unbeheiztes Treppenhaus und einen unbeheizten Keller, der die Wärmezentrale des Versorgungssystems beinhaltet. Die Aufbauten der Wände des Gebäudes entsprechen typischen Fällen der 1960er Jahre [Log11, Den04, Böh99], mit einer nachträglich hinzugefügten EPS-Dämmung und modernen Fenstern, so dass sämtliche Vorgaben der EnEV 2016 eingehalten werden.

Ein zentraler Gas-Brennwertkessel im Keller sorgt für die Wärmebereitstellung für Raumheizung und Trinkwarmwasser. Dieser kann durch eine Solarthermieanlage mit einem zentralen, monovalenten Solarpuffer ergänzt werden. Die Wärmeabgabe erfolgt über Radiatorheizkörper, die Wärmeverteilung entweder über ein „klassisches“ Vierleiter- oder ein „modernes“ Zweileiternetz, welches in *Abbildung 1* dargestellt ist (siehe auch [Arn15]).



**Abbildung 1:** Schema des simulierten Zweileiternetzes mit Solarunterstützung

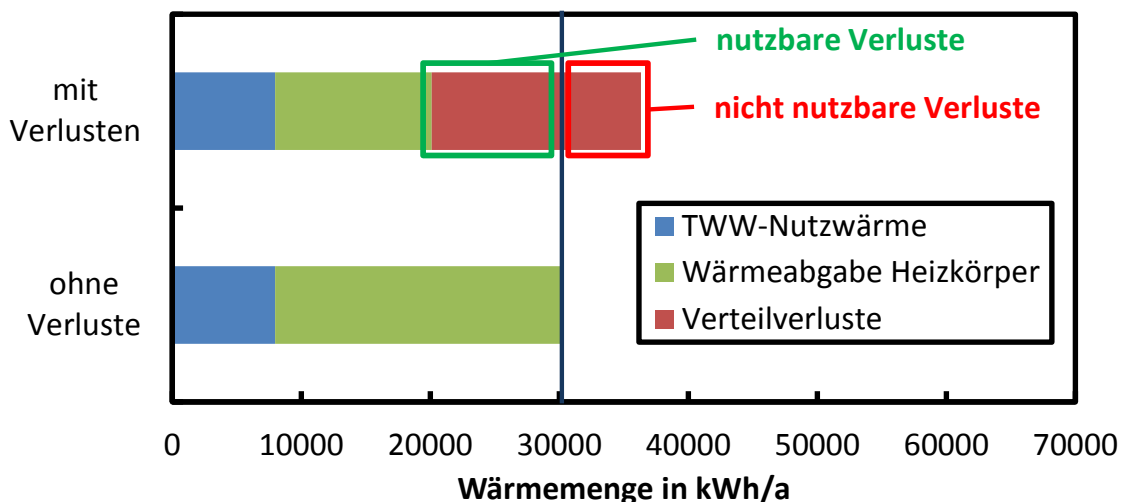
Die klimatischen Randbedingungen gibt der Meteonorm-Datensatz für den Standort Zürich aus dem Jahr 2003 als repräsentativ für gemäßigtes, mitteleuropäisches Klima vor [Str03, Hei07]. Die Außentemperatur beträgt im Jahresmittel 9,1 °C (Minimum: -9,7 °C; Maximum: 29,2 °C) und die Globalstrahlung beläuft sich auf 1087 kWh/(m<sup>2</sup> a). Der Heizwärmebedarf beläuft sich unter den genannten Randbedingungen auf 35 kWh/(m<sup>2</sup> a), bezogen auf die Gebäudenutzfläche nach EnEV.

Die Simulation dezentraler TWW-Bereitung erfordert wohnungswise Zapfprofile, die mit dem Programm *DHW-calc* auf Basis statistischer Verteilungen erzeugt wurden [Jor03], wobei in den einzelnen Wohnungen ähnliche, aber zeitlich verschobene Zapfprofile vorliegen. Der spezifische Energiebedarf zur TWW-Bereitung beträgt dabei 12,5 kWh/m<sup>2</sup> a (bezogen auf die Gebäudenutzfläche), die Nutztemperatur 45 °C. Daraus ergibt sich ein TWW-Bedarf von 55 l/d je Wohneinheit. Alle Simulationen werden mit TRNSYS (Version 17) durchgeführt.

## Verteilverluste

Die über die Rohre eines Wärmeverteilnetzes (für Heizung und Trinkwarmwasser) abgegebenen Wärmemengen werden als Verteilverluste bezeichnet. In einem Gebäude können diese, je nach Verlauf der Verteilungen, beispielsweise in den Wohnungen und Leitungsschächten sowie im Keller auftreten. Verteilverluste sind unregelte Gewinne, die bis zu einem gewissen vom Heizwärmebedarf abhängigen Anteil nutzbar sind.

Der Anteil der Verteilverluste, der die zur Erreichung der Raumsolltemperaturen im beheizten Bereich notwendige (geregelt) Wärmeabgabe der Heizkörper vermindert (bzw. substituiert), wird als **nutzbar** bezeichnet. Der **nicht nutzbare** Anteil trägt entweder nicht zur Substitution der Heizkörperwärme im beheizten Bereich bei, oder sorgt für eine Überschreitung der Solltemperatur, was zu höheren Transmissions- und Infiltrationswärmeverlusten führt. *Abbildung 2* veranschaulicht diese Einteilung.

