

**BOVEN ONZE HOOFDEN
EEN GROOT POTENTIEEL**

MILIEU- EN ECONOMISCHE EFFECTEN VAN DUURZAME DAKEN
EINDRAPPORT

29 september 2010

Boven onze hoofden een groot potentieel
Milieu- en economische effecten van duurzame daken

Een gezamenlijke productie van:



provincie :: Utrecht



Disclaimer

Wij hechten grote waarde aan het feit dat kennis toegankelijk is voor iedereen. Kennisspreiding is zeer belangrijk voor versnelde implementatie van duurzaamheid. Met dit onderzoeksrapport hopen wij een bijdrage te leveren aan duurzaamheid op daken. Ondanks de zorg en aandacht die opdrachtnemer ARCADIS Nederland BV en opdrachtgever provincie Utrecht hebben besteed aan de inhoud van deze rapportage en het bijbehorende rekenmodel, is het mogelijk dat de informatie onvolledig, onjuist of achterhaald is vanwege de snelle ontwikkelingen in dit werkveld. Ook zullen kosten en baten per definitie sterk verschillen per individueel dak en per gekozen leverancier. ARCADIS Nederland BV en de provincie Utrecht sluiten alle aansprakelijkheid uit voor enigerlei directe of indirecte schade, van welke aard dan ook, die voortvloeit uit of in enig opzicht verband houdt met het gebruik van de informatie uit dit rapport en het bijbehorende rekenmodel. Wij willen ook leren van u. Hebt u opmerkingen en ziet u kansen voor verbeteringen, graag ontvangen wij uw reactie op secretariaat.mil@provincie-utrecht.nl.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Achtergrond en vraagstelling	9
1.2 Opbouw	10
1.3 Wat kunnen we ermee?	11
1.4 Leeswijzer	11
2 Methode	12
2.1 Inleiding	12
2.2 Stap 1: Hoe analyseren we het dakoppervlak in de provincie Utrecht?	13
2.2.1 Bronbestanden	14
2.2.2 Afbakening van het gebied	16
2.2.3 Afbakening van de gebouwen	18
2.2.4 Bepaling van de (absolute) hoogte	18
2.2.5 Bepaling van de helling	19
2.2.6 Bepaling van de oriëntatie	20
2.2.7 Bepaling van het eigendom	20
2.2.8 Bepaling van de functie	21
2.2.9 Statistische analyse	21
2.2.10 Extrapolatie	22
2.2.11 Producten	23
2.3 Stap 2: Hoe analyseren we de potentie voor duurzame daktechnieken?	24
2.4 Stap 3: Hoe bepalen we de kosten en baten?	26
2.4.1 Milieueffecten	26
2.4.2 Financieel resultaat	26
2.4.3 Maatschappelijk resultaat	27
3 Dakoppervlak	29
3.1 Inleiding	29
3.2 Resultaten gemeente Woerden	29
3.2.1 Oppervlak	29
3.2.2 Functie	30
3.2.3 Helling	31
3.2.4 Oriëntatie	33
3.2.5 Eigendom	33
3.2.6 Bouwjaar	34
3.2.7 Hoogte	35
3.3 Resultaten provincie Utrecht	37
3.3.1 Totaalbeeld	37
3.3.2 Vergelijking tussen gemeenten	39
3.3.3 Vergelijking tussen buurten	41

4 Daktechnieken	43
4.1 Inleiding	43
4.2 Zonne-energie (elektrisch)	45
4.2.1 Werking	45
4.2.2 Referentieproducten	47
4.3 Zonne-energie (thermisch)	49
4.3.1 Werking	49
4.3.2 Referentieproducten	50
4.4 Windturbines	51
4.4.1 Werking	51
4.4.2 Referentieproducten	52
4.5 Groene daken	54
4.5.1 Werking	54
4.5.2 Referentieproducten	57
4.6 Witte daken	58
4.6.1 Werking	58
4.6.2 Referentieproducten	60
4.7 Combinaties	62
5 Kosten en baten	64
5.1 Inleiding	64
5.2 Milieueffecten	64
5.3 Financieel resultaat	66
5.4 Maatschappelijk resultaat	69
5.5 Gevoeligheidsanalyse	70
6 Discussie en conclusie	72
6.1 Dakoppervlak	72
6.2 Daktechnieken, kosten en baten	73
6.3 Hoe verder?	74
1 Aanvullende literatuurlijst	77
2 Uitgangspunten rekenmodel	78
3 Maatschappelijk resultaat	80

Samenvatting

1 – Inleiding

In samenwerking met de Amerikaanse topeconoom Jeremy Rifkin werkt de provincie Utrecht aan haar ambitie om in 2040 klimaatneutraal te zijn. Om hierin meters te kunnen maken is ARCADIS verzocht onderzoek uit te voeren naar de potentie van duurzame daken bij de aanpak van leefbaarheids- en klimaatdoelstellingen in de provincie Utrecht. Het voorliggende rapport toont daarvan de resultaten.

2 – Aanpak

Het onderzoek beslaat de volgende drie onderdelen:

- Analyse van het dakoppervlak binnen de provincie Utrecht.
- Analyse van 17 beschikbare duurzame daktechnieken (zie *pagina 8*).
- Analyse van de kosten en baten bij toepassing van deze technieken in de provincie.

3 – Analyse van het dakoppervlak

De analyse van het dakoppervlak is opgebouwd uit de volgende drie stappen:

1. *Gedetailleerde dakanalyse* voor de gemeente Woerden.
2. *Statistische analyse*: toetsing op de validiteit van de resultaten.
3. *Extrapolatie* richting de rest van de provincie.

Deze analyse maakt op basis van een combinatie van bronbestanden (BAG, AHN2, ACN, Verblijfsobjectenbestand, RC bestand, CBS wijktypologie, Luchtfoto's, BRIDGIS en TOP10NL) op verschillende niveaus (provincie, gemeente, wijk en buurt) dakkenmerken in de provincie inzichtelijk, onderverdeeld naar:

- *Dakoppervlak* – De provincie kent ruim 71 miljoen m² dakoppervlak (exclusief kleine bijgebouwen¹). Dit staat gelijk aan het oppervlak van circa 10.000 voetbalvelden. 21% van dit dakoppervlak bevindt zich buiten de rode contouren van de provincie².
- *Functie* – De provincie kent ongeveer tweemaal zoveel dakoppervlak op woonpanden als op werkpanden. Deze verhouding verschilt sterk per gemeente.
- *Helling* – De helling van daken blijkt samen te hangen met de functie van panden. Hoogbouwwoonings hebben significant meer plat dakoppervlak (32%) dan laagbouwwoonings (11%). Werkpanden kennen significant het meeste plat dakoppervlak (43%).
- *Oriëntatie* – Schuine daken (>5° helling) zijn bij benadering evenredig verdeeld over alle windrichtingen. Dit geldt ongeacht de functiegroep.

Uitsluitend voor het gebied binnen de rode contouren² van gemeente Woerden omvat de analyse ook de volgende dakkenmerken:

- *Eigendom* – In het geanalyseerde gebied is 87% van het dakoppervlak particulier eigendom, 5% gemeentelijk eigendom en 8% eigendom van een corporatie.
- *Bouwjaar* – In het geanalyseerde gebied geldt dat de zeer oude panden (voor 1800 gebouwd) gemiddeld per pand veel dakoppervlak vertegenwoordigen. Verder is

¹ Dit betreft bijgebouwen met een grondoppervlak van <200 m².

² Rode contouren geven de stedelijke gebieden aan waarbinnen gebouwd mag worden.

het opvallend dat in de periode 1800-1970 sprake was een trend richting kleinere panden en in de periode daarna juist een trend richting grotere panden.

- *Hoogte* – In het geanalyseerde gebied geldt dat hogere panden over het algemeen een groter dakoppervlak hebben. Ongeveer de helft van de panden valt binnen de categorie 6-9 meter. 7% van de panden komt boven de 12 meter uit. Dit betreft vooral werkpanden (65%).

GROTE GEBOUWEN

Als het gaat om het creëren van schaalvoordelen, dan lijkt het gebied buiten de rode contouren de beste mogelijkheden te bieden. Zo ligt het gemiddeld dakoppervlak per pand in de gemeente Woerden buiten de rode contouren op 591 m² en daarbinnen op 113 m². De oorzaak van dit verschil ligt waarschijnlijk (deels) in de aanwezigheid van veel boerderijen en grote schuren.

4 – Analyse van duurzame daktechnieken, kosten en baten

Samen met de provincie Utrecht is besloten om 17 verschillende daktechnieken te beoordelen op milieueffecten, financieel resultaat en maatschappelijk resultaat. Dit betreft in het bijzonder daktechnieken die de provincie ook door middel van proeftuinen wil beproeven (zie pagina 8).

MILIEUEFFECTEN

De analyse laat zien dat de maximale reductie van CO₂ emissies te bereiken is door gecombineerde opwek van elektriciteit en warmte uit zonne-energie. Een voorbeeld van een dergelijke techniek is Zen PV³.

Scenario:

Als Zen PV op 50% van de platte daken en 50% van de schuine daken op het zuiden, zuidoosten en zuidwesten wordt toegepast, dan kan in totaal circa 20% van de jaarlijkse CO₂ uitstoot in de provincie Utrecht gereduceerd kan worden. Dit betreft een jaarlijkse hoeveelheid van 1,9 Mt CO₂.

Meer dan 50% benutting lijkt niet realistisch in verband met beperkingen door bijvoorbeeld schaduwwerking, dakranden, dakkapellen en dakramen. In het bijzonder kunnen ook beperkingen ten aanzien van de draagconstructie van daken en cultuurhistorische overwegingen het potentieel nog verlagen.

Als we kijken naar andere milieueffecten dan alleen emissiereductie, dan zijn er nog meer slimme combinaties met PV zonne-energie te maken. Zo kan een combinatie met groene daken bijdragen aan waterretentie en verhoging van de biodiversiteit en kan een combinatie met witte daken bijdragen aan een koelere omgeving.

Scenario:

Als 100% van de platte daken wordt bedekt met groen PV (zonnepanelen met daartussen mos of sedum), dan bedraagt de jaarlijkse CO₂-reductie circa 0,58 Mt. Dit is ongeveer 6% van de jaarlijkse CO₂ uitstoot in de provincie Utrecht. Als hetzelfde dakoppervlak wordt bedekt met wit PV (zonnepanelen met daartussen wit dakoppervlak), dan is een jaarlijkse CO₂-reductie te bereiken die nagenoeg gelijk is: circa 0,54 Mt.

³ PV = Photo Voltaic

FINANCIËEL RESULTAAT

Toepassing van de duurzame daktechnieken leidt momenteel zonder subsidie slechts in een enkel geval tot een positief financieel resultaat. Uitsluitend voor huishoudens zijn een aantal technieken rendabel (zonnepanelen, zonnefolie en Triple Solar), maar verdient de investering zich pas terug aan het einde van de levensduur (20 jaar).

Het verschil in financieel resultaat tussen huishoudens en bedrijven of overheden zit in het feit dat huishoudens hogere gas- en elektriciteitsprijzen betalen en een lagere discontovoet hanteren. Daarom is een financiële stimulans waarschijnlijk het meest kosteneffectief voor deze groep gebruikers.

MAATSCHAPPELIJK RESULTAAT

Ook het maatschappelijk resultaat is onder de huidige omstandigheden slechts in een enkel geval positief. De maatschappelijke kosten/baten verhouding is uitsluitend positief voor zonnepanelen, zonnefolie en een combinatie met witte daken. Hierbij dienen echter wel een aantal kanttekeningen te worden geplaatst:

- Enkele belangrijke welvaartseffecten, zoals vermindering van de energieafhankelijkheid en aspecten als welzijn, imago, beleving en bewustwording, zijn niet in het monetaire resultaat opgenomen. De monetaire baten vormen daarom een onderschatting van het werkelijke resultaat.
- In de analyse is uitgegaan van een levensduur van 20 jaar voor alle daktechnieken. Sommige van deze technieken kunnen echter de levensduur van het dak verhogen.
- De verwachting is dat de investeringskosten van veel de genoemde technieken de komende tijd nog zullen dalen. Daarnaast is het aannemelijk dat elektriciteitsprijzen zullen stijgen. Beide ontwikkelingen maken het maatschappelijk resultaat positiever (zie hiernaast). De gevolgen zijn in het rapport gekwantificeerd in de vorm van een gevoeligheidsanalyse.

“Zonne-energie in
2015 al concurrerend”
(NRC Next, 10 april 2010)

5 – Hoe verder?

De hoge investeringskosten van de duurzame daktechnieken kunnen een belangrijke drempel zijn. Om dit te ondervangen valt te overwegen om een eigen energiebedrijf op te richten, waarin gebruikers het gebruik van duurzame daktechnieken jaarlijks aflossen. Als eerste stap in deze richting zou kunnen worden gestart met een vraagbundelingscampagne.

De resultaten van het onderzoek kunnen tevens worden gebruikt voor het bepalen van de effecten van mogelijke subsidies, het oprichten van een interne of externe website en voor ondersteuning in de zoektocht van andere bedrijven naar geschikte daken. Ten aanzien van groene daken valt te overwegen om samenwerking te zoeken met waterschappen.

The image shows a screenshot of a spreadsheet application, likely Microsoft Excel, displaying a complex data model. The spreadsheet has multiple columns and rows, with various cells containing numerical values and text. The interface includes standard spreadsheet elements like a menu bar, toolbar, and grid lines. The data appears to be organized into sections, possibly representing different scenarios or parameters of the model.

Rekenmodel

De resultaten van dit onderzoek zijn verwerkt in een rekenmodel. Dit model is bedoeld voor milieuanbtenaren in de provincie Utrecht om zelf met de resultaten aan de slag te kunnen gaan. Zo kan op verschillende niveaus (provinciaal, gemeentelijk, wijk- en buurtniveau) inzicht worden verkregen in de kenmerken van het dakoppervlak en kan een koppeling worden gemaakt met de kenmerken van verschillende duurzame daktechnieken. In het model zijn schuifjes aanwezig om gebruikte kentallen aan te passen aan nieuwe inzichten of ontwikkelingen.



1. **Zonnepanelen:** duur maar efficiënt, beperkt door draagkracht dakconstructie
2. **Zonnetfolie:** goedkoper, lichter, makkelijker te installeren, maar minder efficiënt.
3. **Buizen:** innovatief, minder gevoelig voor de stand van de zon, nog wel erg duur.



1. **Nefit Solar:** traditioneel product: collector en boiler gescheiden, schuine en platte daken, subsidie: € 700.
2. **Solior:** collector en vat in één systeem, alleen voor platte daken, subsidie: € 620.
3. **Triple Solar:** voorziet in warm tapwater én ruimteverwarming, geïntegreerd in het dak



1. **DonQi:** Nederlands product, plat en schuin dak, nog zeer beperkte meetresultaten.
2. **Fortis Montana:** meeste overeenkomsten met traditionele windturbine, 2 jaar meetresultaten.
3. **Ropatec WRE 030:** verticale as, minder gevoelig voor turbulentie op de dakrand, 2 jaar meetresultaten



1. **Extensief (mos/sedum):** 10 cm substraatlaag is voldoende, geen berekening, minimaal onderhoud.
2. **Licht-intensief (gras):** 25-100 cm substraatlaag nodig, geen berekening, 2-6 maal per jaar maaien.



1. **Roofclix:** kliksysteem met witte kunststof tegels, tevens isolerende werking.
2. **Derbibrute:** vervanger van bitumen, per rol geproduceerd.
3. **Planet Safe Coating (PSC):** witte verf, minuscule glasparsels, lage kosten.

1. **Thermisch-PV:** paneel levert warmte én elektriciteit, door afvoer warmte hogere efficiëntie PV.
2. **Groen-PV:** groene daken blijven koeler, daardoor hogere efficiëntie PV.
3. **Wit-PV:** witte daken blijven koeler en reflecteren licht op PV, daardoor hogere efficiëntie PV

**Technieken
die zijn
meegenomen
in dit rapport**

HOOFDSTUK 1 Inleiding

1.1 ACHTERGROND EN VRAAGSTELLING

“UTRECHT MOET EEN PROEFTUIN VOOR DUURZAAMHEID WORDEN”

Gedeputeerde Wouter de Jong in De Volkskrant (21 nov. 2009)

In samenwerking met de Amerikaanse topeconoom Jeremy Rifkin werkt de provincie Utrecht aan een masterplan ‘*schone economie*’: een economie die in het jaar 2040 onafhankelijk is van fossiele brandstoffen (klimaatneutraal) en goed is voor het milieu, de concurrentiepositie van het bedrijfsleven, de inwoners en iedereen die er werkt.

Onderdeel van dit streven naar een schone economie is het *duurzame dakenplan* dat in 2009 binnen het kader van het provinciale klimaatprogramma⁴ is opgesteld. Dit plan is gericht op een bredere toepassing van duurzame daktechnieken in de provincie Utrecht ter verbetering van leefbaarheid en duurzaamheid.

Om hierin meters te kunnen maken heeft de provincie in januari jl. aan ARCADIS opdracht gegeven om antwoord te geven op de volgende vraagstelling:

Wat is de potentie van duurzame daken bij de aanpak van leefbaarheids- en klimaatdoelstellingen in de provincie Utrecht?

“IN 2040 MOETEN ALLE GEBOUWEN IN DE PROVINCIE UTRECHT, ZOWEL WOONHUIZEN ALS KANTOREN, NIET ALLEEN ENERGIENEUTRAAL ZIJN, MAAR ZELFS ENERGIELEVEREND”

Eveneens uit het bovengenoemde artikel in de Volkskrant (21 nov. 2009)

Met een relatief groot oppervlak aan stedelijk gebied en met het oog op leefbaarheid ligt in het beantwoorden van deze vraag de focus op de potentie binnen de *rode contouren* van de provincie (zie *paragraaf 2.2.3*). Deze contouren geven de stedelijke gebieden aan waarbinnen gebouwd mag worden. Woningbouw en de aanleg van bedrijventerreinen moet in principe hierbinnen plaatsvinden.

In iets mindere mate wordt ook gekeken naar de potentie buiten de rode contouren van de provincie. Het gaat daarbij in het bijzonder om de potentie die grote landbouwschuren bieden.

Afbeelding 1.1

Het provinciehuis te Utrecht
(Google SketchUp Pro, 2010)



⁴ Programma Klimaat op Orde 2008-2011 – Provincie Utrecht, zoals opgesteld op 19 mei 2008.

1.2

OPBOUW

De beantwoording van de vraagstelling wordt in dit rapport onderverdeeld in 3 stappen:



1 – Analyse dakoppervlak



2 – Analyse daktechnieken



3 – Analyse kosten en baten

1. **Analyse van het dakoppervlak** in de provincie Utrecht met onderverdeling naar:

- Oppervlak
- Functie
- Helling
- Oriëntatie
- Eigendom
- Bouwjaar
- Hoogte

2. **Analyse van de beschikbare duurzame daktechnieken** met onderverdeling naar:

- Zonne-energie t.b.v. elektriciteit
- Zonne-energie t.b.v. warmte
- Windenergie
- Groene daken
- Witte daken
- Combinaties hiervan

3. **Analyse van de kosten en baten** van duurzame daktechnieken in de provincie Utrecht, met onderverdeling met onderverdeling naar:

- Milieueffecten
- Financieel resultaat
- Maatschappelijk resultaat

Rekening	omschrijving	omschrijving	omschrijving	omschrijving	omschrijving
13	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
14	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
15	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
16	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
17	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
18	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
19	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
20	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
21	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
22	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
23	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
24	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
25	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
26	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
27	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
28	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
29	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
30	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
31	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
32	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
33	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
34	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
35	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
36	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
37	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
38	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
39	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
40	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
41	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
42	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
43	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
44	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
45	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
46	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
47	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
48	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
49	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak
50	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak	oppervlak dakoppervlak

Rekenmodel

De resultaten van dit onderzoek zijn verwerkt in een rekenmodel. Dit model is bedoeld voor milieuableiders in de provincie Utrecht om zelf met de resultaten aan de slag te kunnen gaan. Zo kan op verschillende niveaus (provinciaal, gemeentelijk, wijk- en buurtniveau) inzicht worden verkregen in de kenmerken van het dakoppervlak en kan een koppeling worden gemaakt met de kenmerken van verschillende duurzame daktechnieken. In het model zijn schuifjes aanwezig om gebruikte kentallen aan te passen aan nieuwe inzichten of ontwikkelingen.

1.3

WAT KUNNEN WE ERMEE?

Het onderzoek beoogt resultaten op te leveren die zinvol en bruikbaar zijn voor de provincie Utrecht en bijbehorende gemeenten. De resultaten kunnen in het bijzonder dienen voor:

- A. **Vergelijking** – Het onderzoek maakt het mogelijk om duurzame daktechnieken onderling te vergelijken of af te zetten tegen andere maatregelen ten behoeve van leefbaarheids- en klimaatdoelstellingen, zoals grootschalige windenergie. Dit kan op provinciaal, gemeentelijk, wijk of zelfs buurt niveau.
- B. **Communicatie** – De onderzoeksresultaten kunnen gebruikt worden ten behoeve van bewustwording of actiebereidheid ten aanzien van duurzame daken. De (visuele) resultaten kunnen bijvoorbeeld dienen als input voor een digitaal loket of informatiecentrum.
- C. **Impactanalyse** – De uitkomsten van het onderzoek bieden een basis voor het bepalen van beleid ten aanzien van duurzame daken. Zo kan aan de hand van de kosten/baten analyse de impact en het maatschappelijk rendement van een subsidie worden beoordeeld.
- D. **Nadere detaillering** – De resultaten zijn voor één gemeente (Woerden) tot in detail uitgewerkt. Dit levert tot op pandniveau inzicht in het beschikbare dakoppervlak, inclusief eigendomsgegevens. De resultaten van dit onderzoek kunnen in een later stadium ook voor andere Utrechtse gemeenten tot in dit detail worden uitgewerkt.

In ons onderzoek naar duurzame daken wordt **niet** gekeken naar beperkingen ten aanzien van de draagconstructie van daken en cultuurhistorische overwegingen. Het potentieel voor duurzame daken zal daardoor in praktijk lager uitvallen dan berekend in ons onderzoek.

1.4

LEESWIJZER

Het volgende hoofdstuk beschrijft hoe de drie in *paragraaf 1.2* genoemde analyses hebben plaatsgevonden (*Hoofdstuk 2*). Vervolgens worden de resultaten van de analyses gepresenteerd. Dat betekent een overzicht van het dakoppervlak en de dakkenmerken in de provincie Utrecht (*Hoofdstuk 3*), een beschrijving van de verschillende duurzame daktechnieken die hierop kunnen worden toegepast (*Hoofdstuk 4*) en inzicht in de kosten en baten als deze daktechnieken daadwerkelijk in de provincie Utrecht worden toegepast (*Hoofdstuk 5*). Tenslotte wordt op basis van deze resultaten een onderbouwd antwoord gegeven op de hoofdvraag: wat is de potentie van duurzame daken bij de aanpak van leefbaarheids- en klimaatdoelstellingen in de provincie Utrecht? (*Hoofdstuk 6*).

HOOFDSTUK 2 Methode

2.1

INLEIDING

De provincie Utrecht kent een relatief groot oppervlak aan stedelijk gebied. Op basis daarvan kan worden verondersteld dat een grote potentie aanwezig is voor het toepassen van duurzame daktechnieken. “Op dit moment is echter onvoldoende bekend [1] wat het potentieel aan dakoppervlak is, [2] wat er allemaal mogelijk is en [3] wat diverse maatregelen opleveren”, zo staat geschreven in het projectplan over duurzame daken in de provincie Utrecht⁵.

Dit onderzoek beoogt die leemte op te vullen. De drie bovengenoemde vragen dienen daarbij als leidraad:

Stap 1 – Wat is het beschikbare potentieel aan dakoppervlak?

Met de eerste stap wordt het potentieel aan dakoppervlak in de provincie Utrecht bepaald, onderverdeeld naar hoogte, helling, oriëntatie, eigendom en functie van het pand. De geografische bestanden die nodig zijn om dit in detail te kunnen doen zijn echter niet voor de gehele provincie beschikbaar. Er is daarom gekozen voor een aanpak waarin één gemeente tot in detail wordt geanalyseerd. De resultaten hiervan worden vervolgens door middel van een statistische analyse op hun externe waarde getoetst en gebruikt voor een extrapolatie richting de rest van de provincie. Deze aanpak staat beschreven in *paragraaf 2.2*.

Stap 2 – Wat is er allemaal mogelijk?

In de tweede stap wordt onderzocht hoe het dakoppervlak een bijdrage kan leveren aan de leefbaarheids- en klimaatdoelstellingen van de provincie Utrecht. Samen met de provincie is geïnventariseerd welke daktechnieken daarvoor in aanmerking komen en bijvoorbeeld in proeftuinen worden onderzocht. Op basis daarvan zijn 17 daktechnieken geselecteerd, onderverdeeld naar 6 categorieën: zonne-energie t.b.v. elektriciteit, zonne-energie t.b.v. warmte, windenergie, groene daken, witte daken en combinaties hiervan. De wijze waarop deze technieken worden uitgewerkt staat beschreven in *paragraaf 2.3*.

Stap 3 – Wat levert het op?

De resultaten van de eerste twee stappen komen vervolgens samen in een kosten/baten analyse. Hierin wordt per daktechniek geanalyseerd wat de potentie is bij de aanpak van leefbaarheids- en klimaatdoelstellingen in de provincie Utrecht. Om deze potentie goed inzichtelijk te krijgen wordt een model ontwikkeld waarin de provincie zelf aan de knoppen kan draaien: in *welke* mate wil ik *welke* techniek op *welke* daken toepassen? De methode hiertoe staat beschreven in *paragraaf 2.4*.

⁵ Projectplan – Duurzame Dakenplan – Provincie Utrecht, zoals opgesteld in november 2009 (versie 2.1)

2.2

STAP 1: HOE ANALYSEREN WE HET DAKOPPERVLAK IN DE PROVINCIE UTRECHT?

De analyse van het dakoppervlak is opgebouwd uit de volgende onderdelen:

1. **Gedetailleerde dakanalyse** voor de gemeente Woerden.
2. **Statistische analyse:** toetsing op de validiteit van de resultaten.
3. **Extrapolatie** richting de rest van de provincie.

De motivatie om de analyse te starten met een gedetailleerde analyse voor een beperkt gedeelte van de provincie en vervolgens te extrapoleren, is op zijn minst drieledig:

- **Extra tijd en geld leveren weinig meerwaarde op provinciaal niveau.** Een gedetailleerde analyse voor de gehele provincie zou veel (reken)tijd en geld vergen met op provinciaal niveau mogelijk niet of nauwelijks meerwaarde⁶.
- **De beschikbaarheid van bronbestanden is beperkt.** Bronbestanden die nodig zijn voor een gedetailleerde analyse, zoals BAG en AHN2, zijn (nog) niet voor de gehele provincie beschikbaar.
- **De analyse is een iteratief proces.** Na de gedetailleerde analyse kan de wijze van analyse voor de rest van de provincie waar nodig nog worden aangepast;

Mede op basis van de beschikbaarheid van bronbestanden is besloten om de gedetailleerde analyse uit te voeren voor de gemeente Woerden. Daarnaast wordt verondersteld dat de gemeente Woerden als middelgrote gemeente in de provincie Utrecht een goede mix vormt van bebouwing die in de provincie aanwezig is. Dankzij die mix van bebouwing kan de analyse ook van waarde zijn andere gemeenten in de provincie Utrecht.

In de volgende subparagrafen omschrijven wij de analyse aan de hand van de onderstaande vragen. De bijbehorende antwoorden worden daarin nader toegelicht.

