

Benutting ZonneWarmte bij Drogen en Bewaren

Een efficiënte toepassing van Duurzame Energie in de Bloembollensector

Jeroen Wildschut

© 2015 Wageningen, Wageningen UR/Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Stuurgroep Schone en Zuinige Bloembollen / Meerjarenafspraak energie Bloembollen (KAVB, min.EZ, RVO.nl en telers).



Projectnummer: 37 361 683 13

Wageningen UR / Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 - 462121
E-mail : info.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	7
2 WERKWIJZE.....	7
3 RESULTATEN	8
3.1 Zonnedak in de Praktijk	8
3.2 Modelmatige analyse	11
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	20

Samenvatting

Het aandeel thermische duurzame energie van slechts 1,1% loopt ver achter op de doelstelling van het convenant Schone en Zuinige Bloembollensector van 6,4% in 2011 oplopend tot 20% in 2020.

Juist met het benutten van zonnewarmte voor het drogen en bewaren van bloembollen kan op eenvoudige wijze veel energie bespaard worden, en het aandeel duurzaam opgewekte thermische energie fors toenemen.

Doelstellingen van dit project zijn daarom het in kaart brengen van de beschikbare technologieën die van toepassing zijn in de bloembollensector, het evalueren van praktijkvoorbeelden en vergroten van draagvlak voor deze vorm van duurzame energie.

Een 20-tal bedrijven dat zonnewarmte toepast is benaderd om een eerste dataset samen te stellen. Uit deze groep bedrijven is een selectie gemaakt om te bezoeken, nadere gegevens te verzamelen en om klimaatcomputers uit te lezen.

Om benutting van zonnewarmte op de verschillende bedrijven te kunnen vergelijken, is een rekenmodel ontwikkeld waarmee op basis van instraling, ventilatiedebiet en de temperatuursverschillen tussen buitenlucht, cellucht en zonnedak, de energieopbrengsten en rendementen kunnen worden bepaald. Met het model is ook berekend wat het rendement van warmteopslag zou kunnen zijn. De belangrijkste parameters hierbij zijn de tijdens het droog- en bewaarperiode totale ingestraalde zonnewarmte, de warmtevraag, de maximale nuttig geleverde warmte, de opgenomen warmte en de leverbare warmte indien warmteopslag voor 1 of voor 3 dagen mogelijk zou zijn.

Gemiddeld werd op de beschouwde bedrijven 33% van de zonne-energie nuttig gebruikt voor drogen en of bewaren, het hoogste rendement was 66%. Hiermee wordt door zonnedaken zonne-energie het meest efficiënt toegepast: fors meer dan het rendement van fotovoltaïsche panelen (maximaal 20% van de zonne-energie wordt omgezet in elektrische energie) of biomassa (het rendement van zonne-energie bij het verbranden van hout is minder dan 1 %).

De met glas bedekte zonnedaken zijn hierbij het efficiëntst, vooral naar mate de warmtevraag hoger is (door een hoge bewaar temperatuur zoals bij de heetstook van hyacint), en bij een hoger ventilatiedebiet per m² zonnedak.

Bedrijven die het dak alleen voor drogen gebruiken benutten een veel kleiner deel van de zonne-energie die tussen 1 juni en 1 november beschikbaar is, maar dekken hiermee wel een voldoende groot deel van de warmtevraag van het droogproces.

Warmteterugwinning en nalevering van gebouwwarmte vergroten het benutten van zonnewarmte.

Veel zonnewarmte blijft onbenut omdat overdag de warmtevraag vaak kleiner is dan de hoeveelheid zonnewarmte. Door dit overschot voor 24 uur op te slaan zou het rendement van een zonnedak gemiddeld meer dan verdubbelen. Opslag voor een langere periode levert nauwelijks meer extra warmte op dan opslag voor 24 uur.

Uitgaande van een investering voor van 20 jaar, en gerekend met een over die periode gemiddelde gasprijs van €0,75/m³, zou warmteopslag bij de met glas bedekte zonnedaken zeer rendabel zijn.

Bij de zonnedaken met een metalen dak die alleen voor drogen worden gebruikt zou warmteopslag ook bij een gasprijs van €0,75 niet renderen, maar wordt het zonnedak ook voor bewaren gebruikt, dan zou warmteopslag het rendement bijna verdubbelen.

Het met glas afgedekte zonnedak is het meest aanbevolen type. Het zonnedak met een metalen dak zou verbeterd kunnen worden door er alsnog een glazen dek boven te plaatsen. Warmteopslag is aanbevolen voor zonnedaken die voor bewaren (of voor bewaren *plus* drogen) worden gebruikt, maar niet voor zonnedaken die uitsluitend voor drogen gebruikt worden. Deze laatste is aanbevolen het dak ook voor bewaren te gebruiken, door naar de bewaarcellen ruime kanalen aan te leggen. Op deze manier wordt het rendement verhoogd en vindt ook enige nalevering vanuit de kanalen plaats.

Naar efficiënte methoden van 24 uren warmteopslag in ondergrondse watertanks, of met PCM (Phase Change Materials), is nader onderzoek & ontwikkeling nodig.

1 Inleiding

In 2011 werd volgens de Energiemonitor van de Nederlandse Bloembollensector slechts 0,6% van de thermische energie duurzaam opgewekt. In 2012 was dat toegenomen tot 0,8%, en in 2013 tot 1,1%. Hiervan werd 0,3 % door een zonnedak geleverd en 0,9% door het drogen met warme kaslucht. Daarmee loopt de toename van het aandeel thermische duurzame energie ver achter bij de doelstellingen van het convenant Schone en Zuinige Bloembollensector, nl. een aandeel duurzame energie van 6,4% in 2011 en oplopend tot 20% in 2020.

Ook op de toename van het aandeel duurzaam opgewekte elektrische energie (d.m.v. windmolens en zonnepanelen en door aankoop van groene stroom) loopt de toename van het aandeel thermische duurzame energie ver achter. In 2011 werd nl. 8,4% van de elektra duurzaam opgewekt, in 2012 was dat 7,9%, maar in 2013 was dat opgelopen tot 19%.

Juist met het benutten van zonnewarmte voor het drogen en bewaren van bloembollen kan op eenvoudige wijze veel energie bespaard worden, waarmee het aandeel duurzaam opgewekte thermische energie fors kan toenemen. Vragen bij deze toepassingen liggen o.a. op het gebied van de juiste dimensionering, de materiaalkeuze en de toepassingsmogelijkheden (drogen, bewaren of allebei).

Doelstellingen van dit project zijn daarom het in kaart brengen van de beschikbare technologieën die van toepassing zijn in de bloembollensector, het evalueren van praktijkvoorbeelden in deze sector en het vergroten van het draagvlak voor deze vorm van duurzame energie door aan bloembollenbedrijven hierover voorlichting te geven.

2 Werkwijze

Na een korte verkenning van de huidige stand der techniek bij zonnecollectoren is uit de database van de Energiemonitor en uit de klantbestanden van DLV-Plant en DLV-Bouw een selectie gemaakt van bloembollenbedrijven die zonnewarmte toepassen bij het drogen en/of bewaren van bloembollen. De bedrijven zijn telefonisch benaderd om zo een eerste dataset samen te stellen met enkele basisgegevens zoals type zonnecollector, oppervlak, materiaal, wel of geen warmteopslag, toepassing (bij drogen en/of bewaren), welke gewassen en met gegevens over de klimaatcomputer (uitleesbaarheid en geregistreerde data). Uit deze groep bedrijven is een selectie gemaakt om bedrijven te bezoeken om nadere gegevens over dimensionering, materiaal en toepassing te verzamelen en om gegevens uit de klimaatcomputer uit te lezen waarmee de energievraag en de energieopbrengst berekend kan worden.

