

Untersuchung (solarer) Wärmeversorgungskonzepte für Mehrfamilienhäuser in TRNSYS

- Ausführliches Skript -

O. Arnold, O. Mercker, L. Dieck, M. Brandes, G. Rockendorf

Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)

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 Senkung des Endenergiebedarfs von Wohngebäuden ist wesentlich für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende. Zur Erreichung der Ziele sind die bisherigen Maßnahmen nicht ausreichend. So spielt Solarthermie aktuell eine ihrem Potenzial nicht gerecht werdende Rolle [Jah12]. Zudem bleiben die Sanierungsquote und die erreichten Einsparungen stets hinter den Erwartungen zurück, was auf vielfältige sozio-ökonomische Ursachen zurückzuführen ist [Sch09]. Bezogen auf die zu niedrigen Einsparungen nach einer Sanierung lassen sich neben Rebound-Effekten auch technische Gründe anführen. Hierbei ist insbesondere die zunehmende Bedeutung der Wärmeverteilverluste in der Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes zu nennen. Diese dem Gebäude ungerichtet zugeführten Energiemengen (Gewinne) sind zum Teil nicht nutzbar, sie führen zu Überhitzungen, die durch Lüftung und Transmission den Gebäudeenergiebedarf erhöhen. Ein weiteres Phänomen ist die nachrangige Bedeutung der Solarthermie im Bereich der Mehrfamilienhäuser (MFH) in Deutschland – anders als in Österreich, wo bereits im Jahr 2007 etwa 3 % der MFH mit einer Solarthermieanlage ausgestattet waren [Fin09]. Neben sozio-ökonomischen Gründen ist die Vielzahl an angebotenen Systemen in Kombination mit fehlenden Erfahrungswerten bei den Ausführenden ursächlich für dieses Defizit.

Im Projekt „Ansätze zur Reduktion der konventionell erzeugten Wärmeverteilverluste in solar unterstützten Mehrfamilienhäusern“ (kurz: MFH-re-Net) sollen die nicht nutzbaren Wärmeverteilverluste für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung in MFH quantifiziert und Konzepte bewertet werden, mit denen die unter Einsatz konventioneller Wärme gedeckten Verteilverluste deutlich reduziert bis vollständig vermieden werden können. Die Solarthermie soll hierbei als Instrument zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Wärmebereitstellung in MFH wirken. Ein Großteil der Untersuchungen erfolgt im Rahmen von Simulationsstudien.

Der Beitrag erläutert die Methodik der Simulationen einschließlich der Randbedingungen und benutzten Modelle sowie der Bewertungsgrößen. Erste Ergebnisse zu MFH mit unterschiedlichen Wärmeverteilkonzepten mit und ohne Integration von Sonnenwärme werden vorgestellt.

Randbedingungen

Gebäude

Das diesen Betrachtungen zu Grunde liegende Gebäude basiert auf dem Grundriss eines realen MFH in Hannover. Weitere Daten wurden anhand von Statistiken so gewählt, dass sie weitgehend denen eines typischen MFH in Deutschland, also dem statistisch am häufigsten anzutreffenden Fall, entsprechen [Sta12, Die10]. Das Gebäude hat 4 Etagen mit je zwei nebeneinander spiegelbildlich gleich und übereinander identisch aufgebauten Wohnungen, jede Wohnung mit 65 m² Wohnfläche in 5 beheizten Räumen plus Flur, bewohnt von je 2,5 Personen. Zudem weist es einen unbeheizten Keller sowie ein unbeheiztes Treppenhaus auf und wird nach oben von einem Flachdach begrenzt. Erbaut in den 1960er Jahren, entsprechen die Wandaufbauten typischen Konstruktionen dieser Zeit [Log11, Den04, Böh99].

Beheizt wird das Gebäude über Radiatorheizkörper, die von einem (nachträglich eingebauten) zentralen Gas-Brennwertkessel versorgt werden, der auch für die Trinkwassererwärmung zuständig ist. Die Verteilleitungen verlaufen in zwei Leitungsschächten, die jeweils die übereinanderliegenden Wohnungen erschließen und die Heizkörper über ein Ringleitungsnetz innerhalb der Wohnung versorgen.

Das Gebäude liegt in zwei Varianten vor: Zum einen als Altbau mit unverändertem Wandaufbau, isolierverglasten Fenstern und entsprechend hohen U-Werten der Bauteile. Zum anderen als energetisch saniertes Gebäude, mit zusätzlicher EPS-Dämmung von Kellerdecke, Dach und Außenwand sowie neuen Fenstern – entsprechend den Vorgaben der EnEV 2014 (Höchstwerte von Bauteilen).

Wetter

Als Wetterrandbedingung liegt der Meteonorm-Datensatz von Zürich zu Grunde (Stand 2003). Dieser wird in den IEA SHC Tasks 26, 32 und 44 als repräsentativ für gemäßigtes, mitteleuropäisches Klima angesehen und hat sich in langjähriger Anwendung von verschiedener Seite etabliert [Str03, Hei07, Hal13].

Heizlast

Die Heizlast wird über das TRNSYS-Tool „Maximum Heat Load Calculation“ ermittelt, bei dem eine stationäre Simulation bei Auslegungsbedingungen durchgeführt wird. Die Raumsolltemperatur beträgt dabei 20 °C. Die Heizkörper werden auf ein Vorlauf-/Rücklaufemperaturpaar von 70/55 °C bei maximaler Last ausgelegt.

Trinkwarmwasserlast

Die Systemsimulationen mit dezentraler Bereitung des Trinkwarmwassers (TWW) erfordern Zapfprofile für jede Wohnung. Diese Profile werden mit dem Programm DHW-calc erzeugt [Jor03]. Dabei wird ein spezifischer TWW-Energiebedarf von 12,5 kWh/(m² a) angesetzt. Daraus ergibt sich, bei einer TWW-Nutztemperatur von 45 °C und Kaltwassertemperatur von durchschnittlich 10 °C, ein mittlerer Bedarf von 55 l/d je Wohnung. Dieser Bedarf tritt in verschiedenen Zapfkategorien (unterschieden nach Höhe, Dauer und Anteil) statistisch über den Tag verteilt auf.