1. **Welke bronbestanden zijn gebruikt?** BAG, AHN2, ACN, verblijfsobjectenbestand, RC bestand, CBS wijktypologie, luchtfoto's, BRIDGIS en TOP10NL.
2. **Hoe is het analysegebied afgebakend?** De analyse maakt onderscheid tussen panden binnen en buiten de rode contouren van de provincie Utrecht.
3. **Hoe zijn de gebouwen afgebakend?** In de analyse worden naast alle hoofdgebouwen ook bijgebouwen met een grondoppervlak >200 m² meegenomen.
4. **Hoe wordt de (absolute) hoogte bepaald?** Dit gebeurt op basis van hoogtepunten uit het AHN2 bestand met een periferie van 2 meter rondom het pand.
5. **Hoe wordt de helling bepaald?** De hoogtepunten van het AHN2 worden omgezet naar een raster formaat (grid) en vergeleken met omliggende pixels.
6. **Hoe wordt de oriëntatie bepaald?** De oriëntatie wordt, net als de helling, berekend op basis van de omliggende pixels.
7. **Hoe wordt het eigendom bepaald?** De eigendomsinformatie is vanuit de BAG van de gemeente Woerden per pand beschikbaar.
8. **Hoe wordt de functie bepaald?** De functie van een pand is vanuit BRIDGIS per TOP10 bouwvlak beschikbaar.

⁶ Voor een gemeente kan een gedetailleerde analyse meerwaarde bieden t.a.v. bijvoorbeeld bouwjaar, eigendom en dakhoogte. Dergelijke informatie komt niet uit de extrapolatie: "Een extrapolatie vanuit de Gemeente Woerden kan nooit de Domtoren in Utrecht blootleggen". Wat een gemeente al wel met de uitkomsten kan staat omschreven in *paragraaf 1.3*.

9. **Hoe wordt de statistische analyse uitgevoerd?** Met SPSS wordt getoetst op verschillen tussen BAG en TOP10NL en verschillen naar bouwjaar en/of functie.
10. **Hoe wordt de extrapolatie uitgevoerd?** Er worden kentallen bepaald voor de correctie van TOP10NL oppervlak naar BAG oppervlak en de verdeling van de dakkenmerken oriëntatie en helling naar functie en/of bouwjaar.

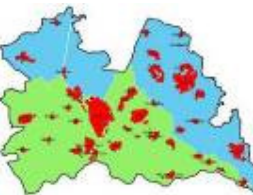
2.2.1

BRONBESTANDEN



Afbeelding 2.1

Voorbeeld BAG bestand



Afbeelding 2.2

AHN2-dekking in Utrecht:

- Groen = 2008 data: reeds beschikbaar
- Blauw = 2010 data: verwacht medio april 2011

BAG – Als ondergrond voor de analyse is door de gemeente Woerden de Basisregistratie voor Adressen en Gebouwen (BAG) Pandenkaart aangeleverd. Dit nieuwe referentiebestand vormt een belangrijke basis voor de verbetering van de dienstverlening door alle gemeentelijke overheden. De BAG is gebaseerd op de bestaande GBKN (Grootschalige Basiskaart Nederland) (geografisch gedeelte) en bevat ondermeer gegevens over panden, straatnamen en nummeraanduidingen (administratief gedeelte). In de BAG Pandenkaart wordt het pand met bovenaanzicht ingetekend (zie *Afbeelding 2.1*). Samen met ARCADIS zijn veel gemeentes momenteel volop bezig met opbouwen van hun BAG.

AHN2 bestand – Over de BAG bestanden is het zogenaamde AHN2 bestand gelegd. Het AHN2 is een nauwkeurig XYZ puntenbestand dat is ingewonnen vanuit de lucht met behulp van lasertechnologie. Het bestand bezit een hoogtenauwkeurigheid van niet meer dan vijf centimeter standaardafwijking. Het AHN2 bestand is de opvolger van het AHN1 bestand wat in de periode 1996-2003 is gerealiseerd voor geheel Nederland. Het AHN1 bestand kent een hoogtewaarde van 1 punt per 16m², wat niet voldoende detail biedt om de verschillende daktypes te kunnen onderscheiden. Met het AHN2 werd in 2007 een begin gemaakt om met behulp van verbeterde technieken een grotere puntendichtheid te kunnen realiseren. Alhoewel de puntendichtheid van het AHN2 niet is voorgeschreven, ligt de dichtheid tussen de 6 en 20 punten per m² met een gemiddelde van 9 à 10 punten per m². Daarmee is het AHN2 zo'n 10 tot 100 maal gedetailleerder dan het AHN1. Op dit moment is het AHN2 voor ongeveer 50% van Nederland beschikbaar. Dit geldt ook voor de provincie Utrecht (zie *Afbeelding 2.2*).

Het AHN2 is aangeleverd als twee verschillende bestanden:

- *Gefilterde rasterpunten* – In dit bestand liggen alle punten op maaiveld hoogte. Dat wil zeggen, de bestanden zijn 'ontdaan' van objecten zoals gebouwen en vegetatie.
- *Uitgefilterde punten* – Dit zijn de bestanden met de overige punten. Dat wil zeggen, punten die op objecten zoals gebouwen en vegetatie liggen.

Beide bestanden worden tijdens de bepaling van het dakoppervlak gebruikt. De AHN2 bestanden zijn aangeschaft door de provincie Utrecht.

ACN – Het Adrescoördinaten Nederland (ACN) bestand bevat de adrescoördinaten van Nederland, zoals deze zijn vastgelegd door het Kadaster. De plaats van het adrescoördinaat valt zal in de meeste gevallen binnen het BAG pand vallen en voorziet ieder adres van een X en Y coördinaat. Het ACN is het meest nauwkeurige adrescoördinaten bestand dat op de GIS markt te verkrijgen is. Het ACN bestand is verstrekt door de provincie Utrecht.

Verblijfsobjectenbestand – In dit bestand worden gegevens verstrekt met het verblijfsobjectnummer, het bouwjaar en in sommige gevallen meer gedetailleerde informatie met betrekking tot status van een woning. Deze gegevens zijn verstrekt door de gemeente Woerden.

RC bestand – Het rode contouren (RC) bestand maakt deel uit van het Utrechtse bestemmingsplan. Rode contouren zijn stedelijke gebieden waarbinnen gebouwd mag worden. Woningbouw en de aanleg van bedrijventerreinen moet in principe binnen deze rode contour plaatsvinden. Eens in de vijf jaar worden de rode contouren herzien. Deze gegevens zijn verstrekt door de provincie Utrecht.

CBS wijktypologie – De door het CBS samengestelde Digitale Wijk-/Buurtkaart 2008 van Nederland bevat digitale geometrie van de grenzen van de buurten, wijken en gemeenten. De gemeenten zijn daarbij onderverdeeld in wijken en buurten. Buurten vormen het laagste regionaal niveau en zijn afgebakend vanuit bebouwingsoogpunt of sociaaleconomische structuur. Wijken zijn optellingen van een of meer aaneengesloten buurten. Het bestand heeft betrekking op de situatie per 1 januari 2008. Het bestand omvat een vijftigtal kerncijfers van de buurten. De geaggregeerde kerncijfers van de wijken en gemeenten zijn aan de kaart toegevoegd waaronder omgevingsadressendichtheid, stedelijkheid en bedrijfsvestigingen. De digitale geometrie wordt geleverd in ESRI™ shapeformaat. Het bestand kan gratis worden gedownload van de CBS website.

Luchtfoto's – Door gemeente Woerden zijn luchtfoto's uit het jaar 2009 verstrekt om – waar nodig - objecten en daktypes binnen de gemeente beter te kunnen herkennen. Bovendien zijn deze luchtfoto's als achtergrond wenselijk voor visualisatie en oriëntatie.

BRIDGIS – Om de resultaten van de gemeente Woerden te kunnen extrapoleren naar de wijken van de andere gemeenten in de provincie Utrecht is gebruik gemaakt van de BRIDGIS functieonderscheidingen per pand. Deze functieonderscheidingen zijn door de provincie Utrecht aangeschaft voor de gehele provincie. Deze functieonderscheidingen zijn als volgt gecategoriseerd (zie Tabel 2.1).

Tabel 2.1

Funcieonderscheidingen van panden op basis van BRIDGIS

Code	Categorie in BRIDGIS	Categorie in dit onderzoek
Wl	Wonen – laagbouw	Wonen – laagbouw
Wh	Wonen – hoogbouw	Wonen – hoogbouw
Ap	Werken – publieke diensten	Werken – publieke diensten
Al	Werken – landbouw en visserij	Werken – overig
Ai	Werken – industrie	
Ah	Werken – handel	
At	Werken – logistiek	
Ad	Werken – zakelijke diensten	
Az	Werken – zorg en educatie	
Ac	Werken – cultuur en recreatie	
Ag	Werken – gemengd	
Ao	Werken – onbekend	
G	Gemengd (wonen en werken op hetzelfde adres)	
O	Onbekend	

TOP10NL– Voor de gemeente Woerden is gebruik gemaakt van de BAG pandenkaart. Voor de overige gemeenten is de bebouwing (onderverdeeld in bouwvlakken) uit de TOP10NL gehaald. Dit is het digitale topografische bestand welke door het kadaster wordt vervaardigd. De TOP10NL is ontstaan uit luchtfoto's, veldopnamen en al bestaande bestanden. De TOP10NL is verstrekt door de provincie Utrecht.

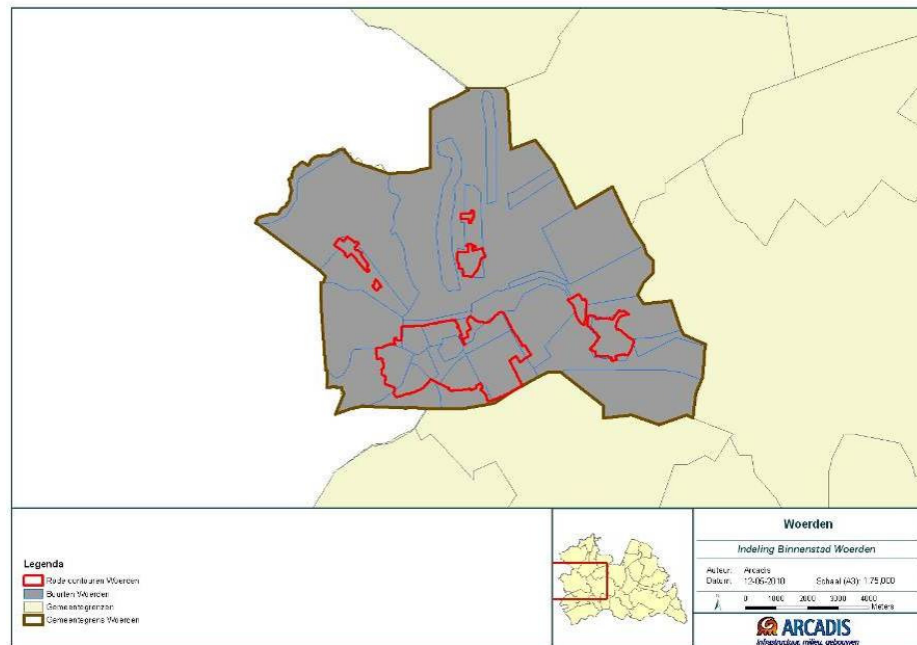
2.2.2

AFBAKENING VAN HET GEBIED

Vanuit de provincie is besloten om onderscheid te maken tussen panden die binnen de Rode Contouren (RC) van het Provinciaal Bestemmingsplan vallen en panden die daarbuiten vallen. In totaal kent de provincie 90 van deze RC-gebieden. Voor de gemeente Woerden gaat het om de volgende gebieden (zie *Afbeelding 2.3*)

Afbeelding 2.3

De rode contouren van de gemeente Woerden



In een gedetailleerdere weergave voor de stad Woerden is te zien dat de rode contouren de lijnen van de bebouwing volgen (zie *Afbeelding 2.4*). Dit kan niet gezegd worden van de CBS wijktypologie (zie *Afbeelding 2.5*). Soms loopt de grens van de bebouwing dwars door een CBS wijk heen.

Op basis hiervan bakenen wij het stedelijk gebied niet af op basis van CBS wijken, maar op basis van de rode contouren. Om tegelijkertijd toch resultaten te produceren die te vergelijken zijn met CBS gegevens per wijk of per buurt, hanteren we *binnen de rode contouren* wel de onderverdeling van het CBS.

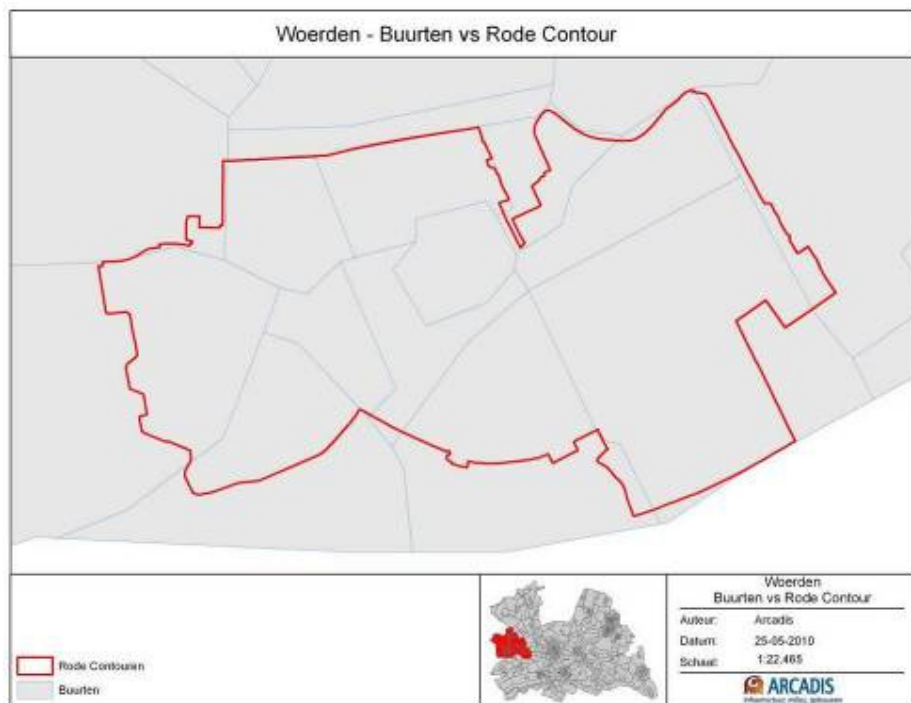
Consequentie hiervan is wel dat de resultaten per CBS buurt niet per definitie representatief zijn voor de gehele CBS buurt. De resultaten gelden uitsluitend voor het gedeelte van de wijk dat binnen de rode contour ligt. Dit kan in sommige gevallen slechts een zeer klein gedeelte van de wijk betreffen (zie *Afbeelding 2.5*).

Afbeelding 2.4

De rode contouren van de stad
Woerden

**Afbeelding 2.5**

De rode contouren van de stad
Woerden tegenover de
wijkindeling van het CBS



2.2.3

AFBAKENING VAN DE GEBOUWEN

Het BAG bestand omvat hoofdgebouwen en bijgebouwen. Concreet betekent dit dat ook bijgebouwen zoals kleine schuurtjes in het BAG bestand aanwezig zijn. Aangezien de bouwconstructie en het dakoppervlak van dit soort kleine bouwobjecten niet of slechts beperkt geschikt zal zijn voor duurzame daktechnieken is besloten deze kleinere schuren niet mee te nemen in de analyse.

Om een afbakening van de gebouwen te realiseren is allereerst een onderscheid gemaakt tussen hoofdgebouwen en bijgebouwen. De gebouwen met een huisnummer (uit het ACN bestand) of die een verblijfsobject zijn, zijn ondergebracht in de categorie *hoofdgebouwen*. De overige gebouwen in het BAG bestand zijn ondergebracht in de categorie *bijgebouwen* waarin -naast schuurtjes- ook grote schuren aanwezig zijn.

WEL IN DE ANALYSE:

- Hoofdgebouwen
- Bijgebouwen >200 m²

NIET IN DE ANALYSE:

- Bijgebouwen <200 m²

Aangezien de daken van grote schuren mogelijk wel een groot potentieel aan dakoppervlak vertegenwoordigen voor de implementatie van duurzame daktechnieken zijn – naast de hoofdgebouwen - alle bijgebouwen met een grondoppervlak groter dan 200 m², meegenomen in de analyse.

Afbeelding 2.6

Visuele weergave van het onderscheid tussen:

- hoofdgebouwen
- bijgebouwen >200 m²
- bijgebouwen <200 m²



2.2.4

BEPALING VAN DE (ABSOLUTE) HOOGTE

Het aangeleverde AHN2 bestand bevat de hoogten ten opzichte van het maaiveld. Dat wil zeggen dat de punten die de dakhoogte aangeven niet de absolute dakhoogten zijn, maar de hoogte ten opzichte van het maaiveld. Om de absolute dakhoogten te bepalen wordt eerst voor ieder gebouw de maaiveldhoogte bepaald op basis van hoogtepunten met een periferie van 2 meter rondom het pand. Vervolgens wordt voor ieder AHN2 punt wat op een gebouw valt de absolute hoogte bepaald. In de resultaten wordt in geval van platte daken de gemiddelde hoogte weergegeven en in geval van schuine daken de nokhoogte.

2.2.5

BEPALING VAN DE HELLING

Op basis van de berekende absolute hoogte (zie vorige paragraaf) wordt vervolgens de helling van het dak bepaald. Hiervoor worden de hoogtewpunten van het AHN2 van de daken omgezet naar een raster formaat (grid). Hellingen die veroorzaakt worden door bijvoorbeeld een dakkapel of schoorsteen worden ook meegenomen. Er is besloten deze hellingen er niet uit te filteren omdat het iets zegt over welk deel van het dakoppervlak geschikt is voor een bepaalde daktechniek. Keerzijde hiervan is wel dat het aandeel “zeer schuin dakoppervlak” iets hoger uitvalt dan werkelijk het geval is (zie Tabel 2.2).

CORRECTIE VAN HET
DAKOPPERVLAK OP
BASIS VAN HELLING

Aangezien het AHN2 bestand is opgebouwd uit loodrechte opnames vanuit de lucht (nadir) is het oppervlak gecorrigeerd op basis van de geconstateerde helling. Immers een gridcel met een helling die van bovenaf wordt aangemeten representeert – afhankelijk van de helling – in werkelijkheid een groter oppervlak. Zonder een dergelijke correctie zou dus een kleiner dakoppervlak als resultaat naar voren komen dan in werkelijkheid beschikbaar is.

Tabel 2.2

Categorisering van de helling van daken

Helling	Categorie
0-5 graden	Plat
5-35 graden	Schuin
>35 graden	Zeer schuin

Waarna de correctie is doorgevoerd worden de hellingen onderverdeeld in 3 categorieën (zie Tabel 2.2). Hellingen van 0-5 graden worden als plat beschouwd omdat kleine hoogteverschillen altijd wel voorkomen.

Afbeelding 2.7

Visuele weergave van het bepalen van de helling



2.2.6 BEPALING VAN DE ORIËNTATIE

Op basis van het gecorrigeerde dakoppervlak per pixel, wordt vervolgens de oriëntatie berekend. De oriëntatie wordt, net als de helling, berekend op basis van de omliggende pixels. Hierbij wordt de exacte oriëntatie berekend en ingedeeld in de volgende categorieën:

Tabel 2.3

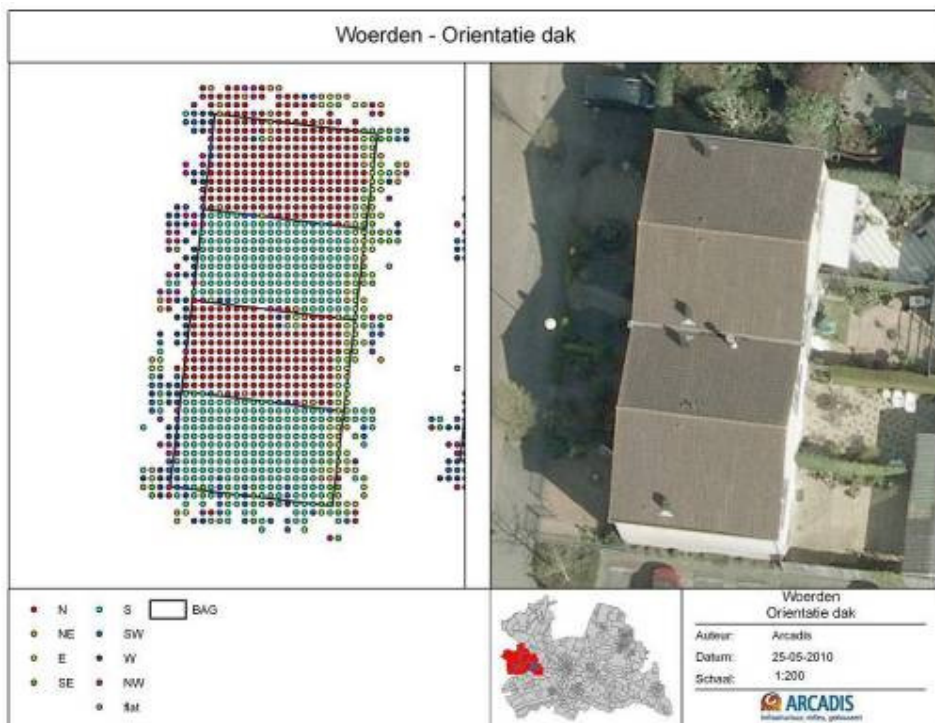
Categorisering van de oriëntatie van schuine daken

Categorisering van oriëntatie			
Noord	Oost	Zuid	West
Noordoost	Zuidoost	Zuidwest	Noordwest

Wanneer alle omliggende pixels exact dezelfde hoogte hebben en er dus geen helling is, dan wordt dit aangeduid met de term 'flat'. Echter, veelal treden er kleine hoogteverschillen op, waardoor de oriëntatie flat nagenoeg niet voorkomt. In de resultaten wordt daarom uitsluitend de oriëntatie weergegeven voor pixels met een helling van 5 graden of meer (schuin of zeer schuin, zie Tabel 2.2).

Afbeelding 2.8

Visuele weergave van het bepalen van de oriëntatie



2.2.7 BEPALING VAN HET EIGENDOM

Vanuit de gemeente Woerden zijn percelen aangeleverd waaraan het eigendom is gekoppeld. Een perceel is in eigendom van de gemeente, een woningbouwcorporatie of particulier eigendom. In een enkel geval is er een gecombineerd eigendom. In dat geval gaat het mogelijk om gepachte grond. Op basis van de eigendomsgegevens en de ligging van de panden is het eigendom per BAG pand bepaald. Deze stap is alleen uitgevoerd voor de gemeente Woerden, omdat de eigendomsinformatie van de andere Utrechtse gemeenten niet beschikbaar was.

2.2.8

BEPALING VAN DE FUNCTIE

Voor alle TOP10NL bouwvlakken is op basis van BRIDGIS de functie bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen: wonen hoogbouw, wonen laagbouw, werken, werken publieke diensten en overig (zie Tabel 2.1). Wanneer er meerdere functies in 1 bouwvlak voorkomen wordt het totaaloppervlak van het pand gedeeld door het aantal BRIDGIS punten voorkomend in dat pand. Vervolgens wordt het aantal punten per functie binnen een pand opgeteld en vermenigvuldigd met de hiervoor berekende pandoppervlakte.

2.2.9

STATISTISCHE ANALYSE

Om te bepalen in hoeverre de resultaten binnen de gemeente Woerden een goede basis bieden voor extrapolatie naar overige gemeenten binnen de provincie Utrecht wordt in het programma SPSS een statistische analyse uitgevoerd. Deze analyse bestaat uit twee onderdelen:

1. Hoe bepalen we het grondoppervlak van bebouwing buiten de gemeente Woerden?

De analyse onderzoekt op wijkniveau voor de gemeente Woerden in hoeverre het grondoppervlak per bouwvlak in de TOP10NL data verschilt ten opzichte van het grondoppervlak per pand in de BAG. Hiermee wordt getoetst in hoeverre de TOP10NL data voor de gehele provincie Utrecht een goede basis vormen voor de extrapolatie van de resultaten op basis van de BAG voor de gemeente Woerden.

Afbeelding 2.9

Grondoppervlak per bouwvlak in de TOP10NL data voor de gemeente Woerden naar CBS-wijk



2. Hoe bepalen we de dakkenmerken buiten de gemeente Woerden?

De analyse onderzoekt op pandniveau in hoeverre de dakkenmerken oriëntatie, helling en hoogte puur op basis van het grondoppervlak binnen wijken voorspeld kan worden of dat aanvullende informatie over functie en/of bouwjaar daarin een toegevoegde waarde heeft.

Er wordt daarom antwoord gezocht op de volgende vraag:

Wat is de relatie tussen het grondoppervlak van de panden (m²) en de dakkenmerken...

- Oriëntatie.
- Helling.

...binnen de volgende categorieën? (Afbeelding 2.10)

- Functie (5 categorieën).
- Bouwjaar (11 categorieën).
- Functie en bouwjaar gecombineerd (55 categorieën).

Afbeelding 2.10

Categorieën zoals gedefinieerd in de statistische analyse

Bouwjaar (11 categorieën)	Functie (5 categorieën)	Combinatie bouwjaar en functie (55 categorieën)
0) Voor 1800	0) Overig	01) Wonen – laagbouw – voor 1800
1) 1800-1899	1) Wonen – laagbouw	02) Wonen – hoogbouw voor 1800
2) 1900-1919	2) Wonen – hoogbouw	Et cetera
3) 1920-1939	3) Werken – overig	62) Wonen – hoogbouw 1970-1979
4) 1940-1959	4) Werken – publieke diensten	63) Werken – publieke diensten 1970-1979
5) 1960-1969		64) Werken – overig 1970-1979
6) 1970-1979		Et cetera
7) 1980-1989		
8) 1990-1999		
9) 2000-2004		
10) Later dan 2005		

2.2.10

EXTRAPOLATIE

Op basis van de statistische analyse zijn kentallen bepaald voor de dakkenmerken oriëntatie, helling en hoogte naar functie en/of bouwjaar. Deze kentallen worden in de extrapolatie toegepast op het aantal m² TOP10NL bouwvlak oppervlak in de provincie Utrecht. De resultaten per bouwvlak worden vervolgens samengevoegd tot resultaten op wijkniveau, gemeentelijk niveau en provinciaal niveau.

2.2.11

PRODUCTEN

Op basis van de offerte worden bijgaande aan het rapport een aantal producten aangeleverd. Tabel 2.4 geeft een overzicht van deze producten. Voor Woerden worden de gegevens op BAG pandniveau aangeleverd, in het ESRITM shapefile formaat. De shapefile bevat een attribuuttabel met daarin een uniek nummer voor ieder pand, buurtnaam waarin het ligt, informatie over het dakoppervlak per oriëntatie, per helling en de dakhoogte.

Voor iedere gemeente binnen de provincie Utrecht wordt een shapefile aangeleverd met daarin de CBS buurten. In de attribuuttabel van de buurten zit een uniek nummer voor iedere buurt, buurtnaam, gemeentenaam, oppervlakte TOP10NL per functie. Dit zal eveneens worden aangeleverd voor de gemeente Woerden. Iedere buurt bevat een nummer dat correspondeert met de buurtnummers van het CBS. Op deze manier kan de informatie van de buurten worden uitgebreid met de al beschikbare gegevens van het CBS.

Tabel 2.4

Geproduceerde gegevens voor:

- De gemeente Woerden
- De gehele provincie Utrecht

Geproduceerde gegevens	Shapefile op pandniveau*	Shapefile op buurtniveau	Rapportage en tabellen
Areaal aan platte daken (0-5 graden), schuine daken (5-35 graden) en zeer schuine daken (>35 graden).			
Areaal aan schuine daken per oriëntatie: Noord, Noordoost, Oost, Zuidoost, Zuid, Zuidwest, West, Noordwest.			
Areaal aan daken per functie: Wonen-laagbouw, Wonen-hoogbouw, Werken-publieke diensten, Werken-overig en Overig.			
Areaal aan daken naar gemiddelde hoogte (voor platte daken) en nokhoogte (voor schuine daken)			

Deze gegevens leveren wij uitsluitend voor de gemeente Woerden

Deze gegevens leveren wij voor de gemeente Woerden **en** voor alle overige gemeenten in de provincie Utrecht.

