

## Zonne-energie voor verwarmingsdoeleinden

***Citation for published version (APA):***

van Koppen, C. W. J. (1975). *Zonne-energie voor verwarmingsdoeleinden*. (EUT report. WPS, Vakgr. warmte-, proces- en stromingstechniek; Vol. WPS3-75.11.R250). Technische Hogeschool Eindhoven.

***Document status and date:***

Gepubliceerd: 01/01/1975

***Document Version:***

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

***Please check the document version of this publication:***

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

***General rights***

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

***Take down policy***

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

ZONNE-ENERGIE VOOR VERWARMINGSDOELEINDEN.

Voordracht gehouden door prof.ir. C.W.J. van Koppen op het Symposium:  
"Energie, nu en morgen", georganiseerd door het Werktuigbouwkundig  
Studiegenootschap "Isaac Newton", THT, op 23 oktober 1975 ter gelegenheid  
van haar 2e lustrum.

Leenbureau Centr. Bibl.  
T.H. Eindhoven 7

INLEIDING.

Het onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van zonne-energie vertoont een zekere analogie met het hofmaken aan een zakenvrouw, zoals ik mij dat voorstel. De schoonheid en de vriendelijkheid kunnen iemand enthousiast maken, temeer wanneer er perspectieven zijn van eeuwige trouw. Maar in elke situatie en bij elk wild plan dat wordt voorgesteld valt steeds weer de vraag: Wat moet dat gaan kosten?

Ik zal vanmiddag voornamelijk spreken - om mijn bijdrage kort te houden - over het benutten van zonne-energie voor de verwarming van woonhuizen en de warmwatervoorziening. Dit betekent echter niet dat er geen mogelijkheden zijn voor het benutten van zonnewarmte bijvoorbeeld in de utiliteitsbouw. Er zijn daar veel parallellen aan te wijzen met de mogelijkheden in de woningbouw, maar de utiliteitsbouw is zo gevarieerd, dat ik meende de mogelijkheden die er liggen beter te kunnen overbrengen zonder op toepassingen in de utiliteitssector in te gaan. Ten tweede zal ik er verder van afzien te vermelden dat de gegevens en verhoudingen, zoals deze in Nederland liggen, ook gelden voor een groot deel van Noord-West Europa.

U mag dus datgene wat ik straks specifiek voor ons land aangeef uitbreiden, met enige modificaties, zowel naar de utiliteitssector als naar Noord-West Europa.

Het benutten van zonne-energie is slechts één van de opties die onze maatschappij heeft voor haar toekomstige energievoorziening. Op zich is dit een gunstige omstandigheid, want geen samenleving is minder stabiel en meer kwetsbaar dan een samenleving waarin op een belangrijk terrein slechts één optie voorhanden is. Als we niet in paniek raken en hoop hebben voor de toekomst, wat onze energievoorziening betreft, mag dit vooral zijn grond vinden in de veelvuldigheid van de mogelijkheden die er nog liggen.

## 2. PLAATS VAN HET BENUTTEN VAN ZONNE-ENERGIE.

Het benutten van zonne-energie voor verwarmingsdoeleinden vormt een onderdeel van de acties die we voor verstandiger verwarmen zullen moeten ondernemen. In de lijst van prioriteiten staat het, naar mijn mening, op de derde plaats (zie kader 1).

### Kader 1

#### Volgorde van acties voor verstandiger verwarmen.

1. Thermisch isoleren van woningen en gebouwen.
2. Energiebewuster ontwerpen van gebouwen en van toestellen.
3. Benutten van energiebronnen in plaats van energie-voorraden.

Eerst zullen wij namelijk moeten beginnen met het thermisch beter isoleren van woningen en gebouwen. Daaraan is nog veel werk te doen, want de conventionele bouwmethodes roepen veel moeilijkheden op wanneer een betere thermische isolatie wordt nagestreefd. Het is b.v. moeilijk, en op dit moment vrij kostbaar, om de dikte van de isolatie in een spouwmuur boven 8 cm op te voeren. Een isolatiedikte van 25 cm, die in de Skandinavische landen wel wordt toegepast, zullen we hier pas kunnen bereiken als ook de standaardmethodes voor de bouw zijn aangepast.

