



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Livscyklusvurderinger

**Analyse og vurdering af markedsførte
solfangere i Danmark**

Forord

Denne rapport afslutter projektet ”Livscyklusvurderinger af markedsførte solfangere i Danmark”, Energistyrelsens journal nr. 51181/96-0037, som er finansieret af Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi.

Projektets formål var at udføre livscyklusvurderinger på de solfangere, der ved projektets start var på markedet i Danmark. Livscyklusvurderingerne skal bl.a. anvendes til at give et overblik over, hvilke parametre der er vigtige i forbindelse med solfangeres miljøpåvirkninger og ressourceforbrug. Desuden har det været et væsentligt formål med udførelsen af projektet at give solfangerfabrikanterne mulighed for at inddrage miljøhensyn både ved produktudvikling og ved materialeindkøb, produktionsplanlægning mm.

Der rettes en stor tak til de fabrikanter, distributører og underleverandører, der har bidraget med nyttige informationer til projektet.

Deltagere i projektet:

Jan Erik Nielsen, projektleder, SolEnergi Center Danmark, Teknologisk Institut
Trine Dalsgaard Jacobsen, SolEnergi Center Danmark, Teknologisk Institut
Henrik Wenzel, Institut for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet
Niels Frees, Institut for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet

Livscyklusvurderinger af markedsførte solfangere i Danmark
1. udgave, 1. oplag 1999
© Teknologisk Institut, 1999
SolEnergiCenter Danmark

ISBN: 87-7756-621-1

Indholdsfortegnelse

Summary	4
1. Baggrund for projektet	5
1.1 Dansk miljøpolitik	5
1.2 Miljømærkning	6
1.3 Dansk energipolitik	8
2. Projektets formål	10
3. Metodebeskrivelse	11
3.1 Hvad er en livscyklusvurdering?	11
3.2 Metodegrundlag	11
3.3 UMIP-metoden	11
4. Målsætning og afgrænsning af livscyklusvurdering	13
4.1 Valg af produkter	13
4.2 Funktionel enhed og levetid	14
4.3 Systemafgrænsninger	15
4.3.1 Materialer	16
4.3.2 Energi	16
4.3.3 Kemikalier	16
4.3.4 Andet	17
5. Livscyklusopgørelse	18
5.1 Råstofudvinding og materialefremstilling	20
5.2 Fremstillingsprocesser/produktion	21
5.3 Belægningsprocesser/Selektive overflader	22
5.4 Overhead energiforbrug	23
5.5 Solfangerens brugsfase	24
5.5.1 Levetider	24
5.5.2 Årlig solfangerydelse og pumpeforbrug	24
5.5.3 Det resterende solvarmeanlæg	25
5.5.4 Forbrug af glykolvæske	27
5.5.5 Reparation og udskiftning af delkomponenter	27
5.6 Bortskaffelse af solfangere	27
5.6.1 Scenarium 1 Miljøpolitisk scenarium, alle materialer nyttiggøres	28
5.6.2 Scenarium 2 Økonomisk styret bortskaffelsesscenarium, kobber genanvendes ..	29
5.6.3 Scenarium 3 Nutidigt scenarium	30
5.6.4 Scenarium 4 Losseplads scenarium	31
5.6.5 Automatisk affaldssortering – shredder anlæg	31
5.6.6 Produktion af kraftvarme ved affaldsforbrænding	32

6.	Miljøeffektvurdering	33
6.1	Effektkategorier	34
6.1.1	Globale miljøeffekter	34
6.1.2	Regionale miljøeffekter	34
6.1.3	Lokale miljøeffekter	35
6.1.4	Ressourceforbrug	35
6.2	Miljøresultater for solfangere	36
6.2.1	Miljøeffekter forårsaget af solfangere	36
6.2.2	Ressourceforbrug forårsaget af solfangere	38
6.3	Solvarmeanlæg eksklusiv solfangere	40
6.3.1	Miljøeffekter fra solvarmeanlæg	41
6.3.2	Ressourceforbrug	41
6.3.3	Energiforbrug til cirkulationspumpe	42
6.4	Energiforbrug og tilbagebetalingstider	44
6.5	Sammenligning med konventionelle energikilder	46
7.	Formidling af miljøresultater	49
7.1	Udformning af miljødatablad	50
8.	Muligheder for miljø- og ressourcemæssige forbedringer af solfangere	53
9.	Sammenfatning og konklusion	54
10.	Referenceliste	56

Bilag

A	Beregning af solfangerydelser	58
B	Materialedata	59
C	Bortskaffelse af materialer	65
D	Transportlængder og transportmidler	69

Summary

The interest in environmental aspects of products has been increasing over the years. This environmental concern includes not only the product itself but also the production methods and how the product is disposed of. For solar collectors the environment is already in focus because they provide renewable energy. But an environmental assessment of a solar collector should be based on considerations of all the phases of the collector's life cycle.

The object of this project has been to make life cycle assessments of solar collectors for the Danish market. One or two collectors from each manufacturer or distributor in Denmark have been selected to be a part of the project. The assessments should provide useful information about the environmental impacts of the collectors, which can be used for

- an identification of the main points of interest concerning the environmental impacts of solar collectors
- discussing improvements of the product or the production methods with the manufacturers
- comparing the solar collectors regarding the environmental impacts and the impact on resource depletion
- an indication of which kinds of collectors are environmentally preferable

The collector assessments are carried out in a systematic way by using a Danish database-program (based on a large project called UMIP) that is especially developed for life cycle assessments and by using data from manufacturers and suppliers. The method used is in accordance with standard guidelines given by the international standard ISO 14040 series.

The assessments show that all the collectors in the analysis have a positive energy payback time. The average is approx. 0.6 years for the collector alone and approx. 1.2 years for the collector including the rest of a domestic solar water heating system. This means that they produce much more energy than they consume during their entire life cycle. Using solar energy will cause a large reduction of emissions contributing to the green house effect, acidification and other environmental effects related to energy-production.

But the production and disposal of the solar collectors can cause other environmental impacts. The collectors typically consist of materials like copper or stainless steel that contains nickel and chromium. These materials are sparse resources and should be recovered after use. In general, the environmental profile of a solar collector is very much dependent on the way of disposing of it after use. Significantly, care should be taken that any copper content of the collector does not enter steel recycling plants. The production of copper and stainless steel causes a production of toxic waste and emissions e.g. heavy metals, slag and dioxin.

The results from each assessment are communicated directly to the manufacturer of the collector. This should give the manufacturer an opportunity to take the environmental impacts caused by the collector into account in the product development.

A proposal for an environmental data sheet for of the collectors has been developed. The data sheet shows an environmental profile and a calculated energy payback time. In the future these data sheets can become a basis for an environmental labelling of solar collectors.

1. Baggrund for projektet

I løbet af de seneste år har der været en stigerende fokus på produkters miljøegenskaber. Denne fokus ses både fra myndighedernes side i form af lovgivning og handlingsplaner og fra forbrugernes side, hvor miljøhensyn i stigende grad indgår som en væsentlig faktor ved indkøb af mange forskellige typer produkter.

I markedsføringssammenhænge bliver miljøfaktorer ofte brugt, bl.a. i form af forskellige typer energimærkningsordninger, miljømærker mm. Disse mærkninger bliver i stigende grad baseret på livscyklusvurderinger, hvor produktets miljøegenskaber vurderes ud fra en helhedsbetragtning af miljøpåvirkninger, energiforhold og ressourceforbrug i hele produktets levetid.

Solvarme er interessant i denne sammenhæng, fordi det er et miljøvenligt alternativ til konventionelle energiformer, der typisk er baseret på fossile brændsler. Men det er vigtigt at kunne dokumentere solvarmeanlægs samlede miljøegenskaber for at kunne vurdere den samlede ændrede miljøpåvirkning ved substitution af konventionel energi med solvarme.

1.1 Dansk miljøpolitik

Den traditionelle miljøpolitik i Danmark har i mange år været fokuseret på udledninger fra industrien, dvs. fra produktionsprocesserne, samt på miljøproblemer i forbindelse med bortskaffelse af affald. Denne fokusering har generelt betydet, at de danske industri-virksomheder og de virksomheder, der arbejder med bortskaffelsesprocesser, er blevet meget gode til at minimere deres udledninger. F.eks. er udledningerne af tungmetaller og andre giftige stoffer faldet markant siden den første miljøbeskyttelseslov i 1974 (Wenzel et al, 1996).

Den materielle levestandard i samfundet har imidlertid været stigende, og forbruget af produkter og dermed ressourcer, energi og samlede affaldsmængder er tilsvarende steget. Selv om de største enkeltudledninger reduceres, øges den samlede miljøbelastning på grund af det stigende forbrug af produkter. Erkendelsen af dette har ændret den danske miljøpolitik væsentligt, og fokus på produkterne er øget. Den *produktorienterede miljøpolitik* tager dermed udgangspunkt i den samlede belastning fra hele produktets livscyklus. I Miljøstyrelsens redegørelse om den produktorienterede miljøindsats (Miljøstyrelsen, 1998) beskrives formålet med det nye element i miljøpolitikken således:

”Det overordnede mål med produktindsatsen er at styrke udvikling og afsætning af renere produkter, så den samlede miljøbelastning fra produktion, brug og bortskaffelse af produkter reduceres. Dette mål skal ses i sammenhæng med et tilsvarende erhvervspolitisk mål – at styrke dansk erhvervslivs konkurrenceevne på et fremtidigt marked, der i stigende grad sætter miljø på dagsordenen og efterspørger renere produkter.” (Miljøstyrelsen, 1998)

I den nye miljøpolitik lægges der bl.a. vægt på, at producenten af et givet produkt så vidt muligt skal sikre, at produktet dels kan genanvendes, dels ikke medfører miljøbelastninger i

forbindelse med den endelige bortskaffelse. Det betyder, at producenten bør inddrage overvejelser om produktets bortskaffelse allerede ved produktudviklingen.

Miljøpolitikken lægger desuden op til, at den miljømæssige styring i høj grad skal ligge i kontaktfladen mellem virksomhed og kunde. Kunden kan gennem sine valg af produkter påvirke virksomheden til at udvikle og producere mere miljøvenlige produkter ved at skabe en efterspørgsel på disse. Myndighedernes rolle skal derfor ændres fra at være direkte styrende til at opstille og sikre de rette betingelser og spilleregler på et konkurrenceorienteret marked.

En af de væsentligste betingelser for, at der kan skabes en efterspørgsel på renere produkter, er, at der er information om produkternes miljøforhold til rådighed. Denne information skal bruges dels af kunderne, så de kan vælge de mest miljøvenlige produkter, dels af producenterne, så disse har mulighed for at forbedre og udvikle deres produkter. Miljøinformationen skal omhandle produktets miljøpåvirkninger i hele dets livscyklus.

Miljøbeskyttelsesloven, Lovbekendtgørelse nr. 698 af 22. september 1998 om miljøbeskyttelse, kapitel 1:

§ 5 Den, der fremstiller eller importerer varer eller produkter, skal i videst muligt omfang sikre, at varen eller produktet ikke giver anledning til forurening eller spild af materialer og energimæssige ressourcer.

Stk. 2. Der skal herunder lægges vægt på, at varen eller produktet har en sådan sammensætning og udformning, at varen eller produktet

- 1) sikres den længst mulige levetid,
- 2) i videst muligt omfang lader sig genanvende og
- 3) ved den endelige bortskaffelse som affald ikke giver anledning til forurening eller anden miljøbelastning.

Stk. 3. Den, der anvender eller forbruger varer eller produkter, skal ved anskaffelsen og ved bortskaffelsen af varen eller produktet medvirke til at fremme genanvendelsen og begrænse problemerne i forbindelse med affaldsbortskaffelsen.

Information om et produkts miljøegenskaber kan udtrykkes ved hjælp af et miljømærke eller mere detaljeret i form af miljøvaredeklarationer eller miljøbrugsanvisninger. Miljømærkning er typisk ment som et enkelt budskab rettet til forbrugere af et givet produkt, mens miljøvaredeklarationer typisk kan anvendes gennem forsyningskæden før slutbrugeren. Deklarationerne kan videregive informationer fra råmaterialeproducenter, underleverandører osv.

1.2 Miljømærkning

Miljømærkning er typisk ment som et enkelt budskab rettet til forbrugere af et givet produkt. Danmark deltager i 2 miljømærkeordninger: EU's miljømærke ("blomsten") og Nordisk Råds Miljømærke ("svanen"). Logoer for disse mærkningsordninger er vist i figur 1.1. Begge

mærkningsordninger bygger på livscyklusvurderinger af produktet. For hver produktgruppe opstilles en række kriterier, som produktet skal opfylde.



Figur 1.1 Nordisk Råds miljømærke ”Svanen” og EU’s miljømærke ”Blomsten”

Der er på nuværende tidspunkt ingen solenergi-relaterede produkter mærket med et af ovennævnte miljømærker hverken herhjemme eller i udlandet, men lokale miljømærker anvendes i høj grad til markedsføring af solfangere i udlandet.

I Tyskland anvendes et miljømærke kaldet ”der blauer engel” (den blå engel) på en lang række forskellige produkter. Inden for solvarmeområdet anvendes miljømærket bl.a. med det formål at forøge interessen for og udbredelsen af solvarme. (RAL, 1998). I enkelte delstater er det ligefrem et krav for at opnå statstilskud til solvarmeanlægget. Det tyske miljømærke for solfangere er vist i figur 1.2.

En række solfangerproducenter markedsfører deres produkter med det tyske miljømærke. Dette mærke baserer sig ikke i så høj grad på livscyklusvurderinger af produktet, men på særskilte kriterier indenfor enkelte livsfaser. For at opnå det tyske miljømærke skal producenterne overholde kriterier indenfor følgende punkter:

1. Ydelse
Solfangeren skal have en høj virkningsgrad og skal kunne levere en årlig ydelse på mindst 525 kWh/m² ved en dækningsgrad på 40%.
2. Solfangervæske
Solfangervæsken må ikke indeholde halogenforbindelser, dvs. traditionelle kølemidler eller andre potentielt miljøfarlige stoffer ifølge tyske eller internationale klassifikationer.
3. Isolering
Isoleringsmaterialet må ikke medføre udledninger eller afgangning af halogenforbindelser (f.eks. CFC eller andre ozonlagnedbrydende forbindelser) eller afgangning af andre potentielt miljøfarlige stoffer ifølge tyske eller internationale klassifikationer.
4. Sikkerhed og holdbarhed
Solfangeren og de indgående materialer skal overholde retningslinier for sikkerhed og holdbarhed som givet i gældende standarder især DIN V 4757-3.

5. Tilbagetagning og genanvendelse
Fabrikanten forpligter sig til at tage solfangere samt delkomponenter tilbage efter brug og sikre at materialerne genanvendes på den mest miljøvenlige måde. Dette skal være indeholdt i solvarmeanlæggets brugsanvisning.
6. Sikkerhedsdatablad
I solvarmeanlæggets medfølgende brugsanvisning skal der være et sikkerhedsdatablad for den anvendte solfangervæske.
7. Selektiv belægning
Producenten skal stille informationer til rådighed angående fremstilling af den selektive belægning.

Der er pr. maj 1998 17 solfangerproducenter med i alt 27 solfangere, der har fået tildelt det tyske miljømærke (RAL, 1998).



Figur 1.2 Logo for det tyske miljømærke "Der Blauer Engel" for solfangere

1.3 Dansk energipolitik

Danmark har internationalt forpligtet sig til væsentlige reduktioner af CO₂-udledningerne fra energiproduktion og energiforbrug. Samlet skal Danmark reducere CO₂-udledningen med 20% inden år 2005 i forhold til niveauet i 1988 (Energi 21, 1996). Desuden har Danmark forpligtet sig til reduktioner på andre energirelaterede udledninger, f.eks. af svovldioxid SO₂, NO_x-er og flygtige organiske forbindelser (kaldet VOC-er).

Nogle af midlerne for at nå disse mål er

- energieffektivisering og energibesparelser
- fremme af vedvarende energi

En øget udbredelse af solvarme vil hjælpe Danmark med at nå de energi- og miljøpolitiske mål for bl.a. CO₂, SO₂ og NO_x-udledninger, som er fastlagt nationalt og internationalt. Det er i den danske energiplan Energi 21 fastlagt, at Danmark ønsker at fremme vedvarende energi og herunder solvarme som et miljøvenligt alternativ til konventionelle energikilder.

Energi-effektiviseringer og besparelser skal opnås ved en *produktorienteret energipolitik*, der ligger tæt op af den produktorienterede miljøpolitik. Indsatsen indenfor energioptimering skal rettes mod alle del af produkternes livsforløb (Energi 21, 1996). Den produktorienterede energistrategi har bl.a. medført, at der for en lang række energiforbrugende apparater som f.eks. køleskabe er eller vil blive indført energimærkningsordninger. Et energimærke kan betragtes som et simpelt miljømærke, der kun omhandler en af miljøfaktorerne i produktets livscyklus, nemlig energiforbruget i driftsperioden. Energiforbruget er for mange energiforbrugende produkter den væsentligste årsag til miljøpåvirkninger.

Energiforbruget til opvarmning af bygninger og til varmt brugsvand udgør en væsentlig del af det totale energiforbrug i Danmark og er dermed også en væsentlig faktor til belastninger af miljøet. Det er derfor naturligt, at der sættes fokus på energiforbruget i forbindelse med bygninger. Det betyder bl.a. at alle boliger, offentlige bygninger og bygninger indenfor handel og service skal energimærkes. Enerгимærkningen beskriver energiforholdene i bygningens driftsfase og kan betragtes som en simpel miljødeklaration af bygningen. Der arbejdes hos Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) med metoder til en egentlig miljøvurdering og miljømærkning af bygninger, der har basis i hele bygningens livscyklus.

I Energi 21 lægges der vægt på en større udbredelse af større solvarmeanlæg, f.eks. til offentlige institutioner. Offentlige instanser skal med den nye miljølov gå foran i arbejdet med at skabe en større efterspørgsel på miljøvenlige produkter og de skal derfor medtage overvejelser om miljøet ved indkøb og projektering af bygninger, installationer mm. (Miljøstyrelsen og Energistyrelsen, 1994).

Den produktorienterede energipolitik lægger op til, at de tiltag, der indføres for at reducere CO₂-udledningerne, skal vurderes i et helhedsorienteret perspektiv, hvor de miljømæssige konsekvenser i hele energisystemets livscyklus skal vurderes. Det betyder at energibesparelser eller evt. ændring af energisystem/energikilde skal vejes op mod forbruget af ressourcer, andre udledninger mm. Der bør derfor udføres livscyklusvurderinger, der belyser ressource- og miljøbelastningen ved etablering, drift og skrotning af energianlæg (Energi 21, 1996).

2. Projektets formål

Det er formålet med dette projekt at gennemføre livscyklusvurderinger på de solfangertyper, der er på det danske marked. Der er udvalgt i alt 15 solfangere til deltagelse i projektet. Disse repræsenterer de forskellige fabrikker og produkttyper, der er på det danske marked. Siden projektets start er der kommet flere solfangerfabrikker på markedet, men disse er ikke medtaget i dette projekt.

Livscyklusvurderingerne skal give

- mulighed for sammenligning af solfangerne på markedet med hensyn til deres miljøpåvirkninger og ressourceforbrug
- overblik over, hvilke solfangere der er specielt gode eller dårlige med hensyn til miljøpåvirkninger og ressourceforbrug
- et oplæg til en efterfølgende diskussion af forbedringer af de enkelte produkter eller produktionsmetoder med de respektive fabrikker, med henblik på optimering af produktion og materialeanvendelse i forhold til energiforbrug/ydelse og øvrige miljøpåvirkninger og ressourceforbrug
- indblik i hvilke parametre, der især bør fokuseres på i forbindelse med solfangerens miljøpåvirkninger f.eks. i forbindelse med en fremtidig mærkningsordning.

Livscyklusvurderingerne skal desuden danne basis for et forslag til udformning af et miljø-datablad for solfangerne. Disse datablade skal være en form for miljøvaredeklaration, som indeholder information om solfangerens samlede miljøegenskaber. Databladene skal kunne anvendes af fabrikkerne og give disse en mulighed for at inddrage miljøhensyn ved produkt- og produktionsudvikling.

En identifikation af de væsentligste miljøparametre i forbindelse med solfangerens livscyklus kan danne basis for, at miljøhensyn inddrages i en forbrugerorienteret mærkningsordning. Her kan solfangerens miljøegenskaber indgå på lige fod med andre kvalitetsegenskaber så som ydelse og holdbarhed.

De konkrete resultater for hver enkelt solfanger er i forbindelse med dette projekt holdt fortrolige, så de kun er oplyst til de respektive solfangerfabrikker. Det skyldes, at projektets resultater i første omgang skal lægge op til, at fabrikkerne selv kan begynde at inddrage miljøhensyn ved deres egen produktion.

3. Metodebeskrivelse

3.1 Hvad er en livscyklusvurdering?

En livscyklusvurdering eller miljøvurdering af et produkt er en identificering og en kvantificering af alle udvekslinger med miljøet, der opstår i produktets livscyklus. Udvekslinger med miljøet kan være udledninger af stoffer til atmosfæren eller til vandmiljøet, affald eller brug af ressourcer i form af f.eks. metaller eller energiråstoffer. Produktets livscyklus strækker sig fra udvinding af råstoffer fra jorden, over fremstilling, brug og diverse transportprocesser, til materialerne enten vender tilbage til naturen (f.eks. i form af affald) eller indgår i en ny cyklus i et andet produkt.

Det er et centralt element i livscyklusvurderinger, at de samlede miljøpåvirkninger i form af udledninger eller ressourceforbrug henregnes til produktets ydelse eller funktion. Udvekslingerne skal altså sættes i relation til det behov, som produktets ydelse opfylder.

3.2 Metodegrundlag

Livscyklusvurderinger indeholder altid et element af vurdering, idet forskellige typer af miljøeffekter og ressourcepåvirkninger skal holdes op mod hinanden. Samtidig vil der altid være punkter under udførelsen, hvor der skal foretages valg, f.eks. ved systemafgrænsning, ved valg af datakilder mm. For at sikre objektivitet og sammenlignelighed er det nødvendigt at benytte en standardiseret metode ved udførelsen af livscyklusvurderinger.

Det internationale selskab for miljøkemikere, SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) har siden starten af 1990'erne været i spidsen for udvikling af generelle retningslinier for udførelse af livscyklusvurderinger. SETAC-rapporten "Guidelines for Life-Cycle Assessments: A Code of Practice" (Consoli et al, 1993) har opnået status som international reference for livscyklusvurderinger. Ifølge SETAC skal en LCA indeholde 4 trin:

- målsætning
- afgrænsning
- opgørelse
- vurdering

Det internationale standardiseringsorgan ISO har udviklet en metodestandard for udførelse af livscyklusvurderinger (ISO 14040, 1997), samt mere detaljerede standarder for de forskellige delelementer i vurderingen. ISO-standarder følger de 4 metodetrin som er nævnt ovenfor.

