

# **Unterschätzte Verteilverluste erfordern neue (solare) Wärmeconzepte für Mehrfamilienhäuser**

## **- Ausführliches Skript -**

O. Mercker, O. Arnold, G. Rockendorf

Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)

Am Ohrberg 1, D-31860 Emmerthal

Tel.: +49 (0) 5151/999-506, Fax: +49 (0) 5151 999 400

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

Internet: www.isfh.de

## **Einleitung**

Im Laufe der nächsten 20 Jahre muss etwa die Hälfte der 40,2 Mio. Wohnhäuser in Deutschland saniert werden, was rund 1 Mio. Gebäude im Jahr entspricht [Den10]. Für die Bundesregierung ist die energetische Gebäudesanierung eine der zentralen Klimaschutzmaßnahmen. Aufgrund dessen werden im CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm energieeffizientes Bauen und Sanieren finanziell unterstützt [Bun14]. Die bisherige Erfahrung mit Gebäudesanierung zeigt jedoch, dass einerseits die Energieeinsparung hinter der Erwartung zurückbleibt und andererseits der Energiebedarf unsanierter Gebäude oftmals geringer ist als nach den anerkannten Berechnungsregeln (z. B. in Anlehnung an DIN 4108 mit DIN 4701) zu erwarten wäre (vgl. [Gre10] und [Sch09]). Als mögliche Ursachen werden Rebound-Effekte angeführt. Hierzu gehören steigende Komfortansprüche (z. B.: höhere Raumsolltemperaturen) und ein weniger sorgsamer Umgang mit Energie (z. B. Dauerlüften). Außerdem gibt es technische Gründe für die verminderte Einsparung. Eine wichtige Ursache ist die Zunahme des Einflusses unregelter Gewinne<sup>1</sup>, von denen insbesondere die Wärmeverteilverluste hervorzuheben sind. Diese können in gut gedämmten Gebäuden vermehrt zu Überhitzungen führen, die dann weggelüftet werden.

Die Wärmeverteilung in Mehrfamilienhäusern (MFH) von der Wärmezentrale zu den Verbrauchern, d. h. Wohnungen, geht selbst bei einem sorgfältig gedämmten Rohrleitungsnetz mit signifikanten Verlusten einher (siehe hierzu [Gro10]). Diese Verteilverluste weisen einen nutzbaren und einen nicht-nutzbaren Anteil auf. Nutzbar sind dabei jene Verteilverluste, die als unregelte Gewinne den Bedarf an geregelter Wärmeabgabe über den Raumwärmeübertrager (Heizkörper oder Flächenheizung) reduzieren. Ungenutzte Verluste führen zunächst zu einem Temperaturanstieg über die Solltemperatur hinaus und in der Folge zu erhöhten Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten. Die nächste Stufe ist das gezielte Weglüften zu hoher unregelter Gewinne.

---

<sup>1</sup> Ungeregelte Gewinne sind alle Energieeinträge in eine Wohnung, die nicht über das Wärmeabgabesystem selbst (z. B. Heizkörper oder Fußbodenheizung) in diese eingetragen werden. Hierzu zählen solare Gewinne, interne Gewinne (z. B. Abwärme elektrischer Geräte) und Wärmeverteilverluste.

## Zielsetzung

Ein besseres Verständnis der Bedeutung der Wärmeverteilverluste und der technischen Ansätze zu deren Reduktion ist für die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden unerlässlich. Vorteilhaft ist es sicherlich, Wärmeverteilverluste, sofern sie nicht vermeidbar sind, regenerativ zu decken. Dies ist der Hintergrund für ein Projekt am ISFH, in dem die ungenutzten Wärmeverteilverluste für Raumheizung und Trinkwarmwasser (TWW) in größeren Wohngebäuden quantifiziert sowie neue Systemkonzepte entwickelt und bewertet werden. Die neuen Konzepte haben das Ziel, konventionell erzeugte Verteilverluste deutlich zu reduzieren, bis hin zur vollständigen Vermeidung.

Die hierfür nötigen Untersuchungen werden in der Simulationsumgebung TRNSYS angestellt, wobei auch praktische Aspekte (z. B. Erfahrungen aus der Wohnungswirtschaft zur Umsetzbarkeit der Sanierungsmaßnahmen und ökonomische Randbedingungen) betrachtet werden. Somit soll am Projektende eine umfassende Bewertung der untersuchten Konzepte stehen, die als Ausgangspunkt für die Umsetzung der bestgeeigneten Lösung(en) in einem Demonstrationsvorhaben dient.

## Aktuelle Standardkonzepte

Zur Quantifizierung des Nutzens innovativer Wärmeversorgungskonzepte ist es notwendig, auch die aktuellen Standardkonzepte, nämlich 2- und 4-Leiternetze mit zentralen Speichern für Heizungs- und Trinkwarmwasser, in TRNSYS umzusetzen. Die mit diesen beiden Konzepten simulierten Ergebnisse dienen als Referenzwerte für den Vergleich mit den neuen Konzepten. Aufgrund der dargelegten Bedeutung der konventionellen Leiternetze werden diese nachfolgend kurz beschrieben.