De tweede maatregel die we zullen moeten nemen is het energiebewuster ontwerpen van gebouwen en toestellen. Wat de toestellen betreft ligt dat duidelijk; we zullen het rendement moeten opvoeren. Wat het energiebewuster ontwerpen van gebouwen, anders dan door thermisch isoleren, betreft, zal ik straks nog een enkel voorbeeld geven om duidelijk te maken hoe we dat wel, en hoe we dat niet zullen moeten doen.

De derde maatregel voor verstandiger verwarmen tenslotte is het benutten van energiebronnen in plaats van energievoorraden. Deze termen worden vaak in een andere betekenis gebruikt dan ik ze hier bedoel, maar als ik ze tegenover elkaar stel, moet het duidelijk zijn dat ik met energiebronnen echte bronnen bedoel, waarvan we mogen hopen dat ze nog lange tijd kunnen blijven stromen. Een van deze bronnen is zonne-energie.

Ik had U beloofd nog een voorbeeld te geven van het energiebewuster ontwerpen van gebouwen. In fig. 1 is een huis uit het zuiden van de Verenigde Staten (Nieuw Mexico) afgebeeld, waarvan de zuidmuur in zijn geheel van glas is voorzien. Duidelijk met de bedoeling om vooral 's winters, als de zon wat lager staat, zoveel mogelijk energie van de zon in het huis te laten doordringen. Daarnaast zijn de muren aan de noordkant van weinig ramen voorzien en thermisch goed geïsoleerd. Om te voorkomen dat 's zomers het huis oververhit wordt, is verder boven de ramen een dakoverstek aangebracht, zodat de zon dan niet naar binnen schijnt. Dit huis vormt een heel eenvoudig voorbeeld van het energiebewuster ontwerpen van een woning. Als wij op het ontwerp echter verder ingaan blijkt dat in het voor- en najaar het huis veel te warm wordt, omdat de zon dan betrekkelijk laag staat, zodat het dakoverstek niet functioneert, terwijl de temperaturen buiten toch al aanzienlijke waarden bereiken. Dit eenvoudige voorbeeld illustreert hoe gemakkelijk er bij het energiebewuster ontwerpen van woningen en gebouwen ernstige fouten gemaakt worden. Door de juiste plaatsing en dimensionering van ramen, door het toepassen van goede isolatie, en door de warmtecapaciteit van muren en vloeren in te schakelen bij de klimaatbeheersing, kan veel worden bereikt, maar er moet wel goed aan gerekend worden, anders loopt het beslist op een of ander punt mis. Gelukkig stelt de computer ons thans in staat de vereiste berekeningen te maken.

Een onderdeel van figuur 1, waar ik U nog op wil wijzen, is de dubbele collector die voor het huis tegen de helling van de heuvel ligt. Met deze collector wordt het huishoudelijke warm water bereid. Het betreft hier dus een zonneboiler, een toepassing waar ik het straks nog even over zal hebben.

Om de plaats van het gebruik van zonne-energie voor verwarmingsdoeleinden juister te zien, lijkt het mij goed deze toepassing ook nog eens naast enkele andere mogelijkheden voor het gebruik van zonne-energie te stellen. Kader 2 geeft daarvan een - niet volledige - lijst.

Kader 2

Weg	Rendement (%)	
	Energetisch	Exergetisch
Fotosynthese	0,5-2 (10)	0,2-0,8
Fotovoltaïsch	ca 15	ca 15
Stoom-opwekking	50-70	15-30
Ruimteverwarming	50-70	ca 5

Het gebruik van zonne-energie langs de weg van fotosynthese is, eenvoudig gezegd, het laten groeien van bomen of planten en het opstoken daarvan. De weg van de stoom-opwekking, waarbij door de zonnestraling te concentreren water in stoom kan worden omgezet, kan gemakkelijk worden benut om electriciteit te maken. Als laatste vermeldt de tabel de ruimteverwarming, mijn hoofdonderwerp van hedenmiddag.

