

**EFP 2007 projekt 033033-0056**



**DANISH  
TECHNOLOGICAL  
INSTITUTE**

# **Teknologier for bygningsintegreret energiforsyning.**



**Ivan Katić  
Teknologisk Institut  
Juli 2011**

## **Introduktion**

Bygningers interne energiforsyningsanlæg har traditionelt været begrænset til kedler og ovne, men er i takt med den teknologiske udvikling, samt voksende krav til komfort og indeklima, blevet udvidet med stadigt mere ”isenkram”. Denne udvikling kan forventes at fortsætte i fremtidens byggeri, idet der hele tiden rykkes på balancen mellem det teknologisk mulige og økonomisk profitable for den enkelte husejer, såvel som for samfundet.

Samtidig medfører de nye regler for beregning af bygningers energiramme, at både el og varme til normal bygningsdrift skal dokumenteres, og der er derfor behov for at få afdækket de forskellige forsyningsanlægs karakteristika og forventede fremtidige udvikling.

Denne rapport forsøger at give et samlet overblik over de muligheder der er i dag og i den nærmeste fremtid for bygningsintegreret energiforsyning, helt eller delvist baseret på vedvarende energi.

## **Summary:**

The current report is part of the deliverables from the project “Building Integrated Energy Supply” supported by the Danish Energy Authority R&D program. It describes a range of technologies for individual supply of heat and/or electricity to dwellings with respect to their stage of development and possible application in the near future.

Energy supply of buildings is becoming more and more complex, partly as a result of increasing demands for comfort, efficiency and reduced emissions, partly as a result of rising oil prices and improved competitiveness of alternative energy sources. The days where ordinary boilers were the dominant source of individual supply of dwellings are becoming past these years. The challenge of the new range of technologies lies to a high extent in the fluctuating nature of their energy conversion and their interaction with the supply grids for heat and electricity. There is thus an increasing demand to understand the nature of the different supply technologies, besides a regular update of their economical key figures.

The technologies briefly described in this study are: Solar heating, passive solar energy, biofuel boilers, heat pumps, micro CHP, solar photovoltaic and energy storage systems. The selected technologies are all assessed to play an important role in future’s mix of supply technologies in Denmark, especially heat pumps and solar.

## Indhold

Energikrævende serviceydelser .....	4
Udvalgte teknologier.....	5
Solvarmeanlæg .....	6
Passiv solvarme .....	9
Kedler.....	11
Varmepumper .....	13
Mikro kraftvarme.....	17
Solcelleanlæg.....	21
Energilagring i bygninger.....	23
Referencer .....	24
Annex: Kombination af energiforsyningsanlæg.....	25

## Energikrævende serviceydelser

Behovet for varme og el i bygningsmassen er ikke en naturgiven størrelse, men udspringer af menneskets behov for komfort, varm mad, underholdning m.m. Hvis man træder et skridt baglæns og betragter alle de forskellige energikrævende ydelser der typisk findes i en bygning, kan man eksempelvis gruppere dem som i nedenstående tabel. Søjlen til venstre angiver de nuværende tekniske muligheder for at opfylde de ydelser der er nævnt, og krydserne er en vurdering af det nuværende teknologiske stade.

Energikrævende serviceydelser i boligen:

<b>BEHOV:-&gt;</b>	<b>Termisk energi →stigende temperaturniveau</b>				<b>Frisk luft</b>	<b>El</b>	<b>Lys</b>
<b>Teknologi:</b>	15-20°C Køling	20-25°C Rumvarme	50-60°C Varmt vand	100-250°C Madlavning	Ventilation	Drifts-el Pumper m.m.	Belysning
Solvarmeanlæg	x	xx	xxx	(x)			
Passiv solvarme		xx			x (solskorsten)		
Kedelunit		xxx	xxx	X(brænde- komfur)			
Fjernvarmeunit		xxx	xxx				
Varmepumpe	xxx	xxx	xxx	(x)			
Varmegen- vindingsanlæg			x		xxx		
Mikro-KV generator	(x)	xx	xx	(x)	(x)	xx	
Brændselscelle KV	(x)	x	x	(x)	(x)	x	
Termoelektrisk KV	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	
Termofoto- voltaisk KV	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	
Solcelleanlæg	(x)	(x)	(x)	(x)	xx	xxx	
Mikrovindmølle	(x)	x	x	(x)	(x)	xx	
Heliostat med lysleder/tunnel							x

Symbolforklaring:

(X):	Principiel mulig
X:	Delvis udviklet, få produkter
XX:	Nogen produkter findes
XXX:	Mange produkter findes

Listen skulle give et nogenlunde udtømmende overblik over tilgængelige teknologier til dækning af de basale ydelser, fra den laveste til den højeste energikvalitet (el).

Det er klart at nogle af de nævnte teknologier spiller bedre sammen med de kollektive forsyningsystemer end andre, og at der ligeledes er forskelle på hvor vigtige de er for boligens drift og komfort. De mest relevante teknologier med hensyn til økonomisk og teknisk potentiale på 10 års sigt er vurderet til at være:

- solvarme, herunder passiv
- varmepumper
- kedler
- mikro kraftvarme

Desuden er mulighederne for energilagring medtaget, da lagring er en uundværlig del af ethvert VE baseret energiforsyningsystem.

## Udvalgte teknologier

De bedst udviklede teknologier med hensyn til brug i typiske boliger beskrives herefter nærmere i det følgende

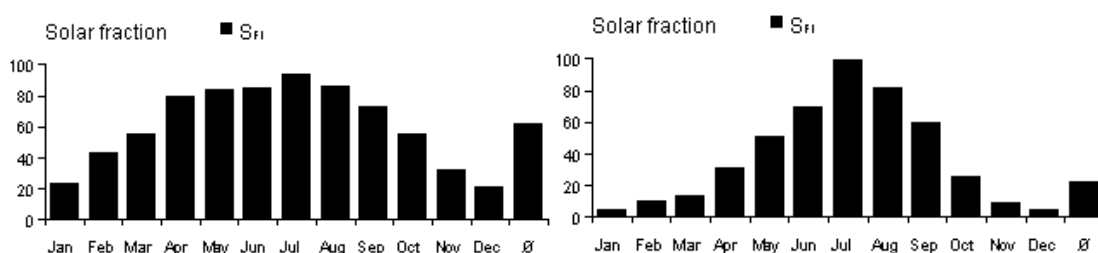
For hver teknologi beskrives:

