

Zonne-energie potentieel op daken in Assen



Auteur: André Slump

Aanmaakdatum: 01 juli 2010

Laatste wijziging: 28 aug. 2010

Identificatie: eindrapport_afstuderen

Versie: 3.0

Inhoud

Samenvatting	4
Hoofdstuk 1: Introductie.....	7
1.1 Doel van dit document	7
1.2 Aanleiding	7
1.3 Opdrachtgever/begeleiders.....	7
1.4 Opbouw van dit document	8
1.5 Gebruikte termen	8
Hoofdstuk 2: Doelstelling en opdrachtformulering	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Achtergrond	10
2.3 Doelstelling project	11
2.4 De opdracht	11
2.5 Op te leveren producten.....	12
2.6 Metadata	12
2.7 Beperkingen/risico's	13
2.8 Referenties.....	14
Hoofdstuk 3: Onderzoeksopzet	15
3.1 Inleiding	15
3.2 Model.....	15
3.3 Proces	16
3.4 Proces 1: Inventarisatie	16
3.5 Proces 2: Bepalen geschikte dakvlakken	19
3.6 Proces 3: Bepalen terugverdientijd	22
Hoofdstuk 4: Inventarisatie	27
4.1 Inleiding	27
4.2 Deelproces 1.1: Inventarisatie specificaties systemen	28
4.3 Deelproces 1.2: Inventarisatie variabelen rekenmodel	31
4.4 Deelproces 1.3: Inventarisatie alle panden in Assen	33
Hoofdstuk 5: Bepalen geschikte dakvlakken	35
5.1 Inleiding	35
5.2 Deelproces 2.1: Onderscheiden platte en zadeldaken	35
5.3 Deelproces 2.2: Bepalen oriëntatie zadeldakvlakken	37
5.4 Deelproces 2.3: Bepalen hellingshoek zadeldakvlakken.....	38
5.5 Deelproces 2.4: Bepalen zonrijke dakvlakken.....	38
5.6 Deelproces 2.5: Samenvoegen platte en zadeldakvlakken.....	42
Hoofdstuk 6: Bepalen terugverdientijd	43
6.1 Inleiding	43
6.2 Deelproces 3.1: Bepalen schaduwwerking platte daken	43

6.3	Deelproces 3.2: Bepalen benutting beschikbaar dakoppervlak.....	44
6.4	Deelproces 3.3: Bepalen instraling per dakvlak.....	44
6.5	Deelproces 3.4: Bepalen best passend systeem.....	46
6.6	Deelproces 3.5: Bepalen kosten per dakvlak.....	47
6.7	Deelproces 3.6: Bepalen opbrengsten per dakvlak.....	49
6.8	Deelproces 3.7: Bepalen terugverdientijd per dakvlak.....	50
Hoofdstuk 7: Gevoeligheidsanalyse.....		51
7.1	Inleiding.....	51
7.2	Systeemparemeters.....	51
7.3	Referentieobject.....	51
7.4	Scenario's.....	52
7.5	Resultaten.....	54
7.6	Conclusies.....	55
Hoofdstuk 8: Eindproducten.....		56
8.1	Inleiding.....	56
8.2	Rekenmodel.....	56
8.3	ArcGIS modellen.....	56
8.4	Kaart Assen met terugverdientijden.....	57
8.5	Koppeling Google maps.....	58
Hoofdstuk 9: Validatie.....		59
9.1	Inleiding.....	59
9.2	Bewolkingsfactor.....	59
9.3	Instralingsdiagram.....	59
Hoofdstuk 10: Conclusies en aanbevelingen.....		63
10.1	Inleiding.....	63
10.2	Conclusies zonne-energiepotentieel.....	63
10.3	Conclusies model bepalen geschiktheid.....	64
10.4	Aanbevelingen.....	65
Literatuurlijst.....		66
Bijlage 1: Toepassing zonne-energie op daken.....		67
Bijlage 2: Technische randvoorwaarden.....		69
Bijlage 3: Rentepercentages en energieprijzen.....		72
Bijlage 4: ArcGIS-modellen.....		75
Bepalen zon objecten.....		75
Bepalen platte en zadeldaken.....		76
Bepalen oriëntatie van zadeldakdelen.....		77
Bepalen hellingshoek van zadeldakvlakken.....		79
Bepalen zonrijke platte dakdelen.....		80
Bepalen zonrijke zadeldakdelen.....		81
Samenvoegen zonrijke platte en zadeldakdelen.....		82
Bepalen zoninstraling per dakvlak.....		83

Samenvatting

Dit document beschrijft het proces en de uitkomsten van de opdracht 'Zonne-energie op daken in Assen'. Deze opdracht is door André Slump, student milieukunde bij VanHall/Larenstein, als afstudeeropdracht uitgevoerd bij de gemeente Assen.

Deze gemeente wil zich profileren als een 'groene gemeente' en heeft hiervoor een duurzaamheidsbeleid geformuleerd. Speerpunt van dit beleid is een CO₂-neutrale gemeente. In dit kader is een uitvoeringsprogramma opgezet met onder andere als doel: Het verbeteren van de energieprestaties van bestaande woningen. Deze energieprestaties kunnen worden verbeterd door energiebesparende én energieopwekkende maatregelen. Vormen van energieopwekkende maatregelen kunnen zijn het inzetten van zonnecollectoren of zonnepanelen.