* Op pandniveau houdt in dit geval in: op GBKN/BAG niveau

2.3

STAP 2: HOE ANALYSEREN WE DE POTENTIE VOOR DUURZAME DAKTECHNIIEKEN?

Samen met de provincie Utrecht is besloten om 17 verschillende daktechnieken te analyseren. Dit betreft in het bijzonder daktechnieken die de provincie ook door middel van proeftuinen wil beproeven; referentiewaarden zijn daarvoor noodzakelijk.

De 17 geselecteerde technieken staan genoemd in *Tabel 2.5*, inclusief hun toepasbaarheid en hun invloed op het energieverbruik van een pand.

Tabel 2.5

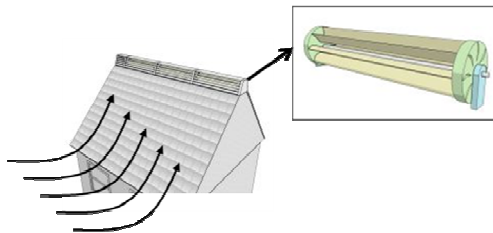
Geselecteerde daktechnieken en hun toepasbaarheid

Categorie	No.	Techniek	Toepassing op		Invloed op	
			plat dak	schuin dak	kWh verbruik	m ³ gas verbruik
Zonne-energie (elektrisch)	1	Zonnepanelen (kristallijn)	Ja	Ja	Ja	Nee
	2	Zonnefolie (dunne film)	Ja	Ja	Ja	Nee
	3	Buizen (Solyndra)	Ja	Nee	Ja	Nee
Zonne-energie (thermisch)	4	Nefit Solar	Ja	Ja	Nee	Ja
	5	Solior	Ja	Nee	Nee	Ja
	6	Triple Solar	Ja	Ja	Nee	Ja
Windenergie	7	DonQi	Ja	Nee	Ja	Nee
	8	Fortis Montana	Ja	Nee	Ja	Nee
	9	Ropatec WRE 030	Ja	Nee	Ja	Nee
Groene daken	10	Extensief (mos en sedum)	Ja	Ja	Ja	Ja
	11	Licht intensief (gras)	Ja	Ja	Ja	Ja
Witte daken	12	Roofclix	Ja	Nee	Ja	Ja
	13	Derbibrite	Ja	Nee	Ja	Ja
	14	Planet Safe Coating (PSC)	Ja	Nee	Ja	Ja
Combinaties	15	Themisch – PV (Zen PV)	Ja	Ja	Ja	Ja
	16	Groen – PV (sedum)	Ja	Nee	Ja	Ja
	17	Wit – PV (PSC)	Ja	Nee	Ja	Ja

Buiten deze selectie vallen bijvoorbeeld daktechnieken die op basis van beschikbare onderzoeksgegevens zeer slecht presteren (dit geldt voor verschillende typen kleine windturbines) of technieken die op dit moment nog niet officieel in productie zijn genomen, zoals de Ridgeblade (zie *Afbeelding 2.11*) of zonnecellen op planten of bloemen (zie *Afbeelding 2.12*). Ook wordt niet gekeken naar isolatietechnieken, omdat voor analyse van deze technieken gedetailleerde informatie benodigd is over de huidige isolatiewaarden en energiehuishouding van panden in de provincie Utrecht.

Afbeelding 2.11

De Ridgeblade



Afbeelding 2.12

Researchers Manage to Grow Solar Cells on Plants (Harsh Paul, 29 januari 2010)⁷



⁷ <http://www.greenpacks.org/2010/01/29/researchers-manage-to-grow-solar-cells-on-plants/>

De impact van de geselecteerde technieken op het energieverbruik van een pand wordt toegelicht in *Hoofdstuk 4*. In *Hoofdstuk 5* worden de uitkomsten hiervan meegenomen en aangevuld.

GEMIDDELDE WAARDE PER M² DAKOPPERVLAK

De impact op het energieverbruik van een pand wordt in *Hoofdstuk 5* uitgedrukt in een gemiddelde waarde per m² dakoppervlak. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt naar bouwjaar of type. De reden hiervoor wordt hieronder toegelicht.

- **Bouwjaar** – Het energieverbruik van een pand lijkt samen te hangen met het bouwjaar van een pand. Dit geldt in het bijzonder voor het gasverbruik van woningen: oude woningen verbruiken over het algemeen meer gas dan nieuwe (zie *Tabel 2.6*). Dit wil echter niet zeggen dat oude woningen per definitie meer potentie bieden voor toepassing van duurzame daktechnieken. Met een gemiddelde levensduur van een dak van circa 20 jaar kan het immers goed zijn dat de oude woning in de tussentijd al een of meerdere keren van een nieuw dak is voorzien. De oorzaak van het hoge gasverbruik kan daarmee bijvoorbeeld ook (of vooral) zitten in de matige isolatie van de muren.

Tabel 2.6

Gasverbruik van woningen in Nederland naar bouwjaar (SenterNovem, 2009)

Bouwjaar	Gasverbruik (m ³ /jaar)				
	2005	2006	2007	2008	2009
Voor 1945	1.843	1.796	1.809	1.838	1.940
1945 - 1965	1.705	1.671	1.506	1.662	1.631
1966 - 1981	1.747	1.763	1.601	1.686	1.588
1982 - 1990	1.310	1.204	1.199	1.267	1.267
1991 - 1999	1.367	1.354	1.305	1.461	1.406
2000 en later	1.500	1.249	1.391	1.410	1.194

- **Type** – Het energieverbruik van een pand lijkt ook samen te hangen met het type pand. Vrijstaande woningen verbruiken bijvoorbeeld over het algemeen meer gas dan tussenwoningen (zie *Tabel 2.7*). Ook hier geldt echter: de oorzaak van het hoge gasverbruik heeft waarschijnlijk meer te maken met de energiestroom door de muren dan de energiestroom door het dak. Daarnaast zou hier ook nog kunnen gelden dat vrijstaande woningen over het algemeen groter zijn dan tussenwoningen. Dit verschil verdwijnt in onze analyse door uit te gaan van gemiddelde waarden per m² dakoppervlak.

Tabel 2.7

Gasverbruik van woningen in Nederland naar woningtype (SenterNovem, 2009)

Woningtype	Gasverbruik (m ³ /jaar)				
	2005	2006	2007	2008	2009
2 onder 1 kap	1.888	1.819	1.788	1.797	1.785
flat-/etagewoning	1.085	1.085	1.050	1.099	1.016
hoekwoning	1.871	1.834	1.689	1.774	1.722
tussenwoning	1.463	1.498	1.374	1.401	1.453
vrijstaande woning	2.507	2.398	2.281	2.351	2.396

2.4 STAP 3: HOE BEPALEN WE DE KOSTEN EN BATEN?

2.4.1 MILIEUEFFECTEN

Bij het analyseren van milieueffecten ligt de nadruk op het CO₂ reductiepotentieel. Dit potentieel wordt voor alle daktechnieken uitgerekend. In specifieke gevallen worden ook andere milieueffecten berekend. Dit betreft in het geval van groene daken het effect ten aanzien van waterretentie en in het geval van witte daken het effect op de stralingsbalans van de aarde. De milieueffecten zijn bepaald door de kengetallen per techniek per m² dakoppervlak te vermenigvuldigen met het geschikt dakoppervlak in de provincie Utrecht. De kengetallen zijn per techniek weergegeven in *Hoofdstuk 4*.

Bij het berekenen van de resultaten is uitgegaan van maximaal 1 zonnecollectorsysteem per pand (binnen de rode contouren gemiddeld 113 m² dakoppervlak, zie *Tabel 3.2*), omdat anders het warmteaanbod de warmtevraag zou kunnen overschrijden. Verder is uitgegaan van maximaal 1 windturbine per 113 m² als maximale dichtheid. Voor zonnepanelen, zonnefolie en Zen PV is een maximum benutting van 50% aangenomen; dit is een praktijkwaarde in verband met beperkingen door schaduwwerking, obstakels op het dak, ruimte aan de randen met het oog op turbulente wind, dakkapellen, dakramen, etc.

2.4.2 FINANCIËEL RESULTAAT

We voeren een private kosten/baten analyse uit, gebaseerd op de financiële stromen van de eigenaar van de daktechniek. Concreet houdt dit in dat de baten van energieopwekking en/of -besparing worden afgezet tegen de investeringskosten en onderhoudskosten van de daktechnieken.

Het resultaat is berekend door de jaarlijkse opbrengsten netto contant te maken en deze te vergelijken met de investeringskosten. Hierbij verschilt het vereiste rendement per doelgroep. Zo is het vereiste rendement van een private onderneming (meestal) hoger dan het (voorgescreven) rendement op een maatschappelijke investering en het vereiste rendement van huishoudens.⁸ Het saldo van de private kosten baten analyse is berekend door de kosten en baten per m² te vermenigvuldigen met het potentieel aan oppervlakte daktechniek van de bedrijven. De gas- en elektraprijzen die hierbij zijn gebruikt hebben we weergegeven in *Tabel 2.8*.

Tabel 2.8

Uitgangspunten financiële berekeningen

Kengetal	Waarde	Eenheid	Bron
Gemiddelde elektraprijs huishoudens 2009	0,24	€ / kWh	Zie ⁹
Gemiddelde elektraprijs bedrijven 2009	0,09	€ / kWh	Zie ¹⁰
Gemiddelde gasprijs huishoudens 2009	0,61	€ / m ³	Zie ¹¹
Gemiddelde gasprijs bedrijven 2009	0,34	€ / m ³	Zie ¹²

⁸ Wij gaan uit van een discontovoet van 8% voor private ondernemingen. In een gevoeligheidsanalyse kan worden bepaald wat de invloed is van het variëren van de discontovoet op de resultaten.

⁹ www.lage-energierekening.nl

¹⁰ <http://zakelijk.nuon.nl/zakelijk/klantenservice/tarieven/>

¹¹ <http://www.easyswitch.nl/energie/energie-begrippen/gasprijs>

¹² <http://zakelijk.nuon.nl/zakelijk/klantenservice/tarieven/tarieven-gas.jsp>

De tabel laat zien dat de gas- en elektraprijzen voor huishoudens veel hoger zijn dan voor bedrijven. Dit houdt in dat de investeringen eerder rendabel zullen zijn voor huishoudens dan bedrijven.

Naast de private kosten baten analyse bepalen we voor de huishoudens de terugverdientijd (TVT) van de daktechnieken. De TVT geeft de tijd weer die nodig is om een investering terug te verdienen. De terugverdientijd berekenen we door de jaarlijkse geldstromen (jaarlijkse opbrengsten min jaarlijkse onderhoudskosten) te delen op de investering.

Wij merken op dat de berekeningen vrij grof zijn. Zo zijn de kosten gebaseerd op algemene kengetallen, is geen rekening gehouden met eventuele subsidiemogelijkheden en hebben we de aanname gehanteerd dat alle technieken dezelfde levensduur bezitten van 20 jaar. De resultaten geven daarom slechts een benadering van de werkelijke waarde in de praktijk. Wederom geldt, er is geen rekening gehouden met schaafeffecten. Dit kan een onderschatting van de baten of een overschatting van de kosten betekenen.

2.4.3

MAATSCHAPPELIJK RESULTAAT

Naast de private kosten baten analyse voeren we ook een maatschappelijke kosten/baten analyse (MKBA) uit. Een MKBA is een op de economische welvaartstheorie gebaseerde afwegingsmethode die een vergelijking tussen de welvaartseffecten van de daktechnieken mogelijk maakt. Hierbij worden alle welvaartseffecten zoveel mogelijk in geld uitgedrukt. Het gaat niet alleen om de financiële stromen (zoals elektriciteitsopbrengsten of gasbesparingen), maar ook om grotendeels niet verhandelbare effecten (bijvoorbeeld effecten op klimaatverandering, luchtkwaliteit en waterretentie). Door de MKBA wordt inzichtelijk of de baten van de daktechnieken groter zijn dan de kosten vanuit een maatschappelijk perspectief.

Bij de uitvoering van de MKBA ondernemen we de volgende stappen:

1. Bepalen en kwantificeren van de fysieke welvaartseffecten van de daktechnieken.
2. Monetariseren (in geld uit drukken) van de welvaartseffecten.
3. Berekenen van de Netto Contante Waarde (NCW)¹³ van de gemonetariseerde effecten.
4. Vergelijken van de kosten en de baten van de daktechnieken.

¹³ De kosten en de baten van de daktechnieken vinden niet op hetzelfde tijdstip plaats. Het gebruikelijke patroon is dat eerst moet worden geïnvesteerd en dat de baten later optreden. Het vergelijkbaar maken van kosten en baten wordt uitgevoerd met behulp van de Netto Contante Waarde (NCW) methode. Hierbij worden toekomstige kosten en baten naar hetzelfde basisjaar teruggebracht met behulp van een discontovoet. De hierbij voorgeschreven maatschappelijke discontovoet voor duurzame investeringen is 4% (een maatschappelijke discontovoet van 2,5% met een gereduceerde risicotoeslag van 1,5%). De (inflatievrije) discontovoet geeft een tijdspreferentie weer. Een bedrag van bijvoorbeeld € 100 nu heeft de voorkeur boven hetzelfde bedrag over 10 jaar. Daarbij speelt mee dat er met het bedrag nu (nuttig) gebruikt kan worden. Ook is er een risico dat het bedrag over 10 jaar er nooit zal komen. De gebruiksmogelijkheden en het risico zijn in de discontovoet verwerkt.

De belangrijkste welvaartseffecten van de daktechnieken zijn:

- Elektriciteitsproductie.
- Gasbesparing.
- Elektriciteitsbesparing.
- CO₂ reductie.
- NO_x reductie elektriciteitsopwekking.
- SO₂ reductie elektriciteitsopwekking.
- Waterretentie.
- Waterkwaliteit.
- Afvang fijn stof.
- Afvang NO_x.
- Geluidshinder.
- Biodiversiteit.
- Welzijn / imago / beleving / bewustwording
- Daling energieafhankelijkheid.

Het maatschappelijk resultaat is in eerste instantie berekend per m² dakoppervlakte. Deze waarden zijn vervolgens vermenigvuldigd met het totale areaal aan dakoppervlakte om het totaal effect te berekenen. Het totale areaal aan dakoppervlakte hebben we gevarieerd naar geografisch gebied (wijk, gemeente, provincie) en type gebouwen (woningen, bedrijven, overheid). Er is daarbij geen rekening gehouden met schaaffecten. Dit kan een onderschatting van de baten of een overschatting van de kosten betekenen.

HOOFDSTUK 3 Dakoppervlak

3.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van de analyse van het dakoppervlak. Daarbij wordt eerst aandacht besteed aan de resultaten van de gedetailleerde analyse voor de gemeente Woerden (*paragraaf 3.2*). Vervolgens wordt gekeken naar de resultaten van de grovere analyse voor de gehele provincie Utrecht (*paragraaf 3.3*).

3.2 RESULTATEN GEMEENTE WOERDEN

3.2.1 OPPERVLAK

De detailanalyse laat zien dat het totale dakoppervlak van de gemeente Woerden **4,8 miljoen m²** bedraagt. Deze waarde is exclusief kleine bijgebouwen (<200 m²). Als kleine bijgebouwen wel zouden zijn meegenomen dan zou het totaal uitkomen op **5,1 miljoen m²** (*Tabel 3.1 en Afbeelding 3.1*). Dit staat gelijk aan het oppervlak van **ruim 700 voetbalvelden** (7140 m² per veld).

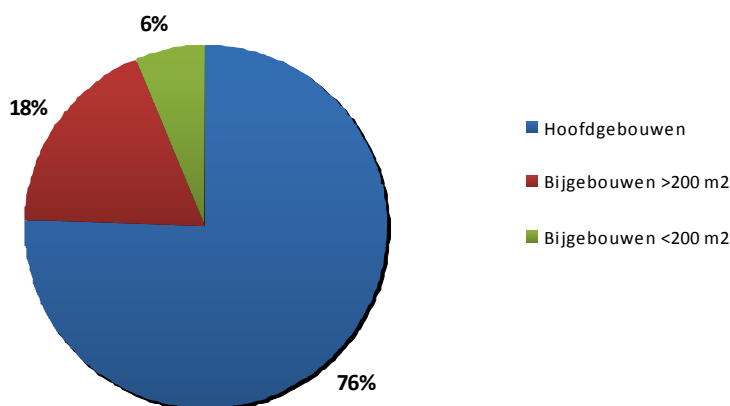
Tabel 3.1

Dakoppervlak in de gemeente Woerden naar type pand

Type pand	Aantal panden	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Gemiddeld (m ² /pand)
Hoofdgebouwen	18.026	2.789.908	3.875.278	215
Bijgebouwen >200 m ²	735	692.273	912.996	1.242
Subtotaal	18.761	3.482.181	4.788.273	255
Bijgebouwen <200 m ²	11.136	275.429	331.768	30
Totaal alle gebouwen	29.897	3.757.610	5.120.041	171

Afbeelding 3.1

Dakoppervlak in de gemeente Woerden naar type pand



Tabel 3.2 toont aan dat 42% van het dakoppervlak zich buiten de rode contouren van de gemeente bevindt. De tabel laat tevens zien dat buiten de rode contouren sprake is van een groter dakoppervlak per pand, waarschijnlijk deels veroorzaakt door de aanwezigheid van veel boerderijen en schuren.

Tabel 3.2

Dakoppervlak in de gemeente
Woerden naar type pand:
verschillen binnen en buiten de
rode contouren (RC)

Type pand	Dakoppervlak (%)		Gemiddeld (m ² /pand)	
	Binnen RC	Buiten RC	Binnen RC	Buiten RC
Hoofdgebouwen	68%	32%	157	919
Bijgebouwen >200 m ²	18%	82%	1.064	1.289
Bijgebouwen <200 m ²	52%	48%	18	93
Totaal alle gebouwen	58%	42%	113	591

Toch zijn ook binnen de rode contouren 1.788 panden aanwezig met een dakoppervlak >200 m². Deze grote panden vertegenwoordigen binnen de rode contouren 7% van het totaal aantal panden, maar bijna de helft van het totale dakoppervlak. 62% van deze grote panden zijn werkpanden.

3.2.2

FUNCTIE

Tabel 3.3 presenteert de dakkenmerken van de gemeente Woerden naar functie van het pand. Tabel 3.4 en 3.5 splitsen deze cijfers op naar panden binnen de rode contouren en panden daarbuiten. Afbeelding 3.2 en 3.3 visualiseren deze cijfers.

Tabel 3.3

Dakoppervlak in de gemeente
Woerden naar functie
(totaal)

Functie van het pand	Aantal panden	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Gemiddeld (m ² /pand)
Wonen – laagbouw	11.388	975.691	1.399.062	123
Wonen – hoogbouw	277	104.045	155.317	561
Werken – publieke diensten	4	3.924	5.077	1.269
Werken – overig	5.233	2.058.909	2.773.814	530
Overig	1.859	339.613	455.004	245
Totaal excl. bijgebouwen <200 m²	18.761	3.482.181	4.788.273	255

Tabel 3.4

Dakoppervlak in de gemeente
Woerden naar functie
(binnen de rode contouren)

Functie van het pand	Aantal panden	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Gemiddeld (m ² /pand)
Wonen – laagbouw	10.806	780.795	1.094.091	101
Wonen – hoogbouw	277	104.045	155.317	561
Werken – publieke diensten	4	3.924	5.077	1.269
Werken – overig	4.254	1.112.976	1.304.929	307
Overig	1.471	175.608	223.701	152
Totaal excl. bijgebouwen <200 m²	16.812	2.177.348	2.783.114	166

Tabel 3.5

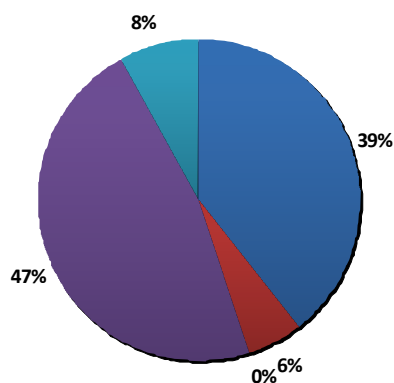
Dakoppervlak in de gemeente
Woerden naar functie
(buiten de rode contouren)

Functie van het pand	Aantal panden	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Gemiddeld (m ² /pand)
Wonen – laagbouw	583	194.896	304.971	524
Wonen – hoogbouw	0	0	0	-
Werken – publieke diensten	0	0	0	-
Werken – overig	979	945.933	1.468.886	1.500
Overig	388	164.005	231.303	596
Totaal excl. bijgebouwen <200 m²	1.949	1.304.833	2.005.160	1.029

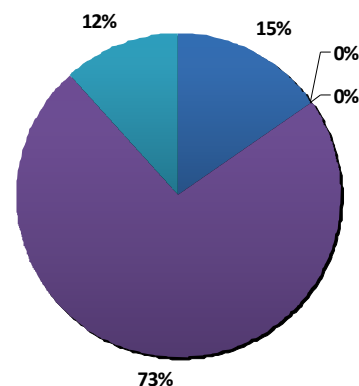
Afbeelding 3.2 en 3.3

Dakoppervlak in de gemeente
Woerden naar functie:

- Wonen – laagbouw
- Wonen – hoogbouw
- Werken – publieke diensten
- Werken – overig
- Overig



3.2: binnen rode contouren



3.3: buiten rode contouren

PUBLIEKE DIENSTEN

De resultaten laten in de eerste plaats zien dat in de gemeente Woerden slechts 4 gebouwen binnen de categorie werken – publieke diensten vallen. Deze categorie is blijkbaar zeer strak gedefinieerd. De 4 gebouwen kennen wel een relatief groot dakoppervlak (gemiddeld 1.269 m² per gebouw). Buiten de rode contouren komen helemaal geen panden voor in de categorie werken – publieke diensten.

WONEN VS. WERKEN

De resultaten laten verder zien dat werkpanden een groter aandeel (58%) in het totale dakoppervlak hebben dan woonpanden (31%). Het overige deel betreft de categorie “overig” (3%). De verhouding verschilt echter sterk tussen het deel binnen de rode contouren en het deel daarbuiten. Binnen de rode contouren is het dakoppervlak ongeveer evenredig verdeeld tussen woon- en werkpanden.

3.2.3**HELLING**

Kijkend naar de panden binnen de rode contouren van de gemeente Woerden, dan blijkt dat hoogbouwwoonings naar verhouding meer plat dakoppervlak kennen dan laagbouwwoonings. Ook geldt dat werkpanden meer plat dakoppervlak kennen dan woonpanden (zie Tabel 3.6 en Afbeelding 3.4-3.6). De statistische analyse toont aan dat deze verschillen **significant** zijn.

Ongeveer de helft van het dakoppervlak valt binnen de categorie “zeer schuin”. Hierbij dient echter wel te worden opgemerkt dat hellingen ten gevolge van bijvoorbeeld schoorstenen en dakkapellen ook in de categorie “zeer schuin” vallen. Het daadwerkelijk aandeel “zeer schuin” dakoppervlak zal daarom iets lager liggen (zie *paragraaf 2.2.5*)

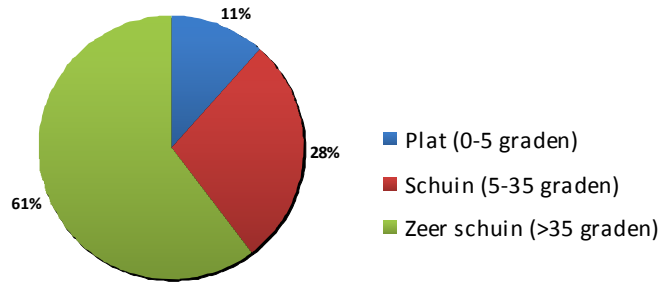
Tabel 3.6

Dakoppervlak van alle
gebouwen in de gemeente
Woerden naar helling

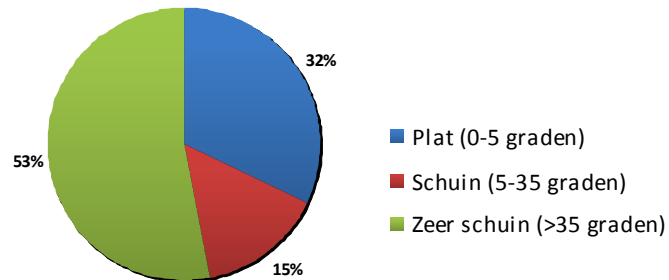
Functie van het pand	Helling		
	0-5°	5-35°	>35°
Wonen – laagbouw	11%	28%	61%
Wonen – hoogbouw	32%	15%	53%
Werken – publieke diensten	51%	11%	38%
Werken – overig	43%	22%	35%
Overig	22%	27%	51%
Totaal	28%	24%	48%

Afbeelding 3.4

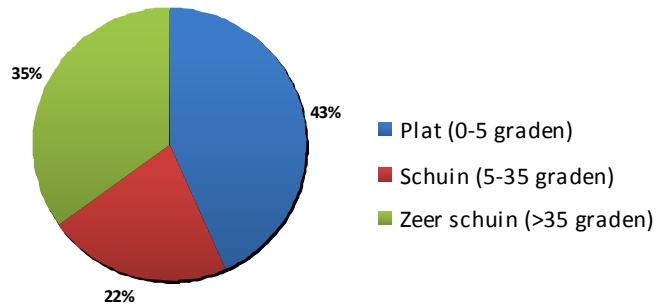
Dakoppervlak van laagbouw woningen naar helling

**Afbeelding 3.5**

Dakoppervlak van hoogbouw woningen naar helling

**Afbeelding 3.6**

Dakoppervlak van werkpanden naar helling



Buiten de rode contouren van de gemeente Woerden komt nauwelijks plat dakoppervlak voor (3%). Een groot deel van de daken bestaat uit schuine daken, dus bijgebouwen, met schuine daken, inclusief een groot kassencomplex bij Kamerik. Dit geeft tevens aan dat gedetailleerder onderzoek nodig zal zijn om aan te kunnen geven of daadwerkelijk alle daken geschikt zijn voor bepaalde technieken. Het is namelijk niet gewenst om zonnepanelen te plaatsen op een kassencomplex.

3.2.4

ORIËNTATIE

De analyse in de gemeente Woerden laat zien dat de oriëntatie van schuine daken (>5 graden) ongeveer evenredig over de windrichtingen is verdeeld (zie Tabel 3.7 en 3.8 en Afbeelding 3.7 en 3.8). Dit is het geval vrijwel ongeacht de functiegroep en ongeacht de locatie (binnen of buiten de rode contouren). De statistische analyse toont aan dat er geen **significante** verschillen zijn.