- 1) Principiel virkemåde og ydelsesprofil
- 2) Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)
- 3) Teknologisk stade
- 4) Bindinger til forsyningsnet
- 5) Anlægstyper og størrelser m. billedeksempel
- 6) Markedssituation/økonomi
- 7) Udviklingstendenser
- 8) Danske referencer (anlæg og leverandører)

# Solvarmeanlæg

## 1) Principiel virkemåde og ydelsesprofil

Moderne solvarmeanlæg virker alle ved at en, normalt metallisk, absorber direkte konverterer det meste af den indfaldende solstråling til varme, som herefter afgives til et strømmende medium. Absorberen er oftest indbygget i en isolerende konstruktion med et dæklag af glas eller plast for at holde mest muligt på varmen. Varmemediet bliver overført fra solfangeren til en lagerbeholder eller til direkte anvendelse. Solvarmeanlæg bruges først og fremmest til at dække en del af behovet for varmt brugsvand, men kan også dække en del af behovet for rumopvarmning. Solvarmeanlæg kan desuden bruges til komfortkøling via et absorptionskøleanlæg.



Typisk ydelsesprofil for rent brugsvandsanlæg og kombianlæg (andel som dækkes af sol)

## 2) Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)

Da behovet for rumvarme er lavt om sommeren, er der en praktisk grænse for hvor meget af rumvarmebehovet der kan dækkes på økonomisk vis, typisk 20-30% i Danmark for en gennemsnitsbolig. Anlæg til brugsvand vil typisk kunne dække op til 70%, men den praktiske ydelse er stærkt afhængig af forbrugsmønstret. Med nye metoder for energilagring vil dækningsgraden principielt kunne øges til 100%. Ydelser på op mod 500 kWh/m<sup>2</sup> solfanger er mulige, mest giver højtbelastede små anlæg med lav driftstemperatur. Hertil skal lægges det sparede tomgangstab fra afbrudt basisforsyning. Solvarmeanlæg bør orienteres mod syd +/- 90 gr og have mindst 20 gr. hældning for danske forhold.

## 3) Teknologisk stade

Solvarmeanlæg er i dag en fuldt udviklet teknologi, men der er stadig stor variation i de enkelte produkters udformning, hvad der er tegn på en stadig innovationskraft i branchen. Anlæg baseret på luft er ikke så udviklede/udbredte som væskebaserede anlæg, men bruges bl.a. til friskluftopvarmning til sommerhuse.

## 4) Bindinger til forsyningsnet

Solvarme kræver normalt eltilslutning for at pumpe og styring kan fungere, men er ellers uafhængige af de kollektive net. Der findes autonome systemer med naturlig cirkulation eller solcelledrift. Solvarme i forbindelse med fjernvarme er mest demonstreret i større anlæg, selv om der ikke er noget principielt i vejen for at bruge fjernvarmenettet som aftager af overskudsvarme fra enkeltanlæg. Bebyggelsen Skotteparken i Ballerup er et eksempel på et anlæg hvor solfangere på de enkelte huse leverer varme til et lokalt fjernvarmenet.

### 5) Anlægstyper og størrelser

De mest almindelige solfangere i Danmark består af kasseformede elementer med et enkelt transparent dæklag, men typer baseret på lufttomme glasrør vinder udbredelse p.g.a. en højere effektivitet. Den almindeligste anlægstype er brugsvandsanlæg med en frostvæske som fører solvarmen ned i brugsvandsbeholderen. Til fritidshuse har luftsolfangere med direkte indblæsning vundet meget stor udbredelse som komfortforbedrende system, men ellers er luftsolfangere sjældne i Danmark. For enfamiliehuse varierer solfangerarealet typisk fra 4-15 m<sup>2</sup>.

### 6) Markedssituation/økonomi

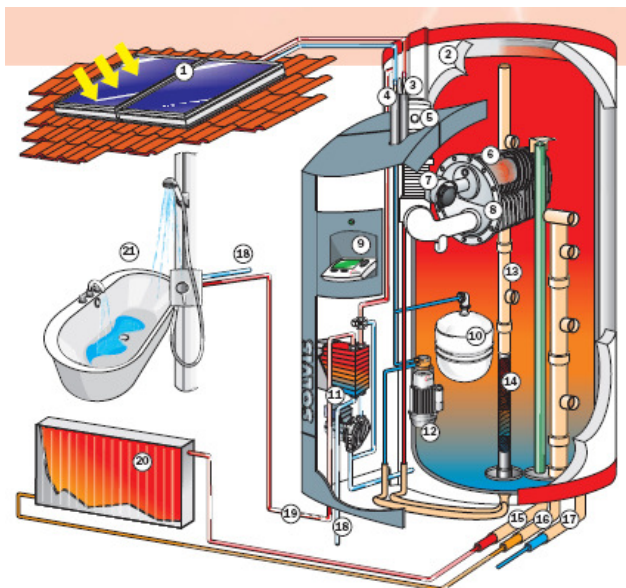
Efter en periode med stagnation da tilskud til solvarme faldt bort, er der nu fremgang på grund af de stigende energipriser. I forbindelse med udskiftning af varmtvandsbeholder er der normalt god økonomi i solvarme. Ved udskiftning af kedel er fordelen større endnu, således er prisforskellen mellem en standard kedelunit og en solar version typisk under 25000 kr. (Notat fra Jan Erik Nielsen, PlanEnergi). Økonomien i solvarmeanlæg er dog meget afhængig af størrelsen, idet en forholdsvis stor del af prisen skyldes startomkostninger, beholder og pumpe/styring. Kollektive anlæg til fjernvarme leverer derfor den billigste varme, forudsat en fornuftig lav driftstemperatur. Marstal fjernvarme producerer ifølge egne data solvarme til 30-35 øre kWh ([www.solarmarstal.dk](http://www.solarmarstal.dk))

### 7) Udviklingstendenser

Udviklingen går mod større fabrikker og masseproduktion, ikke mindst i Kina som er verdens største solvarmenation. Vakuumsolrør herfra breder sig til resten af verden. På beholdersiden har man set øget brug af eksterne vekslere til brugsvand af hensyn til faren for bakterievækst i lagervandet, foruden beholdere med indbygget gaskedel.



