



Videncenter for  
energibesparelser i bygninger

Gregersensvej 1  
Bygning 2  
2630 Taastrup

Telefon 7220 2255

[info@ByggeriOgEnergi.dk](mailto:info@ByggeriOgEnergi.dk)  
[www.ByggeriOgEnergi.dk](http://www.ByggeriOgEnergi.dk)

## Solvarmeanlæg til store bygninger

31. marts 2011



## Indhold

1. Introduktion
  2. Lovmæssige krav til solvarmeanlæg
  3. Udformning af solvarmeanlæg
    - 3.1 Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning
      - 3.1.1 High flow anlæg
      - 3.1.2 Low flow anlæg
    - 3.2 Solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning
    - 3.3 Solfangerkreds
      - 3.3.1 Solfangervæske
      - 3.3.2 Solfangerkredsens driftsbetingelser og komponenter
      - 3.3.3 Traditionelle solvarmeanlæg og solvarmeanlæg med tilladt kogning
      - 3.3.4 Kobling af solfangere
  4. Ydelser for solvarmeanlæg
    - 4.1 Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning
      - 4.1.1 Ydelsens afhængighed af solfangerorientering og -hældning
    - 4.2 Solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning
  5. Energibesparelser for solvarmeanlæg
    - 5.1 Energibesparelser
    - 5.2 Økonomiske besparelser
    - 5.3 CO<sub>2</sub> besparelser
  6. Tjekliste
- Referencer

## 1. Introduktion

Der kan både være energimæssige og økonomiske fordele ved solvarmeanlæg til store bygninger. Først og fremmest er bygninger med store varmtvandsforbrug om sommeren, med dyre energipriser og med gode placeringsmuligheder for solfangere og varmelager interessante i denne forbindelse. Specielt kan de økonomiske fordele ved solvarmeanlæg være store, hvis installationen af solvarmeanlæg finder sted i forbindelse med nybyggeri eller i forbindelse med renovering af tag og/eller af bygningens energianlæg.

Solvarmeanlægget kan enten benyttes til opvarmning af brugsvand og til at dække en del af cirkulationsledningens varmetab eller til kombineret brugsvands- og rumopvarmning.

Dette notat giver et overblik over de lovmæssige krav og de energimæssige forhold i forbindelse med installation af solvarmeanlæg.

## 2. Lovmæssige krav til solvarmeanlæg

Solvarmeanlæg skal opføres i overensstemmelse med følgende standarder og regler:

- DS 469 Norm for varmeanlæg med vand som varmebærende medium
- DS 439 Vandinstallationer
- DS 452 Termisk isolering af tekniske installationer
- Arbejdstilsynets regler for ufyrede varmtvandsanlæg, 58/1-975
- Arbejdstilsynets bekendtgørelse vedr. trykbeholdere, 746/1987

Alle komponenter, som benyttes i forbindelse med varmtvandsanlæg, skal være VA-godkendte.

Solvarmeanlæg skal desuden være godkendt af kommunen i form af en byggetilladelse. Autoriserede elinstallatører skal stå for elarbejdet, og autoriserede VVS installatører skal stå for arbejdet med brugsvandsdelen af anlægget i forbindelse med installationen.

Hvis solvarmeanlæg opføres i nye bygninger eller i bygninger, som renoveres, skal Bygningsreglementets regler om energibesparelser overholdes.

## 3. Udformning af solvarmeanlæg

Solvarmeanlæg til store bygninger kan enten anvendes til brugsvandsopvarmning og til dækning af varmetabet fra varmtvandsanlæggets cirkulationsledning eller til kombineret brugsvands- og rumopvarmning. De to anlægstyper beskrives henholdsvis i afsnit 3.1 og 3.2.

### 3.1 Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

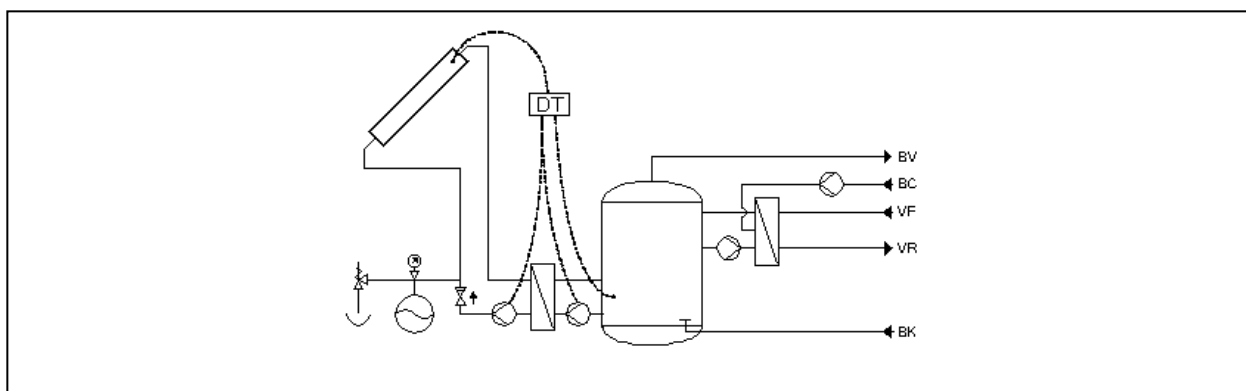
Der er to typer solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning:

- High flow anlæg med en høj volumenstrøm i solfangerkredsen på ca. 1,2 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger og et varmelager, som opvarmes til en ensartet temperatur i perioder med solvarmetilførsel til varmelageret.
- Low flow anlæg med en lav volumenstrøm i solfangerkredsen på ca. 0,15-0,30 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger og et varmelager, hvori der etableres en stor temperaturlagdeling under solvarmetilførsel.

Undersøgelser har vist, at low flow solvarmeanlæg yder 10-25 % mere end high flow solvarmeanlæg, [1], [2], [3], [4]. Solvarmeanlæggets dækningsgrad, det vil sige den del af varmebehovet, som dækkes af solvarmeanlægget, spiller en afgørende rolle for, hvor stor den ydelsesmæssige fordel er for low flow anlæg i forhold til high flow anlæg. Jo lavere dækningsgrad, des større er den procentvise merydelse for low flow anlæg sammenlignet med high flow anlæg. High flow anlæg og low flow anlæg beskrives henholdsvis i afsnit 3.1.1 og 3.1.2.

#### 3.1.1 High flow anlæg

High flow solvarmeanlæg kan udformes på mange forskellige måder. For eksempel kan anlægget udformes med én varmtvandsbeholder, som både kan opvarmes af solvarme og af et supplerende energianlæg, som kan være baseret på olie, naturgas eller fjernvarme. Figur 1 viser en principskitse af sådant et solvarmeanlæg.



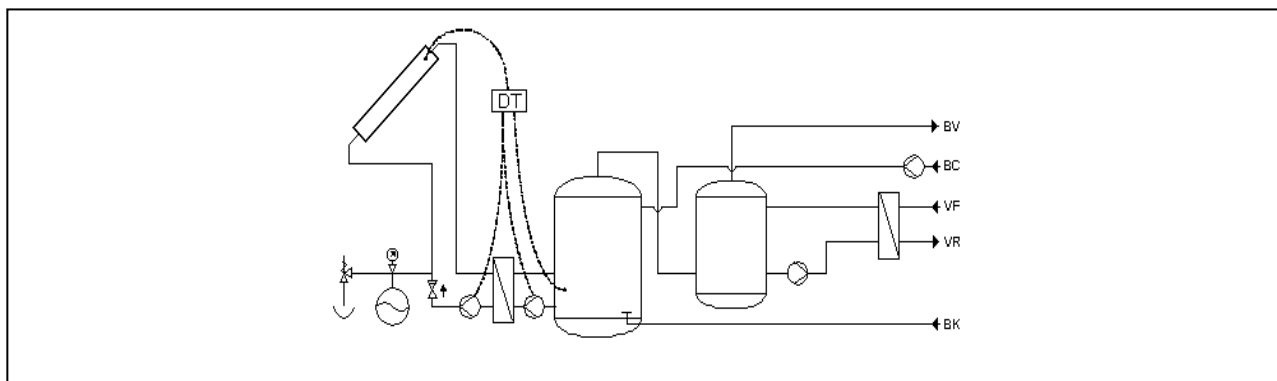
Figur 1. Principskitse af high flow solvarmeanlæg med én varmtvandsbeholder.