Nutzerverhalten

Erwähnenswert ist zudem, dass ein gewisses Nutzerverhalten bezüglich der Raumtemperatur unterstellt wird. Übersteigt die Raumtemperatur ihren Sollwert um mehr als 1 K, wird (bei ausreichend geringer Außentemperatur) durch Erhöhung der Luftwechselrate ein Ablüften der überschüssigen Raumwärme simuliert (vergleichbar mit dem Öffnen eines Fensters), bis die Solltemperatur wieder erreicht ist.

Methodik der TRNSYS-Simulationen

Sämtliche Simulationen werden in der dynamischen Simulationsumgebung TRNSYS (Version 17) durchgeführt. Die wichtigsten dabei zum Einsatz kommenden Modelle und deren wesentliche Eigenschaften werden im Folgenden kurz beschrieben.

Zur Abbildung des Gebäudes wird **Type 56 (Multi-Zone Building)** verwendet. Das MFH wird in 52 thermische Zonen unterteilt, um das Verhalten jedes einzelnen Raumes in den 8 Wohnungen sowie des Treppenhauses, des Kellers und zweier Leitungsschächte gesondert betrachten zu können. Jede thermische Zone steht dabei zum einen im Austausch mit den jeweils angrenzenden Zonen bzw. ihrer Umgebung (Umgebungsluft oder Erdreich). Zum anderen werden zwischen den jeweiligen thermischen Zonen und den in diesen befindlichen Heizkörpern und Rohrleitungen sowie weiteren thermisch wirksamen Komponenten, wie dem Kessel, dynamische Wechselwirkungen berücksichtigt. Die durch Bewohner, Licht und elektrische Verbraucher verursachten internen Gewinne finden über einen spezifischen Wert von 3 W/m² im gesamten Wohnbereich Berücksichtigung.

Die Kopplung des unterirdischen Bereichs der Kellerzone mit dem Erdreich wird mit **Type 1244 (Soil Model for Type56 Floors)** realisiert. Das Erdreich wird hierfür mit einem einfachen Berechnungsgitter überzogen, um die Temperaturen im Erdreich in jedem Zeitschritt über ein finite Differenzen Verfahren zu berechnen und an den Keller als dynamische Temperaturrandbedingung zurückzugeben.

Die Rohrleitungen werden mit **Type 604 (Noded Pipe)** abgebildet, was vor allem die Berücksichtigung des Einflusses der Rohr- und Fluidkapazitäten ermöglicht. In jedem beheizten Raum werden die Heizkörper mit **Type 362 (Dynamic Radiator Model With Pipes)** dynamisch, also unter Berücksichtigung ihrer entsprechenden Wärmekapazität, berücksichtigt. Die Thermostate werden mit **Type 320 (PID Controller)** nachgebildet, wobei von einem proportional-integralen Regelverhalten ausgegangen wird, um die Erreichung der Raumsolltemperaturen sicherzustellen¹.

¹ Reale Thermostatregler weisen typischerweise nur proportionales Regelverhalten auf. Jedoch würde das Zusammenwirken dieses P-Reglers und der Nutzer, also dem intelligenten Nachregeln, zu einer Erreichung der Solltemperatur führen. Vereinfachend wird angenommen, dass das kombinierte Regelverhalten von Thermostat und Nutzer durch einen PI-Regler approximiert werden kann.

Zur Simulation des Kessels kommt der am ISFH entwickelte **Type 204 (Fossil Fuel Boiler Model)** zum Einsatz. Dieser bildet das dynamische Verhalten des Kessels ab, berücksichtigt Anfahr- und Ausschaltcharakteristika sowie kapazitive Effekte. Die Speicherabbildung erfolgt mit **Type 340 (Multiport Storage Model)** und somit ebenfalls auf Grundlage eines etablierten numerischen Modells, welches den Speicher in zahlreiche Kapazitäten aufteilt. Zur Berechnung des Verhaltens einer Solaranlage wird **Type 832 (Dynamic Collector Model)**, der auch als Mehrknotenmodell das dynamische Kollektorverhalten berücksichtigt. Die in einigen Konzepten eingesetzten Wohnungsstationen werden mit **Type 808 (Heatbox – heating substation)** simuliert, wobei die kapazitiven Effekte bewusst nicht abgebildet werden.

Zur Vereinfachung der Gebäudesimulation werden sowohl das Treppenhaus als auch die Leitungsschächte jeweils als eine thermische Zone abgebildet. Die real zu erwartende Temperaturschichtung wird somit vernachlässigt. Auch der Keller wird lediglich in Form einer Zone abgebildet, womit sich die Abwärme von Kessel und Speicher im gesamten Keller gleichmäßig verteilen. Da der Keller keine eigene Beheizung aufweist und keine „luftdichten“ Türen, wird diese Vereinfachung als zulässig betrachtet. Zudem werden die im Keller befindlichen Trennwände durch orientierungslos im Raum befindliche Kapazitäten berücksichtigt. Die Kapazitäten von in den Räumen befindlichen Möbeln werden ebenso in Form von orientierungslos im Raum befindlichen Spanplatten approximiert.

Untersuchte Systeme

Vierleiternetz

(Kurzbezeichnung: 4L)

Im Vierleiternetz werden sowohl Heizwasser als auch TWW zentral auf ihre Nutzwasser-Temperatur erwärmt und über vier Leitungen (Heizung: Vorlauf/Rücklauf; TWW: Vorlauf/Zirkulation) im Gebäude verteilt. Um hohe Spitzenlasten abzufangen und eine sichere Versorgung zu gewährleisten, wird das TWW in einem 500 l Speicher bevorratet. Für ständigen Komfort und Hygiene sorgt die Zirkulation, die ein Absinken der Netzzücklauftemperatur unter 55 °C verhindert.