Figur 1 Kinesisk solfanger med vakuumsolrør



**Figur 2 Solvis beholder med indbygget gaskedel**

**8) Danske referencer (anlæg og leverandører)**

I Danmark er Velux koncernen med Arcon samt Batec førende leverandører.



**Figur 3 Velux solfanger integreret i tagflade**



## Passiv solvarme

### 1) Principiel virkemåde og ydelsesprofil

Ved passiv solvarme forstås det solvarmetilskud der kommer til bygningen fra klimaskærmen gennem vinduer eller solbeskinnede ydervægge. Hvis væggen er optimeret med hensyn til soludnyttelse taler man om en *solvæg*, som for eksempel kan være en massiv sort væg som er forsynet med transparent isolering. Her vil solvarmen trænge fra yder- til inderside med en passende tidsforsinkelse. Ved almindelige velisolerede ydervægge er solvarmetilskuddet ubetydeligt i forhold til varmetabet. Nogen solvægge har en ventileret spalte så varmen kan overføres til det bagvedliggende rum ved naturlig konvektion. Ydelsesprofilen vil i store træk følge mønsteret for aktive solvarmeanlæg til rumopvarmning, således at der er meget begrænset nytteværdi i de mørke vinter måneder.

### 2) Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)

Passiv solvarmeudnyttelse fungerer bedst på steder med kolde men solrige vintre, f.eks. højtliggende områder i "solbæltet". I Danmark er der dårlig overensstemmelse mellem ydelse og behov, og passiv solvarme skal derfor gennemtænkes nøje, for eksempel er det vigtigt at ydervæggen holder en god isoleringsevne uden at det bremser for soltransmissionen når der er brug for det. Soltilskud gennem vinduer kan være ganske kraftigt, særligt i nyere glas-arkitektur, og fører ofte til problemer med overophedning. Hittidige erfaringer tyder på et brugbart energitilskud på op mod 100 kWh/m<sup>2</sup> for solvægge i Danmark, men ved lave dækningsgrader.

### 3) Teknologisk stade

Vinduer med gode solenergi-egenskaber er den vigtigste komponent i passiv solvarmeudnyttelse i Danmark, og der er her kommet nye typer frem som giver et netto energitilskud set over året. Det er dog stadig vigtigt at se på sammenhængen, da store vinduesarealer som nævnt er problematiske for indeklimaet, alt afhængig af bygningens evne til at udligne temperatursvingninger. Solvægge findes ikke som standardkomponent, men bygges op på linje med den øvrige bygningskonstruktion. Hvad angår transparent isolering findes få kommercielle produkter som er egnede, se f.eks. <http://www.umwelt-wand.de/ti/architect/tools.html>.

### 4) Bindinger til forsyningsnet

Ingen bindinger til forsyningsnet, da passiv solvarme i sigens natur er passivt virkende. Der kan dog være hybridløsninger, som f.eks. kræver aktiv elektrisk styring af spjæld o.l.

### 5) Anlægstyper og størrelser

Transparent isolering til solvægge kan for eksempel være en mulighed ved udvendig efterisolering af bygninger med massive vægge. I Tyskland er der flere eksempler på bygningsrenovering med transparent isolering. Overophedning om sommeren er ikke et problem med de typer der reflekterer det meste lys ved stor solhøjde. Ellers må man nok sige at sol-optimerede vinduer (lille



ramme/karm areal, høj transparens) har det bredeste anvendelsesområde ved såvel nybyggeri som renovering.

#### 6) **Markedssituation/økonomi**

Bortset fra en stigende brug af termisk forbedrede vinduer er der ikke meget fokus på passiv solvarme. Drivhuse og udestuer er måske en undtagelse, men det eventuelle positive energibidrag herfra er ikke veldokumenteret.

#### 7) **Udviklingstendenser**

Udviklingen af passiv solvarme pågår mest i udlandet, f.eks. Tyskland og Østrig hvor byggeindustrien ser ud til at være eksperimenterende. Der er adskillige eksempler på kontorbyggeri og enfamiliehuse som udnytter passiv solvarme.



Figur 4 Efterisoleret bolig med transparent isolering i de mørke felter

#### 8) **Danske referencer (anlæg og leverandører)**

Der er kun få aktører på solvægge i Danmark, da mange af de indledende forsøg gav skuffende resultater, og der aldrig er etableret et marked. Der er dog på det seneste kommet leverandører af vinduer med stort solvarmetilskud, bl.a. ProTec 7 vinduet



Figur 5 Produktet SolarWall er en luftsofanger, som samtidig isolerer den facade den er monteret på. Princippet bruges i den meget udbredte ”sommerhussolfanger” fra Aidt Miljø for automatisk indblæsning af friskluft. SolarVentien isolerer dog ikke, den er typisk hæftet op på et par beslag

# Kedler

## 1. Principiel virkemåde og ydelsesprofil

Kedler til boligopvarmning omsætter kemisk energi fra fossilt brændsel eller biobrændsel til varme ved en mere eller mindre styret forbrændingsproces. Kedler er karakteriseret ved at skulle opretholde en bestemt temperatur for at fungere med optimal virkningsgrad og lav forurening. Afhængig af konstruktionen er det derfor begrænset hvor meget effekten fra en kedel kan reguleres, nyere gaskedler har det bredeste reguleringsområde, mens biomassekedler typisk har svært ved at køre godt ved lav belastning, fordi temperaturen så falder under et kritisk niveau og der undslipper uforbrændte røggasser. Biomassekedler forsynes derfor som regel med en stor buffertank for at kunne tilpasse ydelsen til varmeanlæggets behov. Kondenserende kedler kan udnytte den latente varme i vanddampen der udskilles sammen med forbrændingsprodukterne, forudsat at driftstemperaturen er under ca. 50°C.

## 2. Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)

Den teoretiske grænse for kedlers virkningsgrad er 100% baseret på øvre brændværdi, men da man oftest refererer til nedre brændværdi kan den omsættes til 110% eller højere, afhængig af røggassens vandindhold. Kedler til biobrændsler, der ofte har et højt vandindhold, kan normalt ikke udnytte kondensvarmen. På grund af den forringede virkningsgrad ved dellast, kombineres biomassefyrede kedler ofte med et varmelager i form af en stor vandtank. Pladskravene er derfor større end ved gas/olie fyring. En undtagelse er kedler som kører på flydende biobrændstof, oftest rapsolie.