**Konventionelle 4-Leiternetze** besitzen eine Heizungsvorlauf- und eine Heizungsrücklaufleitung sowie eine Trinkwarmwasserleitung und eine Zirkulationsleitung. Das TWW-Verteilnetz befindet sich zur Verhinderung eines unzulässig starken Legionellenwachstums nahezu ständig auf einer mittleren Temperatur von etwa 60 °C, was zu vergleichsweise hohen Wärmeverlusten des TWW-Verteilnetzes führt. Laut [Hei02] können die Verteilverluste in einer Höhe von 20 bis zu über 100 % des eigentlichen Energiebedarfs zur TWW-Bereitung auftreten.

**Konventionelle 2-Leiternetze** weisen lediglich eine Vorlauf- und eine Rücklaufleitung auf. Beide Leitungen führen Heizungswasser. Die Trinkwassererwärmung erfolgt dezentral in den einzelnen Wohnungen. Da sich die Heizungs- und die Trinkwasserwärme jeweils einen gemeinsamen Vor- und Rücklaufstrang teilen, bestimmt das höhere der benötigten Versorgungstemperaturniveaus die Netzvorlauf-temperatur. Im Vergleich der konventionellen Systeme erweisen sich 2-Leiternetze somit als prinzipiell vorteilhaft, da sie ein höheres Maß an TWW-Hygiene garantieren

(kein Vorhalten kritischer Mengen von TWW) und geringere Verteilverluste aufweisen (aufgrund geringerer Leitungslängen und etwas geringerer Temperaturen, wenn eine ausreichende Qualität der Wohnungsstation gegeben ist). Deshalb lassen sie sich gemäß [Hei02] besonders vorteilhaft in Gebäuden mit geringen Energieabnahmedichten einsetzen.

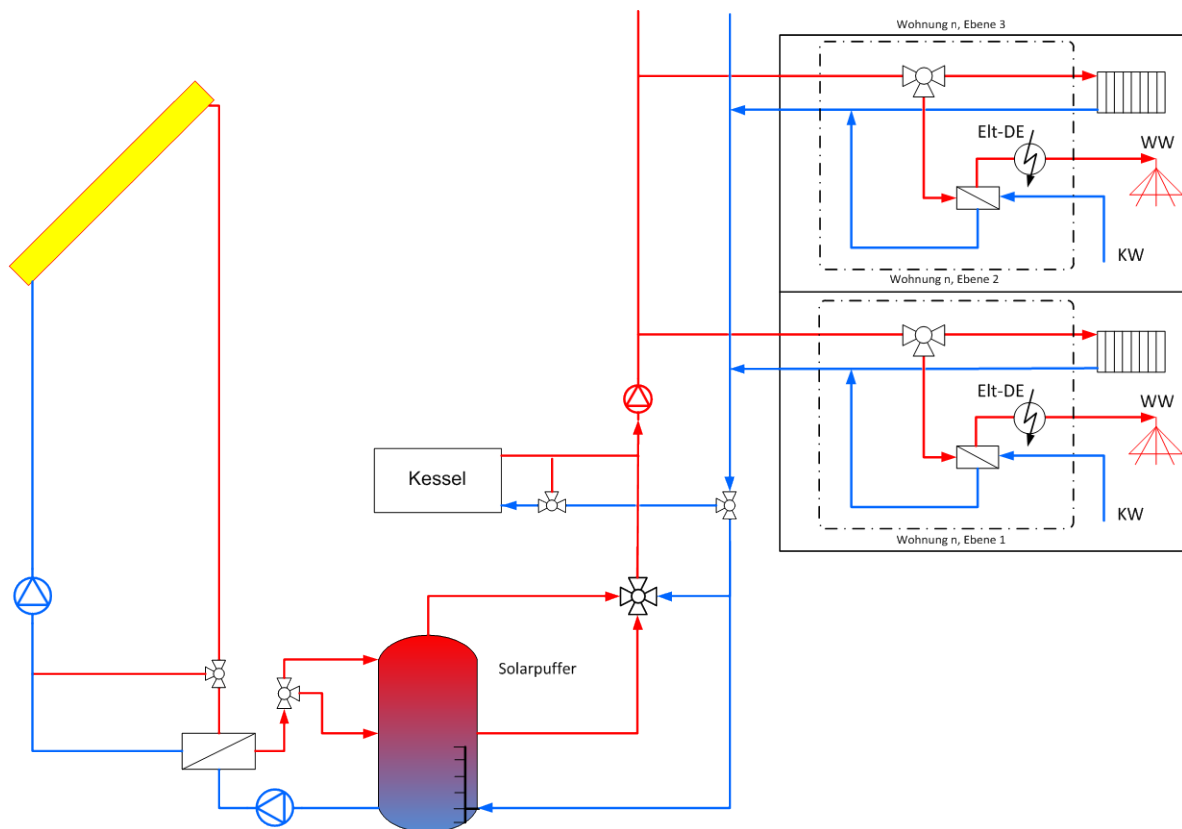
## **Vorstellung der neuen Verteilkonzepte**