Zweileiternetz mit Vorlauf TWW-geführt

(Kurzbezeichnung: 2L-TWW)

Das Zweileiternetz hebt die Trennung der Verteilleitungen in TWW und Raumheizung auf und sieht nur noch ein Rohrleitungspaar für Nutzwärme vor. In Wärmeübergabestationen, auch Wohnungsstationen genannt, wird zum einen die für die jeweilige Wohnung benötigte Raumwärme ausgekoppelt, zum anderen das dort benötigte TWW dezentral im Durchlaufprinzip über einen Plattenwärmetauscher erwärmt. Der zentrale TWW-Speicher entfällt. Die Vorlauftemperatur des Verteilnetzes liegt zwecks Sicherstellung der TWW-Bereitung minimal bei 55 °C, kann jedoch bei höherem Raumwärmebedarf gemäß der Heizkurve auch höhere Werte annehmen.

Zweileiternetz mit Vorlauf RH-geführt und TWW mit elektrischem Backup (Kurzbezeichnung: 2L-RH)

Bei diesem System richtet sich die minimale Netzvorlauftemperatur nicht nach dem TWW, sondern nach dem Raumheizbedarf, also nach der Heizkurve. So kann die Vorlauftemperatur auf deutlich tiefere Werte absinken als im zuvor vorgestellten System. Da das TWW zu solchen Zeiten von den Wohnungsstationen nicht bis auf 45 °C aufgeheizt werden kann, sind diesen elektrische Durchlauferhitzer nachgeschaltet, die für den zusätzlich benötigten Temperaturhub sorgen. Die minimale Vorlauftemperatur im Sommer beträgt 32 °C.

Zweileiternetz mit Vorlauf RH-geführt und TWW rein elektrisch (Kurzbezeichnung: 2L-RH-el)

Auch in dieser Variante des Zweileiternetzes wird die Vorlauftemperatur vom Raumheizbedarf bestimmt. Allerdings wird das TWW hier rein elektrisch in dezentralen Durchlauferhitzern erwärmt – die Wohnungsstationen werden also nicht benötigt.

Zweileiternetz mit Solareinbindung (Kurzbezeichnung: 2L-TWW/RH-sol-s bzw. -sol-p)

Über Flachkollektoren mit Südausrichtung wird Solarwärme in einen monovalenten Pufferspeicher im Keller eingebracht (siehe *Abbildung 1*). Für die Nutzung dieser Wärme werden in diesem Beitrag zwei Betriebsarten betrachtet:

Gebräuchlich ist die **serielle Schaltung** des Solarspeichers zum Kessel, es wird also eine Rücklaufanhebung durchgeführt.

Schaltungstechnisch simpler, aber nicht gebräuchlich, ist die **parallele Schaltung** des Solarspeichers zum Kessel. Dabei findet ein reiner Alternativbetrieb zwischen Kessel und Solarspeicher statt; letzterer kann nur das Verteilnetz versorgen, wenn er Temperaturen oberhalb der geforderten Netzvorlauftemperatur liefern kann.

Die Betrachtung weiterer Schaltungsvarianten wie ein **direktes Einspeisen** aus dem Solarkreis in den Netzvorlauf sind zu einem späteren Zeitpunkt vorgesehen.

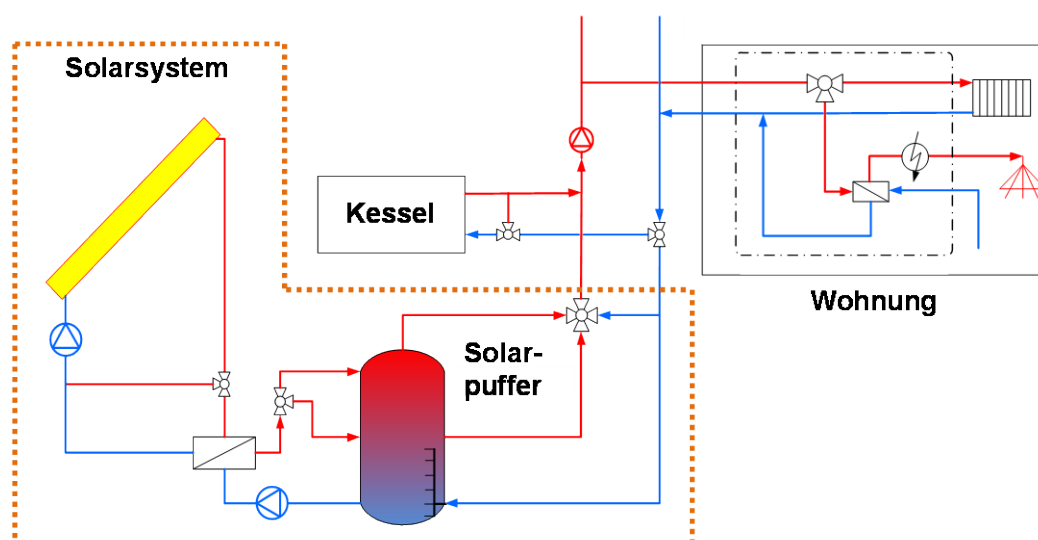


Abbildung 1: Zweileiternetz mit optionaler Solareinbindung

Bewertungsgrößen

Solarertrag

Der Fokus dieser Betrachtungen liegt auf dem Verteilnetz und der Vermeidung der dort anfallenden fossil erzeugten Wärmeverluste. Deshalb wird hier nur diejenige solar erzeugte Wärmemenge betrachtet, die Eingang in den Teil des Systems findet, wo fossil erzeugte Verluste auftreten können. Mit Solarertrag wird daher die Wärmemenge bezeichnet, die dem Solarspeicher zwecks Nutzung für Raumheizung oder TWW-Bereitung entnommen wird.