In het kader zijn naast elkaar aangegeven het energetisch en exergetisch rendement dat bij deze verschillende wegen voor het benutten van zonne-energie kan worden bereikt.

Voor de fotovoltaïsche weg is het energetisch rendement gelijk aan het exergetisch rendement. In beide gevallen kan ongeveer 15% van de opgevangen zonnestraling worden omgezet in de definitieve energievorm. Omdat dit electriciteit is, zijn het energetisch en het exergetisch rendement gelijk. Wat de fotovoltaïsche methode betreft is het nog interessant op te merken dat de literatuurstroom op dit terrein het laatste half jaar is opgedroogd. Dit niet omdat er geen nieuws is, maar omdat het nieuws commercieel interessant begint te worden. We mogen op dat gebied dus nog wel op een paar verassingen in de komende jaren rekenen.

De weg van de fotosynthese heeft energetisch een rendement van 0,5 tot 2%, dat wil zeggen voor de gangbare agrarische produkten. Er zijn echter speciale planten, o.a. algen, waarmee het licht van de zon met een rendement van 10% in organisch materiaal kan worden omgezet. De energie-inhoud van het gevormde organisch materiaal bedraagt m.a.w. 10% van de hoeveelheid

zonne-energie die werd ontvangen. Door het organische materiaal te verbranden kan stoom, proceswarmte, en vervolgens ook electriciteit worden gemaakt. Het exergetisch rendement kan daarbij ongeveer 40% van het energetisch rendement bedragen.

Wanneer met zonne-energie direct stoom wordt gemaakt, kan daarbij een rendement van 50 tot 70% worden gehaald, afhankelijk van de perfectie die in het focuseren van de zonne-energie wordt bereikt. Bij een daarop volgende omzetting in electriciteit is een rendement van 30 tot 40% bereikbaar, zodat het exergetisch rendement 0,3 à 0,4 x het energetisch rendement bedraagt.

Bij het benutten van de zonne-energie voor verwarmingsdoeleinden ten slotte, staat tegenover een hoog energetisch rendement een laag exergetisch rendement; de verhouding bedraagt ruwweg een faktor 10. Hierin komt tot uiting dat voor de verwarming van woningen en voor de warmwatervoorziening eigenlijk maar heel laagwaardige energie nodig is. Nu geldt in de techniek algemeen dat de fabricage van apparatuur, die een laag exergetisch rendement mag hebben, meestal gemakkelijk en goedkoop is. Technisch gezien is dit de reden waarom het benutten van zonne-energie voor verwarmingsdoeleinden op korte termijn de beste kansen biedt.

### 3. BESCHIKBARE ZONNE-ENERGIE IN NEDERLAND.

Alvorens aan de toepassing te gaan werken, is het echter wel goed eerst eens na te gaan hoe we er in Nederland, met ons in het algemeen niet zonnige klimaat, eigenlijk voorzitten. In figuur 2 is grafisch het verloop weergegeven van de stralingsintensiteit op een hellend oppervlak ( $60^{\circ}$  hellend op het zuiden) over het jaar. De intensiteit is uitgezet in Watts per  $m^2$ , gemiddeld over het etmaal. Zoals verwacht kon worden is de stralingsintensiteit in de zomer redelijk hoog, maar 's winters laag. Het etmaalgemiddelde bedraagt 's winters minder dan de helft van dat in de zomer.

Behalve de verhouding tussen de stralingsintensiteit in de winter en in de zomer, is verder van belang dat elke installatie die gedurende het hele jaar warmte kan gebruiken, alleen daardoor al veel economischer is dan een installatie die maar een deel van het jaar benut kan worden. Een zonneverwarmingsinstallatie, die alleen in de wintermaanden, november, december, januari en februari, ten volle effectief is, moet energie

winnen uit een lage stralingsintensiteit en zal ver achterop komen bij b.v. een collector waarmee tapwater verwarmd wordt, en die het hele jaar kan werken en de relatief hoge stralingsintensiteit in de zomer kan benutten. Een berekening leert dan ook dat in het laatste geval een jaaropbrengst van ongeveer  $500 \text{ kWh/m}^2$  collectoroppervlak verwacht mag worden, tegen slechts  $200 \text{ kWh/m}^2$  bij een verwarmingsinstallatie.