Mit den neuen Konzepten sollen die Wärmeverluste des Verteilnetzes möglichst regenerativ gedeckt werden. In jedem Konzept erfolgt eine (zumindest saisonal) regenerative Grundversorgung durch das Netz, während die Spitzenleistung oder konventionelle Nachheizung (in Abhängigkeit des regenerativen Angebots) dezentral in Verbrauchernähe aufgebracht wird. Nachfolgend werden die wesentlichen Merkmale sowie die zu erwartenden Vor- und Nachteile der zu untersuchenden Verteilkonzepte beschrieben.

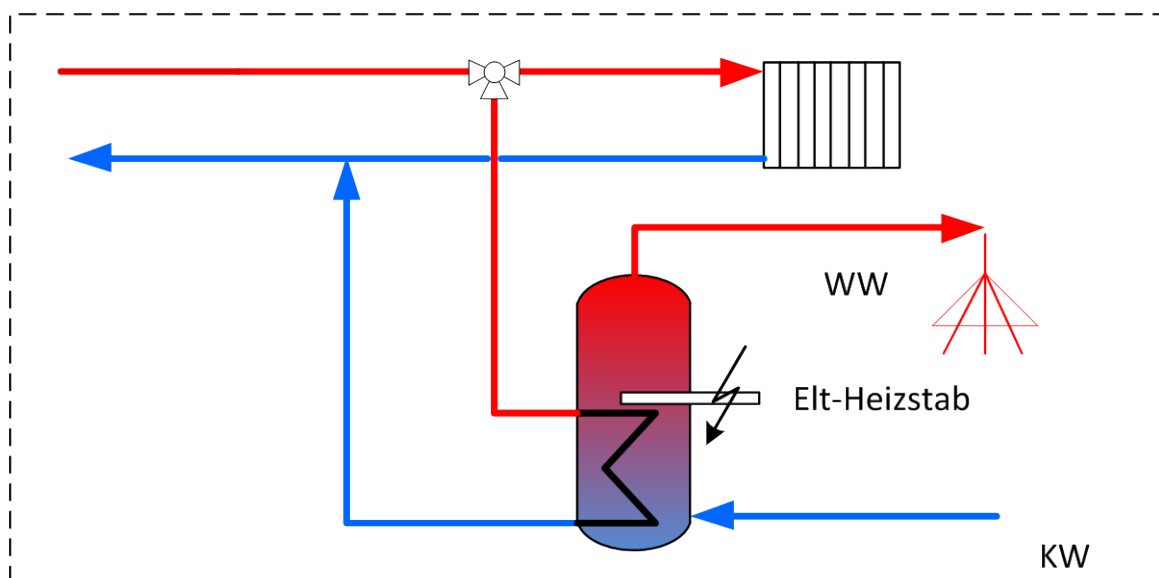
**2-Leiternetze mit dezentraler Elektro-Nacherwärmung für TWW** erlauben eine weitere Minimierung der Netztemperatur. Der Vorteil dieses Konzepts besteht darin, dass die Netztemperatur so weit abgesenkt werden kann, dass die Vorlauf-temperatur von der Heizkurve bestimmt wird. Die TRNSYS-Simulationen ermöglichen es, über die Variation der Heizkurve eine Optimierung zwischen dezentraler Elektronachheizung und zentraler fossiler Erwärmung (mit solarer Unterstützung) vorzunehmen.

**Solare Wärme für die sommerliche Verteilverlustdeckung** einzusetzen, ist der erste Ansatz zur Minimierung konventionell gedeckter Verteilverluste. Hierbei erfolgt die dezentrale TWW-Bereitung in der Wohnungsstation, eine ggf. notwendige Nacherwärmung wird entweder mithilfe von nachgeschalteten Elektro-Durchlauferhitzern (siehe Abbildung 1) oder mit Hilfe von Elektro-Heizstäben in dezentralen TWW-Kleinspeichern (siehe Abbildung 2) vorgenommen. Die Vorteile dieses Ansatzes bestehen in der Minimierung der konventionell gedeckten Wärmeverteilverluste, da sie sich zum einen auf die Heizperiode beschränken und zum anderen aufgrund des Temperaturniveaus reduziert sind. Dabei wird geprüft, ob das Netz über einen bzw. mehrere längere Zeiträume nicht konventionell beheizt werden muss und wie sich diese Zeiträume definieren lassen.