Solvarme overføres ved hjælp af en ekstern varmeveksler fra varm solfangervæske i solfangerkredsen til koldere brugsvand. Koldt brugsvand føres fra bunden af

varmtvandsbeholderen frem til varmeveksleren, hvor opvarmningen foregår og herfra retur til varmtvandsbeholderen. Cirkulationspumperne i solfangerkredsen og i varmevekslerkredsen med brugsvand styres ved hjælp af solvarmeanlæggets styresystem. Når solfangertemperaturen er ca. 10 K højere end temperaturen i den nederste del af varmtvandsbeholderen, startes pumperne, så volumenstrømmen i solfangerkredsen bliver ca. 1,2 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger, og volumenstrømmen i varmevekslingskredsen bliver ca. 1,1 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger. Varmtvandsbeholderen kan på denne måde opvarmes til en ensartet temperatur, så længe solfangerne kan producere varme. Når solfangertemperaturen ikke længere er ca. 0,1 K højere end temperaturen i den nederste del af varmtvandsbeholderen, stoppes driften af de to cirkulationspumper.

Den øverste del af varmtvandsbeholderen kan via en anden ekstern varmeveksler opvarmes af den supplerende energikilde. På denne måde er det muligt at dække varmtvandsforbruget og varmetabet fra cirkulationsledningen, også i perioder hvor solvarmen ikke kan dække varmebehovene.

Et andet eksempel på en anlægsudformning er vist på Figur 2. Solvarmeanlægget er forsynet med to varmtvandsbeholdere, en forvarmebeholder, som udelukkende opvarmes af solvarme og en eftervarmebeholder, som opvarmes af det supplerende energianlæg og af solvarme, som under varmtvandstapning flyttes fra forvarmebeholderen til eftervarmebeholderen.



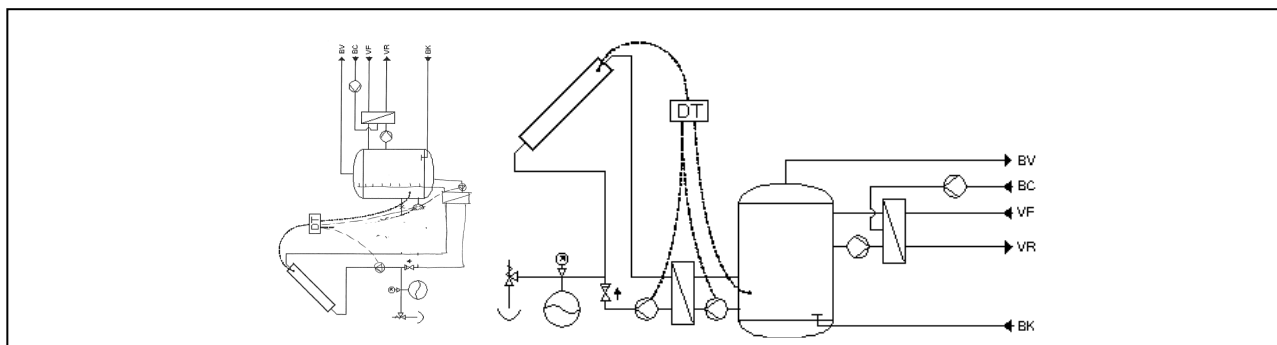
**Figur 2. Principskitse af high flow solvarmeanlæg med forvarmebeholder til solvarme.**

Varmtvandsanlæggets cirkulationsledning føres retur til forvarmebeholderen. Denne anlægsudformning kan med fordel benyttes, hvis der i bygningen før installationen af solvarmeanlæg er en forholdsvis ny varmtvandsbeholder, som opvarmes af det eksisterende energianlæg. Solvarmeanlægget kan ved at udnytte den eksisterende varmtvandsbeholder billiggøres samtidig med at solvarmeanlæggets ydelse kan forøges, idet temperaturniveauet i

varmtvandsbeholder og solfangerkreds reduceres i forhold til temperaturniveauet i solvarmeanlægget med én varmtvandsbeholder.

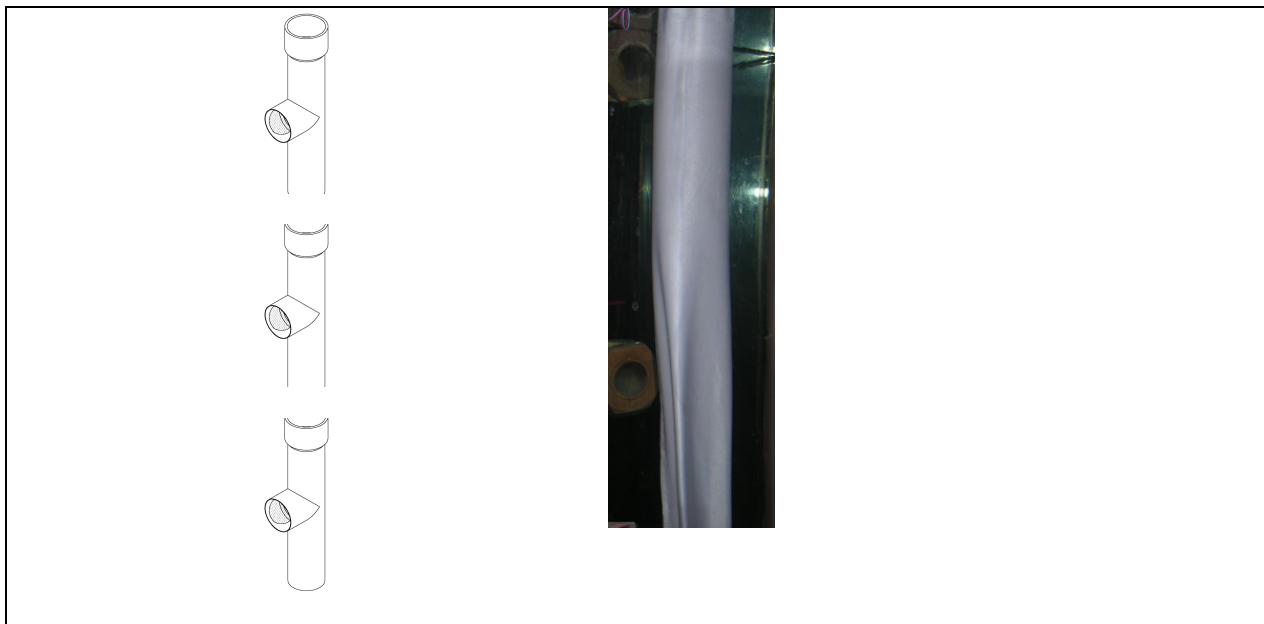
### 3.1.2 Low flow anlæg

Low flow solvarmeanlæg kan lige som high flow solvarmeanlæg udformes på mange forskellige måder. For eksempel kan anlægget udformes med én varmtvandsbeholder, som både kan opvarmes af solvarme og af et supplerende energianlæg, se Figur 3.



**Figur 3. Principskitse af low flow solvarmeanlæg med ekstern varmeveksler og én varmtvandsbeholder.**

Solvarme overføres ved hjælp af en ekstern varmeveksler fra varm solfangervæske i solfangerkredsen til koldere brugsvand. Koldt brugsvand føres fra bunden af varmtvandsbeholderen frem til varmeveksleren, hvor opvarmningen foregår og herfra retur til varmtvandsbeholder. Det opvarmede vand føres ind i varmtvandsbeholderen via et stratifikationsindløbsrør, som virker således, at det opvarmede vand tilføres varmtvandsbeholderen i det niveau, hvor temperaturen er lig med temperaturen af det indstrømmende vand. På denne måde opbygges der en stor fordelagtig temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen.



Figur 4 viser eksempler på stratifikationsindløbsrør. Til venstre ses et plastikrør med åbninger hvori der er placeret en bevægelig klap. Til højre ses et stofrør bestående af to lag stof, [5].