## 3. Teknologisk stade

Specielt indenfor kondenserende kedler og pillefyrede kedler er der sket meget de seneste år, især med hensyn til opnåelse af høj virkningsgrad og indførelse af bedre automatik. Kedelunits, hvor beholder, automatik og brænder er bygget sammen dominerer boligmarkedet. Især på det tysktalende marked er der en kraftig udvikling hen mod stadig mere effektive anlæg, særligt til biobrændsler. Undertiden bliver kedlen kombineret med komfur og ovn, og det gammelkendte kedelkomfur har derfor fået en vis renaissance. I Danmark er dette dog mest praktiseret i de såkaldte masseovne. Pillefyrede kedler med lav effekt og balanceret aftræk er så småt ved at komme på markedet, således at pillefyr nu også kan bruges i nybyggeri uden at gå på kompromis med boligens lufttæthed.

## 4. Bindinger til forsyningsnet

Alle moderne kedler kræver eltilslutning, og naturgaskedler endvidere tilslutning til gasnettet, men ellers er der ikke bindinger. Varme fra kedler kan uden problemer veksles til fjernvarmenettet hvis temperaturforholdene i øvrigt er afstemt.

## 5. Anlægstyper og størrelser

Kedler findes i mange varianter, men til boliger plejer man traditionelt at opdele i ikke-kondenserende og kondenserende når det drejer sig om olie eller gas. Med de nye stramninger af bygningsreglementet er de kondenserende næsten enerådende. På biokedler opdeler man i pillefyrede, flisfyrede samt brændefyrede kedler, altså efter brændslets beskaffenhed. Desuden kedler til flydende brændsel som rapsolie. Der er en flydende overgang mellem

traditionelle kedler og ovne med mulighed for varmeudtag. De sidste er oftest beregnet til opstilling i beboelsesrum, for eksempel køkkenet.



Figur 6 Moderne biomassefyret kedelkomfur fra Lohberger (Tyskland)

## 6. Markedssituation/økonomi

Udenfor fjernvarmeforsynede områder er kedler i dag den dominerende opvarmningsteknologi. Der er en klar tendens til flere biobrændselskedler i takt med de stigende olie- og gaspriser, og desuden ser man varmepumper indtage markedsandele.

## 7. Udviklingstendenser

Med den stigende isoleringsstandard bliver der brug for stadig mindre varme til bygninger, og der har derfor været arbejdet på at få effektive kedler i små størrelser. Da der ikke er sket et fald i samme omfang til det varme brugsvand, er det dog begrænset hvor små kedlerne kan blive hvis man samtidig vil bibeholde en så lille brugsvandsbeholder (60- 100 l) som man typisk bruger i dag.

Der er desuden kommet fokus på kedlers elforbrug, især med de nye sparepumper er der noget at hente.

Fra det tyske marked, hvor der længe har været fokus på miljø og energi, kommer der flere og flere kedelunits som er forberedt til samdrift med andre anlæg, især solvarme.

## 8. Danske referencer (anlæg og leverandører)

Liste over godkendte kedler: <http://www.biomasse.teknologisk.dk/kedler/index.htm>

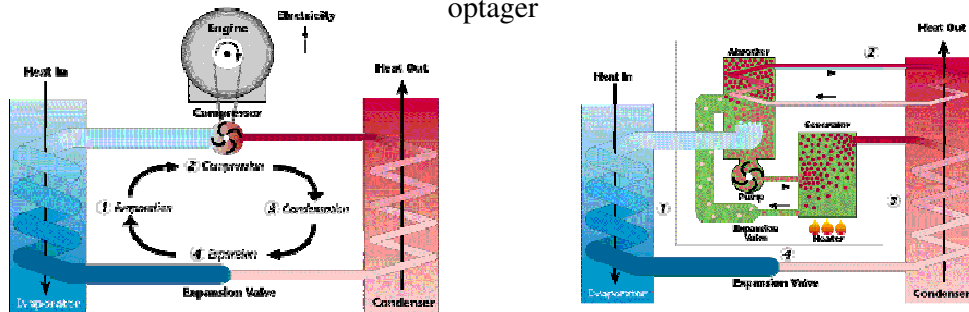


Figur 7 Eksempel på moderne træpillekedel med stoker (Baxi)

# Varmepumper

## 1) Principiel virkemåde og ydelsesprofil

Varmepumper kan konstrueres ud fra mange forskellige fysiske principper, men de hidtil markedsførte typer fungerer normalt ved at en kompressor driver et arbejdsmedium rundt i et kredsløb som vist i nedenstående figur. På lavtrykssiden fordamper mediet hvorved det optager varme fra



omgivelserne, mens det på højtrykssiden kondenserer og afgiver varme. Det mekaniske arbejde til kompressoren tilføres normalt fra en elmotor, men i større anlæg kan en forbrændingsmotor også bruges. Forholdet mellem afgivet nytteenergi i form af varme eller kulde og den tilførte drivenergi kaldes COP (Coefficient of Performance) og denne afhænger først og fremmest af hvor meget temperaturen skal hæves fra varmeoptager til varmeafgiver. Jo højere temperaturspring, jo mere drivenergi skal der bruges. Foruden de mekanisk drevne varmepumper bruges undertiden absorptionsvarmepumpen, som får drivenergien fra en varmekilde med høj temperatur. Princippet kendes bl.a. fra gasdrevne køleskabe, men kan også bruges til varmeformål, hvor varmen afgives ved et lavere niveau end den tilførte procesvarme.

## 2) Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)

Den teoretiske grænse for varmepumpens effektivitet er bestemt af den såkaldte Carnot-ligning som udspringer af termodynamikkens love. I praksis betyder det at varmekildens temperatur samt varmeanlæggets driftstemperatur er afgørende for anlæggets drift. I Danmark kan antages en jordtemperatur på  $8^{\circ}\text{C}$  som det højeste niveau for varmeoptageren, og hvis rumtemperaturen som varmen skal bruges ved er  $21^{\circ}\text{C}$  skulle man teoretisk kunne opnå en COP på  $273+21/(21-8) = 22,5!$  I praksis hedder temperatursættet nærmere  $2/35$  og så bliver  $\text{COP} = 273+35/(35-2) = 9,3$  som teoretisk grænse.