Tabel 3.7

Dakoppervlak de gemeente
Woerden naar oriëntatie
binnen de rode contouren

Functie van het pand	Plat (0-5°)	Oriëntatie (>5°)							
		N	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW
Wonen – laagbouw	11%	11%	11%	12%	10%	12%	11%	11%	10%
Wonen – hoogbouw	32%	8%	8%	9%	8%	10%	8%	9%	8%
Werken – publieke diensten	51%	5%	5%	7%	8%	7%	6%	5%	6%
Werken – overig	43%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
Overig	22%	9%	10%	10%	9%	10%	10%	9%	9%
Totaal	29%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	9%	8%

Tabel 3.8

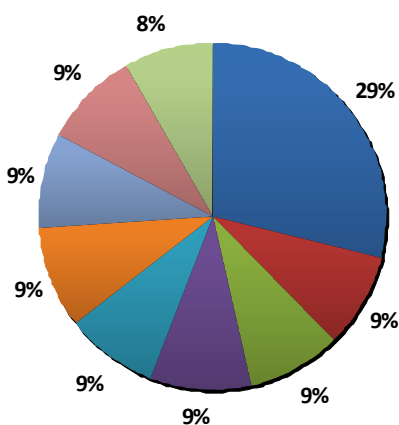
Dakoppervlak de gemeente
Woerden naar oriëntatie
buiten de rode contouren

Functie van het pand	Plat (0-5°)	Oriëntatie (>5°)							
		N	NO	O	ZO	Z	ZW	W	NW
Wonen – laagbouw	3%	14%	11%	12%	11%	13%	11%	13%	11%
Wonen – hoogbouw*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Werken – publieke diensten*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Werken – overig	3%	13%	11%	13%	10%	13%	11%	14%	11%
Overig	2%	13%	13%	14%	9%	12%	13%	14%	9%
Totaal	3%	13%	12%	13%	10%	13%	11%	14%	11%

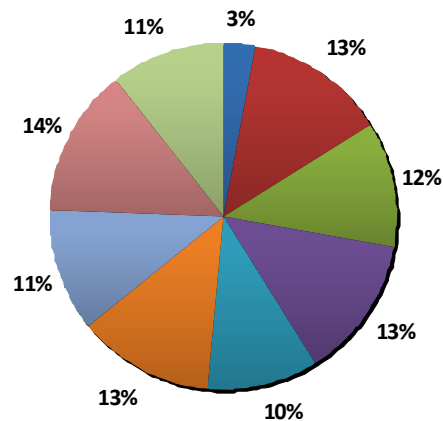
* niet aanwezig buiten de rode contouren

Afbeelding 3.7 en 3.8

Oriëntatie van daken in de
gemeente Woerden



3.7: binnen de rode contouren



3.8: buiten de rode contouren

3.2.5

EIGENDOM

Binnen de rode contouren van de gemeente Woerden bevinden zich, inclusief kleine bijgebouwen, 26.235 panden. Voor deze panden is onderzocht hoe het dakoppervlak is verdeeld naar verschillende typen eigenaren.

Het resultaat (Tabel 3.9 en Afbeelding 3.9) toont aan dat veruit het meeste dakoppervlak bij particulieren zit (87%). Anderzijds vertonen gemeentelijke gebouwen gemiddeld ruim tweemaal zoveel dakoppervlak per gebouw als particuliere gebouwen. Het feit dat deze categorie bijna 600 gebouwen omvat bevestigd bovendien dat de functiecategorie “werken – publieke diensten” met 4 gebouwen in de gehele gemeente Woerden erg strak gedefinieerd is.

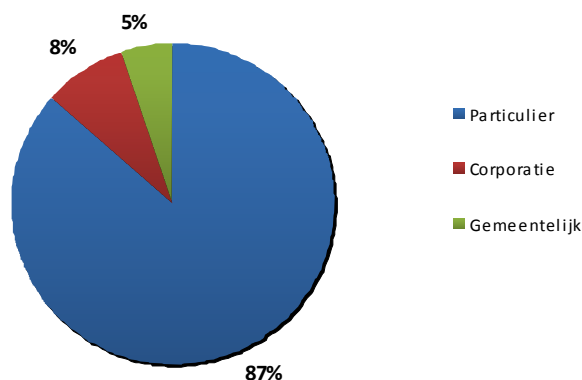
Tabel 3.9

Dakoppervlak van alle gebouwen in de gemeente Woerden naar eigendom

Eigendom van het pand	Aantal panden	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Gemiddeld (m ² /pand)
Particulier	21.098	2.008.802	2.549.281	121
Corporatie	4.542	183.231	248.917	55
Gemeentelijk	595	139.182	157.342	264
Totaal	26.235	2.331.215	2.955.539	113

Afbeelding 3.9

Verdeling van het dakoppervlak in de gemeente Woerden naar eigendom



3.2.6

BOUWJAAR

Voor alle panden binnen de rode contouren van de gemeente Woerden (26.235 panden) is tevens onderzocht hoe het dakoppervlak is verdeeld naar bouwjaar.

Tabel 3.10 geeft weer dat panden die nog zijn overgebleven uit de periode voor 1800 gemiddeld vrij grote panden betreft. Verder is te zien dat in de periode 1800-1970 sprake was een trend richting kleinere panden en in de periode daarna juist een trend richting grotere panden (Afbeelding 3.10).

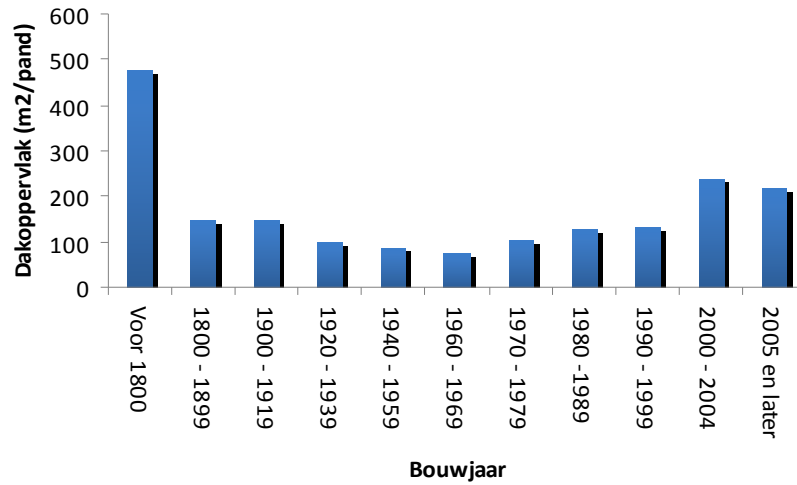
Tabel 3.10

Dakoppervlak van alle gebouwen in de gemeente Woerden naar bouwjaar

Bouwjaar van het pand	Aantal panden	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Gemiddeld (m ² /pand)
Voor 1800	27	7.863	12.918	478
1800 - 1899	320	36.032	48.018	150
1900 - 1919	585	62.654	85.584	146
1920 - 1939	1.373	98.413	133.913	98
1940 - 1959	1.200	77.744	101.874	85
1960 - 1969	3.209	186.410	241.270	75
1970 - 1979	4.940	411.928	512.920	104
1980 -1989	3.353	323.157	428.671	128
1990 - 1999	3.933	404.269	517.243	132
2000 - 2004	778	161.820	185.754	239
2005 en later	739	136.467	159.284	216
Geen bouwjaargegevens	5.778	424.458	528.090	91
Totaal alle gebouwen	26.235	2.331.215	2.955.539	113

Afbeelding 3.10

Dakoppervlak per pand in de gemeente Woerden naar bouwjaar



3.2.7

HOOGTE

Tabel 3.11 verdeelt het dakoppervlak van alle panden binnen de rode contouren van de gemeente Woerden (26.235 panden) naar hoogte. De tabel laat zien dat hogere panden over het algemeen een groter dakoppervlak hebben. Daarnaast geeft de tabel aan dat ongeveer de helft van de panden binnen de categorie 6-9 meter valt. 7% van de panden komt boven de 12 meter uit (Afbeelding 3.11 en 3.12). Op deze panden wordt in Tabel 3.12 nog verder ingezoomd.

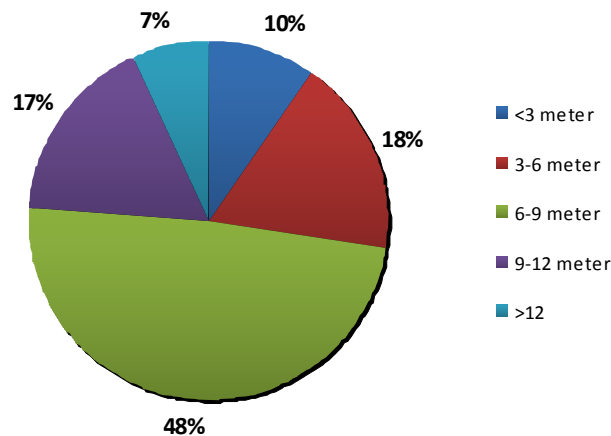
Tabel 3.11

Dakoppervlak van alle gebouwen in de gemeente Woerden naar hoogte

Hoogte van het pand (m)	Aantal panden	Grondoppervlak (m²)	Dakoppervlak (m²)	Gemiddeld (m²/pand)
<3	8.888	277.453	291.003	33
3-6	4.494	437.626	523.858	117
6-9	10.692	1.094.853	1.432.015	134
9-12	1.989	384.750	507.346	255
>12	172	136.533	201.317	1.170
Totaal	26.235	2.331.215	2.955.539	113

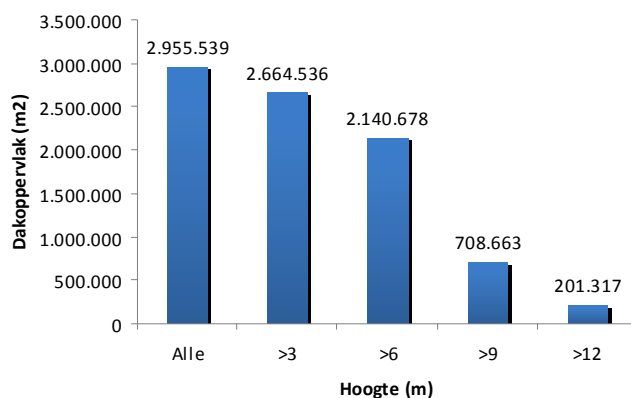
Afbeelding 3.11

Verdeling van de panden in de gemeente Woerden naar hoogte



Afbeelding 3.12

Verdeling van de panden in de gemeente Woerden naar hoogte



Tabel 3.12 laat zien dat de meeste panden met een hoogte van minimaal 12 meter werkpanden betreffen (65%). Deze panden vertegenwoordigen 4% van het totale dakoppervlak binnen de rode contouren van de gemeente Woerden.

Tabel 3.12

Dakkenmerken van gebouwen in de gemeente Woerden met een hoogte van minimaal 12 meter.

Functie van het pand	Aantal panden hoger dan 12m	Grondoppervlak (m²)	Dakoppervlak (m²)	Gemiddeld (m²/pand)
Wonen – laagbouw	12	8.357	11.384	949
Wonen – hoogbouw	39	34.769	57.719	1.480
Werken – publieke diensten	1	1.303	1.950	1.950
Werken – overig	111	87.791	123.782	1.115
Overig	9	4.313	6.482	720
Totaal hoge gebouwen	172	136.533	201.317	1.170
Totaal alle gebouwen	26.235	2.331.215	2.955.539	113

3.3 RESULTATEN PROVINCIE UTRECHT

3.3.1 TOTAALBEELD

De analyse op basis van TOP10NL laat zien dat het totale dakoppervlak in de provincie Utrecht, exclusief kleine bijgebouwen, **71 miljoen m²** bedraagt (Tabel 3.13). Dit komt overeen met het oppervlak van circa **10.000 voetbalvelden**. 21% van dit dakoppervlak bevindt zich buiten de rode contouren van de provincie.

Tabel 3.13

Dakoppervlak in de provincie Utrecht naar gemeente

Gemeente	Dakoppervlak (m ²)			Verhouding (%)	
	Totaal	Binnen RC	Buiten RC	Binnen RC	Buiten RC
Abcoude	560.920	319.073	241.847	57%	43%
Amersfoort	6.627.437	6.141.536	485.901	93%	7%
Baarn	1.386.928	1.167.371	219.557	84%	16%
De Bilt	2.492.309	1.867.070	625.239	75%	25%
Breukelen	1.129.493	651.344	478.149	58%	42%
Bunnik	1.178.815	824.739	354.076	70%	30%
Bunschoten	1.198.463	991.229	207.234	83%	17%
Eemnes	616.461	360.552	255.909	58%	42%
Houten	2.672.192	1.826.532	845.660	68%	32%
Leusden	1.816.934	1.227.448	589.486	68%	32%
Loenen	569.903	295.825	274.078	52%	48%
Lopik	1.540.164	524.013	1.016.151	34%	66%
Maarssen	2.122.540	1.529.568	592.972	72%	28%
Montfoort	1.107.100	728.356	378.744	66%	34%
Nieuwegein	3.206.684	3.170.310	36.374	99%	1%
Oudewater	894.743	404.257	490.486	45%	55%
Renswoude	584.061	247.730	336.331	42%	58%
Rhenen	1.289.258	810.992	478.266	63%	37%
De Ronde Venen	2.909.982	1.670.420	1.239.562	57%	43%
Soest	2.868.055	2.344.224	523.831	82%	18%
Utrecht	14.695.505	14.290.179	405.326	97%	3%
Utr. Heuvelrug	3.360.601	2.191.575	1.169.026	65%	35%
Veenendaal	3.254.825	3.205.133	49.692	98%	2%
Vianen	1.577.292	1.290.764	286.528	82%	18%
Woerden	4.340.579	2.684.551	1.656.028	62%	38%
Woudenberg	995.323	527.130	468.193	53%	47%
Wijk bij Duurstede	1.320.392	842.751	477.641	64%	36%
IJsselstein	1.636.483	1.482.703	153.780	91%	9%
Zeist	3.165.152	2.517.434	647.718	80%	20%
Totaal	71.118.594	56.134.810	14.983.784	79%	21%

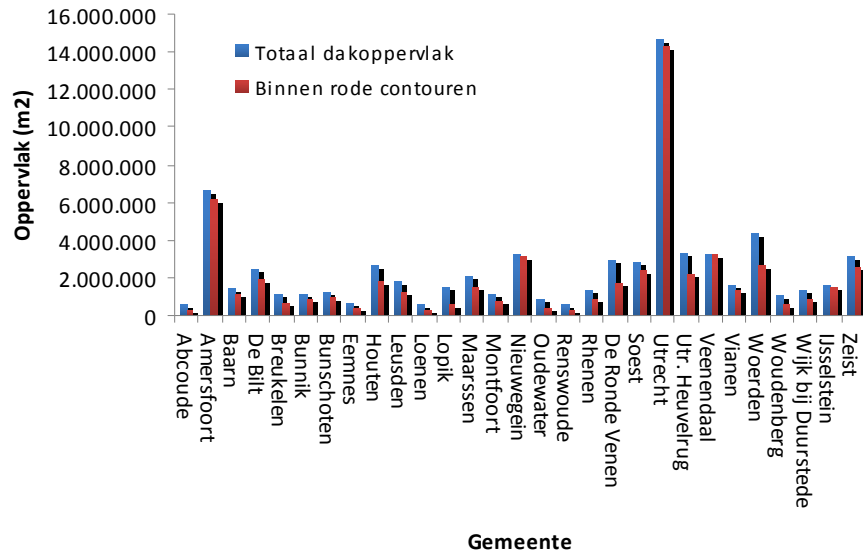
Voor de gemeente Woerden maakt de analyse op basis van TOP10NL een iets kleiner dakoppervlak inzichtelijk dan de analyse op basis van het BAG (Tabel 3.1 en 3.2). Het verschil betreft voor het totale dakoppervlak in de gemeente Woerden **circa 10%**. De verklaring voor dit verschil ligt mogelijk in de volgende punten:

- Het BAG is gedetailleerder en bevat daardoor ook kleinere bebouwing
- Het BAG is actueler en bevat daardoor ook nieuwere bebouwing.

Ongeveer 21% van het dakoppervlak bevindt zich in de gemeente Utrecht. Andere grote bijdragers zijn de gemeente Amersfoort (9%) en Woerden (6%) (zie Afbeelding 3.13).

Afbeelding 3.13

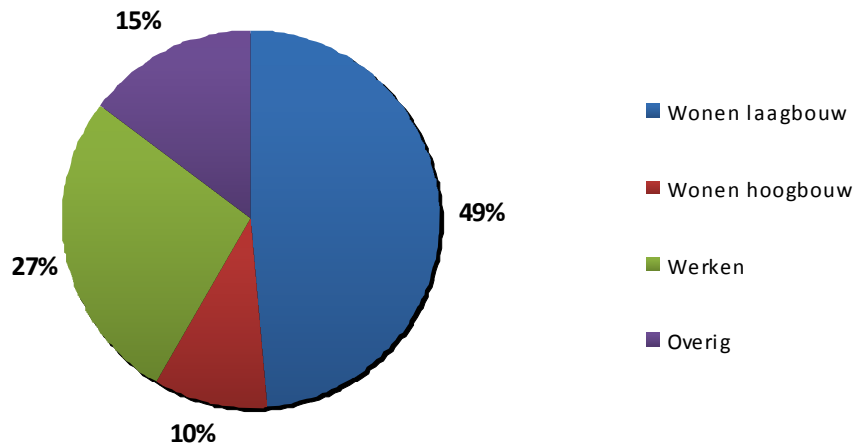
Dakoppervlak in de provincie Utrecht naar gemeente



Afbeelding 3.14 laat tevens zien dat de provincie Utrecht ongeveer tweemaal zoveel dakoppervlak kent op woonpanden (59%) als op werkpanden (27%). Dit is een duidelijk verschil ten opzichte van de uitkomsten voor de gemeente Woerden; daar hebben werkpanden juist een groter aandeel (58%) in het totale dakoppervlak dan woonpanden (31%).

Afbeelding 3.14

Verdeling van het dakoppervlak in de provincie Utrecht naar functie (excl. gebouwen <200 m²)



Tabel 3.14 en Afbeelding 3.15 tonen de helling van de daken in de provincie Utrecht. Doordat woningen in de provincie relatief meer dakoppervlak vertegenwoordigen dan in de gemeente Woerden, kent de provincie ook meer schuin dakoppervlak. Naar schatting kan ongeveer de helft van het dakoppervlak als zeer schuin (>35 graden) worden beschouwd.

Net als voor de resultaten ten aanzien van hellingen in de gemeente Woerden dient wel te worden opgemerkt dat hellingen ten gevolge van bijvoorbeeld schoorstenen en dakkapellen

ook in de categorie “zeer schuin” vallen. Het daadwerkelijk aandeel “zeer schuin” dakoppervlak zal daarom iets lager liggen dan hier weergegeven (zie *paragraaf 2.2.5*)

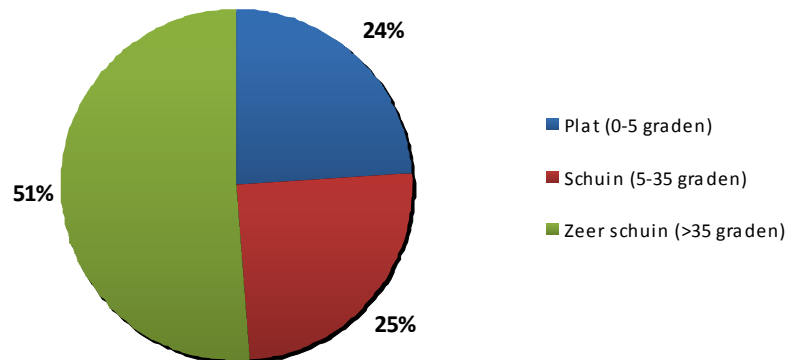
Tabel 3.14

Dakoppervlak in de provincie Utrecht naar functie (excl. bijgebouwen <200 m²)

Functie van het pand	Grondoppervlak (m ²)	Dakoppervlak (m ²)	Helling		
			0-5°	5-35°	>35°
Wonen – laagbouw	8.256.302	10.517.443	11%	28%	61%
Wonen – hoogbouw	24.677.023	34.578.726	32%	15%	53%
Werken – publieke diensten	4.691.364	7.003.188	51%	11%	38%
Werken – overig	16.075.144	18.847.589	43%	22%	35%
Overig	132.667	171.648	22%	27%	51%
Totaal	53.832.500	71.118.594	24%	25%	51%

Afbeelding 3.15

Verdeling van het dakoppervlak in de provincie Utrecht naar helling (excl. bijgebouwen <200 m²)



Wat betreft de oriëntatie van de schuine daken kan worden verwezen naar de resultaten in de gemeente Woerden. Deze resultaten duiden aan dat de oriëntatie van schuine daken (>5 graden), ongeacht de functiegroep, ongeveer evenredig over de windrichtingen is verdeeld.

Onderstaand worden een aantal voorbeeldresultaten getoond van het rekenmodel op gemeentelijk niveau (3.3.2) en op buurtniveau (3.3.3). Het doel hiervan is om de werking en de inhoud van het rekenmodel verder te illustreren.

3.3.2

VERGELIJKING TUSSEN GEMEENTEN

Ter illustratie maken we een onderlinge vergelijking tussen vier gemeenten die sterk van elkaar verschillen. Dit zijn de gemeenten Loenen, Utrecht, Vianen en Zeist (zie *Tabel 3.15* en *Afbeelding 3.16-3.19*). In dit voorbeeld wordt uitsluitend gekeken naar de dakkenmerken binnen de rode contouren van de gemeenten.

Tabel 3.15

Dakoppervlak van de gemeenten Loenen, Utrecht, Vianen en Zeist naar functie (binnen de rode contouren en excl. kleine bijgebouwen)

Functie van het pand	Dakoppervlak per gemeente (m ²)			
	Loenen	Utrecht	Vianen	Zeist
Wonen – laagbouw	207.158	5.471.554	540.185	1.314.202
Wonen – hoogbouw	8.289	3.069.213	59.564	410.283
Werken*	49.624	4.344.026	598.502	553.244
Overig	30.753	1.405.386	92.512	239.706
Totaal	295.825	14.290.179	1.290.764	2.517.434

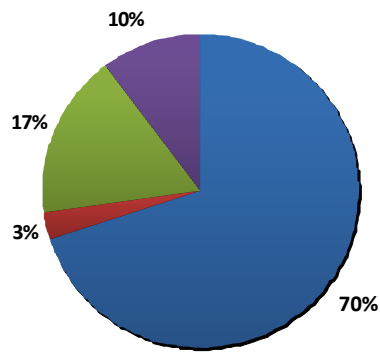
* De categorie werken – publieke diensten is binnen de gemeenten maximaal 1% en is daarom in deze tabel samengevoegd met de categorie werken – overig.

Afbeelding 3.16-3.19

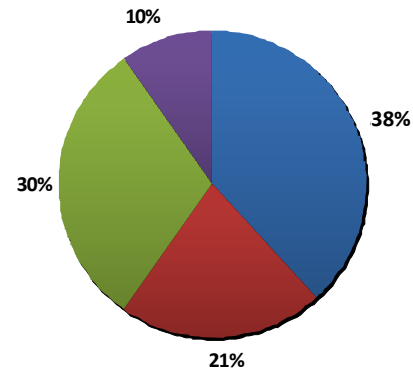
Verdeling van het dakoppervlak naar functie in de gemeenten:

- Loenen (3.14)
- Utrecht (3.15)
- Vianen (3.16)
- Zeist (3.17)

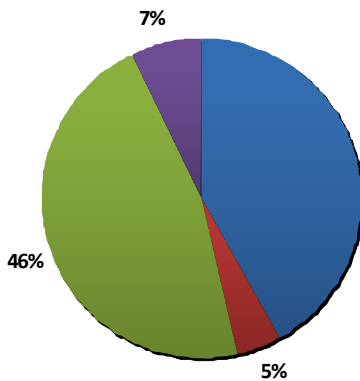
(binnen de rode contouren en excl. kleine bijgebouwen)



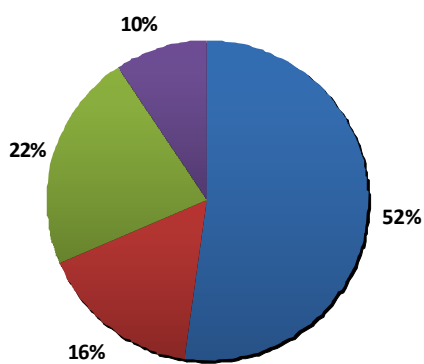
3.16 – Gemeente Loenen



3.17 – Gemeente Utrecht



3.18 – Gemeente Vianen



3.19 – Gemeente Zeist

- Wonen – laagbouw
- Wonen – hoogbouw
- Werken*
- Overig

Afbeelding 3.20

De gemeente Zeist kent een relatief groot aandeel dakoppervlak op hoogbouw woningen (16%), bijvoorbeeld in de buurt Vollenhove te Zeist-Noord (foto)



De gemeente Loenen vertoont van alle gemeenten het hoogste aandeel dakoppervlak op laagbouw woningen (70%). De gemeente Utrecht daarentegen vertoont het laagste aandeel laagbouw woningen (38%) en het hoogste aandeel hoogbouw woningen (21%). Het rekenmodel laat zien dat de gemeente Zeist op een tweede plaats volgt met een aandeel hoogbouw woningen van 16% (zie *Afbeelding 3.20*).

Afbeelding 3.21

De gemeente Vianen kent een relatief groot aandeel dakoppervlak op werkpanden (46%), bijvoorbeeld op industrieterrein De Biezen te Vianen-Zuid (foto)



De gemeente Vianen vertoont van alle gemeenten, samen met Woerden, het hoogste aandeel werkpanden (46%) (zie *Afbeelding 3.21*). Het rekenmodel laat zien dat het laagste aandeel werkpanden te vinden is in Abcoude (16%). De gemeenten Loenen en Utrechtse Heuvelrug kennen een ongeveer even groot aandeel werkpanden (17%).

3.3.3

VERGELIJKING TUSSEN BUURTEN

Nog groter dan de verschillen op gemeentelijk niveau, zijn de verschillen op buurtniveau. Ter illustratie maken we in deze paragraaf een onderlinge vergelijking tussen 4 buurten in de gemeente Utrecht: Lageweide, Sterrenwijk, Terwijde en De Uithof (zie Tabel 3.16 en 3.17 en Afbeelding 3.22-3.25).