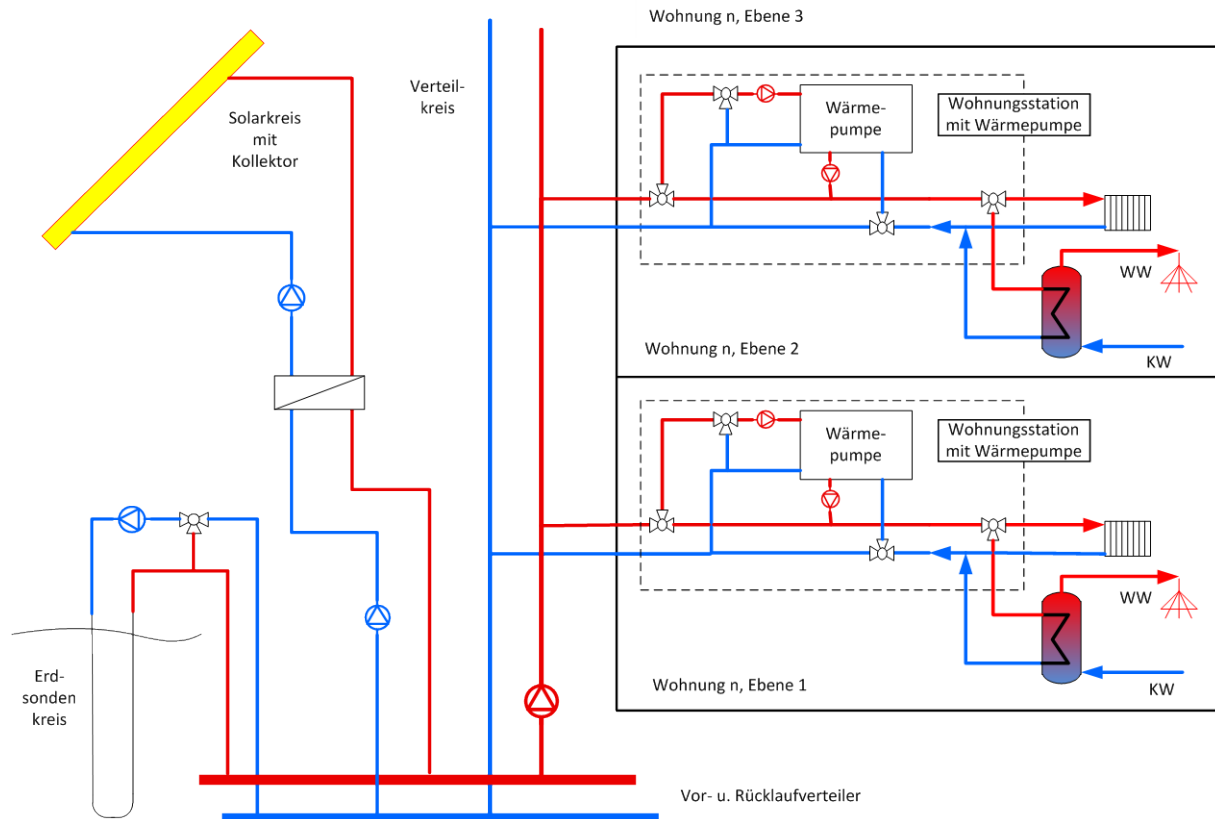
**Solar- und Umweltwärme zum ganzjährigen Betrieb der Verteilnetze** zu verwenden, ist das Grundprinzip des progressivsten Ansatzes. Die dezentrale Nacherwärmung erfolgt entweder mit Gaskessel oder mit Kleinwärmepumpe (siehe Abbildung 3). Der Vorteil des Ansatzes besteht in der gänzlichen Vermeidung der Verteilung konventionell erzeugter Wärme. Zudem kann die Abrechnung dezentral und sehr genau für jede einzelne Wohnung erfolgen.



**Abbildung 1:** Vereinfachtes Anlagenschema für den Fall ausschließlich solarer Wärmeverteilung außerhalb der Heizperiode mit Wohnungsstation und Elektro-Durchlauferhitzer zur Nacherwärmung



**Abbildung 2:** Wohnungsinstallation für den Fall ausschließlich solarer Wärmeverteilung außerhalb der Heizperiode, mit dezentralem TWW-Speicher



**Abbildung 3:** Systemschaltbild für den Fall ganzjährig ausschließlicher Verteilung von Solar- und Umweltwärme, ohne zentralen Speicher

### Nutzbare und nicht nutzbare Verteilverluste

Grundlegend für die Analyse der unterschiedlichen Wärmeverteilkonzepte ist eine genaue Definition der verwendeten Begriffe. Einem Raum wird im Heizfall neben der geregelten Wärmeabgabe der Heizkörper  $Q_{\text{heat}}$  ungerichtete Wärme in Form solarer Gewinne  $Q_{\text{sol}}$ , interner Gewinne  $Q_{\text{int}}$  sowie Wärmeverteilverlusten  $Q_v$  zugeführt. Wärmeverteilverluste sind eine Wärmeabgabe aufgrund einer Temperaturdifferenz zwischen dem Fluid in der Verteilleitung und der Umgebung.