3.3 UMIP-metoden

Den her anvendte metode er udviklet i forbindelse med projektet "Udvikling af Miljøvenlige IndustriProdukter (UMIP), der var finansieret af Miljøstyrelsen og blev afsluttet i 1996 (Wenzel et al, 1996). Projektet var et samarbejde mellem Institut for Produktudvikling, Institut for Arbejdsmiljø (DTU), Laboratoriet for Økologi og Miljølære, Dansk Industri, samt

5 danske industrivirksomheder: Bang & Olufsen A/S, Danfoss A/S, Gram A/S, Grundfos A/S og KEW Industri A/S.

Projektets formål var:

- at udvikle metoder til miljøvurdering af komplekse industriprodukter
- at udvikle retningslinier for udviklingsfunktionen til konstruktion af miljøvenlige industriprodukter
- at udvikle en database og et PC-værktøj til støtte for miljøvurdering
- at implementere metoder og værktøjer i partnervirksomhederne.

Metoden er et godt bud på en dansk standard for udførelse af livscyklusvurderinger. Metoden er desuden internationalt anerkendt og i overensstemmelse med både SETAC og ISO-standarderne.

UMIP-metoden indeholder alle 4 hovedområder som angivet af SETAC, og er derfor i overensstemmelse med de internationale metodeanvisninger. Den indeholder desuden en grundig vejledning til, hvordan de 4 trin skal udføres i praksis. De 4 trin i vurderingen skal indeholde:

Målsætning

Målsætningen skal fastlægge formålet med livscyklusvurderingen, herunder hvilke beslutninger resultaterne skal understøtte.

Afgrænsning

Under afgrænsningen defineres det produkt, der skal vurderes. Dette gøres ud fra en funktionel enhed, der karakteriserer produktets ydelse. Herunder defineres også den tidsmæssige afgrænsning, samt hvilke dele af produktets livscyklus, der medtages i vurderingen. Desuden defineres de vurderingsparametre, som produktet skal bedømmes på, herunder ressourceforbrug, miljøpåvirkninger og påvirkninger af arbejdsmiljøet.

Opgørelse

Under opgørelsen indsamles de ønskede data for produktets livsfaser, og disse omsættes til en samlet beregningsmodel for produktet. Ved hjælp af beregningsmodellen omsættes de indsamlede data for produktet til udvekslinger med miljøet, f.eks. i form af ressourceforbrug, emissioner eller påvirkning af arbejdsmiljøet.

Vurdering

Den første del af vurderingen består i at gruppere udvekslingerne efter de effekter de forårsager. Dernæst sammenlignes med globale eller regionale gennemsnitsbelastninger. Udvekslingerne vægtes indbyrdes på basis af forsyningshorisonter eller politisk bestemte miljømålsætninger. UMIP-metodens vægtningsdel er dansk orienteret, hvilket betyder, at den er velegnet til vurdering af produkter på det danske marked.

4. Målsætning og afgrænsning af livscyklusvurdering

De overordnede formål med udarbejdelsen af disse livscyklusvurderinger af solfangere er

- at skabe et sammenligningsgrundlag for solfangerne, der er baseret på miljøpåvirkninger og ressourceforbrug
- at fastslå hvilke af solfangerens komponenter og/eller livsfaser, der er væsentlige set fra et miljø- og ressourcemæssigt synspunkt

Vurderingerne skal udføres med disse formål for øje. Det betyder bl.a. at der skal være sammenlignelighed mellem resultaterne. I vurderingerne indgår solfangere af forskellig størrelse og med forskellig ydelse, og det vil ikke være rimeligt at sammenligne disse direkte. For at sammenligninger af solfangerne kan foretages, må vurderingerne først normaliseres til samme ydelse. Det vil sige, at beregningerne ikke foretages for én solfanger men for en funktionel enhed af en solfanger.

Vurderingerne skal desuden kunne anvendes til at identificere de komponenter og livsfaser i solfangerens livscyklus der miljø- og ressourcemæssigt betyder mest. Beregningerne skal derfor udføres, så det er muligt at vise, hvilke årsager der ligger til grund for resultaterne. Denne viden om solfangernes miljøpåvirkninger skal kunne anvendes til miljøforbedringer og produktudvikling.

4.1 Valg af produkter

Der er udvalgt i alt 15 forskellige solfangere, der tilsammen udgør et repræsentativt udsnit af de solfangertyper, der findes på det danske marked. De 15 solfangere repræsenterer i alt 12 producenter, hvoraf de 2 er udenlandske og de 10 er danske firmaer. I tabel 4.1 nedenfor er angivet de solfangere, der er medtaget i vurderingerne.

Nr.	Firma	Typenavn
D2105	Aidt Miljø A/S	LF 3
D2110	Kobbervarefabrikken	Solenergi
D2114	Thermo-Sol ApS	AE32
D2117	Batec A/S	BA30
D2119	Ans Solvarme	AS 2000 SEL
D2121	Solahart Scandinavia ApS	Solahart K
D2122	Ar-Con Solvarme A/S	S-350
D2123	ED Heating ApS	ED 27
D2124	Aidt Miljø A/S	LF-K 3
D2125	Thermo-Sol ApS	Mazdon 20
D2126	Ar-Con Solvarme A/S	ST
D2127	Djurs Solvarme I/S	DS-3
D2129	Fyens Solvarme	FS-2
D2133	NilSol	Danmax 2
D2115	Nordsol ApS	Nordsol 1

Tabel 4.1 Solfangere, der deltager i projektet

4.2 Funktionel enhed og levetid

Ifølge UMIP-metoden skal en funktionel enhed indeholde både en kvantitativ del, en kvalitativ del samt en varighed. Produktet skal ikke bare vurderes ud fra mængden af dets ydelse, men også ud fra varigheden og kvaliteten af den givne ydelse.

For solfangere er den primære ydelse at opvarme vand. Den kvantitative funktionelle enhed bør derfor være produceret energimængde i form af varmt vand. For hver af solfangerne er beregnet en årlig ydelse på basis af deres effektivitetsligning. Beregningsmetoden er beskrevet i afsnittet om solfangerens brugsfase. De beregnede ydelser bliver ved disse beregninger uafhængige af bl.a. anlægsudformning, anlægsstørrelse mm. Disse er reelt faktorer, der kan have stor indflydelse på solfangerens ydelse. Ved brug af denne beregningsmetode kan ydelserne umiddelbart sammenlignes og skaleres.

I forbindelse med dette projekt er der ikke foretaget undersøgelser af de forskellige solfangeres levetider, men det er vurderet, at alle de deltagende solfangere har en levetid på mindst 20 år. Det er derfor valgt at anvende 20 år som varigheden af ydelsen.

Der er adskillige faktorer, der har indflydelse på kvaliteten af solfangerens ydelse. Der kan f.eks. skelnes mellem varme til brugsvand eller til rumvarme, pga. forskellige temperatur-niveauer eller brugstidspunkter. En anden væsentlig faktor er, om solfangerne ved f.eks. tagintegration kan erstatte andre tagmaterialer. Solfangerens kvalitative ydelser kan også inkludere forhold som f.eks. æstetik, sikkerhedsfaktorer, monteringslethed mm. Der er dog ikke i forbindelse med dette projekt taget højde for eventuelle forskelle, hvad angår sådanne kvaliteter ved solfangerne.

Den funktionelle enhed for solfangere er her defineret som produktion af i alt 1000 kWh/år i form af varmt brugsvand. Denne ydelse skal strække sig over en periode på i alt 20 år, hvilket vil sige i alt 20000 kWh.

Da solfangerne alle har forskellige ydelser og størrelser beregnes en skaleringsfaktor for hver solfanger. Denne faktor angiver, hvor meget af en bestemt type solfanger, der skal til for at levere den funktionelle enhed. Skaleringsfaktorer for solfangerne er listet i nedenstående tabel.

Eksempel på beregning af skaleringsfaktor for en solfanger:

En solfanger på 2,5 m² har en årlig ydelse på 300 kWh/m². For at producere 1000 kWh/år skal der anvendes $1000/(2,5 \cdot 300) = 1,33$ solfanger.

Godk. Nr.	Firma	Typenavn	Areal m²	Ydelse kWh/m²·år	Total ydelse kWh/år	Skaleringsfaktor
D2105	Aidt miljø	LF 3	2,96	259	767	1,30
D2110	Kobbervarefabrikken	Solenergi	1,91	204	390	2,57
D2114	Thermo-Sol ApS	AE32	2,78	376	1045	0,96
D2117	Batec A/S	BA30	3,00	360	1080	0,93
D2119	Ans Solvarme	AS 2000 SEL	2,76	397	1096	0,91
D2121	Solahart Sca. ApS	Solahart K	1,85	379	701	1,43
D2122	Ar-Con Solvarme A/S	S-350	3,47	353	1225	0,82
D2123	ED Heating ApS	ED 27	2,70	378	1021	0,98
D2124	Aidt Miljø A/S	LF-K 3	2,96	368	1089	0,92
D2125	Thermo-Sol ApS	Mazdon 20	2,22	477	1059	0,94
D2126	Ar-Con Solvarme A/S	ST	2,51	410	1029	0,97
D2127	Djurs Solvarme A/S	DS-3	2,87	326	936	1,07
D2129	Fyens Solvarme	FS-2	2,00	367	734	1,36
D2133	NilSol	Danmax 2	2,00	412	824	1,21
D2135	Nordsol ApS	Nordsol 1	2,01	448	900	1,11

Tabel 4.2 Ydelser og skaleringsfaktorer for solfangerne i projektet

4.3 Systemafgrænsninger

I vurderingerne er det valgt at opsplitte solvarmeanlægget, så solfangerne og anlægget behandles adskilt. På denne måde bliver det muligt at opgøre resultater for solfangerne alene, så disse kan sammenlignes indbyrdes. Samtidig kan betydningen af det resterende solvarmeanlæg og herunder energiforbruget til cirkulationspumpen vurderes i forhold til solfangerne.

Ved vurderingen af, hvilke livsfaser, materialer, processer mm. der skal medtages i beregningerne, er UMIP-metodens MEKA-princip anvendt. MEKA-princippet består i en systematisk inddeling i kategorierne

- Materialer
- Energi
- Kemikalier
- Andet

Her står betegnelsen ”Andet” hovedsageligt for arbejdsmiljø. Brugen af MEKA-princippet i afgrænsningen består i, at det for hver af kategorierne vurderes, om alle væsentlige parametre er medtaget.

4.3.1 Materialer

For hver af solfangerne i projektet er opstillet en stykliste, hvori alle de indgående delemner er opgjort. For hvert delemne er angivet materiale, den aktuelle mængde, samt hvorvidt materialets miljøpåvirkninger er medtaget helt tilbage til ”udvinding fra jord”. Der er set bort fra enkelte smådele, men for samtlige solfangerne er over 98% af den samlede vægt repræsenteret i beregningerne. Derudover er der også medtaget et vist materialespild ved hhv. fremstillings- og bortskaffelsesprocesser. Det er derfor vurderet, at alle væsentlige materialer er inkluderet.

4.3.2 Energi

Der forbruges energi i alle livsfaser i solfangerens livscyklus og energiforhold må derfor vurderes for alle livsfaser. En stor del af det samlede energiforbrug ligger i fremstillingen af råmaterialer, og energiforbruget er her medtaget for min. 98% af det samlede materialeindhold. I produktionsfasen er både medtaget energiforbrug til specifikke processer og til generelt forbrug på virksomheden (overhead). Energiforbruget i denne fase udgør dog kun en mindre del af det samlede energiforbrug og er sammen med energiforbruget ved transportprocesserne kun medtaget i form af ens værdier for alle solfangerne.

Driftsfasen udgør den vigtigste fase med hensyn til energiforbrug. Solfangeren producerer energi i form af varme, og samtidig forbruger anlægget energi i form af el til cirkulationspumpen. For hver solfanger er ydelsen beregnet på baggrund af målte data for effektivitet. I bortskaffelsesfasen er medtaget energiforbrug til behandling af affaldet, samt til eventuel omsmelting og genanvendelse. Desuden er medtaget godtgørelse af energiindhold ved affaldsforbrænding.

Det er vurderet, at alle væsentlige energiforbrug og energiydelser er medtaget ved beregningerne.

4.3.3 Kemikalier

Materialer eller processer, der kan udgøre et særligt miljøproblem på grund af forbrug eller udledning af kemikalier eller andre miljøfarlige stoffer skal også medtages i vurderingerne. En del af udledningerne kan skyldes materialer eller energirelaterede processer, der allerede er medtaget under materiale- eller energidelen. Men derudover kan der være processer, der ikke er medtaget under de foregående kategorier.

Det drejer sig især om de processer, der anvendes til fremstilling af selektive belægninger. Belægningerne udgør kun en meget lille del af solfangeren rent mængdemæssigt, men da der anvendes og evt. udledes potentielt miljøproblematisk stoffer, er disse processer medtaget.

Derudover er fremstilling og bortskaffelse af PUR-skum og teflondug medtaget, idet der kan være potentielle miljøpåvirkninger herfra.

Udledning af stoffer ved materialefremstilling og bortskaffelse, samt energiproduktion (f.eks. el) udgør sammen med belægningsprocesserne og teflondugen de væsentligste processer med udledning af miljøfarlige stoffer i solfangernes livscyklus. Det er dermed vurderet, at de væsentligste udledninger af miljøfarlige stoffer er medtaget ved beregningerne.

4.3.4 Andet

I dette projekt er der foretaget den væsentlige afgrænsning, at det er valgt ikke at medtage arbejdsmiljøpåvirkninger i vurderingerne. Det skyldes ikke, at arbejdsmiljøpåvirkninger ikke relevante, men derimod, at det er for omfattende et område for dette projekts rammer.

Desuden er der ikke foretaget nogen levetids- eller holdbarhedsundersøgelser i forbindelse med dette projekt. Her er kun medtaget påvirkninger inden for kategorierne M, E og K.

5. Livscyklusopgørelse

Livscyklusbeskrivelsen eller opgørelsen er den del af den samlede vurdering, hvor produktets materialeforbrug, energiforbrug og udvekslinger med miljøet opgøres kvantitativt. Opgørelsen består således først og fremmest i en indsamling af alle miljømæssigt relevante oplysninger for hver fase af solfangerens livscyklus.

Ved dataindsamlingen og opgørelsen er det afgørende at sikre sammenlignelighed mellem resultaterne for de forskellige solfangere i projektet. Det sikres ved at opstille et fælles datagrundlag, som dækker samtlige solfangere og ved at sørge for, at der anvendes samme datakvalitet for alle solfangerne.

Med et fælles datagrundlag menes f.eks., at der er opstillet en fælles liste over materialer, der indgår i solfangerne. Dataindsamlingen er udført generelt for disse materialer. Det betyder f.eks., at solfangere, hvori der indgår rustfrit stål, alle er vurderet ud fra samme type af rustfrit stål. Den eneste forskel bliver dermed på mængden af det indgående materiale. På samme måde er der for distributionen defineret én form for transportproces (én type lastbil), som anvendes for samtlige solfangere. Samme princip er anvendt for de øvrige fælles dele af solfangerens livscyklus.

Det er forsøgt at opgøre data for hver solfanger med samme datakvalitet. Det betyder bl.a. at der så vidt muligt er der anvendt samme kilde, så datakvaliteten for hver af processerne mm. kan sammenlignes. Som referencekilde er anvendt databasen fra UMIP-projektet, kaldet UMIP-databasen (Frees og Pedersen, 1996), som er en af de mest detaljerede og pålidelige datakilder til livscyklusopgørelser. På de områder, hvor der ikke har været data til rådighed i UMIP-databasen er det forsøgt at skaffe data i sammenlignelig kvalitet fra andre kilder.

En oversigt over dataindsamlingen er vist i tabel 5.1 nedenfor. Her er de opnåede data inddelt i hhv. produktspecifikke, stedsspecifikke og generelle data. Med produktspecifikke data menes data, der gælder for en bestemt solfanger, mens generelle data kan være gennemsnitsdata for alle solfangere eller gennemsnitsdata for en given proces eller materiale. Stedsspecifikke data kan f.eks. være data for elproduktion i Danmark. På de områder, hvor det ikke har været muligt at skaffe produktspecifikke data for samtlige solfangere er det valgt at anvende generelle data for alle solfangerne, selvom der eventuelt er opnået produktspecifikke data for enkelte af solfangerne. Det gælder f.eks. for det samlede ikke-processpecifikke energiforbrug hos fabrikanten, hvor der er anvendt et gennemsnitligt energiforbrug pr. m² solfanger for alle. Dette skyldes, at det er ønsket at anvende samme datakvalitet for samtlige solfangere.

I vurderingen af solfangerne er følgende livsfaser medtaget:

- udvinding og oparbejdning af råmaterialer
- transport af råmaterialer til produktionssted
- produktion af solfanger
- transport af solfanger til bruger
- drift
- transport til bortskaffelse
- bortskaffelse og genanvendelse af materialer

Dataopgørelsen for hver af solfangerens livsfaser er beskrevet nøjere i de efterfølgende afsnit, samt i de vedlagte bilag.

Datagrundlag	Datatype			bemærkninger
	produkt speci- fikke	steds- speci- fikke	gene- relle	
Livsforløb/procestype				
Råstof-udvinding			x	data fra UMIP-databasen
Materiale-fremstilling				
metaller			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
glas			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
mineraluld	x			data fra hhv. Glasuld og Rockwool
træ			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
plast			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
PUR-skum			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
gummiprodukter			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
glykolvæske			x	data fra (Frischknecht et al. , 1992)
Materialefordeling				
Materialeindhold i solfanger	x			fabrikantoplysninger, beregninger, effektivitetsrapporter mm.
Produktion				
solfangerfremstilling	x		x	fælles data afhængig af solf. opbygning
materialespild			x	Gennemsnitsdata for alle fabrikanter
belægningsprocesser	x			Data fra fabrikanter, databaser, litteratur
overhead			x	Gennemsnitsdata for alle fabrikanter
Brug				
ydelse	x			ydelse beregnet for hver solfanger
levetid			x	levetid antaget ens for alle solfangere
resterende anlæg			x	standard gennemsnitsanlæg
reparationer	x			udskiftning af plastdæklag for alle solfangere med dette materiale hvert 10. år
Bortskaffelse				
scenarier	x			3 forskellige scenarier
shredding		x		Data for shredder teknologi i Danmark
forbrænding			x	emissionsdata fra UMIP-database (forbrænding med kraftvarmeproduktion)
Transport				
afstande			x	samme transportafstand for alle solfangere
transportmidler			x	samme transportmiddel for alle solfangere
energi og emissioner			x	gennemsnitsdata fra UMIP-databasen
Energisystemer		x		energidata fra UMIP-databasen for hhv. Danmark, Sverige, EU mm.

Tabel 5.1 Oversigt over datagrundlag for livscyklusopgørelse for solfangere

5.1 Råstofudvinding og materialefremstilling

De i alt 15 solfangere i projektet består hovedsageligt af i alt 12 forskellige materialer. Derudover indgår yderligere en del materialer i meget små mængder. Ved dataindsamlingen er der også medtaget materialer, der indgår i det øvrige solvarmeanlæg, dvs. til varmtvandsbeholder, pumpe mm.

Derudover er der også medtaget nogle af de materialer, der indgår i meget lille mængde, hvis det er vurderet, at materialet udgør en væsentlig miljømæssig faktor, f.eks. i form af et stort energiforbrug, stor giftighed, eller hvis der er tale om en meget sparsom ressource. Udover de materialer, der anvendes direkte i solfangerne, bliver der brugt en del andre ressourcer i solfangerens livscyklus. Det er især energiresourcer i form af f.eks. kul eller olie, men det kan også være i form af hjælpematerialer til produktionen af materialerne i solfangerne f.eks. anvendes metallet Mangan i produktionen af rustfrit stål. For disse ressourcer er anvendt data fra UMIP-databasen.

I tabel 5.2 nedenfor er angivet, hvilke kilder der er anvendt for de materialer, der anvendes i solfangerne. Hvert materiale er beskrevet nøjere i det vedlagte bilag B.

Materiale i solfanger	Datakilde	Bemærkninger
Metaller kobber aluminium rustfrit stål Ni-behandlet stål ikke-rustfri stål nikkel chrom	UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen	elektrolytisk, gennemsnitsdata hele verden elektrolytisk, gennemsnitsdata for Europa 18% Cr, 9% Ni, gennemsnitsdata hele verden som rustfri stål primær stål: Tyskland, genbrugsstål: DK elektrolytisk, gennemsnitsdata Europa ingen kvantitative data, kun små mængder
Glas uhærdet jernfattigt glas hærdet glas	UMIP-databasen UMIP-databasen	data for alm. planglas dvs. ikke jernfattigt som uhærdet glas + ekstra energiforbrug
Plast polycarbonat (PC) polypropylen (PP)	UMIP-databasen UMIP-databasen	gennemsnitsdata for Europa gennemsnitsdata for Europa
Isoleringsmaterialer stenuld glasuld PIR-skum (polyisocyanat)	Rockwool Glasuld A/S UMIP-databasen	energidata fra BPS katalog 121 energidata fra BPS katalog 121 som PUR-skum, opskumning med HFC
Tætningsmaterialer EPDM-gummi butyl-gummi silikone	UMIP-databasen UMIP-databasen ingen	som syntetisk gummi (polybutadien) som syntetisk gummi (polybutadien) silikone er ikke medtaget i analyserne
Biologiske materialer træ	UMIP-databasen	torstofindhold + energibidrag til forarbejdning Det er antaget, at træet <i>ikke</i> er trykimprægneret
Øvrige Propylenglykol teflon	Frischknecht, 1992 RENTEK, 1996	solfangervæske ingen kvantitative data

Tabel 5.2 Oversigt over materialer i solfangere

For hver solfanger er opstillet en liste over de indeholdte materialer og mængden af disse. Desuden er medtaget materialer, der kun indgår i meget små mængder, hvis disse repræsenterer sparsomme ressourcer. Det gælder f.eks. krom og nikkel. Materialelisten for hver solfanger findes i de respektive delrapporter.

5.2 Fremstillingsprocesser/produktion

De anvendte råmaterialer forarbejdes til endelig brug i solfangerne. En del af forarbejdningen foregår hos underleverandører og nogle processer hos fabrikanterne. Andelen af produktionsprocesser varierer meget fra fabrikant til fabrikant. Desuden leverer nogle af de større fabrikanter delkomponenter og halvfabrikata til nogle af de mindre fabrikanter.