Endenergiebedarf

Für den Vergleich einzelner Systeme ist der Endenergiebedarf eine übliche Größe. Dieser kann auf zwei Weisen aufgeschlüsselt werden: Zum einen kann er in seiner Nutzung unterschieden werden, also in geregelte Wärmeabgabe zur Raumheizung (gemessen an den Heizkörpern), TWW-Nutzwärme (gemessen an den Zapfstellen) und unregelte Wärmeverluste (gemessen an den Verteilleitungen). Zum anderen kann er in seiner Erzeugung unterschieden werden, nämlich in fossil, solar und elektrisch bereitgestellte Wärme.

Verteilverluste

Die Verteilverluste werden als unregelte Wärmeabgabe an den Verteilleitungen gemessen. Diese werden sowohl in den Wohnungen als auch in Leitungsschächten und im Keller berücksichtigt. Der nicht nutzbare Anteil der Verteilverluste wird mit Hilfe einer Referenzsimulation ermittelt. Diese bildet ein ideales Verteilnetz ohne Wärmeverluste ab. Wird nun der gesamte Wärmebedarf für Raumheizung (als Wärmeabgabe von Heizkörpern und Verteilleitungen) des jeweiligen Systems und seiner Referenz verglichen, ergibt sich aus der Differenz der absolute Wert der nicht nutzbaren Verluste. Zudem lassen sich aus diesen Werten der Anteil der Verteilverluste an der Gesamtwärmeerzeugung und der Nutzungsfaktor der Verteilverluste bilden. Dieser wird als Quotient aus nutzbaren zu gesamten Verteilverlusten gebildet.

Ergebnisse

Solaranlagendimensionierung

Zunächst stellt sich die Frage, wie die Solaranlage in den betrachteten Systemen zu dimensionieren ist. Ausgangspunkt ist hier eine Auslegung nach sommerlicher TWW-Schwachlast gemäß VDI 6002. Als Annahmen liegen hier zugrunde:

- 60-gradiger Warmwasserbedarf eines Tages: $V_{D,60} = 278 \text{ l/d}$ (aus Zapfprofil)
- Auslastung: $v_{\text{Ausl}} = 30 \text{ l/(m}^2 \text{ d)}$
- Kollektorfläche: $A_{\text{Koll}} = V_{D,60} / v_{\text{Ausl}}$
- Spezifisches Speichervolumen pro Kollektorfläche: $v_{\text{Sp}} = 50 \text{ l/m}^2$

Dies ergibt eine Kollektorfläche von 10 m^2 bei einem Speichervolumen von 500 l . Da dies erfahrungsgemäß eine sehr knappe Dimensionierung für ein Wohngebäude dieser Größe und Belegung ist und die Solaranlage im Zweileitersystem zusätzlich

zur TWW-Bereitung auch der Heizungsunterstützung dient, werden an dieser Stelle auch größere Kollektorflächen untersucht. Die Speichergröße beträgt allerdings maximal 1500 l, da große Speichermaße – aufgrund einer möglichen Einbringung in den Keller ohne bauliche Maßnahmen – vermieden werden sollen und an dieser Stelle auf die Betrachtung von komplexeren Mehrspeichersystemen verzichtet wird. Somit ergeben sich die in *Abbildung 2* sichtbaren Solarerträge.

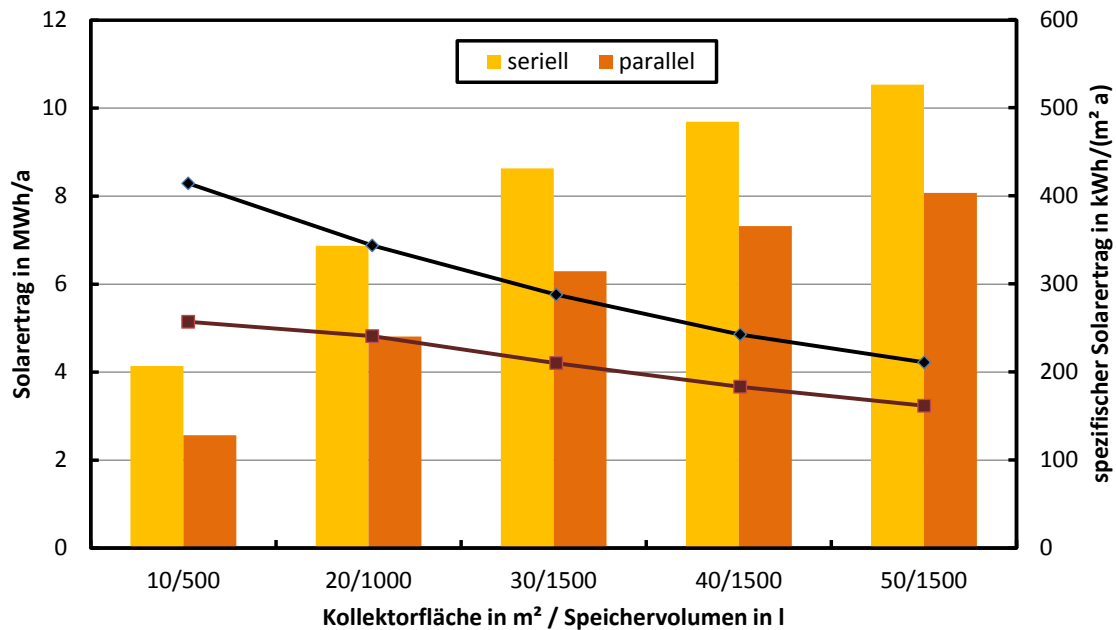


Abbildung 2: Solarertrag für verschiedene Anlagendimensionierungen

Wie zu erwarten, liefert die serielle Einbindung bei gleicher Dimensionierung höhere Erträge, da auch Solarwärme auf niedrigerem Temperaturniveau genutzt werden kann. Der spezifische Solarertrag nimmt mit steigender Kollektorfläche deutlich ab. Was ebenfalls nicht verwundert, da aufgrund der mangelnden zeitlichen Korrelation von Strahlungsangebot und Nutzwärmebedarf der nutzbare Solarertrag begrenzt ist. Für die folgenden Betrachtungen wird eine mittlere Dimensionierung mit 40 m² Kollektorfläche (also 5 m² pro Wohnung bzw. 2 m² pro Person) und 1500 l Speicher gewählt – diese Dimensionierung entspricht den Angaben der Arbeitsgemeinschaft für Erneuerbare Energien zur Erreichung sommerlicher Volldeckung [Fin04].