Tabel 3.16

Dakoppervlak van 4 buurten in de gemeente Utrecht naar functie (excl. bijgebouwen <200 m²)

Functie van het pand	Dakoppervlak per buurt (m ²)			
	Lageweide	Sterrenwijk	Terwijde	De Uithof
Wonen – laagbouw	170.070	20.845	136.466	37.778
Wonen – hoogbouw	39.843	4.743	32.796	48.834
Werken	932.848	870	12.685	252.140
Overig	83.494	1.455	22.573	38.130
Totaal	1.226.256	27.913	204.560	376.882

Tabel 3.17

Dakoppervlak van 4 buurten in de gemeente Utrecht naar helling (excl. bijgebouwen <200 m²)

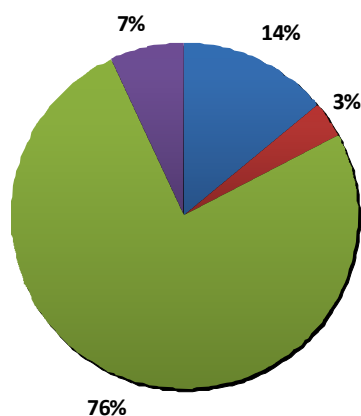
Helling van het dak	Dakoppervlak per buurt (m ²)			
	Lageweide	Sterrenwijk	Terwijde	De Uithof
0-5° (plat)	37%	16%	18%	36%
5-35° (schuin)	23%	26%	26%	22%
>35° (zeer schuin)	43%	58%	57%	42%

Afbeelding 3.22-3.25

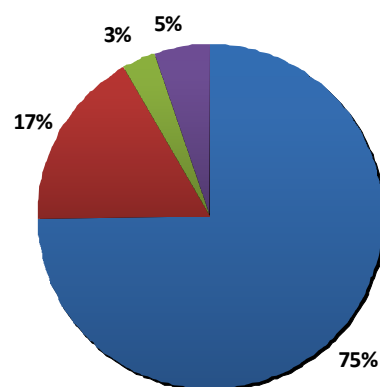
Verdeling van het dakoppervlak naar functie in de buurten:

- Lageweide (3.20)
- Sterrenwijk (3.21)
- Terwijde (3.22)
- De Uithof (3.23)

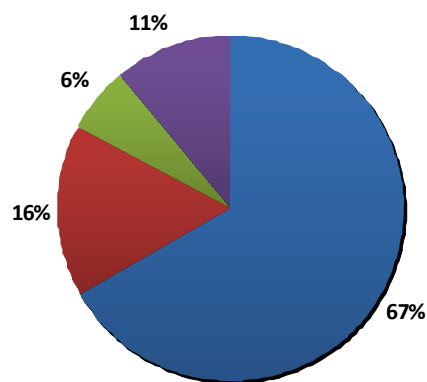
(excl. bijgebouwen <200 m²)



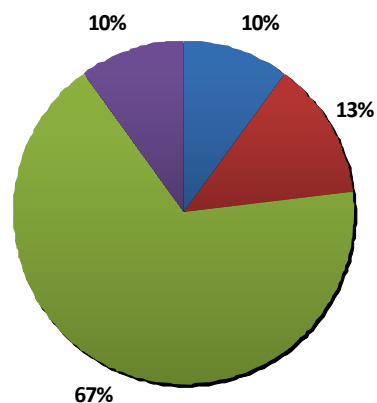
3.22 – Lageweide



3.23 - Sterrenwijk



3.24 – Terwijde

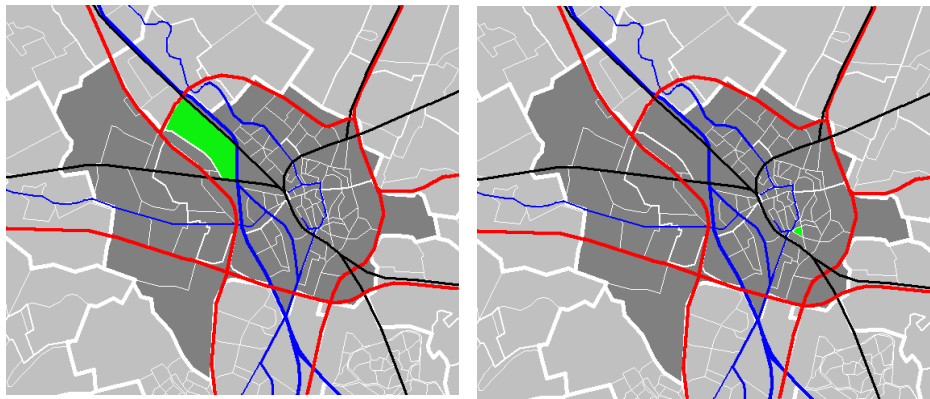


3.25 – De Uithof

De resultaten kenmerken duidelijk de verschillende karakters van de buurten. Bijvoorbeeld: van een grote wijk met een groot aandeel werkpanden (bedrijventerreinen) en een relatief groot aandeel plat dakoppervlak (Lageweide) tot een kleine woonwijk met een groot aandeel laagbouw woningen en overwegend zeer schuin dakoppervlak (Sterrenwijk) (zie *Afbeelding 3.26-3.28*). Evenzo: van een grote nieuwbouwwijk met overwegend woningen (Terwijde) tot een universiteitswijk met een groot aandeel werkpanden met een relatief groot aandeel plat dakoppervlak (De Uithof). De Uithof kent zelfs een dubbel zo groot aandeel plat dakoppervlak als Terwijde (36% om 18%). Let wel: deze cijfers zijn gebaseerd op extrapolatie vanuit de gemeente Woerden. Op wijk- en buurtniveau kunnen deze cijfers afwijken van het specifieke karakter van de wijk of buurt. Zo lijken de universiteitsgebouwen op de Uithof een nog groter aandeel plat dakoppervlak te hebben dan de genoemde 36%.

Afbeelding 3.26 en 3.27

In het groen: de grote wijk Lageweide (links) tegenoverde woonwijk Sterrenwijk (rechts) (afbeeldingen uit Wikipedia)



Afbeelding 3.28

De Utrechtse wijk Sterrenwijk in Utrecht-Oost kent een relatief groot aandeel zeer schuin dakoppervlak (>35 graden) op woningen (www.hetutrechtsarchief.nl)



HOOFDSTUK

4 Daktechnieken

4.1**INLEIDING**

In dit hoofdstuk worden diverse daktechnieken behandeld onderverdeeld naar zes hoofdcategorieën:

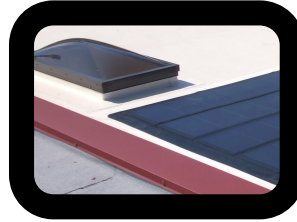
- Zonne-energie (elektrisch) *zie paragraaf 4.2*
- Zonne-energie (thermisch) *zie paragraaf 4.3*
- Stedelijke windturbines *zie paragraaf 4.4*
- Groene daken *zie paragraaf 4.5*
- Witte daken *zie paragraaf 4.6*
- Combinaties hiervan *zie paragraaf 4.7*

Voor elke hoofdcategorie wordt in de eerste subparagraaf de werking en de toepasbaarheid van de techniek toegelicht. Vervolgens komen in de tweede subparagraaf enkele referentieproducten uit de markt in detail aan bod. Deze referentieproducten staan weergegeven op de *Afbeeldingen 4.1-4.17*.

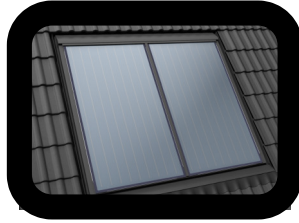
De gegevens uit dit hoofdstuk dienen als input voor de kosten/baten analyse (*Hoofdstuk 5*).

Afbeelding 4.1-4.3

Categorie 1: zonne-energie
t.b.v. elektriciteit

**Kristallijne panelen****Flexibele panelen****Buizen (Solyndra)****Afbeelding 4.4-4.6**

Categorie 2: zonne-energie
t.b.v. warmte

**Nefit Solar****Solior****Triple Solar****Afbeelding 4.7-4.9**

Categorie 3: windenergie

**DonQi****Fortis Montana****Ropatec WRE 030****Afbeelding 4.10 en 4.11**

Categorie 4: groene daken

**Extensief groen (mos/sedum)****Licht-intensief groen (gras)****Afbeelding 4.12-4.14**

Categorie 5: witte daken

**Roofclix****DerbiBrite****Planet Safe Coating****Afbeelding 4.15-4.17**

Categorie 6: combinaties

**Thermisch – PV****Groen – PV****Wit – PV**

4.2

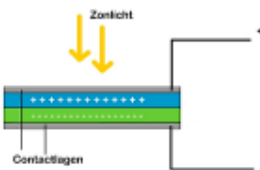
ZONNE-ENERGIE (ELEKTRISCH)

Een zonne-energiesysteem dat elektriciteit opwekt bestaat grofweg uit twee elementen. Een paneel dat zonlicht omzet in gelijkstroom en een inverter die gelijkstroom omzet in wisselstroom. De opgewekte elektriciteit is duurzaam en voorkomt CO₂-emissies.



4.2.1

WERKING



Alle zonnepanelen werken volgens hetzelfde principe. Licht dat invalt op het paneel zorgt voor een positieve en een negatieve lading in het paneel. Door de positieve en negatieve via aparte contactlagen af te voeren kan er een stroom lopen.

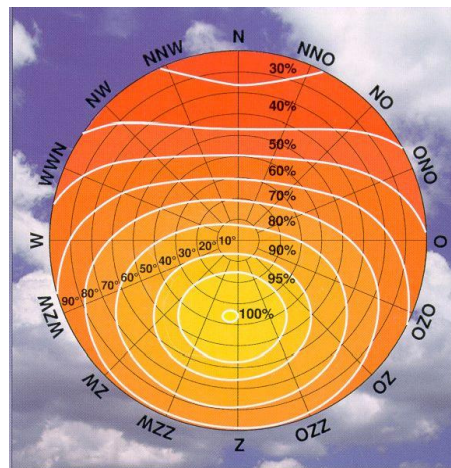
Dit proces vindt plaats in kleine zonnecellen en levert een te lage spanning om direct te gebruiken. Door verschillende zonnecellen samen in een module te gebruiken ontstaat er een hogere spanning. Verschillende modules worden vervolgens samen tot een paneel gecombineerd dat een bruikbare spanning heeft.

In welke mate zonnepanelen interessant zijn voor toepassing hangt af van verschillende elementen zoals opbrengst, kosten en de toepasbaarheid op het dak.

- **Opbrengst** – De richting van invallend zonlicht varieert per jaargetijde, maar ook per tijdstip van de dag. In Nederland leveren zonnepanelen gemiddeld een optimale opbrengst als deze geplaatst worden onder een hoek van circa 35 graden op het zuiden. *Afbeelding 4.19* geeft een indicatie van vermindering van de opbrengst als andere hoeken en richtingen gebruikt worden.

Afbeelding 4.19

Instralingdiagram
(SenterNovem Leidraad
zonnestroom projecten, 2008)



In het instralingdiagram is af te lezen wat het rendement is van zonnepanelen bij een opstelling die afwijkt van de meest ideale opstelling (zuid met helling van circa 35 graden). De zwarte cirkels geven de hellingshoek van het zonnepaneel aan. De witte lijnen geven de opbrengsten in procenten t.o.v. de ideale opstelling. Zo blijkt dat bij richtingen tussen ZO en ZW en dakhellingen tussen 15 en 60 graden de opbrengst nog minstens 95% is van de optimale opbrengst.

WATT-PIEK

De opbrengst van zonnepanelen varieert ook met de omgevingstemperatuur. Koele panelen presteren bijvoorbeeld beter dan warme panelen. Om de fabrikant toch een indruk van de opbrengst te laten geven wordt de opbrengst van zonnepanelen gemeten onder standaard omstandigheden¹⁴. Het vastgestelde vermogen onder deze omstandigheden wordt ook wel het piekvermogen genoemd. Een vierkante meter paneel met een efficiëntie van 14% zal bijvoorbeeld onder deze standaard omstandigheden 140 Watt leveren. Een dergelijk paneel van een vierkante meter wordt verkocht als een paneel van 140 Watt-piek (W_p).

VOLLAST UUR

Het aantal uur dat dit vermogen in een jaar gemiddeld gehaald wordt, wordt het aantal vollast uur genoemd. In Nederland ligt het aantal vollast uren op 850 (ECN-E-08-066, ECN 2009). Een paneel van 1 m² met een efficiëntie van 14% zal in Nederland ongeveer 119 kWh per jaar opleveren¹⁵. In de praktijk zullen er nog kleine verliezen in de rest van het systeem optreden (kabels, inverter, etc.)

**OPBRENGST
DEGRADATIE**

Naast de richting ten opzichte van de zon en de temperatuur heeft ook het type paneel invloed op de prestaties. Amorfe panelen presteren bijvoorbeeld beter bij diffuus licht (grijs weer) dan panelen van kristallijn silicium. Ironisch genoeg degraderen zonnepanelen onder invloed van zonlicht en daarmee daalt de opbrengst van een paneel over de levensduur van een paneel (20 - 30 jaar) ongeveer met 20%. Om die reden bieden vrijwel alle fabrikanten een prestatie garantie. Veelal houdt dit in dat de degradatie over 20 jaar niet meer dan 20% mag zijn. Verdere vermogens degradatie valt dan onder de garantie.

**EURO PER WATT-PIEK
€/W_p**

- **Investeringskosten** – Omdat zonnepanelen een energiesysteem zijn worden de investeringskosten gerelateerd aan het vermogen en niet aan het oppervlak. De investeringskosten worden daarom uitgedrukt in €/W_p. Een andere motivatie voor deze aanpak is dat de verschillende type panelen bij een gelijk oppervlak sterk kunnen verschillen in vermogen.

TURN-KEY

Gangbaar bij grote systemen is om de investeringskosten *turnkey* te vermelden, dat wil zeggen inclusief paneel, inverter, bekabeling, installatie, etc. Bij kleinere systemen, bijvoorbeeld voor een enkel huishouden, worden de investeringskosten meestal uitgedrukt in €/W_p voor de panelen en een vast bedrag voor installatie- en inverterkosten.

In de praktijk blijkt dat het voor particulieren gangbaar is om een systeem van 3,5 kW_p aan te leggen (ECN, 2009). ECN verwacht dat de investeringskosten voor een dergelijk systeem in 2010 turnkey uit komt op 4,57 €/W_p.

- **Draagconstructie** – Een recente ontwikkeling op het gebied van zonne-energie is die van dunne film technologie. Dergelijke dunne folies zijn licht en flexibel waardoor ze eenvoudig op een dak geplakt kunnen worden of zelfs als dakbedekking kunnen dienen. Deze folies liggen ingeklemd tussen polymeren waardoor ze bestendig zijn tegen weer en wind. Dunne film technologie is door het productie proces per definitie

¹⁴ Dat wil zeggen: 1000 W/m² invallend licht vermogen bij een paneeltemperatuur van 25 °C en vastgesteld lichtspectrum.

¹⁵ 14% van 1000 W/m² gedurende 850 uur staat gelijk aan 119.000 Wh, ofwel 119 kWh.

amorf en presteert daarom ook bij diffuus licht (grijs weer) relatief goed. De efficiëntie van flexibele dunne film panelen ligt nog niet zo hoog als de commerciële kristallijne panelen. Momenteel ligt de efficiëntie op 6% (enkele laag). Helianthos (dochter van NUON) verwacht in 2013 commercieel flexibele dunnefilm panelen te leveren met efficiëntie van 9% (dubbele laag).

De verwachting is dat dunnefilm technologie snel goedkoper wordt dan de huidige panelen. Dunnefilm gebruikt namelijk minder silicium, wat door de groeiende computer- en televisie-industrie alsmat duurder wordt. Bovendien kunnen dunnefilm cellen in een continue rol proces gemaakt worden waardoor het productieproces sneller en verloopt.

Amorfe panelen zijn goedkoop te produceren doordat er weinig silicium nodig is en omdat de panelen net als papier in een continue lopend proces gemaakt kunnen worden. Echter, door de lage efficiëntie is er relatief meer paneeloppervlak nodig voor hetzelfde vermogen en daardoor zijn ook de installatie kosten hoger. In de praktijk blijken de kosten per geleverde watt vermogen tussen deze twee panelen dan ook zeer dicht bij elkaar te liggen.

4.2.2

REFERENTIEPRODUCTEN



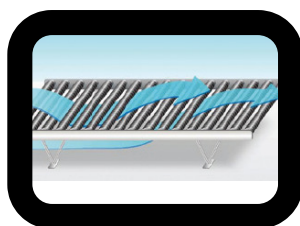
Kristallijne panelen

- **Kristallijne panelen** worden gemaakt uit silicium wafers die ook in de chipindustrie gebruikt worden.
 - **Monokristallijne** panelen worden gemaakt van monokristallijn silicium, dat wordt verkregen door silicium aan te laten groeien aan een staaf. Deze staaf wordt vervolgens in plakken gesneden. Deze methode zorgt voor cellen met een zeer regelmatige structuur. Kenmerkend is dat dergelijke panelen een relatief hoge efficiëntie kennen. Dit komt omdat elektriciteit weinig weerstand ondervindt in de regelmatig structuur van de zonnecellen.
 - **Poli-kristallijne panelen** worden gemaakt door silicium op te gieten. Het silicium zal vervolgens opdrogen in een korrelige structuur. Deze grenzen tussen de diverse korrels zorgen voor extra elektrische weerstand waardoor de opbrengst van polykristallijne panelen lager ligt dan mono kristallijnen. Daarentegen is de techniek van het gieten goedkoper. In de praktijk valt het voordeel van de goedkope panelen vaak weg tegen de extra installatiekosten. Er moet tenslotte een groter oppervlak aan panelen aangelegd worden voor dezelfde opbrengst. Gemiddeld komen de investeringskosten per Watt-piek turnkey overeen met die van kristallijne panelen.



Flexibele panelen

- **Flexibele panelen (amorf)**, zoals die bijvoorbeeld door Helianthos geproduceerd worden, worden gemaakt door silicium op te dampen. Hierdoor kan de silicium laag erg dun blijven. Door deze dunne laag tussen twee polymeren in te plaatsen blijft het geheel flexibel en licht. De dunne actieve laag heeft als nadeel dat het rendement lager is dan panelen van kristallijn silicium.



Solyndra

Daarentegen zijn de panelen goedkoper dan kristallijne panelen en door de flexibiliteit zijn ze ook gemakkelijker te installeren. Dit maakt dat dergelijke panelen vooral geschikt zijn voor daken met een lage draagkracht of als geïntegreerd product in de dakbedekking.

- **Solyndra** is een systeem waarbij zonnecellen aanwezig zijn binnen een stelsel van buizen. De buizen buigen invallend licht naar de zonnecellen toe waardoor het systeem minder gevoelig is voor de stand van de zon.

Door het buizensysteem zijn de panelen relatief ongevoelig voor wind waardoor ze los op een plat dak gezet kunnen worden. Door onder het systeem een witte EVA dakbedekking laag aan te brengen wordt er extra licht de buizen in gereflecteerd waardoor de opbrengst omhoog gaat. Deze combinatie wordt in *paragraaf 4.7* besproken. Tevens zorgt de open structuur dat de panelen koel blijven wat de opbrengst ten goede komt.

Tabel 4.1

Referentieproducten
Zonnepanelen (elektrisch).

Kenmerk	Kristallijn	Flexibel (amorf)	Solyndra ¹⁶
Marktaandeel ¹⁷	82%	<18%	-
Dikte van het paneel	3 cm	0,5 cm	5 cm
Investeringskosten grootschalig ¹⁸	3,00 €/W _p	3,00 €/W _p	
Investeringskosten kleinschalig ¹⁸	4,57 €/W _p	4,57 €/W _p	4,80 €/W _p
Gewicht ^{19 20}	10-25 kg/m ²	0,5-3 kg/m ²	16 kg/m ²
Efficiëntie ^{17 20}	10-18%	5-9%	9,8%
Vollast uren ²¹	850 uur		
Elektriciteitsprijs ²²	€0,24 / kWh		
Emissie elektriciteitsnet ²³	€0,453 Kg CO ₂ / kWh		
Kleur	(Donker)blauw / antraciet	Zwart / bruin / goud	Zwart
Garantie op vermogen ²⁴	20 jaar	-	25 jaar
Garantie op product ²⁴	10 jaar	-	5 jaar
Energieproductie per m ²	85-153 kWh/jaar	43-76 kWh/jaar	83 kWh/jaar
Emissiereductie per m ² systeem ²⁵	38-69 kg CO ₂ /jaar	20-35 kg CO ₂ /jaar	38 kg CO ₂ /jaar

¹⁶ Voor Solyndra is de SL-001-182 als uitgangspunt genomen; kentallen afkomstig uit de Solyndra product datasheet.

¹⁷ Opgebouwd rondom gegevens van de drie grootste producenten: Q-Cells, Sharp en Suntech (Joint Research Centre: PV status report, 2008).

¹⁸ Turnkey prijs, gebaseerd op het ECN SDE basisbedragen advies 2010. Kosten per m² zijn afhankelijk van de efficiëntie van het paneel.

¹⁹ Ondergrens in gewicht kristallijn is exclusief frame; bovengrens is inclusief frame.

²⁰ EPIA (2009) - Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013.

²¹ Gebaseerd op het ECN SDE basisbedragen advies 2010.

²² CE Delft (2009) - Gemiddelde elektriciteitsprijs 2009

²³ NMa (2008) - Achtergrondgegevens Stroommetikettering 2008.

²⁴ SenterNovem (2009) - Leidraad Zonnestroomprojecten.

²⁵ Berekend op basis van vollast uren, efficiëntie en emissiefactor.

4.3

ZONNE-ENERGIE (THERMISCH)

Een thermisch zonne-energiesysteem bestaat uit een voorraadvat en een zonnecollector die zonlicht opvangt. Zo'n collector bestaat over het algemeen uit een donker gekleurd buizenstelsel dat afgedekt is met een vlakke glasplaat en wordt op het dak geplaatst.



Afbeelding 4.20

Impressie van een flat aan de Obbinklaan te Utrecht met een zonnecollector (Google SketchUp Pro, 2010)

4.3.1

WERKING



Water dat door het buizenstelsel stroomt wordt verwarmd door het zonlicht. Het warme water wordt dan bewaard in een voorraadvat omdat de productie van de warmte met behulp van een zonnecollector niet gelijk loopt met de warmtevraag.

Een zonneboiler levert alleen warm tapwater. Daarnaast is een combiketel nodig voor ruimteverwarming en na- en bijverwarming van tapwater. In een zonnegascombi is een Cv-ketel en een zonneboiler samengebouwd tot één toestel. De opbrengst van een zonneboiler systeem is sterk afhankelijk van het warm tapwater gebruik²⁶. Om water door het systeem te pompen gebruik een zonneboiler bovendien elektriciteit.

Om toch inzicht te geven in de opbrengst van zonne-boilers wordt de opbrengst voor alle boilers bepaald middels de NPR 7976-norm. Deze norm gaat uit van Nederlandse omstandigheden en watergebruik. Deze norm is 18 maart 2010 vernieuwd.

Een zonneboiler is duurder dan een HR-ketel en de huidige meerinvestering kan gedurende de levensduur (20 jaar) niet met de besparingen worden terugverdiend. Sinds 2008 is er daarom de subsidieregeling Duurzame warmte voor de bestaande woningbouw van kracht. Subsidiebedragen worden per systeem door SenterNovem vastgesteld²⁷.

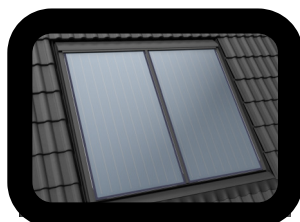
Omdat warm water niet teruggeleverd kan worden aan een net is het niet zinvol om een overcapaciteit aan zonneboilers aan te leggen. ARCADIS gaat daarom uit van maximaal 1 systeem per pand. Aangezien het gemiddelde dak oppervlak van een pand 103 m² is, vertaald dit zich in 1 systeem per 103 m².

²⁶ De hoeveelheid energie die overgedragen wordt naar het water is afhankelijk van het temperatuur verschil tussen de buitenkant van de zonnecollector en de water temperatuur in de collector. Een hoog verbruik zorgt ervoor dat dit verschil groot blijft, waardoor er meer energie in het water wordt opgenomen.

²⁷ http://www.senternovem.nl/mmfiles/Productenlijst%20Zonneboilers%2019-05-2010_tcm24-305668.pdf

4.3.2

REFERENTIEPRODUCTEN



Nefit Solar

- **Nefit Solar** – De *Nefit Solar Line 1-110* is een traditioneel zonnecollectorproduct bestaande uit een collector en een boiler. Het systeem kan zowel op platte als op schuine daken geplaatst worden. Het vastgestelde subsidiebedrag voor deze boiler is € 700 (SenterNovem, 2010).

- **Solior** – In tegenstelling tot traditionele systemen combineert de Solior het collector vat en de collector in één systeem. Aangezien het hele systeem op het dak staat wordt er ruimte in huis bespaart. Het vastgestelde subsidiebedrag voor deze boiler is € 620 (SenterNovem, 2010). De Solior 150 is momenteel alleen voor platte daken beschikbaar.



Solior



Triple Solar

- **Triple Solar** – In tegenstelling tot de voorgaande concepten beperkt Triple Solar zich niet alleen tot warm tapwater, maar voorziet het systeem ook in verwarming. Uitgegaan wordt van het gemiddelde dakoppervlak van een woning van 50 m² aan Triple Solar collectoren en een collector vat van 1000 liter. Het is vooralsnog onduidelijk voor hoeveel subsidie de Triple Solar installatie in aanmerking komt. De naam Triple Solar refereert aan de integratie van drie functies, dak, elektriciteitsopwekking en warmte opwekking. Voor elektriciteitsopwekking dient er apart PV laminaat aangebracht te worden.

Tabel 4.2

Referentieproducten
thermische zonne-energie
(SenterNovem, 2010; Nefit
2010a; Solior, 2010; TNO,
2009)

Kenmerk	Nefit Solar	Solior	Triple Solar
Oppervlak systeem (m ²)	2,37	2,52	50
Systeemopbrengst (GJ/jaar) ^{28 29}	3,5	3,1	37
Investeringskosten (€) ^{30 31 32 33}	2.050-2.250	1800-2.000	10.000-15.000
Gewicht (kg)	44	210	
Besparing op gas (m ³ /jaar)	106	94	1.121
CO ₂ -reductie (kg/jaar)	188	166	1.985

²⁸ TNO rapport 034-DTM-2009-04900

²⁹ Agentschap NL - Productenlijst Zonneboilers

³⁰ Nefit adviesprijzen Januari 2010

³¹ Waakzaamwonen catalogus April 2010

³² Co bouw (<http://www.cobouw.nl/nieuws/2009/03/26/Kunststof-Roofclix-geeft-dak-extra-isolatielaag.html>)

³³ <http://www.triplesolar.eu/pdf/artikelparool2008.pdf>

4.4

WINDTURBINES

Stedelijke windturbines, beter bekend als UWT's (Urban Wind Turbines) zijn windturbines welke geplaatst kunnen worden in de stedelijke omgeving. Stedelijke turbines zijn beschikbaar in diverse uitvoeringen. Vormen van windmolens worden dikwijls vergeleken met de vorm van een wokkel of een slagroomklopper.



4.4.1

WERKING

De opbrengst van een windturbine is sterk locatie afhankelijk en wordt onder andere bepaald door:

- Windsnelheid.
- Windrichting.
- Omgevingsfactoren die de wind beïnvloeden.

Afbeelding 4.21

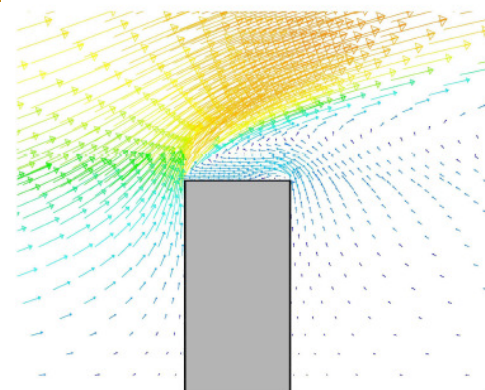
Impressie van de middelbare school Unic aan de Kanaalweg te Utrecht met een windturbine (Google SketchUp Pro, 2010)

In stedelijke omgevingen, zoals die binnen de provincie Utrecht te vinden zijn, is het belangrijk windturbines voldoende hoog te plaatsen. In hogere luchtlagen is de windsnelheid gemiddeld hoger waardoor de opbrengst een stuk hoger is. Als de windsnelheid verdubbeld kan het geleverde vermogen tot een factor 8 toenemen. In de provincie Utrecht ligt de gemiddelde windsnelheid op 10m hoogte tussen de 3,5 en 4,5 meter per seconde. Op 100m hoogte loopt dit op tot tussen de 6,5 en 8 meter per seconde.

In een stad wordt de wind sterk geremd. Tussen huizen vindt wel luchtbeweging plaats, maar dat is turbulentie, geen wind. Er is pas sprake van wind boven de gemiddelde bebouwingshoogte. In de provincie Utrecht ligt de gemiddelde bebouwingshoogte tussen de 5m en 7m. In de analyses is er van uitgegaan dat de windturbines alleen ingezet kunnen worden op plekken 10m meter boven de gemiddelde bebouwingshoogte. Op basis van de twee windkaarten wordt de windsnelheid op deze hoogte geschat op tussen de 4 en 7 meter per seconde.

Afbeelding 4.22

Gesimuleerde luchtstroming over een gebouw (Ingrenious 2008 - Nederlandse Beoordelingsrichtlijn Kleine Windturbines, in opdracht van SenterNovem)



Afbeelding 4.22 geeft schematisch weer hoe de luchtstroming over een gebouw heen trekt. Blauw representeert lage windsnelheden en rood hoge windsnelheden. Te zien is dat de wind in een schuine lijn over het gebouw wegtrekt. Onder deze lijn is er geen sprake van wind maar van turbulentie. Om tot een optimale opbrengst te komen dient de windturbine op een mast boven de turbulentie geplaatst te worden.