Forarbejdning af råmaterialer er i vid udstrækning indeholdt i de data, der bl.a. er listet i UMIP-databasen under selve materialet. Dette skyldes, at en stor del af forarbejdningen foregår i forbindelse med udvinding og oparbejdning.

Ud over de processer, der er indeholdt i materialedata, er der inkluderet de processer, der omformer materialet til solfangerkomponenter. Her er så vidt muligt forsøgt at anvende specifikke data for de pågældende fabrikanter eller deres underleverandører. Fremstilling af solfangerkomponenter og færdig solfanger indeholder processerne:

- fremstilling af absorberplade (valsning, udglødning)
- udskæring af plade, rør og profiler
- bukning af plade
- svejsning/lodning
- hærkning af glas
- ekstrudering af plast til ribbeplade og ribberør
- pålægning af selektive belægninger
- opskumning af skumisulering
- fremstilling af teflonfolie

Med undtagelse af belægningsprocesserne til fremstilling af selektive overflader, samt opskumning af PUR-skum, er alle øvrige fremstillingsprocesser kun beskrevet ved et energiforbrug og et vist materialespild.

Det samlede energiforbrug til fremstillingsfasen kan opdeles i energi, der kan relateres til specifikke processer og energi, der forbruges på virksomheden som helhed, f.eks. til belysning, opvarmning af bygninger mm. Dette ikke-processspecifikke energiforbrug kaldes også "overhead". Et tidligere livscyklus-projekt (Nielsen og Jacobsen, 1996) har vist, at overhead-energiforbruget udgør størstedelen af det samlede energiforbrug, hvis der ses bort fra selve absorberproduktionen og fremstilling af den selektive belægning. For de virksomheder, der hovedsageligt udfører montage-arbejde, vil langt størstedelen af energiforbruget være bestemt af overhead-forbruget.

En oversigt over de fremstillingsprocesser, der er medtaget i vurderingerne er listet i tabel 5.3. Dog er fremstillingen af de selektive overflader behandlet særskilt. Processpecifikke energi-

forbrug bliver sjældent målt, idet dette vil kræve energimålere ved hver produktionsmaskine. Energiforbrugene er derfor fundet i UMIP-databasen samt i litteratur. Kun få af de deltagende fabrikanter måler deres materialespild, og der er derfor for samtlige fabrikanter fastlagt generelle procentsatser for materialespild i produktionen på baggrund af fabrikantoplysninger. Det er i alle tilfælde forudsat, at materialespildet nyttiggøres ved bortskaffelsen.

Fremstillingsproces	Energiforbrug	Materiale-spild [%]	Bortskaffelse af spild	Datakilde til energiforbrug
Absorber				
fremstilling af Cu-strips/plade	2 kWh/m ²	2	genanvendes	Nielsen og Jacobsen, 1996
fremstilling af Al/Cu-strips	1.5 kWh/m ²	2	genanvendes	TeknoTerm, 1998
valsning af stålplade	0.16 kg naturgas/kg	2	genanvendes	UMIP-databasen
fremstilling af manifold/bøjler	0.017 kWh/m	5	genanvendes	Nielsen og Jacobsen, 1996
lodning af absorber (Cu)	0.007 kg gas/punkt	0	-	Nielsen og Jacobsen, 1996
punktsvejsning (stål)	0.0033 kWh/punkt	0	-	UMIP-databasen
ekstrudering af polypropylen	0.39 kWh/kg	2	forbrændes	UMIP-databasen
Dæklag				
hærdning af glas	0.6 kWh/kg	2	genanvendes	Andersen, 1979
ekstrudering af polycarbonat	2.5 kWh/kg	2	forbrændes	Bendtsen et al. 1995
vacuum-proces glasrør	5 kWh/rør	2	genanvendes	Pauschinger & Achatz, '98
Kasse				
skæring af profiler	0.01 kWh/stk	5	genanvendes	Nielsen og Jacobsen, 1996
klipning af plade	0.01 kWh/m	5	genanvendes	Nielsen og Jacobsen, 1996
bukning af plade	0.0018 kWh/m	5	genanvendes	UMIP-databasen
forarbejdning/skæring af træ	0.3 kWh/kg	5	forbrændes	UMIP-databasen
Isolering				
Ilægning af mineraluld	intet	3	genanvendes	antaget, manuel proces
opskumning med HFC	0.68 kWh/kg	3	forbrændes	UMIP-databasen
Andet				
gummiformgivning	14,2 kWh/kg	2	forbrændes	UMIP-databasen
fremstilling af teflonfolie	5 kWh/kg	0	-	anslået

Tabel 5.3 Oversigt over fremstillingsprocesser

5.3 Belægningsprocesser/Selektive overflader

De fleste solfangerabsorbere gennemgår en overfladebehandling for at opnå en selektiv overflade. En selektiv overflade er karakteristisk ved en høj absorptions overfor kortbølget stråling – typisk solstråling, og en lav emittans for langbølget stråling – typisk varmestråling. Den selektive overflade medfører, at absorbereren kan optage en stor del af energien fra solstrålingen, men den taber kun en lille del af dette igen ved varmestråling til omgivelserne. En selektiv overfladebelægning kan derfor øge solfangerens effektivitet væsentligt.

Overfladebehandlingen medfører et energiforbrug til fremstillingen og miljøpåvirkninger i form af emissioner fra processen. Processerne kan også give påvirkninger af arbejdsmiljøet på fremstillingsstedet. Dataopgørelsen er baseret på oplysninger fra de fabrikanter, der udfører belægningsprocesser, samt fra miljøstyrelsens database over renere teknologiprocesser RENTEK (RENTÉK, 1996). En oversigt over de typer af belægninger, som er medtaget i dette projekt er vist i tabel 5.4 nedenfor.

	Energi- forbrug	Vand- forbrug	Affald til deponi	Emissioner til vand	Emissioner til luft	Processer
	kWh/m ²	kg/m ²	g/m ²	ppm		
Black Chrome (vandsparende teknik)	3	0,2	66,6	-	-	Watt-nikkel og sort-krom, sparskylsteknik
Black Chrome normal teknik	3	2	66,6	Ni: 1,5 Cu: 1,5	-	Watt-nikkel og sort-krom
Nikkel Electroplating	4,5	4	PO ₄ ³⁻ : 1,4	Ni: 3	klorgas, ukendt mængde	rensning med ionbytningsanlæg
Nikkel Folie	4,5	-	-	-	-	renere teknologi er forudsat
Black Crystal (nano-teknik)	0,1	0,2	-	-	-	renere teknologi, kemisk proces
Kobber Oxidering	2	1,5	-	kobberioner, 2 ppm	-	kemisk oxidering, spildevandet renses

Tabel 5.4 Oversigt over forbrug og miljøpåvirkninger fra belægningsprocesser

5.4 Overhead energiforbrug

Det ikke-produktionsspecifikke energiforbrug dækker bl.a. energiforbrug til opvarmning af bygninger, belysning, kontorer mm. Dette energiforbrug kan være af stor betydning for produktionens samlede energiforbrug især for mindre virksomheder, der hovedsageligt arbejder med samleprocesser.

Det ikke-processpecifikke elforbrug er svært at måle adskilt, idet der oftest ikke er separate målere for hhv. produktionsudstyr, belysning mm. Der er derfor for alle solfangerfabrikanter i undersøgelsen antaget et ikke-specifikt energiforbrug, bl.a. på baggrund af beregninger foretaget i (Nielsen og Jacobsen, 1996). Her blev det ikke-specifikke elforbrug beregnet ud fra forskellen mellem firmaets samlede elforbrug og de beregnede procesbetingede elforbrug. Det ikke-proces betingede elforbrug svarede her til knap 25% af det samlede elforbrug til fremstilling af solfangere. Fremstilling af absorberstrips og belægningsprocesserne udgjorde langt størstedelen af det samlede elforbrug. Før disse processer blev igangsat, udgjorde de ikke-specifikke forbrug næsten 95% af det samlede forbrug, hvilket vil sige, at de øvrige processer næsten er uden betydning i forhold til de ikke-specifikke forbrug. Energiforbruget til opvarmning af produktionslokaler, kontorer mm. var i direkte forbrug større end det samlede elforbrug til produktionen.

For de ikke proces relaterede energiforbrug, er fastlagt følgende værdier, der gælder for samtlige fabrikanter i undersøgelsen:

elforbrug hos fabrikant : 2,0 kWh/m² solfanger
varmebehov hos fabrikant : 35 MJ/m² solfanger (svarer til ca. 10 kWh/m²)

5.5 Solfangerens brugsfase

I solfangerens brugsfase er følgende forhold vigtige at medtage i en livscyklusvurdering:

- levetid
- solfangerydelse
- elforbrug til pumpe
- de øvrige komponenter i solvarmeanlægget
- forbruget af glykolvæske
- reparationer og udskiftninger af delkomponenter

5.5.1 Levetider

Der er ikke på nuværende tidspunkt erfaringer med hensyn til solfangeres levetider, idet de solfangerer, der indgår i dette projekt, kun har været på markedet i en begrænset årrække. Det er dog på basis af bl.a. holdbarhedstests (Olesen og Clausen, 1997) og langtidsstagnationstests udført på Teknologisk Institut vurderet, at solfangerne i dette projekt alle har en levetid på mindst 20 år. Som nævnt tidligere er der derfor for samtlige solfangerer antaget den samme levetid.

Det er desuden antaget her, at solfangerens ydelse ikke falder i løbet af disse 20 år. I realiteten kan bl.a. fugtindtrængning og langtidspåvirkning af solens UV-stråler påvirke og nedsætte solfangerens ydeevne. Der er dog ikke tilstrækkeligt erfaringsgrundlag til at indarbejde disse forhold i disse vurderinger.

En vigtig undtagelse er dæklag i form af ribbeplade af polycarbonat. Dette materiale er ikke totalt UV-bestandigt og nedbrydes derfor langsomt af solens stråler. Dette påvirker solfangerens ydelse, idet en mindre andel af solstrålingen kan trænge igennem dæklaget. På baggrund af fabrikantoplysninger er det vurderet, at disse dæklag bør udskiftes hvert 10. år, hvis solfangerens ydelse skal holdes konstant.

5.5.2 Årlig solfangerydelse og pumpeforbrug

For hver af de deltagende solfangerer er beregnet en årlig ydelse og et energiforbrug til pumpen i solfangerkredsen. Ydelserne er beregnet på baggrund af solfangerens effektivitetsligninger, en fast indløbstemperatur på 50°C og vejrdata fra design-referenceåret DRY (Jensen og Lund, 1995). Beregningsproceduren er beskrevet nøjere i vedlagte bilag A, og resultaterne er listet i tabel 5.5 nedenfor. Elforbruget til pumpen ligger i gennemsnit på knap 5% af den årlige solfangerydelse

Godk. Nr.	Firma	Typenavn	areal	Årlig ydelse kWh/(m ² ·år)	Elforbrug pumpe kWh/(m ² ·år)
D2105	Aidt miljø	LF 3	2,96	292	14
D2110	Kobbervarefabrikken	Solenergi	1,91	236	14
D2114	Thermo-Sol ApS	AE32	2,78	417	17
D2117	Batec A/S	BA30	3,00	401	17
D2119	Ans Solvarme	AS 2000 SEL	2,76	441	18
D2121	Solahart Sca. ApS	Solahart K	1,85	419	17
D2122	Ar-Con Solvarme A/S	S-350	3,47	396	18
D2123	ED Heating ApS	ED 27	2,70	420	18
D2124	Aidt Miljø A/S	LF-K 3	2,96	415	20
D2125	Thermo-Sol ApS	Mazdon 20	2,22	536	24
D2126	Ar-Con Solvarme A/S	ST	2,51	456	19
D2127	Djurs Solvarme A/S	CS-3	2,87	370	18
D2129	Fyens Solvarme	FS-2	2,00	408	17
D2133	NilSol	Danmax 2	2,00	455	18
D2135	Nordsol ApS	Nordsol 1	2,01	494	19

Tabel 5.5 Beregnede sofangerydelser og energiforbrug til pumpe

5.5.3 Det resterende solvarmeanlæg

For at solfangeren kan fungere i praksis er det nødvendigt at placere denne i et samlet solvarmeanlæg. Det betyder, at der udover selve solfangeren også skal anvendes isolerede rør, en pumpe, styringssystem samt normalt også anden varmtvandsbeholder. Formålet med dette projekt har kun været at undersøge og analysere selve solfangeren, men det er dog nødvendigt at medregne det øvrige system for at kunne give en vurdering af, hvor meget dette betyder i forhold til solfangeren, samt for at kunne beregne bl.a. solvarmeanlæggets energitilbagebetalingstid.

De øvrige komponenter i solvarmesystemet udover selve solfangeren er ikke modelleret i detaljer som selve solfangeren. Beregningerne her skal blot anses som et groft overslag, der har til formål at vise i store træk, i hvilken størrelsesorden miljøpåvirkningerne fra det resterende anlæg ligger i forhold til solfangeren. Der er derfor *ikke* taget udgangspunkt i nogen bestemt type af beholder, pumpe mm.

Samme type og størrelse system er medregnet for alle solfangere. Livscyklusvurderingerne på solfangerne er opgjort for den mængde solfangerareal, der samlet giver en ydelse på 1000 kWh/år. Selv om arealerne derved bliver forskellige, vil der være behov for stort set samme størrelse anlæg, da anlægsstørrelsen afhænger mere af ydelsen end af solfangerarealet.

For mange produkter gælder, at råmaterialefasen vejer tungt i den samlede livscyklusvurdering, og derfor er det her antaget, at komponenterne i solvarmeanlægget kan beskrives ved deres råmaterialer og bortskaffelsen af disse alene. Det betyder, at fremstillingsprocesser og transport af komponenterne ikke er medtaget i denne vurdering. Materialeindholdet i anlægget er listet i tabel 5.6. Solvarmeanlægget er beskrevet ved:

- rørsystem
- pumpe
- varmtvandsbeholder
- varmeveksler

Styringsenheden er ikke medtaget i analysen. Det er dog ikke ensbetydende med, at styringen er uden miljømæssig betydning. Ofte har elektronik en væsentlig miljøpåvirkning bl.a. på grund af indholdet af tungmetaller. Der foregår i øjeblikket både i Danmark og internationalt meget arbejde med at fastlægge elektroniks miljøegenskaber, og der er bl.a. vedtaget lov om, at elektronikskrot ikke længere må bortskaffes sammen med andet affald, men skal sorteres og bortskaffes særskilt.

For rørkredsen er medregnet i alt 12 m rør af typen ø15 præisolerede kobberrør. Vægten af kobber udgør 0,391 kg/m rør, og isoleringen, der består af plastskum (PUR) med en rumvægt på 30 kg/m³, vejer ca. 0,015 kg/m og er antaget opskummet med HFC. Rørene er beklædt med 0,2 mm hård PVC-folie.

Der anvendes samme type pumpe uanset solfangerareal. Det er antaget, at pumpen vejer i alt 3 kg og har følgende vægtfordeling:

Rustfrit stål	60%
plast	25%
aluminium	5%
kobber	5%
gummi	5%

En beholder til solvarmeanlæg er normalt noget større end en normal varmtvandsbeholder. Her er det vurderet, at en solvarmebeholder er ca. 60 kg tungere end en traditionel varmtvandsbeholder. Vægten udgøres af 95% stål (emaljeret) og 5% isoleringsmateriale (PUR-skum). Beholderen skal være udstyret med en ekstra varmeveksler til overføring af solvarmen til brugsvandet. Her er anvendt i alt 9 m rør af typen 1/2" emaljeret jernrør med en vægt på 1,27 kg/m.

Model for solvarmeanlæg uden solfangere			
komponent	materiale	vægt [kg/anlæg]	bemærkninger
Rørkreds	kobber	4,69	
	PUR-skum	0,18	opskummet med HFC
Beholder	stål	57,0	
	PUR-skum	3,0	opskummet med HFC
Varmeveksler	jern (emaljeret)	11,43	
Pumpe	rustfrit stål	1,8	
	plast	0,75	modelleret som PP
	aluminium	0,15	
	kobber	0,15	
	gummi	0,15	Syntetisk gummi (polybutadien)

Tabel 5.6 Liste over materialer, der indgår i model for solvarmeanlæg uden solfanger

5.5.4 Forbrug af glykolvæske

Ved driften anvendes en glykol – vand blanding i solfangerkredsen for at sikre anlægget mod frostsprængninger. Ofte anvendes propylenglykol i et blandingsforhold på 40% glykol og 60% vand. Derudover indeholder blandingen ofte små mængder tilsætningsstoffer bl.a. farvestoffer og eventuelt korrosionshæmmende stoffer. Disse tilsætningsstoffer er ikke medregnet i denne analyse. Udover den mængde væske, der kan være i selve solfangeren, kan rørsystem og varmeveksler indeholde tilsammen 4 kg væske.

Der vil i løbet af levetiden blive forbrugt glykol, dels til efterfyldning i tilfælde af utætheder mm. eller til total udskiftning, hvis der f.eks. har været kogning i systemet. Samlet er det vurderet, at væsken i anlægget udskiftes hvert 5. år, dvs. der anvendes i alt 4 portioner væske. Glykolvæsken skal bortskaffes som kemikalieaffald (sendes til Kommunekemi).

5.5.5 Reparation og udskiftning af delkomponenter

I løbet af solfangerens levetid kan der være behov for en eller anden form for reparation af solfangeren. I disse tilfælde er det hovedsageligt solfangerfabrikanten eller eventuelt en VVS-installatør, der står for arbejdet. De fleste solfangerfabrikanter har en del erfaringer med reparationer på solfangere. Reparationer medfører en del omkostninger, da det oftest er nødvendigt at afmontere og nedtage solfangeren for at udføre reparationen, hvorefter den skal opsættes igen. Derudover kan der være omkostninger i forbindelse med transport af solfangeren.

Almindeligt forekommende skader på solfangere kan være:

- Ituslået glas. I dette tilfælde erstattes glasset med et nyt, hvorefter solfangeren opsættes igen. Det ødelagte glas kan via solfangerfabrikanten eller VVS-installatøren sendes til genbrug.
- Lodninger/svejsninger på absorberer bliver utætte. Dette kan f.eks. skyldes frostsprængninger. Nye lodninger eller svejsninger foretages enten hos fabrikanten eller af en installatør.
- Kantlister, gummibånd eller tætningspropper mørner og udskiftes af fabrikant eller installatør.

Da disse reparationer kun foretages for et fåtal af de opsatte solfangere, er det valgt at se bort fra disse i beregningerne. Den eneste medregnede udskiftning af komponenter, er udskiftning af dæklag af polycarbonat hvert 10. år. Dette betyder, at der for solfangere med denne form for dæklag medregnes 2 stk. dæklag i levetiden.

5.6 Bortskaffelse af solfangere

Erfaringerne med nedtagning og bortskaffelse af solvarmeanlæg er på nuværende tidspunkt meget små, idet langt størstedelen af de solgte solfangeranlæg i Danmark endnu er i funktion. De fleste anlæg er mindre end 10 år gamle og forventes at fungere i endnu en årrække. De

solfangermodeller, der deltager i projektet, er alle sat til en levetid på 20 år, hvilket vil sige, at de først skal bortskaffes 20 år frem i tiden.

Bortskaffelsesdelen af solfangernes livscyklus må derfor modelleres ud fra scenarier om, hvordan solfangeren kan tænkes at blive bortskaffet i fremtiden. Der er dog taget udgangspunkt i de metoder til bortskaffelse af forskellige produkter og materialer, der eksisterer i dag. Solfangere indeholder typisk materialer, der med fordel kan genanvendes eller forbrændes med energigenvinding. Materialerne repræsenterer en værdi, der kan nyttiggøres ved rigtig bortskaffelse af solfangeren. Materialerne bør derfor bortskaffes hver for sig, idet muligheden for at nyttiggøre et materiale er størst, hvis det ikke er forurenet af andre materialer. Bortskaffelsesveje for de forskellige materialer i solfangere er beskrevet nøjere i de vedlagte bilag.

Det optimale bortskaffelsesscenario for en solfanger vil derfor være en adskillelse af solfangeren i rene materialefraktioner, en sortering af materialerne, hvorefter hvert materiale nyttiggøres på den måde, der er optimal for netop det materiale.

Metalprodukter nyttiggøres optimalt ved genanvendelse, enten direkte eller ved omsmelting til nyt brugbart materiale. Genbrugt metal har ofte en kvalitet, der er sammenlignelig med nyt metal, og der kræves oftest et mindre energiforbrug til fremstilling af genbrugsmateriale end til tilsvarende nyt materiale. Ligeledes kan omsmeltet glas erstatte primært glas, men her vil det genbrugte materiale ofte have en lavere kvalitet end primært glas. Også mineraluldsprodukter kan omsmeltes til nyt brugbart mineraluld.

For en del materialer, f.eks. plastmaterialer og træ, kan det diskuteres, hvilken bortskaffelsesmetode, der er optimal. Plast, gummi og træ kan forbrændes med energigevinst, idet energiindholdet i materialet kan anvendes f.eks. til kraftvarmeproduktion. En del plastprodukter kan også genanvendes. På nuværende tidspunkt kan der dog oftest ikke opnås en genbrugsplast af samme kvalitet som nye plastmaterialer. Biologiske materialer som f.eks. træ kan også komposteres, idet disse materialer indgår i et naturligt kredsløb. Ved kompostering bringes alle stoffer i materialet tilbage til det naturligt kredsløb. Kompostering af træ tager dog meget lang tid, og det er ikke nogen sandsynlig bortskaffelsesvej for solfangerne.

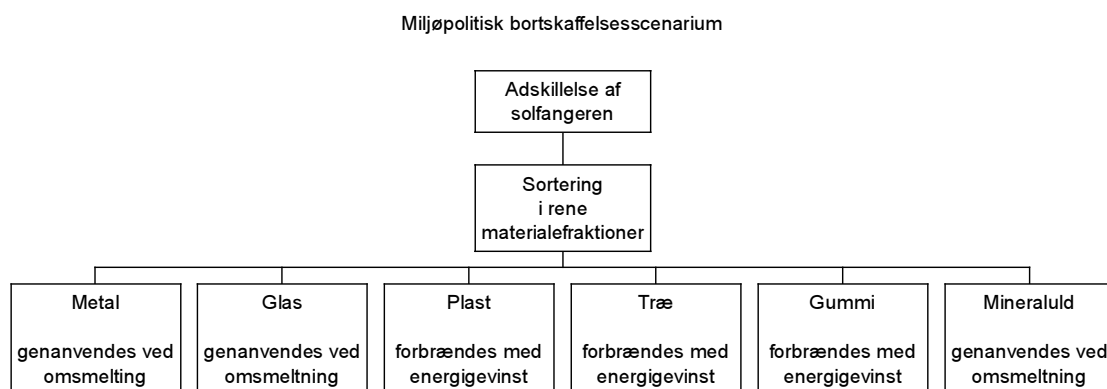
5.6.1 Scenarium 1 Miljøpolitisk scenarium, alle materialer nyttiggøres

Det miljøpolitiske scenarium beskriver en situation, hvor alle de indgående materialer i solfangerne nyttiggøres så godt som muligt. Denne situation vil typisk opstå, hvis der via lovgivning stilles krav til de anvendte bortskaffelsesmetoder.

