

Effektivitetsanalys av solassisterade värmeförsörjningssystem i flerfamiljshus

Oliver Arnold¹, Oliver Mercker¹, Jan Steinweg¹ och Gunter Rockendorf¹

¹ Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH), Am Ohrberg 1, 31860 Emmerthal (Tyskland)

Abstract

Det finns två viktiga metoder för att minska energirelaterade utsläpp från bostäder. Den ena är att isolera byggnadens skal och den andra är att modernisera dess värmeförsörjningssystem. Ofta leder isolering av bostäder till lägre energibesparingar än väntat (Greller m.fl., 2010), vilket antas vara relaterat till värmeförlusterna i själva värmesystemet. Moderniseringen av värmeförsörjningssystem måste därför uppmärksammas, då detta kan leda till en betydande minskning av byggnadens slutliga energibehov (Jahnke m.fl., 2015). Den här studien följer denna metod och fokuserar på värmeförsörjning och fördelningssystem för flerfamiljshus (MFH), vilket utgör en betydande andel av Tysklands bostadsmarknad. Studien jämför primära energibehov, energieffektivitet och ekonomiska aspekter för olika typer av värmesystem för flerfamiljshus. Värmefördelningsförluster analyseras och deras relevans för effektiva system diskuteras. Baserat på denna analys belyser arbetet effektiva integrationsvägar för solvärmeförsörjningssystem vilket kan leda till ökad effektivitet i det totala värmeförsörjningssystemet.

Sökord: *Flerfamiljshus, värmeförsörjning, värmefördelning, värmefördelningsförluster, energieffektivitet*

1. Inledning

Uppmätta energibehov hos isolerade bostäder är ofta högre än vad som teoretiskt förväntas, vilket framgår av Majcen m.fl. (2013). En anledning till detta är så kallade "rebound effects", som orsakas av de boende i bostaden och t.ex. kan vara högre rumstemperaturer eller högre luftväxlingstempo, som är svåra att modellera. En annan teknisk orsak till den observerade modell-/mätavvikelsen är vanligtvis relaterad till värmeförlusterna i värmefördelningssystemet. En del av fördelningsförlusterna ersätter normal drift av rumselementen och kan därmed krediteras till energibehovet. Men om det inte finns något värmebehov vid en viss tidpunkt och i ett enskilt rum leder fördelningsförluster till överhettning och som ett resultat av ökad överföring och ventilationsförluster för byggnaden. I detta fall är användbarheten för värmeförluster mycket låg. Denna effekt märks tydligt i välisolerade byggnader. I föreliggande dokument analyseras denna situation med hjälp av simuleringstudier.

En detaljerad modell av ett flerfamiljshus har etablerats, med hjälp av TRNSYS programvara som lämplig modelleringsmiljö. Den bakomliggande byggnadsmodellen avser typiska konstruktioner och utrustningar som är representativa för flerfamiljshus i Tyskland. Modellen möjliggör dynamiska undersökningar av temperaturer, massflöden och energibalanser samt den inverkan som värmefördelningsförluster har i enskilda rum såväl som hela byggnaden. Detta möjliggör en detaljerad undersökning av värmeförluster och deras potentiella bidrag till utrymmenas uppvärmningsbehov. I själva verket måste en sådan analys baseras på simuleringar, eftersom reproducerbara och mycket analyserbara fältdata är omöjliga att få fram på grund av det enorma antalet parametrar, de boendes beteende, byggnads- och väderdynamik och distribuerade energiflöden.

Modelleringen av byggnadens värmebehov baseras på en undersökning av olika system som kommer att jämföras och klassificeras i detta dokument. Denna undersökning gäller det vanligaste värmesystemet i Tyskland. Baserat på detta rationaliseras olika metoder för att minska värmefördelningsförlusterna, för att förbättra deras användbarhet och på så vis minska systemets energibehov.

Till sist kommer ett solvärmesystem som är en effektiv strategi för att öka energieffektiviteten i byggnaden att föreslås. Den lämpliga utformningen av sådana solvärmesystem förklaras i samband med analysen av bygg- och energisystem, och ekonomiska aspekter återspeglas.

2. Simuleringsmiljö, byggnad och meteorologisk modell

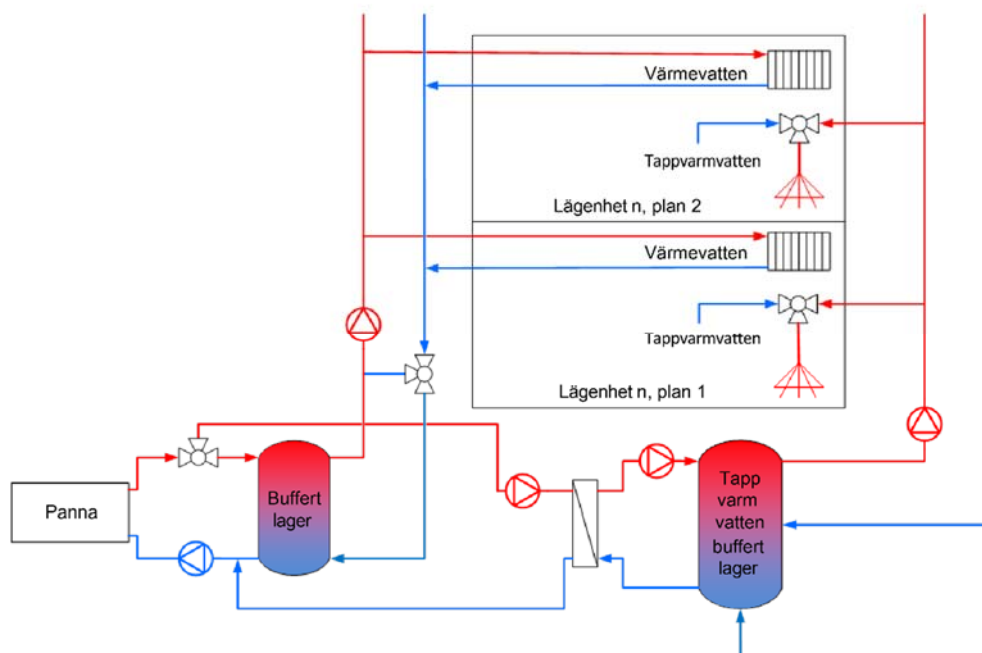
Simuleringarna genomförs med hjälp av TRNSYS 17 Modeling Suite, ett dynamiskt systemsimuleringsprogram. Den temporala upplösningen justeras med en simuleringstid på en minut och tidsskalan för en typisk simulering sträcker sig över en ettårsperiod. Modellen av byggnadens värmefördelningssystem är ganska detaljerad för att på ett korrekt sätt simulera värmefördelningens dynamiska beteende, i synnerhet värmeförlusterna. Den tar hänsyn till över 100 kanalsektioner (typ 604) för korrekt rumslig upplösning av värmefördelningssystemet i byggnaden, som dynamiskt kan beräkna värmeförluster under lokala termiska och flux-förhållanden.