Om benutting van zonnewarmte op de verschillende bedrijven te kunnen vergelijken, is een rekenmodel ontwikkeld waarmee op basis van instraling, ventilatiedebiet en de temperatuursverschillen tussen buitenlucht, cellucht en collector, de energieopbrengsten en rendementen kunnen worden bepaald. Hiertoe zijn waar nodig meteorologische gegevens (instraling) van het KNMI gebruikt. Met het model is ook berekend wat het rendement van warmteopslag zou kunnen zijn. Onder aanname van verschillende energieprijzen en constructiekosten is berekend wat in de voorkomende gevallen de optimale verhoudingen zijn tussen warmtevraag, collectoroppervlak en opslagcapaciteit.

3 Resultaten

3.1 Zonedak in de Praktijk

De in de database van de Energiemonitor en in de klantenbestanden van DLV-Plant en DLV-Bouw gevonden bedrijven die zonnewarmte toepassen bij het drogen en/of bewaren van bloembollen zijn samengevat in tabel 1. Hierin is o.a. het type zonnecollector aangegeven, wat het oppervlak van de zonnecollector is, uit welk materiaal het bovendek bestaat, de kleur van het bovendek, of warmteopslag op het bedrijf mogelijk is, en of de benutte zonnewarmte voor drogen en/of voor bewaren wordt toegepast. Ook is aangegeven of de klimaatcomputer uitleesbaar is en of er een set data geregistreerd wordt waarmee op z'n minst de energieopbrengst bepaald kan worden.

Tabel 1: Bedrijven met installaties voor thermische zonneenergie

Bedrijf	Type	Oppv	Materiaal bovendek	Kleur	Warmte opslag	drogen	bewaren	klimaat computer uitleesbaar	minimum dataset	straling meter	bezoekt voor data uitlezen	gebruikt voor analyse
1	lucht	1200	glas	transparant	-	x	x	-	nvt	x	x	-
2	lucht	2500	glas	transparant	-	x	-	x	x	x	-	-
3	lucht	225	glas	transparant	-	-	x	x	x	x	x	X
4	lucht	600	glas	transparant	-	x	-	x	x	x	-	-
5	lucht	1200	glas	transparant	-	x	x	x	x	x	x	X
6	lucht	850	polycarbonaat	transparant	-	-	x	x	x	x	x	X
7	lucht	1000	eternit	zwart	-	x	x	-	nvt	-	-	-
8	lucht	1750	glas	transparant	-	x	weinig	x	x	?	-	-
9	lucht	1500	dun metaal	zwart	-	x	x	-	nvt	-	-	-
10	lucht	250	eternit	zwart	-	x	-	-	nvt	-	-	-
11	lucht	1250	dun metaal	zwart	-	x	x	-	nvt	-	x	-
12	lucht	1500	dun metaal	zwart	-	x	-	x	x	-	x	X
13	lucht	3000	glas	transparant	-	x	-	x	?	x	-	-
14	lucht	2900	glas	transparant	-	x	x	x	-	?	x	-
15	water	950	paneel	zwart	aquifer	x	x	x	x	?	-	-
16	lucht	416	dun metaal	zwart	-	-	x	x	x	-	x	X
17	lucht	1000	glas	transparant	-	x	weinig	x	-	?	x	-
18	lucht	900	eternit	zwart	-	x	x	x	-	?	x	-
19	lucht	1200	dun metaal	zwart	-	x	-	x	-	?	x	-
20	lucht	1050	dun metaal	zwart	-	x	-	x	x	x	x	X
21	lucht	1500	dun metaal	zwart	-	x	-	x	x	-	x	X

x = ja, - = nee, nvt = niet van toepassing, ? = onbekend

Op één bedrijf wordt zonnewarmte opgevangen door een zonnecollector met water en wordt deze warmte ook opgeslagen. Op de overige bedrijven wordt zonnewarmte opgevangen met (ventilatie)lucht, via constructies die in oppervlakte variëren van 225 tot 3000 m². De dakbedekking is transparant (glas of polycarbonaat) of zwart (metaal of eterniet).

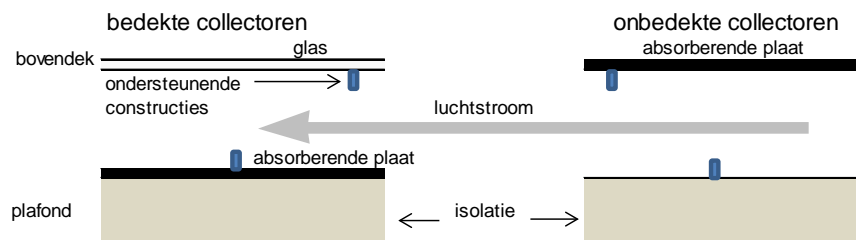
Bij een aantal bedrijven met moderne zonedaken en interessante constructies bleek de klimaatcomputer helaas niet de data te registreren die een berekening van de energieopbrengst mogelijk maken. Uiteindelijk zijn 7 bedrijven uitgekozen (zie de laatste kolom in tabel 1), waarvan voor 1 tot 3 jaar data uitgelezen konden worden waarmee de berekeningen en de analyse van het rendement mogelijk zijn.

Deze 7 bedrijven, met enkele belangrijke aanvullende gegevens, zijn samengevat in tabel 2. De tabel laat zien dat bedrijven die de zonnewarmte uitsluitend benutten voor het bewaren ten opzichte van hun areaal een fors kleiner zonnecollectoroppervlak hebben dan bedrijven die uitsluitend drogen met zonnewarmte. Opvallend is bedrijf 12 met een relatief groot oppervlak en ook een hoge ventilatiecapaciteit ten opzichte van het areaal.

Tabel 2: Geselecteerde bedrijven voor analyse van het rendement van het zonnedak

Bedrijf	12	20	21	5	3	6	16
Oppv	1500	1050	1500	1200	225	850	416
Materiaal bovendek	dun metaal	dun metaal	dun metaal	glas	glas	polycarbonaat	dun metaal
Kleur	zwart	zwart	zwart	transparant	transparant	transparant	zwart
stralings meter	-	x	-	x	x	x	-
drogen	x	x	x	x	-	-	-
Aantal droogwanden	14	24	26	24	-	-	-
m3 per wand	11,2	14,4	12	12	-	-	-
maximale droogcapaciteit m3	157	346	312	288	-	-	-
maximale totale ventilatie	322.000	360.000	312.000	340.000	-	-	-
per m3	2054	1042	1000	1181	-	-	-
frequentie geregeld	x	x	-	-	-	-	-
bewaren	-	-	-	x	x	x	x
aantal cellen	-	-	-	5	6	9	9
gemiddelde m3 per cel	-	-	-	150	59	130	105
totale bewaarcapaciteit m3	-	-	-	750	353,28	1168	940,8
maximale totale ventilatie	-	-	-	220.000	72.000	250.000	241.500
per m3	-	-	-	293	204	214	257
frequentie geregeld	-	-	-	x	-	-	x
zonnedakoppervlak/m3 bollen							
bij drogen	9,6	3,0	4,8	2,8			
bij bewaren				0,53	0,64	0,73	0,44
totaal areaal	17	55	83	52	35	65	69
zonnedakoppervlak/areaal (m2/ha)	88	19	18	23	6	13	6

De twee meest gangbare type zonnewarmtecollectoren (zonnedaken) zijn de zg. bedekte en de onbedekte vlakke plaat zonnecollectoren voor opwarming van buitenlucht, schematisch voorgesteld door figuur 1.