Wärmeverteilverluste lassen sich zudem in einen nutzbaren und einen nicht-nutzbaren Anteil aufteilen. Unter nutzbaren Wärmeverteilverlusten wird der Anteil an den gesamten Wärmeverteilverlusten verstanden, der zur Erwärmung eines Raumes auf eine gewünschte Solltemperatur beiträgt und somit die hierfür eigentlich durch den Heizkörper zuzuführende Wärme vermindert bzw. substituiert. Nicht-nutzbare Wärmeverteilverluste tragen nicht mehr zur Deckung des Wärmebedarfs bei und führen zu einem Anstieg der Raumtemperatur über den Wert der Solltemperatur hinaus. Dies führt zum einen zu erhöhten Transmissions- und Lüftungsverlusten, zum anderen wird der Zeitraum bis zum Wiedereinschalten des Heizkörpers hinausgezögert.

Damit kann die Bewertung der Nutzbarkeit auch nicht zum Zeitpunkt des Entstehens der Verteilverluste erfolgen. Dies ist in der Regel erst über eine Bilanz nach mehreren Tagen möglich. Das Verhältnis von nutzbaren und nicht-nutzbaren Verteilverlusten hängt vom aktuellen Wärmebedarf und der Gesamthöhe aller unregulierten Gewinne ab. Damit werden der Dämmstandard und die Jahreszeit die wichtigsten unabhängigen Einflussgrößen.

Abbildung 4 skizziert diese Zusammenhänge für einen Referenzwärmebedarf  $Q_{ref}$ . Der Referenzwärmebedarf ergibt aus der Berechnung des Wärmebedarfs für den hypothetischen Fall, dass keine Verteilverluste vorliegen, d. h. dass die Rohrleitungen adiabatisch ausgeführt sind.

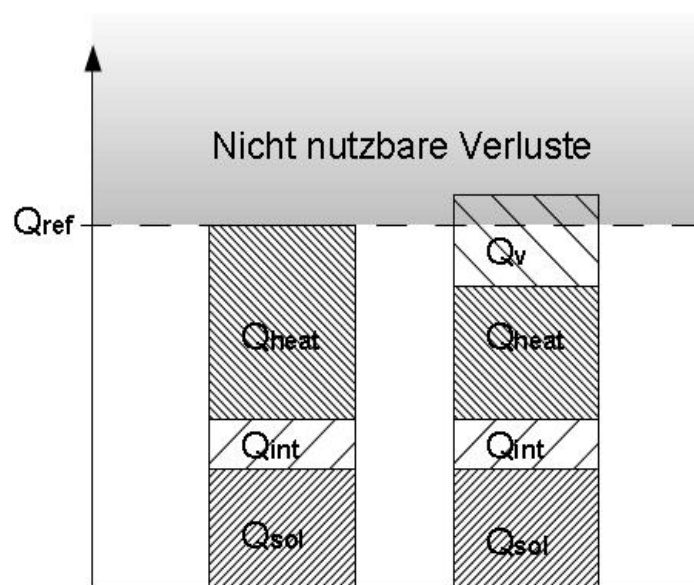


Abbildung 4: Skizze der Energieeinträge in eine einzelne thermische Zone innerhalb einer definierten Zeitspanne und der Unterscheidung von nutzbaren und nicht nutzbaren Verteilverlusten

Als hilfreiche Bewertungsgröße für die Analyse der Wärmeverteilverluste wird der in Gleichung 1 dargestellte Nutzungsfaktor  $f$  identifiziert. Er stellt das Verhältnis von nutzbarer Verlustwärmemenge  $Q_{v,nutz}$  zur gesamten Verlustwärmemenge  $Q_{v,ges}$  über einen Zeitraum  $\Delta t$  dar.

$$f = \frac{Q_{v,nutz}}{Q_{v,ges}} \quad (\text{Gl. 1})$$

Er ist zeitlich variabel und kann stets nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei der Wert 1 eine vollständige Nutzbarkeit der Wärmeverteilverluste anzeigen würde und der Wert 0 das genaue Gegenteil. Der dynamische Nutzungsfaktor kann für

jeden Raum gesondert sowie für das gesamte Gebäude aufgestellt werden. Der Betrachtungszeitraum  $\Delta t$  kann beliebig groß oder klein gewählt werden. Je nach Ziel der Untersuchung lassen sich Tages-, Wochen-, Monats- oder Jahresnutzungsfaktoren berechnen. Nutzungsfaktoren können zum Vergleich unterschiedlicher Wärmeverteilungssysteme vorteilhaft eingesetzt werden.

Da Verteilverluste außerhalb der Heizperiode einen geringeren nutzbaren Anteil aufweisen, rückt in zahlreichen Untersuchungen insbesondere die (sommerliche) Warmwasserbereitung in den Fokus. Messungen im Rahmen mehrerer Projekte zeigen jedoch, dass bei neuen oder neu sanierten Anlagen dem Warmwassernutzen Speicher- und Verteilverluste in etwa gleicher Höhe (und mehr) zuzuschlagen sind [Gro10]. Im Gegensatz dazu schlägt die VDI 6002 Blatt 1 vor, bei guten Anlagen nur einen 30 %-igen Mehrenergiebedarf zur Deckung der Zirkulationsverluste anzusetzen. Für die Dimensionierung von solarthermischen Anlagen haben diese unterschiedlichen Bewertungsansätze eine hohe Bedeutung.