Modellen för flerfamiljshuset (MFH) byggdes med modulen TRNBUILD. Modellen bygger på statistiska uppgifter om flerfamiljshus-konstruktioner i Tyskland. Modellen består av fyra våningar, en ouppvärmad källare och trappor samt åtta identiska lägenheter. Varje lägenhet består av fem rum och en korridor. Modellen förutsätter två boende per lägenhet. Varje rum i byggnaden representerar en enskild termisk zon som termiskt interagerar med angränsande rum (zoner) genom väggar, golv/tak och rörkanaler. Totalt består modellbyggnaden av 52 termiska zoner. Byggnadens yttre skal antas vara isolerad enligt motsvarande tyska förordning EnEV (2014), enligt de lägsta värden som definieras i förordningen. För den inre rumstemperaturen används ett börvärde på 20°C. Klimatmodellen baseras på data från Meteororm för staden Zürich (Schweiz), som har bevisats lämplig för centraleuropeiska moderata klimatsituationer, se Streicher m.fl. (2003). Det resulterande specifika totala värmebehovet för byggnaden är 35 kWh/(m² a) och ett totalt värmebehov är 56 kWh/(m² a). Detta inkluderar lastprofiler för tappvarmvatten som beskrivet i Mercker m.fl. (2016a).

3. Undersökta system

Fyrrörssystem (4L)

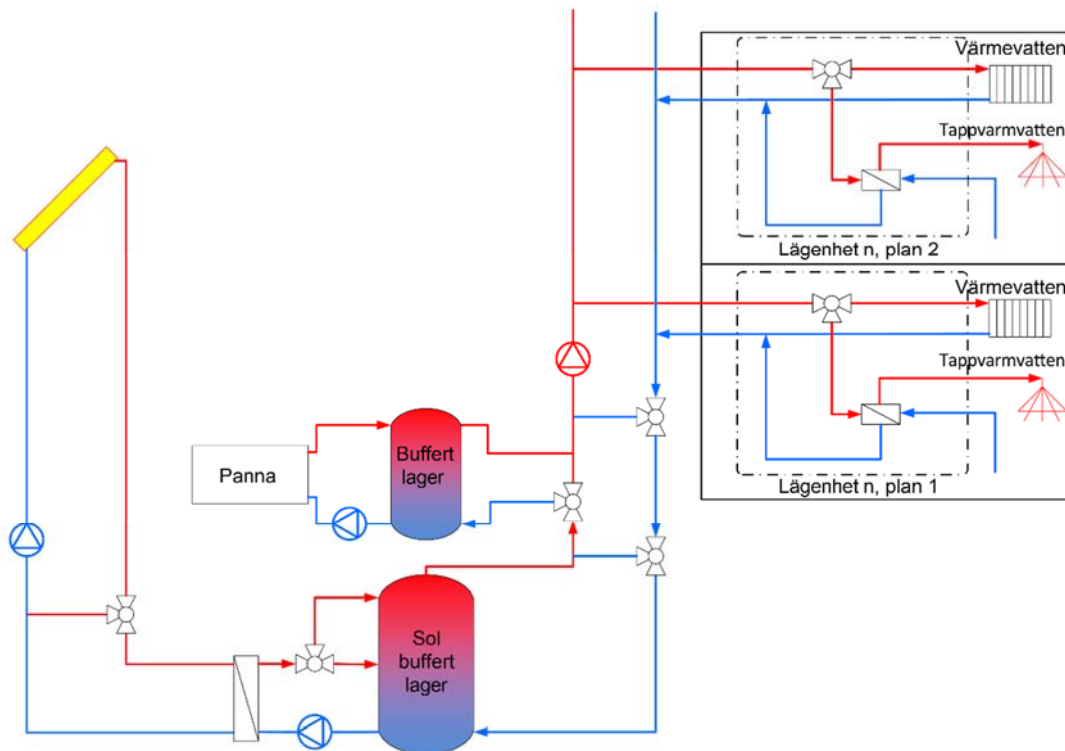
Ett fyrrörigt värmefördelningsnät med centralvärmeproduktion, såsom visas i illustration 1, är ett mycket vanligt värmeförsörjningssystem för flerfamiljshus i Tyskland, se Wolff m.fl. (2012). Värmevatten och tappvarmvatten distribueras via två separata rörpar. Tappvarmvatten lagras centralt vid en temperatur på minst 60 °C av hygieniska skäl. Det värmesystem som studeras här representerar en kondenserande gaspanna.