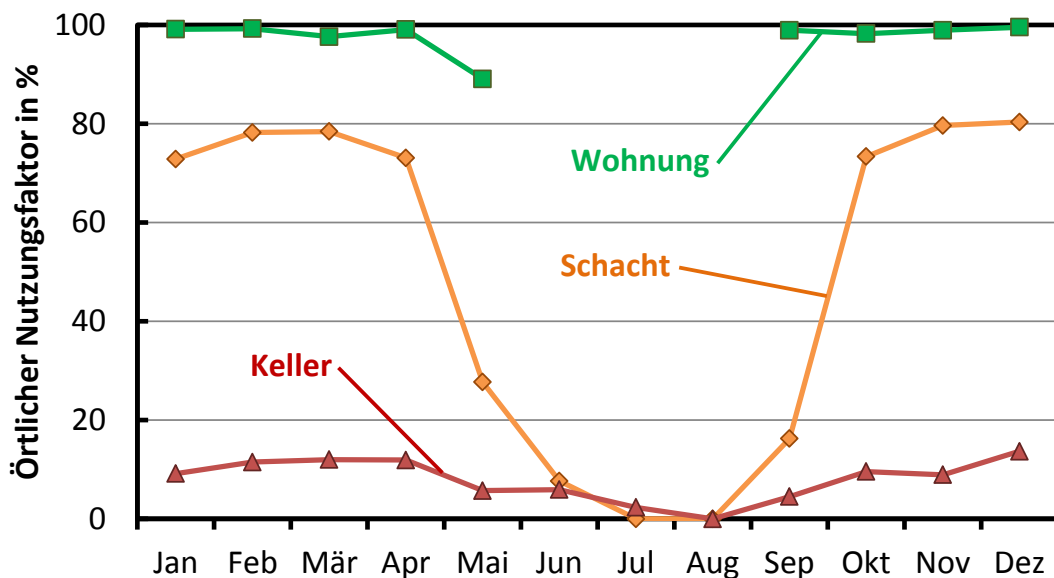


**Abbildung 2:** Jahreswärmebilanz des sanierten MFH mit und ohne Verteilverluste

In *Abbildung 2* sind die Jahreswärmeverbräuche des sanierten MFH dargestellt. Der untere Balken zeigt den Fall eines (idealen) Systems ohne Verteilverluste, bei dem nur nutzbare Wärmemengen auftreten. Der obere Balken zeigt ein System mit Verteilverlusten und ragt somit in Summe deutlich über den Referenzfall ohne Verteilverluste hinaus. Der Anteil der Verteilverluste an der Wärmebilanz beträgt in diesem Fall rund 43 %, von denen mit 5136 kWh/a rund 35 % nicht nutzbar sind.

Durch eine Optimierung des Wärmeverteilsystems, zum Beispiel durch den Einsatz eines Zwei- statt eines Vierleiternetzes oder durch die Senkung der Verteilnetztemperaturen (siehe hierzu [Mer15]), lassen sich daher in diesem Fall maximal 5136 kWh pro Jahr einsparen, was rund 15 % des gesamten Endenergieverbrauchs entspricht. Zusätzlich zur Reduktion von Verteilverlusten stellt deren regenerative Deckung einen weiteren Ansatz zur Steigerung der Wärmeversorgungseffizienz dar.

Das Verhältnis der nutzbaren zu den gesamten Verteilverlusten wird als Nutzungsfaktor bezeichnet. Die Quantifizierung der nutzbaren und der nicht nutzbaren Verteilverluste sowie des damit einhergehenden Nutzungsfaktors ist nur anhand von Simulationen möglich. Das Verfahren wird in [Arn15] ausführlich beschrieben. Die eben genannten Größen sind zudem zeitlich variabel und hängen im Wesentlichen von der Höhe der aktuellen Wärmelast des Gebäudes ab. Diese Last hängt von der Außentemperatur, der Solarstrahlung, den internen Gewinnen und dem Aufbau des Gebäudes ab.



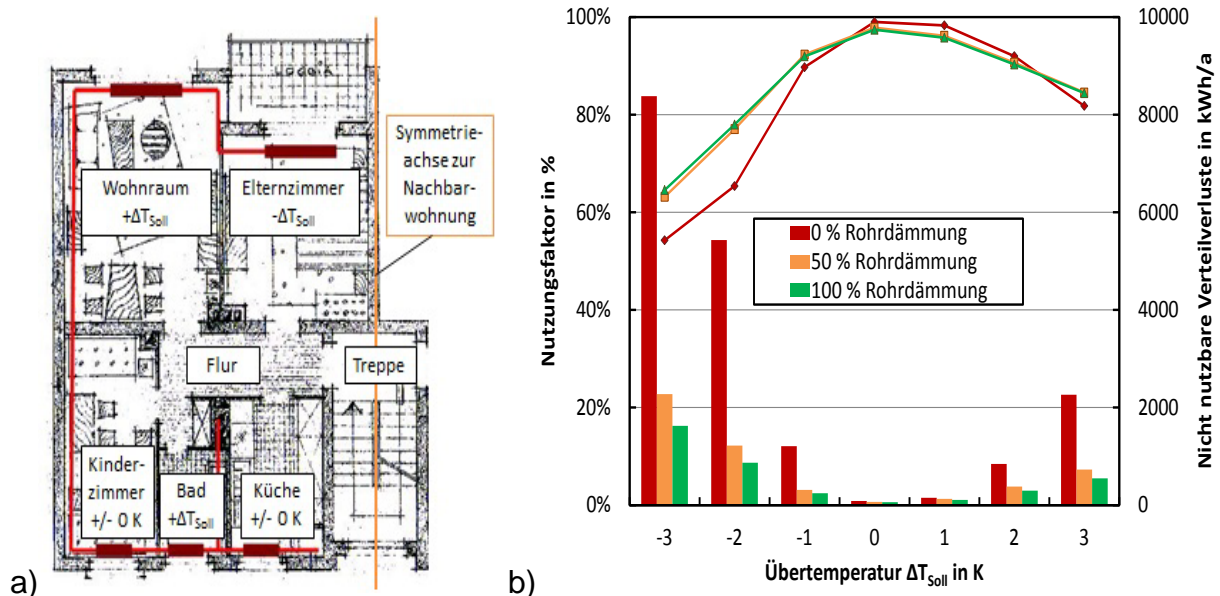
**Abbildung 3:** Jahresverlauf der Nutzungsfaktoren für Wohnung, Schacht und Keller

In der *Abbildung 3* sind nun die Jahresverläufe der Nutzungsfaktoren für die unterschiedlichen Bereiche des simulierten MFH dargestellt. Die Nutzbarkeit der Verteilverluste ist in den Wohnungen durchgängig sehr hoch (im Sommer nicht ermittelbar, da hier keine Verluste anfallen), im Keller sehr niedrig und im Schacht stark abhängig von der Jahreszeit. Der nutzbare Anteil der Verteilverluste in Schacht und Keller vermindert die Heizlast in den Wohnungen durch höhere Temperaturen der an die Wohnungen angrenzenden Wände. Der sommerliche Einbruch ist auf die fehlende Heizlast zurückzuführen.