Denne form for bortskaffelse kræver dels, at det er muligt at adskille solfangeren fuldstændigt og dels, at hvert materiale sorteres rigtigt. Scenariet bygger på, at solfangerne adskilles manuelt.

Det er i dette scenarium antaget, at organiske materialer som plast, træ mm. nyttiggøres ved forbrænding med kraftvarmeproduktion. For materialer, der nyttiggøres ved genanvendelse, er der generelt antaget et tab på 5% ved forarbejdningsprocesserne. Scenariet er optegnet i diagrammet i figur 5.1 nedenfor.

Nogle solfangerkomponenter kan ikke adskilles fuldstændigt i rene materialefraktioner. Det gælder f.eks. absorbere af sammenvalet aluminiumsfiner og kobberør. Her er det i dette scenarium antaget, at aluminiumsfinerne skæres fra og behandles som aluminium, mens midterstykket bortskaffes som kobber uden hensyn til det aluminium, der er udenom.



Figur 5.1 Miljøpolitisk bortskaffelsesscenarium for solfangere

5.6.2 Scenarium 2 Økonomisk styret bortskaffelsesscenarium, kobber genanvendes

Manuel adskillelse og sortering er tidskrævende, og de fleste skrotmaterialer har ikke stor økonomisk værdi. Det er derfor begrænset, hvor meget arbejdstid, der kan anvendes til sortering af solfangerens materialer. På nuværende tidspunkt er kobber det eneste materiale, der har tilstrækkelig høj økonomisk værdi til at retfærdiggøre et forbrug af arbejdstid til adskillelse og sortering.

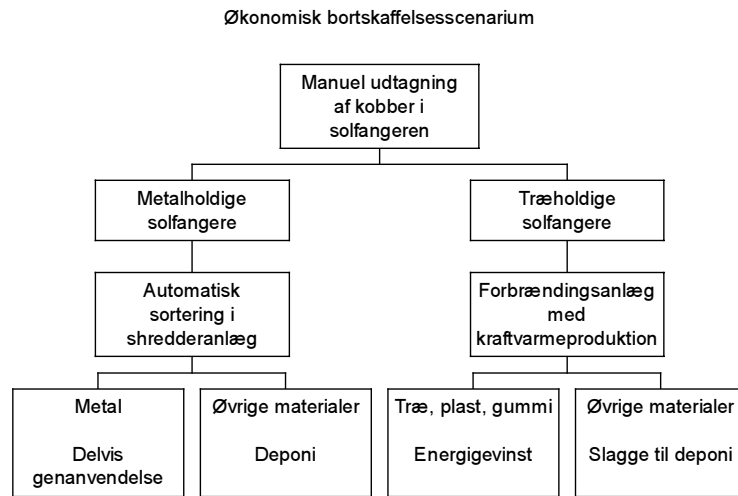
Det er her vurderet, at kobber også i fremtiden vil opretholde sin værdi relativt til værdien af arbejdstiden til adskillelse af solfangere. Kobber er på verdensplan en begrænset ressource, og der er ikke udsigt til, at ressourcen bliver mindre begrænset i fremtiden.

I det økonomiske scenarium antages det derfor, at alt kobber fra solfangerne fjernes og genanvendes, dog med et tab på 5% ved omsmeltningsprocessen. Det forudsætter dog, at de folk, der skal arbejde med bortskaffelsen, er oplyste om, dels at solfangerne indeholder kobber, dels at dette kobber repræsenterer en værdi. I dette scenarium antages det, at de pågældende har den rette information.

Solfangernes øvrige materialer besidder ikke tilstrækkelig værdi til manuel sortering. Når kobberet er fjernet fra solfangerne, vil de resterende dele derfor bortskaffes samlet. Metalholdige solfangere bortskaffes som ”stort blandet metal”, der sendes til automatisk sortering i et shredder-anlæg. Sortering ved hjælp af shredder-anlæg er beskrevet nærmere i afsnittet nedenfor. Træholdige solfangere bortskaffes som ”stort brændbart”, der sendes til forbrændingsanlæg med kraftvarmeproduktion. Et diagram for det økonomiske scenarium er vist i figur 5.2.

I dette scenarium bortskaffes absorbere af sammenvalet aluminium og kobber, som om den bestod af rent kobber. Den mængde aluminium, der indgår i absorberer, bliver derved ikke

genanvendt. Aluminium kan dog afbrændes med en energigevinst ved kobberets omsmeltningsproces. Dette scenarium kræver dog, at det er muligt at identificere, at absorberer delvist består af kobber.



Figur 5.2 Økonomisk bortskaffelsesscenarium for solfangere

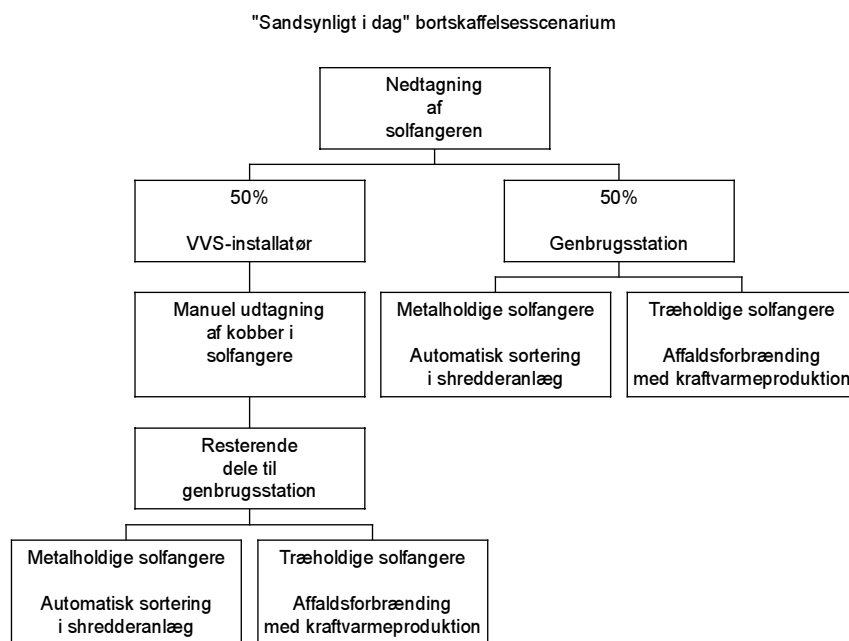
5.6.3 Scenarium 3 Nutidigt scenarium

Dette scenarium bygger på de teknologier, der anvendes til bortskaffelse af forskellige materialer i dag, samt på vurderinger af, hvordan en solfanger vil blive bortskaffet, hvis den nedtages i dag.

En solfanger, der følger dette scenarium, vil blive bortskaffet 50% via en VVS-installatør og 50% gennem en genbrugsstation. Det er vurderet, at VVS-installatører kender solfangerer som produkt og derfor er informeret om, at disse kan indeholde kobber. Kobberindholdet i solfangererne vil derfor blive fjernet og sendt til genanvendelse. De resterende dele af solfangeren vil samlet blive sendt til en genbrugsstation.

På genbrugsstationen sorteres solfangererne som hhv. metalaffald eller brændbart affald. Metalsolfangere sendes efterfølgende til automatisk sortering i et shredder anlæg, mens det brændbare affald sendes til forbrændingsanlæg med kraftvarmeproduktion. Det nutidige scenarium er optegnet i figur 5.3.

I det automatiske shredder-anlæg vil sammenvalede Cu/Al absorbere blive knust til mindre stykker, derved vil det meste af finnemateriale blive behandlet som aluminium. Midterstykket vil have en massefylde, der ligger imellem kobber og aluminium og det kan være vanskeligt for anlægget at sortere dette rigtigt. I dette scenarium er det antaget, at sorteringsanlægget vil behandle stykket som kobber.



Figur 5.3 Nutidigt scenarium for solfangere

5.6.4 Scenarium 4 Losseplads scenarium

Deponering på en losseplads, er den mest enkle metode til bortskaffelse af en solfanger. Det kræver ikke meget arbejde og ikke meget energi.

Materialerne i solfangeren er i princippet ikke tabt ved deponering. Organiske materialer så som træ kan nedbrydes i naturen, hvorved de vil indgå i et naturligt kredsløb. Metallerne vil i høj grad forblive på deponeringsstedet og kan i princippet genfindes på et senere tidspunkt. Med tiden vil metallerne dog blive nedbrudt og udvasket, hvilket kan give anledning til væsentlige miljøeffekter. Desuden vil genvinding af metaller, der har været deponeret, være væsentligt dyrere end metaller, der genvindes direkte.

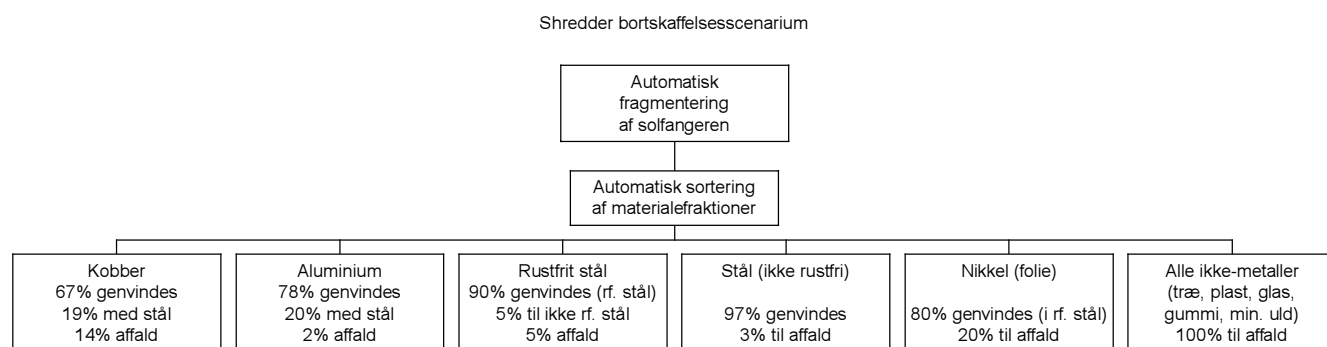
I første omgang mistes derfor muligheden for at anvende materialerne i solfangerne. For organiske materialer mistes desuden det energiindhold, der er indeholdt i materialet.

Dette scenarium anses ikke for særligt sandsynligt for bortskaffelse af en solfanger, hverken om 20 år eller i dag. Det er derfor valgt ikke at medtage denne bortskaffelsesmetode ved vurderingerne.

5.6.5 Automatisk affaldssortering – shredder anlæg

Flere jern & metal firmaer i Danmark er i besiddelse af et automatisk sorteringsanlæg, også kaldet en shredder. En shredder knuser produktet til stykker af varierende størrelse (ca. 3-15 cm). Ved hjælp af magneter frasorteres en stor del af jern og magnetisk stål i skrottet.

Skrottet sorteres derefter, så lette materialedele som f.eks. plast, mineraluld mm. adskilles fra det tungere affald, f.eks. metaller. Metalskrottet opdeles i hhv. let metal og tungt metal i flydetanke ved varierende vægtfylder. Ved hjælp af en såkaldt lineær motor kan den lette fraktion opdeles i metal (f.eks. magnesium) og ikke-metal ved hjælp af elektrostatiske kræfter. Derefter frasorteres øvrige metaller gennem flere flydetanke. De resterende metalstykker sorteres manuelt. Alle ikke-metaller samles i én fraktion, shredderaffald. Denne fraktion deponeres, selvom den indeholder brændbare materialer. Solfangerens bortskaffelse gennem en shredder er vist i diagrammet i figur 5.4.



Figur 5.4 Bortskaffelse af solfanger gennem et shredder anlæg. Bortskaffelsesveje for hvert materiale er beskrevet nøjere i bilag C

5.6.6 Produktion af kraftvarme ved affaldsforbrænding

Det er i dette projekt antaget, at solfangerne – hvis de forbrændes – bortskaffes på et forbrændingsanlæg med kraftvarmeproduktion. Derved nyttiggøres en del af energiindholdet i materialerne i form af produceret el og varme.

I dette projekt er det antaget, at der ved affaldsforbrændingen som gennemsnit produceres el og varme i samme forhold som på et gennemsnitligt kraftvarmewærk. Ved vurdering af de miljømæssige konsekvenser af affaldsforbrændingen regnes derfor kun på den producerede el. Det vil sige at den el, der produceres på forbrændingsanlægget, antages at fortrænge en tilsvarende mængde el på et gennemsnitligt kraftvarmewærk, idet alle emissioner og al brændselsforbrug for kraftvarmewærket tilskrives den fortrængte mængde el. Da forholdet mellem el og fjernvarme er det samme for affaldsforbrænding og kraftvarmeproduktion er det ikke nødvendigt at regne på varmedelen. Antagelsen om, at forholdet er det samme skal ses i lyset af, at affaldsforbrændingen af solfanger først vil finde sted om 20 år (som er den forudsatte levetid for solfangerne) og i lyset af den kraftige udbygning med elproduktion på forbrændingsanlæggene, der finder sted.

Ved affaldsforbrændingen godskrives en energimængde på 25% af materialets energiindhold i form af fortrængt el.

6. Miljøeffektvurdering

Miljøeffektvurderingen er en resultatbehandling af de data, der blev indsamlet i livscyklusopgørelsen. Den består af tre trin:

1. Beregning af potentielle bidrag til forskellige effekttyper
2. Sammenligning af effektpotentialer og ressourceforbrug med en fælles reference, også kaldet normalisering
3. Vægtning af de normaliserede effektpotentialer og ressourceforbrug.

Den første del af miljøeffektvurderingen består i at omregne de forskellige udledninger til miljøpåvirkninger i forskellige kategorier, alt efter den eller de effekter en given udledning kan have på miljøet. En given udledning kan medføre miljøpåvirkninger i flere kategorier. De miljøeffektkategorier, der er medtaget ved resultatbehandlingen er listet i tabel 6.1 og forklaret nedenfor. Ved omregningen tages højde for, at forskellige udledningers miljøpåvirkninger har varierende styrke. Resultaterne kaldes for udledningernes miljøeffekt-potentiale, idet de udtrykker på hvilken måde stoffet *kan* påvirke miljøet.

Effektkategorier		
Miljøpåvirkninger:	Globale effekter:	drivhuseffekt
	Regionale effekter:	forsuring næringsstofbelastning
	Lokale effekter:	fotokemisk ozondannelse persistent toksicitet volumenaffald farligt affald
Ressourceforbrug:	Energi råstoffer:	Stenkul Råolie Naturgas Træ (biomasse)
	Materiale råstoffer:	Aluminium Jern Kobber Mangan Nikkel

Tabel 6.1 Miljøeffektkategorier

I anden del af miljøeffektvurderingen sammenlignes miljøeffektpotentialerne med en fælles reference for at vurdere, hvorvidt udledningerne er ”store eller små”. Som fælles reference er i UMIP-metoden valgt at anvende den samlede gennemsnitlige udledning per person til hver af miljøeffektkategorierne. Det vil f.eks. sige, at de udledninger der i solfangerens livscyklus kan bidrage til drivhuseffekten, sættes i forhold til de samlede globale drivhuseffekt-udledninger per person og et forbrug af en råstoffressource sættes i forhold til de samlede globale træk på denne ressource.

Den tredje del af miljøeffektvurderingen består af den egentlige vægtning af, hvilke af solfangerens miljøpåvirkninger, der er væsentlige. Denne vurdering foretages i UMIP-metoden ved at sammenholde effektpotentialerne med de miljøpolitiske mål, Danmark har sat for de forskellige effektkategorier. Udledninger, der bidrager til drivhuseffekten, sammenholdes f.eks. med de danske mål for CO₂-udledning osv. I vurderingen anvendes miljøpolitiske målsætninger for år 2000. For ressourceforbrug sammenlignes forbrugene med de samlede kendte og økonomisk rentable reserver opgjort i 1990.

Resultater for miljøeffekter er opgivet i mPEM (milli person ækvivalenter målsat). Denne enhed angiver, hvor stor en del solfangerens miljøpåvirkninger udgør af de totale vægtede miljøbelastninger fra en gennemsnitsperson.

Forbrug af ressourcer angives i mPR/år (milli-person reserver/år), hvilket angiver, at det årlige forbrug er sat i forhold til den samlede mængde kendte og økonomisk rentable reserver af det pågældende materiale på globalt plan (opgjort i 1990).

UMIP-metodens retningslinier for udførelse af de 3 trin i miljøeffektvurderingen er beskrevet i detaljer i (Wenzel et al, 1996).

6.1 Effektkategorier

En grundig beskrivelse af forskellige miljøeffekter, dvs. hvordan miljøet påvirkes af effekten, og hvilke stoffer der bidrager til effekten kan findes i (Hauschild, 1996). Denne kilde beskriver den miljømæssige baggrund for miljøvurderinger af produkter.

6.1.1 Globale miljøeffekter

Drivhuseffekten er en naturlig effekt i atmosfæren, hvor molekyler som f.eks. CO₂ og vanddamp tillader solens stråling af trænge ind gennem atmosfæren, men forhindrer Jordens varmestråling at trænge ud. Effekten bliver betragtet som et problem, fordi mennesket især på grund af energiproduktion udsender så meget CO₂, at andelen af dette stof i atmosfæren er stigende. Der er mistanke om, at dette kan medføre en stigning af temperaturen i atmosfæren og dermed globale klimaforandringer.

Drivhuseffekten er en global effekt, fordi den skyldes en påvirkning med stoffer, der har en lang levetid og derfor kan nå at blive globalt opblandet i atmosfæren. Det har derfor ingen betydning hvor i verden stofferne udsendes.

6.1.2 Regionale miljøeffekter

For de regionale miljøeffekters vedkommende kan effekten af en given påvirkning variere meget fra region til region. Der er et vist overlap mellem regionale og lokale effekter.

Forsuring skyldes stoffer som f.eks. SO₂ og NO_x, der udledes til atmosfæren især i forbindelse med forbrænding af energiressourcer. I atmosfæren kan stofferne reagere med

vanddamp og danne syrer (f.eks. HSO_3^- , H_2SO_4 eller HNO_3), der så tilføres miljøet med regnvandet.

Næringsstofbelastning (også kaldet eutrofiering) opstår i vandige miljøer, hvis der tilføres store mængder næringsstoffer. Næringsstoffer som f.eks. nitrat og fosfat er uundværlige for planter og de findes i store mængder naturligt i miljøet. På grund af menneskeskabte udledninger modtager en del vandige miljøer dog en større mængde næringsstoffer end normalt. Dette kan medføre iltsvind på grund af for store forekomster af alger og deraf følgende dårligere levebetingelser for en lang række organismer i vandmiljøet.

Fotokemisk ozondannelse skyldes emission af en lang række flygtige organiske forbindelser (VOC'er) fra afbrænding af fossile brændsler. De nedbrydes i atmosfæren ved fotokemiske reaktioner (dvs. reaktioner, der kræver sollys). De organiske forbindelser reagerer bl.a. med NO_x -forbindelser og danner ozon. Ozon er et meget reaktivt stof, der kan reagere med næsten alle biologiske molekyler. Især planter tager meget skade af ozon, men også mennesker og dyr tager skade af ozon, især ved indånding. Ozon kan forekomme i forhøjede koncentrationer især i perioder, hvor der af vejmæssige årsager ikke sker en opblanding af luften i atmosfæren. Sådanne perioder går ofte under betegnelsen "smog"-episoder.

Persistent toksicitet betyder vedvarende eller kronisk giftighed. Effektkategorien dækker over udledninger af stoffer, der er giftige og som ikke nedbrydes i naturen. Stofferne vedbliver med at være giftige og kan eventuelt opkoncentreres gennem de naturlige fødekæder. Udledning af tungmetaller er et eksempel på udledninger, der tilhører denne kategori. Udover persistent toksicitet er det muligt at arbejde med flere kategorier, så som økotoksicitet, der står for giftighed overfor de naturlige økosystemer, og human toksicitet, der står for giftighed overfor mennesker. Det er dog oftest de samme stoffer, der bidrager til de forskellige toksicitetskategorier, og det er her valgt kun at medtage en enkelt kategori i vurderingen.

6.1.3 Lokale miljøeffekter

Affald er også en udledning, der kan inddeles i flere kategorier. Her er valgt at medtage to kategorier - *volumenaffald* og *farligt affald*. Volumenaffald er affald, der ikke er giftigt, men som alene på grund af de store affaldsmængder udgør et miljøproblem, fordi det kræver meget plads i form af lossepladser og deponeringssteder. Farligt affald er affald, der indeholder giftige stoffer.

6.1.4 Ressourceforbrug

Forbrug af ressourcer betragtes hovedsageligt som en global påvirkning, da de fleste materialer og energiressourcer handles og forbruges på globalt niveau. For en del ressourcer er forbruget så stort, at der på længere sigt kan være risiko for en udtømming af verdens reserver. Dette gælder bl.a. for verdens energiressourcer i form af kul, olie og gas, samt for en del metaller, så som kobber og nikkel.

For en del ressourcers vedkommende er forbruget dog snarere et regionalt problem. Det er især de fornybare ressourcer så som vand, træ, andet biomasse mm., hvor der i nogle områder

kan være mangel, mens der i andre områder er overskud. For de fornybare ressourcer er forbrugsraten i forhold til gendannelsesraten vigtig.

I tabel 6.2 er angivet de faktorer, der anvendes ved vurdering af ressourceforbrug, de globale forbrug, ressourcens forsyningshorisont samt størrelsen af personreserven. Forsyningshorisonten angiver det antal år, som der med det nuværende forbrug og de nuværende reserver, vil være ressourcer tilbage. Personreserven angiver, hvor store mængder af reserven der er til rådighed til hver person i verden inklusiv alle personens efterkommere.