#### Figur 4. Stratifikationsrør.

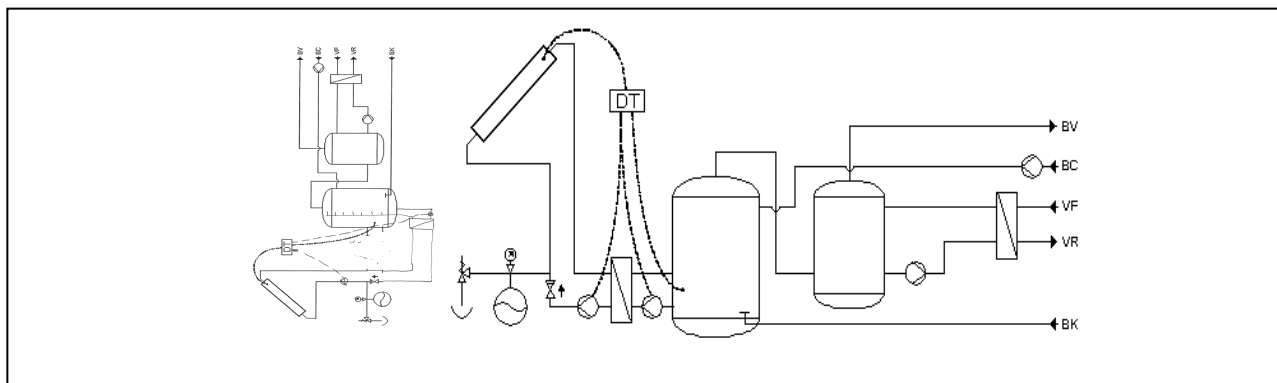
Begge stratifikationsrør fungerer ved hjælp af de små forskelle, der opstår mellem trykket i røret og trykket i lagertanken på grund af temperaturforskelle og dermed massefyldeforskelle for vandet i røret og vandet i lagertanken. For eksempel i driftssituationen hvor varmt vand ledes ind i plastikstratifikationsrøret med åbninger med bevægelige klapper og vandet i lagertank er koldt, vil trykket i lagertanken være større end trykket i stratifikationsrøret, og det kolde vand i lagertanken vil således i et givent niveau trykke på den bevægelige klap, således at vandet ikke løber ud i lagertanken. Først når der ikke længere er trykforskel, forårsaget af temperaturforskelle, vil klappen åbne. En anden mulighed til opbygning af temperaturlagdeling i lagertanken er at benytte flere indløb placeret i forskellige højder og styre, hvor indløbet til lagertanken sker ved hjælp af ventiler og temperaturregistreringer.

Cirkulationspumperne i solfangerkredsen og i varmevekslerkredsen med brugsvand styres ved hjælp af solvarmeanlæggets styresystem. Når solfangertemperaturen er ca. 10 K højere end temperaturen i den nederste del af varmtvandsbeholderen, startes pumperne så volumenstrømmen i solfangerkredsen bliver ca. 0,20 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger og volumenstrømmen i varmevekslingskredsen bliver ca. 0,18 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger. Når

solfangertemperaturen ikke længere er ca. 2 K højere end temperaturen i den nederste del af varmtvandsbeholderen, stoppes driften af de to cirkulationspumper.

Den øverste del af varmtvandsbeholderen kan via en anden ekstern varmeveksler opvarmes af den supplerende energikilde. På denne måde er det muligt at dække varmtvandsforbruget og varmetabet fra cirkulationsledningen, også i perioder hvor solvarmen ikke kan dække varmebehovene.

Et andet eksempel på en anlægsudformning er vist på Figur 5. Ligesom high flow solvarmeanlæg kan low flow solvarmeanlæg med fordel forsynes med to varmtvandsbeholdere, hvis der i forvejen i bygningen er en varmtvandsbeholder i god stand.



Figur 5. Principskitse af low flow solvarmeanlæg med forvarmebeholder til solvarme.

### 3.2 Solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning

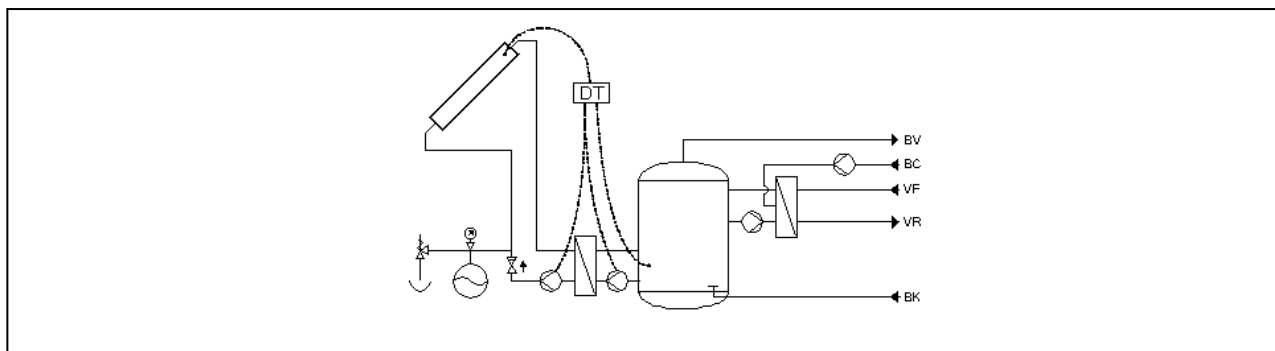
Solvarme kombianlæg skal dække en del af brugsvands- og rumvarmeforbruget. Anlægget er typisk større end et rent brugsvandsanlæg og har som brugsvandsanlæg mindst to forskellige energikilder, der dækker de to varmebehov. Disse er solfanger samt en supplerende energikilde, der kan være baseret på olie, naturgas, fjernvarme eller lignende. Hældningen af solfangerne kan ofte være stor, f.eks. 60°, således at anlægget bliver bedre til at udnytte solen i forårs-, efterårs- og vintermånedene, som er perioder med rumvarmebehov. Solfangerarealet er typisk rigeligt stort til at dække brugsvandsforbruget i sommerperioden, hvor der intet rumvarmebehov er. Det store areal medfører en øget risiko for kogning. Det er imidlertid ikke noget problem, hvis blot anlægsdesignet tillader kogning, se afsnit 3.3. Tabel 1 viser karakteristika for de to forskellige varmebehov et solvarme kombianlæg skal dække.



**Tabel 1. Karakteristika for de to forskellige varmebehov.**

Rumvarmebehov	Varmtvandsbehov
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Store variationer i rumvarmebehovet. Lille eller intet rumvarmeforbrug om sommeren</li> <li>- Relativ lav fremløbstemperatur, typisk 30°C til 50°C.</li> <li>- Relativ høj returtemperatur, 25°C til 45°C. Lille temperaturdifferens mellem det varme og kolde vand i kredsen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Varmtvandsbehov hele året med små variationer.</li> <li>- Lav koldtvandstemperatur, 4°C til 20°C.</li> <li>- Høj varmtvandstemperatur, 45°C til 60°C. Stor temperaturdifferens mellem varmt og koldt vand.</li> </ul>

Figur 6 viser et solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning.

**Figur 6. Principskitse af low flow kombi solvarmeanlæg med en beholder.**

Da det som regel er store energimængder der skal overføres er det også nødvendigt med relativt store eksterne varmevekslere, f.eks. pladevarmevekslere, der ikke optager plads inde i beholderen.

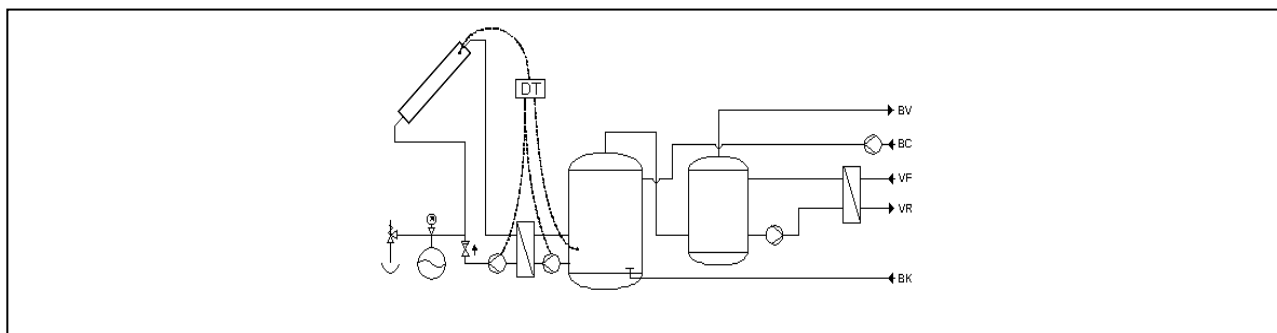
Solvarme overføres ved hjælp en ekstern varmeveksler fra varm solfangervæske i solfangerkredsen til koldere brugsvand i varmtvandsbeholderen. Koldt brugsvand føres fra bunden af varmtvandsbeholderen frem til varmeveksleren, hvor opvarmningen foregår og herfra retur til varmtvandsbeholder. Det opvarmede vand føres ind i varmtvandsbeholderen via et stratifikationsindløbsrør. På denne måde opbygges der en stor fordelagtig temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen. Som for brugsvandsanlæg er ydelsen af kombianlæg også meget større, hvis anlægsdesignet bidrager til opbygning af temperaturlagdeling.

Cirkulationspumperne i solfangerkredsen og i varmevekslerkredsen med brugsvand styres ved hjælp af solvarmeanlæggets styresystem. Når solfangertemperaturen er ca. 10 K højere end temperaturen i den nederste del af varmtvandsbeholderen, startes pumperne, så volumenstrømmen i solfangerkredsen bliver ca. 0,20 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger, og volumenstrømmen i varmevekslingskredsen bliver ca. 0,18 l/min pr. m<sup>2</sup> solfanger. Når solfangertemperaturen ikke længere er ca. 2 K højere end temperaturen i den nederste del af varmtvandsbeholderen, stoppes driften af de to cirkulationspumper.