Die mit der rohrlungsgebundenen Verteilung von Heizwärme einhergehenden Verluste werden in der Literatur wenig beachtet. Dem liegt das Argument zu Grunde, dass innerhalb der Heizperiode entstehende Verteilverluste zu nahezu 100 % zur Deckung des Raumwärmebedarfs genutzt werden können. So geht die EnEV-relevante DIN V 4701-10 davon aus, dass die Verteilverluste für Heizwärme innerhalb des beheizten Bereichs zu 85 % bzw. 90 % als Heizungsgutschrift genutzt werden. Nach obiger Definition geht die DIN V 4701-10 also von einem über die Heizperiode gemittelten Nutzungsfaktor von 0,85 bis 0,90 aus.

## **Dynamische Simulation von MFH**

Zu Projektbeginn ist zunächst in einer Simulationsstudie in TRNSYS untersucht worden, welche Werte die Nutzungsfaktoren für einzelne Räume bzw. eine Wohnung in einem MFH mit Vierleiternetz annehmen. Die simulierte Wohnung repräsentiert einen typischen Fall in einem sanierten Mehrfamilienhaus, Standort Hannover, mit einer Ringverteilung und besteht aus sechs Räumen auf insgesamt 66 m<sup>2</sup>. Jeder Raum wird als eigene thermische Zone mit Wärmekapazität abgebildet und besitzt damit auch eine individuell vorgebbare Solltemperatur von 17 bis 23 °C. Die Energiekennzahl der Wohnung beträgt 94 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Abbildung 5 zeigt ein TRNSYS-Deck, mit dem die Simulation eines einzelnen Raumes einer Wohnung durchgeführt wird. Dieses Prinzip wird auf die raumweise abgebildete Wohnung übertragen. Als Parameter der Untersuchung sind die Rohrdämmstärke der Verteilleitungen, die thermische Zonierung (d. h. die raumweise Verteilung der Solltemperaturen innerhalb der Wohnung) sowie die Ausrichtung der Wohnung variiert worden.

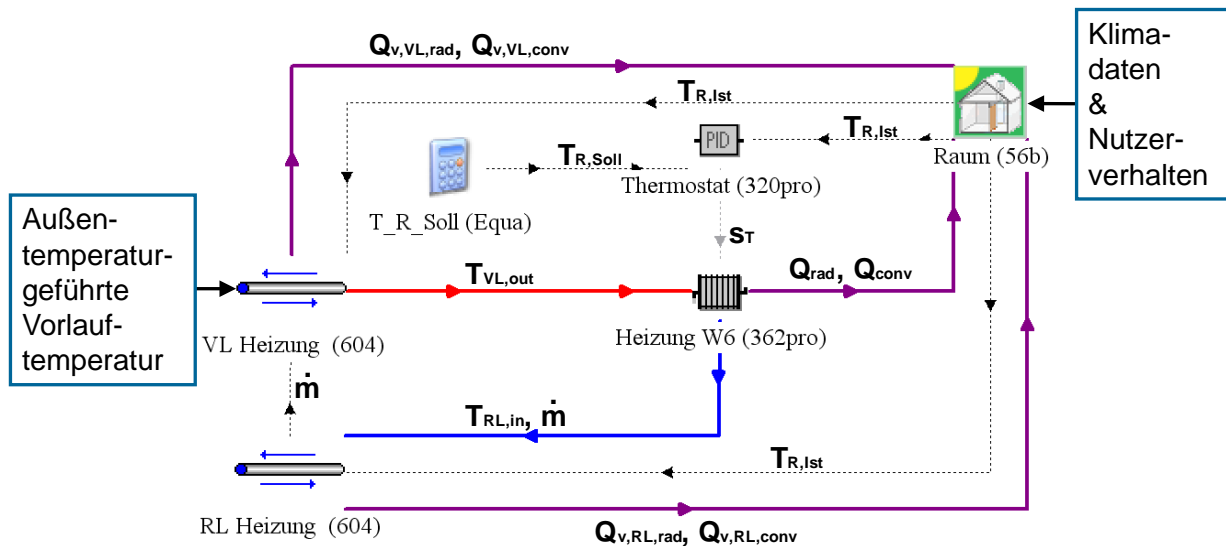


Abbildung 5: TRNSYS-Deck zur Simulation eines einzelnen Raumes in einem MFH

In Abbildung 6 sind die Energiemengen, die in einem Zimmer der simulierten Wohnung im Monat April anfallen, in Abhängigkeit der Dämmstärke der Rohrleitungen dargestellt. In der Referenzsimulation fallen keine Verteilverluste an, sodass der simulierte Energieeintrag dem Wärmebedarf des Raumes entspricht.