## 3) Teknologisk stade

I de senere år er der sket en del forbedringer på små varmepumper til varme og varmt brugsvand, blandt andet ved et begrænset antal af start/stop sekvenser ved at bruge en behovsstyret kompressor. For anlæg med jordslange som varmeoptager kan man i dag købe anlæg med en årlig COP på ca. 4 i Danmark. Det samme gælder for de bedste luft/luft varmepumper på markedet, men man skal så have en alternativ opvarmning af brugsvand. Absorptionsvarmepumper til boligopvarmning har COP værdier på omkring 1,5 og bruger typisk gas som drivvarmekilde.

4) **Bindinger til forsyningsnet**

For alle varmepumper kræves tilslutning til elnettet. Varmen kan i princippet afgives til kollektivt forsyningsnet, men indtil videre er det kun set for større anlæg. Man kunne også udnytte fjernvarme ved meget lav temperatur, eller spildevand som varmekilder for individuelle varmepumper.

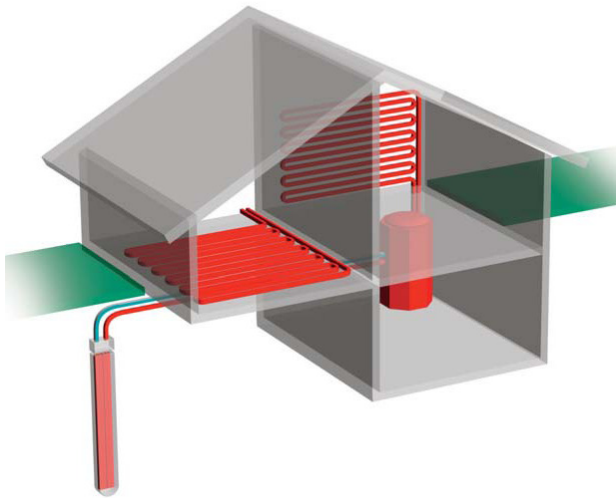
5) **Anlægstyper og størrelser**

Varmepumper findes i et utal af størrelser, men til enkelte husstande vil en varmeydelse på 2-10 kW være det mest almindelige. De opdeles gerne i luft-luft, luft-vand og jord-vand efter henholdsvis varmekilden og det varmeafgivende medium.



**Figur 8 Typisk VP unit med indbygget varmtvandsbeholder**

Jordvarmepumper er, ligesom solvarmeanlæg, typisk lidt større units som er bygget sammen med varmtvandsbeholderen



**Figur 9 Heliotherm varmepumpe med CO2-fyldt jordsonde efter heat-pipe princippet**



**Figur 10 Buderus gasdrevet varmepumpe til boliger**



**Figur 11 Luft til luft split varmepumpe**



Varmepumper til individuelle boliger kan enten dimensioneres til at dække hele forbruget, eller kun en del af dette, det sidste typisk luft-luft varmepumper monteret direkte på en ydervæg.

I lavenergiboliger med mekanisk ventilation og varmegenvinding, er det almindeligt med en varmepumpe til det varme brugsvand, som bruger afkastluften som varmekilde.

#### **6) Markedssituation/økonomi**

I Danmark er varmepumper atter på fremmarch efter mange års stagnation, det er især de billige split-units med luft som varmekilde, som sælges til suppleringsopvarmning. Der er dog også pænt salg i væskebaserede varmepumper til total opvarmning. Da varmepumper fungerer bedst når temperaturen kun skal løftes lidt fra den kolde til den varme side, er det afgørende for driftsøkonomien, at det varme anlæg som varmepumpen tilsluttes er udlagt for lav temperatur, for eksempel gulvvarme. For huse med meget lille opvarmningsbehov, bliver brugsvandsopvarmningen afgørende for driften, så her kan man ikke regne med ligeså god årlig COP.

#### **7) Udviklingstendenser**

Der pågår konstant en udvikling hen mod mere effektive varmepumper af alle typer, i takt med at energipriserne stiger. Effektiviteten kan for eksempel forbedres ved at bruge effektive motorer, bedre reguleringsteknik og bedre varmevekslere end tidligere. Markedet for gasdrevne varmepumper er stigende i udlandet, men er ikke rigtig slået igennem i Danmark, måske på grund af de relativt høje gaspriser?

#### **8) Danske referencer (anlæg og leverandører)**

Der findes en oversigt over godkendte varmepumper på [www.varmepumpeinfo.dk](http://www.varmepumpeinfo.dk)  
Der er en veletableret dansk branche på området med en støt voksende omsætning.



# Mikro kraftvarme

## 1. Principiel virkemåde og ydelsesprofil

Kraftvarmeanlæg til el- og varmforsyning af boliger og anden bebyggelse, er først og fremmest realiseret som generatoranlæg, drevet med en forbrændingsmotor. I Danmark er naturgas det hyppigst anvendte brændsel. Små kraftvarmeanlæg vil oftest være varmestyrede, det vil sige at de kører efter det aktuelle varmebehov, og elektriciteten sælges som et biprodukt til nettet. Større anlæg kan være forsynet med varmelager, således at elproduktion kan ske uden at der er et akut varmebehov. Kraftvarme baseret på brændselsceller er så småt ved at komme på banen, og er kendetegnet ved en højere elvirkningsgrad og lydløs drift. De fleste KV anlæg har en relativ fast fordeling mellem el- og varmeproduktion, det vil sige at der for en bygning vil være begrænsninger i dækningsgraden hvis der ikke må være overløb af enten el eller varme.

## 2. Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)

Kraftvarmeanlæg med forbrændingsmotor har et noget højere støj- og vibrationsniveau end en normal kedel, men kan ellers sammenlignes med et normalt kedelanlæg som blot også producerer el til nettet. Med det fint forgrenede danske naturgasnet, ville alle gaskedler i princippet kunne udskiftes til kraftvarmeanlæg og tilsvarende for oliekedler. På grund af pladskrav og den nedre størrelse for økonomisk kraftvarmedrift vil det dog kun være relevant ved lidt større ejendomme med dagens teknik. Dette kan ændre sig med stigende brug af brændselsceller.