Figuur 1: Schema zonnecollectoren voor opwarming van buitenlucht voor ventilatie

Het eenvoudigste type is die waarbij de (bij voorkeur zwart geverfde) metalen of eternieten dakplaten als de zonnestraling absorberende plaat fungeren. Onder deze plaat is een ruimte van 60 – 80 cm, die van de schuurruimte afgescheiden is door goed isolerende sandwichpanelen. De lucht stroomt door aanzuiging met de ventilatieventilatoren via een opening op het dak de ruimte in (zie foto 1) en wordt door de straling absorberende dakplaat verwarmd. Afhankelijk van de gewenste celtemperatuur wordt bijgemengd met buitenlucht die via de overstekruimte (zie foto 2) wordt binnengehaald, hetgeen met kleppen wordt geregeld.

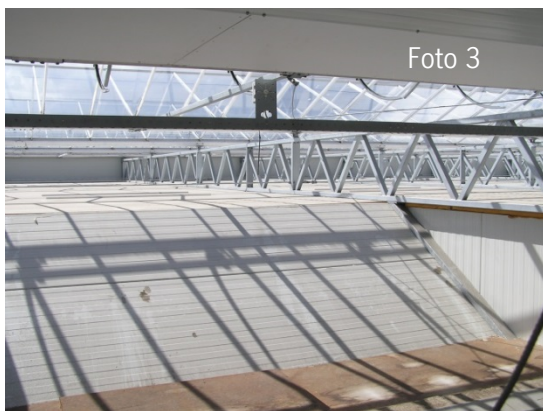


Door de ondersteunende constructies *en* naarmate de lichtsnelheid hoger is, is de luchtstroom in de ruimte turbulenter. Dit bevordert de opname van warmte door de ventilatielucht. Door de isolatie van het plafond verliest de lucht maar weinig warmte naar de schuur. De door de zonnestraling opgewarmde collectorplaat verliest dus zijn warmte aan de ventilatielucht door convectie, maar verliest deze in toenemende mate ook aan de buitenlucht naarmate er meer wind is. Het warmteverlies is evenredig met het temperatuurverschil tussen buitenlucht en collectorplaat. Daarnaast verliest de collectorplaat ook warmte door infrarode uitstraling. Het warmteverlies kan variëren tussen de 3 en 15 MJ/m²/dag (Demonstratieproject de Noord, Ecofys, 2001)

De met een transparante plaat bedekte collectoren laten de zonnestraling door welke vervolgens de collectorplaat opwarmt. De lucht stroomt er dan bovenlangs. Warmteverlies naar buiten toe wordt beperkt doordat de transparante plaat in vergelijking met de onbedekte plaat convectie beperkt, *en* omdat glasplaat de infrarode uitstraling van de collectorplaat sterk beperkt (broeikaseffect). Plastics laten zonnestraling ook goed door, maar houden infrarood minder tegen dan glas.

Technische ontwikkelingen vinden plaats op het gebied van materialen om reflectie van zonnestraling door het afdek zoveel mogelijk te beperken, om infrarode uitstraling van collectorplaten te beperken (coatings) en om het plafond zo goed mogelijk te isoleren van ruimt waar de lucht door stroomt. Warmteverliezen naar buiten zijn dan in de orde van 6-8 W/m²/°K, of 0,3 – 0,4 MJ/m²/°K per dag, en dat is 1,5 tot 2 MJ/m²/dag bij een gemiddeld temperatuurverschil tussen zonnedak en buitenlucht van 5 graden (zie: Solar thermal technology update, M. Rommel et al, 2010, in Renewable Energy Focus).

In de bloembollensector worden twee varianten toegepast: één waarbij de schuurruimte door panelen goed geïsoleerd is van de ruimte met glasedek, zie foto's 3 en 4, en één waarbij meer sprake is van een schuurkas, waarbij de ruimte onder de nok met een energiescherm is afgescheiden, foto's 5 en 6.



3.2 Modelmatige analyse

Vier van de zeven bedrijven heeft een solarimeter geïnstalleerd waarmee de invallende stralingsenergie wordt gemeten (W/m²). Dit wordt elk kwartier door de klimaatcomputer geregistreerd. Voor de bedrijven zonder een solarimeter zijn de gegevens van het dichtstbij zijnde KNMI-station gebruikt (De Koog en Berkhout), dit zijn uurgemiddelden (J/cm²). De gegevens van de klimaatcomputers zijn daarom omgezet naar gemiddelden per uur.

Per cel of per droogwand is uit het temperatuurverschil (ΔT) tussen de menglucht en de buitenlucht (of tussen de lucht onder het (glas)dek en de buitenlucht), de door het zonnedak opgenomen warmte per uur berekend: $\Delta T \times Sw$ (de Soortelijke warmte van lucht (hier is gerekend met gemiddeld 0,00115 MJoules/m³) \times Ventilatie-debiet. Vervolgens is de opgenomen warmte voor al de cellen (of droogwanden) per bedrijf bij elkaar opgeteld en hieruit is berekend wat in totaal tussen 1 juni en 1 november aan zonnewarmte is opgenomen: de opgenomen warmte in MJoules (MJ).

De totale warmtevraag van het bedrijf wordt, op dezelfde wijze als de opgenomen warmte, berekend uit het temperatuurverschillen tussen de cellen en/of droogwanden met de buitenlucht, en de ventilatie-debeten. Een deel van de warmtevraag wordt geleverd door de ademhaling van de bollen zelf, en door de warmteproductie van de ventilatoren. Afhankelijk van de rusttoestand van de bollen, de bewaartemperatuur en de mate van terugtoeren van de circulatieventilatoren, dit deel variëren tussen de 15 en 30 %. De Warmtevraag om aan te voldoen door verwarming met gas is dus kleiner dan waarmee hier gerekend wordt, de besparingen op gas door het zonnedak zijn dus hoger.

De door de zon in totaal ingestraalde warmte, de zonnewarmte, wordt berekend uit de totale instraling (MJ/m²) \times het oppervlak van de collector.

Uit de per uur geleverde warmte door de zonnecollector en de warmtevraag per uur van de verschillende cellen kan ook berekend worden wat de maximaal nuttig geleverde zonnewarmte is. Overtreft de zonnewarmte de warmtevraag, dan wordt een deel niet benut en gaat verloren. Opgeteld over het seizoen geeft dit de totale maximale nuttig geleverde zonnewarmte. Het verschil met de door de zon in het totaal geleverde warmte geeft dan aan hoeveel de onbenutte zonnewarmte is.

Per uur en per cel kan dan ook berekend worden hoeveel van de warmte die niet benut wordt maximaal binnen een periode van 24 uur of van 3 dagen benut zou kunnen worden indien die onbenutte warmte opgeslagen zou kunnen worden.

Vervolgens is, onder aanname van verschillende energieprijzen en constructiekosten, berekend wat in de voorkomende gevallen de optimale verhoudingen zijn tussen warmtevraag, collectoroppervlak en opslagcapaciteit.

De totale zonnewarmte, warmtevraag en maximaal nuttig geleverde warmte in het droog- en bewaarstizoen zijn samengevat in tabel 3. De warmtevraag als deel van de totale zonnewarmte is bij de bedrijven 3, 5 en 6

Tabel 3: Jaarlijkse zonnewarmte, warmtevraag, maximaal nuttig geleverde warmte (in MJoules), en de rendementen van de zonnecollectoren op de 7 bedrijven.