III. 1: Fyrrörssystem med centralvärmeproduktion

Tvårörssystem (2L)

Den andra uppsättningen avser ett nätverk med dubbla rör som visas i illustration 2. Den består av endast ett par rör för både värmevatten och tappvarmvatten, som innehåller varmvatten. Tappvarmvattnet värms sedan upp vid behov i decentraliserade värmeöverföringsenheter, som installeras i varje enskild lägenhet. Följaktligen kan den totala vätsketemperaturen i distributionsrören tillåtas sjunka under 60 °C. Värmefördelningsnätet måste uppfylla ett komfortkriterium för tappvarmvattnet på 45 °C dragningstemperatur. För att uppnå detta på ett säkert sätt ställs matningstemperaturen in på 50 °C i simuleringen. Fördelen med tvåörssystem framför fyrrörssystem beror på den lägre drivtemperaturen, frånvaron av ett centralt tappvarmvatten-lager, såväl som minskningen av den sammanlagda rörlängden. Förenklad integration med solvärmeteknik är en annan fördel med tvåörssystem i allmänhet. En optimerad variant av tvåörssystemet (2L-opt) gör det möjligt att ytterligare minska rörledningsnätverkets temperaturnivå genom elektriska reservvärmare i de lokala värmeöverföringsmodulerna i de enskilda lägenheterna. Reservvärmarna säkerställer önskad kranvattentemperatur. De är ordnade efter tappvarmvatten-värmeväxlaren (jämför illustration 2).



III. 2: Tvårörssystem med centralvärmeproduktion och integrerade solvärmesystem

Tvårörssystem med decentraliserade lager

Utformningen av detta system är samma som det vanliga tvåörssystemet, men med decentraliserade buffertlager för tappvarmvatten-beredning. Dessa buffertlager antas finnas i varje enskild lägenhet. Tappvarmvattnet förbereds vid efterfrågan (när kranen sätts på) av närliggande varmvattenmoduler som drar värme från buffertlagren för detta ändamål.

Tvårörssystem med decentraliserade pannor

En annan konstruktionsmetod för att minska fördelningsrelaterade värmeförluster är att decentralisera värmeproduktionen med fossila bränslen. I den nuvarande modellen kan detta uppnås genom att decentraliserade gaspannor installeras i de enskilda lägenheterna. På grund av pannornas låga effektnivå är decentraliserade tappvarmvatten-lager (identiska med de i det tidigare systemet) nödvändiga för att försäkra tappvarmvatten-komfort. I detta koncept är det endast värme från solenergi som distribueras från centralvärmens till lägenheterna.

Tvårörssystem med decentraliserade värmepumpar

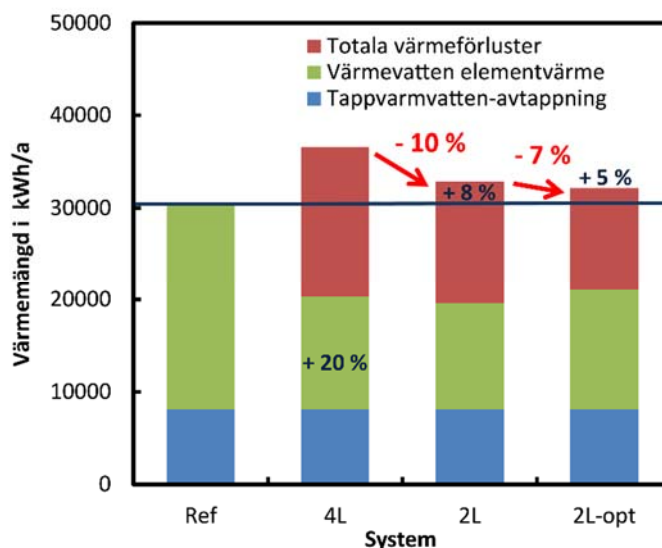
Decentraliserade värmepumpar för värmeproduktion i de enskilda lägenheterna är en annan konstruktionsmetod. Värmepumparna antas leverera små, lokaliserade buffertlager. I motsats till de två tidigare modellerna levererar de lokala lagren – som innehåller värmevatten – värme för både värmevatten och tappvarmvatten, den senare via tappvarmvatten-moduler. Modellen förutsätter att den gemensamma värmekällan som levererar till värmepumparna produceras från geotermiska resurser genom borrhålsvärmeväxlare. För detta ändamål är geotermisk värme med låg temperatur buffrad i ett centralvärmelager från vilken den distribueras till de enskilda värmepumparna i lägenheterna. I en alternativ utformning kan den centrala värmeförsörjningen också stödjas av ett solvärmesystem. I detta fall förvarar det centrala lagret också solvärmens.

4. Resultat

Resultaten presenteras i tre separata avsnitt: Det första avsnittet behandlar optimering av värmefördelningsnätet, det andra solvärmeanvändning och det tredje alternativa försörjningsvägar.

Optimering av värmefördelningsnätet (2L-opt)

Optimeringen av värmefördelningsnätet gäller omvandlingen från det vanliga fyrrörssystemet till ett tvårörssystem, vilket betyder att den konventionella centrala gaspannan för värmeproduktion behålls. Illustration 3 visar vilken effekt denna konfigurationsförändring har på byggnadens totala värmebehov, och jämför fyra situationer: (1) ett idealiserat referenssystem utan förlust av värmefördelning. (2) de fyrrörs- och (3) tvårörssystem som beskrivs ovan; (4) ett ytterligare optimerat rörsystem med dubbla rör, kallat "2L-opt" i illustration 3. Det senare förutsätter elektriska backupvärmare i de lokala värmeöverföringsstationerna i de enskilda lägenheterna, som gör det möjligt att minska temperaturen i rören från 50 °C till 40 °C för att ytterligare minska fördelningsförluster utan att få mindre tappvarmvatten-komfort.