## 3. Teknologisk stade

Små kraftvarmeanlæg med gnisttændings (otto-)motor er i dag et veludviklet industriprodukt, som kan køre i lange perioder med minimal vedligeholdelse og omkring 30% elvirkningsgrad. Der skal dog foretages olie- og filterskift m.v. som ved bilmotorer. Alternative motorudformninger (damp- og stirling) er under udvikling, og kan være interessante fordi de kan køre på mange forskellige brændsler, herunder biobrændsel. Dieselmotor-baserede anlæg benyttes meget i store anlæg på grund af den gode driftsøkonomi, og kan evt. køre på biodiesel. Små gasturbiner er også under udvikling, disse udmærker sig ved at de har et minimum af bevægelige dele, og dermed lavere vedligeholdelsesomkostninger. Desuden er der anlæg på vej, som er baseret på brændselsceller fyret med ren brint eller en brintrig gas. Hvorvidt de bliver succesfulde, afhænger bl.a. af levetid og pris, herunder hvordan brinten produceres. Til helt små el- og varmebehov findes der såkaldt termoelektriske generatorer (TEG) samt termophotovoltaiske generatorer (TPV), som ved hjælp af halvledere producerer jævnstrøm. Disse anlægstyper kan blive interessante på grund af de små udgifter til vedligehold samt den lydløse drift, men elvirkningsgraden er stadig ret lav (5-15%).

## 4. Bindinger til forsyningsnet

Gasdrevne kraftvarmeanlæg kræver tilslutning til både naturgas- og elnettet, men ellers er det kun elnettet der er påkrævet. De helt små anlæg, som er udviklet til afsides liggende hytter og lignende kan dog køre autonomt, da de bruger et batteri som aftag for elektriciteten. Hvis anlægget køres efter en 100 % dækning af elforbruget, vil der i perioder være et varmeoverskud der skal aftages, for eksempel via tilslutning til fjernvarmenettet.

## 5. Anlægstyper og størrelser

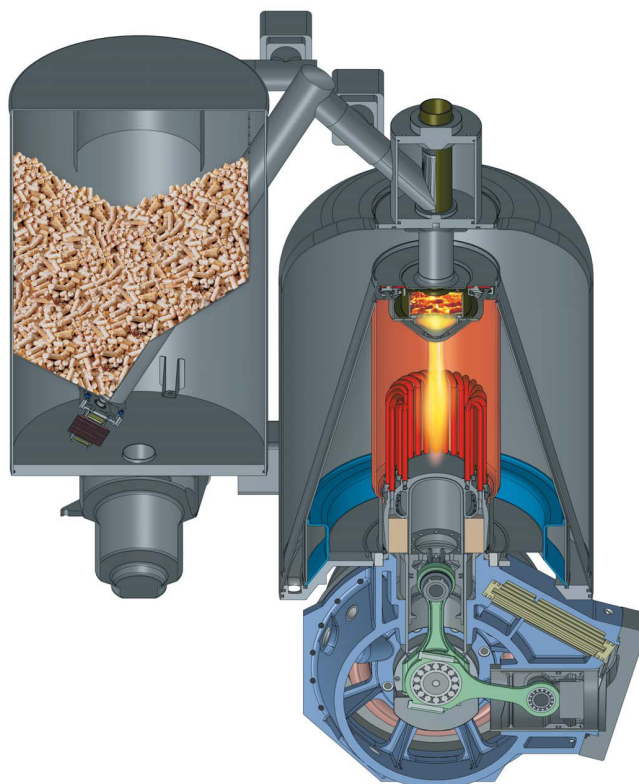
KV anlæg baseret på gnisttændingsmotorer findes fra ca. 3 kW el og op, mens systemer med brændselsceller eller halvlederteknik næsten kan bygges så små det skal være.



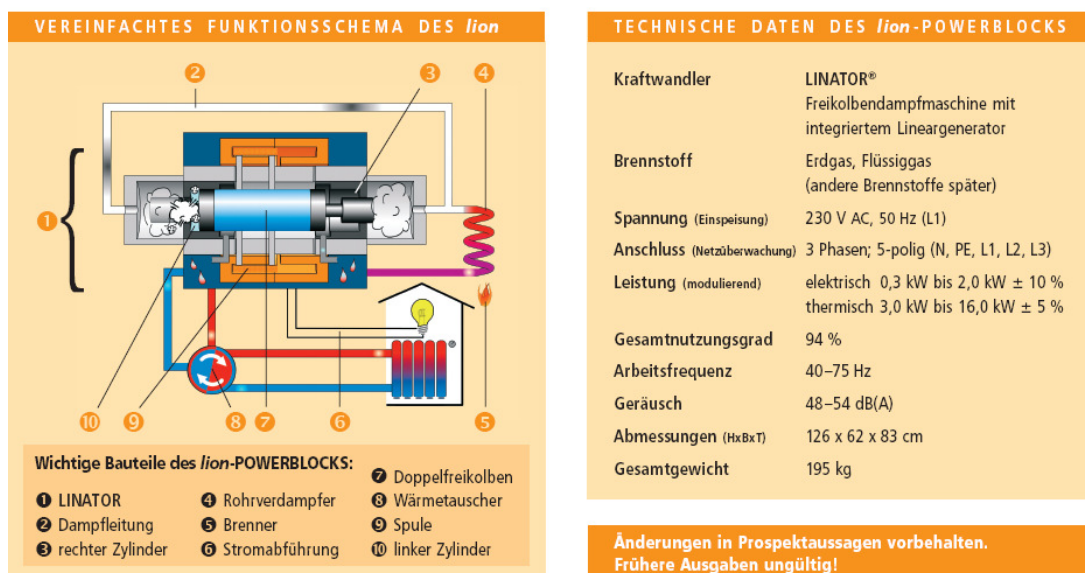
Figur 12 Gasfuret Dachs KV anlæg med forbrændingsmotor, 5 kW elektrisk effekt. Varmelager til højre.



Figur 13 Termofotovoltaisk kraft-varme fra JXcrystals (100 W el, 7,3 kW varme)



Figur 14 Pillefyret Stirling KV system fra Tyskland, 3 kW el (Sunmachine)



Figur 15 Lion Powerblock fra OTAG er en moderne dampmaskine bygget som en fristempel-elgenerator

## 6. Markedssituation/økonomi

Det er i dag kun større ejendomme, institutioner og virksomheder som benytter sig af egenproduktion af el, først og fremmest på grund af at de helt små anlæg er forholdsmæssigt dyre. Den bedste økonomi finder man ved anlæg, der udelukkende dækker eget forbrug af afgiftsbelagt el. Salg af eventuel overskuds el til nettet sker til markedspris, der er langt lavere end slutbrugerprisen. I fremtiden, hvor elprisen bliver variabel for den enkelte kunde, kan det tænkes, at man kan få bedre brugerøkonomi ved at producere i perioder med høj elpris, og så gemme overskudsvarmen til perioder med lav elpris hvor anlægget slukkes.