Bedrijf	Jaar	Zonnewarmte	Warmtevraag	maximaal nuttig geleverd	deel vraag van zonne warmte	deel van zonne warmte nuttig geleverd	deel van warmtevraag nuttig geleverd
6	2012	1.413.846	2.244.593	602.426	159%	43%	27%
6	2013	1.452.112	1.773.388	510.171	122%	35%	29%
6	2014	1.493.046	1.876.127	485.730	126%	33%	26%
3	2013	384.126	1.384.509	254.407	360%	66%	18%
5	2014	2.004.142	2.685.722	998.071	134%	50%	37%
16	2013	627.305	515.019	193.720	82%	31%	38%
16	2014	792.414	544.736	204.318	69%	26%	38%
12	2014	2.555.025	1.123.031	519.764	44%	20%	46%
20	2014	1.429.644	570.174	221.808	40%	16%	39%
21	2013	1.466.805	285.454	94.205	19%	6%	33%
21	2014	2.262.540	491.798	162.706	22%	7%	33%

groter dan de ingestraalde zonnewarmte, vooral bij bedrijf 3. Bij de bedrijven 12, 20 en vooral bedrijf 21 is het de warmtevraag fors lager dan de ingestraalde zonnewarmte. Bij bedrijven 3 en 5 wordt een groot deel van de zonnewarmte benut: resp. 66% en 50%. Bij de bedrijven 12, 20 en vooral 21 is de benutting veel minder: 20% tot 6%.

Het deel van de warmtevraag dat door de zonnecollector nuttig geleverd wordt, is gemiddeld 33%. Bij bedrijf 3 is dat 18% (het oppervlak van de zonnecollector zou veel groter kunnen), bij bedrijf 12 is dat 46%. De hoeveelheid gas bespaard door het zonnedak varieert van 3151 m³ (bedrijf 21) tot ruim 33.000 m³ (bedrijf 5).

In tabel 4 zijn zonnewarmte, warmte vraag en de nuttig geleverde warmte omgerekend naar MJoules per dag per m² zonnedak. Gemiddeld zijn er tussen de bedrijven geen grote verschillen in instraling per m² per dag. Bedrijven 20 en 21 gebruiken het zonnedak vooral, resp. alleen, voor drogen in de periode juni t/m augustus wanneer de instraling het hoogst is. Bij de andere bedrijven is het zonnedak langer in bedrijf, tot in oktober, zodat de gemiddelde instraling per m² per dag wat lager is.

De verschillen in warmtevraag per m² per dag zijn wel groot: Deze vraag is bij bedrijf 3 het hoogst (51,3 MJ/m²/dag) omdat het zonnedak zo klein is, en bij bedrijf 21 het laagst (3,3 MJ/m²/dag).

Op bedrijven 3 en 5 wordt de meeste warmte per m² per dag nuttig geleverd, gevolgd door bedrijven 6 en 16. Op de bedrijven 12, 20 en vooral 21 is de nuttige warmtelevering het laagst.

Tabel 4: Jaarlijkse zonnewarmte, warmtevraag en maximaal nuttig geleverd in MJoules per dag per m² zonnecollector.

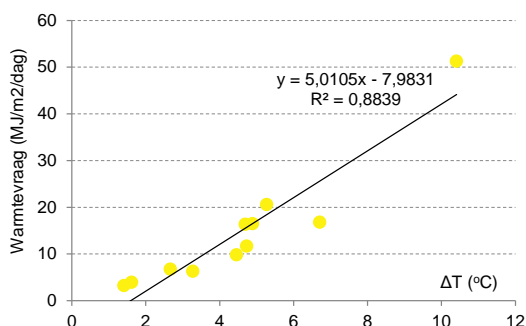
Bedrijf	Jaar	dak oppervlak (m ²)	aantal dagen	zonnewarmte MJ/m ² /dag	Warmte vraag MJ/m ² /dag	Nuttig geleverd MJ/m ² /dag
6	2012	850	128	13,0	20,6	5,53
6	2013	850	127	13,5	16,5	4,74
6	2014	850	135	13,0	16,3	4,23
3	2013	225	120	14,2	51,3	9,43
5	2014	1200	133	12,6	16,8	6,25
16	2013	450	98	14,2	11,7	4,40
16	2014	450	123	14,3	9,8	3,68
12	2014	1500	119	14,3	6,3	2,91
20	2014	1050	81	16,9	6,7	2,62
21	2013	1500	59	16,7	3,3	1,07
21	2014	1500	83	18,2	4,0	1,31

Achtergronden bij deze verschillen in warmtevraag en nuttig geleverde warmte per m² per dag zijn samengevat in tabel 5. De gemiddelde klepstand is het laagst bij bedrijven 5 en 16. Het debiet per m² zonnedak is bij deze bedrijven het laagst en bij bedrijf 3 en 6 het hoogst. Het gemiddelde temperatuurverschil tussen de cellen en de buitenlucht (ΔT_{cel}) is bij bedrijf 3 het grootst: het gaat uitsluitend om heetstookcellen voor hyacint. Ook Bedrijf 5 en 6 hebben veel hyacint, bedrijven 16 heeft naast tulp veel bijgoed. Bedrijven 12, 20 en 21 gebruiken het zonnedak alleen voor drogen.

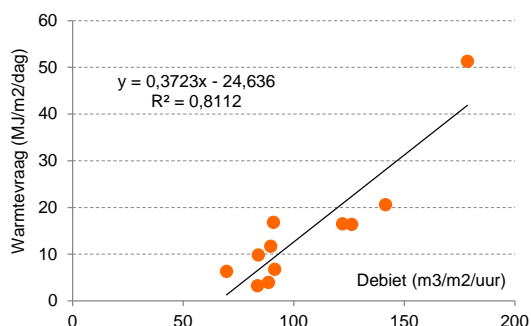
Tabel 5: Gewogen gemiddelde klepstanden en temperatuurverschillen met de buitenlucht

Bedrijf	Jaar	dak oppervlak (m ²)	gemiddelde klepstand	debiet/m ²	ΔT_{dak} °C	ΔT_{cel} °C
6	2012	850	48%	142	1,4	5,3
6	2013	850	42%	122	1,4	4,9
6	2014	850	43%	126	1,2	4,7
3	2013	225	56%	179	1,9	10,4
5	2014	1200	19%	91	2,5	6,7
16	2013	450	17%	90	1,8	4,7
16	2014	450	16%	84	1,7	4,5
12	2014	1500	32%	70	1,5	3,3
20	2014	1050	27%	91	1,0	2,7
21	2013	1500	40%	84	0,5	1,4
21	2014	1500	43%	89	0,5	1,6

De warmtevraag wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen de cel en de buitenlucht, figuur 2, en de hoeveelheid buitenlucht (ventilatie) die opgewarmd moet worden, figuur 3.