Systemvergleich

Wie bereits beschrieben, liegt das betrachtete Gebäude als unsaniertes Altbau und als energetisch sanierte Variante vor. *Abbildung 3* zeigt für das System Vierleiternetz die Unterschiede beider Varianten bezüglich des Wärmebedarfs, unterschieden nach Nutzwärme für TWW, der Wärmeabgabe der Heizkörper und den Verteilungsverlusten.

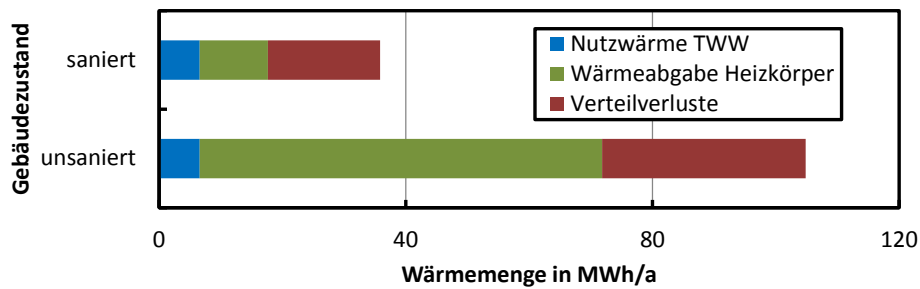


Abbildung 3: Vergleich der Nutzenergie bei unsaniertem und saniertem Gebäude

Der Gesamtenergiebedarf für Raumwärme und TWW, inklusive Verteilverlusten, liegt (beim Vierleiternetz) im unsanierten Fall bei 201 kWh/(m² a), im sanierten Fall bei 69 kWh/(m² a). Bei der energetischen Sanierung sinkt durch den verminderten Raumwärmebedarf vor allem die Wärmeabgabe der Heizkörper; die Wärmeverteilverluste sinken ebenfalls, aber um einen deutlich geringeren Anteil, während die TWW-Nutzwärme gleich bleibt. Wie zu erkennen ist, nehmen daher die Wärmeverteilverluste im sanierten Fall einen deutlich höheren Anteil an der gesamten Wärmeerzeugung ein, nämlich ca. 47 % im Gegensatz zu 29 % im unsanierten Fall. Für die folgenden Untersuchungen wird stets das sanierte Gebäude betrachtet. Zum einen, weil die Verteilverluste hier aufgrund ihres deutlich höheren Anteils an der Gesamtwärmeerzeugung von signifikanter Bedeutung sind; zum anderen, weil zu den Motivationen dieser Untersuchungen die häufig hinter den Erwartungen zurückbleibende Energieeinsparung im Falle energetischer Sanierung gehört.

Die folgende *Abbildung 4* stellt die untersuchten Systeme bezüglich ihrer jährlichen Nutzenergiemengen, unterschieden in Last und Erzeugung² dar.

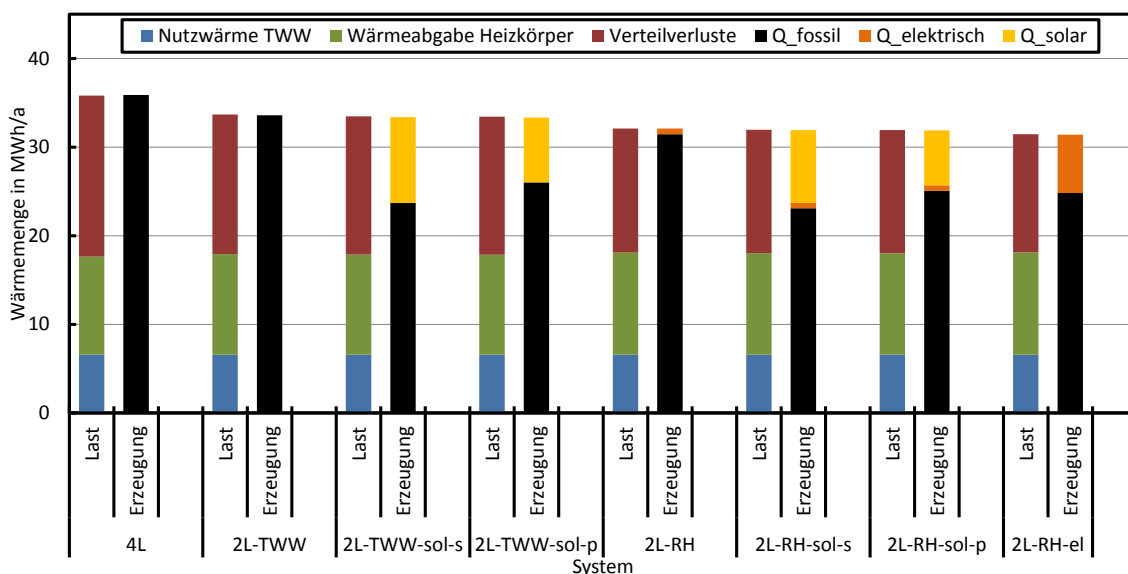


Abbildung 4: Systemvergleich hinsichtlich Last und Erzeugung der Nutzenergie

² Unter Erzeugung werden die Wärmemengen verstanden, die in das Gebäudeverteilnetz eingespeist werden. Die Kesselverluste sind in dieser Betrachtung nicht enthalten.