## 7. Udviklingstendenser

Der sker løbende en videreudvikling af de traditionelle motordrevne anlæg, hen imod mindre størrelser, længere levetid og mindre vedligehold. For de nyere teknologier mangler der stadig længerevarende erfaringsopsamling, som kan demonstrere deres værdi, men F&U indsatsen er betydelig, især på brændselsceller.

## 8. Danske referencer (anlæg og leverandører)

Dansk Mikrokraftvarme (Brændselscelleprojekt i Sønderborg+Lolland kommuner)  
IRD er den førende leverandør af brændselsceller i Danmark og leverer til ovenstående projekt.

Traditionelle motorbaserede løsninger kan leveres af bl.a. EC Power, men kun til større bygninger.



Figur 16 XRG13 motorbaseret anlæg fra EC Power

# Solcelleanlæg

## 1. Principiel virkemåde og ydelsesprofil

Solceller er halvledere, som producerer jævnstrøm proportionalt med det indstrømmende lys. Ydelsen svinger derfor kraftigt over døgnet og året. Solceller sælges i praksis i form af solcellemoduler der kan kobles sammen til større anlæg som via en vekselretter forsyner elnettet.

Der vil typisk være tale om anlæg der er baseret på serieproducerede solcellemoduler af krystallinsk eller amorft silicium eller evt. nyere typer så som CIS moduler, alle udført som glaslaminater med eller uden ramme af aluminium. Arealet vil typisk være fra 10-50 m<sup>2</sup>, alt efter hvor effektive solceller der er anvendt, samt hvor stor del af elforbruget der ønskes dækket på årsbasis. Modulerne kan monteres på følgende måder:

- Stativ monteret over tagfladen
- Montage på nedsænket undertag.
- Specialmoduler integreret direkte i tagsystem.

Anlæggene leveres med vekselretter for tilslutning til det elektriske net, idet overskudsstrøm udveksles med nettet via en tovejs elmåler.

## 2. Fysiske og praktiske begrænsninger (for DK)

For at opnå den bedste årlige ydelse bør der ideelt set være en tagflade til rådighed med en hældning på 20-50 grader og en orientering på +/- 45 grader mod syd. Flade tage kan dog også benyttes, såfremt der kan etableres stativer med en passende hældning.

Solceller kræver en del plads, typisk 10-50 m<sup>2</sup>, for at kunne dække en væsentlig del af boligens elbehov, og kan derved komme i konkurrence med tagvinduer og solvarmeanlæg. Eventuelt kan facaden også udnyttes.

Det er vigtigt at vælge produkter som arkitektonisk passer til husets stil, dette er især en udfordring ved røde tegltage. Det er vigtigt at undersøge om der falder skygger på solcellefeltet, så dette kan tages med i projekteringen. Solcelleproduktionen er oftest meget følsom for om der tages hensyn til skygger. Endelig kan det være et praktisk problem at komme til at montere beslag under eksisterende tagflade, særligt ved understrøgne tegl og snævre loftsrum.

## 3. Teknologisk stade

Nettilsluttede solcelleanlæg er i dag en gennemprøvet og veludviklet teknologi, som kan installeres i de fleste bygninger. De mest effektive anlæg kan yde knap 200 kWh/m<sup>2</sup> om året, men det halve er mere normalt. Levetider på 25-30 år er påvist for anlæg af god kvalitet.

## 4. Bindinger til forsyningsnet

Solcelleanlæg til almen elforsyning kan kun fungere sammen med et velfungerende elnet, ellers skal der etableres et (dyrt) batterilager.

## 5. Anlægstyper og størrelser

Solcelleanlæg kan etableres på alle bygningstyper, men er mest relevant hvor de fortrænger el til højeste takst – det vil sige private husstande der kan drage fordel af

nettoafregningsordningen (1:1 afregning af solgt el til nettet). Størrelsen er dog begrænset til 6 kW pr husstand, eller 6 kW pr 100 m<sup>2</sup> areal for institutioner, for at denne ordning er gældende. Den mindste kommercielle anlægsstørrelse for nettilslutning er ca. 300W, mens større anlæg kan være op til mange MW.



**Figur 17** Typisk husstands anlæg af krystallinske standardmoduler monteret ovenpå eksisterende tag.

## **6. Markedssituation/økonomi**

Prisen svinger en del som følge af udbud og efterspørgsel på det internationale marked, men er generelt faldende. Kvadratmeterprisen er omkring 2000 kr. for de billigste produkter med lav specifik ydelse op til ca. 5000 kr. for de mest effektive. Teknisk levetid (år): 25-30 år for solcellemodulerne. Vedligeholdelse (kr/år): kr. 1000 inkl. moms afsættes til evt. reinvestering i vekselretter. Typisk investering 150.000-200.000kr inkl. moms for et anlæg på 6 kW mærkeeffekt

## **7. Udviklingstendenser**

Den stærke vækst på globalt plan medfører at der kommer mange nye firmaer med et bredt udbud af produkter. Siliciumteknologien baseret på wafers vil være dominerende mange år endnu, men nye tyndfilm baseret på mikrokrySTALLINSK silicium, CIS, CdTe og andre materialer vil få større markedsandele de kommende år. Der vil ikke ske større forandringer med hensyn til den specifikke ydelse, men priserne kan falde yderligere. Der vil givetvis komme mere avancerede vekselrettere med flere funktioner, herunder modulintegrerede vekselrettere.

## **8. Danske referencer (anlæg og leverandører)**

For typiske nettilsluttede anlæg i Danmark kan man regne med en ydelse på 800-900 kWh for hver installeret kW elektrisk effekt. Omregnet til areal, kan ydelsen typisk svinge fra 50 til 150 kWh/m<sup>2</sup> modulareal, alt efter om der er brugt en mere eller mindre effektiv solcelletype.