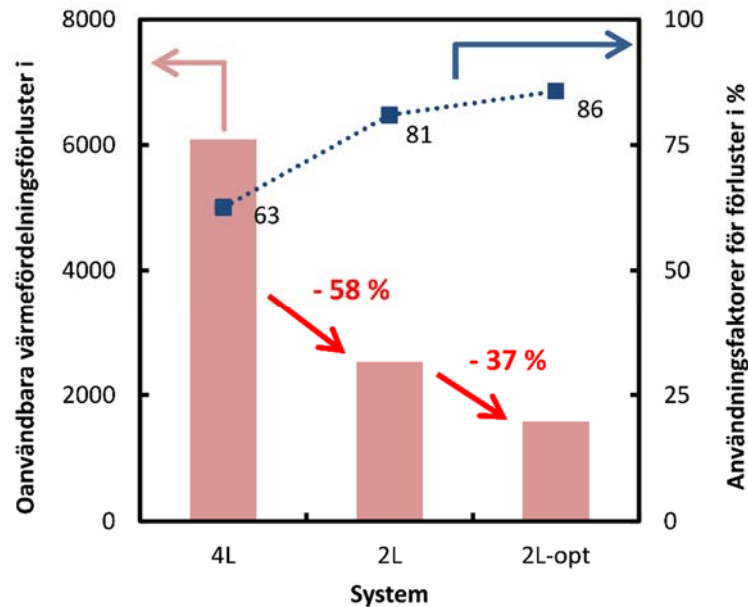


III. 3: Distributionsrörssystem-optimeringens inverkan på byggnadens värmebehov

Det konventionella 4L-systemet uppvisar 20 % högre värmebehov än det idealiserade referenssystemet med mindre förlust, vilket indikerar den totala optimeringspotentialen av leveransdesignen på given rumskomfortnivå. Konfigurationsändringen från 4L till ett grundläggande 2L-system minskar det totala energibehovet med 10 % jämfört med den konventionella designen, men behovet är fortfarande 8 % högre än det idealiserade referenssystemet. Det optimerade 2L-systemet möjliggör ytterligare reduktion med 7 %, vilket resulterar i en offset på 5 % över det idealiska systemet. Med andra ord är den minskade potentialen hos modellbyggnaden redan uppfylld till en omfattning av 75 % genom en konfigurationsändring av värmefördelningsnätet, utan en avancerad decentralisering av hela värmesystemet (med undantag för den elektriska tappvarmvatten-reservvärmaren). Denna reduktion är resultatet av en minimering av värmeutbytets yta (från 4L till 2L) och de minskade rörnätstemperaturerna (från 4L via 2L till 2L-opt). Illustration 4 visar detaljerna: Oanvändbara värmefördelningsförluster minskas avsevärt genom den beskrivna konfigurationsändringen så att fördelningseffektiviteten ökas. Denna effektivitet kan bedömas utifrån värmeförlusternas användbarhet, som definieras som förhållandet mellan systemets användbara värmeförluster och de totala värmeförlusterna.

$$f_N = \frac{Q_{loss,use}}{Q_{loss,total}} \quad (\text{eq. 1})$$

"Användbara" värmeförluster är värmeförluster från rörssystem där värmen läcker in i byggnaden och på så vis stöder rumsuppvärmningen. "Oanvändbara" värmeförluster leder till högre rumstemperaturer och läcker därmed slutligen ut i miljön. Från och med illustration 4 kan värmeförlusternas användbarhet ökas från 63 % till 86 % genom konstruktionsändringen från 4L till 2L-opt-systemet.



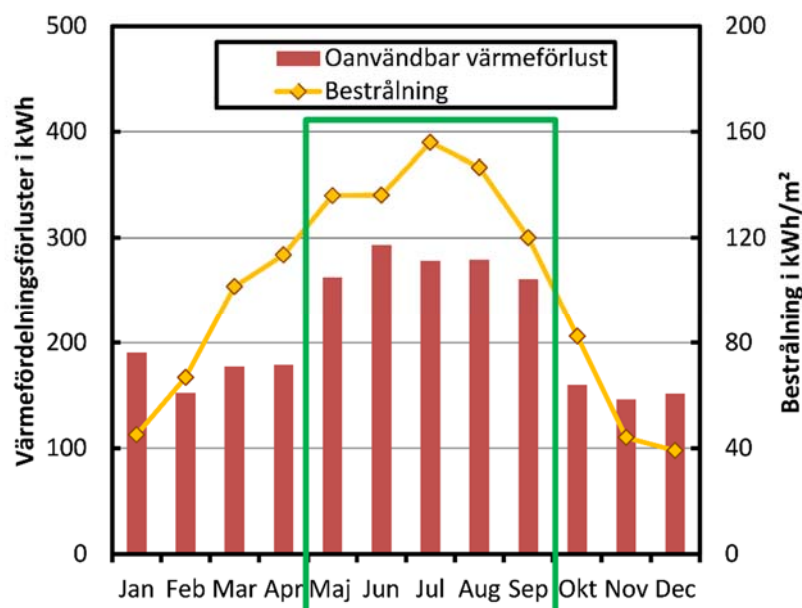
III. 4: Värmefördelningsnät-optimeringens inverkan på användbarheten av värmeförluster