#### 4. ECONOMISCHE ASPECTEN.

Het is wat moeilijk deze kWh (die thermisch bedoeld zijn) wat hun waarde betreft precies in te schatten. De energieprijzen zijn nogal aan fluctuaties onderhevig en over de rendementen van toestellen kan ook gediscussieerd worden. Rekenend met een niet al te slecht rendement van de toestellen ligt een prijs van  $f 0,05$  per thermische kWh echter niet al te ver bezijden de waarheid. Ik ga daarbij af op de prijs van huisbrandolie en niet op de kunstmatige prijs, die aardgas in Nederland op dit moment heeft. Bij een zonneboiler bedragen dan jaarlijks de baten  $f 25,--/\text{m}^2$  collectoroppervlak (zie kader 3).

##### kader 3

Perspektieven zonneboiler Nederland.

a) Jaaropbrengst  $500 \text{ kWh}$  per  $\text{m}^2$  kollektoroppervlak;  
baten  $f 25,--$ .

b) Montage-gerede componenten voor partikulier  
 $f 150,--$  à  $f 200,--$  per  $\text{m}^2$

Akties:

1) Uitwerken ontwerp ( $4$  à  $6 \text{ m}^2$ ).

2) Opzetten serieproduktie componenten.

We kunnen nu verder een schatting maken van de prijs die voor een dergelijke zonneboiler zal moeten worden betaald. Nemen wij daarvoor het aparte geval, dat het gaat over de montagegerede componenten voor de partikulier, dan kan verdedigd worden dat die tussen  $f 150,--$  en

f 200/m<sup>2</sup> collectoroppervlak zullen gaan kosten. Gedacht is daarbij aan een niet al te groot opslagvat van b.v. 0,5 m<sup>3</sup>, een warmwatervoorraad dus voor drie tot vier dagen in een doorsnee gezin.

Het lijkt mij dat er in Nederland veel handige knutselaars zijn, die het ook een goede zaak vinden geen energie te verspillen, en dat het daarom voor onze lichte metaalindustrie de moeite waard is eens naar de mogelijkheden van het fabriceren van deze componenten te kijken. Het zou voor een instituut dat dichtbij de consument staat, zoals b.v. het VEG Gasinstituut en voor overheidsdiensten die dicht bij de burger staan, zoals de technische diensten van gemeenten, eveneens interessant kunnen zijn, aandacht aan de zonneboiler te besteden. En ook wel nodig, omdat op grond van deze cijfers particuliere interesse te verwachten is, en voorkomen moet worden dat deze onmiddellijk in de kiem wordt gesmoord, doordat er op een verkeerde of onveilige manier gewerkt gaat worden.

Op grond van de cijfers in kader 3 liggen er twee akties voor de hand:

- er moet een ontwerp uitgewerkt worden, b.v. door enkele van de juistgenoemde instellingen, en
- vooral door de industrie zou de opzet voor een serie-produktie van de componenten moeten worden bestudeerd.

Vermeldenswaard is in dit verband dat een wat anders opgezette studie in Duitsland tot in hoofdzaak dezelfde resultaten heeft gevoerd, wat mijn vertrouwen in de zojuist aangegeven richting versterkt.

## 5. RUIMTEVERWARMING.

Voor de ruimteverwarming met zonne-energie liggen de verhoudingen in Nederland ongunstiger. De redenen zijn, zoals al werd vermeld dat de warmte in de winter bij een gemiddeld lage stralingsintensiteit moet worden gewonnen en dat de installatie maar gedurende vier maanden per jaar op volle kracht kan werken. Weliswaar kan 's zomers uit dezelfde installatie warm water worden betrokken, maar eigenlijk is de installatie daarvoor dan veel te groot.