Da ein Großteil der Verteilverluste in den Wohnungen anfällt, wird im Folgenden – abweichend vom Standardfall der gleichmäßig auf 20 °C temperierten Wohnungen – die Auswirkung einer ungleichmäßig beheizten Wohnung auf die Nutzbarkeit der Verteilverluste untersucht.

Zur Untersuchung der Auswirkungen einer raumweise verschiedenen Solltemperatur wird die in *Abbildung 4a* dargestellte Solltemperaturverteilung unterstellt. Dabei wird in einigen Räumen auf den Sockelwert der Raumsolltemperatur  $T_{\text{Soll}}$  von 20 °C eine Übertemperatur  $\Delta T_{\text{Soll}}$  aufgeschlagen, in anderen Räumen abgezogen, andere Räume bleiben unverändert. Durch die Variation der Übertemperatur von -3 K bis 3 K kann somit erreicht werden, dass einmal der Raum mit der höchsten Heizlast am Ende des Etagenringnetzes liegt (Elternzimmer auf 23 °C) und einmal der Raum mit der niedrigsten Last (Elternzimmer auf 17 °C).

In *Abbildung 4b* sind nun die örtlichen Nutzungsfaktoren (für die Wohnungen) über den Betrachtungszeitraum eines Jahres als Linien und die nicht nutzbaren Verteilverluste als Balken in Abhängigkeit der Übertemperatur  $\Delta T_{\text{Soll}}$  (also der Ungleichverteilung der Raumsolltemperaturen) für drei unterschiedliche Dämmstärken der Leitungen in den Wohnungen dargestellt. Der höchste Nutzungsfaktor lässt sich bei einer homogenen Raumsolltemperatur in den Wohnungen beobachten, wobei Werte über 95 % erreicht werden und die Verluste somit fast vollständig nutzbar sind.

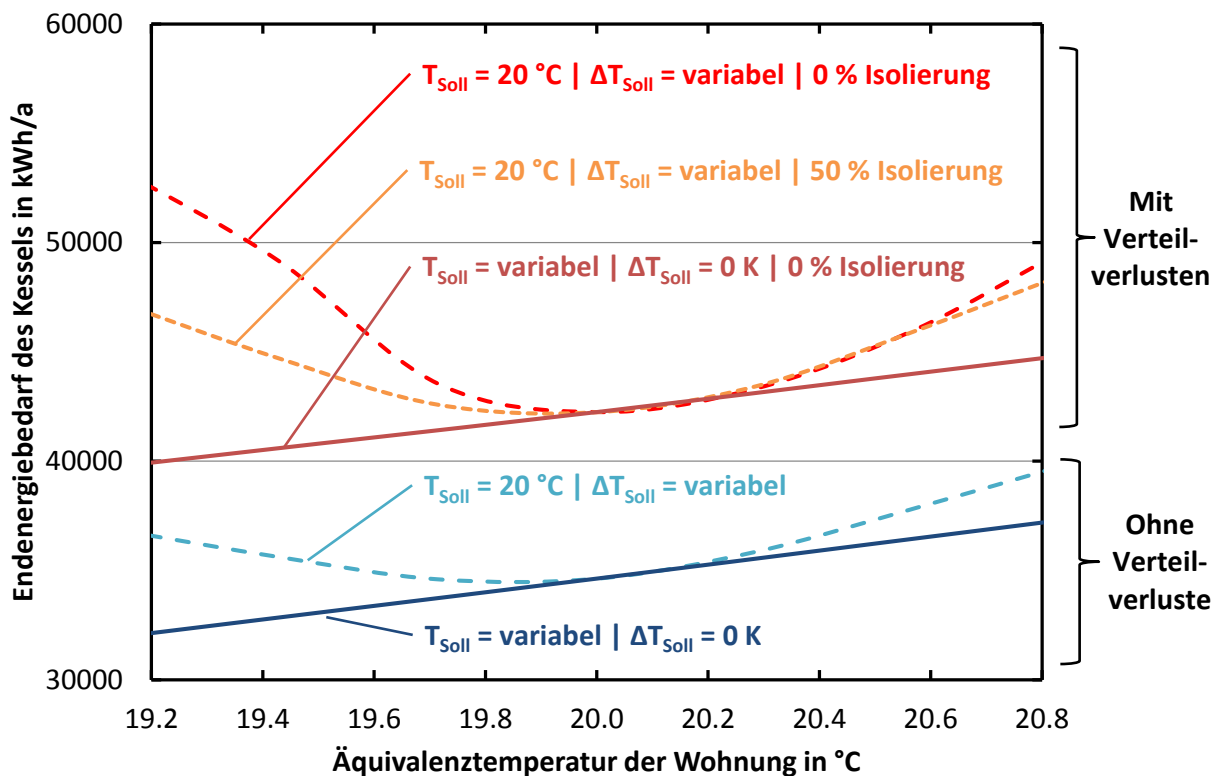


**Abbildung 4:** a) Verlauf der Heizungsrohre des simulierten Etagenringnetzes und Raumsolltemperaturverteilung; b) Örtliche Nutzungsfaktoren (in den Wohnungen) und nicht nutzbare Verteilverluste für unterschiedliche Rohrdämmstärken

Im Fall raumweise unterschiedlicher Solltemperaturen – was als ein realistisches Szenario (zum Beispiel bei einem kalten Schlafzimmer und einem warmen Wohnzimmer) angesehen wird – steigen die nicht nutzbaren Verteilverluste signifikant und der Nutzungsfaktor bricht ein. Unter diesen Umständen kann eine (gesetzlich nicht vorgeschriebene) Rohrdämmung innerhalb der Wohnung vorteilhaft sein, da sich die nicht nutzbaren Verteilverluste dadurch deutlich reduzieren lassen. Hierbei reicht eine geringe Dämmung (von 50 % nach EnEV) bereits aus, um einen Großteil des Einsparpotenzials zu erschließen.