Ressource	årligt globalt forbrug [kg/pers/år]	personreserver [kg/pers]	forsyningshorisont [år]
energiressourcer			
olie	590	25600	43
stenkul	570	100000	172
naturgas	310	19200	63
metaller			
aluminium	3,4	67	196
jern	100	11400	118
kobber	1,7	63	36
krom	0,75	79	106
mangan	1,8	149	83
nikkel	0,18	9	53
fornyelige ressourcer			
træ	0,65	217	333

Tabel 6.2 Forbrug og reserver af væsentlige ressourcer i 1999 (Wenzel et al, 1996)

6.2 Miljøresultater for solfangere

De resulterende miljøbelastninger fra solfangeren er beregnet for 3 forskellige bortskaffelses-scenarier, som beskrevet i opgørelsen af bortskaffelsesfasen. Resultaterne optegnes i en miljøprofil for hhv. miljøeffekter og ressourceforbrug for hver solfanger. Eksempler på miljøprofiler kan ses i figur 6.1 for miljøeffekter og 6.2 for ressourceforbrug.

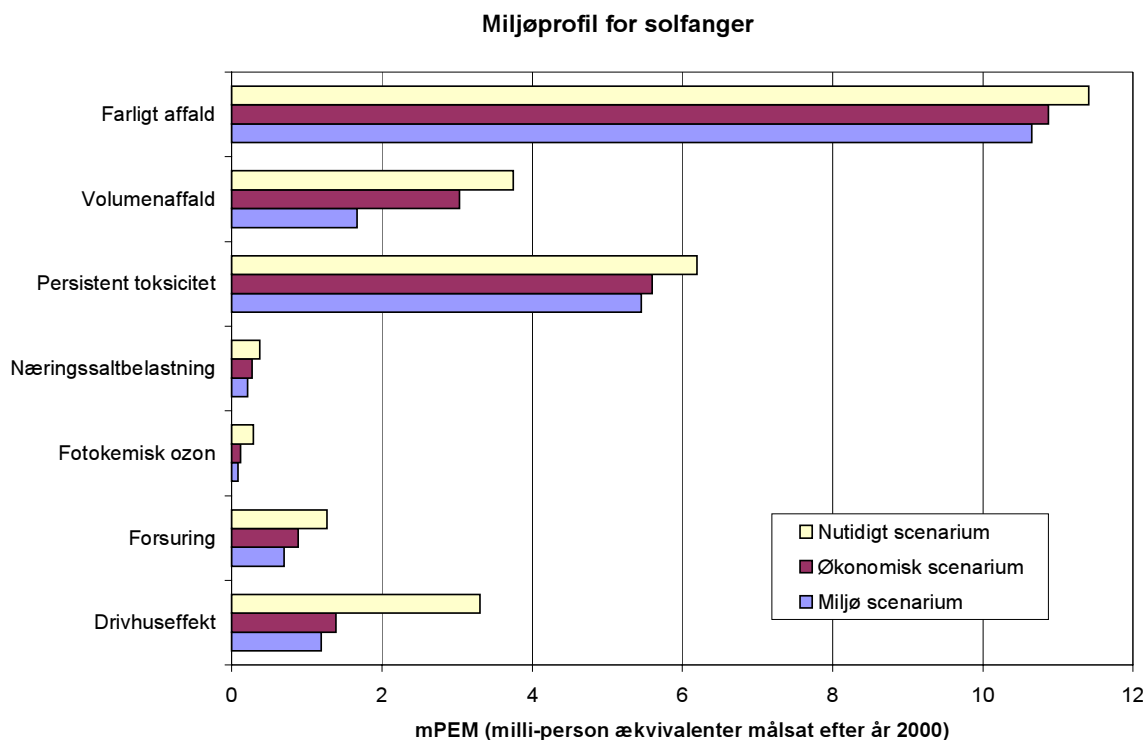
6.2.1 Miljøeffekter forårsaget af solfangere

Bidraget til hhv. drivhuseffekt, forsuring, fotokemisk ozondannelse samt næringsstofbelastning skyldes hovedsageligt produktion af den energi, som forbruges i solfangerens livscyklus. Disse er energi-relaterede effekter. Der forbruges energi til alle solfangerens livs-faser, men de største energiforbrug ligger i udvinding og fremstilling af råmaterialer samt i bortskaffelsen af disse. Energiforbruget til den egentlige solfangerproduktion samt til transportprocesser udgør kun en meget lille del af de samlede energiforbrug. Det samlede energiforbrug i solfangerens livscyklus eksklusiv driftsfasen er i gennemsnit ca. 780 kWh.

Persistent toksicitet dækker over udledning af miljøfarlige stoffer og kemikalier, der kan give en varig forurening af miljøet. Solfangerens bidrag til persistent toksicitet skyldes hovedsageligt fremstilling af metalliske råmaterialer. F.eks. giver fremstilling af kobber anledning til udledning af tungmetaller som f.eks. cadmium og kobber, mens stålproduktion bl.a. medfører udledninger af dioxin. Mange af disse udledninger gælder for både primære og sekundære materialer.

Effekterne volumenaffald og farligt affald relaterer sig til de affaldsmængder, der produceres i solfangerens levetid. Heraf dækker begrebet volumenaffald over affald, der ikke direkte er forurenende, men som alene på grund af mængden udgør et miljøproblem. Solfangerens bidrag til effekten volumenaffald skyldes dels forbruget af energi, hvis fremstilling medfører en del affald, og dels, at solfangerens selv delvist bliver til affald ved bortskaffelsen. De samlede affaldsmængder kan reduceres væsentligt, hvis solfangeren adskilles manuelt og genanvendes (miljø scenariet) i stedet for at blive sorteret automatisk (nutidigt scenarium). Det skyldes hovedsageligt, at alle ikke-metalliske materialer (f.eks. glas og mineraluld) ikke bliver genanvendt ved den automatiske sortering, men i stedet deponeres som affald.

Mængden af farligt affald dækker over de typer af affald, der på grund af giftighed udgør et miljøproblem. Farligt affald skyldes hovedsageligt fremstilling af metalliske råmaterialer og især stål. Stålproduktionen medfører store mængder affald i form af slagge, der indeholder tungmetaller. Disse udledninger gælder for både primært og sekundært stål.



Figur 6.1 Vægtede miljøeffekter ved 3 forskellige bortskaffelsesscenarier. De viste resultater er middelværdier for solfangerne i projektet

Figur 6.1 viser en miljøprofil, der er et gennemsnit for de solfangere, der er med i projektet. Generelt er det effekterne farligt affald og persistent toksicitet, der er de væsentligste miljøeffekter for solfangerne. Det er især brugen af kobber og stål i solfangerne, der bidrager til dette resultat, der i øvrigt gælder stort set uanset bortskaffelsesscenarium.

Solfangerne bidrager også væsentligt til kategorien volumenaffald. Det skyldes især, at solfangerne bliver til affald efter brug, og påvirkningen af denne kategori kan mindskes væsentligt (halveres), hvis solfangeren bortskaffes hensigtsmæssigt. Også drivhuseffekten samt de øvrige energi-relaterede effekter kan halveres ved korrekt bortskaffelse.

Ved forbrænding af brændbare materialer (træ eller plast) kan der produceres energi, der kan erstatte f.eks. el produceret på konventionel vis. Derved opnås en besparelse på de energi-relaterede effekter, f.eks. drivhuseffekten. Solfangere med et højt indhold af brændbart materiale kan forbrændes i hel tilstand, hvorved der totalt set opnås meget lave påvirkninger af f.eks. drivhuseffekten. Forbrænding af hele solfangerne uden sortering vil til gengæld medføre store mængder volumenaffald i form af slagge især på grund af de ikke-brændbare materialer i solfangeren.

Bidraget til drivhuseffekten er væsentlig forøget i det nutidige scenarium i forhold til de øvrige scenarier. Det skyldes, at en væsentlig del af kobberet i solfangerne (19%) bliver fejlsorteret i den automatiske sorteringsproces. Kobberet sorteres fra som stålskrot. I stålskrottet udgør kobber en alvorlig forureningskomponent, som ikke kan renses ud af stålsmelten. Derfor er det nødvendigt at fortynde stålet med store mængder primær jernmalm for at opnå en acceptabel lav koncentration af kobber. Dette medfører derfor et ekstra forbrug af energi til fremstilling af dette jern.

6.2.2 Ressourceforbrug forårsaget af solfangere

En miljøprofil for ressourceforbruget er vist i figur 6.2. Figuren viser et gennemsnit af resultaterne for solfangerne i projektet. For solfangerne gælder generelt, at forbruget af metalressourcer er forholdsvist større end forbruget af energiressourcer. Forbruget af metalressourcer afhænger meget af, på hvilken måde solfangeren bortskaffes. Hvis materialet genanvendes, så det kan erstatte et tilsvarende primært materiale, vil trækket på ressourcen formindskes.

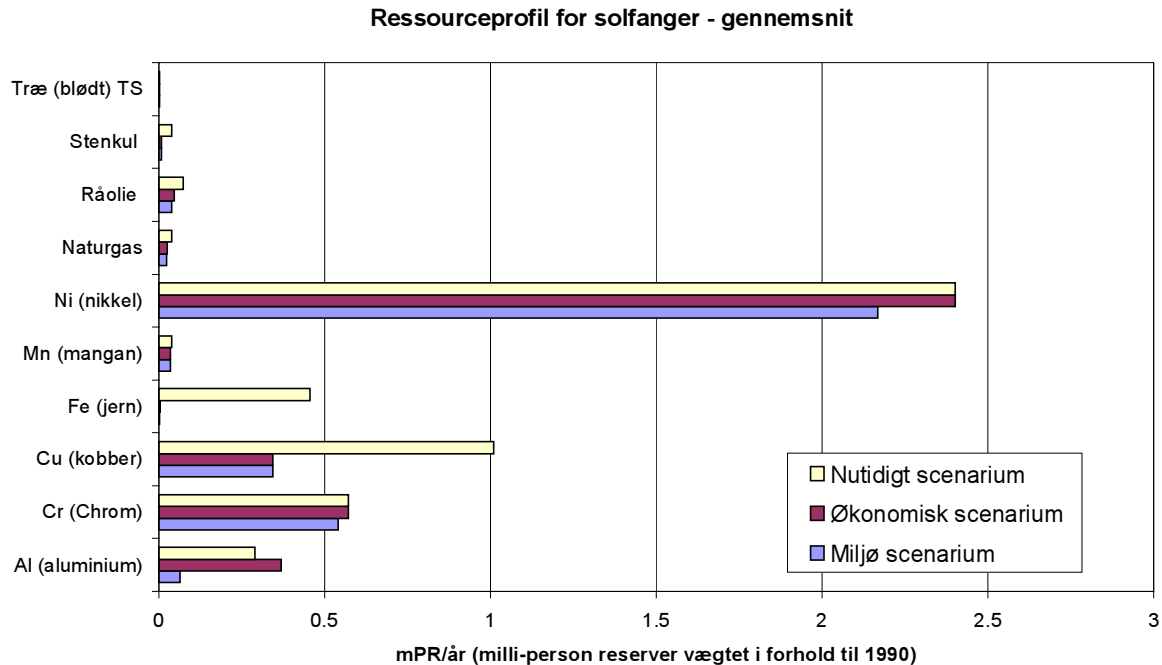
Generelt vægtes de ressourcer højt, hvor forsyningshorisonten er mindst. Det betyder, at de sjældne metaller vægtes højere end de metaller, der findes i rigelig mængde. Et forbrug af metallerne nikkell, krom og kobber er derfor vigtigere end forbruget af aluminium og jern, selvom der anvendes større mængder af disse metaller. Da forsyningshorisonten er kortere for de fleste metaller end for energiressourcerne, bliver forbrug af metaller vægtet højere end forbrug af energiressourcer.

Nikkel, krom og mangan anvendes som legeringsmaterialer i rustfrit stål. Solfangere, der indeholder rustfrit stål vil derfor få et stort vægtet forbrug af disse stoffer. Hvis rustfri stål bortskaffes og genanvendes til ny rustfri stål, vil disse legeringsressourcer bibeholdes, men i et automatisk sorteringsanlæg, vil en del rustfri stål sorteres som ikke-rustfri stål. Derved mistes legeringsmaterialerne som ressource.

Krom og nikkel anvendes også i små mængder i selektive belægninger på absorbere. Hvis belægningen sker på absorbere af aluminium eller kobber, vil disse vægtes højt i forhold til deres vægtandel, fordi de ikke kan genvindes efter brug. Belægningen vil blive bortskaffet sammen med absorbereren og blive til urenheder i f.eks. kobberet. En nikkel-belægning, der bortskaffes sammen med en absorber af rustfrit stål, vil derimod kunne erstatte noget af det primære nikkel, der ellers skulle tilsættes stålet. Derved bliver nikkelressourcen bibeholdt ved bortskaffelsen. En belægning især i form af en folie kan dog risikere at blive slidt af i en automatisk sorteringsproces. Derved ender det som affald, og ressourcen mistes.

Forbrug af kobber i solfangeren giver anledning til et stort vægtet ressourceforbrug. Dette skyldes bl.a. at kobber er et sparsomt metal, der vægtes højt i miljøvurderingen. Desuden er den automatiske skrotsortering i Danmark ikke særlig velegnet til behandling af kobber, og en forholdsvis stor del bliver fejlsorteret. Derfor ender en del kobber som affald (ca. 14%), og en del ender sammen med stålskrot (ca. 19%). I begge tilfælde mistes kobberressourcen.

I stålskrot udgør kobber som førnævnt en alvorlig forureningskomponent, som ikke kan renses ud af stålsmelten. Det er nødvendigt at fortynde stålet med store mængder primær jernmalm for at opnå en acceptabel lav koncentration af kobber. Bortskaffelse af kobber ved hjælp af et automatisk sorteringsanlæg medfører derfor både et stort træk på kobberreserven, et stort træk på reserveerne af jern, samt et ekstra forbrug af energi til fremstilling af dette jern. Forbruget af jern-ressourcen skyldes derfor ikke brug af rustfrit stål i solfangerne, idet genanvendelsesgraden for dette er meget høj, med derimod anvendelsen af kobber, der ikke sorteres tilfredsstillende og derfor ender som forureningskomponent i stål.



Figur 6.2 Eksempel på ressourceprofil for solfanger. Gennemsnit af resultater fra solfangerne i projektet

I nogle tilfælde er det ikke muligt at adskille solfangernes komponenter i rene materialefraktioner. Det gælder f.eks. for absorbere af sammenvulset aluminiumsplade og kobberør. I det miljølrigtige scenarium er det antaget, at finnerne er skåret fra og behandlet som aluminium, mens midterstykket omkring røret er behandlet som kobber. I det økonomiske scenarium bortskaffes hele absorbereren som kobber. Derved beholdes kobberressourcen, men aluminiumressourcen mistes. I det nutidige scenarium sorteres absorbereren automatisk, hvorved aluminiumsfinnerne vil blive skåret fra og sorteret som aluminium. Midterstykket vil blive behandlet som kobber i den automatiske sorteringsproces. Disse forhold er årsagen til, at forbruget af aluminiumsressource er størst i det økonomiske scenarium.

Da kobber er en mere sparsom ressource end aluminium, er det miljømæssigt bedre at beholde kobber som ressource end aluminium. Aluminium koster til gengæld meget energi at fremstille, men på grund af de dårlige sorteringsmetoder for kobber, koster det samlet mindre energi at miste alt aluminium i absorbereren, end at bortskaffe denne gennem et automatisk sorteringsanlæg, hvor en del af aluminiummet kan genvindes.

Selv om energiresourcerne er vægtet lavt, er der muligheder for at halvere disse ved at bortskaffe solfangeren korrekt. Især er der forskel på forbruget af energiresourcer ved hhv. det økonomiske og det nutidige scenarium. Her er forskellen at alt kobber bliver genanvendt i det økonomiske scenarium. En halvering af energiresourcerne betyder alt andet lige, at de kobberholdige solfangeres energitilbagebetalingstid kan halveres, hvis kobber tages ud og genanvendes.

Generelt gælder, at forskellige bortskaffelsesscenarier kan give væsentligt forskellige miljøpåvirkninger, idet bortskaffelsen er en vigtig del af solfangerens livscyklus. Alt i alt vil solfangerens miljø- og ressourcepåvirkninger kunne nedbringes væsentligt, hvis den bortskaffes med omtanke, så de indgående materialer kan genanvendes.

6.3 Solvarmeanlæg eksklusiv solfangere

Resultaterne fra miljøvurdering af solfangeren bør ses i forhold til en tilsvarende beregning for resten af solvarmeanlægget, dvs. varmtvandsbeholder, rørsystem, pumpe osv. Her er der opstillet en model for at standardanlæg til et samlet system, der kan levere 1000 kWh varmt vand om året.

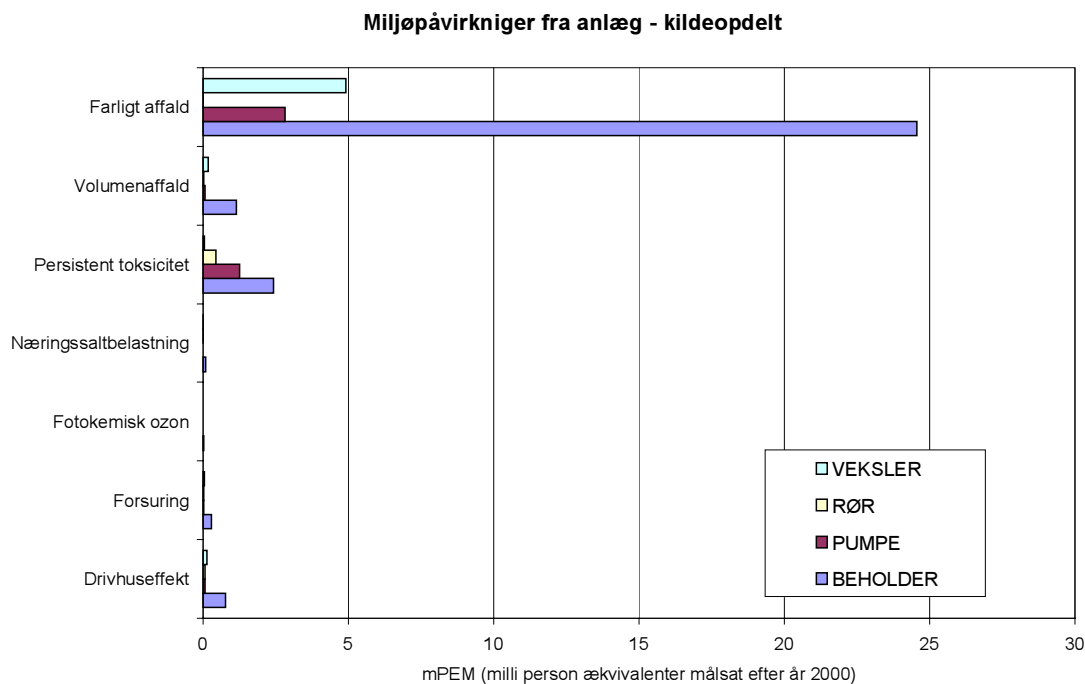
Miljøvurderingen af standardanlægget er vurderet mere overfladisk end selve solfangerne, idet kun udvinding og fremstilling af materialer samt bortskaffelsesfasen er medtaget i analysen. Disse repræsenterer dog de væsentligste livsfaser for anlægget, og beregningerne kan give et godt indtryk af, hvor meget anlægget betyder i forhold til solfangeren alene. Der er dermed set bort fra transportprocesser, produktion og materialespild fra produktionen. Modellen for standardanlægget er beskrevet i kapitlet 5.5.3. Ved beregningerne er der valgt et bortskaffelsesscenarium for anlægget, der svarer til det økonomiske scenarium for solfangerne. Det vil sige, at alt kobber sorteres fra til genanvendelse, og alle øvrige dele bortskaffes ved hjælp af et automatisk sorteringsanlæg (shredder).

Det samlede energiforbrug til fremstilling og bortskaffelse af solvarmeanlægget eksklusiv solfanger er opgjort til i alt 570 kWh primær energi fordelt på forskellige brændsler. Dette

ligger næsten i samme størrelsesorden som det samlede energiforbrug til selve solfangernes livscyklus (se afsnit 6.4). Det vil derfor i lige så høj grad være relevant at undersøge muligheder for miljøforbedringer i anlægget som i forbindelse med solfangeren.

6.3.1 Miljøeffekter fra solvarmeanlæg

De vægtede miljøpåvirkninger fra solvarmeanlægget er vist i figur 6.3. Det ses, at energiforbruget, som bl.a. er repræsenteret ved bidraget til drivhuseffekten, ikke er den væsentligste miljøeffekt for solvarmeanlægget. Den største miljøpåvirkning fra anlægget sker til kategorien ”farligt affald”. Dette skyldes udledning af miljøfarlige stoffer i forbindelse med produktionen af det stål, der hovedsageligt indgår i varmtvandsbeholderen. Ved fremstilling af stål dannes store mængder slagge som affaldsprodukt, og denne slagge indeholder ofte forholdsvis store mængder tungmetaller. Bidraget til kategorien ”persistent toksicitet” skyldes ligeledes stålproduktionen, idet der ved fremstillingsprocesserne udledes små mængder dioxin, der er et meget giftigt stof.



Figur 6.3 Vægtet miljøprofil for solvarmeanlæg ved bortskaffelse efter økonomisk scenarium

6.3.2 Ressourceforbrug

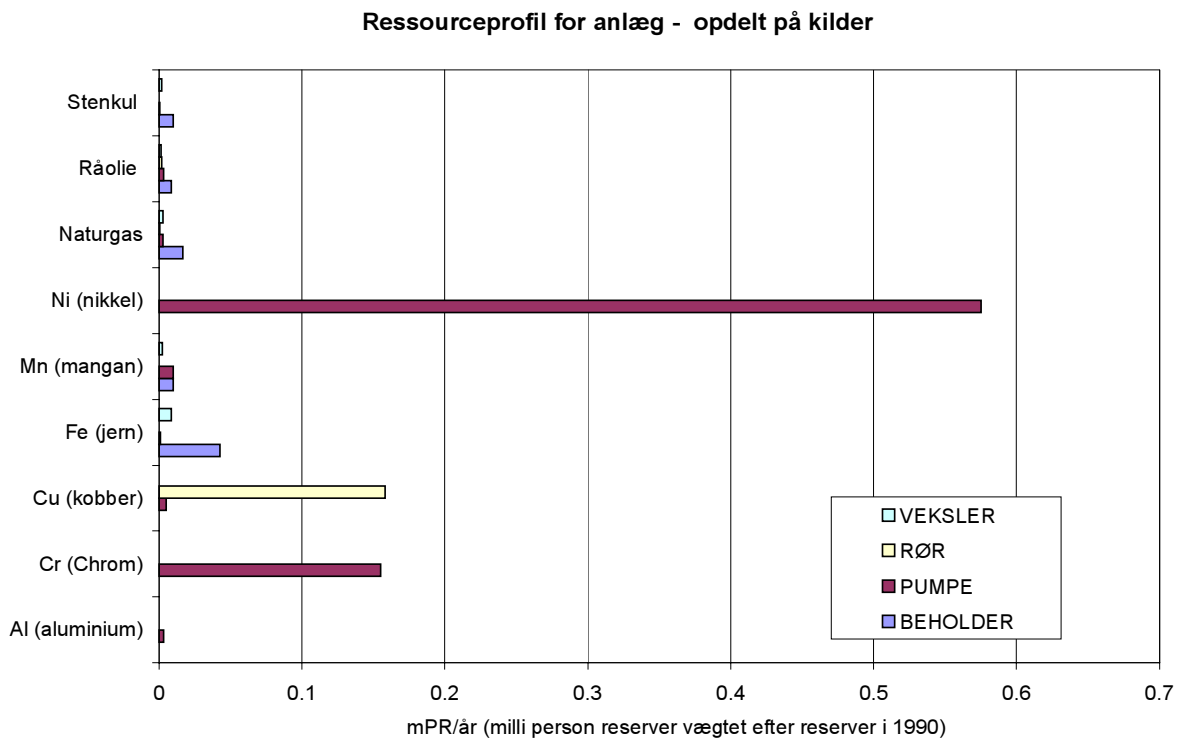
Ved betragtning af resultaterne fra de vægtede ressourceforbrug i figur 6.4 ses ligeledes, at forbruget af energiressourcer ikke udgør de væsentligste miljøpåvirkninger.