De kosten van een zonneverwarmingsinstallatie mogen op dit moment op basis van gegevens uit de Verenigde Staten en berekeningen die we in het kader van ons zonne-energieproject aan de T.H. Eindhoven hebben gemaakt, gesteld worden op f 300,-- à f 400,-- per m<sup>2</sup> collectoroppervlak. De jaaropbrengst per m<sup>2</sup> collectoroppervlak is 200 kWh, misschien iets



meer. De baten komen daarmee op rond  $f$  10,-- per jaar per  $m^2$  collectoroppervlak.

Een volgende vraag is dan hoe deze baten gekapitaliseerd moeten worden om de toelaatbare investering te vinden. Normaal zou daarvoor wel met een 7-voud van de jaarlijkse besparing gerekend mogen worden. In ons geval mogen wij, meen ik, wat hoger gaan vanwege de milieuvriendelijkheid van de zonneverwarming en het energie-politieke voordeel van een eigen energievoorziening.

Stellen wij daarom de verhoudingsfaktor tussen de baten en toelaatbare investering op 10, dan komen wij uit op gekapitaliseerde baten van  $f$  100,-- per  $m^2$  collectoroppervlak.

In figuur 3 zijn de kosten die ik genoemd heb grafisch weergegeven. Ze gelden voor fabricage in serie, d.w.z. enkele honderden installaties per jaar en enkele 10.000-en  $m^2$  collectoroppervlak. In de V.S. begint een dergelijke produktie-omvang thans normaal te worden.

Dit bedrag omvat nog bijzonder veel arbeidskosten; een niet irreële schatting is mede daarom dat de kosten bij massaproductie nog slechts ongeveer 40% zouden kunnen dalen, d.w.z. van  $f$  350,-- naar ruim  $f$  200,-- per  $m^2$ . Aan de andere kant mogen we naast de gekapitaliseerde baten van de verwarmingsinstallatie nog met een besparing op de dakbedekking rekenen. Bij de  $f$  100,-- baten mogen daarom nog ongeveer  $f$  25,-- worden opgeteld. Wij spreken hierbij over collectoren, die eenvoudig op het dak worden gelegd en daarbij een deel van de normale dakbedekking vervangen. De verhouding tussen kosten en baten die intussen overblijft, ligt zelfs bij massaproductie nog tussen de  $1\frac{1}{2}$  en de 2. De nuchtere vraag voor de onderzoeker is dan of er kans is dat deze afstand in de toekomst kan worden overbrugd. Wanneer in de toekomst is daarbij nog een volgende vraag, die een meer gedetailleerde analyse vraagt dan ik hier kan geven, en waarop het antwoord zelfs dan nog onzeker blijft.

## 6. HOOFDLIJNEN VOOR VERDER ONDERZOEK.

Evident is echter dat het onderzoek er vooral op gericht zal moeten zijn de kosten verder te verlagen. Welke mogelijkheden zijn er daarvoor? Een belangrijke mogelijkheid ligt in het feit, dat de kosten waar ik tot nu toe over gesproken heb, collectoren betreffen die eenvoudig op het dak worden gelegd, of afzonderlijk worden opgesteld met een eigen ondersteuning