Den øverste del af varmtvandsbeholderen kan via en anden ekstern varmeveksler opvarmes af den supplerende energikilde. På denne måde er det muligt at dække varmtvandsforbruget, varmetabet fra cirkulationsledningen og rumvarmebehovet også i perioder, hvor solvarmen ikke kan dække varmebehovene.

Rumvarme overføres til rumvarmekredsen via en ekstern varmeveksler. Vandet ledes retur til brugsvandsbeholderen via et stratifikationsindløbsrør. På denne måde opretholdes en stor fordelagtig temperaturlagdeling i varmtvandsbeholderen.

Et andet eksempel på en anlægsudformning er vist på Figur 87. Ligesom for brugsvandsanlæg kan solvarmeanlæg til brugsvands- og rumopvarmning med fordel forsynes med to varmtvandsbeholdere, hvis der i forvejen i bygningen er en varmtvandsbeholder i god stand.



Figur 7. Principskitse af low flow kombi solvarmeanlæg med forvarmebeholder.

### 3.3 Solfangerkredsen

Solfangerkredsen anvendes til at overføre varme fra solfangeren til lagertanken.

#### 3.3.1 Solfangervæske

En væske, typisk en frostvæske bestående af en propylenglykol/vand blanding anvendes i solfangerkredsen. Det er også muligt at anvende vand som væske i solfangerkredsen. Det skal blot sikres at der ikke kan opstå frostskeer i form af frostsprængninger i kredsen. I et koldt klima som Danmarks, kan vand anvendes som solfangervæske i tømmeanlæg, dvs. anlæg hvor komponenter

placeret udenfor bygningens klimaskærm tømmes for væske når anlægget ikke er i drift, [6]. Ellers kan det ikke anbefales at anvende vand som væske i solfangerkredsen i Danmark. Tabel 2 viser sammenhængen mellem koge- og frysetemperaturen for vand samt propylenglykol/vand blandinger ved forskellige tryk i kredsen, vist som tryk over atmosfæretrykket. I Danmark anbefales det at anvende en propylenglykol/vand blanding med 40 % propylenglykol.

**Tabel 2. Egenskaber for solfangervæsker.**

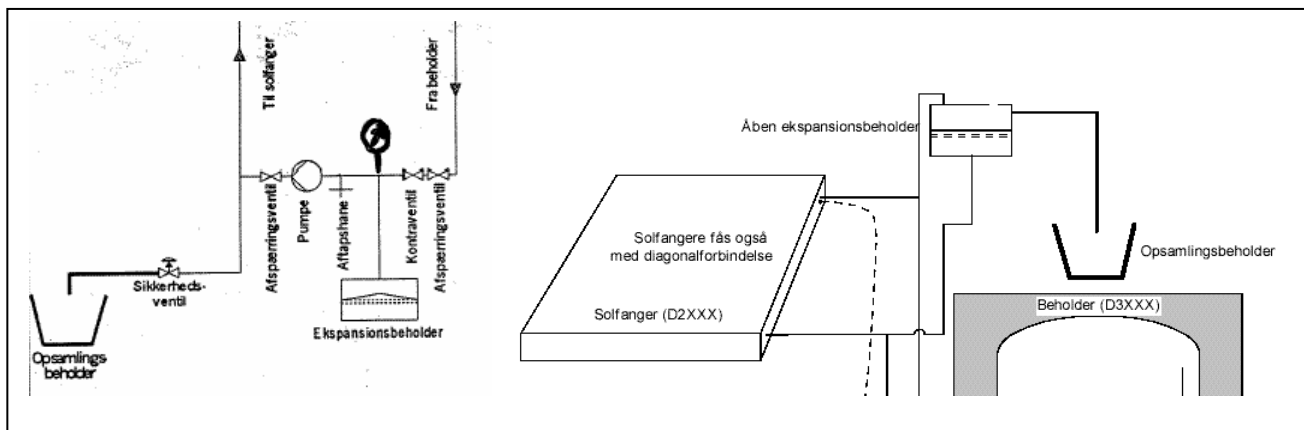
Propylenglykol koncentration [%]	Frysepunkt [°C]	Kogepunkt [°C]				
		0,0 [bar]	0,5 [bar]	1,0 [bar]	1,5 [bar]	2,5 [bar]
0	0	100	111	120	128	139
30	-13	103	114	122	130	141
40	-21	104	115	123	131	143
50	-32	106	117	125	133	145

### 3.3.2 Solfangerkredsens driftsbetingelser og komponenter

Solfangerkredsen kan udføres som lukket eller åbent kredsløb. Til venstre i Figur 8 ses et lukket kredsløb med lukket trykexpansionsbeholder, mens et åbent kredsløb med åben ekspansionsbeholder er vist til højre i figuren.

Åbent kredsløb er et trykløst kredsløb med åben ekspansionsbeholder øverst i systemet. Kogningstemperaturen for væsken i solfangerkredsen er lav, ca. 100°C, og der tabes væske, hvis der opstår kogning.

Lukket kredsløb er langt det mest anvendte. Næsten alle solvarmeanlæg installeres med lukket kredsløb. I lukket kredsløb er væsken i solfangerkredsen under tryk. Det har den fordel at kogepunktet for væsken stiger, samt at der ikke suges luft ind i kredsløbet. Det sidstnævnte sikres ved at fylde solfangerkredsen i kold tilstand til et vist påfyldningstryk. Kredsen udføres med en trykexpansionsbeholder, der kan optage væskeudvidelserne som følge af temperaturstigninger i væsken ved normal drift.



Figur 8. Principskitse af lukket (tv.) og åben (th.) solfangerkreds.

Foruden ekspansionsbeholderen er følgende komponenter nødvendige for sikker drift af solfangerkredsen:

- Cirkulationspumpe
- Sikkerhedsventil
- Opsamlingsbeholder
- Manometer
- Kontraventil
- Luftudlader
- Påfyldnings- og aftapningsstuds
- Afspærringsventiler

Cirkulationspumpen cirkulerer væsken i solfangerkredsen. Sikkerhedsventilen indstilles til et vist åbningstryk afhængig af højdeforskellene i anlægget. Opsamlingsbeholderen opsamler væske, der lukkes ud af systemet, og giver således information om anlæggets drift. Det er ikke tilsigtet, at der lukkes væske ud af systemet ved normal drift, idet dette bevirker at systemet skal efterfyldes, hvilket er besværligt. Manometeret viser trykket i systemet. Typisk markeres påfyldningstrykket på manometeret. Påfyldningstrykket er sædvanligvis det laveste tryk i systemet. Kontraventilen forhindrer, at væsken i kredsen cirkulerer baglæns. Det vil ske, når der opstår et tilstrækkeligt stort drivtryk forårsaget af temperaturforskelle i kredsløbet. Baglæns cirkulation kan resultere i, at store energimængder tabes. I ekstreme tilfælde erstattes den tabte energi af dyr supplerende energi baseret på fossile brændsler. Luftudladere placeres, hvor luftlommer kan opstå, således at det er muligt at eliminere luft i systemet både under påfyldning samt i driftssituationen.

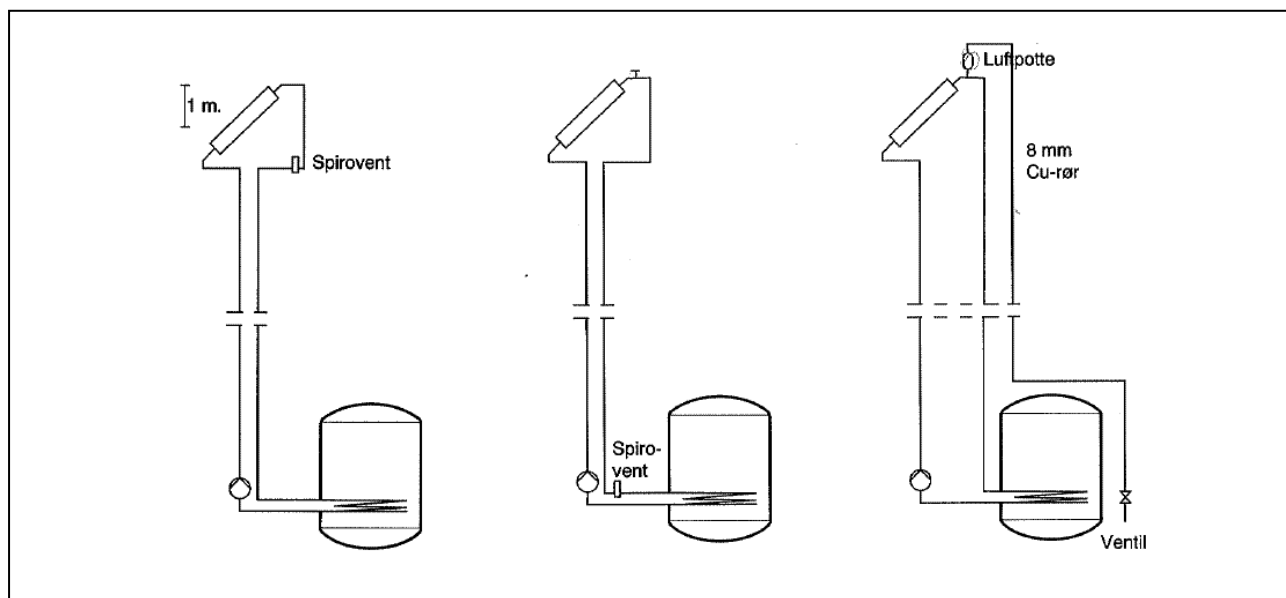
Ved opvarmning udskilles luft fra væske, og i en god installation er 50% af luften væk efter de første 4 - 6 timers drift, mens al luften er væk efter 1 uges drift. Figur 9 viser eksempler på placering af luftudladere. Til venstre er vist en spirovent ventil, der kan fjerne mikrobobler fra væsken. Denne