De återstående oanvändbara värmefördelningsförlusterna, som markerar värmebehovets minskningspotential, uppgår till 1582 kWh eller 5 % av det totala energibehovet enligt ill. 3. Dessa resultat bygger på det starka antagandet att alla som bor i huset har samma uppvärmningsvanor (enzonstemperatur: 20 °C i alla rum). Det kan noteras att simuleringar som utförs med lokaliserade (flerzoniga) rumstemperaturer uppvisar ännu mer nedsatt användbarhet, se Mercker m.fl. (2016b & 2016c). I icke-homogent uppvärmda byggnader förväntas värmefördelningsförlusterna bli högre (dubbling är möjlig) och deras användbarhet lägre (ännu mindre än 50 %) – trots detta behåller den nuvarande studien för enkelhetens och jämförbarhetens skull antagandet om homogent inställda temperaturer i rummen (individuellt mänskligt beteende är svårt att förutsäga). Därför gäller de diskuterade resultaten den nedre delen av det förväntade spektrumet.

Utnyttjande av solenergi

Integrationen av ett solvärmesystem leder till både minskat behov för fossila energikällor och en betydande minskning av värmefördelningsförluster som täcks av fossil energi. Illustration 5 visar hur solstrålning och oanvändbara värmefördelningsförluster sammanfaller under sommarmånaderna. Det slumpmässiga sammanfallandet kan användas till att öka energieffektiviteten i värmeförsörjningssystem.

Anledningen till att oanvändbara värmeförluster når sin topp under sommaren är att det saknas efterfrågan på utrymmesuppvärmning som hade kunnat tjäna på tappvarmvatten-värmefördelningen under denna period. Därför inträffar 54 % av de helt oanvändbara värmeförlusterna under maj–september. Eftersom solen har sin maximala produktion under samma period, är det lämpligt att täcka sommarens värmebehov med solenergiressurser. Modellen förutspår 54 % minskning av fossil energiförbrukning i samband med oanvändbara värmefördelningsförluster.



III. 5: Jämförelse av solbestrålning per månad och oanvändbara värmefördelningsförluster

Solfångarområdet beräknas med hänvisning till den tyska riktlinjen VDI 6002-1 (2004). Den resulterande fältstorleken är i intervallet 5 till 8 m² eller 0,3 till 0,5 m² per person. Dessutom har solfångarområdena 16, 24 och 32 m² simulerats för att undersöka effekten av större solenergisystem. Solenergilagerstorleken är fastställd till 50 l/m² solfångare. Tabell 1 visar förhållandet mellan olika fältstorlekar till solenergiavkastningen (som energiproduktion av solenergilager) och den erhållna solenergitäckningen av det totala värmebehovet.

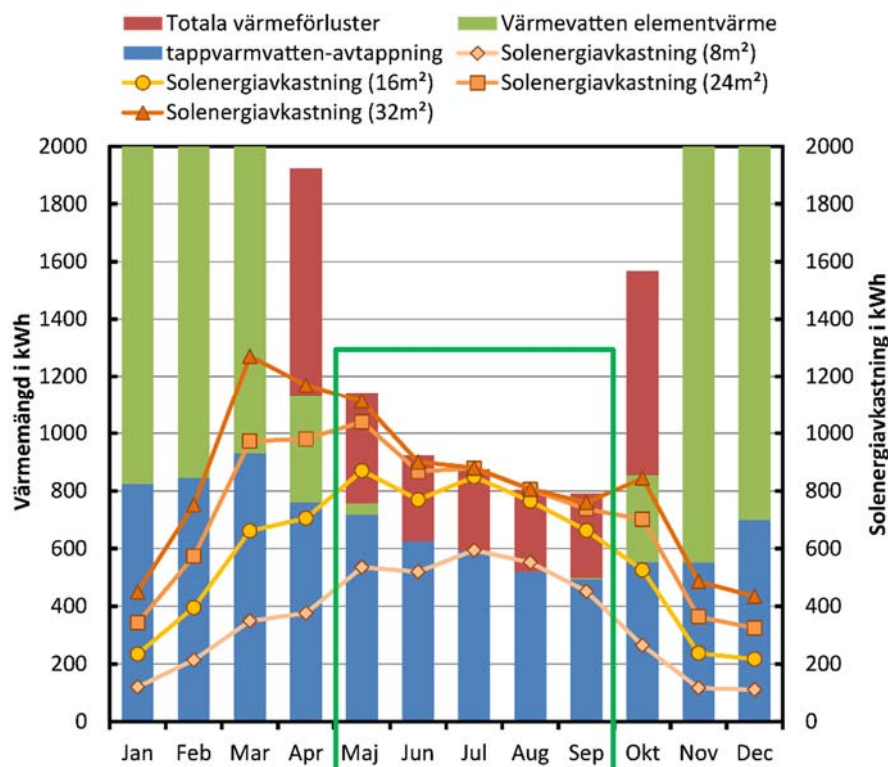
Tab. 1: Storleksjämförelse av solvärmesystem

Solfångarområde i m ²	Solfångarområde i m ² /person	Solenergiavkastning i kWh/m ²	Solenergitäckning av totalt värmebehov i %
8	0,5	474	12
16	1,0	411	20
24	1,5	350	26
32	2,0	306	30

Vi ser att med en solfångare med fältstorlek 32 m² kan en solenergitäckning av det totala värmebehovet på 30 % nås, vilket utgör en uppfångad avkastning på 306 kWh/m². Observera att den här fältstorleken är minst fyra gånger större än det område som rekommenderas av riktlinjen VDI 6002-1 (2004).

Diagram 6 visar både det månatliga värmebehovet, uppdelat på värmevatten, tappvarmvatten och fördelningsförluster, och den månatliga solenergiavkastningen för de fyra undersökta solfångarfältstorlekarna i ett diagram.