Nachdem der Einfluss ungleicher Raumsolltemperaturen auf den örtlichen Nutzungsfaktor in den Wohnungen diskutiert wurde, werden im Folgenden die Auswirkungen auf das Gesamtgebäude analysiert. Hierfür wird der Einfluss der ungleichen Raumsolltemperaturen auf den Jahresenergiebedarf des Kessels in *Abbildung 5* und auf die Nutzbarkeit der gesamten Verteilverluste in *Abbildung 6* dargestellt. Neben den Simulationen mit ungleichen Raumsolltemperaturen sind zudem Simulationen mit homogenen Raumsolltemperaturen durchgeführt worden. Die Ergebnisse werden anhand der Äquivalenztemperatur<sup>1</sup> der Wohnungen verglichen. Für den Fall einer Übertemperatur von -3 K ergibt sich bei einer Sockeltemperatur von 20 °C eine Äquivalenztemperatur der Wohnung von ca. 19,2 °C, während eine Übertemperatur von +3 K mit einer Äquivalenztemperatur der Wohnung von ca. 20,8 °C verknüpft ist.

In der nachfolgenden *Abbildung 5* ist nun der Endenergiebedarf des Kessels für die Simulationen mit homogener<sup>2</sup> und inhomogener<sup>3</sup> Solltemperatur ohne und mit Verteilverlusten sowie für die Simulationen mit inhomogener Solltemperatur mit 50 % nach EnEV gedämmten Rohren in den Wohnungen dargestellt.



**Abbildung 5:** Einfluss einer inhomogenen Verteilung der Raumsolltemperaturen auf den Endenergiebedarf des Kessels

<sup>1</sup> Bei der Berechnung der Äquivalenztemperatur werden die einzelnen Raumsolltemperaturen (und nicht die sich einstellenden realen Raumtemperaturen) mit den Außenflächen der Räume gewichtet.

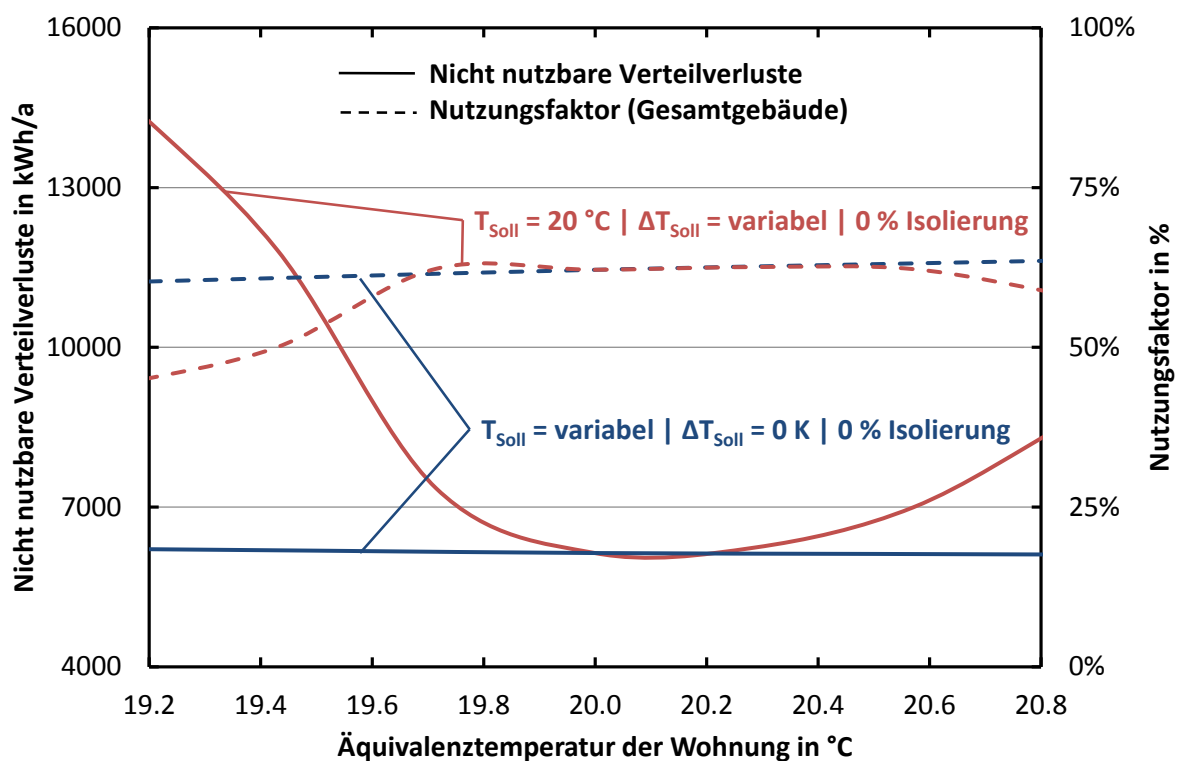
<sup>2</sup> Eine homogene Solltemperatur bedeutet, dass in jedem beheizten Raum die Solltemperatur  $T_{\text{Soll}}$  und die Übertemperatur  $\Delta T_{\text{Soll}} = 0 \text{ K}$  beträgt. In den Simulationen wird  $T_{\text{Soll}}$  von 19 °C bis 21 °C variiert.

<sup>3</sup> Eine inhomogene Solltemperatur bedeutet, dass in jedem beheizten Raum  $T_{\text{Soll}} = 20 \text{ °C}$  beträgt, jedoch eine Übertemperatur  $\Delta T_{\text{Soll}}$  gemäß *Abbildung 4a* hinzuaddiert wird. In den Simulationen wird dann die Übertemperatur  $\Delta T_{\text{Soll}}$  von -3 K bis +3 K variiert.

Die Differenz der Kurven mit und ohne Verteilverluste zeigt den Zusatzenergiebedarf des Kessels zur Deckung der nicht nutzbaren Verteilverluste im Fall der homogenen Temperatur bzw. der Temperaturzonierung. Diese zusätzliche Wärmeabgabe des Kessels beträgt bei einer homogenen Solltemperatur von 19,5 °C rund 7730 kWh (23,4% des Gesamtenergiebedarfs) und sinkt bis zu einer homogenen Raumsolltemperatur von 20,5 °C auf rund 7557 kWh ab (20,9 % des Gesamtenergiebedarfs). Die negative Auswirkung der Verteilverluste auf die Effizienz der Wärmeversorgung des MFH nimmt mit zunehmender Heizlast des Gebäudes leicht ab.