ventil behøver derfor ikke nødvendigvis at være placeret øverst i systemet, hvor fri luft vil samle sig. Dog er det vigtigt, at ventilen er placeret i den varme del af kredsløbet, hvor luft frigives. I midten er vist en kombination med en manuel ventil placeret øverst i systemet til eliminering af luft under påfyldning af anlægget samt en spirovent ventil placeret i beholderrummet til eliminering af luft i driftssituationen. Til højre er vist et arrangement, hvor man fra beholderrummet kan lukke luft ud af kredsen. Når traditionelle luftudladere anvendes, både manuelle og automatiske, er det vigtigt, at der før luftudladeren er en lige rørstrækning på ca. 20 cm, hvor luften får tid til at forlade væsken. Automatiske luftudladere fungerer fint, når de er nye, men de har en tendens til indenfor relativt kort tid at holde op med at virke.

Det er vigtigt at eliminere luft i solfangerkredsen, fordi luft udskilles fra væske under opvarmning, og fordi luft kan udvide sig meget og derved blokere for væskecirkulation. I ekstreme tilfælde kan luft forhindre cirkulation i solfangerkredsen med mulighed for kogning i kredsen og tab af væske fra kredsen.


Kredsløbet skal være forsynet med påfyldnings- og aftapningshane samt strategisk placerede ventiler, f.eks. på hver side af pumpen således at pumpen nemt kan skiftes, hvis den går i stykker, uden at hele kredsen skal tømmes for væske.

Væskehastigheden i solfangerkredsen bør være tilstrækkelig til, at fri luft kan føres med til nærmeste luftudlader. Tabel 3 og Tabel 4 viser den nødvendige hastighed for forskellige rørføringer, der sikrer at fri luft føres med af strømningen til nærmeste luftudlader.




Figur 9. Principskitse for placering af luftudladere i solfangerkredsen.

Tabel 3. Mindste hastigheder i viste rør for at fri luft føres med af strømmingen.

	Ø10	$v > 0,17$ m/s	~	Flow > 0,8 l/min
	Ø20	$v > 0,30$ m/s	~	Flow > 5,7 l/min
	Ø40	$v > 0,80$ m/s	~	Flow > 60,3 l/min

Tabel 4. Mindste hastigheder i viste rør for at fri luft føres med af strømmingen.

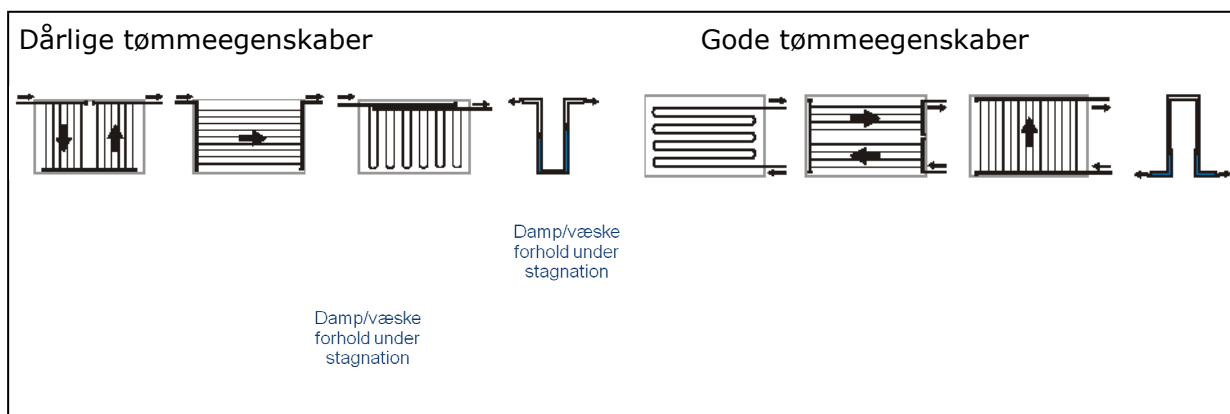
	Ø10	$v > 0,17$ m/s	~	Flow > 0,8 l/min
	Ø20	$v > 0,21$ m/s	~	Flow > 3,96 l/min
	Ø40	$v > 0,30$ m/s	~	Flow > 22,6 l/min

Det anbefales at anvende rørdimensioner i solfangerkredsen, der resulterer i en hastighed på ca. 1 m/s. Ved større hastigheder er der risiko for larm samt turbulenskorrosion, og store hastigheder vil medføre øget tryktab og deraf følgende øget energiforbrug til pumper. Anvendelse af for store rør vil føre til et dårligere pris-/ydelsesforhold.

### 3.3.3 Traditionelle solvarmeanlæg og solvarmeanlæg med tilladt kogning

Her skelnes der mellem to typer af anlæg. I den ene type er solvarmeanlægget dimensioneret således, at der ikke opstår kogning i solfangerkredsen. Der anvendes en traditionel trykexpansionsbeholder. Solfangerarealet er nøje afpasset til varmekonsumet og lagertankens volumen. Den anden type er solvarmeanlæg med tilladt kogning, som opstår, når cirkulationspumpen stoppes i perioder med for høje temperaturer. Forholdet mellem varmekonsum, solfangerareal og lagertankstørrelse er ikke længere vigtigt. Det er til gengæld størrelsen af ekspansionsbeholderen, der dimensioneres til at rumme en stor del af væsken i solfangerkredsen. Det er her vigtigt at solfangeren har gode tømmeegenskaber.

Figur 10 viser til venstre, solfangere med dårlige og til højre, solfangere med gode tømmeegenskaber.



Figur 10. Solfangere med dårlige tømmeegenskaber (tv.) og gode tømmeegenskaber (th.).

Ved kogning i solfangeren ændres lidt solfangervæske til damp i toppen af solfangeren under stor volumenekspansion. Derfor presses solfangervæske nedenunder af solfangerne med gode tømmeegenskaber, mens solfangervæske ”fanges” i solfangerne med dårlige tømmeegenskaber. I en solfangerkreds med gode tømmeegenskaber, produceres der kortvarigt damp svarende til 20 W/m<sup>2</sup>. Dampproduktionen i en solfangerkreds med dårlige tømmeegenskaber er langvarig og svarende til 120 W/m<sup>2</sup>. Typisk har isolerede rør i solfangerkredsen et varmetab svarende til 25 W/m under stagnation.

En traditionel ekspansionsbeholder, der anvendes til at optage væskeudvidelserne som følge af opvarmning,, kan dimensioneres efter følgende formel, der gælder for en 40% propylenglykol/vand blanding:

$$V_E = (0,11 \cdot t - 2,5) \cdot (P+1) / ((P-p) \cdot 100) \cdot V$$

Hvor:

$V_E$  = Volumen af ekspansionsbeholder (liter)

$V$  = Volumen af væske i solfangerkreds, både i solfanger og rørkreds (liter)

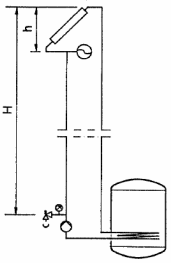
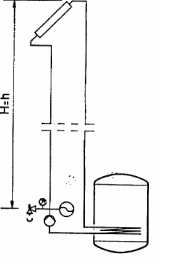
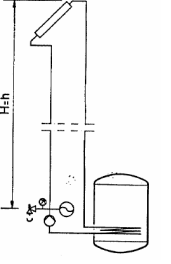
$t$  = Temperatur (°C)

$P$  = Tilsyneladende åbningstryk (bar)

$p$  = Ekspansionsbeholders fortryk (bar)

Tabel 5 viser formler til beregning af størrelsen af trykekspressionsbeholder samt principkitser, der viser de indgående højder.