Av denna illustration drar vi slutsatsen att den totala värmeförfrågan för modellbyggnaden under maj-september kan täckas av ett solvärmesystem med en minimal insamlingsyta på 32 m². Ett system på 16 m² tillåter fortfarande en (nästan) 100 % solenergitäckning inom juli och augusti. Det 8 m² stora systemet, utformat enligt VDI 6002-1 (2004), täcker dock bara tappvarmvatten-behovet, inte något av värmefördelningsförlusterna.



III. 6: Jämförelse av det månatliga värmebehovet och uppfångad avkastning uppnådd genom olika fältstorlekar

Med hjälp av ett solvärmesystem i passande skala kan det totala värmebehovet – inklusive fördelningsförluster – levereras helt under maj-september och pannan kan stängas av under denna period. Detta innebär en ca 54 % besparing av de tidigare fossilbränsletäckta oanvändbara värmeförlusterna, samt standby-förluster från pannan och tillhörande ineffektiv delastdrift under sommarsäsongen. Sammanfattningsvis innebär detta att det återstående rörnätverkets inducerade optimeringspotential för byggnadens värmebehov på 5 % (eller 1582 kWh/a enligt konceptet 2L-opt) minskas ytterligare till 2 % (eller 728 kWh/a).

Den alternativa metoden, dvs. integration av elektriska backupvärmare för tappvarmvatten-försörjning i 2L-system som är installerade i de lokala värmeöverföringsstationerna i de enskilda lägenheterna, gör det möjligt att stänga av pannan under sommarmånaderna utan någon förlust av tappvarmvatten-komfort (som i konstruktionen innan), men solvärmesystemen kan utformas i mindre skala. Modellen förutspår att solsystemet i detta fall kan minskas till ett solfångarområde på 8 m². Eftersom en minskning av solenergisystemet också minskar solenergiavkastningen under våren, hösten och vintern innebär denna konstruktionsstrategi mindre besparingar på fossila bränslen än utformningen utan elförsörjning, men med större solenergiavkastning än vad som diskuterats tidigare. Tabell 2 visar att med en förstorad solfångare från 8 till 16 m² kommer den elektriska energin att minska med två tredjedelar. Med 32 m² är elvärmens nästan försumbar. Observera att rörsystemets lägre temperatur på sommaren leder till betydligt högre solenergiavkastning med mindre solfångarområden.

Tab. 2: Värmeproduktion och energikrav för olika solfångarfältstorlekar i 2L-opt-systemet

Solfångarområde i m ²	Solenergiavkastning i kWh/a	Elförbrukning i kWh/a	Gasförbrukning i kWh/a
8	4210	1156	31174
16	6891	399	29671
24	8586	147	28276
32	9869	65	27066

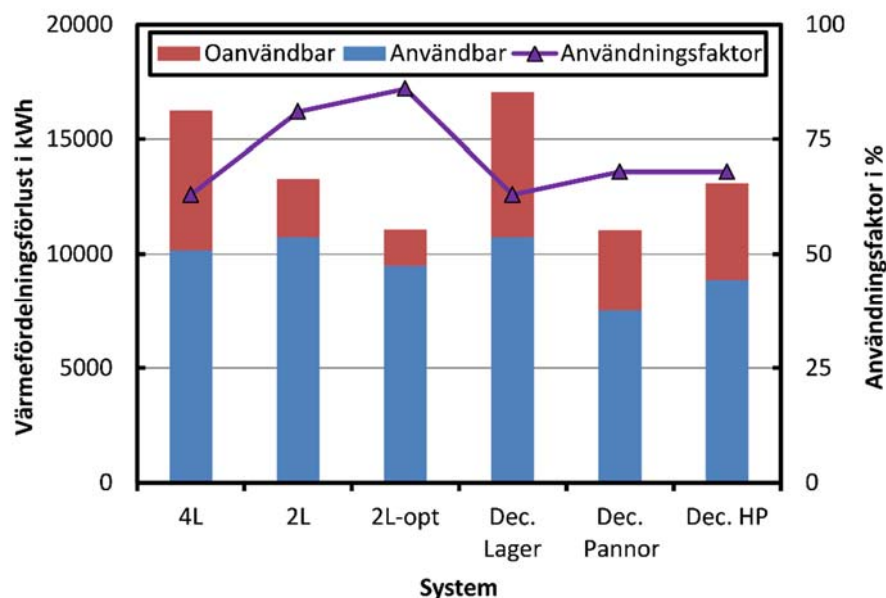
Alternativa system

Den senast studerade konstruktionsstrategin för att minimera den oanvändbara delen av värmefördelningsförlusterna gäller helt decentraliserad värmeproduktion. Denna situation gäller decentraliserade pannor eller värmepumpar i enskilda lägenheter med och utan tappvarmvatten-lagertankar, se avsnitt 3. Integration av lokala lager tillåter för partiella nedtider i byggnadens värmefördelningsnät samtidigt som tappvarmvatten-komforten bibehålls. Modellen behandlar nattliga nedtider för den centrala värmeförsörjningen för detta ändamål (kl. 11.00 – 17.30). Resultaten visar att de respektive fördelningsförlusterna faktiskt undviks. De decentraliserade lagren innebär dock ökat värmeläckage, vilket motverkar den totala värmeförlustbalansen. Sammantaget överstiger förlusterna hos lagren värmeförlustbesparingarna i värmefördelningsnätet.