Ein Vergleich der Kurven mit homogenen und inhomogenen Solltemperaturen zeigt, dass inhomogene Solltemperaturen in jedem Fall zu einer nennenswerten Erhöhung der Wärmelieferung des Kessels führen. Während mit Verteilverlusten bei einer homogenen Solltemperatur von 19,2 °C etwa 40000 kWh Kesselenergie benötigt werden, sind im Falle inhomogener Solltemperatur mit rund 52500 kWh schon 31 % mehr erforderlich, wenn keine Rohrwärmedämmung in den Wohnungen verwendet wird. Eine leichte Dämmung der Rohre mit 50 % nach EnEV sorgt bei gleicher inhomogener Solltemperatur für eine Reduktion des Mehrenergiebedarfs des Kessels um etwa 5500 kWh, was 13,8 % des Gesamtbedarfs entspricht.

In *Abbildung 6* sind die nicht nutzbaren Verteilverluste und die Nutzungsfaktoren für das gesamte MFH der Simulationen mit homogener sowie inhomogener Solltemperatur ohne Dämmung der Rohre in den Wohnungen dargestellt. In den Simulationen mit inhomogener Solltemperatur sind die nicht nutzbaren Verluste deutlich höher und die Nutzungsfaktoren niedriger als bei homogener Solltemperatur.



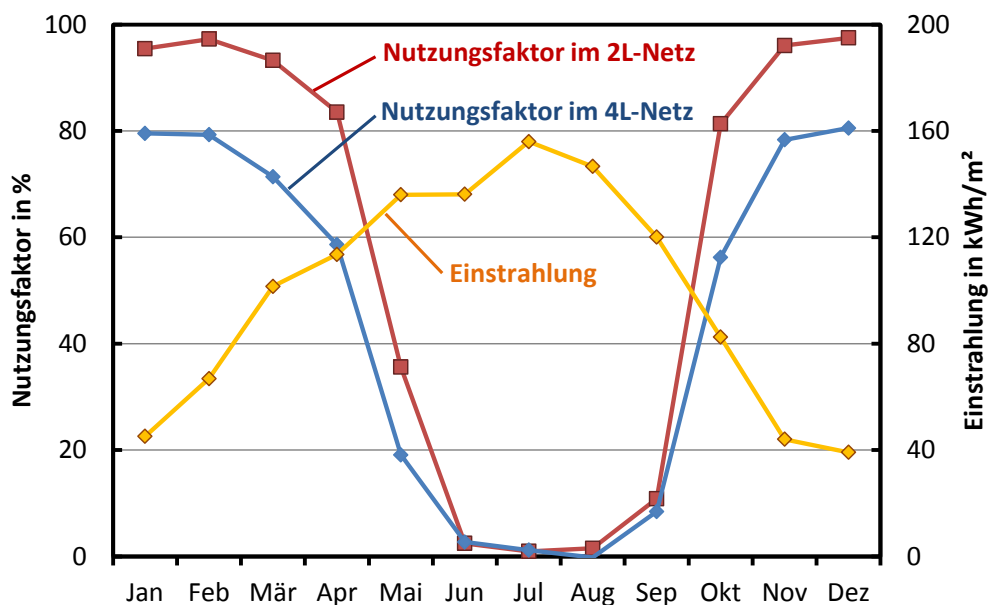
**Abbildung 6:** Einfluss einer inhomogenen Verteilung der Raumsolltemperaturen auf die nicht nutzbaren Verteilverluste und den Nutzungsfaktor für das Gesamtgebäude

Die eben dargestellten Ergebnisse konnten nur aufgrund des verwendeten Gebäude-modells gewonnen werden, welches eine raumweise Vorgabe von Solltemperaturen ermöglicht. Es wird gezeigt, dass inhomogene Raumsolltemperaturen einen starken Einfluss auf die Nutzbarkeit der Verteilverluste haben. Diese finden jedoch in aktuellen Normen und Richtlinien, wie beispielsweise in der DIN 4701, keine entsprechende Berücksichtigung, wodurch in diesen von einer zusätzlichen Überschätzung der Nutzbarkeit der Verteilverluste auszugehen ist.

In den folgenden Betrachtungen wird jedoch wieder von einer homogenen Solltemperatur ausgegangen, da die Vorgabe einer Ungleichverteilung willkürlich sein müsste und zudem die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen verringert, da in diesen homogene Solltemperaturen üblich sind. Unter Berücksichtigung des eben dargestellten Einflusses der in der Praxis häufig anzutreffenden inhomogenen Solltemperaturen sind die Ergebnisse von Simulationen mit einer homogenen Solltemperatur stets als „günstigster Fall“ zu betrachten, welcher die Nutzbarkeit der Verteilverluste über- und die Höhe der nicht nutzbaren Verteilverluste unterschätzt.

## Solarwärme und Verteilverluste

Die Nutzbarkeit der Verteilverluste weist einen stark jahreszeitabhängigen Verlauf auf, wie aus *Abbildung 7* hervorgeht. Dargestellt sind die Nutzungsfaktoren für das Vierleiternetz der vorigen Ausführungen sowie für ein Zweileiternetz. Da das letztere System das energetisch effizientere ist (siehe [Mer15]) und zudem spezielle Möglichkeiten zur Optimierung aufweist, beschränken sich die folgenden Betrachtungen auf das Zweileiternetz. Qualitativ stimmt der Jahresverlauf des Nutzungsfaktors für beide Netztypen überein, nur in der Heizperiode ist er im Vierleiternetz (wegen des zusätzlichen Leitungspaares für die Wärmeverteilung) niedriger.



**Abbildung 7:** Jahresverlauf von solarem Strahlungsangebot und Nutzungsfaktor bei einer homogenen Solltemperatur von 20 °C



Während der Wintermonate mit hohem Heizwärmebedarf können die Verteilverluste effektiv zu dessen Deckung beitragen, sodass hier hohe Nutzungsfaktoren vorliegen. Mit Wegfall des Heizwärmebedarfs in der Übergangszeit, können die Verteilverluste immer weniger genutzt werden, der Nutzungsfaktor fällt im Sommer fast auf null ab. In den Monaten Mai bis September fallen somit 67% der nicht nutzbaren Verteilverluste an.