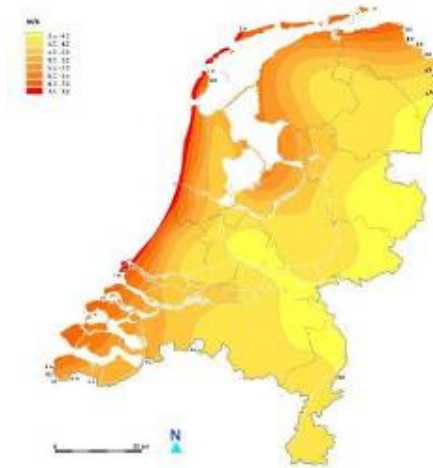
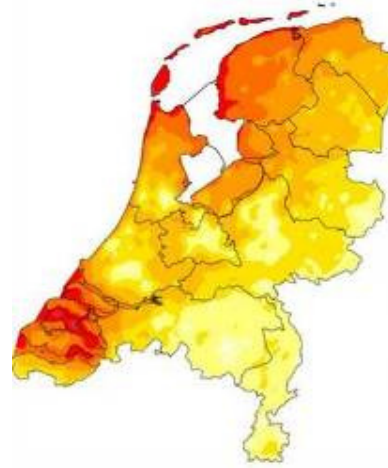
Afbeelding 4.23 en 4.24

Windkaarten op 10 en 100 meter hoogte:

rood = hoge snelheden

geel = lage snelheden

(KNMI, 2009)

Windkaart op 10m hoogte**Windkaart op 100 meter hoogte**

Praktijk – Het blijkt dat de jaaropbrengst vaak sterk wordt overschat door leveranciers van stedelijke windturbines. Om dit te ondervangen is de provincie Zeeland in samenwerking met diverse partijen in 2008 een test gestart met een 11-tal stedelijke windturbines. Van deze test zijn op moment van schrijven praktijk metingen beschikbaar tot en met april 2010.

De door de fabrikanten gepresenteerde vermogens ten opzichte van de windsnelheid worden in de praktijk teruggevonden. De prestatie van windturbines wordt veelal onafhankelijk getest. Er blijkt echter, dat de gemiddelde windsnelheid, waarvan door de fabrikant uitgegaan, overschat wordt. Waar fabrikanten de opbrengst presenteren bij een windsnelheid van 6 meter per seconde blijkt in de praktijk in Zeeland en het Verenigd Koninkrijk 4 meter per seconde vaak realistischer.

In deze studie zijn de praktijk gegevens uit Zeeland als uitgangspunt genomen voor de 3 onderstaande windturbines. De gemiddelde windsnelheid op locatie ligt met 3,7 meter per seconde dicht op de ondergrens (4 m/s) die gehanteerd wordt in dit rapport. De prestatie op de bovengrens (6 m/s) is bepaald op basis van de door de fabrikant geleverde windtunnelinformatie. Het piekvermogen van de turbines wordt bij alle turbines pas boven de 9 m/s bereikt. Een scenario dat zich zelden voordoet in Nederland.

4.4.2**REFERENTIEPRODUCTEN**

DonQi

- De **DonQi** is een Nederlands product ontwikkeld in samenwerking met de TU Delft. De DonQi kan op een schuin dak gemonteerd worden door bevestiging in de gevel. Tevens kan de DonQi op een platdak geplaatst worden met behulp van ballast of door verankering in de daklaag. Het uiterlijk van de DonQi is met op maat gemaakte prints aan te passen naar keuze.

Onafhankelijke praktijk metingen van de DonQi zijn in deze studie alleen gevonden voor de testlocatie van de provincie Zeeland. De resultaten zijn echter alleen beschikbaar voor een 2 maanden. Het is nog onduidelijk of deze resultaten representatief zijn voor de prestaties over een geheel jaar.



Fortis Montana

- **De Fortis Montana** vertoont de meeste overeenkomsten met de traditionele grote windturbines. De turbine kan op een paal in de gevel bevestigd worden of op een plat dat waar de paal gestabiliseerd wordt door tuien. Van de Fortis Montana zijn meetresultaten over een periode van 2 jaar bekend. De test is nog steeds lopend en wordt in en door de provincie Zeeland gedaan.
- **De RopateC WRE 030** is een verticale as turbine. Dit type turbine is minder gevoelig voor turbulentie die op de dakrand ontstaat. Van de RopateC WRE 030 zijn meetresultaten over een periode van 2 jaar bekend. De test is nog steeds lopend en wordt in en door de provincie Zeeland gedaan.



Ropatec WRE 030

Tabel 4.3

Referentieproducten
windturbines

	DonQi	Fortis Montana	Ropatec WRE 030
Investeringskosten (€) ³⁴	8.100	18.500	29.500
Piekvermogen (kW) ³⁵	1,5	5	3
Masthoogte (m) ³⁵	variabel	6-24	variabel
Gewicht turbine (kg) ³⁵	110	200	650
Rotor diameter (m) ³⁵	2	5	3,3
Garantie (jaar) ³⁵	2	5	2
Geschatte levensduur ³⁵	20 jaar	20 jaar	15-20 jaar
Gewicht Ballast (plat dak) ³⁵	1600kg / 4m2	200 kg	430 kg
Energie productie (kWh/jaar) ^{35,36}			
• bij 4 m/s	420	2600	420
• bij 6 m/s	2800	9500	2800
CO ₂ -reductie (kg/jaar) ³⁷			
• bij 4 m/s	190	1178	190
• bij 6 m/s	1270	4300	1270

³⁴ Inclusief installatie en aansluiting op het net (Zeeland 2010). Prijzen tevens vergeleken op www.allsmallwindturbines.com.

³⁵ Datasheets DonQi, Fortis Montana en Ropatec.

³⁶ Prestaties bij 4 meter per seconde gebaseerd op praktijk gegevens over 22 maanden van testveld in zeeland(Provincie Zeeland 2010 – Meetresultaten kleine windturbines april 2008 – januari 2010).

³⁷ Gemiddelde elektriciteitsprijs 2009.

4.5

GROENE DAKEN

Een vegetatie- of groen dak is een dak van een woning, kantoorgebouw of garage, dat bedekt is met begroeiing en beplanting. Er zijn verschillende soorten groene daken, die worden onderscheiden door extensieve en intensieve daken.

Extensieve daken bestaan uit een dunne laag substraat, begroeid met sedum, kruiden en/of mossen. Deze daken zijn niet zwaar, waardoor ze meestal geen aangepaste dakconstructie nodig hebben, en dus betrekkelijk simpel op bestaande bouw gemaakt kunnen worden.

EXTENSIEF:

Sedum / kruiden / mos

LICHT-INTENSIEF:

Gras / lage planten

INTENSIEF:

Struiken / bomen



Afbeelding 4.25

Impressie van Villa de Wachter te Amersfoort met een groen dak (Google SketchUp Pro, 2010)

Bij intensieve daken is de substraatlaag dikker en de vegetatie is divers. Een licht intensief dak kan bestaan uit gras en lage planten, maar in de zwaardere varianten kunnen er ook struiken en bomen groeien. Uiteraard behoeft een intensief dak een stevigere dakconstructie en vergt het meer onderhoud dan een extensief dak. Naast begroeiing kunnen op deze daken ook paden, vijvers en terrassen aangelegd worden, waardoor het echte daktuinen worden, vergelijkbaar met 'gewone' tuinen op maaiveldniveau.

4.5.1

WERKING

Een groen dak biedt in vergelijking met een normaal, bitumen dak een veelheid aan functies en mogelijkheden. Onderstaand geven wij daarvan een beschrijving.

- **Waterberging** – Een van de belangrijkste functies van een groendak is het waterbergende vermogen. Vanuit de WB21-beleidslijn '*vasthouden, bergen, afvoeren*' wordt in het stedelijk waterbeheer gezocht naar mogelijkheden om hemelwater (langer) vast te houden en op die manier stedelijke wateroverlast tegen te gaan. De aanleg van groene daken kan een van die oplossingsrichtingen zijn.

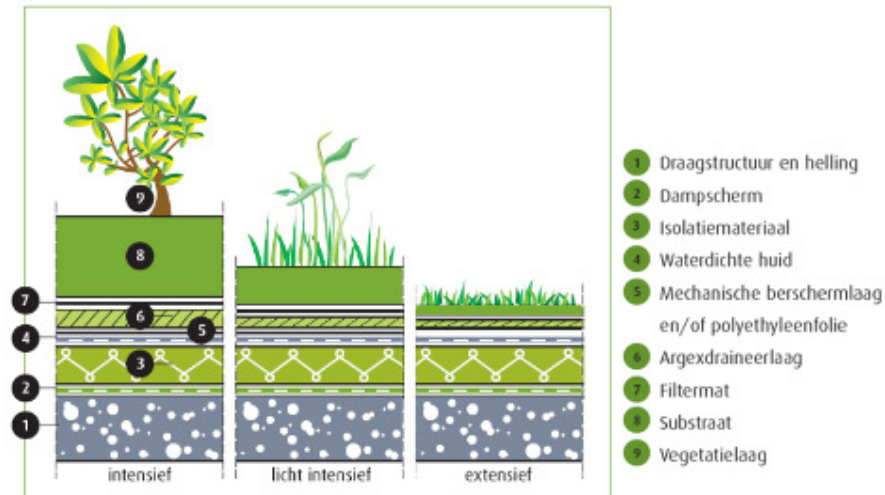
Bij een groen dak verdampt een deel van het opgevangen regenwater. Daarnaast houdt de beplanting het water gedurende enige tijd vast, waardoor er per saldo minder water het riool instroomt en in een langzamer tempo (vertraagde afvoer). Hierdoor treedt enerzijds een beperking van het overstortvolume op en vermindert ook de afvoer naar de AWZI. Met de verwachte klimaatveranderingen (o.a. meer stortbuien) in het vooruitzicht kan dit natuurlijk van groot belang zijn.

De hoeveelheid water die een groen dak kan bergen hangt sterk af van de dikte van de substraatlaag (zie *Figuur 4.5*). Volgens proefopstellingen van het Ingenieursbureau Amsterdam (IBA) kan een extensief groen dak met mos circa 5 mm/m² bergen. Voor een extensief groen dak met sedum, dat iets meer water in de plant zelf kan vasthouden, geldt een waarde van 7 mm/m². Een lichtintensief dak (met gras) kan ongeveer 13 mm/m² bergen en de echte daktuinen bergen gemiddeld circa 25 mm/m².

Daarnaast dragen groene daken zij het in kleine mate ook bij aan de filtering /zuivering van het hemelwater³⁸.

Afbeelding 4.26

Schematische opbouw van een groen dak (Argex, 2010)



- **Geluiddemping** – Groene daken hebben een isolerende werking, in de eerste plaats op het gebied van geluid. Een groot deel van de omgevingsgeluiden dringt het gebouw namelijk via het dak binnen. Op die manier kan bijvoorbeeld overlast van (vlieg)verkeer worden gereduceerd. Vooral bij lichte dakconstructies, zoals hout of metaal, zal de bijkomende massa van het groene dak een gunstige invloed hebben op het akoestische comfort binnenin. De geluidsreductie per woning met een groen dak vergeleken met woningen met reguliere daken kan oplopen tot 6 dB(A), al moet hierbij worden aangetekend dat dit sterk afhangt van de locatie (dichtstedelijk ten opzichte van landelijk) en woningtype (vrijstaand ten opzichte van etagewoningen).³⁹
- **Luchtqualiteit** – Groene daken leveren een bijdrage aan het afvangen van vervuulende stoffen uit de lucht. Het gaat hier vooral om fijn stof (PM₁₀) en stikstofoxiden (NO_x).⁶ De afvang van fijn stof is van de genoemde stoffen het belangrijkste, omdat dit ook naar verhouding een aanzienlijke bijdrage levert aan gezondheidsklachten van de inwoners van de stad (luchtwegaandoeningen, astma, bronchitis). Groene daken leveren geen wezenlijke bijdrage aan het afvangen van koolstofdioxide (CO₂) en ook niet aan de productie van extra zuurstof. Beide effecten treden wel op, maar de bijdragen zijn te verwaarlozen.
- **Isolatie** – Naast isolatie tegen geluid bieden groene daken ook isolatie tegen de koude en hitte. In de zomer blijven panden koeler, waar in de winter het groene dak de kou juist buiten houdt. Hierdoor kan er behoorlijk bespaard worden op energiekosten en daarmee ook op de uitstoot van CO₂.

³⁸ The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality (2006) Justyna Czemieli Berndtsson, Tobias Emilsson and Lars Bengtsson. Science of The Total Environment, Volume 355, Issues 1-3, 15 February 2006, Pages 48-63.

³⁹ Zie ook: www.zinco.nl

Er wordt een omrekenequivalent gebruikt om de bespaarde hoeveelheden gas (energie) om te zetten naar kilo's CO₂. Deze kunnen weer gewaardeerd worden tegen de marktprijs (emissiehandel) van CO₂.

- **Hittestress** – Groene daken hebben ook invloed op het zogenaamde *Urban Heat Island* effect (hittestress). Dit heeft te maken met de gemiddelde temperatuur, die in het stedelijk gebied enkele graden hoger kan liggen dan in het omringende gebied, vooral 's nachts. Kort gezegd komt dit doordat een dichtstedelijk gebied met veel asfalt, beton en (zwarte) bitumen daken overdag veel warmte opneemt en vasthoudt. Deze warmte blijft 's nachts hangen en wordt maar gedeeltelijk wordt losgelaten. Dit vergt meer koelvermogen voor gebouwen, temeer omdat de koeling minder efficiënt werkt omdat de buitenlucht warmer is. Met toenemende periodes van hitte heeft dit ook zijn weerslag op de bewoners en bezoekers van dit gebied: hitte heeft vaak een stressverhogend effect op mensen, iets wat bekend staat als hittestress. Groene daken kunnen een bijdrage leveren aan het reduceren van het hittestress effect doordat een groen dak de hitte van overdag minder opneemt en vasthoudt. Bovendien koelt de waterdamp vanuit planten de omringende lucht.
- **Biodiversiteit** – Gebouwen nemen ruimte in en betekenen dus altijd habitatverlies. Ondanks dat groene daken geen volwaardige vervanging zijn van de verdwenen natuurlijke habitat, zijn ze voor zowel voor fauna als flora een belangrijk landschapselement. Groene daken kunnen fungeren als een tijdelijke habitat (als stapsteen en als tijdelijke vluchtplaats) maar ook als vervangingshabitat en als basishabitat.
- **Esthetische waardering** – Afhankelijk van de schaal en vorm waarop groene daken worden aangebracht, treden visuele voordelen op: een prettiger, groener aangezicht van de stedelijke omgeving voor omwonenden, met name in gebieden waar sprake is van gebouwen met wisselende hoogten. Een uitzicht op een groene omgeving heeft een positief effect op de gemoedstoestand en aldus ook op de lichamelijke gezondheid van mensen.
- **Waardeverandering en imago** – De aanleg van een groen dak leidt in veel gevallen tot een waardeverandering van het betreffende object. Dit wordt veroorzaakt door enerzijds veranderingen in de objectieve kenmerken (bijvoorbeeld geluidisolatie, thermische isolatie, meer/minder dakonderhoud) van het pand, maar ook door meer subjectieve factoren (uitzicht, esthetische kenmerken). Dit laatste geldt dan echter niet zozeer voor de eigenaar van het betreffende pand, maar voor de bewoners/eigenaren van de omliggende respectievelijk hoger liggende bebouwing. De waardeverandering komt tot uitdrukking in de vrije marktwaarde van het betreffende object resp. de WOZ-waarde. Groene daken hebben een positief effect op het algemene woon- en werkimago van de stad. Dit vereist dan wel een grootschalige toepassing, waardoor zowel de esthetische effecten als de comforteffecten, zoals hittestress, in voldoende mate aanwezig zijn.

4.5.2

REFERENTIEPRODUCTEN



Extensief groen (mos/sedum)



Licht-intensief groen (gras)

- **Extensieve groene daken** – Mos en sedum hebben veel overeenkomsten, maar er zijn ook een paar verschillen. Beiden vallen binnen de categorie extensieve daken, en hebben aan een laag van 10 cm substraat voldoende. Sedum gedijt echter beter in een zonnige omgeving, waar mos het beter in de schaduw doet. Beide planten behoeven ook geen beregening: sedum is een vetplantje dat zelf water vasthoudt, en mos heeft een groot vermogen om te herstellen na een periode van droogte. Qua onderhoud zijn de kosten dus minimaal.
- **Licht-intensieve groene daken** – De meest lichte vorm van een intensief groen dak is een grasdak. Voor een grasdak is een substraatlaag van minimaal 25 cm en idealiter van 100 cm nodig. Op het gebied van onderhoud heeft gras meer zorg nodig dan sedum en mos. Er is een beregeningsinstallatie nodig, en het gras moet ook (2 tot 6 keer per jaar) gemaaid worden.
- **Intensieve groene daken** – De zwaardere intensieve groene daken zijn echte daktuinen. Naast begroeiing kunnen op deze daken ook paden, vijvers en terrassen aangelegd worden, waardoor het echte daktuinen worden, vergelijkbaar met ‘gewone’ tuinen op maaiveldniveau. Uiteraard zijn er voor deze soort daken sterkere dakconstructies nodig, en hoe intensiever de tuin, hoe hoger ook de onderhoudskosten.

Tabel 4.4

Kenmerken groene daken

Kenmerk	Extensief (mos en sedum)	Licht intensief (gras)
Investeringskosten ⁴⁰	45 €/m ²	85 €/m ²
Onderhoudskosten per jaar ⁴⁰	1 €/m ²	4 €/m ²
Dikte substraat	10 cm	25-100 cm
Isolatie grondlaag ⁴¹	0,35-2,0 W/(m ² K)	
Besparing gas per jaar ^{41,42}	2,5-5 m ³ /m ²	5-10 m ³ /m ²
CO ₂ -reductie per jaar ⁴³	4-9 kg/m ²	9-18 kg/m ²
Gasprijs	0,61 €/m ³	
Demping geluid ⁴⁴	3 dB	6 dB
Waterretentie ⁴⁵	0,006 m ³ /m ²	0,013 m ³ /m ²
Afvang fijn stof ⁴⁶	0,005 kg/m ²	0,0075 kg/m ²
Afvang NOx ⁴⁶	0,002 kg/m ²	0,003 kg/m ²

⁴⁰ Copijn daktuin & geveltuin⁴¹ Isolerende werken van grond is sterk afhankelijk van de vochtigheid en de grondsoort. Nidal H. Abu-Hamdeha and Randall C. Reederb (2000). Soil Thermal Conductivity. Effects of Density, Moisture, Salt Concentration, and Organic Matter. *Soil Science Society of America Journal* 64:1285-1290 (2000)⁴² Woonhelpdesk 2010. Effect van dakisolatie op gasverbruik. Effect van Isolatie is sterk afhankelijk van de mate van isolatie voor het plaatsen van een groen dak. Opgegeven waarden is een gemiddelde. <http://www.woonhelpdesk.nl/index.php?wonen=7&artikel=179&onderwerp=Isolatie>⁴³ Vertaling van de besparing op gas naar CO₂-reductie: 1,77 kg CO₂/m³ gas (CBS Energiebalans, 2003)⁴⁴ www.zinco.nl⁴⁵ Resultaten testen gemeentelijk IngenieursBureau Amsterdam (IBA).⁴⁶ Gemeente Rotterdam (Leo de Leu)

4.6

WITTE DAKEN

In Nederland zijn veel daken bedekt met zwart bitumen. Deze donkere dakbedekking neemt 80-90% van de zoninstraling op (WSU 2003). Deze warmte straalt enerzijds het pand in waardoor in het pand extra koeling nodig is. Anderzijds straalt deze warmte uit naar de omliggende omgeving. Het blijkt dat in steden dit effect dermate groot is dat het verschil in temperatuur in een stad tot 4°C hoger kan liggen dan op in de aangrenzende omgeving (Drunen *et al*, 2007). We spreken van *hittestress* omdat deze extra warmte in de zomer vaak onaangenaam aanvoelt.

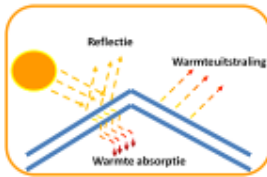


Afbeelding 4.27

Impressie van de Jaarbeurs te Utrecht met een wit dak (Google SketchUp Pro, 2010)

4.6.1

WERKING



Witte daken zijn de simpelste manier om dit hitte effect te temperen. Het concept wordt al sinds lange tijd in de meer mediterrane gebieden gebruikt. De witte daken reflecteren een groot gedeelte van het zonlicht (70-85%) waardoor er minder warmte opgenomen wordt door het dak. Zodoende wordt er ook minder warmte uitgestraald.

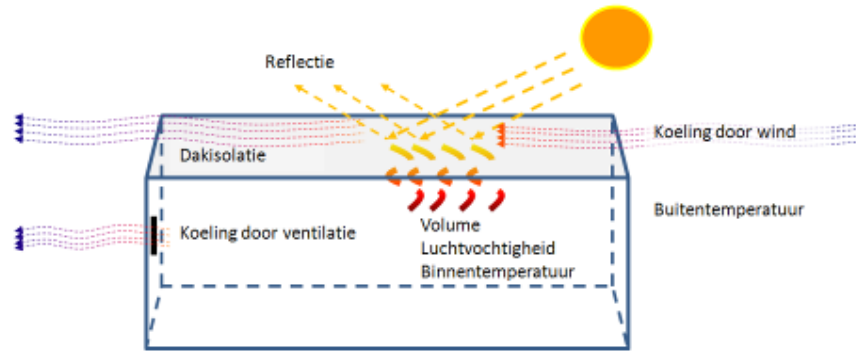
Als we witte daken beschouwen dan zijn de volgende eigenschappen van belang:

1. **Albedo** – het vermogen om zonlicht te reflecteren (0-100%).
 2. **Emissiviteit** – het vermogen om warmte uit te stralen (0-100%).
 3. **R-Waarde** – isolatie van het dak; bepaalt hoeveel warmte doordringt in het huis.
- **Hittestress** – Hitte eilanden in de vorm van warme steden dragen extra bij aan de opwarming van de omgeving en zo ook aan het broeikaseffect. Door steden extra licht te laten reflecteren blijft er minder warmte op aarde hangen en kan het broeikaseffect afnemen. Wetenschappers hebben becijferd dat voor elke vierkante meter dak waarvan het albedo met 1 procentpunt verhoogd wordt de bijdrage aan het reduceren broeikaseffect vergelijkbaar is met het 1,79 kg minder uitstoten van CO₂ (Menon et al 2010)⁴⁷.
 - **Energiebesparing** – Als we de warmtehuishouding van een huis beschouwen dan zijn er echter veel meer factoren van invloed op de energiehuishouding (Afbeelding 4.28). Het verschil tussen de buiten- en binnentemperatuur bepaald hoe snel warmte wegvloeit uit het gebouw. Hoe groter het verschil in temperatuur hoe meer warmte er stroomt.

⁴⁷ NB: er vindt geen CO₂-reductie plaats. Het effect van weerkaatsing is enkel vergelijkbaar met CO₂ reductie. Met ander woorden: door meer licht te reflecteren kan er mee CO₂ uitgestoten worden om tot dezelfde opwarming te komen.

Afbeelding 4.28

Factoren met invloed op de warmtehuishouding van een gebouw



Ventilatie en wind zijn mechanismen die de benodigde hoeveelheid koeling omlaag brengen. Lucht binnen wordt vervangen door buitenlucht van een andere temperatuur en luchtvochtigheid.

Daarnaast bepaald het binnenvolume en de luchtvochtigheid hoe snel het gebouw intern opwarmt. Het kost meer energie om vochtige lucht op te warmen. En hoge ruimtes hebben relatief meer luchtvolume om van temperatuur te laten veranderen.

Het bepalen van het exacte energievoordeel is daarom dan ook onmogelijk om generiek vast te stellen. In *Tabel 4.5* zijn enkele resultaten van een praktijkstudie in Amerika weergegeven (WSU, 2003).

Tabel 4.5

Praktijkvoorbeeld van de energiebesparing met behulp van een wit dak onder vergelijkbare condities in de VS.

Type gebouw	R-waarde	Albedo vòòr	Albedo nà	Energiebesparing
Woning, 1-verdieping	R-11	18%	77%	67%
Woning, 1-verdieping	R-11	21%	70%	25%

Te zien is dat ondanks de gelijkwaardige instraling en de gelijkwaardige eigenschappen van het dak het verschil in energiebesparing heel ver uiteen kan liggen.

Een veel gehoorde mythe is dat het voordeel van warmte reflectie in de zomer in de winter een groot nadeel is. Het voordeel van minder koeling zou in de winter teniet worden gedaan door extra stookkosten. De werkelijkheid ligt echter genuanceerder. In de winter staat de zon lager en is er meer bewolking. Hiermee is er minder zonlicht en het licht dat er is, is diffuser. Bovendien zijn de dagen in de winter korter. Dit maakt dat in de winter er relatief weinig zon door het dak naar het gebouw vloeit. De R-waarde van het dak 's winters voornamelijk bepalend.

- Verlengde levensduur van het dak** – De temperatuur van zwarte bitumen daken kan in de zomer oplopen tot 90 graden Celsius (WSU 2003). Door deze opwarming zet de dakbedekking uit. Als het dak vervolgens 's nachts afkoelt dan krimpt de dakbedekking. Door deze thermische stress gaat het dak op den duur kapot. De levensduur van een bitumen dak is gemiddeld 20 jaar. Met de inzet van witte daken zal het temperatuurverschil tussen dag en nacht en kleiner worden. Door deze afname zal ook de thermische stress verminderen. De levensduur van een witdak is daardoor mogelijk langer (30 jaar). In onze berekeningen wordt echter een (conservatieve) schatting van 20 jaar gehanteerd (zie *paragraaf 2.4*). Naast platte bitumen daken zijn ook schuine daken waar normaal dakpannen liggen wit te maken. Echter, veel mensen in Nederland kijken niet graag tegen een wit dak.

In deze studie is het uitgangspunt dat witte daken alleen op platte daken gerealiseerd kunnen worden. Zo kan men vanaf de grond de daken niet zien.

4.6.2

REFERENTIEPRODUCTEN



Roofclix

- **Roofclix** is een kliksysteem van witte kunststof tegels. De tegels hebben tevens een isolerende werking en zijn in verschillende diktes verkrijgbaar. Tussen de tegels en het dak is een luchtlaag aanwezig, die voor isolatie zorgt. De tegels worden vast geklikt op lichtgewicht ballast elementen. Hemelwater kan tussen de tegels door sijpelen om op het onderliggende dakoppervlak weg te vloeien. De kunststoftegels zorgen tevens voor een geluidsdempende werking. Het in elkaar grijpen van de tegels zorgt dat het geheel windvast is. (Voor promotie doeleinden is) afwisseling met anders gekleurde tegels mogelijk.



Planet Safe Coating

- **Derbibrite** is een vervanger voor bitumen dakbedekking. Het product wordt in per rol geproduceerd door Derbigum. Voor plaatsing moet het dak eerst gereinigd zijn en ontdaan zijn van los liggende (scherpe)voorwerpen. Het aanbrengen van kunststof dakbedekking is tegenwoordig "common practice".



Derbibrite

- **Planet safe coating** is een coating waarmee het dak wit geverfd kan worden. Voor het aanbrengen moet het dak eerst gereinigd zijn en ontdaan zijn van los liggende (scherpe)voorwerpen. Coating is vanwege de simpele verwerking het goedkoopst om aan te brengen.

Afbeelding 4.29

'Witte daken' in Utrecht



Tabel 4.6

Referentieproducten witte daken

Kenmerk	Roofclix	DebriBrite	PS Coating
Albedo (%) ⁴⁸	85%	76 - 71%	84%
Investeringskosten ^{49 50 51}	€70 / m ²	€30 - €60 / m ²	€12,50 / / m ²
• Materiaal	NB	€15 / m ²	€2,5/ m ²
• Aanbrengen	NB	€15 - €45 / m ²	€10 / m ²
Isolatiewaarde ⁵²	0,020 W / (m ² K)	n.v.t.	n.v.t.
Besparing gas ⁵³	2,5 m ³ / m ²	0	0
Besparing elektriciteit ⁵⁴	0-25% op airco	0 -25% op airco	0 -25% op airco
Klimaat effect door reflectie ⁵⁵	115 kg CO ₂ /m ²	90 kg CO ₂ /m ²	113 kg CO ₂ /m ²
Gewicht (kg/m ²) ^{56 57 58}	8-50 kg/m ²	3,4 kg/m ²	0,2 kg/m ²
Levensduur (jaar) ⁵⁹	30	30	30
Garantie ⁶⁰	20 jaar	10 jaar	Nog niet bekend

⁴⁸ PLP Testrapport februari 2010, verslagnummer 2009-045; Datasheets Derbigum; Datasheets roofclix

⁴⁹ Kosten roofclix: <http://www.cobouw.nl/nieuws/2009/03/26/Kunststof-Roofclix-geeft-dak-extra-isolatielaag.html>

⁵⁰ Planet safe coating is nog in ontwikkeling. Prijs informatie is gebaseerd op gangbare prijzen voor witte gevel verf (€200 per 15L, 5 m² / L). Reflectie is gebaseerd op voorlopige testrapporten. Eind product kent mogelijk hogere reflectie door reflecterende toevoegingen. Kosten voor verven zijn gebaseerd op gangbare schilders prijzen.