**Table 5. Formler til beregning af størrelsen af trykekspansionsbeholderen.**

	Fortryk i ekspansionsbeholder, p (bar)	$p = h/10$ (bar), hævet til nærmeste halve bar, dog mindst 0,5.
	P i formelen for $V_E$ (bar)	$P = H/10$ (bar) + 1 (bar), hvor 1 (bar) svarer til trykket solfangeren ved en kogningstemperatur på ca. 120 °C.
	Åbningstryk for sikkerhedsventil, P (bar)	$H/10$ (bar) + 1 (bar) + tryktab fra sikkerhedsventil til toppen af solfangeren, svarende til det halve pumpetryk (bar).
	Fyldningstryk ved påfyldning, (bar)	$H/10$ (bar) + 1 (bar) + tryktab fra sikkerhedsventil til toppen af solfangeren, svarende til det halve pumpetryk. Dette tryk markeres som minimumstryk på manometere

Det er endvidere vigtigt at placere komponenterne rigtigt i forhold til hinanden. For at få et stabilt flow og for at undgå kavitation skal pumpen placeres efter ekspansionsbeholderen.

For drift med tilladt kogning er det vigtigt, at envejsventilen placeres før ekspansionsbeholderen, således at væske kan presses ud af solfangeren i begge retninger og især nedenunder af solfangeren. På [www.altomsolvarme.dk](http://www.altomsolvarme.dk) findes et regneark til beregning af volumen af ekspansionsbeholderen ved drift med tilladt kogning for en solfangerkreds med gode tømmeegenskaber, [7].

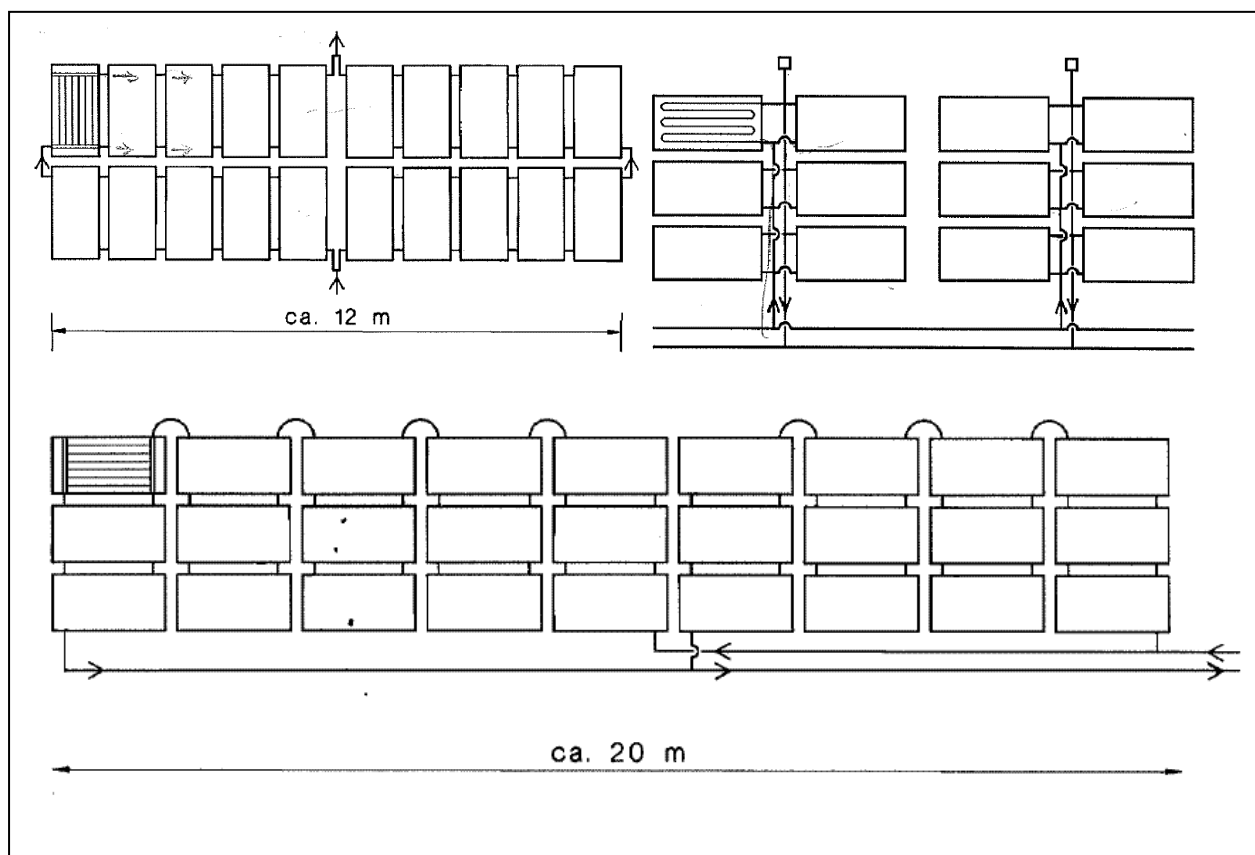
### 3.3.4 Kobling af solfangere

Ved kobling af solfangere er det vigtigt at sikre, at der er en jævn flowfordeling. På den måde udnyttes hele solfangerarealet bedst. Figur 11 viser forskellige måder, hvorpå solfangere kan kobles. Øverst til venstre ses en plan solfanger med absorberer opbygget med manifold og strips.

Diameteren af manifoldrøret er meget større end diameteren af den væskekanal, der er i strippen. På denne måde sikres en jævn flowfordeling gennem solfangeren, idet det store tryktab er i strippen og ikke i manifoldrøret. Denne solfanger har tilslutningsmuligheder til manifoldrørene på begge sider af solfangeren og er således velegnet til at koble parallelt som vist i figuren. Der sikres en jævn flowfordeling gennem solfangerne, hvis der maksimalt parallellkobles 6 solfangere. Øverst til højre ses en plan solfanger med serpentinformed væskekanal. Figuren viser, hvorledes solfangerne



er både seriekoblede og parallelkoblede. For at sikre en jævn flowfordeling her er det vigtigt, at det store tryktab er i den serpentinformede væskekanal i solfangeren og ikke i rørføringen, der leder til solfangeren. Med denne kobling er det nødvendigt at installere luftudladere på de højeste steder i kredsen. Nederst ses en kobling af solfangere med lodrette manifolddrør og vandrette strips. Denne kobling bør kun anvendes efter en beregning af flowfordelingen ved den ønskede volumenstrøm i solfangerkredsen. Der kan opstå ujævn flowfordeling både, hvis flowet er for lavt eller for højt. En jævn flowfordeling i hele kredsen sikres med ventiler, der afhængig af indstilling påfører ekstra modstand, eller ved at bruge forskellige rørdiametre rundt omkring i kredsen.