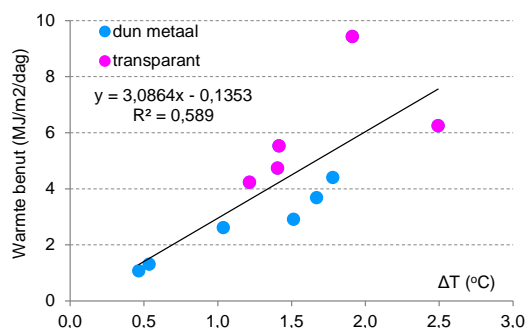
Figuur 2: Warmtevraag en ΔT cel - buiten



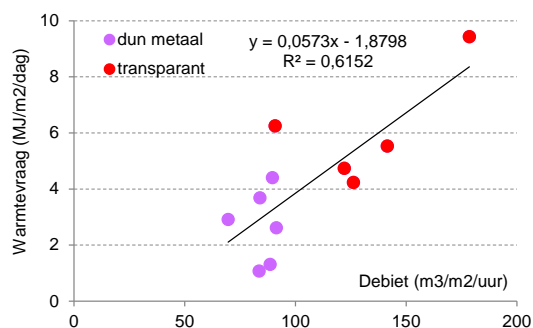
Figuur 3: Warmtevraag en Ventilatie-debiet/m2

De door het zonnedak nuttig geleverde warmte neemt toe wanneer het temperatuurverschil tussen de buitenlucht en het zonnedak (ΔT_{dak}) groter is (het zonnedak meer opgewarmd wordt), figuur 4, en wanneer het ventilatie-debiet groter is (dan kan er meer warmte door het zonnedak aan de ventilatielucht worden afgestaan), figuur 5.

De figuren laten ook zien dat op de bedrijven met een transparant afgedekte collector de warmtelevering groter is dan op de bedrijven met een onbedekt metalen dak. De twee bedrijven (3 en 5) met een glazen dak hebben een hogere warmtelevering per m² per dag dan het bedrijf 6 met het dak van polycarbonaat, dat gemiddeld iets meer geleverd krijgt dan bedrijf 16 met een metalen dak, wat weer meer geleverd krijgt dan de bedrijven 12, 20 en 21 met een metalen dak die het uitsluitend voor drogen gebruiken.



Figuur 4: Warmte benut en ΔT dak - buiten



Figuur 5: Warmte benut en Ventilatie-debiet/m2

De maximaal nuttig geleverde warmte is berekend uit de instraling, het ventilatie-debiet en de warmtevraag. Overtreft de door instraling geleverde warmte de warmtevraag, dan wordt bijgemengd met onopgewarmde buitenlucht, overtreft de warmtevraag de door de instraling geleverde warmte dan moet worden bijverwarmd door de heater. Een deel van de ingestraalde warmte gaat verloren door uitstraling en convectie.

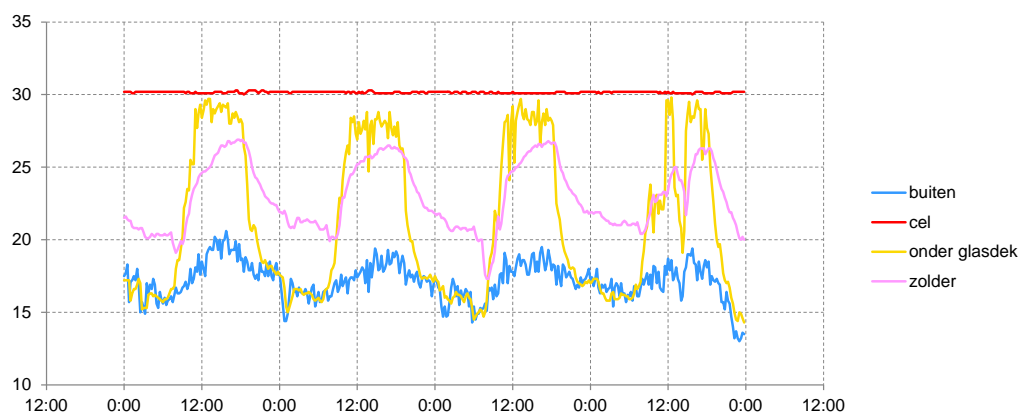
De opgenomen warmte wordt berekend uit de door de klimaatcomputer geregistreerde temperatuurverschillen tussen de buitenlucht, de lucht uit het zonnedak en/of de menglucht, en de temperatuur van de cel.

In tabel 6 zijn de maximaal nuttig geleverde warmte en de opgenomen warmte samengevat. Opvallend is dat op sommige bedrijven meer warmte wordt opgenomen dan maximaal door de instraling nuttig geleverd.

Tabel 6: Verschil tussen maximaal nuttig geleverde warmte en opgenomen warmte (in MJ/m²/dag), en maximaal benutbare zonnewarmte bij opslag van 1 dag en opslag van 3 dagen

Bedrijf	Jaar	maximaal nuttig geleverd	Opgenomen warmte	verschil	benut bij opslag 1 dag	benut bij opslag 3 dgn
6	2012	5,53	8,58	55%	5,54	6,16
6	2013	4,74	4,54	-4%	5,52	6,46
6	2014	4,23	5,14	21%	4,88	5,22
3	2013	9,43	15,18	61%	4,38	4,52
5	2014	6,25	7,01	12%	4,18	4,89
16	2013	4,40	3,45	-22%	4,95	5,37
16	2014	3,68	5,57	51%	4,46	4,76
12	2014	2,91	1,40	-52%	2,89	3,12
20	2014	2,62	2,86	9%	3,47	3,95
21	2013	1,07	0,88	-18%	2,08	2,20
21	2014	1,31	1,76	34%	2,48	2,60

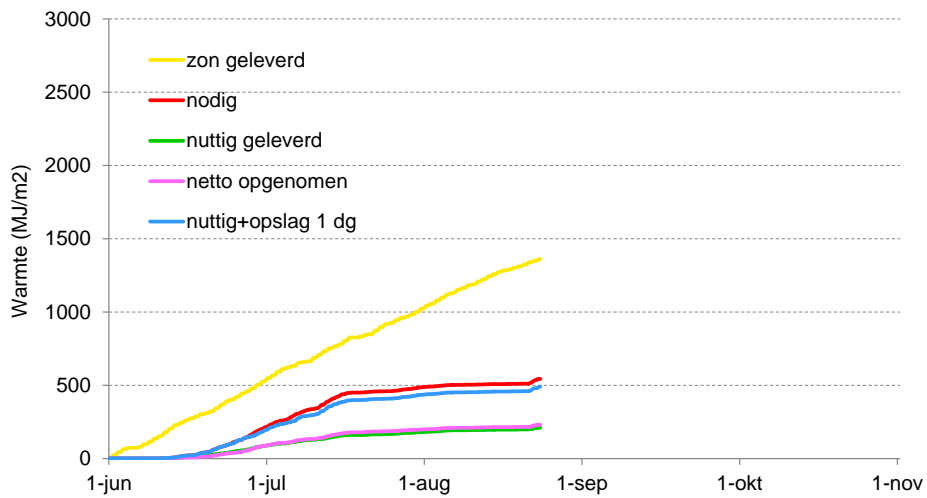
De verklaring hiervoor is dat er nalevering van warmte uit het gebouw plaats vindt. Op bedrijf 3, met hyacint, narcis en krokus, wordt de uitblaasluft van de heetstookcellen via de zolder het gebouw weer ingeblazen (en dan soms weer benut om narcis mee te ventileren). De boven het energiescherm aangezogen schuurkasluft trekt de lucht uit het gebouw aan zodat op deze manier warmte wordt teruggewonnen. Daarnaast wordt op deze manier door het overdag door de zon opgewarmde gebouw warmte nageleverd. Op bedrijf 6 wordt warmte teruggewonnen via warmtewisselaars en op bedrijf 5 wordt warmte als het ware opgeslagen via de zolder, figuur 6. De warme lucht van onder het glasdek (foto 3) wordt via de zolder de cellen ingezogen. In de maanden juli en augustus levert de zolder 'snachts gebouwwarmte na *en* opgeslagen warmte van de aangezogen warme lucht van onder het kasdek.