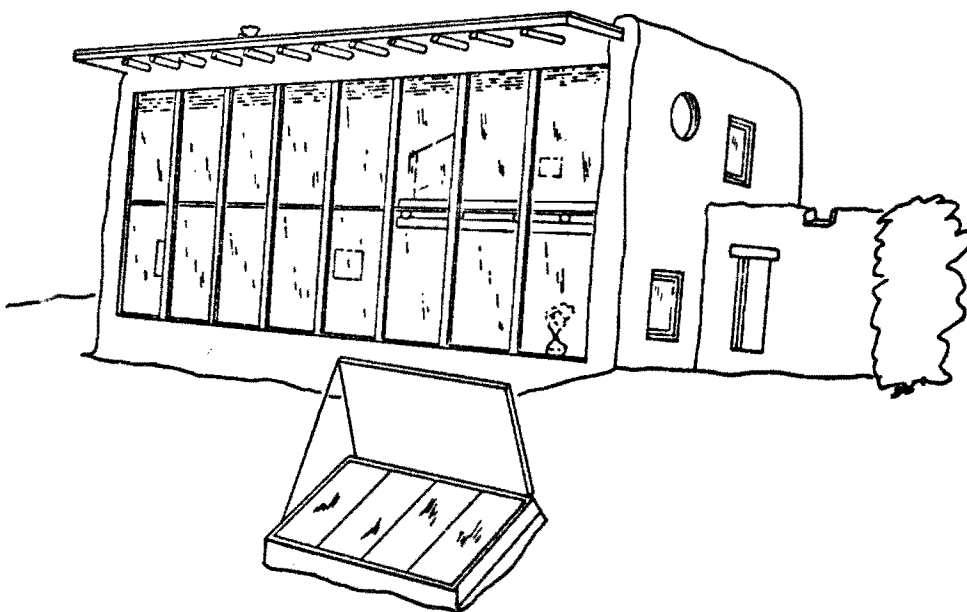
op een plat dak. Het is echter ook mogelijk het absorberende oppervlak, waarmee zonne-energie wordt ingevangen te integreren in de dakconstructie, zodat de hele ombouw die bij een normale collector aanwezig is, vervangen wordt door de min of meer normale, maar natuurlijk wel aangepaste, dakconstructie. Uit deze "integratie" kunnen belangrijke besparingen komen. Andere besparingen zijn mogelijk omdat nu nog, naast de volledige conventionele verwarmingsinstallatie, een geheel afzonderlijke zonneverwarmingsinstallatie moet worden betaald. De conventionele installatie is nodig omdat de zonneverwarming eenvoudig niet altijd de vereiste warmte kan leveren. Maar het is mogelijk om b.v. de bufferfunctie van een boiler over te laten nemen door het opslagvat van de zonneverwarmingsinstallatie, en van de c.v. ketel is alleen de brander essentieel onmisbaar. Dat betekent dat ook door de integratie van de zonneverwarmingsinstallatie met de conventionele verwarmingsinstallatie nog besparingen mogelijk zijn.

Een tweede mogelijkheid die verder onderzoek waard is, is het opslaan van de warmte die in de zomer gewonnen kan worden voor de winter. Momenteel lopen studies in de V.S., en ook aan de T.H. Eindhoven is men daarmee begonnen, over de mogelijkheid warmte op te slaan in de bodem onder of bij het huis. Het is niet uitgesloten dat in deze richting oplossingen gevonden kunnen worden die niet al te kostbaar zullen zijn. Lukt dit, dan komt daarmee de zonneverwarmingsinstallatie in de situatie van de zonneboiler te verkeren, omdat de zonnewarmte van het hele jaar gebruikt kan worden in de winter.