I illustration 7 visas de totala värmefördelningsförlusterna för de undersökta systemen och respektive användningsfaktorer. Diagrammet bekräftar den höga förlustminskningspotentialen vid en konfigurationsändring från 4L till 2L och den efterföljande systemoptimeringen i illustration 3. Bland de studerade decentraliserade konstruktionerna kommer systemet med decentraliserade pannor uppvisa lägsta totala värmeförlust. Den totala minskningspotentialen för denna konstruktion är jämförbar med det optimerade 2L-systemet, men användningsfaktorerna för 2L-opt-designen är betydligt högre: Värmeläckagen från normalt isolerade tappvarmvatten-lager i decentraliserade pannsystem är betydande men kan endast utnyttjas till rumsuppvärmning för lägenheterna under uppvärmningssäsongen. Simuleringarna visar att förlusterna under sommaren är tillräckligt stora för att till och med motbalansera den årliga användningsfaktorn under nivån för det konkurrerande 2L-opt-systemet.

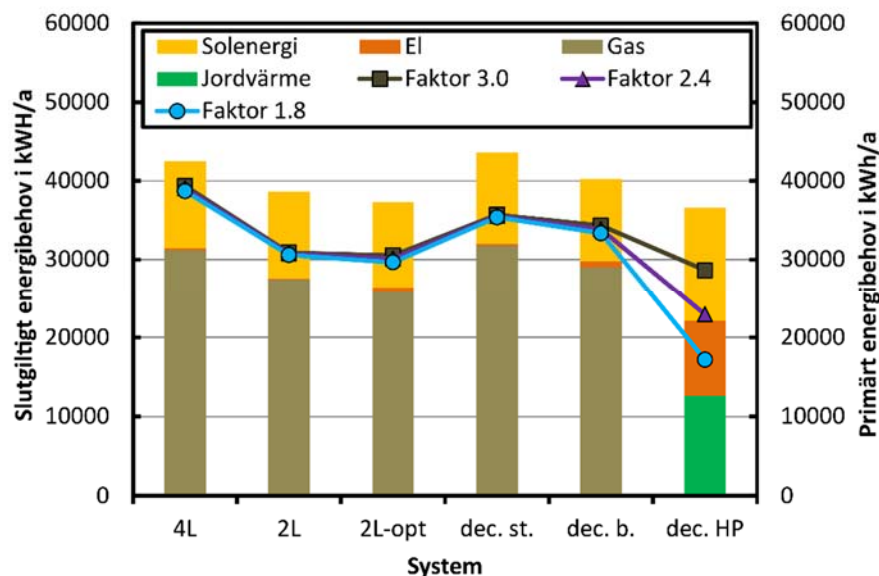
Systemet som består av decentraliserade värmepumpar uppvisar högre förluster eftersom de decentraliserade lagervolymer för kombinerad tappvarmvatten- och värmevatten-lagring är två gånger större än tappvarmvatten-lagervolymer. Större lagringsvolymer är nödvändiga för driften av de små värmepumparna (2,5 kW kondensatoreffekt i den aktuella studien).

Sammanfattningsvis visar simuleringstudien att decentraliserade lager bör undvikas på grund av deras betydande värmeförluster, som endast delvis kan utnyttjas till uppvärmning av utrymmen under årets lopp. I specifika konstruktionsfall som gör det möjligt att undvika decentraliserade lagerlösningar förväntas dock sådana decentraliserade lösningar vara mer effektiva än centraliserade när det gäller värmeförlustminskning.



III. 7: Jämförelse av värmefördelningsförluster och respektive användningsfaktorer för de studerade systemen.

Energibehovet för de studerade solenergimodellerna kan ses i illustration 8, som anger både det slutliga energibehovet inklusive förluster (i kolumner) och det primära energibehovet (i linjer). Den senare tar hänsyn till tre olika primära energifaktorer för eldelen: 3,0 för fossilbaserad elenergi (EnEV 2002), 2,4 för den tyska elenergimixen i 2015 (EnEV 2014) och 1,8 för samma mix som förutsåddes för 2016 (EnEV 2016). Alla konstruktionsfall gäller ett solvärmesystem med en solfångaryta på 32 m².



III. 8: Jämförelse av det slutliga och primära energibehovet i olika system

Solvärmeförsörjningsandelen är nästan densamma för alla studerade modeller, med undantag för systemet med decentraliserade värmepumpar. Här är solenergidelen betydligt högre (ca +31 %) än för de andra systemen. Skälet till detta är att solens värme också kan användas indirekt som en värmekälla för värmepumpen (både jordvärmeväxlare och solfångare levererar till samma centrala värmelager). I själva verket är den direkta användningen av solenergi för tappvarmvatten eller värmevatten ännu lägre än i andra konstruktioner. Den indirekta integrationsrutten innebär också fördelen med solenergiproduktion vid låga temperaturer, som också gör det möjligt att använda billigare typer av solfångare (t.ex. fångare som inte är täckta).

När det gäller det slutliga energibehovet hos de studerade systemen visar det optimerade tvårörssystemet på det minsta behovet bland de konstruktioner som använder fossilbränsle. Systemet med decentraliserade lager har det högsta energibehovet på grund av lagervärmeförlusterna. Konstruktioner med decentraliserade pannor har i slutändan något högre energibehov än 2L-systemen. Det decentraliserade värmepumpsystemet har ett lägre slutligt energibehov än det optimerade tvårörssystemet. Anledningen till detta är den ytterligare minskningen av värmefördelningsförluster på grund av partiell drift av röretverket under inomhustemperaturer även vid värmevinster, eftersom jordvärmeväxlaren levererar värme vid en medeltemperatur på 7 °C.

En jämförelse av de primära energibehoven hos de studerade konstruktionerna leder till att konstruktionen med decentraliserade värmepumpar har det lägsta energibehovet, eftersom den kan dra nytta av Tysklands elenergimix. Därefter följer konstruktionen med optimerad 2L-konfiguration.