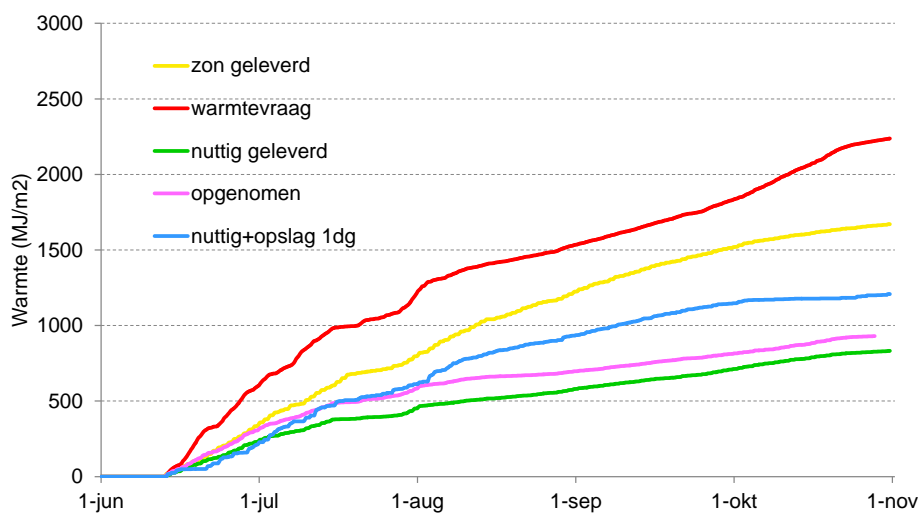
Figuur 6: Temperaturen op zolder, in de cel, onder het glasdek en buiten

Tabel 6 laat ook zien hoeveel warmte extra benut zou kunnen worden indien de warmte die overdag overtoollig is, opgeslagen kan worden, b.v. in een ondergrondse watertank, en 'snachts weer gebruikt zou kunnen worden. De hoeveelheden zijn aanzienlijk en gemiddeld iets meer dan maximaal overdag nuttig geleverd. Opvallend is dat de berekeningen laten zien dat opslag voor méér dan 24 uur nauwelijks meer extra warmte oplevert: gemiddeld slechts 9%.

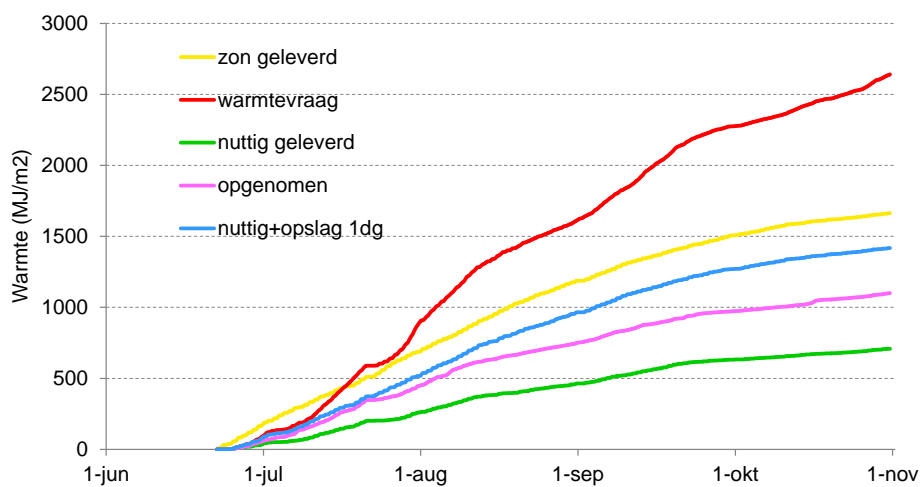
Het in het seizoen cumulatieve verloop van ingestraalde zonnewarmte, warmtevraag, maximaal nuttig geleverde warmte, opgenomen warmte en maximaal nuttig geleverde warmte *plus* extra benut bij 1 dag warmteopslag, wordt geïllustreerd door de figuren 7 t/m 10. Figuur 7 laat dit zien voor een bedrijf (20) dat het zonnedak uitsluitend voor drogen gebruikt, figuur 8 voor het bedrijf (5) dat het zonnedak voor drogen *en* bewaren gebruikt en figuur 9 en 10 voor bedrijven (6 en 16) die het zonnedak alleen voor het bewaren gebruiken.



Figuur 7: Cumulatieve warmtevraag en -levering bij drogen (bedrijf 20)



Figuur 8: Warmtevraag en -levering bij drogen en bewaren (bedrijf 5)



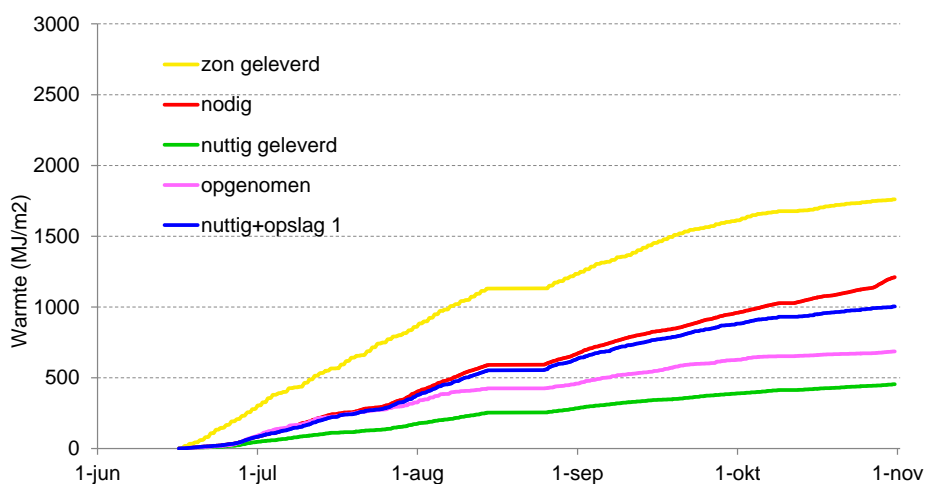
Figuur 9: Cumulatieve warmtevraag en- levering bij bewaren (bedrijf 6)

Op bedrijf 20 wordt het zonnedak slechts kortstondig voor drogen gebruikt: vanaf half juni tot ongeveer half juli, daarna nemen warmtevraag en –levering nauwelijks nog toe. De maximaal nuttig geleverde warmte is vrijwel gelijk aan de berekende opgenomen warmte, er vindt dus geen nalevering door het gebouw plaats. De warmtevraag zou door de maximaal nuttig geleverde warmte plus warmteopslag van overtollige warmte voor gebruik 'snachts vrijwel volledig gedekt zijn. De totale zonnewarmte neemt echter steeds meer toe zodat relatief steeds minder van benut wordt.

Bedrijf 5 gebruikt het zonnedak voor drogen en gedurende het gehele seizoen voor bewaren. Het benutten van zonnewarmte start daarom al rond half juni en de warmtevraag stijgt snel tot ongeveer half juli, daarna wordt er alleen nog maar bewaard en neemt de warmtebehoefte langzamer toe. De warmtevraag is vooral tot half augustus groter dan de zonnewarmte. De nuttig geleverde warmte is minder dan de opgenomen warmte door de eerder genoemde nalevering en gebouwwarmte, vooral tot half augustus, daarna wordt het verschil kleiner. Extra warmtelevering door 1-dags warmteopslag heeft tot begin augustus (daarom) weinig nut, maar wordt tijdens het bewaren verder in het seizoen steeds interessanter.