Auf der Lastseite ist zu erkennen, dass sich die insgesamt benötigte Nutzenergie jeweils bezüglich der Systeme 4L, 2L-TWW und 2L-RH unterscheidet. Ursache hierfür sind die Wärmeverteilverluste; TWW-Nutzwärme und Wärmeabgabe der Heizkörper sind erwartungsgemäß bei allen Systemen nahezu gleich. Beim Schritt vom System 4L zu 2L-TWW sinken die Wärmeverteilverluste merklich, da hier ein Rohrleitungspaar in der Wärmeverteilung entfällt. Der nächste Sprung ist von den 2L-TWW-Systemen auf die 2L-RH-Systeme zu erkennen – hier sinken die Verteilverluste nochmals, da die Netzvorlauftemperatur nun der Heizkurve folgt und somit über weite Zeiten nur relativ niedrige Temperaturen erreicht. Den geringsten Nutzenergiebedarf weist System 2L-RH-el auf, da hier aufgrund der dezentral-elektrischen TWW-Bereitung überhaupt keine durch TWW verursachten Verteilverluste anfallen.

Spätestens an dieser Stelle muss aber die Erzeugungsseite der Nutzwärme betrachtet werden. Denn hier nimmt bei diesem System die elektrisch erzeugte Wärme einen signifikanten Anteil ein (ca. 21 %). Daher ist die Sinnhaftigkeit eines solchen Systems stark abhängig von der Herkunft der elektrischen Energie. Wird diese regenerativ erzeugt, kann das System sehr sinnvoll sein; wird sie fossil erzeugt, ist die Sinnhaftigkeit nicht gegeben. Hinzu kommt die Problematik hoher Verbrauchsspitzen im elektrischen Energiebedarf bei verbreiteter Anwendung solcher Systeme, die sich negativ auf die Netzstabilität auswirken könnten und in der Stromerzeugung berücksichtigt werden müsste.

In den Zweileitervarianten mit RH-geführter Netzvorlauftemperatur und elektrischer Nacherwärmung als Backup ist der Anteil elektrisch erzeugter Wärme an der Gesamtwärmeerzeugung nur gering (2 bis 3 %). Maximal wird hier an den einzelnen Zapfstellen eine elektrische Leistung von 16 kW angefordert, die von Durchlauf-erhitzern geliefert werden könnten. Im System mit rein elektrischer TWW-Bereitung liegt die maximal an einer Zapfstelle geforderte Leistung bei 37 kW (Erwärmung von 10 auf 45 °C bei maximaler Zapfung) – hier könnte der Ausgleich solcher Spitzenlasten über kleine Speichervolumen sinnvoll bzw. nötig sein.

Wie bereits gezeigt, weisen im Zweileiternetz die seriellen Solarsysteme einen signifikant höheren Solarertrag auf. Anteilig kann bei der gewählten Dimensionierung der Solaranlage bei serieller Schaltung etwa 29 % der Nutzwärmelast solar gedeckt werden, bei paralleler Schaltung etwa 21 %. Bei RH-geführter Netzvorlauftemperatur liegen aufgrund der geringeren Netzverluste die Werte mit 25 % und 19 % etwas darunter.

Detailbetrachtung Verteilverluste

Eine Zuordnung der Verteilverluste zum Ort ihres Auftretens sowie deren Nutzungsfaktoren und ihres Anteils an der insgesamt zugeführten Wärme kann *Abbildung 5* entnommen werden. Es ist zu erkennen, dass mit dem Umstieg vom Vier- auf das Zweileiternetz eine starke Verringerung der Verteilverluste im unbeheizten Bereich von 3,2 MWh/a (also rund 45 %) einhergeht. Dieser Anteil würde zunehmen, wenn die Wärmezentrale ein breiteres MFH mit mehreren Eingängen versorgen müsste.

Damit werden gleichzeitig die nicht nutzbaren Verteilverluste reduziert, bzw. der zugehörige Nutzungsfaktor erhöht. Die geringfügige Zunahme der Verteilverluste in den Wohnungen ist auf das Ausbleiben von Auskühlphasen zurückzuführen, die beim Vierleiternetz dadurch entstehen, dass in Zeiten der TWW-Speicherbeladung keine Versorgung der Heizkörper mehr erfolgt. Überdies zeigt sich, dass die Varianten mit einer am Bedarf der Raumheizung orientierten Vorlauftemperatur sowohl die niedrigsten Verteilverluste als auch die höchsten Nutzungsfaktoren dieser aufweisen, was im Wesentlichen der niedrigeren (mittleren) Netztemperatur geschuldet ist. Erwartungsgemäß weist das System mit rein elektrischer TWW-Erwärmung die geringsten Verteilverluste auf.