Das solare Strahlungsangebot hingegen weist einen zum Nutzungsfaktor entgegengesetzten Verlauf auf, der in den Wintermonaten sein Minimum und im Sommer sein Maximum aufweist. Diese zeitliche Korrelation von Strahlungsangebot und dem Auftreten nicht nutzbarer Verteilverluste bietet ein großes Potential, um sonst fossil bereitzustellende Wärme einzusparen, indem die nicht nutzbaren Verluste möglichst vollständig solar gedeckt werden. Voraussetzung hierfür ist eine zu diesem Zweck passend ausgelegte Solaranlage.

### **Sinnvolle Auslegung der Solaranlage**

Für eine sommerliche Vermeidung fossil gedeckter Verteilverluste sollte die Solaranlage so dimensioniert werden, dass sie nicht nur den theoretischen Trinkwasserbedarf, sondern den gesamten sommerlichen Wärmebedarf inklusive der unvermeidbaren Verteilverluste deckt.

Ausgangspunkt der hier untersuchten Dimensionierungen ist die Auslegung nach der VDI Richtlinie 6002-1. Diese empfiehlt eine Auslegung auf die Deckung der sogenannten sommerlichen Schwachlast. Hierbei handelt es sich um den Warmwasserbedarf bei 60°C während der Zeit der niedrigsten Nachfrage in der sommerlichen Urlaubszeit. Hier wird der in der VDI Richtlinie 6002-1 empfohlene Wert von  $V_{D,60} = 22 \text{ l / (Person d)}$  zu Grunde gelegt. Die Kollektorfläche berechnet sich demnach wie folgt:

$$A_{KF} = \frac{V_{D,60}}{v_{ausl}}$$

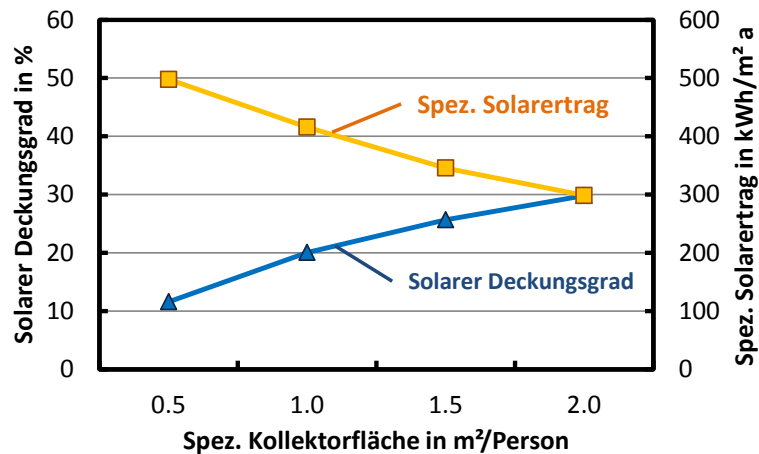
Für die wirtschaftlich sinnvolle Auslastung der Solaranlage gibt die VDI 6002-1 einen Bereich von  $v_{ausl} = 70 \dots 100 \text{ l / (m}^2 \text{ d)}$  an. Zudem können gemäß VDI 6002-1 optional auch Verteilverluste durch einen Aufschlag von 50 % auf den  $V_{D,60}$ -Wert berücksichtigt werden. Nach dieser Auslegung ergibt sich eine Kollektorfläche von 5 bis 8 m<sup>2</sup>. Im Folgenden gehen wir von der höchsten Kollektorfläche nach VDI aus (VDI x1 = 8 m<sup>2</sup> bzw. 0,5 m<sup>2</sup> pro Person).

Um die Sinnhaftigkeit auch großzügigerer Dimensionierungen zu untersuchen, wird diese Kollektorfläche mit den Faktoren 2, 3 und 4 belegt. Der Solarspeicher berechnet sich nach der Empfehlung in VDI 6002-1 über ein spezifisches Volumen von  $v_s = 50 \text{ l / m}^2$ . Es ergeben sich die in *Tabelle 1* aufgelisteten Anlagengrößen.

**Tabelle 1: Anlagengrößen bei unterschiedlicher Dimensionierung**

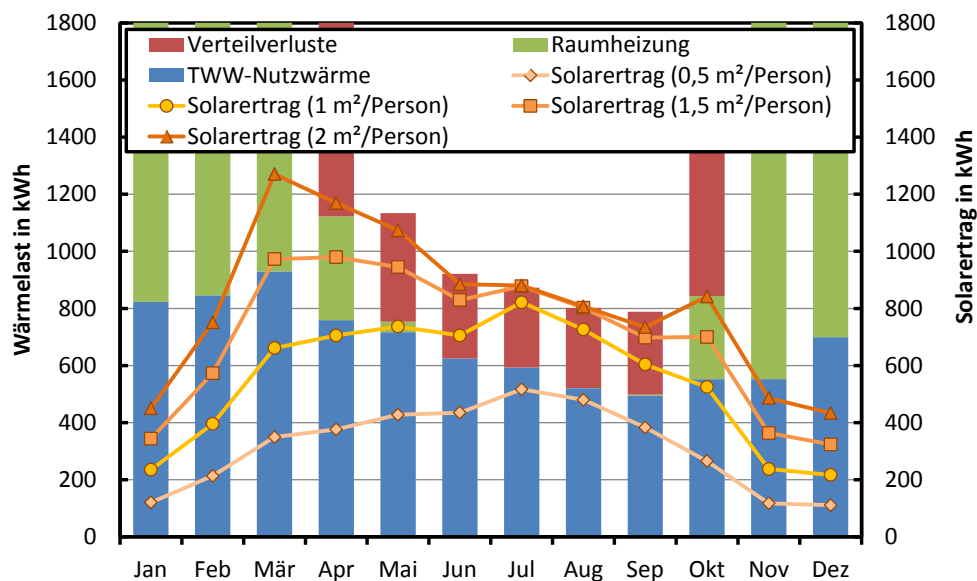
Auslegung nach	Kollektorfläche in m <sup>2</sup>	Kollektorfläche in m <sup>2</sup> /Person	Speichergröße in l
VDI x1	8	0,5	400
VDI x2	16	1	800
VDI x3	24	1,5	1200
VDI x4	32	2	1600

Abbildung 8 zeigt den spezifischen Solarertrag (als Wärmeaustrag aus dem Solarpeicher ins Verteilsystem) sowie den erreichten Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf für die obigen Anlagengrößen. Wie zu erkennen ist, sind mit großzügiger Dimensionierung hohe Deckungsanteile bis zu 30 % des Gesamtwärmebedarfs bei dennoch hohem spezifischen Solarertrag von über 300 kWh/(m<sup>2</sup> a) erreichbar.