Forhandlerlister kan bl.a. findes på [www.solarplaza.com](http://www.solarplaza.com) samt [www.solenergi.dk](http://www.solenergi.dk)

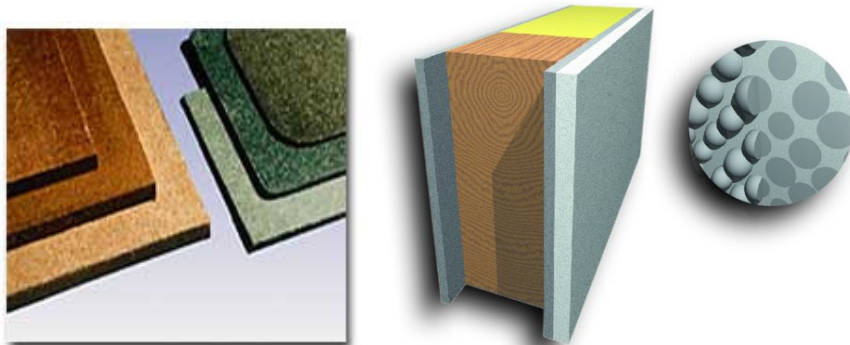
## Energilagring i bygninger

I forbindelse med fluktuerende energikilder vil der altid være behov for en form for energilager, hvad enten slutproduktet er el eller varme. De mest almindelige lagringsteknologier er vist i følgende tabel:

Teknologi:	Termisk			El	
	Sensibel varme	Latent varme	Reaktions varme	Kemisk	Mekanisk
Beholder(e)	xxx	xx	(X)	(x)	
Distribueret masse	xxx	x			
Sekundære batterier				xxx	
Elektrolyse				x	
Trykluft, svinghjul m.v.					(x)

Det fremgår af tabellen, at der kun er få veludviklede teknologier, når det gælder energilagring i bygninger. I den simpleste form består varmelagring i at tillade en vis overopvarmning af rummene i de perioder hvor der er varmeoverskud, f.eks. fra solindfald. Varmen optages da af tunge bygningsdele og afgives atter, når rumtemperaturen falder. Et eksempel herpå er tunge gulvvarmeanlæg, som lades op med solvarme i dagtimerne, og afgiver varmen i de mørke timer. Ellers er det vandfyldte beholdere som dominerer indenfor energilagring, fordi det er en billig og enkel teknik. Begrænsningen ligger primært i et stort tab til omgivelserne, og denne lagertype er derfor ikke egnet for lagring over lange tidsrum.

Varmelagring i form af latent varme er typisk realiseret med forskellige salte eller kemiske blandinger eller paraffiner med smeltepunkt omkring 21<sup>0</sup>C, som bygges ind i gulv eller loft. Her er en del af energiudvekslingen uafhængig af temperaturændring, og der er derfor ikke samme problematik omkring tab.



*Faseskift-byggeplader samt varmelager i form af små kugler i det indvendige pudslag (www.bine.info)*

Lagring af elektrisk energi i batterier m.v. er dyr, men teknisk mulig, og er normalt kun af interesse de steder, hvor der ikke er et stabilt elnet. Emnet er derfor ikke nærmere behandlet her, selvom det med tiden kan blive af interesse, måske især i forbindelse med reversible brændselsceller.



## Referencer

- 1) Mini- og mikrokraftvarme, Teknologi, potentiale og barrierer  
Jan de Wit/Dansk Gasteknisk Center a/s, Hørsholm 2006
- 2) Minikraftvarmeenhed med Stirling-motor  
Jan de Wit, Dansk Gasteknisk Center a/s
- 3) Udredning vedrørende:  
Indpasning af solvarme i kraftvarme. Per Kristensen m.fl. 2006
- 4) An Introduction to Thermoelectrics. Tellurex Corporation.
- 5) Unlocking the Power House:  
Policy and system change for domestic micro-generation in the UK  
Jim Watson and Raphael Sauter, Sussex Energy Group, SPRU, University of Sussex
- 6) Varmepumper – status sommeren 2007 i og uden for Danmarks grænser.  
Claus S. Poulsen, Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpeteknik
- 7) Varmepumper i områder uden for kollektiv energiforsyning  
Elforprojekt nr. 335-48 Journal nr. 464-01 Projektrapport, August 2007
- 8) Links vedr. energilagring:
  - ⌚ [www.basf.de/de/corporate/innovationen/realisiert/latentwaerme/](http://www.basf.de/de/corporate/innovationen/realisiert/latentwaerme/) Fa. BASF
  - ⌚ [www.comfortemp.com](http://www.comfortemp.com) comfortemp / PCM für Funktionsbekleidung
  - ⌚ [www.outlast.com](http://www.outlast.com) Fa. Outlast / PCM für Outdoor-Bekleidung
  - ⌚ [www.rubitherm.com](http://www.rubitherm.com) Fa. Rubitherm / Wärmetechnik mit Paraffin
  - ⌚ [www.transheat.de](http://www.transheat.de) Fa. Eureka / Mobile Abwärmenutzung
  - ⌚ [www.va-q-tec.de/deutsch/produkte/verpackungen.html](http://www.va-q-tec.de/deutsch/produkte/verpackungen.html) Fa. Va-Q-Tec / Transportboxen



## Annex: Kombination af energiforsyningsanlæg

Tabellen herunder giver eksempler på muligheder, fordele og ulemper ved kombination af kedel og forskellige andre forsyningsteknologier.

<b>Basisforsyning: Kedel -----&gt; Eks. supplement</b>	<b>Solvarme</b>	<b>Varmepumpe</b>	<b>Biokedel</b>	<b>Solceller</b>
<b>Solvarme</b>	Solvarmeanlægget bør være stort nok til kunne spare tomgangstab fra oliekedel om sommeren	Kan kombineres med fælles beholder	Kan med fordel kombineres med fælles lager beholder	Leverer el og er uafhængig af varmeanlæg
<b>Varmepumpe</b>	Luft/luft VP til rumvarme kan inst. uafhængig af nuværende installation	Varmepumpe kan spare tomgangstab fra oliekedel om sommeren	Varmepumpe kan spare tomgangstab fra biokedel om sommeren	Leverer el og er uafhængig af varmeanlæg
<b>Biokedel</b>	Kan spare olie udenfor sommerperioden hvor solvarmen ikke rækker	Kan spare el til VP, men mere arbejde	Biokedel kan erstatte olie som brændsel, men kræver buffertank og lagerplads	Leverer el og er uafhængig af varmeanlæg
<b>Solceller</b>	Lille solcelle kan evt. drive solvarmepumpe direkte	Kan levere el til drift af VP	Kan levere el til pumpe og styring	Leverer el og er uafhængig af varmeanlæg

De grå felter gælder for basisforsyning (kedel) + den enkelte supplerings teknologi