⁵¹ Kosten derbibrite. Nieuwsblad.be April 2010.

<http://www.nieuwsblad.be/article/detail.aspx?articleid=GPP2P1GN2>. Kosten aanbrengen dakbedekking sterk afhankelijk van benodigde activiteiten zoals: verwijderen oude daklaag, schoonmaken, daklaag, afvoeren oude daklaag. Aanbrengen kunstof dakbedekking varieert in de praktijk tussen de €30 en €60 / m²

⁵² Isolatie waarde lucht i.v.m. stilstaande luchtlaag onder de roofclix

⁵³ Gasbesparing op basis van extra isolatie.

⁵⁴ Besparing op elektriciteit vind alleen plaats als er een airconditioning aanwezig is die minder ingezet hoeft te worden. In huishoudens is veelal geen airconditioning te vinden. In 50% van de nieuwe kantoren wordt de laatste jaren al WKO gerealiseerd t.b.v. koeling. De inschatting van de besparing kent daarmee een grote onzekerheid. Besparing op elektriciteit zal voornamelijk gerealiseerd worden in kantoren zonder WKO, maar met airconditioning.

⁵⁵ NB. Deze reductie mag niet meegerekend worden als CO₂ reductie. Er wordt geen CO₂ gereduceerd. Door het extra reflecteren van licht ontstaat er een koelende werking die vergelijkbaar is met CO₂ reductie. Immers, een hoge CO₂ concentratie warmte de aarde op.

⁵⁶ Afhangelijk van de gewenste isolerende werking. Dikte Roofclix kan op aanvraag aangepast worden.

⁵⁷ DerbiBrite datasheet

⁵⁸ Aanname op basis van dikte verflaag

⁵⁹ Schatting levensduur daken is door ARCADIS geschat op 30 jaar. Schattingen van fabrikanten lopen uiteen van 30 tot 50 jaar.

⁶⁰ Informatie fabrikant

4.7

COMBINATIES

Enkele technieken uit de voorgaande paragrafen lenen zich goed om met elkaar te combineren. Zonnepanelen presteren bijvoorbeeld beter in een koele omgeving. Onderstaand wordt dieper ingegaan op drie bewezen combinatie concepten.



Groen – PV



Wit – PV



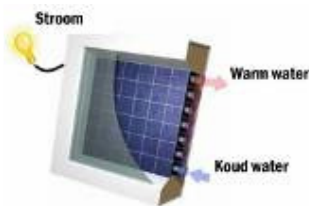
Thermisch – PV

- **Groene daken met PV** – Groene daken hebben door verdamping en meer reflectie een koelende werking ten opzichte van bitumen daken. Koelere zonnepanelen hebben een hogere opbrengst. Gemiddeld genomen gaat de efficiëntie van zonnepanelen 0,4% omhoog voor elke graad dat de panelen koeler zijn⁶¹.

De temperatuur op een dak kan in de zomer 55 graden zijn. Met een groen dak kan deze piektemperatuur teruggebracht worden tot temperatuur van 30 graden⁶². Hierdoor zal de prestatie van een zonnepaneel ongeveer 10% hoger liggen. Dit is de maximale verbetering op het heetst van de dag. In de praktijk zal het dak eerst moeten opwarmen. Om dit te ondervangen gaat ARCADIS uit van een 2% - 4% verhoging van de opbrengst om tot een realistische schatting van de opbrengst te komen. Dit zijn waarden die ook in de praktijk terug gevonden worden.

- **Witte daken met PV** – Witte daken hebben een hoger albedo dan traditionele daken, waardoor de zonnepanelen extra invallend zonlicht krijgen. Door de extra reflectie zal ook het dak minder opwarmen waardoor de panelen koeler blijven. Koelere panelen presteren beter. Derbibrute rapporteert een verhoogde jaar opbrengst van zonnepanelen van 4,5% op hun product⁶³.

- **Zen PV Twin 4200** is een product dat zonnepanelen combineert met zonnecollectoren. Deze combinatie zorgt voor efficiënt ruimtegebruik en een hoge efficiëntie; de afvoer van warmte verhoogt namelijk de elektrische efficiëntie. Invallend licht gaat eerst door het zonnepaneel waar het elektriciteit opwekt. Een gedeelte van het licht dringt door tot de collector achter het zonnepaneel. Warmte die hierbij ontstaat wordt gebruikt om ten behoeve van de warm water vraag in het gebouw. Het systeem combineert dus twee functies in één collector (opwek van elektriciteit en van warmte). De Zen PV komt in aanmerking voor subsidie op basis van de regeling duurzame warmte voor de bestaande woningbouw.



⁶¹ Gebaseerd op datasheets van diverse kristallijne producten. Waaronder: Sanyo HIP-180BA, Shell SP140-PC, Suntech 170W.

⁶² Meetwaarden van American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Locatie Florida. Gemeten van 4 juli tot 5 september 2005

⁶³ <http://download.derbigum.com/dp/cache/E0FC4B14-E7F3-4A8D-B74D-B919CB32EE87.pdf>

Tabel 4.7

Kenmerken combinaties

Kenmerk	Sedum – Kristallijn	PS Coating - Kristallijn	Zen PV Twin
Investering ^{64 65 66 67 68}	390 €/m ²	335 €/m ²	1.250 €/m ²
Gewicht ⁶⁵	50 kg / m ²	5 – 12 kg / m ²	38 kg / m ²
PV efficiëntie ⁶⁵	16%	16%	10,5%
Warmte productie ⁶⁴	n.v.t.	n.v.t.	33 m ³ /m ²
Besparing op gas per jaar	2,44 €/m ²	n.v.t.	20,33 €/m ²
Vermeden emissies	23 kg CO ₂ /m ²	20 kg CO ₂ /m ²	99 kg CO ₂ /m ²

⁶⁴ Zen 2010 – Zen PV datasheet

⁶⁵ Uitgaande van volledige Sedum of bedekking en 50% PV bedekking i.v.m. schaduw werking. €4,57 / Wp en 14% efficiënt geld als uitgangspunt voor het aandeel van PV in de totaalprijs.

⁶⁶ Gebaseerd op kentallen uit voorgaande paragrafen.

⁶⁷ TNO-Rapport 2004-BBE-R095

⁶⁸ Richtprijs ZEN PV Twin. Systeemprijs kan variëren met locatiespecifieke omstandigheden. Bron Redenko.

HOOFDSTUK 5

Kosten en baten

5.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de milieueffecten (*paragraaf 5.2*), het financieel resultaat (*paragraaf 5.3*) en het maatschappelijk resultaat (*paragraaf 5.4*) van de verschillende duurzame daktechnieken zoals genoemd in *Hoofdstuk 4. Paragraaf 5.5* toont een gevoeligheidsanalyse.

5.2 MILIEUEFFECTEN

Tabel 5.1-5.3 tonen het CO₂ reductiepotentieel van de verschillende duurzame daktechnieken in de provincie Utrecht. Hierbij zijn per daktechniek de uitgangspunten gehanteerd zoals genoemd in *Bijlage 2*. Ten aanzien van het beschikbaar dakoppervlak zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (zie *paragraaf 2.4.1*):

- **Tabel 5.1** – Om te voorkomen dat het warmteaanbod de warmtevraag overschrijdt gaan we uit van maximaal 1 zonnecollectorsysteem per 113 m² geschikt dakoppervlak (gemiddeld dakoppervlak per pand binnen de rode contouren, zie *Tabel 3.2*),. Voor technieken die alleen op platte daken toepasbaar zijn, komt dit neer op een maximum bezetting in de provincie Utrecht van circa 150.000 systemen. Voor technieken die ook interessant zijn voor toepassing op schuine daken op het zuiden, zuidoosten en zuidwesten, komt de maximum bezetting neer op circa 332.000 systemen. Voor Triple Solar is uitgegaan van warmtelevering voor zowel tapwater als ruimteverwarming, terwijl voor Nefit Solar en Solior alleen warmtelevering voor tapwater wordt aangenomen. De maximum CO₂ reductie in de provincie Utrecht valt daarmee voor Triple Solar een stuk hoger uit dan voor de andere twee technieken.
- **Tabel 5.2** – Aansluitend op het bovengenoemde punt gaan we ook uit van maximale dichtheid van 1 windturbine per 113 m². Met uitsluitend mogelijkheden op platte daken is daarmee maximaal ruimte voor circa 150.000 systemen.
- **Tabel 5.3** – Voor zonnepanelen, zonnefolie en Zen PV gaan we uit van een benutting op platte daken en schuine daken op het zuiden, zuidoosten en zuidwesten. In beide gevallen gaan we uit van maximaal 50% benutting; dit is een praktijkwaarde in verband met beperkingen door schaduwwerking, obstakels op het dak, ruimte aan de randen met het oog op turbulente wind, dakkapellen, dakramen, etc. Hiermee is binnen de sprake van 19 miljoen m² geschikt dakoppervlak. Er vanuit gaande dat Zen PV warmte levert voor zowel tapwater als ruimteverwarming is hier geen sprake van beperking door de warmtevraag van gebouwen (zie eerste punt). Voor groene daken wordt uitgegaan van 100% benutting (38 miljoen m²). Voor Solyndra, groen PV en wit PV tenslotte wordt ook uitgegaan van 100% benutting, maar dan alleen op platte daken (17 miljoen m²).

Tabel 5.1CO₂-reductiepotentieel van zonnecollectoren

Categorie	Techniek	CO ₂ reductie per m ² dak (kg CO ₂)	CO ₂ reductie per systeem (kg CO ₂)	Aantal systemen	CO ₂ reductie potentieel (kt CO ₂)
Zonne-energie (thermisch)	Nefit Solar	79	(2,37 m ²) 188	~332.000	62
	Solior	66	(2,52 m ²) 166	~150.000	25
	Triple Solar	40	(50 m ²) 1.985	~332.000	659

Tabel 5.2CO₂-reductiepotentieel van kleine windturbines

Categorie	Techniek	CO ₂ reductie per systeem (kg CO ₂)	Aantal systemen	CO ₂ reductie potentieel (kt CO ₂)
Windenergie	DonQi	190	~150.000	29
	Ropatec WRE 030	190	~150.000	29
	Fortis Montana	1.178	~150.000	177

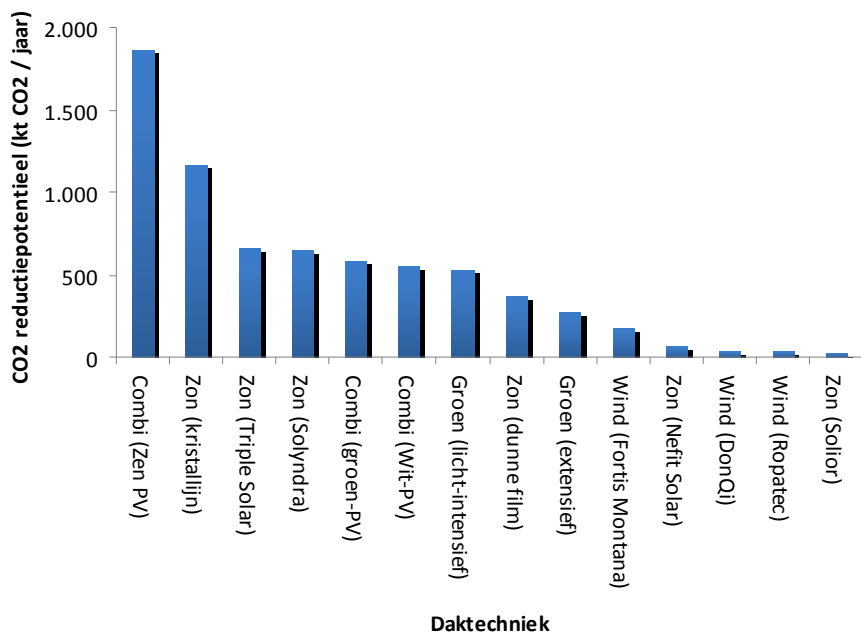
Tabel 5.3CO₂-reductiepotentieel van overige daktechnieken

Categorie	Techniek	CO ₂ reductie per m ² dak (kg CO ₂)	Geschikt dakoppervlak (miljoen m ²)	CO ₂ reductie potentieel (kt CO ₂)
Zonne-energie (elektrisch)	Zonnepanelen (kristallijn)	62	19	1.156
	Zonnetfolie (dunne film)	19	19	361
	Buizen (Solyndra)	38	17	641
Groene daken	Extensief (mos en sedum)	7	38	266
	Licht intensief (gras)	14	38	531
Combinaties	Thermisch – PV (Zen PV)	99	19	1.865
	Groen – PV (sedum)	34	17	583
	Wit – PV (PSC)	32	17	544

Afbeelding 5.1 zet het reductiepotentieel van de bovengenoemde daktechnieken naast elkaar.

Afbeelding 5.1

CO₂ reductiepotentieel van duurzame daktechnieken (totaal in de provincie) (exclusief witte daken)



Belangrijk is om te vermelden dat bovenstaande resultaten het potentieel per daktechniek weergeven. Omdat het in veel gevallen niet mogelijk is op één dak meerdere daktechnieken tegelijk toe te passen, kunnen de resultaten per techniek niet zonder meer worden opgeteld.

De maximale emissiereductie is te behalen met behulp van Zen PV. Daarmee zou onder de huidige aannamen in totaal jaarlijks 1,9 Mt CO₂ gereduceerd kunnen worden. Dit is circa 20% van de totale uitstoot in de provincie Utrecht (circa 9,2 Mt).

In de bovenstaande tabellen ontbreken nog witte daken. Omdat het gebruik van een wit dak zonder informatie over de warmte- en koudebehoefte zowel positief als negatief kan werken op de energiehuishouding, wordt dit effect niet gekwantificeerd. Wat wel kan worden gekwantificeerd is het koelend effect op de omgeving. Uitgaande van de resultaten van Menon *et al* (2010) drukt Tabel 5.4 dit effect uit in CO₂ equivalenten (zie paragraaf 4.6). Nader onderzoek moet uitwijzen in hoeverre deze CO₂-equivalenten te vergelijken zijn met daadwerkelijke CO₂-reductie.

Daarnaast zouden witte daken de koelbehoefte van kantoren kunnen reduceren. Als uitgegaan wordt van een jaarlijkse besparing van 20% op de elektriciteitsbehoefte, dan wordt jaarlijks 60 kt CO₂ extra gereduceerd.

Tabel 5.4

Witte daken: effect op de stralingsbalans van de aarde (per m² en totaal)

Categorie	Techniek	Positief effect op stralingsbalans (kg CO ₂ / m ²)	Geschikt oppervlak (miljoen m ²)	Potentieel (kt CO ₂ / jaar)
Witte daken	Roofclix	115	17	1.953
	Derbibrite	90	17	1.528
	Planet Safe Coating	130	17	1.919

Groene daken hebben ten opzichte van de overige technieken nog een aantal extra positieve milieueffecten. Zo leveren groene daken een bijdrage aan de wateropgave in provincie Utrecht in de vorm van waterretentie. Als alle daken in de provincie worden bedekt met mos en sedum, dan hoeft jaarlijks circa 83.000 m³ minder water te worden verwerkt. Bij licht intensieve daken is dit meer dan 180.000 m³. Andere positieve effecten betreffen onder andere de verbetering van de waterkwaliteit, de afvang van fijn stof en de verhoging van biodiversiteit (zie paragraaf 4.5).

5.3

FINANCIEEL RESULTAAT

Het financiële resultaat is bepaald door de investering- en onderhoudskosten van de technieken te vergelijken met de opbrengsten. De opbrengsten keren jaarlijks terug en bestaan bij de meeste technieken uit vermeden kosten voor gas- en elektraverbruik, dan wel opbrengsten voor duurzame energie. Wij hebben de kosten en baten gebaseerd op een levensduur van 20 jaar voor alle technieken. Daarbij hebben we gebruik gemaakt van de Netto Contante Waarde methode (Box 5.1).

Box 5.1

NCW methode

Kosten en baten van een project vinden niet op hetzelfde tijdstip plaats. Het gebruikelijke patroon is dat eerst moet worden geïnvesteerd en dat de baten later optreden. Het vergelijkbaar maken van kosten en baten wordt uitgevoerd met behulp van de Netto Contante Waarde (NCW) methode. Hierbij worden toekomstige kosten en baten naar hetzelfde basisjaar teruggebracht met behulp van een discontovoet. Een bedrag van bijvoorbeeld € 100 nu heeft de voorkeur boven hetzelfde bedrag over 10 jaar. Daarbij speelt mee dat er met het bedrag nu (nuttig) gebruikt kan worden. Ook is er een risico dat het bedrag over 10 jaar er nooit zal komen. De gebruiksmogelijkheden en het risico zijn in de discontovoet verwerkt.

Het financiële resultaat is bepaald voor bedrijven, overheden en huishoudens. Het financiële resultaat verschilt voor deze categorieën omdat:

1. De gas- en elektraprijs voor bedrijven en overheden doorgaans lager is dan voor huishoudens.
2. Het vereiste rendement verschilt. Bedrijven vereisen over het algemeen een hoger rendement dan overheden en huishoudens.

De uitkomsten van onze analyse (Tabel 5.5) laten zien dat zowel voor bedrijven als overheden geen van de duurzame daktechnieken een positief netto resultaat oplevert (verhouding kosten/baten <1). Uitsluitend voor huishoudens is sprake van een positief netto resultaat, namelijk voor zonnepanelen, zonnefolie en Triple Solar. Dit betekent dat deze technieken zich binnen de levensduur (20 jaar) terugverdienen. Bij de overige technieken verdient de investering zich zonder subsidies niet terug binnen de levensduur. In Afbeelding 5.2 is de terugverdientijd voor huishoudens per techniek weergegeven.

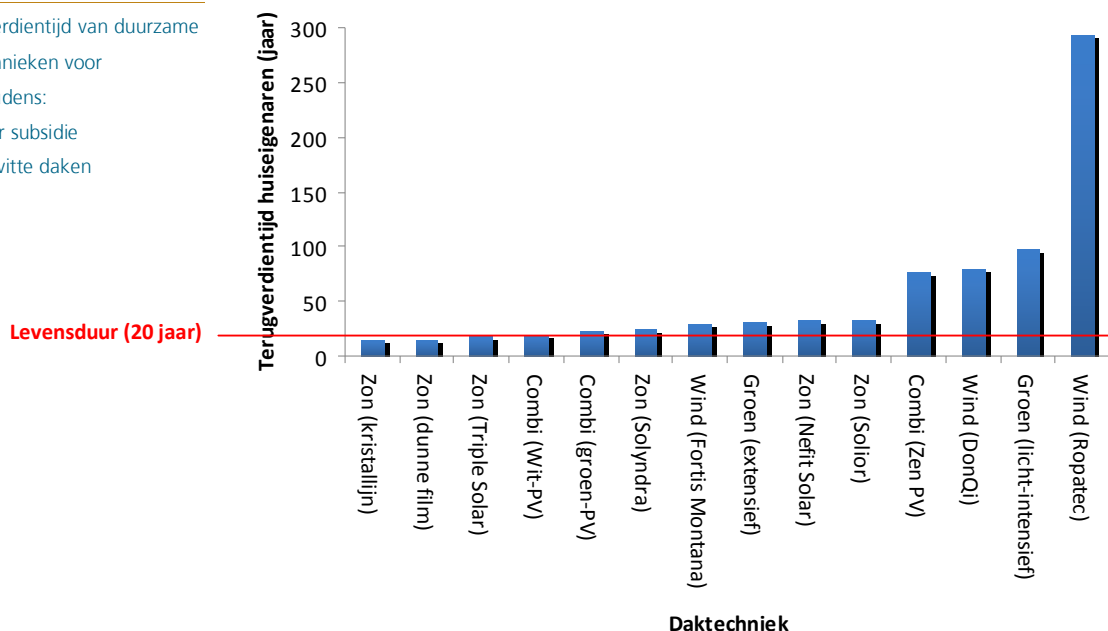
Tabel 5.5

Verhouding financiële kosten/baten van duurzame daktechnieken:
- zonder subsidie
- excl. witte daken

Categorie	Techniek	Saldo kosten/baten		
		Bedrijven	Overheden	Huishoudens
Zonne-energie (elektrisch)	Zonnepanelen (kristallijn)	3,7	2,4	0,7
	Zonnefolie (dunne film)	3,7	2,4	0,7
	Buizen (Solyndra)	5,9	3,8	1,2
Zonne-energie (thermisch)	Nefit Solar	5,5	3,5	1,6
	Solior	5,6	3,6	1,7
	Triple Solar	3,1	2,0	0,9
Windenergie	DonQi	20,2	12,8	4,0
	Fortis Montana	7,5	4,7	1,5
	Ropatec WRE 030	73,6	46,8	14,6
Groene daken	Extensief (mos en sedum)	3,1	2,2	1,3
	Licht intensief (gras)	3,3	2,5	1,7
Combinaties	Themisch – PV (Zen PV)	12,2	7,7	3,0
	Groen – PV (sedum)	4,8	3,1	1,1
	Wit – PV (PSC)	5,0	3,2	1,0

Afbeelding 5.2

Terugverdientijd van duurzame daktechnieken voor huishoudens:
- zonder subsidie
- excl. witte daken



MOMENTOPNAME

Hierbij vermelden we uitdrukkelijk dat bovenstaande cijfers slechts een momentopname zijn. Ook is geen rekening gehouden met kwantumkortingen en subsidies bij de bepaling van het resultaat. In het achterliggende rekenmodel kan rekening worden gehouden met deze aspecten door de investeringskosten aan te passen. Dit geldt ook voor een aantal aannamen die wij hebben gehanteerd die voor een belangrijk deel bepalend zijn voor de opbrengsten van de technieken (zoals de efficiëntie van de technieken).

TOEKOMST

Verwacht wordt dat in de toekomst de investeringskosten van sommige technieken zullen dalen. Ter indicatie is in de navolgende box een persbericht weergegeven waarin de verwachting wordt uitgesproken dat de investeringskosten van de PV daken de komende jaren zo sterk zullen dalen, dat deze in 2015 concurrerend zijn voor de consumentenmarkt en in 2025 concurreert met groothandelprijzen (Box 5.2).

Box 5.2

Voorspelling ten aanzien van zonne-energie in NRC Next (10 april 2010)

'Zonne-energie in 2015 al concurrerend'

Gepubliceerd: 10 april 2010 09:24 | Gewijzigd: 12 april 2010 11:37

Gendt, 10 april. Zonne-energie kan in Nederland al in 2015 concurreren met de prijs die consumenten betalen voor gangbare stroom. Dat is veel sneller dan verwacht, zo stellen deskundigen.

Volgens Wim Sinke van het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) in Petten heeft het ermee te maken dat de prijzen van zonnepanelen sneller dalen dan verwacht. Dat geldt ook voor andere onderdelen, zoals het systeem waarop de panelen bevestigd worden. En installatiebureaus worden professioneler.

De prijzen dalen sneller dan verwacht omdat de markt voor zonnepanelen het afgelopen decennium mondiaal is geworden, zegt Frans van den Heuvel. Hij is topman van het Venlose bedrijf Scheuten Solar, een van de grootste producenten van zonnepanelen in Europa. Duitsers, Japanners, Chinezen, Amerikanen, Nederlanders. Iedereen doet tegenwoordig mee. „De concurrentie is erg agressief“, zegt Van den Heuvel.

Sinke ging er eerst vanuit dat zonnestroom in Nederland in 2020 concurrerend zou zijn met de prijs die consumenten betalen voor gangbare stroom. Nu denkt hij dat het al in 2015 zover zal zijn. En nog eens tien jaar later, in 2025, is zonnestroom nog verder in prijs gedaald en concurreert het met de groothandelprijzen. Dan wordt het bedreigend voor kolen- en gascentrales. De stroom die zij opwekken wordt naar verwachting alleen maar duurder, omdat ze zwaarder belast gaan worden voor het uitstoten van CO₂.

Sinke en Van den Heuvel vinden dat de Nederlandse overheid veel te weinig rekening houdt met deze ontwikkelingen. „Ze onderschat compleet de snelheid en de omvang van de ontwikkelingen op het gebied van zonne-energie“, zegt Sinke. Beiden pleiten voor meer steun voor duurzame energie, en in het bijzonder voor zonne-energie. Ook de Sociaal Economische Raad en het Innovatieplatform hebben de afgelopen maanden geadviseerd dat Nederland sterker moet inzetten op duurzame energie.

Bron: NRC Next

5.4

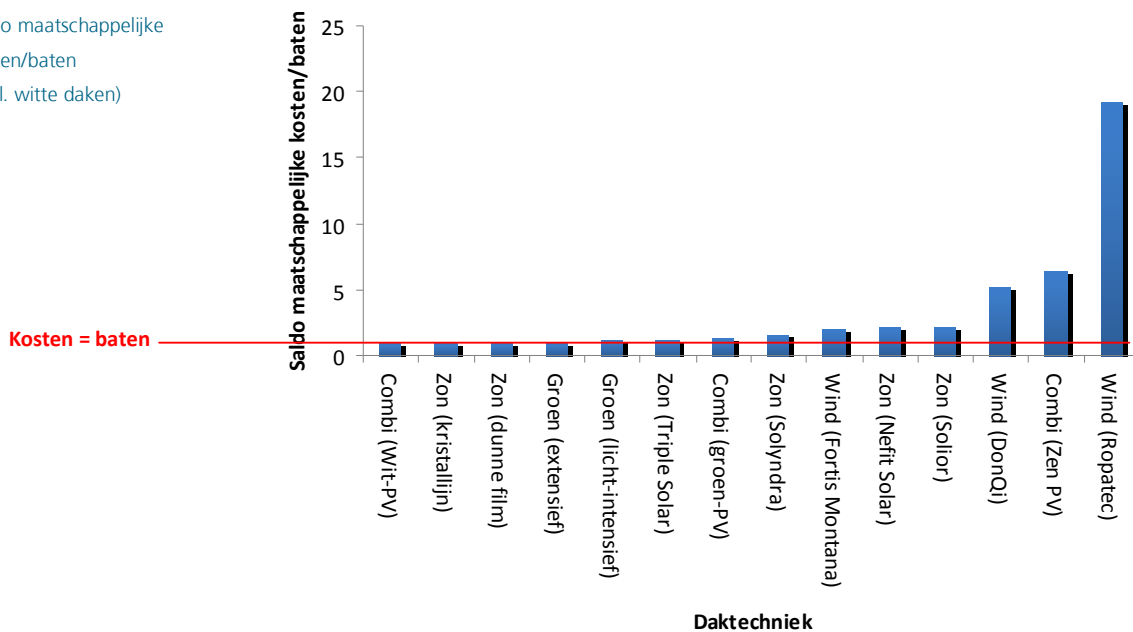
MAATSCHAPPELIJK RESULTAAT

Tenslotte hebben we het maatschappelijke resultaat bepaald van de verschillende daktechnieken. Hiermee is inzichtelijk gemaakt of de verschillende technieken vanuit maatschappelijk perspectief rendabel zijn. Bij de bepaling van het maatschappelijke resultaat zijn we uitgegaan van de voorgeschreven discontovoet van 5,5% voor de financiële kosten en baten. Voor de milieueffecten met een onomkeerbaar karakter is, zoals voorgeschreven, een discontovoet gehanteerd van 4% (zie *paragraaf 2.4.3*).