Nikkel indgår i små mængder i rustfri stål, som anvendes i cirkulationspumpen. Nikkelforbruget bliver vægtet højt, selv om forbruget er lille, da nikkel er en meget sparsom

ressource. Forbruget af nikkel bliver derved det mest betydende ressourceforbrug for solvarmeanlægget. Også krom anvendes som legeringsmateriale i rustfrit stål.

Forbruget af kobber som ressource er også vægtet højt, selv om det ikke er det materiale, der indgår med størst vægt i anlægget. Kobber er på verdensplan en sparsom ressource, og det er derfor vigtigt, at kobbermaterialet i rørsystemet og pumpen ikke går tabt efter brugen i solvarmeanlægget. Da kobberet i rørsystemet er let at frasortere ved bortskaffelsen, vil det være sandsynligt, at en stor del af kobberet genanvendes som antaget ved det valgte bortskaffelsesscenarium.

En stor del af det stål, der anvendes i varmtvandsbeholderen, bliver genanvendt ved bortskaffelsen, idet den automatiske sortering er effektiv i forhold til stål. Derfor er det reelle ressourceforbrug af jern fra stålbeholderen ret lille. Desuden vægtes forbruget af jern ikke så højt på grund af den forholdsvis lange forsyningshorisont.



Figur 6.4 Vægtede ressourceforbrug for solvarmeanlæg ved bortskaffelse efter økonomisk scenarium

6.3.3 Energiforbrug til cirkulationspumpe

Cirkulationspumpen i et solvarmeanlæg er typisk styret af differensen mellem temperaturen ved solfangerens udløb og temperaturen i varmtvandsbeholderen. Pumpen er dermed kun aktiv, når solfangeren er i stand til at levere varmeenergi. Energiforbruget til pumpen afhænger derfor af, hvor mange timer om året solvarmeanlægget kan levere varme, og dette afhænger igen af solfangerens effektivitet.

Ofte anvendes en standardpumpe med faste indstillingsmuligheder i anlægget. Det betyder, at pumpen leverer et fast tryk og har et konstant energiforbrug. Energiforbruget afhænger derfor ikke direkte af trykfaldet over solfangerne, da der ofte indsættes ekstra tryktabsventiler i systemet for at afstemme tryktabet med pumpens leverede tryk.

Cirkulationspumpens energiforbrug udgør ca. 5% af den samlede solfangerydelse. Pumpeforbruget afhænger som nævnt af anlæggets driftstid, og der er derfor forskel på forbruget fra solfanger til solfanger. I gennemsnit er cirkulationspumpens energiforbrug beregnet til 48.8 kWh/år for et anlæg, der leverer 1000 kWh/år. I løbet af solfangerens levetid på 20 år forbruges i alt 976 kWh i form af el. Cirkulationspumpens elforbrug skal omregnes til et primært energiforbrug, idet det ikke er direkte muligt at sammenligne energi i form af el med energi i form af varme fra solvarmeanlægget.

Omregning fra el til primær energi er ikke entydig. Ud fra en ren elvirkningsgrad kan der beregnes et primært energiforbrug i form af det brændsel, der medgår til elproduktionen, men ud fra denne mængde brændsel produceres der ofte også varme i form af nyttiggjort fjernvarme. Der produceres derfor mere energi end bare el ud fra den mængde primær energi, der indgår som brændsel ved elproduktion i Danmark.

Normalt tilskrives elproduktionen hovedparten af brændselsforbruget og de tilhørende emissioner, fordi det regnes for kraftværkets primære produkt, mens varmeproduktionen regnes for et sekundært produkt. I nogle tilfælde udnyttes varmen ikke, fordi der ikke er aftagere nok i området af rent geografiske eller årstidsmæssige årsager. Men da varmen kan nyttiggøres en stor del af året, vil det ikke være rimeligt helt at se bort fra dette. Det ligger udenfor rammerne af dette projekt at gå i detaljer med fordelingen af brændselsforbrug og emissioner mellem el og varme fra kraftvarmeværker eller at vurdere i detaljer i hvilken grad varmen fra kraftvarmeværkerne nyttiggøres.

Den samlede energinyttevirkning for de danske kraft- og kraftvarmeværker for omdannelse af primær brændselsenergi til både el og varme er ca. 56% og til el alene ca. 40% (Dansk Elforsyning, Statistik 1994). Ved beregninger i forbindelse med dette projekt er benyttet en virkningsgrad på 50%, der skal betragtes som et overslag. Derved er en del af fjernvarmen medregnet som et nyttigt energiprodukt.

Med en nyttevirkning på 50% medfører pumpen et primær energiforbrug på 1952 kWh. Hvis dette sammenlignes med det samlede energiforbrug til solfangerens livscyklus fra råstofudvinding over materialeforarbejdning og produktion til bortskaffelse ses, at pumpeforbruget rent energimæssigt udgør en større miljøpåvirkning end selve solfangeren, under de forudsætninger, at elektricitet produceres på konventionel vis.

Hvis energiforbruget til cirkulationspumpen kan nedbringes, vil der kunne opnås en væsentlig nedbringelse af de totale miljøpåvirkninger for det samlede solvarmeanlæg. Der kan tænkes flere muligheder for miljøforbedringer på dette punkt:

- valg af pumpe med højere effektivitet
- valg af pumpe med variabel effekt, så der kun leveres lige netop den trykkydelse, som der er brug for i systemet.

- nedsættelse af systemets samlede trykfald f.eks. ved anvendelse af solfangere med et lavt tryktab
- anvendelse af solceller eller anden vedvarende energikilde til drift af pumpen

Hvis solfangeren designes med et lavt tryktab, vil der kunne spares energi til cirkulationspumpen, men samtidig kan det blive sværere at afbalancere et system med flere solfangere, så der måske ikke strømmer samme mængde vand gennem dem. Dette kan medføre, at anlæggets effektivitet bliver lavere. Der bør derfor findes en balance mellem et system med et så lavt tryktab som muligt og et system, der stadig er let at indregulere, så anlægget fungerer optimalt.

Anvendelse af f.eks. solceller til dækning af pumpens energiforbrug vil sandsynligvis give væsentligt lavere miljøpåvirkninger, end el produceret på konventionel vis. En nøjagtig vurdering af betydningen for de samlede miljøeffekter vil dog kræve, at også solcelleanlæg bliver vurderet i et livscyklusperspektiv.

6.4 Energiforbrug og tilbagebetalingstider

Det samlede energiforbrug i hele solfangerens levetid, dvs. til udvinding af råstoffer, produktion, transport og bortskaffelse opgøres for den mængde solfanger, der kan yde levere en ydelse på 1000 kWh/år. Dette er i gennemsnit ca. 780 kWh.

Ud fra dette forbrug af energi kan solfangeren producere i alt 20000 kWh fordelt på 20 år (leveret fra solfangeren). Heraf kan der beregnes en energieffektivitetsfaktor, kaldet en COP-faktor (Coefficient Of Performance). Denne udtrykker forholdet mellem den mængde energi, man får ud af systemet og den mængde energi, der skal tilføres systemet. Hvis levetiden tages i betragtning kan der heraf beregnes en simpel tilbagebetalingstid.

$$COP = \frac{\text{Samlet ydelse i levetid}}{\text{Samlet energiforbrug i levetid}}$$

Denne tilbagebetalingstid er dog ikke direkte repræsentativ, fordi de 20000 kWh, som solfangeren leverer, vil fortrænge varme fra en anden energikilde. Det koster mere end 20000 kWh primær energi at fremstille denne mængde varme ved hjælp af en konventionel energikilde, og derfor vil solfangeren fortrænge mere end 20000 kWh primær energi i sin levetid. Den mængde primær energi, der kan fortrænges afhænger af effektiviteten af den energikilde, der fortrænges.

$$\text{Simpel tilbagebetalingstid} = \frac{\text{levetid}}{COP}$$

$$\text{Reel tilbagebetalingstid} = \eta_{\text{konventionel}} \cdot \frac{\text{levetid}}{COP}$$

Det øvrige solvarmeanlæg koster et samlet energiforbrug på ca. 570 kWh (se afsnit ovenfor). Pumpen medfører et forbrug på ca. 49 kWh/år i form af el, der med en effektivitet på 0,5

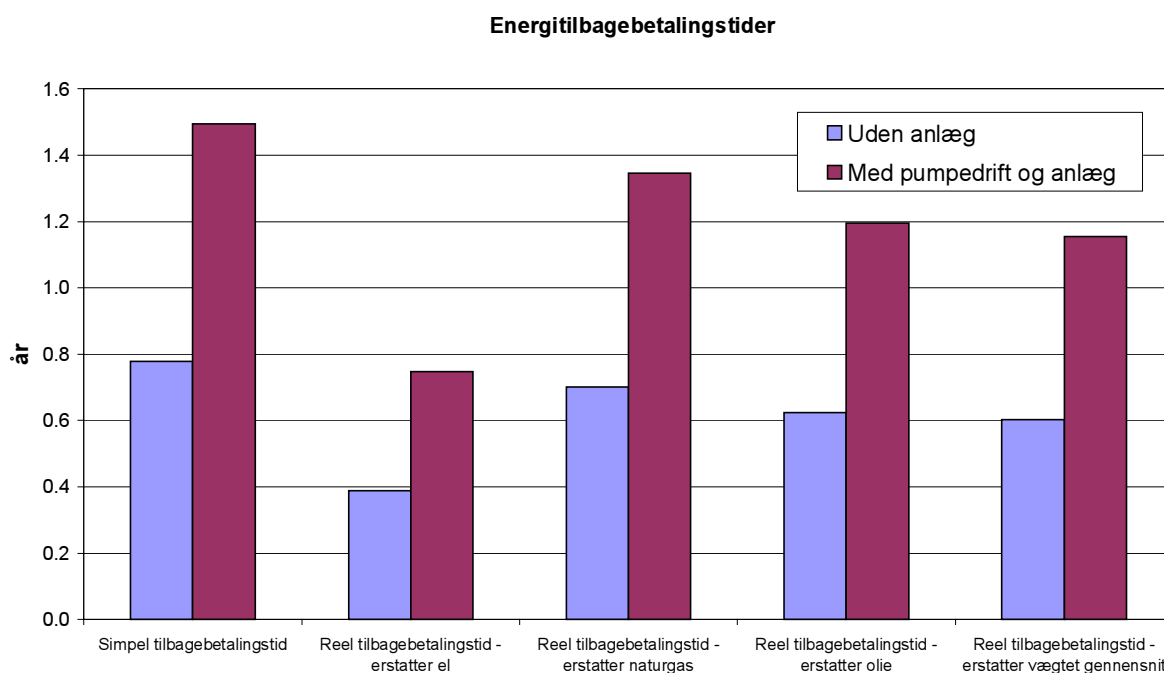
medfører et primær energiforbrug på 98 kWh/år. Disse energiforbrug skal solfangeren ligeledes dække. Dette bevirker, at tilbagebetalingstiden for solfanger plus anlæg bliver væsentlig forlænget.

Ifølge Energistyrelsens Energistatistik for 1997 (energistatistik, 97) er forbruget af hhv. olie, gas og el til produktion af varmt vand som angivet i tabel 6.3 nedenfor. De årlige forbrug er nettoenergiforbrug, og skal derfor vægtes med en effektivitet for at få forbruget på primær energiniveau. De anvendte effektiviteter er overslagsværdier, der ikke skal repræsentere noget bestemt anlæg. De valgte effektiviteter har naturligvis stor betydning for resultaterne, og beregningerne her er ment som en illustration af, hvor meget energitilbagebetalingstiden varierer ved substitution af forskellige energikilder.

I figur 6.5 er vist energitilbagebetalingstider, dels for solfangeren alene, og dels for solfangeren inklusiv pumpeforbrug og det tilhørende anlæg. Solfangerens energitilbagebetalingstid er også vist i forhold til et vægtet gennemsnit af de konventionelle energikilder.

Energikilde	Effektivitet (antaget)	Årligt total forbrug (PJ)	vægtning (%)
olie	0,8	35,2	46
naturgas	0,9	29,5	34
elektricitet	0,5	9,8	20

Tabel 6.3 Data for konventionelle energikilder. Årlige forbrug fra (energistatistik 97)



Figur 6.5 Energitilbagebetalingstider hhv. med og uden pumpeenergi og anlæg for et gennemsnit af de deltagende solfangere

6.5 Sammenligning med konventionelle energikilder

De samlede resultater for et totalt solvarmeanlæg, dvs. gennemsnit for solfangere plus resultater for det øvrige solvarmeanlæg, er sammenlignet med følgende konventionelle energikilder til opvarmning af varmt brugsvand:

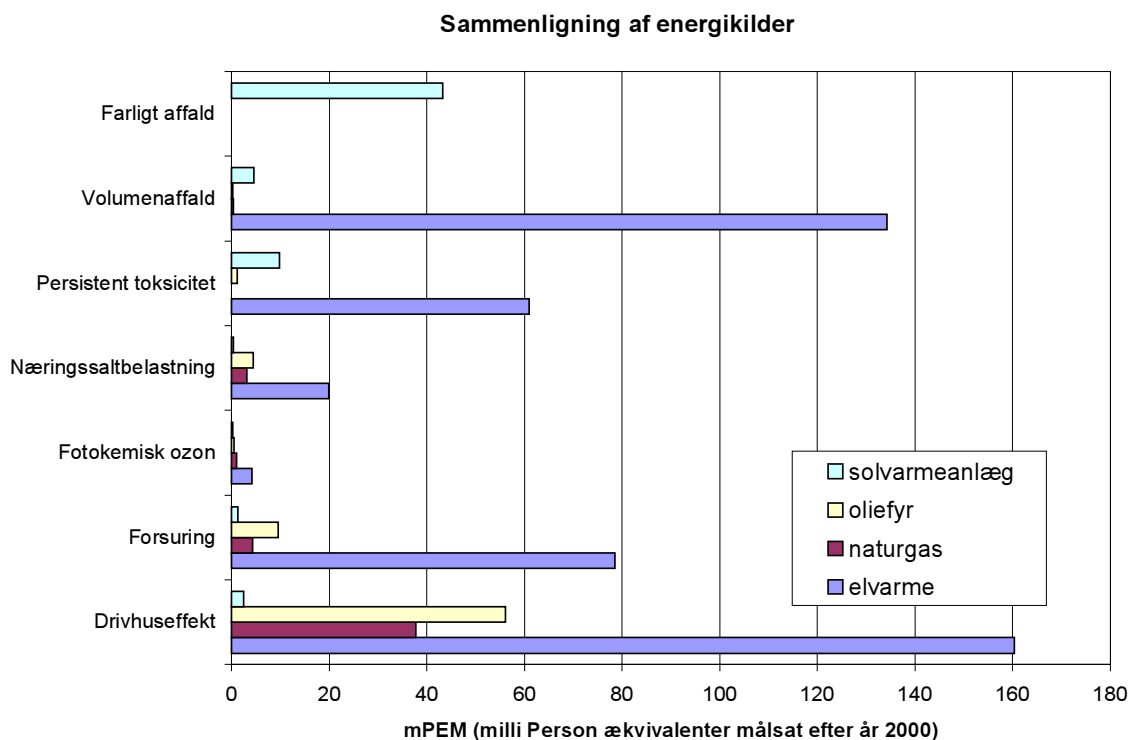
- elvandvarmer
- naturgasfyr
- oliefyr

Miljødata for disse energikilder er taget fra UMIP-databasen (Frees og Pedersen, 1996). Ved sammenligningen er der anvendt resultater opnået med det økonomiske bortskaffelses-scenarium for både solfangere og det resterende solvarmeanlæg.

For de øvrige energikilder er der kun medtaget miljøeffekter forårsaget af selve energiproduktionen, dvs. afbrænding af f.eks. naturgas. Der er ikke foretaget livscyklusvurderinger af olie-, naturgasfyr eller kraftvarmeværk. Det skyldes, at et solvarmeanlæg ikke kan erstatte de øvrige anlæg fuldstændigt, men blot bidrager til en besparelse i driftsfasen for disse systemer.

Miljøprofiler for de forskellige energikilder er vist i figur 6.6. Det er ikke overraskende elvarme, medfører de største miljøpåvirkninger indenfor de fleste effektkategorier. Dernæst kommer oliefyring, og solvarme er generelt den mest miljøvenlige energikilde.

De væsentligste miljøeffekter forårsaget af solvarme er farligt affald, persistent toksicitet og volumenaffald. Disse bidrag er dog kun små sammenlignet med de øvrige energikilders bidrag til f.eks. drivhuseffekten. Men solvarme bidrager trods alt mere til disse effekter end olie og naturgas, og for farligt affalds vedkommende endda også mere end el.

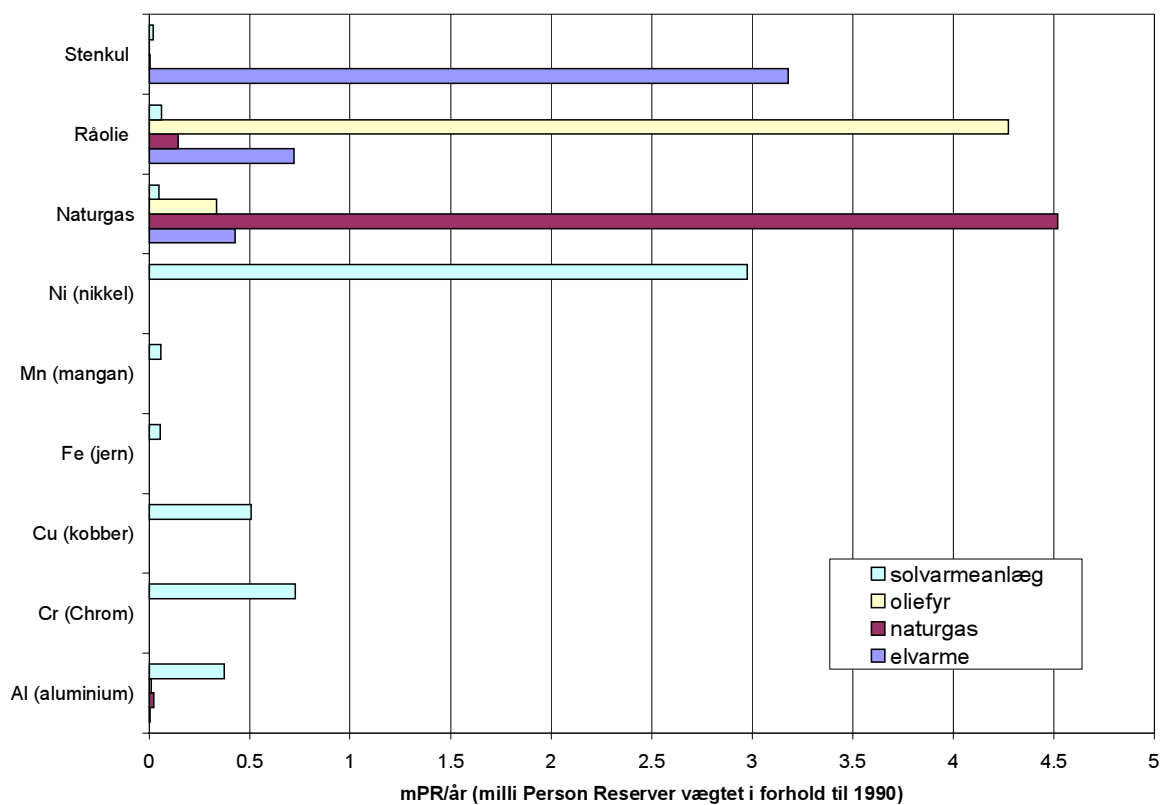


Figur 6.6 Miljøeffekter fra forskellige energikilder opgjort for i alt 20000 kWh netto energi fordelt over 20 år

De forskellige energikilders vægtede ressourceforbrug er vist i figur 6.7 nedenfor. De konventionelle energikilder anvender langt flere energiressourcer end solvarmeanlægget, hvilket bl.a. betyder, at solvarme har en positiv energi-tilbagebetalingstid i forhold til både gas, olie og el. Det kan desuden ses, at naturgas og olie har større vægtede ressourceforbrug end el. Det skyldes, at forsyningshorisonten er meget kortere for disse brændsler end for kul, og de vægtes derfor højere.

For metalressourcerne er billedet omvendt. Her anvendes der i solvarmeanlægget mange flere ressourcer til at producere den samme mængde energi end ved de konventionelle energikilder. Især er det vægtede forbrug af nikkel i højt – i samme størrelsesorden som forbruget af energiressourcer for de konventionelle brændsler. Rent mængdemæssigt anvendes der langt mindre nikkel end f.eks. kul til elvarme, men da nikkel er så sparsom en ressource vægtes denne langt højere end forbruget af kul.

Sammenligning af energikilder - ressourceforbrug



Figur 6.7 Vægtede ressourceforbrug for forskellige energikilder opgjort for i alt 20000 kWh fordelt over 20 år

7. Formidling af miljøresultater

En af de væsentligste betingelser for, at der kan skabes en udvikling af renere produkter, er at der er information om produkternes miljøforhold til rådighed. Denne miljøinformation skal omhandle produktets miljøpåvirkninger i hele dets livscyklus. Resultater fra livscyklusvurderinger skal derfor formidles ud til de aktører, der kan bidrage til en udvikling af mere miljøvenlige produkter. De centrale aktører i denne sammenhæng er dels producenterne og dels forbrugerne af produktet.