Bedrijf 6 stijgt de warmtevraag pas vanaf begin juli en blijft nog achter op de zonnewarmte. Na eind juli is de warmtevraag groter dan de zonnewarmte. De warmtevraag per m² zonnedak is begin september gelijk aan die van bedrijf 5 en begin oktober als hoger. Bedrijf 6 heeft een kleiner zonnedak. Het verschil tussen maximaal nuttig geleverd en opgenomen warmte is fors groter dan bij bedrijf 5, vermoedelijk door de warmerugwinning bij een aantal bewaarcellen op bedrijf 6. De combinatie met warmteopslag voor 1 dag is gedurende het gehele bewaarstadium interessant en verhoogt het rendement van het zonnedak van 30 – 40% naar 50 – 60%.

Op bijvoorbeeld bedrijf 16, dat het onbedekte metalen zonnedak ook alleen voor bewaren gebruikt, is de warmtevraag fors lager dan op bedrijf 6, omdat er veel minder geventileerd wordt, figuur 10. De warmtevraag is daarom lager dan de totale ingestraalde zonnewarmte en de nuttig geleverde warmte *plus* de 1 dags warmte opslag dekt vrijwel de gehele warmtevraag. Dit betekent in dit geval dat er geen gasverbruik meer nodig is, omdat de warmteproductie van de bollen als gevolg van de ademhaling al zo'n 20% van de warmtevraag levert.



Figuur 10, Cumulatieve warmtevraag en -levering bij bewaren, bedrijf 16

De vlakke lijnen in figuur 10, tussen half en eind augustus, worden veroorzaakt door het ontbreken van registratie door de klimaatcomputer.

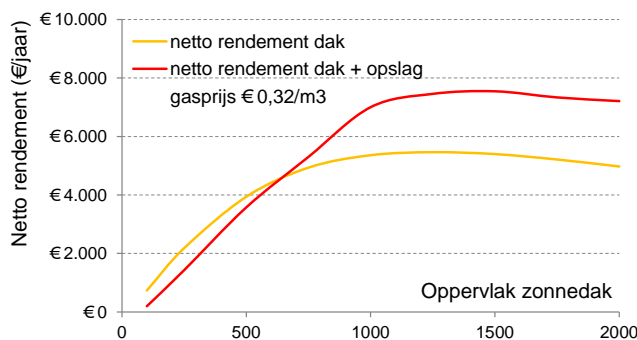
Om de economische aspecten van het zonnedak te analyseren is met het rekenmodel nagegaan wat onder aanname van verschillende energieprijzen en constructiekosten in enkele voorkomende gevallen de optimale verhoudingen zijn tussen warmtevraag, zonnedakoppervlak en opslagcapaciteit.

Als globale constructiekosten voor een zonnedak is voor de met glas afgedekte zonnecollector uitgegaan van €98,-/m² voor een dak van 250 m², afnemend naar €53,-/m² voor een dak van 2000 m². Voor het niet afgedekte dak wordt met de helft gerekend.

Voor de kosten van ondergrondse watertanks voor opslag wordt gerekend met €27.000,- voor 250 m³ oplopend tot €120.000,- voor 2000 m³.

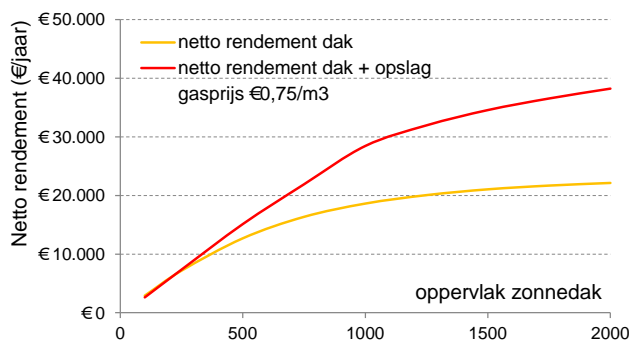
Het netto rendement van zonnedak en opslag wordt berekend uit het verschil tussen de jaarlijkse kosten voor zonnedak en opslag, nl. afschrijving (5%) en rente + onderhoud (4%) en de jaarlijkse besparing aan gaskosten. Deze laatste hangen af van de gasprijs. Er is gerekend met de huidige prijs van €0,32 *en* met een prijs van €0,75 als verwachte gemiddelde gasprijs voor de komende 20 jaar.

Voor bedrijf 5, dat het zonnedak gebruikt voor drogen en bewaren, wordt het netto rendement van het zonnedak en van het zonnedak *plus* opslag geïllustreerd door figuur 11. Bij een gelijkblijvende warmtevraag van 90.000 m³ gas voor de droogwand en de cellen die op het zonnedak zijn aangesloten is bij een gasprijs van €0,32/m³ een dakoppervlak van rond de 1200 m² optimaal. Warmteopslag wordt pas interessant als het dak groter is dan 700 m². Het rendement wordt dan verhoogd en het dak zou nog iets groter kunnen: 1500 m².



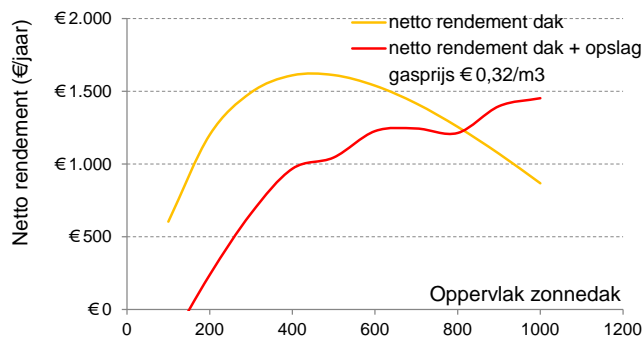
Figuur 11: Netto rendement dak en opslag, bedrijf 5

Bij een gasprijs van €0,75 is het rendement veel hoger en zou het dak 2000 m² kunnen zijn. Opslag is dan al interessant bij een dak van meer dan 400 m², figuur 12.



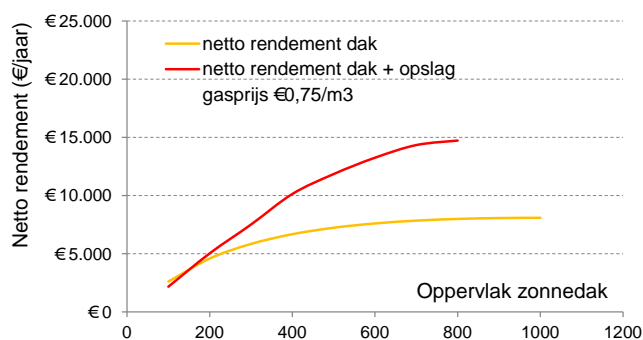
Figuur 12: Netto rendement dak en opslag, bedrijf 5

Voor bedrijf 3 komt uit deze berekeningen dat als de gasprijs €0,32/m³ is een zonnedakoppervlak van 400 – 450 m² het hoogste netto rendement geeft, figuur 13. Opslag van warmte is voor dit bedrijf bij deze gasprijs niet rendabel.



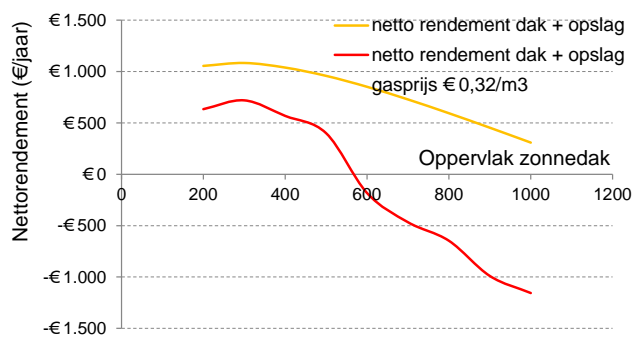
Figuur 13: Rendement dak en opslag, bedrijf 3

Maar bij een gasprijs van €0,75 is dit wel het geval wanneer het dak groter is dan 225 m². Een zonnedak groter dan ± 700 m² is niet zinvol, figuur 14.