5. Slutsats

Värmefördelningsförluster har en betydande inverkan på värmebehovet hos välisolerade flerfamiljshus och måste beaktas vid både nya konstruktioner och systemuppgraderingar. Att minimera längden på rörkanalerna och att sänka distributionsnätets temperatur är avgörande för att minska värmefördelningsförlusterna. Båda dessa saker kan realiseras genom att välja ett tvårörssystem i stället för ett vanligt fyrrörssystem. När elektriska backupvärmare installeras kan systemets effektivitet ökas genom en ytterligare minskning av flödestemperaturerna.

Ett väl utformat tvårörssystem är ännu mer effektivt när det gäller värmefördelningsförluster samt slutliga och primära energibehov än system med decentraliserade pannor, åtminstone när de också har decentraliserade lager.

Solvärmesystem är mycket fördelaktiga både för att öka systemets effektivitet och för att sänka systemets slutliga och primära efterfrågan på energi. Men det är mycket viktigt att skala systemet till lämplig storlek. Gemensamma riktlinjer i Tyskland rekommenderar ganska små fältstorlekar. Denna modellstudie visar att en sådan konstruktion inte kan täcka byggnadens värmebehov inklusive distributionsförlusterna ens under juli och augusti. Således är det, ur energiaspekten, rimligt att skala solfångarfältet i en större storlek. Detta beror på att de flesta av systemets oanvändbara värmeförluster inträffar under sommarmånaderna på grund av deras låga användbarhet under denna period. Med ett stort solvärmesystem på 2 m² solfångare per person kan värmebehovet helt täckas av solenergi från maj till september, och pannan kan vara avslagen under denna tid. Med detta kan totalt 54 % av de oanvändbara förlusterna täckas av solvärme. Samma effekt kan nås med mindre solvärmesystem om elektriska backupvärmare installeras i värmeöverföringsstationerna för att kompensera bristen på solvärme i händelse av att en panna är avstängd på sommaren.

Jämfört med ett gemensamt fyrrörssystem minskar ett optimerat tvårörssystem med ett tillräckligt skalat solvärmesystem (2 m² solfångare per person) den oanvändbara värmefördelningsförlusten med 87 %, vilket endast lämnar 2 % potential för ytterligare optimeringar av det totala värmebehovet. Därigenom minskas byggnadens värmebehov med 12 %. Gasförbrukningen minskas med 39 % och det primära energibehovet (faktor 2,4 för el) med 36 %.

Att använda en värmepump för värmeproduktion ger bättre användning av solenergi och det lägsta energibehovet (när det gäller slutlig och primärenergi) av alla undersökta system. Även om det inte har undersökts i denna studie kan det antas att ett optimerat tvårörssystem i kombination med en centralvärmepump och ett lämpligt solvärmesystem skulle vara det mest effektiva systemet i varje aspekt. Ytterligare forskningsarbete är nödvändigt för att validera detta.

6. Tack till:

Projektet MFH-re-Net (FKZ 03ET1194A) finansieras av det tyska federala departement för ekonomiska angelägenheter och energi baserat på ett beslut som fattats av det tyska federala parlamentet. Projektpartner för ISFH är *Delta Systemtechnik GmbH*, som ligger i Celle, *ProKlima, Heimkehr Wohnungsgenossenschaft eG*, och *Gesellschaft für Bauen und Wohnen Hannover mbH (GBH)*, alla belägna i Hannover. Författarna är tacksamma för det ekonomiska stödet. Innehållet i denna studie är författarnas ansvar. Dessutom skulle författarna vilja uttrycka sin uppskattning för Prof. Dr.-Ing. Oliver Kastner för detaljerad och värdefull granskning av denna uppsats.

7. Referenser

- Greller, M. et al., 2010. Universelle Energiekennzahlen für Deutschland. Bauphysik 32 (publicerad i Tyskland)
- EnEV, 2014. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV), URL (abgerufen am 30.09.2016): http://www.enev-online.com/enev_2014_volltext/index.htm
- Jahnke, K. et al., 2015. Wirksam sanieren: Chancen für den Klimaschutz. Co2online gemeinnützige GmbH, Berlin (publicerad på tyska)
- Majcen, D.; Itard, L.; Visscher, H., 2013. Actual and theoretical gas consumption in Dutch dwellings: What causes the difference? Energy Policy 61 460-471
- Mercker, O. et al., 2016a. Ansätze zur Reduktion konventionell gedeckter Verteilverluste in solar unterstützten Mehrfamilienhäusern. Tagung Gleisdorf SOLAR 2016, Gleisdorf (publicerad på tyska)
- Mercker, O. et al., 2016b. Bestimmung, Bewertung und Reduktion von Wärmeverteilverlusten in Mehrfamilienhäusern. Tagung CESBP/BauSIM 2016, Dresden (publicerad på tyska)

Mercker, O. et al., 2016c. Wie sind zentrale Wärmeversorgungssysteme in hochgedämmten Gebäuden zu gestalten? Ausführliches Skript zur OTTI Solarthermie Tagung 2016, Bad Staffelstein (publicerad på tyska)

Streicher, W. et al., 2003 (revised February 2007): 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

Verein Deutscher Ingenieure, 2004. VDI 6002 Blatt 1 – Solar heating for domestic water. General principles, system technology and use in residential buildings. Düsseldorf

Wolff, D. et al., 2012: Einfluss der Verteilungsverluste bei der energetischen Modernisierung von Mehrfamilienhäusern – Analyse und Ableitung von Optimierungsmaßnahmen. Projekt im Auftrag des proKlima enercity-Fonds, Hannover/Braunschweig/Wolfenbüttel