Miljøstyrelsen opererer med i alt 4 typer af miljøinformation:

- miljøvejledninger
- miljømærker
- miljødeklarationer
- miljøbrugsanvisninger

Miljøvejledninger er især rettet mod professionelle indkøbere og andre, der foretager betydelige indkøb. For solfangere er miljøvejledninger interessante bl.a. i forbindelse med loven om offentlige grønne indkøbspolitik, hvor myndigheder skal inddrage miljøfaktorer i forbindelse med projektering, indkøb mm. Gode miljøvejledninger kan bl.a. være med til at øge udbredelsen af solvarmeanlæg til offentlige bygninger.

Miljømærkning er typisk ment som et enkelt budskab rettet til forbrugerne for at fortælle at der er taget miljøhensyn, og at et mærket produkt er miljømæssigt bedre end et ikke mærket produkt. Der kan her være tale om et egentligt miljømærke, men miljøforhold kan også inddrages i en generel mærkningsordning, hvor også andre af produktets kvalitetsegenskaber indgår.

En *miljøvaredeklaration* indeholder forholdsvis detaljeret information om produktets samlede miljøegenskaber. Miljøvaredeklarationer kan typisk anvendes af producenten, idet han har brug for miljøinformation om sit eget produkt for at kunne foretage forbedringer samt ved produktudvikling. Varedeklarationen kan også anvendes fra producent til producent, så informationer kan videregives fra råmaterialeproducenter til underleverandører, producenter osv. Miljøvaredeklarationerne kan også anvendes af købere, der ønsker mere information om produktets egenskaber end miljømærket giver.

Miljøbrugsanvisninger kan anvendes, hvis produktets samlede miljøegenskaber afhænger meget af, hvordan brugeren anvender og bortskaffer produktet. Anvisningen kan give køberen information om, hvordan han skal håndtere produktet dels i brugsfasen, men også i høj grad ved bortskaffelsen. En miljøbrugsanvisning kan dermed være med til at sikre, at et produkt bliver bortskaffet på den mest miljøvenlige måde.

Det er et formål med dette projekt at udarbejde et forslag til formidling af resultater af livscyklusvurderinger for solfangere. Der vil i første omgang blive lagt vægt på formidling til fabrikanterne af de undersøgte solfangere. Der vil derfor udformes et forslag til en miljøvaredeklaration for solfangere. På længere sigt bør solfangernes miljøegenskaber også formidles til potentielle forbrugere.

7.1 Udformning af miljødatablad

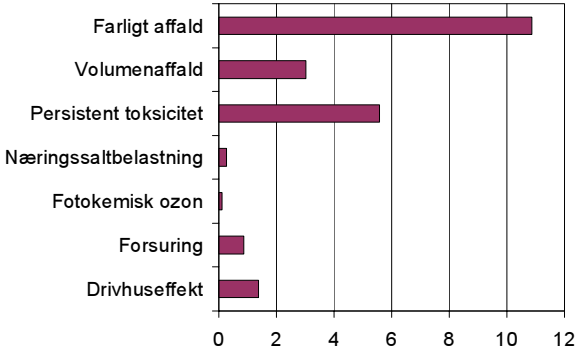
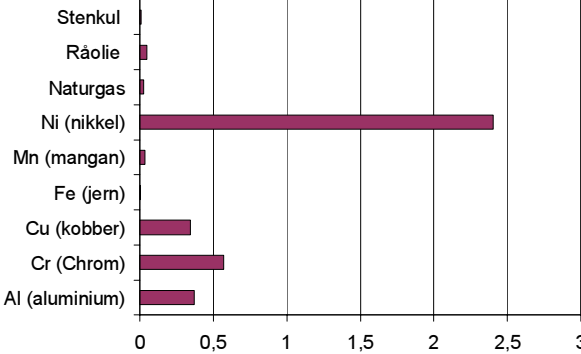
Resultater fra en livscyklusvurdering for en solfanger kan formidles gennem et miljødatablad. Databladet skal opfattes som en varedeklaration, der informerer om solfangernes væsentligste miljøbelastninger og ressourceforbrug. Miljødatabladet har til formål at vise, hvilke forhold der betyder mest for solfangernes samlede miljøegenskaber.

På de efterfølgende sider er vist et udkast til et miljødatablad for en solfanger. Der er taget udgangspunkt i udformningen for de datablade, som SolEnergi Center Danmark på nuværende tidspunkt udarbejder på basis af hhv. effektivitets- og holdbarhedsprøvninger. De viste data er gennemsnitsresultater for de solfanger, der deltager i projektet. Den første side indeholder den egentlige miljøinformation, mens side 2 er tænkt som en bagside til miljødatabladet. På bagsiden er angivet en række ordforklaringer til miljødatabladet.

Miljødatabladet indeholder øverst information om, hvilken solfanger der beskrives i databladet. Fabrikantnavn, adresse og solfangertypen angives. Desuden angives solfangerens størrelse samt en skitse af denne til identifikation af solfangeren.

De væsentligste parametre for miljøberegningerne er de indgående materialer, og disse er derfor listet på databladet i form af en materialeopgørelse. Solfangerens effektivitetsligning er ikke angivet, idet denne er angivet på et tilsvarende datablad for solfangerens effektivitet.

Resultater fra miljøberegningerne er angivet i form af hhv. energitilbagebetalingstider med og uden anlæg, samt i form af miljøprofiler for miljøeffekter og ressourceforbrug. Dermed er de væsentligste miljømæssige egenskaber for solfangeren dokumenteret på databladet.

Datablad for solfanger – miljø og ressourcer		godk. nr.:
Fabrikant/forhandler: Solfangerfabrikant, adresse Tlf.:		Type:
Data for solfanger		
<i>Snit i solfanger:</i>	Materiale opgørelse:	Energiltilbagebetalingstider
Udvendige dimensioner m	glas : kg kobber : kg aluminium : kg rustfri stål : plast : osv	Solfanger alene: simpel tilbagebetalingstid: 0,86 år i.f.t. konventionel energi: 0,60 år Solfanger med pumpe og anlæg: simpel tilbagebetalingstid: 1,49 år i f.t. konventionel energi: 1,16 år
Areal Udvendigt m ² Transparent m ²	Samlet vægt :	Funktional enhed: 1,17 solfanger denne angiver, hvor meget solfanger, der skal til en produktion af 20000 kWh på 20 år
Miljøprofiler		
Miljøeffekter	Ressourceforbrug	
		
Resultaterne er angivet mPEM (milli person ækvivalenter, målsat efter år 2000). Dette angiver, at miljøpåvirkningerne er opgjort i forhold til de samlede påvirkninger per person og vægtet efter de miljøpolitiske mål for år 2000.	Ressourceforbrugene er angivet i mPR/år (milli person reserver/år). Dette angiver, at forbrugene er vægtet i forhold til de samlede kendte reserver opgjort i 1990.	
Beregningsforudsætninger		
Levetid:	Der er antaget en levetid for solfangeren på 20 år	
Funktional ydelse:	Miljøprofiler er optegnet for den mængde solfanger, der i alt kan levere 20000 kWh over 20 år.	
Bortskaffelse:	Solfangeren bortskaffes efter et scenarium, hvor alt kobber frasorteres og genanvendes. Resten af solfangeren bortskaffes ved hjælp af et automatisk sorteringsanlæg (shredder)	
LCA-Metode	UMIP-metoden, se i øvrigt hovedrapport	
Bemærkninger:	Dato: SolEnergiCenter Danmarks underskrift	

Datablad for solfanger – miljø og ressourcer – ordforklaringer

Funktionel enhed

Funktionel enhed:

Den mængde solfanger, der kan yde 1000 kWh/år ved en levetid på 20 år, dvs. i alt 20000 kWh. Den funktionelle enhed muliggør en kvantitativ sammenligning af miljøprofiler og ressourceprofiler. Energertilbagebetalingstider er uafhængige af den funktionelle enhed.

Energertilbagebetalingstider

Simpel energertilbagebetalingstid:

Det direkte forhold mellem solfangerens samlede ydelse og det totale primære energiforbrug til alle livsfaser eksklusiv driftsfasen. Solfangerens ydelse er ikke omregnet til primær energi.

Energertilbagebetalingstid i forhold til konventionel energi:

Solfangerens ydelse omregnes til primær energi ved substitution med konventionelle energikilder (vægtet gennemsnit mellem naturgas, olie og elvarme). Angiver den reelle energertilbagebetalingstid, idet solfangeren erstatter en større mængde primær energi, end den direkte ydelse angiver.

Energertilbagebetalingstid for solfanger med pumpe og anlæg:

Energiforbruget til cirkulationspumpen i solfangerens driftsfase medregnes sammen med det samlede energiforbrug til det resterende solvarmeanlæg. Dette resultat giver det samlede solvarmeanlægs energibalace. Solvarmeanlægget er dog kun modelleret overslagsmæssigt.

Miljøeffekter

Drivhuseffekt:

Skyldes især CO₂ og vanddamp, der tillader solstråling at trænge ind gennem atmosfæren, men forhindrer Jordens varmestråling at trænge ud. Øgede CO₂-udledninger fra forbrænding af energiresourcer mistænkes for at medføre en stigning af temperaturen i atmosfæren og dermed globale klimaforandringer.

Forsuring:

Skyldes f.eks. SO₂ og NO_x, der udledes i forbindelse med forbrænding af energiresourcer. Stofferne kan reagere med vanddamp og danne syrer, der tilføres miljøet med regnvandet.

Næringsstofbelastning (eutrofiering):

Opstår i vandige miljøer, der tilføres for store mængder næringsstoffer, og derfor oplever algeopblomstring. Dette kan medføre iltvind og deraf følgende dårligere levebetingelser.

Fotokemisk ozondannelse:

Skyldes emission af flygtige organiske forbindelser (VOC'er), der nedbrydes ved påvirkning med sollys i atmosfæren og bl.a. reagerer med NO_x-forbindelser under dannelse af ozon. Kaldes også "smog".

Persistent toksicitet:

Betyder vedvarende eller kronisk giftighed. Effektkategorien indeholder udledninger af giftige stoffer, som ikke eller kun langsomt nedbrydes i naturen og derfor evt. opkoncentreres gennem de naturlige fødekæder.

Volumenaffald:

Affald, der ikke er giftigt, men som alene på grund af de store affaldsmængder udgør et miljøproblem, fordi det kræver meget plads i form af lossepladser og deponeringssteder.

Farligt affald:

Affald, der indeholder giftige og/eller svært nedbrydelige stoffer.

Ressourceforbrug:

Påvirkning af verdens samlede materiale- eller energireserver.

Enheder

mPEM (milli person ækvivalenter, målsat efter år 2000):

Miljøpåvirkninger opgøres i forhold til de samlede påvirkninger pr. person og vægtet efter miljøpolitiske mål for år 2000.

mPR (milli person reserver):

Angiver, at forbrugene er vægtet i forhold til de samlede kendte reserver. Her er data opgjort i 1990.

8. Muligheder for miljø- og ressourcemæssige forbedringer af solfangere

Ved en sammenligning mellem solvarme og konventionelle energikilder til produktion af varmt vand, er solvarme generelt et miljøvenligt alternativ. Der er dog også en række punkter, hvor det samlede miljøregnskab kan forbedres, enten ved produktudvikling, ændring af materialevalg mm. eller ved ændring af nuværende vaner/praksis.

De væsentligste miljøpåvirkninger forårsaget af solfangere ligger i udledning af giftige stoffer og affald, samt i et forbrug af sparsomme metalressourcer. For solvarmeanlægget som helhed ligger de væsentligste miljøforhold i cirkulationspumpens energiforbrug. Resten af anlægget har stort set de samme miljøeffekter, som gælder for solfangeren, nemlig udledning af toksiske stoffer og affald, samt forbrug af sparsomme ressourcer.

Nedenfor er listet en række forslag til indsatsområder for forbedring af solfangernes og solvarmeanlæggets miljøegenskaber. Ændringsforslagene er inddelt i 4 grupper efter MEKA-princippet, dvs. i forslag der indvirker på hhv. materialer, energi, kemikalier og andet.

Materialer:

- minimere forbrug af sparsomme ressourcer ved at designe solfangerne så korrekt bortskaffelse er let
- minimering af spild ved fremstilling og korrekt bortskaffelse af spild
- valg af andre materialer til solfanger eller anlæg

Energi:

- forbedring af solfangerens COP ved optimering af ydelse
- forbedring af COP ved minimering af energiforbrug til materialer, fremstilling og bortskaffelse
- genvinding af energiindhold i materialer ved korrekt bortskaffelse
- valg af regulerbar pumpe og minimering af tryktab over solfanger
- ændring af elproduktion til pumpe, f.eks. ved anvendelse af solceller.

Kemikalier:

- valg af materialer, der ikke medfører væsentlige udledninger af giftige stoffer
- renere teknologi ved belægningsprocesser
- valg af andre former for belægninger

Andet:

- forlængelse af levetiden
- sikre holdbarhed, så ydelsen ikke falder med tiden
- sikre holdbarhed, så der ikke er behov for udskiftning eller reparationer
- integration i andre bygningsdele, så der opnås flere funktioner
- forbedring af informationsniveau ud til forbrugere f.eks. i form af mærkningsordning
- Miljøorienteret brugsanvisning til forbrugere, f.eks. med hensyn til bortskaffelse

Det er dog ikke entydigt at opstille retningslinier for en miljøoptimering af en solfanger, idet en forbedring af f.eks. solfangerens materialevalg kan medføre en forringelse af ydelsen osv. En samlet vurdering af, hvordan et solvarmeanlæg miljømæssigt kan optimeres ligger derfor udenfor dette projekts rammer.

9. Sammenfatning og konklusion

Gennemførelsen af livscyklusvurderinger på de i alt 15 forskellige solfangere har givet en god viden om de væsentlige miljøpåvirkninger der forårsages af solfangere. Denne viden kan bl.a. bruges til

- dokumentation af solfangernes miljøegenskaber i forhold til andre energikilder
- identifikation af de miljømæssige fordele og eventuelle problemområder forbundet ved anvendelse af solvarme
- identifikation af de områder, hvor solfangere kan miljømæssigt kan forbedres/optimeres
- sammenligning af solfangerne indbyrdes
- udvikling af retningslinier for fremstilling af mere miljøvenlige solfangere
- fastlæggelse af miljømæssige fokusområder, der bl.a. kan danne baggrund for en eventuel mærkningsordning

Hovedkonklusionerne fra projektet er samlet i afsnittene nedenfor.

Solvarme er miljøvenligt alternativ

Ved en sammenligning mellem solvarme og konventionelle energikilder til produktion af varmt vand, er solvarme et miljøvenligt alternativ. Det gælder både for påvirkninger af det ydre miljø samt for forbruget af verdens ressourcer.

Kort energitilbagebetalingstid

Især på energiområdet, som er en af de vigtigste faktorer for solfangere, er regnskabet positivt. Energitalbagebetalingstiden ved sammenligning med konventionelle energikilder er for solfangerne i gennemsnit ca. 0,6 år for solfangeren alene og 1,2 år for solfangeren inklusiv anlæg og energi til pumpen. Det betyder, at der i den resterende del af solfangerens forventede levetid på 20 år kan produceres energi helt uden miljømæssige omkostninger. Den energimæssige tilbagebetalingstid for solvarmeanlægget er væsentligt bedre end den økonomiske tilbagebetalingstid. Energitalbagebetalingstiden kan derfor med fordel anvendes som et led i en markedsføring, så køberne får en kvantificering af, hvor mange miljøpåvirkninger de ”sparer”.

Omtanke ved valg af materialer

Der er dog områder, hvor det er muligt at forbedre miljøegenskaberne for solfangere, så brug af solvarme bliver endnu mere attraktivt i forhold til konventionelle energikilder. De væsentligste ”problemområder” for solfangerne koncentrerer sig omkring anvendelsen af nogle enkelte materialer – kobber og rustfrit stål. Fremstillingen af disse metaller medfører bl.a. udledninger af tungmetaller og farligt affald, og forbruget af ressourcerne kobber, chrom og nikkel vægtes højt. Det kræver dog en nøjere analyse for at fastslå, hvorvidt der kan være miljømæssige fordele ved at substituere disse materialer med andre, idet en sådan substitution bl.a. kan medføre ændringer af solfangerens årlige ydelse.

Omtanke ved bortskaffelse/genanvendelse

Alle materialer i solfangeren repræsenterer en værdi rent miljømæssigt, og der kan derfor vindes meget både på energi-, emissions- og ressourceregnskabet, hvis solfangerne bort-

skaffes med omtanke. Det må forventes, at der i fremtiden vil blive stillet større og større krav til, hvordan affald, og måske især metalaffald skal behandles. Solfangerfabrikanten kan her bidrage til at sikre en hensigtsmæssig bortskaffelse ved at udarbejde retningslinier for bortskaffelsen f.eks. i forbindelse med den generelle brugsanvisning til solvarmeanlæggets brugere, samt ved mærkning af solfangeren.

Omtanke ved valg af underleverandører

En stor del af de miljøbelastninger, som solfangerne bidrager med, ligger udenfor solfangerfabrikantens egen produktion og dermed dennes direkte påvirkningsmuligheder. Miljøeffekterne ligger hovedsageligt hos producenter af de råmaterialer, som solfangeren består af. Hos en lang række producenter af råmaterialer arbejdes der med kortlægning af miljøpåvirkninger fra udvinding og produktion af de forskellige materialer. Det gælder både producenter af metaller som f.eks. Det Danske Stålvalseværk og internationale aluminiumsfabrikantsammenslutninger, men også for mange andre produkter, f.eks. mineraluld. For en lang række råmaterialer er det altså muligt at efterspørge miljødatablade eller lignende for det pågældende produkt. Solfangerfabrikanten kan bidrage til udvikling af mere miljøvenlige produkter ved at efterspørge miljø-dokumentation for råmaterialerne samt ved at vælge råmaterialer fra leverandører, hvor miljøhensyn er inddraget og kortlagt.

Behov for miljøvurderinger af det resterende anlæg

De overslagsberegninger, der er foretaget for det resterende solvarmeanlæg, har vist, at de energi- og miljømæssige egenskaber for disse er af samme størrelsesorden som selve solfangernes miljøegenskaber. Desuden medfører pumpens energiforbrug i driftsfasen generelt de største miljøpåvirkninger i forhold til den samlede vurdering. Der er derfor også behov for en grundig analyse af disse systemer og en vurdering af forbedringsmuligheder her. En indsats på disse områder kræver andre aktører end solfangerfabrikanterne, og hos en del af de producenter, der leverer produkter til solvarmeanlæg arbejdes der også med miljøvurderinger af produkterne.

10. Referenceliste

- Andersen, Sigurd. Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af byggematerialer. Rapport nr. 134, Institut for Husbygning, Danmarks Tekniske Højskole, 1979
- Bosanac, M. og Clausen, I-L, Måling af solfangereffektivitet, Prøvningsrapporter, 1997
- BPS katalog 121. Håndbog i miljørigtig projektering. Bind 2, Miljødata, Eksempler. BPS-publikation 121, januar 1998.
- Consoli, et al. Guidelines for Life-Cycle Assessments: A "Code of Practice". From a SETAC workshop held in Portugal, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, Brussels, 1993
- Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, Miljø & Energiministeriet, isbn nr. 87-7844-057-2, april 1996
- Energistatistik 97, Energistyrelsen
- Frees, N. og Pedersen, M. A., UMIP-enhedsprocesdatabase, Miljøstyrelsen, 1996
- Frischknecht, R. et al. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft, 1994
- Glasuld A/S. Miljøredegørelse 1997 for Glasuld a/s – Hvad gør Glasuld a/s for miljøet. Maj 1998
- Hauschild, Michael. Baggrund for miljøvurdering af produkter. UMIP – Udvikling af miljøvenlige industriprodukter. Instituttet for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet. Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, Dansk Industri, 1996
- ISO 14040, 1997. Dansk Standard, DS/EN ISO 14040:1997
- Jensen, Jerry M. og Lund, Hans. Design Reference Year, DRY – et nyt dansk referenceår. Meddelelse nr. 281, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet, oktober 1995.
- Miljøbeskyttelsesloven, Lovbekendtgørelse nr. 698 af 22. september 1998 om miljøbeskyttelse
- Miljøstyrelsen. Redegørelse om den produktorienterede miljøindsats. Miljøstyrelsen, februar 1998
- Miljøstyrelsen. UMIP PC-værktøj, Miljøstyrelsen, 1996
- Miljøstyrelsen & Energistyrelsen, 1994. Handlingsplan for en offentlig "grøn" indkøbspolitik, august 1994

- Nielsen og Jacobsen, J. E. og Jacobsen, T. D. Livscyklusvurdering af solfanger. Prøvestationen for solenergi, Dansk Teknologisk Institut, 1996
- Olesen, O. og Clausen, I-L, Holdbarhedsprøvninger af solfangere, Prøvningsrapporter, 1997
- Pauschinger, Th. & Achatz, B. Allgemeine Informationen zur Umweltbewertung von Solaranlagen (internal report), ITW Universität Stuttgart, 1998
- RAL, Deutsches Institut für gütesicherung und Kennzeichnung e.v. Environmental Label German "Blue Angel" – Product Requirements, May 1998.
- RENTEK, 1996. Informationssystemet for renere teknologi (Rentek), version 4, Miljøstyrelsen, København, 1996
- Rockwool A/S. Miljørigtig projektering og isolering,
- Stranddorf, H. K. et al. Thermal insulation products for walls and roofs – impact assessment and criteria for eco-labelling. dk-TEKNIK, 1995
- Wenzel, Henrik et al. Miljøvurdering af produkter. UMIP – Udvikling af miljøvenlige industriprodukter. Institutet for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet. Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, Dansk Industri, 1996
- Wenzel, Henrik. Miljøvurdering i produktudviklingen – 5 eksempler. UMIP – Udvikling af miljøvenlige industriprodukter. Institutet for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet. Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, Dansk Industri, 1996

www.indo.com/distance/

Bilag A Beregning af solfangerydelser

De årlige ydelser er beregnet ved hjælp af solfangerens effektivitetsligning samt design-referenceåret DRY (Jensen og Lund, 1995). Effektivitetsligninger for solfangerne er givet i (Bosanac og Clausen, 1997). Der er gjort følgende antagelser ved beregningen:

Solfangerorientering: Sydvendt, med en vinkel på 45° med vandret.
Indløbstemperatur: Konstant temperatur på 50°C
Væskestrøm: 0,75 l/min pr. m² solfanger

$$\text{Ligning: } Q = F''[\eta_0 G - a_1(T_i - T_a) - a_2(T_i - T_a)^2 - U_R(T_i - T_a)] * t \quad (1)$$

Symboler i ligning (1)

Q: Ydelse pr. m² solfanger [Wh]
 η_0, a_1, a_2 : Målte solfangereffektivitetskonstanter
 η_0 : starteffektivitet
 a_1 : 1. ordens varmetabskoefficient
 a_2 : 2. ordens varmetabskoefficient
G: Totalindstråling på timebasis iht. DRY
 T_a : Udelufttemperatur iht. DRY
 T_i : Inløbstemperatur til solfanger (50°C)
T: Tid = 1 time, da vejrdata i DRY er timebaserede
 F'' : Flowfaktor, $F'' = [1 - \exp(-U_L/w)]$
 U_L : Varmetabskoefficient v. 30K temperaturforskel, $U_L = a_1 + a_2 * 30K$ [W/(K/m²)]
w: Kapacitetsstrøm, $w = \rho c_p * v$ [W/K]
v: Væskestrøm [m³/s]
 U_R : Varmetabskoefficient for rør.