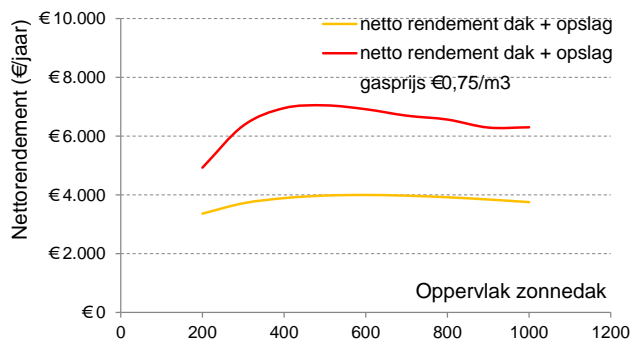
Figuur 14: Rendement dak en opslag, bedrijf 3

Voor bedrijf 16 blijkt bij een gasprijs van €0,32 een oppervlak van 300 – 450 m² optimaal. Een groter zonnedak levert minder op. Met opslag van warmte wordt het zonnedak niet rendabel, figuur 15.



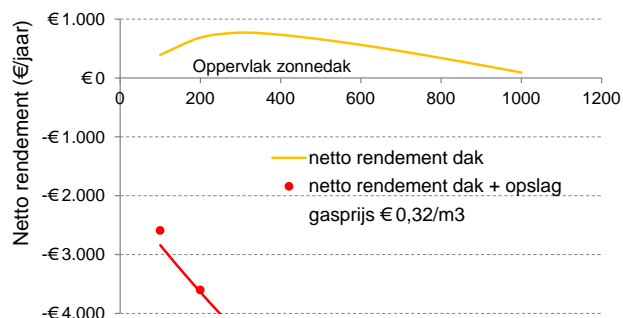
Figuur 15: Rendement dak en opslag, bedrijf 16.

Bij een gasprijs van €0,75 wordt het rendement van het zonnedak van verbeterd van €1100,-/jaar bij een gasprijs van €0,32 naar ± €4000,-/jaar. Een zonnedak groter dan 300 - 450 m² geeft nauwelijks een hoger rendement, figuur 16. Warmteopslag verbetert het rendement naar ruim €7000,-/jaar, bij een optimaal oppervlak van 400 – 450 m².



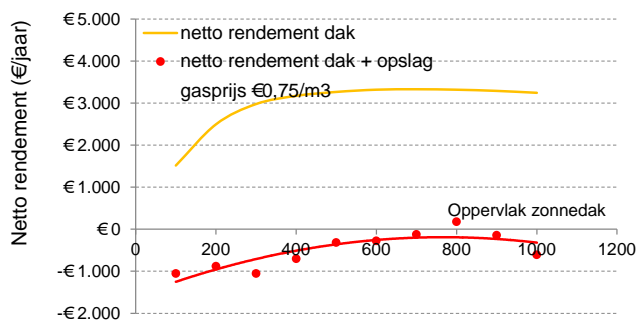
Figuur 16: Rendement dak en opslag, bedrijf 16.

Op bedrijf 20, dat het zonnedak uitsluitend voor drogen gebruikt, zou bij een gasprijs van €0,32 een dakoppervlak van 300 - 500 m² optimaal zijn, figuur 17. Warmteopslag levert hier verlies op. Het nuttig gebruik van het dak is te kort, slechts 4 – 5 weken.



Figuur 17: Netto rendement dak en opslag, bedrijf 20

Bij een gasprijs van €0,75 zou een groter dak, tot 1000 m², rendabeler zijn, figuur 18. Maar ook bij deze gasprijs is warmteopslag niet rendabel.



Figuur 18: Netto rendement dak en opslag, bedrijf 20

4 Conclusies en aanbevelingen

Door zonnedaken wordt zonne-energie het meest efficiënt toegepast: gemiddeld werd op de beschouwde bedrijven 33% van de zonne-energie nuttig gebruikt voor drogen en of bewaren. Het hoogste rendement was 66%. Dit is fors meer dan het rendement van fotovoltaïsche panelen (maximaal 20% van de zonne-energie wordt omgezet in elektrische energie) of biomassa (het rendement van zonne-energie bij het verbranden van hout is bijvoorbeeld minder dan 1 %).

De met glas bedekte zonnedaken zijn hierbij het efficiëntst, vooral naar mate de warmtevraag hoger is (door een hoge bewaartemperatuur zoals bij de heetstook van hyacint), en bij een hoger ventilatiedebiet per m² zonnedak.

Bedrijven die het dak alleen voor drogen gebruiken benutten een veel kleiner deel van de zonne-energie die tussen 1 juni en 1 november beschikbaar is, maar dekken hiermee wel een voldoende groot deel van de warmtevraag van het droogproces.

Warmteterugwinning en nalevering van gebouwwarmte vergroten het benutten van zonnewarmte.

Veel zonnewarmte blijft onbenut omdat overdag de warmtevraag vaak kleiner is dan de hoeveelheid zonnewarmte. Door dit overschot voor 24 uur op te slaan zou het rendement van een zonnedak gemiddeld meer dan verdubbelen. Opslag voor een langere periode levert nauwelijks meer extra warmte op dan opslag voor 24 uur.

De kosten voor een zonnedak en de kosten voor warmteopslag zijn aanzienlijk, maar dat is het belang van verduurzaming ook. Uitgaande van een investering voor de komende 20 jaar, en gerekend met een over die periode gemiddelde gasprijs van €0,75/m³, zou warmteopslag bij de met glas bedekte zonnedaken zeer rendabel zijn.

Bij de zonnedaken met een metalen dek die alleen voor drogen worden gebruikt zou warmteopslag ook bij een gasprijs van €0,75 niet renderen, maar wordt het zonnedak ook voor bewaren gebruikt dan zou warmteopslag het rendement bijna verdubbelen.

De huidige EIA-regeling kan hierbij een netto voordeel van ongeveer 10% van de investeringen opleveren. (zie: www.rvo.nl/subsidies-regelingen/energie-investeringsaftrek).

Het met glas afgedekte zonnedak is het meest aanbevolen type. Het zonnedak met een metalen dak zou verbeterd kunnen worden door er alsnog een glazen dek boven te plaatsen. Er vindt dan minder warmteverlies plaats door minder uitstraling en minder convectie. Warmteopslag voor 24 uur is aanbevolen voor zonnedaken die voor bewaren (of voor bewaren *plus* drogen) worden gebruikt, maar niet voor zonnedaken die alleen voor drogen gebruikt worden. Deze laatste is aanbevolen het dak ook voor bewaren te gebruiken, door naar de bewaarcellen ruime kanalen aan te leggen. Op deze manier wordt het rendement verhoogd en vindt ook enige nalevering vanuit de kanalen plaats.

Warmteopslag zou kunnen in ondergrondse watertanks of met PCM (Phase Change Materials). Naar de meest efficiënte toepassingen hiervan is nader onderzoek & ontwikkeling nodig.

Bij warmteopslag in water zou een deel van de zonnewarmte ook nuttig gebruikt kunnen worden in de kookketels.