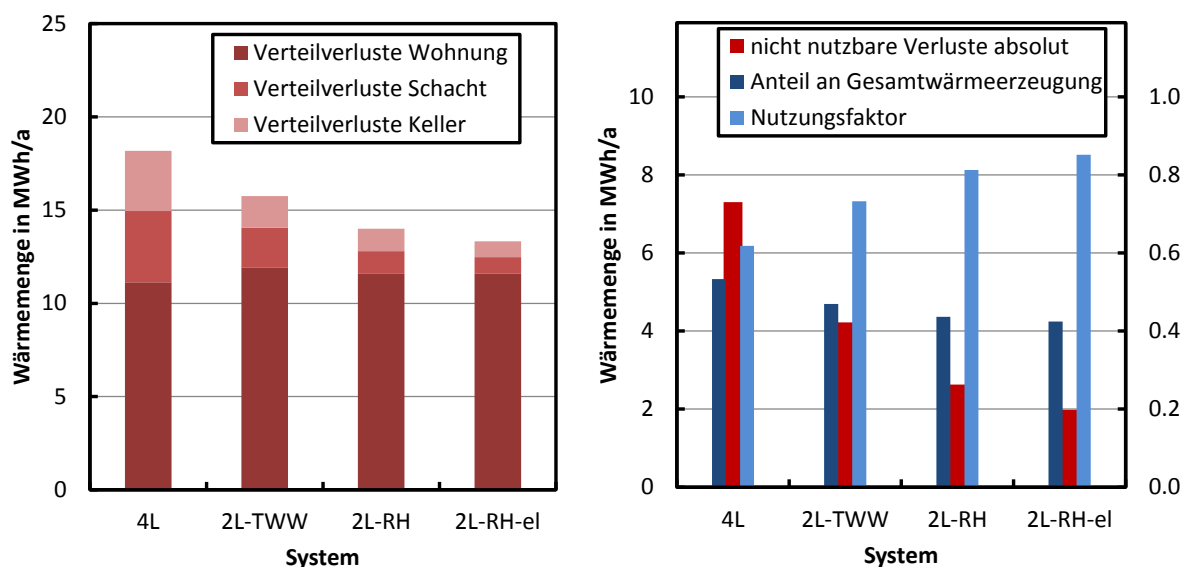


Abbildung 5: Verteilverluste unterschiedlicher Systemkonzepte im Vergleich

Die solar unterstützten Systemvarianten sind in *Abbildung 5* nicht mitabgebildet, da sich die „Herkunft“ der Wärme nicht auf die Höhe der Verteilverluste und deren Nutzbarkeit auswirkt.

Die Besonderheiten der solaren Systeme bezüglich der Verteilverluste zeigen sich jedoch darin, dass ein Teil der Verteilverluste durch den Solarwärmeeintrag gedeckt werden kann. Diesen solar gedeckten Anteil der Verteilverluste zeigt *Abbildung 6* für verschiedene Größen von Kollektor und solarem Pufferspeicher (jeweils für die parallele Betriebsweise). Eine Unterscheidung in solar oder fossil gedeckte Verteilverluste wird dabei lediglich für die parallele Betriebsweise vorgenommen, wobei die vereinfachende Annahme getroffen wird, dass Verluste immer dann als solar gedeckt angesehen werden, wenn das Netz über den Pufferspeicher versorgt wird. Da im seriellen Betrieb Puffer und Kessel häufig gleichzeitig zur Versorgung des Netzes beitragen, ist eine Zuordnung von solar oder fossil gedeckten Verteilverlusten nicht einfach möglich.

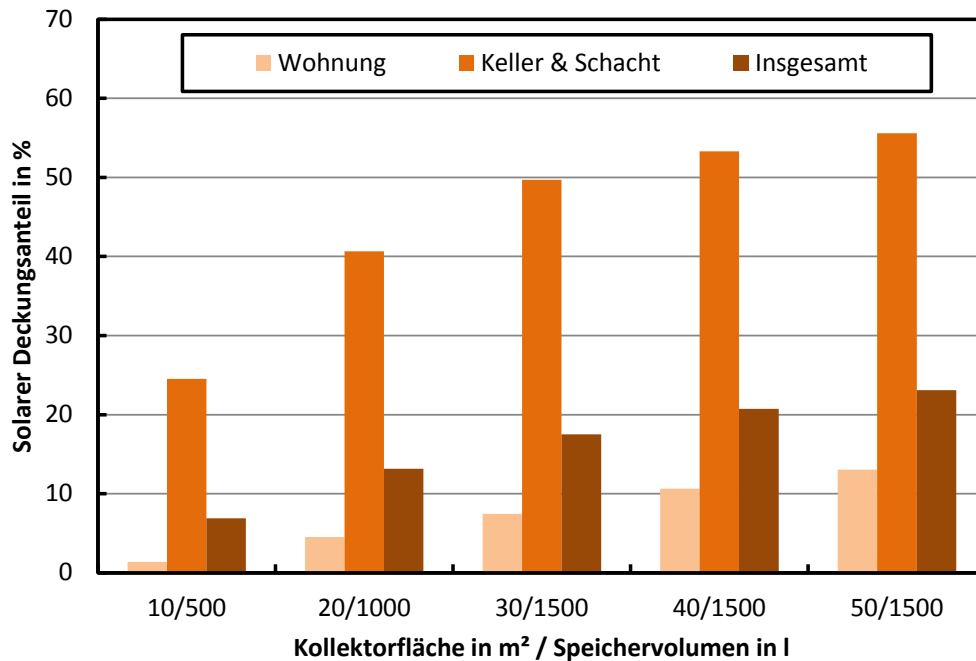


Abbildung 6: Solar gedeckte Verteilverluste für unterschiedliche Kollektorflächen

Es zeigt sich, dass die Solarwärme im betrachteten Auslegungsbereich bis zu 23 % der gesamten Verteilverluste und bis zu 56 % der Verteilverluste im unbeheizten Bereich (Keller & Schacht) decken kann. Insbesondere der solare Beitrag zur Deckung der Verluste im unbeheizten Bereich des Gebäudes ist hervorzuheben, da diese Verluste eine geringe Nutzbarkeit aufweisen und somit möglichst wenig der wertvollen fossilen Energie für ihre Deckung aufgebracht werden sollte. Der höhere Beitrag der Solarthermie zur Deckung der Verluste in Schacht und Keller zeigt, dass hier im Wesentlichen die TWW-Verteilung solar unterstützt wird.