#### 4. Ydelser for solvarmeanlæg

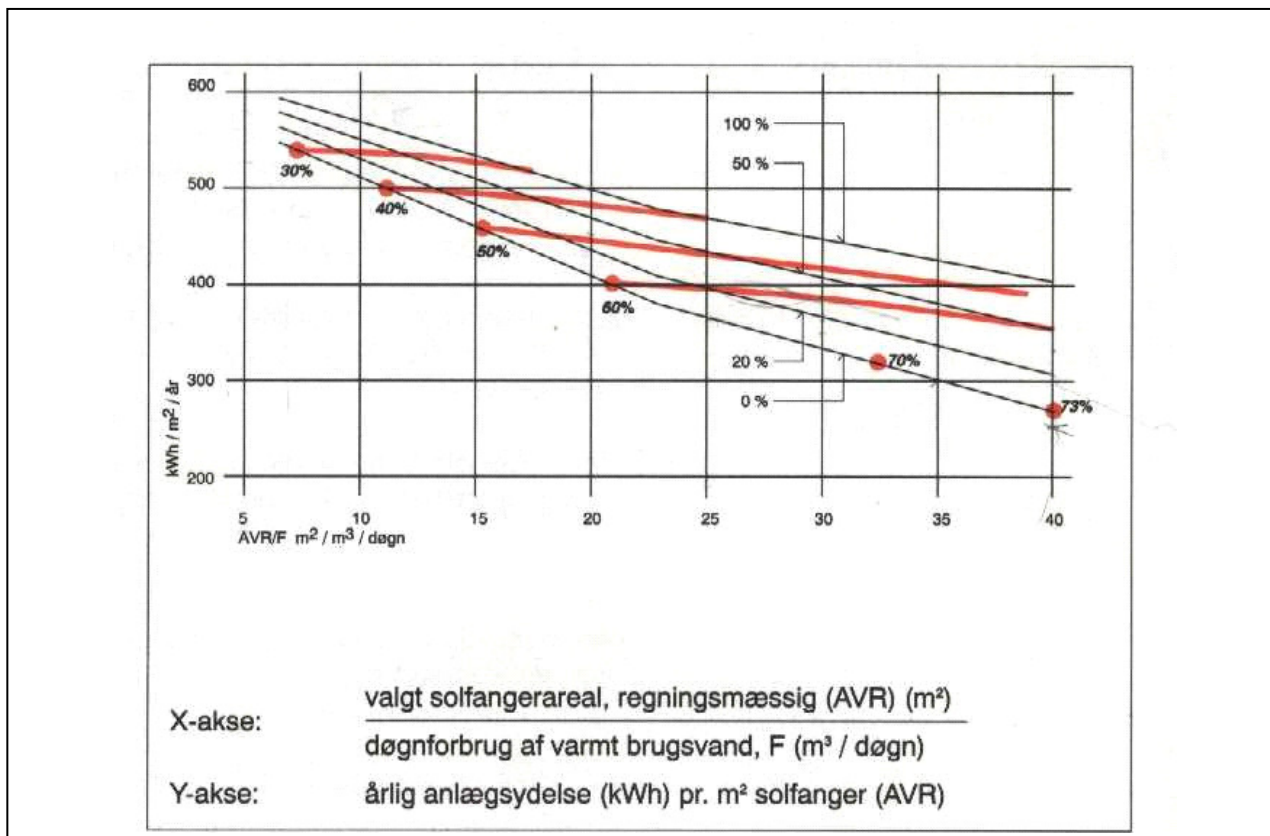
Ydelsen for et solvarmeanlæg er et udtryk for, hvor mange kWh anlægget producerer. Der er flere forskellige måder at anskue ydelsen for solvarmeanlæg. En måde er at se, hvor meget energi, der overføres fra solfangeren til lagertanken. Energimængden leveret fra solfangeren, solfangerydelsen kan herefter anvendes til at dække varmetabet fra beholderen og en del af forbruget i form af varmt brugsvand, cirkulationsledningstab samt evt. rumvarmeforbrug. En anden ofte anvendt definition af ydelsen er tappet energimængde - supplerende energimængde

også kaldet nettoydelsen. I denne anskuelse tages der kun højde for, hvor stor en del af solenergien fra solfangeren, der rent faktisk anvendes til at dække en del af forbruget i form af varmt brugsvand, cirkulationsledningstab samt evt. rumvarmeforbrug. Hvis beholderen er godt designet og velisoleret, er der ikke stor forskel på solfangerydelsen og nettoydelsen. Det vil imidlertid ikke være tilfældet, hvis beholderen er dårligt designet og dårligt isoleret. I sidstnævnte tilfælde vil solfangerydelsen stige, mens nettoydelsen vil falde. Dækningsgraden, det vil sige den del af varmebehovet, som dækkes af solvarmeanlægget defineres som ydelsen / forbruget og således vil dækningsgraden baseret på solfangerydelsen altid være lidt større end dækningsgraden baseret på nettoydelsen.

#### 4.1 Solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning

Figur 12 viser typiske solfangerydelser i kWh pr. m<sup>2</sup> solfanger for solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning, som en funktion af forholdet mellem solfangerarealet i m<sup>2</sup> og varmtvandsforbruget pr. døgn i m<sup>3</sup>. Solfangerne forudsættes at vende mod syd med en hældning på 45°. Der er regnet med en koldt vandtemperatur på 10°C og en varmt vandtemperatur på 45°C. De sorte kurver i diagrammet viser ydelsen for solvarmeanlæg med cirkulationsledningstab der udgør, 0%, 20%, 50% og 100% af varmtvandsforbruget. De røde kurver viser dækningsgraden.

Eksempelvis vil et anlæg med et solfangerareal på 60 m<sup>2</sup>, et forbrug på 3 m<sup>3</sup>/døgn samt et cirkulationsledningstab der udgør 100% af varmtvandsforbruget have en forventet årlig ydelse på ca. 500 kWh/m<sup>2</sup> samt en dækningsgrad på ca. 35%.



Figur 12. Solfangerydelse for brugsvandsanlæg som funktion af forholdet mellem solfangerareal og forbrug.

#### 4.1.1 Ydelsens afhængighed af solfangerorientering og -hældning

Solvarmeanlæggets ydelse er højest når solfangerne vender mod syd og har en hældning fra vandret på ca. 45°. Er der ikke mulighed for dette, vil samme ydelse kunne opnås ved at forøge solfangerarealet alt hængigt af tagretning og taghældning. Tabel 6 viser sammenhængen mellem placering af solfangerne og ydelsen for solvarmeanlægget.

**Tabel 6. Sammenhæng mellem solfangerplacering og solvarmeanlæggets ydelse.**

Afvigelse fra syd	0°	30°	45°	75°	90°
Hældning fra vandret					
0°	78	78	78	78	78
15°	89	88	87	81	78
30°	97	95	92	83	78
45°	100	98	94	83	76
60°	99	96	92	80	73
75°	91	89	86	75	67
90°	77	77	74	65	58

#### 4.2 Solvarmeanlæg til kombineret brugsvands- og rumopvarmning

Denne anlægstype er ny på det danske marked. På det europæiske marked er anlægstypen imidlertid ikke helt ukendt. Især det schweiziske firma Jenna Energietechnik AG har specialiseret sig i store solvarme kombianlæg til flerfamiliehuse. Typisk bygges husene op omkring store lagertanke, der udgør kernen i husene.

Figur 13 viser hvorledes en ca. 18 meter høj lagertank rejses som led i opførelse af en ny bygning. Disse meget store kombinerede brugsvands- og rumvarmeanlæg er bygningernes eneste energiforsyningsanlæg med en dækningsgrad på 100%. Der er behov for forskning inden for området før typiske ydelser kan bestemmes, hvilket også er gældende for store solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning.



Figur 13. En 18 meter høj lagertank der rejses som led i opførelse af et nyt flerfamiliehus. Billedet er fra [www.jenni.ch](http://www.jenni.ch).

## 5. Energibesparelser for solvarmeanlæg

### 5.1 Energibesparelser

Energibesparelsen skal findes for hvert enkelt anlæg, idet besparelsen er baseret på effektiviteten af det supplerende energianlæg. Hvis den af solvarmeanlægget producerede energimængde skal dækkes af det supplerende energianlæg, skal det supplerende energianlæg producere en større energimængde, nemlig den ønskede energimængde / effektiviteten af kedlen. Den årlige effektivitet af supplerende energianlæg ligger typisk mellem 80% og 90% for gode supplerende energianlæg og lidt lavere for mindre gode supplerende energianlæg. Dertil kommer evt. sparet tomgangstab og elforbrug af den supplerende energikilde, hvis den kan slukkes i dele af året. Hertil kommer øgede energiomkostninger til drift af cirkulationspumpe og styresystem. Den samlede energibesparelse er således energi produceret af solvarmeanlægget/kedeleffektivitet + sparet tomgangstab/kedeleffektivitet + sparet elforbrug af supplerende energianlæg om sommeren - elforbrug til cirkulationspumpe og styresystem.

**Eksempel på energibesparelser:**

En bygning forudsættes at have et dagligt varmtvandsforbrug på 3000 liter opvarmet fra 10 °C til 45 °C og et varmetab fra cirkulationsledningen, som er lige så stort som varmtvandsforbruget.

Bygningen har et oliefyr med en årlig nyttevirkning på 85%.

Et passende solvarmeanlæg til bygningen har et solfangerareal på  $3000/50 = 60 \text{ m}^2$ .

Pumpens og styresystemets effektforbrug er 80 W.

**Den årlige energibesparelse med 60 m<sup>2</sup> solfanger og oliefyr bliver:**

Energi produceret af solvarmeanlæg (se Figur 12),  $500 \text{ kWh/m}^2/0,85 * 60 \text{ m}^2 = 35294 \text{ kWh}$

Årligt energiforbrug til pumpe og styring,  $2250 \text{ h} * 0,08 \text{ kW} = 180 \text{ kWh}$

Samlet årlig energibesparelse:  $35294 \text{ kWh} - 180 \text{ kWh} = 35114 \text{ kWh}$

**5.2 Økonomiske besparelser**

Værdien af den sparede energi skal findes for hvert enkelt anlæg idet den økonomiske besparelse er baseret på effektiviteten af det supplerende energianlæg. Den samlede økonomiske besparelse er således værdien af den af solvarmeanlægget producerede energimængde/kedeleffektivitet + sparet tomgangstab/kedeleffektivitet + sparet elforbrug af supplerende energianlæg - elforbrug til cirkulationspumpe og styresystem - vedligeholdelsesudgifter.