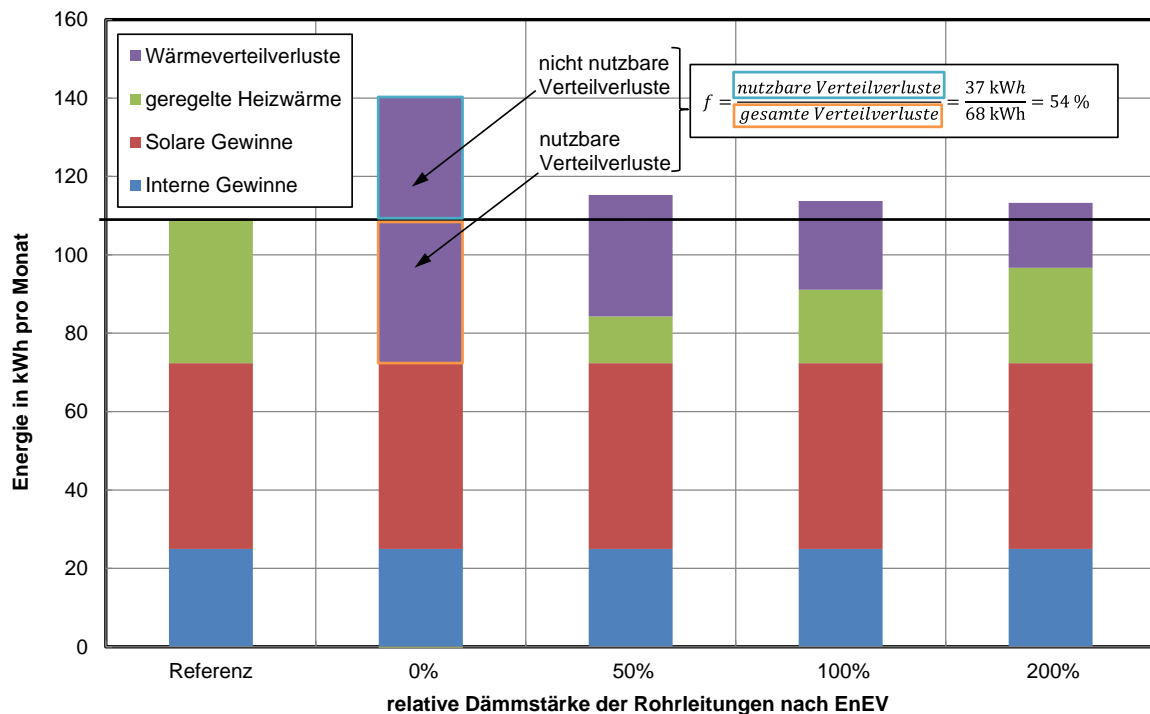
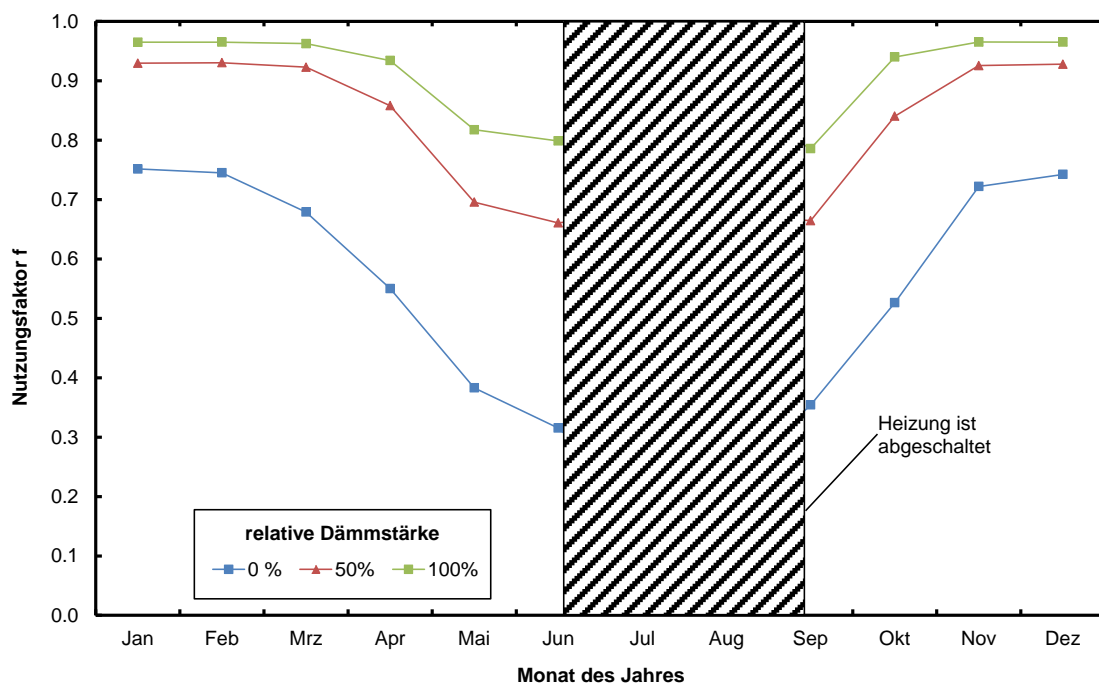