Korrelation von Außentemperatur und nutzbaren Verteilverlusten

In *Abbildung 7* sind Dreitagesmittelwerte des relativen Anteils nicht nutzbarer Verteilverluste an den gesamten Verteilverlusten in Abhängigkeit einer effektiven Außentemperatur dargestellt. Diese ist eine um den Beitrag der solaren Gewinne zur Gesamtenergiebilanz korrigierte Außentemperatur, die auf der Einsicht basiert, dass sich der Anteil nicht nutzbarer Wärmeverteilverluste an einem kalten aber einstrahlungsreichen Tag stark von dem Fall eines kalten und einstrahlungsarmen Tages unterscheiden wird. Um eine dreidimensionale Darstellung dieser Abhängigkeiten zu umgehen, werden die beiden Einflussgrößen in einer effektiven Außentemperatur vereinigt.

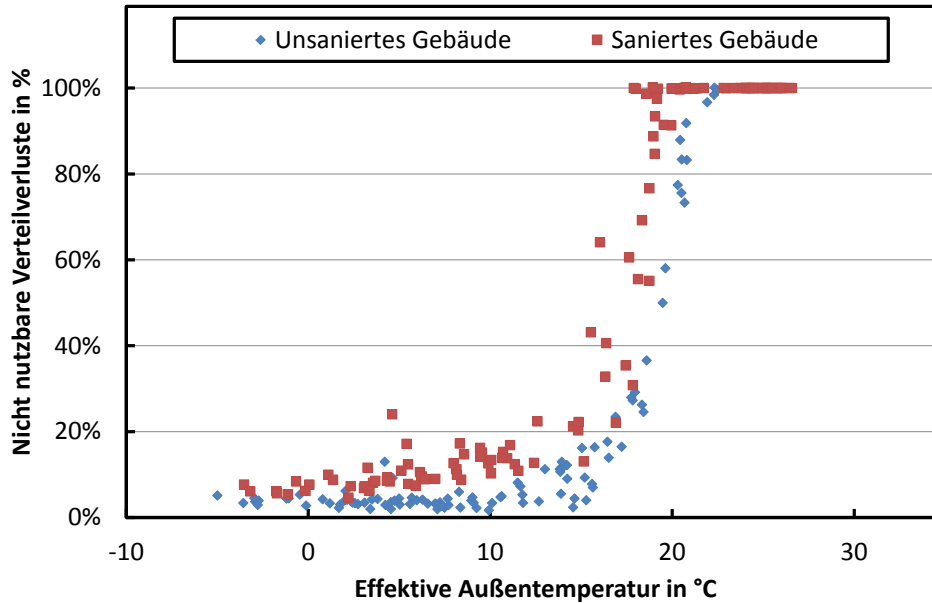


Abbildung 7: Anteil nicht nutzbarer Verteilverluste über effektiver Außentemperatur

Wie *Abbildung 7* zeigt, sind die nicht nutzbaren Verteilverluste im sanierten Gebäude durchgehend größer als im unsanierten Gebäude. Bei effektiven Außentemperaturen unter 10 °C liegen die nicht nutzbaren Verteilverluste in beiden Fällen (fast immer) unter einem Wert von 20 %. Erst mit dem Erreichen einer effektiven Außentemperatur von etwa 10 °C beim sanierten und 15 °C beim unsanierten Gebäude beginnen die nicht nutzbaren Verluste stark anzusteigen. Das sanierte Gebäude weist dabei in einem Übergangsbereich von 10 bis 20 °C eine größere Streuung auf als im unsanierten Gebäude. Ferner zeigt sich, dass ab einer effektiven Außentemperatur von 15 °C bereits Dreitagesmittelwerte der nicht nutzbaren Verteilverluste von 100 % auftreten – im sanierten Gebäude insgesamt eher und deutlich häufiger als im unsanierten Gebäude.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Solarwärme besonders geeignet ist, um die systemimmanenten, nicht nutzbaren Verteilverluste zu decken. Eben dieses Einsatzgebiet ist bei der Anlagendimensionierung zu berücksichtigen, was den Einsatz größerer Solaranlagen in MFH sinnvoll erscheinen lässt.

Fazit und Ausblick

In den bisherigen Projektarbeiten ist ein Vielzonenmodell für MFH mit besonderem Fokus auf ihre Verteilnetze erstellt worden. Dies macht detaillierte Untersuchungen und quantitative Aussagen zur Effizienz von Vier- und Zweileiternetzen möglich. Unterschiedliche Konzepte zur Regelung der Vorlauftemperatur, z. B. entweder rein nach den Anforderungen des TWW oder der Raumheizung, können dynamisch simuliert werden, ebenso die Einbindung von Solarwärme. Die vorhandenen Modelle erlauben bereits jetzt eingehende Analysen zur Nutzbarkeit der Verteilverluste.

Im Projektverlauf werden die vorgestellten Systeme tiefergehend analysiert und durch weitere Varianten ergänzt. So soll ein System mit dezentralen Kleinspeichern untersucht werden, ebenso eines mit dezentralen Brennwertkesseln zur ganzjährigen Vermeidung konventionell gedeckter Verteilverluste. Diesem Ziel folgt auch ein Konzept, welches eine dezentrale Wärmebereitung mit Kleinwärmepumpen bei ganzjähriger Nutzung des Verteilnetzes für Solar- und Umweltwärme vorsieht.

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

- [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 Geschoßwohnbau – Ein Planungshandbuch mit ganzheitlichem Ansatz*, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energien – Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf, 2004
- [Hal13] Haller, M.; Dott, R.; Ruschenburg J.; et al.: *The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38, Part A: General Simulation Boundary Conditions, A technical report of subtask C, Report C1 Part A*, Institut für Solartechnik SPF, Hochschule für Technik HSR, Rapperswil, 2013
- [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
- [Jah12] Jahnke, K.: *Trendreport Energie 4 – Solarwärme und ihre Rolle bei der Energiewende*, co2online gemeinnützige GmbH, Berlin, 2012
- [Jor03] Jordan, U.; Vajen, K.: *Handbuch – DHWcalc*, URL: 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
- [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)