Vedligeholdelsesudgifterne udgør typisk mellem 0,1%-0,2% af anlægsudgifterne.

**Økonomiske besparelser for eksemplet i afsnit 5.1:**

Der er regnet med en oliepris på 0,9 DKK/kWh

Der er regnet med en elpris på 2 DKK/kWh

**Årlig økonomisk besparelse med 60 m<sup>2</sup> solfanger og oliefyr bliver:**

Værdi af energi produceret af solvarmeanlæg,  $35294 \text{ kWh} * 0,9 \text{ DKK/kWh} = 31765 \text{ DKK}$

Værdien af energiforbrug til pumpe og styring,  $180 \text{ kWh} * 2 \text{ DKK/kWh} = 360 \text{ DKK}$

Samlet årlig økonomisk besparelse:  $31765 \text{ DKK} - 360 \text{ DKK} = 31405 \text{ DKK}$

**5.3 CO<sub>2</sub> besparelser**

CO<sub>2</sub> udledningen for forskellige opvarmningsformer er:

Naturgas: 0,205 kg CO<sub>2</sub> pr. kWh

Fyringsolie: 0,265 kg CO<sub>2</sub> pr. kWh

Fjernvarme: 0,137 kg CO<sub>2</sub> pr. kWh

El: 0,567 kg CO<sub>2</sub> pr. kWh

**CO<sub>2</sub> besparelser for eksemplet i afsnit 5.1:****Årlige CO<sub>2</sub> besparelser med 60 m<sup>2</sup> solfanger og oliefyr bliver:**CO<sub>2</sub> besparelse fra oliefyr, 0,265 kg CO<sub>2</sub>/kWh \* 35294 kWh = 9353 kg CO<sub>2</sub>CO<sub>2</sub> produktion fra drift af pumpe og styresystem, 0,567 kg CO<sub>2</sub>/kWh \* 180 kWh = 102 kg CO<sub>2</sub>Samlet årlig CO<sub>2</sub> besparelse: 9353 kg CO<sub>2</sub> - 102 kg CO<sub>2</sub> = 9251 kg CO<sub>2</sub>**6. Tjekliste**

Undersøg	Spørgsmål	Svar	Løsning
Solstråling	Er der skygge på taget om sommeren ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis ja: Se 1
Tag	Er taghældningen mellem 0° og 15° ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis ja: Se 2
Hældning og orientering	Er taghældningen mellem 15° - 60°? Vender taget mod syd ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 3
Montering på eksisterende tag	Kan der monteres gængse tagbeslag og rørgennemføringer til monteringen af solfangerne ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 4
Nyt tag	Skal tagbelægningen alligevel skiftes ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis ja: Se 5
Rørtræk og gennemføringer	Er der udnyttet loft, således at rørtrækkene skal foretages i skunk, og er der nem adgang til skunken ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 6
Rørføring	Der skal være så kort afstand som muligt mellem solfanger og beholder. Afklar mulighederne for at trække rør med husejeren.	Afklares med husejeren	
Eksisterende beholder	Kan den eksisterende beholder genanvendes ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis ja: Se 7

Solvarmebeholder	Er der plads til beholderen ? Hvordan er adgangsforholdene for montagen ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 8
Varmeanlæg	Er der lavtemperaturvarme, for eksempel gulvvarme ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 9
Rørisolering	Udfører dit firma selv rørisoleringen ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 10
El-tilslutning af cirkulationspumpe og styring	Kan styring og pumpe tilsluttes eksisterende eltavle ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 11
Samspil med kedelstyring	Er varmeanlæg allerede forberedt for solvarme (via kedelstyring) ?	Ja [ ] Nej [ ]	Hvis nej: Se 12

### 1. Er der skygger på taget ?

Hvis der er skygger på taget om sommeren og disse ikke kan undgås ved f.eks. anden placering, bør det vurderes, hvor stor betydning det har for ydelsen af anlægget, og anlægget bør evt. ikke opføres.












### 2. Er taget fladt ?

Hvis taghældningen er mindre end 15° bør solfangerne monteres på sydvendt stativ med en hældning på ca. 45°. For kombinerede brugsvands- og rumvarmeanlæg bør hældningen være ca. 60°.

### 3. Hældning

En solfanger virker optimalt ved en placering på en sydvendt tagflade med en hældning mellem 45° - 60°. Er der ikke mulighed for dette, vil samme ydelse kunne opnås ved at øge solfangerarealet i m<sup>2</sup> afhængig af tagretning og taghældning. På nedenstående tabel kan du se, hvordan placering og ydeevne hænger sammen.



Afvigelse fra syd						
Hældning fra vandret		0°	30°	45°	75°	90°
	15°	89	88	87	81	78
	30°	97	95	92	83	78
	45°	100	98	94	83	76
	60°	99	96	92	80	73
	75°	91	89	86	75	67
	90°	77	77	74	65	58

Eksempel på anvendelse af tabellen:

Et solvarmeanlæg på en bygning kan være 200 m<sup>2</sup>, hvis taget vender mod syd og hælder 45° fra vandret. Det svarer til 100% i tabellen. Hvis bygningens hældning er 60° fra vandret og taget vender mod sydøst, altså 45° fra syd, yder anlægget kun 92%. For at få samme ydelse skal der benyttes et solfangerareal på  $200 \text{ m}^2 / 0,92 = \text{ca. } 217 \text{ m}^2$ .

#### 4. Har du de rette beslag ?

Solfangerne monteres på skinner på taget eller på et stativ. Anlægget leveres med beslag til forskellige tagtyper. Tjek derfor altid, før du går i gang, at beslag til montering af solfangerne passer til det aktuelle tag.

#### 5. Husk solvarme ved tagudskiftning

Hvis tagbelægningen skal skiftes, er der mulighed for at indbygge solfangerne i taget.

## 6. Plads til rørene ?

Du skal sikre dig, at du kan komme ind i skunken, eller overvej eventuelt en anden løsning for rørføringen.

## 7. Eksisterende beholder

Hvis den eksisterende beholder er i god stand, bør den eksisterende beholder, af hensyn til anlægsøkonomien benyttes til eftervarmning med den supplerende energikilde i et solvarmeanlæg med separat solvarmebeholder, se Figur 2, Figur 5 og Figur 7.

## 8. Plads til varmelageret

Undersøg den nøjagtige beholderstørrelse og afklar adgangs- og placeringsmuligheder med kunden. Beholderen kan evt. opsvejses på stedet.

## 9. Varmeanlæg

Hvis der er lavtemperaturvarme, bør det overvejes at opføre solvarmeanlægget til kombineret brugsvands- og rumopvarmning.

## 10. Rørisolering

Rørisoleringen skal udføres efter gældende forskrifter vedr. vand- og varmeinstallationer, herunder DS 452 for tekniske installationer.

## 11. Elforsyning til pumpen

VVS-montører må gerne tilslutte pumper til eksisterende stikkontakt. Hvis der skal etableres en ny gruppe eller installationen, skal det foretages af en autoriseret el-installatør.

## 12. Samspil med kedelstyring

Det er vigtigt, at styresystemet sikrer at kedlen ikke opvarmer toppen af varmelageret til unødigt høje temperaturer. Kontroller også at kedel og eventuel elpatron i beholderen ikke kan køre samtidig.

## Referencer

[1] Low flow solar heating systems. Simon Furbo, undervisningsnotat U-067, DTU Byg, 2004.

[2] Heat storage for solar heating systems - Now and in the future. Simon Furbo og Elsa Andersen, Proceedings of Conference on Thermal Storage, Prague, Czech Republic, 2008.

[3] Design of large SDHW systems - Experience from practice. Simon Furbo, Niels Kristian Vejen og Louise Jivan Shah, EuroSun 2002 Proceedings, Bologna, Italy.

[4] 336 m<sup>2</sup> solvarmeanlæg med varmtvandsbeholder med SOLVIS indløbsrør - Sundparken. Simon Furbo og Niels Kristian Vejen, rapport R-0004, 2001, DTU Byg.

[5] Solar Combi Systems. Elsa Andersen, rapport nr. R-156, 2007, DTU Byg.

[6] Solvarmeanlæg med tømning. Lise Boye-Hansen og Simon Furbo, rapport nr. 275, 1995, Laboratoriet for Varmeisolering, DTU.

[7] Solfangerkreds med stor ekspansionsbeholder og fordampning i solfanger ved faretruende høje temperaturer til sikring af solfangervæske og anlæg. Janne Dragsted, Simon Furbo, Bengt Perers og Ziqian Chen, rapport SR-10-04, 2010.