**Abbildung 8: Deckungsgrad und Solarertrag für verschiedene Anlagengrößen**

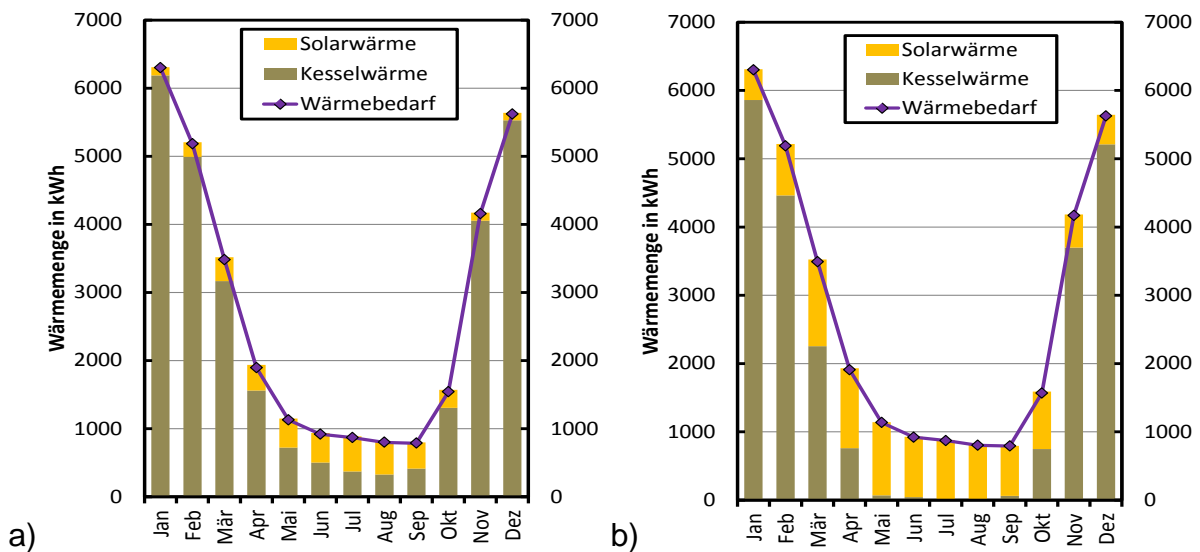
In Abbildung 9 sind die jahreszeitlichen Verläufe der absoluten Solarerträge vor dem Hintergrund des zu deckenden Wärmebedarfs dargestellt, welcher sich in TWW-Last, Heizlast und Verteilverluste aufteilt.



**Abbildung 9: Sommerliche Wärmedeckung für verschiedene Anlagengrößen**

Es ist zu erkennen, dass die nach VDI 6002-1 dimensionierte Anlage in keinem Monat den Gesamtwärmebedarf decken kann. Nur im August wird fast der reine TWW-Bedarf gedeckt, jedoch nicht die Verteilverluste, obwohl diese extra bei der Auslegung berücksichtigt worden sind. Mit zweifacher VDI-Dimensionierung wird eine deutliche Steigerung des Ertrags erreicht, jedoch keine sommerliche Volldeckung. Ab dreifacher VDI-Dimensionierung kann der Bedarf in Juli und August vollständig solar gedeckt werden, im Juni und September beinahe. Bei vierfacher VDI-Größe kann der Bedarf von Mai bis September fast vollständig solar gedeckt werden.

Abbildung 10 zeigt die Zusammensetzung der Wärmebereitstellung im Jahresverlauf, für die einfache und vierfache Dimensionierung nach VDI.



**Abbildung 10:** Monatliche Zusammensetzung der Wärmebereitstellung aus Kessel- und Solarwärme (Kollektorfläche links:  $0,5 \text{ m}^2/\text{Person}$  und rechts:  $2 \text{ m}^2/\text{Person}$ )

Bei der Simulation mit abgeschaltetem Kessel von Mai-September zeigt sich, dass im System nach vierfacher VDI-Auslegung mit einem Anteil von 99 % tatsächlich nahezu der gesamte Wärmebedarf in diesem Zeitraum solar gedeckt werden kann.

Der Vorteil dieser solaren Vollversorgung über die Sommermonate hinaus ist die solare Deckung von 67 % der im Jahresverlauf nicht nutzbaren Verteilverluste. Somit wird die Effizienz des Wärmeverteilsystems, gemessen an der Nutzbarkeit fossil erzeugter Wärme, deutlich gesteigert werden.

## Optimierung durch elektrisches Backup-System

Durch eine dezentrale TWW-Nacherwärmung mittels Elektrodurchlauferhitzern in den Wohnungsstationen eröffnet sich die Möglichkeit, den Kessel auch bei kleiner dimensionierten Solaranlagen in den Sommermonaten abzuschalten. Es zeigt sich, dass dadurch bei allen untersuchten Dimensionierungen im Zeitraum von Mai bis September – trotz abgeschalteten Kessels – eine durchgängige Versorgung ohne Komforteinbußen sichergestellt werden kann. *Tabelle 2* zeigt die Anteile, die Solarwärme und Elektrizität zur Deckung des Wärmebedarfs in diesem Zeitraum leisten.