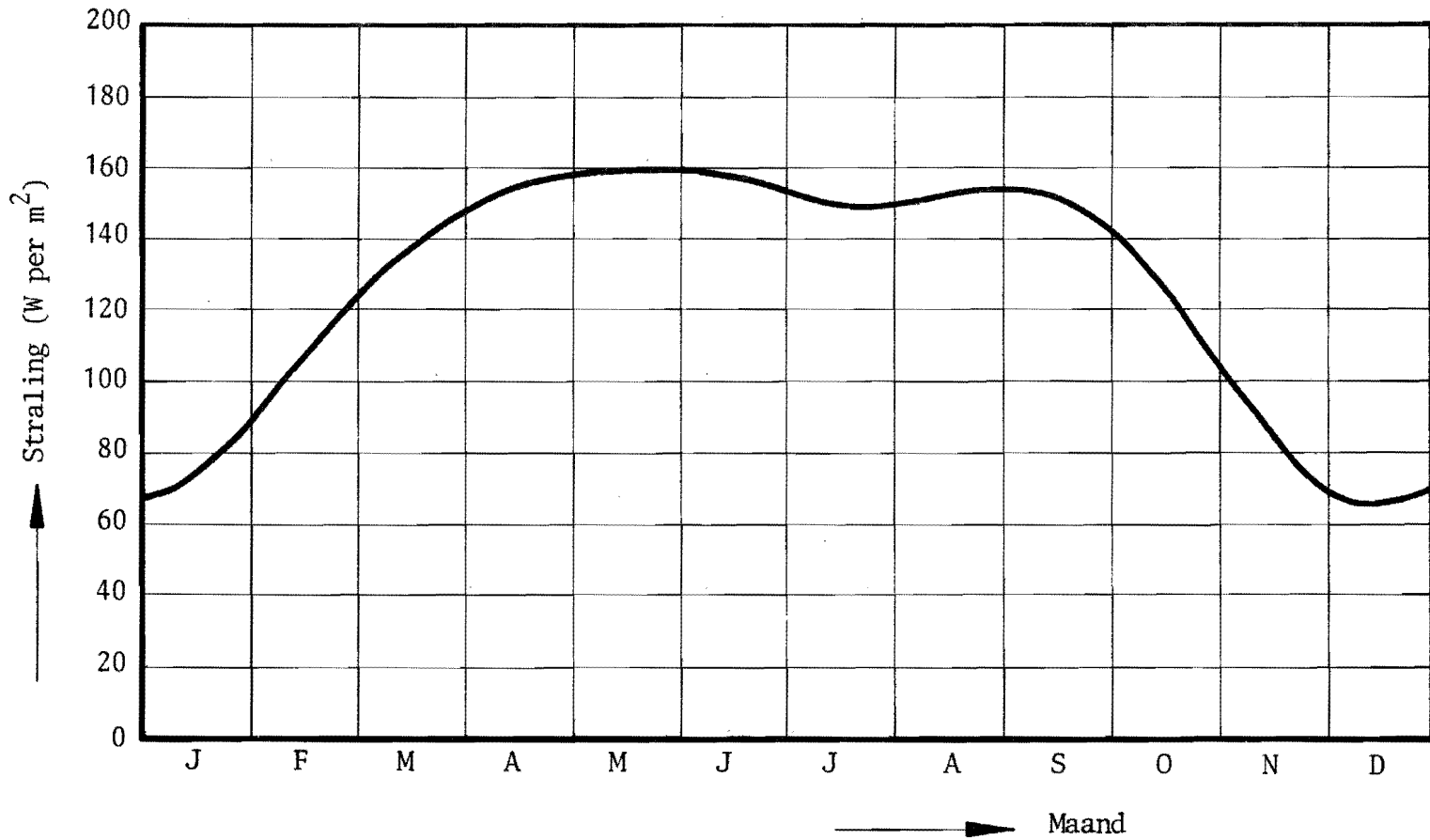
Een derde factor die tenslotte nog een belangrijke rol kan spelen, is de mogelijke stijging van de energieprijzen. De algemene verwachting is, dat deze in de komende jaren 2 tot 5% zal bedragen.

Het is niet mogelijk uit de gegevens precies af te leiden wanneer zonneverwarming in Nederland rendabel kan worden. Wel heb ik persoonlijk het vermoeden dat de zonneverwarming rond 1985 wel eens op grotere schaal interessant zou kunnen worden. Zeker is dat er in speciale situaties al eerder interessante mogelijkheden in zitten.