Årlig ydelse:

Den årlige ydelse beregnes som summen af alle positive bidrag fra ligning (1) ved gennemløb af referenceårets timebaserede værdier for totalstråling, G og udelufttemperatur, T_a .

Der er altså ikke taget hensyn til vindhastighed, øget refleksion i dæklag ved store indfaldsvinkler samt opdeling i direkte og diffus stråling. Det skønnes, at de her nævnte forsimplinger giver anledning til en usikkerhed på ±5%.

Varmetab i rørkreds:

Der regnes med 4 m PUR isolerede bløde Ø15 mm rør med en varmetabskoefficient på 0,18 W/K pr. meter rør. Tabet opfattes beregningsmæssigt som et tillægstab til solfangeren – tabet regnes altså til udeklimaet.

Pumpeenergi:

Ved beregning af pumpeenergi er antaget en effekt på 10W/m². Denne effekt er ganget med antal driftstimer for den aktuelle solfanger. Driftstimerne er de timer hvor ligning (1) giver et positivt bidrag.

Bilag B Materialedata

Oversigt over materialedata:

Materiale i solfanger	Datakilde	Bemærkninger
Metaller kobber aluminium rustfrit stål Ni-behandlet stål ikke-rustfri stål nikkel chrom	UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen UMIP-databasen	elektrolytisk, gennemsnitsdata hele verden elektrolytisk, gennemsnitsdata for Europa 18% Cr, 9% Ni, gennemsnit hele verden regnet som rustfri stål primær stål: Tyskland, genbrugsstål: DK elektrolytisk, gennemsnitsdata Europa ingen kvantitative data, kun små mængder
Glas uhærdet jernfattigt glas hærdet jernfattigt glas	UMIP-databasen UMIP-databasen	data for alm. planglas dvs. ikke jernfattigt som uhærdet glas + ekstra energiforbrug
Plast polycarbonat (PC) polypropylen (PP)	UMIP-databasen UMIP-databasen	gennemsnitsdata for Europa gennemsnitsdata for Europa
Isoleringsmaterialer stenuld glasuld PIR-skum (polyisocyanat)	Rockwool Glasuld A/S UMIP-databasen	energidata fra BPS katalog 121 energidata fra BPS katalog 121 som PUR-skum, opskumning med HFC
Tætningsmaterialer EPDM-gummi butyl-gummi silikone	UMIP-databasen UMIP-databasen ingen	som syntetisk gummi (polybutadien) som syntetisk gummi (polybutadien) silikone er ikke medtaget i analyserne
Biologiske materialer træ	UMIP-databasen	tørstofindhold + energi til forarbejdning
Øvrige Propylenglykol teflon	Frischknecht, 1992 RENTEK-databasen	solfangervæske ingen kvantitative data

Beregningsmodellen er opbygget, så der anvendes primær materiale som råmateriale til solfangeren. Hvis materialet genanvendes efter brug i solfangeren, trækkes det primære materiale fra og erstattes med sekundært materiale. Forbrug af en materialeresource bliver derved godskrevet solfangeren, uanset om der anvendes primære eller sekundære materialer som input til solfangeren. Kun hvis materiale genanvendes efter brug i solfangeren, bliver der ikke medregnet et træk på materialereserven.

I det følgende er beskrevet de forudsætninger og antagelser, der er foretaget for hvert materiale ved opbygningen af solfangermodellerne i UMIP-databasen.

Aluminium

Aluminium er et materiale, der indgår i forholdsvis stor mængde i stort set samtlige solfangere. Materialet anvendes typisk til kassen, som absorbereren er indbygget i, men i en del af solfangerne indgår aluminium også i selve absorbereren.

For aluminium er der anvendt data fra UMIP-databasen. Heri er listet værdier for hhv. 100% primær aluminium og 100% sekundær aluminium. For primær aluminium er der i databasen opgivet gennemsnitsdata for udvinding og produktion i Europa, mens der for sekundær aluminium er angivet data for oparbejdning og produktion i Danmark.

Kobber

Kobber indgår i de fleste af solfangerne, enten i selve absorbereren eller i form af manifoldrør eller bøjler til ind- og udløb af solfangervæsken. Kobber anvendes i solfangerne pga. materialets gode varmeoverføringsevne. De opgjorte data i UMIP-databasen er gennemsnitsdata for hele verden, og gælder for 82% primær kobber

Data for sekundær kobber er konstrueret ud fra det primære kobber, idet det er antaget, at energiforbruget til sekundær kobber er ca. 75% af energiforbruget til primær (82%) kobber. Alle øvrige miljøpåvirkninger er regnet ens, uanset om der anvendes primær eller sekundær kobber.

Rustfrit stål

Rustfrit stål indgår i en del af solfangerne. Det anvendes dels som kassemateriale, og dels som absorbermateriale. Data for 100% primær rustfrit stål er konstrueret ud fra data for sekundært rustfrit stål samt andre råmateriale data i UMIP-databasen, således at der opnås en legering med i alt 9% Ni og 18% Cr.

Input til ny primær råstål:

0,613 kg råjern (primær)
0,02 kg Ferrosilicium
0,09 kg Nikkel
0,02 kg Ferromangan
0,014 kg Ferrokrom LC
0,243 kg Ferrokrom HC

Begge ferrokrom-enhedsprocesser indeholder 70% krom og 30% jern. Energiforbruget til fremstilling af primær rustfri stål er antaget lig forbruget ved sekundær rustfri stålproduktion. Der er desuden antaget et samlet tab på 5% procent ved fremstillingsprocessen. Alle øvrige in- og output er lig data for sekundær rustfri stål.

Ikke rustfri stål

Ikke rustfri stål anvendes bl.a. i solvarmeanlæggets varmtvandsbeholder. Der er anvendt data fra UMIP-databasen. Data for primær stål er fra Tyskland, mens data for sekundær stål er fra Danmark.

Nikkel

For primær nikkel (Ni) er anvendt data for elektrolytisk nikkel fra UMIP-databasen. Data dækker fra udvinding til raffinering og elektrolyse og bygger på et europæisk gennemsnit. For sekundær nikkel medregnes kun et energiforbrug til omsmeltingen. Dette er regnet som omsmelting til brug i rustfri stål i elektrisk ovn med virkningsgrad på 50%.

Smeltevarme : 300 kJ/kg
Smeltepunkt : 1452°C
Varmekapacitet : 0.45 kJ/kgK
opvarmning fra : 20°C.

Krom

For krom kendes ikke data for udvinding af rent krom. Krom anvendes hovedsageligt i rustfri stål, hvor der anvendes ferrokrom, dvs. en malm med en blanding af jern og krom. Data for ferrokrom kendes fra UMIP-databasen.

For den mængde krom, der anvendes til selektive belægninger medregnes kun forbruget af krom som ressource, mens der er set bort fra energiforbrug, emissioner mm.

Glas

Glas anvendes i en stor del af solfangerne som transparent dæklag. Ofte anvendes glas med et lavt jernindhold, da dette øger den optiske effektivitet (jernindholdet øger refleksion af solstrålingen). Der er ikke i disse vurderinger taget højde for denne specielle glastype, idet det ikke har været muligt at skaffe informationer om, hvorvidt fremstilling af denne type glas afviger væsentligt fra fremstilling af almindeligt glas. Ofte anvendes hærdet glas, idet hærdningen øger glassets holdbarhed og brudstyrke.

For glas anvendes data fra UMIP-databasen, der angiver data for fremstillingen af almindeligt uhærdet glas. Dertil lægges et energiforbrug i produktionsfasen til hærdning af glasset på 0,6 kWh/kg (Andersen, 1979). I (Pauschinger & Aschatz, 1998) angives en værdi på 5,5 kWh/m² til hærdning, hvilket passer rimeligt for en glasplade på 4 mm. For både primært og sekundært glas er data gældende for gennemsnitslig europæisk produktion.

Stenuld

Miljødata for stenuld er sammensat af data fra miljøregnskab fra Rockwool og data fra (BPS-katalog 121, 1998).

Der er anvendt følgende data ved beregningerne for primær stenuld:

	Udveksling	mængde	enhed
Energiforbrug:	uspecificeret primær	13,6	MJ
Materiale input:	bjergmaterialer	470	g
	stenuldsaffald	420	g
	ler	310	g
	bakelit	20	g
	olieprodukter, uspecificeret	2	g
	vand (hjælpemateriale)	1	kg
Emissioner til luft:	CO ₂	920	g
	SO ₂	6	g
	Nox	1,9	g
	ammoniak	8,56	g
	formaldehyd	0,0879	g
	phenol	1,04	g
Affald:	uspecificeret volumenaffald	0,222	kg

For genanvendt stenuld er anvendt de samme energidata til omsmeltningsprocessen, og 20 g bakelit (bindemiddel) som nyt råmateriale.

Glasuld

Miljødata for glasuld er sammensat af data fra miljøregnskab for 1997 fra Glasuld A/S (Glasuld, 1998) og data for (BPS-katalog 121, 1998). Der er anvendt følgende data ved beregningerne:

	Udveksling	mængde	enhed
Energiforbrug:	uspecificeret primær	26,7	MJ
Materiale input:	calciumcarbonat	25	g
	natriumhydroxid	106	g
	glasskår	424	g
	uspecificerede materialer	304	g
	kvartssand	235	g
	bakelit	122	g
	vand (hjælpemateriale)	2528	g
	Emissioner til luft:	methan	0,0173
CO ₂		249	g
CO		0,057	g
SO ₂		0,00145	g
NO _x		0,22	g
partikler		3,3	g
ammoniak		8,56	g
formaldehyd		0,0879	g
phenol		1,04	g
Affald:		uspecificeret volumenaffald	0,191

For sekundær glasuld er anvendt data for energi og emissioner for genanvendelse af glas til flasker mm. Disse data er fundet i UMIP-databasen.

Træ

Træ som råmateriale anvendes som skelet i solfangerkassen. Data for energi og emissioner er angivet i forhold til tørstofindholdet i træet. Data for råmaterialet dækker for skovning af træet. Dertil er lagt et ekstra energiforbrug på 0,3 kWh/kg til opsavning (Petersen, 1998). Dette dækker en grov bearbejdning.

Det er antaget, at det anvendte træ ikke er behandlet i form af trykimprægnering eller lignende.

Polycarbonat PC-plast

Polycarbonat anvendes i enkelte solfangere som dæklag. Data for fremstilling af polycarbonat er fundet i UMIP-databasen. Opgørelsen fra UMIP-databasen er gennemsnitsdata fra Europa.

Polypropylen PP-plast

Polypropylen indgår i enkelte af solfangerne som materiale til selve absorbereren. Data for fremstilling af polypropylen er fundet i UMIP-databasen. Opgørelsen fra UMIP-databasen er gennemsnitsdata fra Europa.

PIR- og PUR-skum (poly-iso-cyanat)

PIR-skum er en afart af PUR-skum og anvendes som isoleringsmateriale i enkelte solfangere. PIR er medtaget som PUR-skum i beregningerne. PUR-skum anvendes også i varmtvandsbeholder og til rørsystemet. Det er antaget, at materialet opskummes med en HFC-gas. HFC-gasser har afløst CFC-gasser, der ikke anvendes til opskumning længere. Det forventes dog også, at HFC-gasser i nær fremtid skal erstattes af andre opskumningsmidler, eventuelt CO₂.

For råmaterialet og opskumningen er anvendt data fra UMIP-databasen, der dækker gennemsnitsdata for Europæisk produktion.

EPDM-gummi og Butyl-gummi

Alle former for syntetisk gummi, der anvendes i solfangerne som tætnings- og samlingsmateriale, er i beregningerne behandlet under et som syntetisk polybutadien (PB). Gummibånd og propper mm. tillægges et energiforbrug på 14,2 kWh/kg i form af el til forarbejdningsprocessen. Data for kunstgummi som råmateriale og forarbejdningsprocessen er fra UMIP-databasen.

Propylenglykol

Solfangervæsken består af 60% vand og 40% propylenglykol. Ved 20°C har denne blanding en massefylde på 1035 kg/m³. Propylenglykol fremstilles af vand, propylen og læsket kalk

(Ca(OH)₂). fremstillingen sker kemisk ved opvarmning til ca. 200°C under tryk (ca. 12bar) (Frischknecht et al., 1994).

Energiforbruget til opvarmning til 200°C kan beregnes til ca. 1,7 MJ/kg.

Teflondug

Teflon – polytetraflourethylen PTFE fremstilles ud fra chloroform og flussyre. Især flussyre kan udgøre en potentiel risiko for arbejdsmiljøpåvirkninger. I RENTEk-databasen er angivet, at der ved håndtering af teflon dannes støv, som kan være potentielt meget sundhedsskadeligt, hvis der f.eks. foregår cigaretrykning i nærheden. Dette skyldes, at teflonstøvet danner flussyre i cigaretgløden, og denne syre indåndes. Det er dog ved beregningerne antaget, at håndteringen af teflon sker forsvarligt, så der ikke risikeres indånding af teflonstøv eller flussyre.

Det er antaget, at folien fremstilles ved pålægning af teflon på en tekstildug. Denne proces er beskrevet i RENTEk-databasen. Med en godstykkelse af teflon på ca. 0,025 mm (Bosanac og Clausen, 1997) og en massefylde på 2200 kg/m³, er forbruget af teflon beregnet til 0,055 kg/m². Energiforbruget er ukendt, men der er her antaget et forbrug på 5 kWh/m².

Bilag C Bortskaffelse af materialer

Bortskaffelsesprocesserne for materialerne i solfangerne er modelleret særskilt for hvert materiale.

Aluminium

Aluminium kan i de forskellige scenarier bortskaffes på følgende måder:

Sortering: 100% sorteres korrekt, heraf opnås 95% sekundær materiale, der kan erstatte primær aluminium og 5% affald

Shredding: 78% sorteres fra som aluminium, 95% af dette kan erstatte primær materiale
20% sorteres med stål, dette forbrænder med energigevinst på 7,78 kWh/kg og ender som slagge
2% direkte til affald

Forbrænding: 100% forbrændes uden energigevinst og bliver til slagge

Aluminium, der er valset sammen med kobber bortskaffes sammen med kobber, og afbrændes til slagge i kobbersmelten. Derved kan der opnås en energigevinst på 7,78 kWh/kg aluminium.

Kobber

Kobber kan i de forskellige scenarier bortskaffes på følgende måder:

Sortering: 100% sorteres korrekt, heraf opnås 95% sekundær materiale, der kan erstatte primær kobber og 5% affald

Shredding: 67% sorteres fra som kobber, 95% af dette kan erstatte primær materiale
19% sorteres med stål, dette skal fortyndes med 178,6 kg råjern/kg kobber.
Derved erstatter råjernet 178,6 kg stålskrot, som bliver deponeret
14% direkte til affald

En del af kobberet bliver fjernet sammen med jern og stål i den magnetiske sortering. I stålfraktionen udgør kobber en væsentlig forureningskomponent, som kræver anvendelse af en større andel af primær jern til ny stålfremstilling. Desuden mistes kobber som ressource, når det iblandes stålet. Den højest tilladte kobberkoncentration i stål er 0,28%. Det betyder, at 1 kg kobber i princippet kræver opblanding med $1/0.0028 = 357$ kg primær råjern. Her er dog antaget, at kun halvdelen af kobberet i stålskrotet kræver opblanding, dvs. 178,6 kg primær råjern/kg kobber. Energiforbruget til opvarmning og smeltning af kobber i stålsmelten er beregnet ud fra stofværdier for kobber. Energiforbruget er regnet 100% el med virkningsgrad 50%.

varmekapacitet = 0.385 kJ/(kgK)

smeltevarme = 205 kJ/kg

smeltepunkt = 1083°C.

Rustfrit stål

Rustfri stål kan i de forskellige scenarier bortskaffes på følgende måder:

- Sortering: 100% sorteres korrekt, heraf opnås 95% sekundær materiale, der kan erstatte primær rustfri stål og 5% affald
- Shredding: 90% sorteres fra som rustfri stål, 95% af dette erstatter primær rustfri stål
5% sorteres med stål (ikke rustfri), 95% af dette kan erstatte primær stål (her mistes bl.a. krom og nikkel som ressourcer)
5% direkte til affald
- Forbrænding: 100% forbrændes uden energigevinst og bliver til slagge

Frasorteringen i shredder anlægget afhænger af, hvorvidt det rustfrie stål er ferritisk (magnetisk) eller austenitisk (ikke magnetisk). Det rustfrie stål, der anvendes i solfangerne er her regnet for austenitisk stål, dvs. nikkelholdigt stål. Dette er ikke magnetisk.

Nikkelfolie

- Sortering: 100% sorteres sammen med rustfri stål, heraf opnås 95% sekundær nikkel i rustfri stål, der kan erstatte primær nikkel og 5% affald
- Shredding: 80% sorteres fra sammen med rustfri stål, 95% af dette erstatter primær Ni.
20% direkte til affald

Ikke rustfri stål

Ikke rustfri stål er magnetisk og sortering af dette er derfor let og en stor procentdel bliver genanvendt uanset, om det sorteres manuelt eller automatisk.

- Sortering: 100% sorteres korrekt, heraf opnås 95% sekundært stål, der kan erstatte primær stål, og 5% affald
- Shredding: 97% sorteres korrekt og 95% af dette erstatter primær stål.
3% direkte til affald

Krom i belægninger

Krom anvendes i belægninger på kobber eller aluminiumsabsorbere. Dette kan ikke genindvindes, men bliver bortskaffet sammen med absorbermaterialet. Krom som ressource mistes efter brugen, men udgør ikke nogen alvorlig forureningskomponent i de andre materialer, da det oftest vil blive brændt af som slagge.

Træ

Træ i solfangere bliver i de forskellige scenarier bortskaffet på følgende måder:

Forbrænding: 100% forbrændes med kraftvarmeproduktion

Shredding: 100% shreds og ender som shredderaffald, der deponeres. Derved mistes muligheden for at udnytte energiindholdet i materialet.

Ved forbrænding kan der opnås en energigevinst på 15 MJ/kg.

Polycarbonat

Polycarbonat (PC) bliver i de forskellige scenarier bortskaffet på følgende måder:

Forbrænding: 100% forbrændes med kraftvarmeproduktion

Shredding: 100% shreds og ender som shredderaffald, der deponeres. Derved mistes muligheden for at udnytte energiindholdet i materialet.

Ved forbrænding kan der opnås en energigevinst på 20,85 MJ/kg.

Polypropylen

Polypropylen (PP) bliver i de forskellige scenarier bortskaffet på følgende måder:

Forbrænding: 100% forbrændes med kraftvarmeproduktion

Shredding: 100% shreds og ender som shredderaffald, der deponeres. Derved mistes muligheden for at udnytte energiindholdet i materialet.

Ved forbrænding kan der opnås en energigevinst på 32,6 MJ/kg.

PUR-skum

PUR-skum (og PIR-skum) bliver bortskaffet på følgende måder:

Forbrænding: 100% forbrændes med kraftvarmeproduktion

Shredding: 100% shreds og ender som shredderaffald, der deponeres. Derved mistes muligheden for at udnytte energiindholdet i materialet.

Ved forbrænding af PUR-skum kan der opnås en energigevinst på 20,25 MJ/kg

Propylenglycol

Solfangervæsken skal efter brug indleveres til kemikalieopsamling. Ved beregningerne er det antaget, at dette deponeres som uspecificeret kemikalieaffald.

Teflondug

Ved forbrænding af teflon dannes flussyre (HF), der dels er meget giftig at indånde, og dels er meget korroderende og dermed ødelæggende for forbrændingsanlægget. Teflon må derfor under igen omstændigheder forbrændes. Store affaldsforbrændingsanlæg vil dog ofte have røggasrensning, hvor syrer som f.eks. saltsyre og flussyre kan neutraliseres.

Ved livscyklusberegningerne er antaget, at dugen ikke forbrændes efter brug, men deponeres enten efter manuel sortering eller sammen med andet shredderaffald. Deponeringen sker uden dannelse af flussyre.

Bilag D Transportlængder og transportmidler

Transportafstande er regnet fra det pågældende lands hovedstad til København. For lande indenfor Europa er den reelle afstand beregnet som ca. 2 gange afstanden i fugleflugt. For lande udenfor Europa er den reelle afstand antaget at være 1,5 gange fugleflugtsafstanden.

Afstande mellem landes hovedstæder i fugleflugt er fundet på Internetadressen:

www.indo.com/distance/

Disse transportafstande er kun en tilnærmelse til det reelle transportarbejde som solfangerens dele gennemgår i løbet af livscyklus.

Transportfase:	Oprindelsesland	Afstand i fugleflugt [km]	Reel afstand [km]	Anvendt transportmiddel
Transport af råmaterialer:				
aluminium	Norge	481	1000	lastbil/skib
kobber	Finland	885	1800	lastbil/skib
rustfrit stål	Tyskland	661	1200	lastbil
polycarbonat PC	Østrig	876	1800	lastbil
polypropylen PP	Tyskland	661	1200	lastbil
træ	Sverige	526	1000	lastbil/skib
glas	USA	6518	10000	lastbil/skib
nikkel-folie	England	953	1900	lastbil/skib
øvrige materialer	Danmark	-	150	lastbil
Import af solfangere:				
hele solfangere	USA	6518	10000	lastbil/skib
hele solfangere	Australien	16042	24000	lastbil/skib
Distribution				
hele solfangere	Danmark	-	150	lastbil
Transport til bortskaffelse				
hele solfangere	Danmark	-	200	lastbil