**Tabelle 2:** Deckung des Wärmebedarfs bei Kesselpause von Mai bis September

<b>Auslegung</b>	<b>Anteil Solar in %</b>	<b>Anteil Strom in %</b>
1x VDI	70	30
2x VDI	91	9
3x VDI	97	3
4x VDI	99	1

Die Integration eines elektrischen Durchlauferhitzers in die Wohnungsstationen stellt somit eine einfache Maßnahme dar, durch sommerliche Kesselabschaltung im solar unterstützten Zweileiternetz den Anteil nicht nutzbarer Verteilverluste um zwei Drittel zu reduzieren. Im System mit 4-facher VDI-Auslegung könnte sogar auf den Durchlauferhitzer verzichtet werden, da dieser mit 63 kWh nur 1 % der sommerlichen Nutzwärme bereitstellen muss. Im System mit einfacher VDI-Auslegung muss er mit 1163 kWh immerhin 30 % der sommerlichen Nutzwärme bereitstellen, was aber auf den Jahreswärmebedarf betrachtet nur einen geringen Anteil von 4 % ausmacht.

### **Fazit und Ausblick**

Der Beitrag zeigt, dass Verteilverluste in MFH sehr bedeutsam sind. Die in Normen, wie der DIN 4701, angenommene hohe Nutzbarkeit von Verteilverlusten ist kritisch zu betrachten. Dies gilt besonders im beheizten Bereich von Gebäuden, in dem Verteilverluste häufig als weitgehend nutzbar angenommen werden. Eine nähere Betrachtung zeigt, dass dies zwar für die übliche Annahme von gleichmäßig beheizten Räumen gilt, jedoch nicht für ungleich beheizte Räume, wie sie oft in der Praxis auftreten. In diesem Fall können die nicht nutzbaren Verteilverluste, die im beheizten Bereich anfallen, signifikante Werte annehmen und eine leichte Dämmung der Heizungsleitungen innerhalb der Wohnung sinnvoll machen.

Die zeitliche Korrelation von Solarwärmeangebot und dem Anfall nicht nutzbarer Verluste ermöglicht es, durch die Einbindung einer Solarthermieanlage einen Großteil der unvermeidbaren, nicht nutzbaren Verteilverluste solar zu decken. Hierfür ist eine Dimensionierung der Solaranlage notwendig, die deutlich über die Empfehlungen der VDI 6002-1 hinausgeht. So kann mit einer vierfachen VDI-Auslegung der gesamte Wärmebedarf von Mai bis September solar gedeckt werden. Dadurch werden zwei Drittel der im gesamten Jahr anfallenden, nicht nutzbaren Verluste solar gedeckt.

Dieselbe Einsparung und Steigerung der Systemeffizienz kann bei kleiner dimensionierten Solaranlagen erreicht werden, wenn die Wohnungsstationen elektrische Durchlauferhitzer umfassen. Dies erlaubt eine sommerliche Abschaltung des Kessels. Der Anteil der elektrisch erzeugten Wärme bezogen auf den Jahreswärmebedarf ist dann selbst bei einfacher VDI-Auslegung der Solaranlage mit 4 % nur gering, und sinkt deutlich mit größer werdender Dimensionierung.

## Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben „Ansätze zur Reduktion der konventionell erzeugten Wärmeverteilverluste in solar unterstützten Mehrfamilienhäusern“, Kurzbezeichnung „MFH-re-Net“, wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen 03ET1194A aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt ausschließlich bei den Autoren.

## Quellenverzeichnis

- [Arn15] Arnold, O.; Mercker, O.; Dieck, L.; Brandes, M.; Rockendorf, G.: *Untersuchung (solarer) Wärmeversorgungskonzepte für Mehrfamilienhäuser in TRNSYS*. Ausführliches Skript zur OTTI Solarthermie Tagung 2015, Bad Staffelstein, 2015
- [Böh99] Böhmer, H.: *k-Werte alter Bauteile*, RKW-Verlag, Eschborn, 1999
- [Den04] dena (Hrsgb.): *Energetische Bewertung von Bestandsgebäuden*, Berlin, 2004
- [Die10] Diefenbach, N.; Cischinsky, H.; Rodenfels, M.; et al: *Datenbasis Gebäudebestand*, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2010
- [Fin04] Fink, C.; Richard, R.: *Solarunterstützte Wärmenetze im Geschloßwohnbau – Ein Planungshandbuch mit ganzheitlichem Ansatz*, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien – Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf, 2004
- [Gre10] Greller, M. et al.: *Universelle Energiekennzahlen für Deutschland*. Bauphysik 32, 2010
- [Gro10] Großklos, M.: *Optimierung der Verteilverluste und des Energieaufwandes für die Warmwasserbereitung bei Mehrfamilien-Passivhäusern*. Institut Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2010
- [Hei07] Heimrath, R.; Haller, M.: *The Reference Heating System, the Template Solar System of Task 32, A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme - Task 32: "Advanced storage concepts for solar and low energy buildings", Report A2 of Subtask A*, Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Graz, 2007
- [Jor03] Jordan, U.; Vajen, K.: *Handbuch – DHWcalc*, URL: [solar.umwelt-uni-kassel.de/download.php?systemid=94551da49088c319f498](http://solar.umwelt-uni-kassel.de/download.php?systemid=94551da49088c319f498), Abgerufen am: 27.02.2015
- [Log11] Loga, T.; Diefenbach, N.; Born, R.: *Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 2011
- [Maj13] Majcen, D.; Itard, L.; Visscher, H.: *Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings: What causes the difference?* Energy Policy 61 (2013) 460-471
- [Mer15] Mercker, O.; Arnold, O.; Rockendorf, G.: *Verteilverluste zu verstehen, hilft Effizienz zu steigern! Untersuchungen zur Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern*. Tagungsband 7. Effizienztagung Bauen und Modernisieren (27.-28.11.2015), Energie- und Umweltzentrum am Deister GmbH, Hannover, 2015
- [Sch09] Schröder, F.; et al.: *Universelle Energiekennzahlen für Deutschland*, Bauphysik 31, 2009
- [Sta12] Statistisches Bundesamt (Hrsgb.): *Bauen und Wohnen. Mikrozensus Zusatzerhebung. Bestand und Struktur der Wohneinheiten 2010*, Wiesbaden, 2012
- [Str03] Streicher, W.; Heimrath, R.; Bales, Ch.: *Analysis of System Reports of Task 26 for Sensitivity of Parameters - A Report of IEA SHC - Task 26: Solar Combisystems*, Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Graz, 2003 (revised February 2007)