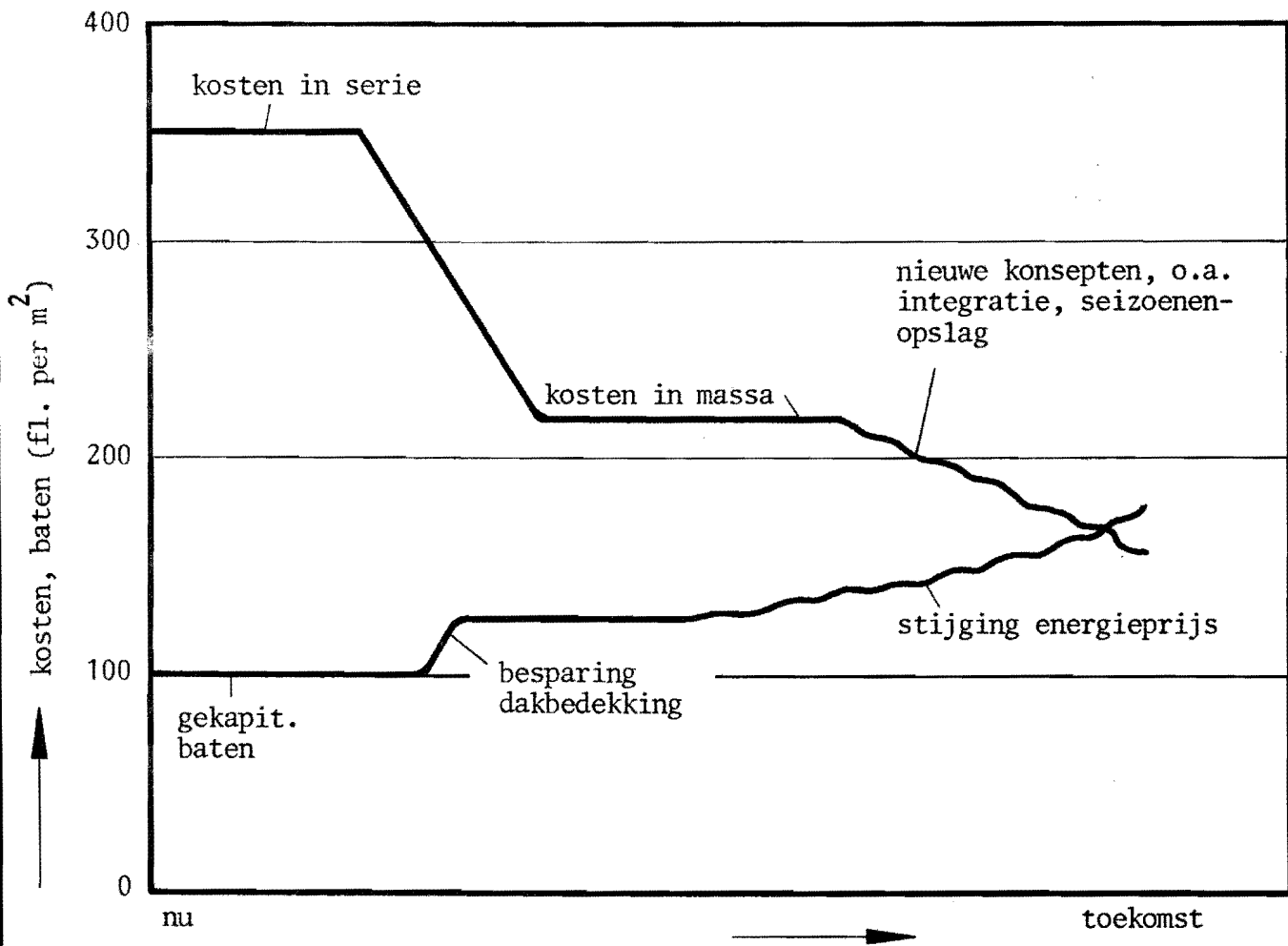
En verder lijkt het mij duidelijk dat als we verder willen komen, in ieder geval bouwkundigen en werktuigbouwkundigen zullen moeten samenwerken om de integratie van installatie en woning of gebouw tot stand te brengen.



Figuur 1. Het "David Wright" huis, U.S.A., N.M.



Figuur 2. Stralingsintensiteit op hellend oppervlak ( $60^\circ$  op Z., etmaalgemiddelde)



Figuur 3. Zonneverwarming in Nederland?

(jaaropbrengst 200 kWh per m<sup>2</sup> kollektoroppervlak, baten f 10,-- per jaar).