Abbildung 6: Energieeinträge in einen einzelnen Raum in der Übergangszeit



Es zeigt sich, dass der Anteil nutzbarer Verteilverluste mit abnehmender Dämmstärke stark abnimmt. Der Nutzungsfaktor bei nicht gedämmten Verteilungen (Fall „0 %“ in Abbildung 6) liegt bei lediglich 54 %. In diesem Fall werden die geordneten Wärmeeinträge über die Heizkörper bereits vollständig durch die Verteilverluste verdrängt, d. h. der Heizkörper geht nicht mehr in Betrieb. Zudem ist zu erkennen, dass selbst besonders guter Dämmung der Rohre nicht-nutzbare Verteilverluste zu verzeichnen sind.

Ein Beispiel für den Jahresverlauf des Nutzungsfaktors der Verteilverluste der gesamten Wohnung ist in Abbildung 7 zu sehen. Hierbei liegt in der Wohnung eine Zonierung vor, die eine etwas höhere Temperatur im Wohnraum und eine geringere im Schlafrum vorsieht. Während der Monate Juli und August ist die Heizung durchgehend abgeschaltet – hierfür kann kein Nutzungsfaktor angegeben werden.



**Abbildung 7:** Relativer Anteil nutzbarer Verteilverluste an den Gesamtverteilverlusten in der Mehrfamilienhauswohnung mit Ringleitung für 3 verschiedene relative Rohrdämmstärken im Jahresverlauf

Es ist deutlich zu erkennen, dass bei hohem Heizwärmebedarf ein hoher Nutzungsfaktor vorliegt. In den Übergangsmonaten hingegen sinkt dieser Wert deutlich ab, und zwar zunehmend mit geringerer Dämmstärke der Rohrleitungen. In diesen Zeiten könnte jedoch bereits ein nennenswerter solarer Beitrag zur Wärmeversorgung geliefert werden. Die pauschalen Annahmen der Nutzungsfaktoren nach DIN V 4701-10 werden in den Übergangszeiten deutlich unterschritten. Die dynamische Betrachtung des Gebäudeverhaltens ist daher empfehlenswert.

Bereits aus diesen ersten Untersuchungen kann abgeleitet werden, dass Verteilverluste eine dem Verteilkonzept immanente Begrenzung der gesamten Effizienz der Gebäudewärmeversorgung darstellen.

## **Nächste Schritte**

Die Simulationen sind bisher unter der Annahme durchgeführt worden, dass eine Überschreitung der Raumsolltemperatur nicht zu einem Anstieg der Lüftungsverluste (etwa durch ein temporäres Öffnen des Fensters) führt. Daher stellen die obigen Beispiele die Maximalwerte der Nutzbarkeitsfaktoren dar. Die Weiterführung der Studie wird daher den Fall bearbeiten, dass die Raumtemperatur mit Hilfe zusätzlicher Lüftung innerhalb eines Komfortbereichs gehalten wird. Die Betrachtung eines Steigleitungsnetzes und der Übergang zur Abbildung eines Gesamtgebäudes werden die nächsten Schritte darstellen. Schließlich werden die oben skizzierten Konzepte zur Reduktion der konventionell gedeckten Verteilverluste in der Simulationsumgebung TRNSYS umgesetzt und analysiert.

## **Danksagung**

Das diesem Beitrag zu Grunde 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 (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert (Förderkennzeichen 03ET1194A). Das Projekt wird von den Partnern Delta Systemtechnik GmbH, Heimkehr Wohnungsgenossenschaft eG, GBH Mietservice Vahrenheide GmbH und proKlima – Der energy Fonds unterstützt. Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung ihrer Arbeiten.

## **Quellenverzeichnis**

- [Bun14] Internetseite der Bundesregierung zum CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm; URL: <http://tinyurl.com/mr6rrcj>; Abgerufen am: 30.1.2014, 12:58 Uhr
- [Den10] Deutsche Energie-Agentur dena (Hrsgb.): dena-Sanierungsstudie. Teil 1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand, Berlin, 2010
- [Fin00] Fink, C.: Garantierte Wärmelieferung aus thermischen Solaranlagen im Wohnbau, Endbericht, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf, Österreich, 2000
- [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

- [Hei02] Heimrath, R. et al.: Solarunterstützte Wärmenetze: Technologie und Komponentenentwicklung. Endbericht, Institut für Wärmetechnik, TU Graz (Österreich), 2002
- [Sch09] Schröder, F. et al.: Universelle Energiekennzahlen für Deutschland, Bauphysik 31, 2009