Uit de berekeningen blijkt dat de verhouding maatschappelijke kosten/baten positief is voor wit PV (0,92), zonnepanelen (0,97) en zonnefolie (0,97). Voor de groene daken is het overall resultaat in de provincie licht negatief. Voor de DonQi, Zen PV en Ropatec is het maatschappelijke resultaat relatief sterk negatief (zie *Afbeelding 5.3*).

Afbeelding 5.3

Saldo maatschappelijke kosten/baten (excl. witte daken)



Een gedetailleerdere blik op de resultaten in het rekenmodel laat zien dat de belangrijkste maatschappelijke welvaartseffecten de baten van energieopwekking/-besparing en CO₂ reductie zijn (zie *Bijlage 3*). Bij de groene daken zijn vooral de afvang van fijn stof en de reductie van geluidshinder belangrijke extra positieve effecten. Ook zijn er baten in de vorm van waterretentie en verbetering van de waterkwaliteit.

Bij deze cijfers moeten wel de nodige kanttekeningen worden geplaatst. Ten eerste is het monetaire resultaat van de vermeden CO₂ emissies bepaald op basis van de kosten van vermeden CO₂ emissies elders in Nederland. Omdat de daktechnieken relatief kleinschalig zijn, zijn de reductiekosten hoger dan de reductiekosten voor bijvoorbeeld grootschalige maatregelen in de industrie en energiesector. Hierdoor scoren alle technieken in monetaire zin relatief beperkt op CO₂ reductie. Bij de waardering is echter geen rekening gehouden met het feit dat er ook andere overwegingen zijn om (relatief) kleinschalige maatregelen te

treffen. Bij toepassing voor consumenten wordt bijvoorbeeld de internationale concurrentiepositie van de Nederlandse industrie niet aangetast.

Een tweede kanttekening is dat de vermindering van de energieafhankelijkheid van Nederland niet is opgenomen in het monetaire resultaat. Dit geldt ook voor aspecten als welzijn, imago, beleving en bewustwording. Het monetaire is daarom een onderschatting van het daadwerkelijke maatschappelijke resultaat.

De genoemde bedragen zijn gemiddelden voor de provincie Utrecht. Enkele effecten zijn echter locatiespecifiek. Zo zijn de baten van geluidshinder en waterretentie waarschijnlijk groter in dichtstedelijke gebieden dan in landelijke gebieden. In het rekenmodel is hiermee rekening gehouden door het resultaat te specificeren naar de stedelijkheid van het gebied. Hierbij hebben we de stedelijkheidsklassen van het CBS als uitgangspunt gehanteerd.

5.5

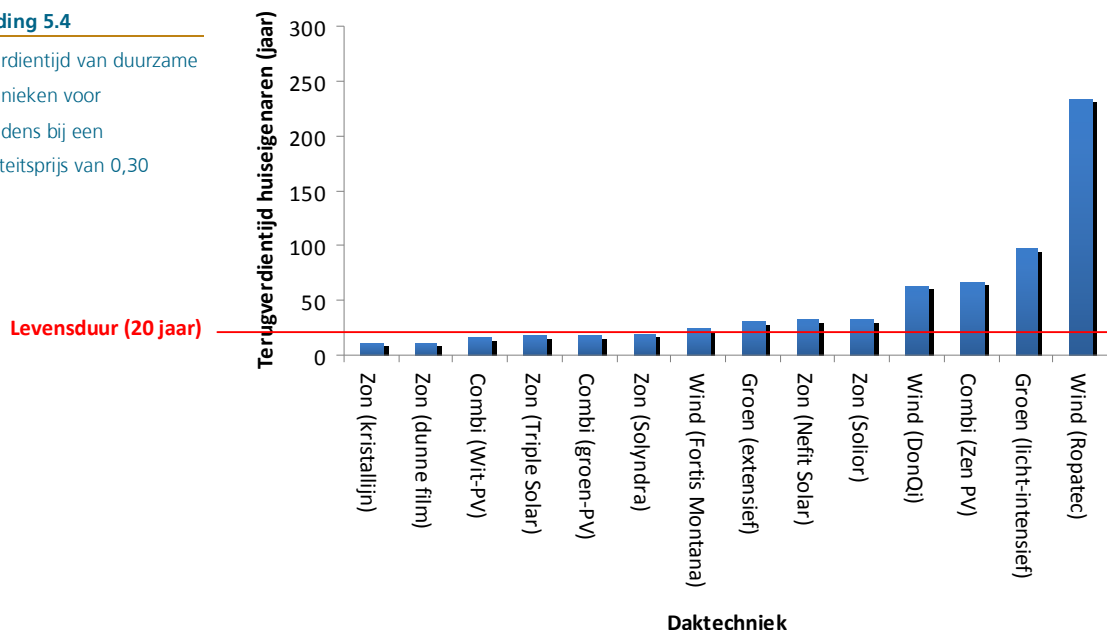
GEVOELIGHEIDSANALYSE

Wij merken op dat er in de praktijk geen eenduidige kentallen bestaan voor de verschillende duurzame daktechnieken. Zo zijn de kosten gebaseerd op geldende gemiddelden, is geen rekening gehouden met eventuele subsidiemogelijkheden en hebben we de aanname gehanteerd dat alle technieken dezelfde levensduur bezitten van 20 jaar. In het bijbehorende spreadsheetmodel kan gevarieerd worden met verschillende parameters om de invloed op de resultaten te bepalen en aan te sluiten bij toekomstige ontwikkelingen.

In het model kan onder andere gevarieerd worden met de elektriciteitsprijs. Als de elektriciteitsprijs voor huishoudens 25% wordt verhoogd van 0,24 €/kWh naar 0,30 €/kWh, daalt de terugverdientijd van de technieken als volgt (*Afbeelding 5.4*):

Afbeelding 5.4

Terugverdientijd van duurzame daktechnieken voor huishoudens bij een elektriciteitsprijs van 0,30 €/kWh



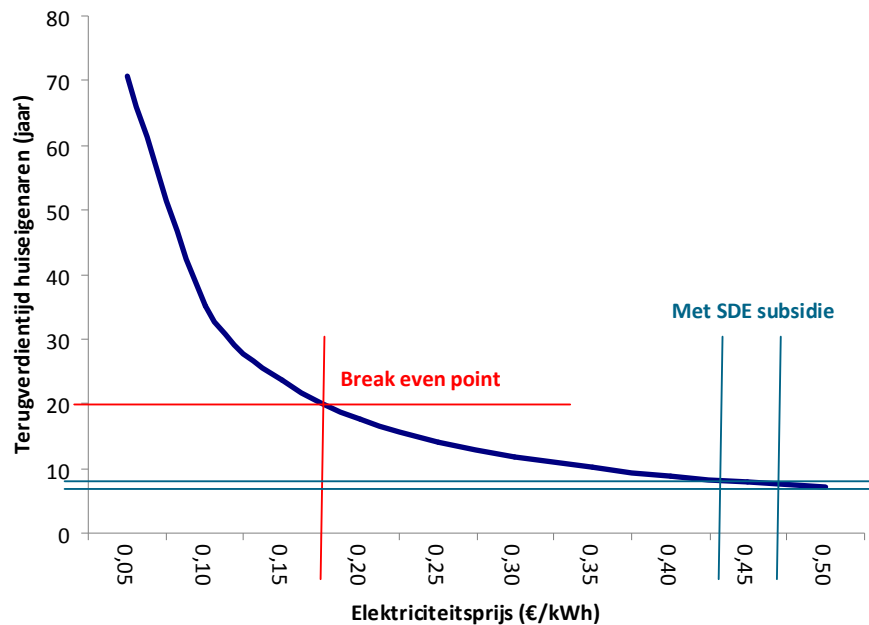
Het resultaat laat zien dat naast zonnepanelen (12 jaar), zonnefolie (12 jaar) en Triple Solar (18 jaar), nu ook wit PV (16 jaar), groen PV (18 jaar) en Solyndra (19 jaar) zich binnen de

levensduur terugverdienen. De overige technieken verdienen zich nog steeds niet terug binnen de levensduur.

Wanneer wordt ingezoomd op één bepaalde techniek dan kan ook het Break Even Point (BEP) inzichtelijk worden gemaakt. Voor zonnepanelen ligt dit BEP op een elektriciteitsprijs van ongeveer 0,18 €/kWh (zie *Afbeelding 5.5*). Ter vergelijking: de opbrengst van zonnepanelen onder de SDE subsidieregeling van 2010 ligt op 0,43-0,47 €/kWh, afhankelijk van de omvang van het systeem. Uit de afbeelding is op te maken dat bij deze subsidies zonnepanelen zeer rendabele investeringen worden.

Afbeelding 5.5

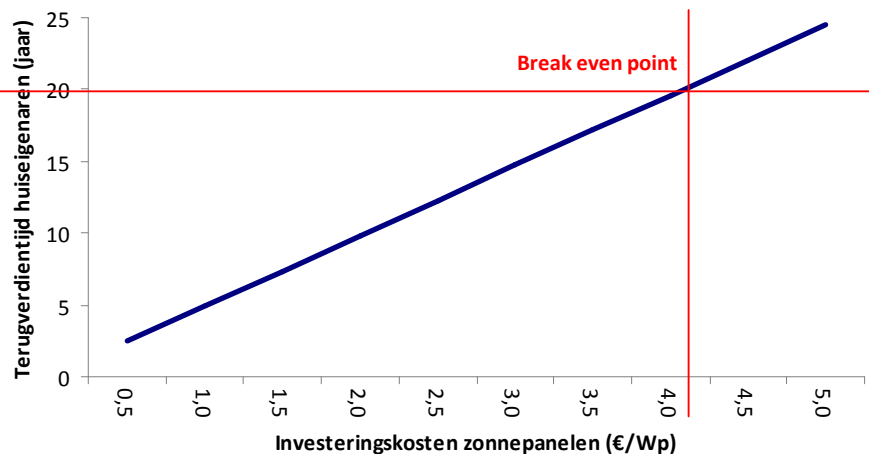
Terugverdientijd van zonnepanelen voor huishoudens bij een variërende elektriciteitsprijs



Net als de elektriciteitsprijs kunnen bijvoorbeeld ook de investeringskosten van de zonnepanelen gevarieerd worden (zie *Afbeelding 5.6*); bij een elektriciteitsprijs van 0,24 €/kWh ligt het BEP op een kostprijs van 4,08 €/Wp.

Afbeelding 5.6

Terugverdientijd van zonnepanelen voor huishoudens bij een variërende investeringskosten



HOOFDSTUK

6 Discussie en conclusie

6.1 DAKOPPERVLAK

1. **Oppervlak** – Alle panden in de provincie Utrecht vertegenwoordigen gezamenlijk bijna 54 miljoen m² grondoppervlak en ruim 71 miljoen m² dakoppervlak. Dit staat gelijk aan het oppervlak van circa 10.000 voetbalvelden. Hierin zijn kleine bijgebouwen (<200 m² grondoppervlak) niet meegerekend.

21% van het dakoppervlak bevindt zich in de gemeente Utrecht. Andere grote bijdragers zijn respectievelijk de gemeenten Amersfoort (9%), Woerden (6%) en Nieuwegein (6%).

Ook de verschillen per wijk of per buurt zijn groot: binnen de gemeente Utrecht vertegenwoordigt een grote wijk als Lageweide met veel bedrijventerreinen ruim 43 maal zoveel dakoppervlak als de woonwijk Sterrenwijk.

2. **Functies** – De provincie kent ruim tweemaal zoveel dakoppervlak op woonpanden (59%) als op werkpanden (27%). 15% van de panden valt binnen de categorie “overig”.

Op een meer gedetailleerd niveau tonen de resultaten duidelijk de verschillende karakters van gemeenten, wijken en buurten aan: 76% van het dakoppervlak in de wijk Lageweide betreft werkpanden en 82% van het dakoppervlak van de woonwijk Sterrenwijk betreft woonpanden.

3. **Helling** – Uit de gedetailleerde analyse in de gemeente Woerden blijkt dat hoogbouwoningen significant meer plat dakoppervlak (32%) hebben dan laagbouwoningen (11%). Werkpanden kennen significant het meeste plat dakoppervlak (43%).

Extrapolatie van deze resultaten naar de gehele provincie Utrecht resulteert in de volgende verdeling: 24% plat dakoppervlak (0-5°), 25% schuin (5-35°) en 51% zeer schuin (>35°).

Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat hellingen ten gevolge van bijvoorbeeld schoorstenen en dakkapellen ook in de categorie “zeer schuin” vallen. Het daadwerkelijk aandeel “zeer schuin” dakoppervlak zal daarom iets lager liggen.

Wederom zijn de verschillen per wijk of per buurt groot: Het aandeel plat dakoppervlak is in een universiteitswijk als de Uithof tweemaal zo groot als in de nieuwbouwwijk Terwijde (36% om 18%). Let wel: deze cijfers zijn gebaseerd op extrapolatie vanuit de gemeente Woerden. Op wijk- en buurtniveau kunnen deze cijfers afwijken van het specifieke karakter van de wijk of buurt. Zo lijken de universiteitsgebouwen op de Uithof een nog groter aandeel plat dakoppervlak te hebben dan de genoemde 36%.

4. **Oriëntatie** – In de gemeente Woerden zijn schuine daken (>5° helling) bij benadering evenredig verdeeld over alle windrichtingen. Dit geldt ongeacht de functiegroep. De verwachting is daarmee dat dit resultaat ook op provinciaal niveau geldt.

Uitsluitend binnen de rode contouren van de gemeente Woerden

1. **Eigendom** – In het geanalyseerde gebied is 8% van het dakoppervlak eigendom van een corporatie. 5% is gemeentelijk eigendom. Het resterende deel (87%) is particulier eigendom.
2. **Bouwjaar** – In het geanalyseerde gebied geldt dat de zeer oude panden (voor 1800 gebouwd) gemiddeld per pand veel dakoppervlak vertegenwoordigen. Verder is het opvallend dat in de periode 1800-1970 sprake was een trend richting kleinere panden en in de periode daarna juist een trend richting grotere panden.
3. **Hoogte** – In het geanalyseerde gebied geldt dat hogere panden over het algemeen een groter dakoppervlak hebben. Ongeveer de helft van de panden valt binnen de categorie 6-9 meter. 7% van de panden komt boven de 12 meter uit. Dit betreft vooral werkpanden (65%).

Als het gaat om het creëren van schaalvoordelen, dan lijkt het gebied buiten de rode contouren de beste mogelijkheden te bieden. Zo ligt het gemiddeld dakoppervlak per pand in de gemeente Woerden buiten de rode contouren op 591 m² en daarbinnen op 113 m². Het verschil hiertussen wordt waarschijnlijk (deels) veroorzaakt door de aanwezigheid van veel boerderijen en grote schuren.

GROTE GEBOUWEN

6.2

DAKTECHNIKEN, KOSTEN EN BATEN

1. **Milieueffect** – Door toepassing van duurzame daktechnieken is potentieel veel milieuwinst te bereiken in de provincie Utrecht. Door gecombineerde opwek van elektriciteit en warmte uit zonne-energie kan de jaarlijkse CO₂ uitstoot van de provincie Utrecht met 20% verlaagd worden (1,9 Mt CO₂). Daarnaast kunnen door toepassing van groene daken andere positieve milieueffecten worden bereikt, zoals waterretentie, afvang van fijn stof en reductie van geluidshinder.

Als 100% van de platte daken wordt bedekt met groen PV (zonnepanelen met daartussen mos of sedum), dan bedraagt de jaarlijkse CO₂-reductie circa 0,58 Mt. Dit is ongeveer 6% van de jaarlijkse CO₂ uitstoot in de provincie Utrecht. Als hetzelfde dakoppervlak wordt bedekt met wit PV (zonnepanelen met daartussen wit dakoppervlak), dan is een jaarlijkse CO₂-reductie te bereiken die nagenoeg gelijk is: circa 0,54 Mt (zie Tabel 5.3).

2. **Financieel resultaat** - Toepassing van de duurzame daktechnieken leidt zonder subsidie slechts in een enkel geval tot een positief financieel resultaat. Uitsluitend voor huishoudens zijn een aantal technieken rendabel (zonnepanelen, zonnefolie en Triple Solar), omdat huishoudens hogere gas- en elektriciteitsprijzen betalen en een lagere discontovoet hanteren. Om die reden is een financiële stimulans waarschijnlijk het meest kosteneffectief voor deze groep gebruikers.
3. **Maatschappelijk resultaat** – Ook maatschappelijk is het resultaat voor de meeste technieken negatief. De maatschappelijke kosten/baten verhouding is uitsluitend positief voor zonnepanelen, zonnefolie en een combinatie met witte daken.

Hierbij moet wel worden opgemerkt dat een belangrijk welvaartseffect, vermindering van de energieafhankelijkheid, niet in het monetaire resultaat is opgenomen. De gepresenteerde monetaire baten zijn daarom een onderschatting van het werkelijke resultaat.

Daarnaast geldt als kanttekening bij de resultaten dat de investeringskosten van veel de genoemde technieken naar verwachting de komende tijd nog zullen dalen. Bovendien is het aannemelijk dat elektriciteitsprijzen zullen stijgen. Beide ontwikkelingen maken het maatschappelijk resultaat positiever. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het resultaat van veel technieken niet robuust is bij een 25% stijging van de elektriciteitsprijs.

Tenslotte geldt dat voor het bepalen van het maatschappelijk resultaat is aangenomen dat alle daktechnieken een levensduur hebben van 20 jaar. Sommige daktechnieken kunnen echter de levensduur van het dak verhogen.

6.3

HOE VERDER?

Wij merken op dat de investeringskosten van de technieken voor veel huishoudens een belangrijke drempel kunnen zijn. Een **eigen energiebedrijf** van een groep samenwerkende huishoudens of dakeigenaren zou een mogelijkheid kunnen zijn om dit probleem op te vangen. Bij een dergelijke constructie zou een bank, al dan niet met overheidsgarantie, de financiering van de investering verzorgen, terwijl huishoudens de investering jaarlijks aflossen en in ruil hiervoor de energieopbrengsten krijgen. De constructie zou met name interessant zijn voor de technieken die zich binnen de levensduur terugverdienen.

Als basis hiervoor kan worden gedacht aan de opstart van een **vraagbundelingscampagne**, waarin per huishouden de mogelijkheid voor deelname wordt voorgelegd en gefaciliteerd. Activiteiten die hieronder vallen zijn bijvoorbeeld:

- Het genereren en beheren van database met projectgebonden informatie per huishouden, gekoppeld aan de uitkomsten van dit onderzoek (dakoppervlak, helling, oriëntatie, etc.).
- Het opstellen en bewaken van een campagneplanning en externe communicatiekalender.
- Het inrichten, opleiden en aansturen van een callcenter, zowel inbound als outbound.
- Het opstellen van een campagneplan per gemeente.
- Het organiseren van een voorlichtingsbijeenkomst per gemeente en de daarbij behorende publiciteit.

In plaats van het oprichten van een eigen (lokaal) energiebedrijf kan ook worden gedacht aan **samenwerking met bestaande (energie)bedrijven**. Verschillende (energie)bedrijven zijn op zoek naar geschikt dakoppervlak voor het implementeren van duurzame daktechnieken. Aan de hand van dit onderzoek kan de provincie veel hulp bieden in deze zoektocht.

Verder kan het rekenmodel een middel vormen voor het bepalen van **subsidies**. Door in het rekenmodel te schuiven met bijvoorbeeld de investeringskosten kan het effect van een subsidiemaatregel inzichtelijk worden gemaakt. Eerder onderzoek van ARCADIS ten aanzien van groene daken in Rotterdam is voor dit doeleinde gebruikt.

Een andere mogelijkheid is het oprichten van een interne en/of externe **website**, waarin de resultaten van het onderzoek interactief kunnen worden geraadpleegd. Eventueel kunnen hierin koppelingen worden aangebracht met andere geografische data van de provincie of met bestaande initiatieven rondom dit thema.

Ten slotte merken wij op dat, in het geval van groene daken, een aantal van de maatschappelijke baten neerslaan bij waterschappen. De vertraging van de piekafvoer, de zuiverende en waterbergende functie hebben de potentie om een bijdrage te leveren aan de wateropgave. Het valt daarom wellicht te overwegen dat **waterschappen** ook een bijdrage leveren aan de stimulering van dit type daktechniek. Een aanbeveling is daarom om nauw samen te werken met waterschappen bij de stimulering van dit type daktechniek.

COLOFON

Duurzame daken: Het potentieel, de kosten en de baten in de provincie Utrecht

OPDRACHTGEVER:

Provincie Utrecht

STATUS:

Eindrapport

AUTEUR:

Mark Meijer (projectleider)
Jos Bakker
Hanneke van Giffen

Tristan Simon
Geert Warringa

GECONTROLEERD DOOR:

Henk Wilbers

VRIJGEGEVEN DOOR:

Henk Wilbers

29 september 2010
B02052/CE0/045/000062/dt

ARCADIS NEDERLAND BV
Beaulieustraat 22
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Tel 026 3778 911
Fax 026 3515 235
www.arcadis.nl
Handelsregister
9036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.

BIJLAGE 1

Aanvullende literatuurlijst

CBS (2010) - Kerncijfers buurten en wijken 2003 – 2008.

CE Delft (2009) - Achtergrondgegevens Stroometikettering 2008 (in opdracht van de NMa).

Drunen, M. van; Lasage, R. (2007) - Klimaatverandering in stedelijke gebieden, Programma ARK.

Eurostat (2009) - Natural gas prices for first semester 2009.

Intelligent Energy Europ (2007) – Leidraad voor kleine windturbines in de gebouwde omgeving

Menon, S.; Akbari, H.; Mahanama, S.; Sednev, I.; Levinson, R. (2010) - Radiative forcing and temperature response to changes in urban albedos and associated CO₂ offsets. Environmental Research Letters. IOP Publishing Ltd.

Nefit (2010a) – Adviesprijzen januari 2010

SenterNovem (2010) - Producten lijst zonneboilers

SenterNovem (2009) - Leidraad Zonnestroomprojecten

TNO (2009) - Opbrengsten (thermisch) van het Tripple Solar dak

VROM (2010) - Dossiers zone-energie. Vraag en antwoord.
<http://www.vrom.nl/pagina.html?id=7543#a6>

WSU (2003) - Reflective Roofcoatings Factsheet. Washington State University.

BIJLAGE 2

Uitgangspunten rekenmodel

In het rekenmodel zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten zijn door middel van schuifjes variabel gemaakt om aan te sluiten bij de range die in de praktijk wordt waargenomen.

Kentallen Algemeen	Vaarde	Eenheid	Uitgangspunt
Gasprijs huishoudens	0,61	euro / m ³	0,61 euro / m ³
Elektriciteitsprijs huishoudens	0,24	euro / kWh	0,24 euro / kWh
Elektriciteitsprijs bedrijven	0,09	euro / kWh	0,09 euro / kWh
CO ₂ prijs	50,00	euro / ton	50 euro per ton
Vereist privaat rendement	8,0%		8,00%
Vereist rendement overheid	2,0%		2,00%
Vereist rendement huishoudens	0,0%		0%

Kentallen specifiek	Vaarde	Eenheid	Uitgangspunt
Groene daken			
Estensief			
- Investeringskosten	45	euro / m ²	45 euro / m ²
- Gasbesparing	4	m ³ / m ²	2,5 - 5 m ³ / m ²
Licht intensief			
- Investeringskosten	85	euro / m ²	85 euro / m ²
- Gasbesparing	8	m ³ / m ²	5 - 10 m ³ / m ²
Zon elektrisch			
Kristallijn			
Investeringskosten	3	euro / Wp	2010: 3 en 4,57 euro / Wp
Efficiëntie	16 %		10 - 18%
Flexibel(amorf)			
Investeringskosten	3	euro / Wp	2010: 3 en 4,57 euro / Wp
Efficiëntie	5 %		5 - 9%
Solindra			
Investeringskosten	4,80	euro / Wp	2010: 4,80 euro / Wp
Efficiëntie	9,8 %		9,80%
Zon thermisch			
Nefit Solar			
Investeringskosten	2100	euro	2050 - 2250 euro per systeem (2,37 m ²)
Energieopbrengst	3,5	GJ	3,5 GJ per systeem
Solior			
Investeringskosten	1900	euro	1800 tot 2000 euro per systeem (2,52 m ²)
Energieopbrengst	3,1	GJ	3,1 GJ per systeem
Triple Solar			
Investeringskosten	12500	euro	10.000 tot 15000 euro per systeem (50m ²)
Energieopbrengst	37	GJ	37 GJ per systeem

Vindturbines			
DonQi			
Investeringskosten	8100 euro		8100 euro
Elektriciteitsopbrengst	420 kWh		420 - 2800 kWh
Ropatec			
Investeringskosten	29500 euro		29500 euro
Elektriciteitsopbrengst	420 kWh		420 - 2800 kWh
Fortis M			
Investeringskosten	18500 euro		18500 euro
Elektriciteitsopbrengst	2600 kWh		2600 - 9500 kWh
Combinaties			
Zen PV Twin			
Investeringskosten	1250 euro		1250 euro
Sedum Kristallijn			
Investeringskosten	390 euro		390 euro
PS coating kristallijn			
Investeringskosten	335 euro		335 euro
Witte daken			
Roofclix			
Investeringskosten	70 euro / m2		70 euro / m2
Derbibrite			
Investeringskosten	30 euro / m2		30-60 euro / m2
Planet save coating			
Investeringskosten	13 euro / m2		13 euro / m2

BIJLAGE 3

Maatschappelijk resultaat

De onderstaande tabel geeft het maatschappelijk resultaat aan van de duurzame daktechnieken die in dit rapport zijn bestudeerd (in miljoenen euro's)

	Groene daken		PV Daken			Zonneboilers			Windturbines			Combinaties		
	Extensief (mos /sedum)	Licht intensief (gras)	Zonnepanelen (kristallijn)	Zonnefolie (dunne film)	Buizen (Solyndra)	Tripole Solar	Nefit Solar	Sollor	Donqi	Ropatec WRE 030	Fortis Montana	Thermisch-PV (Zen PV)	Groen-PV (sedum-krist.)	Wt-PV (PSC-krist.)
Kosten (in miljoenen euro's)														
Investeringskosten	1.345	2.540	4.483	2.242	6.362	3.306	555	503	969	3.531	2.214	37.360	5.275	4.531
Onderhoud- en beheerskosten	377	1.507	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	171	0
Totale kosten	1.722	4.048	4.483	2.242	6.362	3.306	555	503	969	3.531	2.214	37.360	5.445	4.531
Baten (in miljoenen euro's)														
Elektriciteitsproductie	0	0	3.844	1.922	3.409	0	0	0	152	152	942	4.036	2.783	2.783
CO ₂ -reductie	212	424	576	288	511	525	50	44	23	23	141	2.370	513	1.947
NO _x -reductie elektriciteitsopwekking	1	4	40	20	36	0	0	0	2	2	10	42	29	29
SO ₂ -reductie elektriciteitsopwekking	5	16	166	83	148	0	0	0	7	7	41	175	121	105
Elektriciteitsbesparing (airco)	46	139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0
Gasbesparing	919	1.839	0	0	0	2.281	216	191	0	0	0	0	416	0
Waterretentie	76	165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0
Waterkwaliteit	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Afvang fijn stof	107	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0
Afvang NO _x	11	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Geluidshinder	260	519	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117	0
Biodiversiteit	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Welzijn / imago	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Energie afhankelijkheid	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Totale baten	1.721	3.479	4.626	2.313	4.103	2.806	265	235	183	183	1.133	6.623	4.121	4.864
Saldo kosten/baten	1,0	1,2	0,97	0,97	1,6	1,2	2,1	2,1	5,3	19	2,0	5,6	1,3	0,94

* Niet gekwantificeerd