Om een goed inzicht te krijgen waar deze vormen van energieopwekking kunnen plaatsvinden, is de opdracht gegeven om van alle daken binnen de gemeente de geschiktheid voor plaatsing van een zonne-energiesysteem te bepalen. De uitvoering van deze opdracht heeft zich beperkt tot het bepalen van geschiktheid van zonnepanelen.

Om de geschiktheid van elk dak te kunnen bepalen is een model gemaakt wat op basis van geografische, technische en economische gegevens de terugverdientijd van elk dak voor een zonne-energiesysteem bepaald.

De geografische gegevens hebben betrekking op daken van gebouwen en omvatten de oppervlakte, hellingshoek, oriëntatie en zoninstraling van daken.

Technische gegevens hebben betrekking op specificaties van zonne-energiesystemen. Economische gegevens hebben betrekking op economische factoren die nodig zijn om een kosten/batenanalyse te kunnen maken van een zonne-energiesysteem in een specifieke situatie.

Met bovenstaande gegevens kan voor elk dak in Assen de geschiktheid voor plaatsing van een zonne-energiesysteem worden bepaald waarbij is gesteld dat de terugverdientijd van het systeem kleiner moet zijn dan de levensduur om als geschikt te worden aangemerkt.

De geografische gegevens zijn bepaald door op basis van de Algemene Hoogtekaart Nederland-2 (versie 2010) en de BAG (Basisadministratie Adressen en Gebouwen) met behulp van ArcGIS de eigenschappen van daken in kaart te brengen. Hiervoor is elk dak in een aantal dakvlakken opgedeeld waarvan vervolgens de oppervlakte, de hellingshoek, oriëntatie (ten opzichte van de zon) en zoninstraling is bepaald.

De technische gegevens zijn verkregen door middel van een inventarisatie in de markt van zonne-energie. Als resultaat zijn de specificaties van verschillende (complete) zonne-energiesystemen in een database opgenomen, waarbij de onder andere prijs, benodigde oppervlakte, rendement en vermogen van verschillende systemen zijn vastgelegd.

De economische gegevens zijn verkregen door onderzoek te doen naar rentestanden, energieprijzen en aantal zonne-uren/zoninstraling in Assen.

Het rekenmodel kan op basis van deze gegevens van elk dakvlak in Assen de terugverdientijd bepalen waarbij steeds twee situaties zijn doorgerekend: de terugverdientijd met een gekozen systeem op basis van benutting van maximale dakoppervlakte en de terugverdientijd met een gekozen systeem op basis van een

gewenst vermogen van het systeem (waarbij is uitgegaan van gewenst vermogen van 1000kWh/jaar).

Dit onderscheid is gemaakt omdat zowel het beschikbare dakoppervlak als het gewenste vermogen van een systeem een bepalende rol spelen bij de keuze voor een systeem.

Omdat het rekenmodel met aantal parameters werkt die op basis van een inschatting zijn bepaald, is een gevoeligheidsanalyse ten aanzien van deze parameters uitgevoerd. Hiervoor zijn een achttal scenario's uitgewerkt, waarbij verschillende waarden zijn toegekend aan deze parameters. Vervolgens is één van deze scenario's gekozen tot meest waarschijnlijke scenario.

Op basis van dit scenario kan worden geconcludeerd dat ongeveer 80 % van alle dakvlakken van een geselecteerde woonwijk in Assen in meer of mindere mate geschikt zijn voor opwekking van zonne-energie.

Uit de resultaten van de gevoeligheidsanalyse kan de conclusie worden getrokken dat de mate van geschiktheid van een dak voor opwekking van zonne-energie in grote mate wordt bepaald door economische factoren en in mindere mate door geografische factoren.

Als onderdeel van deze opdracht is een generiek en dynamisch model opgeleverd dat op basis van de Algemene Hoogtekaart Nederland-2 (versie 2010) en de BAG (Basisadministratie Adressen en Gebouwen) in combinatie met een aantal economische variabelen de terugverdientijd en daarmee de mate van geschiktheid van alle dakvlakken in Assen voor opwekking van zonne-energie heeft bepaald.

Een vervolgstap kan zijn om dit model via internet aan alle burgers van Assen ter beschikking te stellen waarbij de mogelijkheid wordt geboden om zelf de waarde van de rekenvariabelen aan te geven. Op deze manier kan de individuele burger het model aanpassen aan zijn of haar specifieke wensen en ontstaat advies op maat waarbij de burger zelf de definitie van geschiktheid bepaald.

Deze beschikbaarheid via internet is getest door een koppeling met GoogleMaps waarbij de woning van een burger met de daarbij behorende terugverdientijden getoond kan worden. Dit kan bijvoorbeeld in een gepersonaliseerde omgeving door bijvoorbeeld in te loggen met DigiD.

Omdat het model met gestandaardiseerde brongegevens werkt, kan het worden toegepast op een willekeurig ander deel van Nederland. Zo kan bijvoorbeeld door vervanging van de AHN2 en de BAG van Assen door de AHN2 en de BAG van Groningen de geschiktheid van alle daken in Groningen worden bepaald.

Hoofdstuk 1: Introductie

1.1 Doel van dit document

Het doel van dit document is het beschrijven van het proces en de resultaten van de opdracht 'Zonne-energie op daken in Assen'.

1.2 Aanleiding

De gemeente Assen heeft opdracht gegeven om inzichtelijk te maken welke daken in Assen geschikt kunnen zijn voor het plaatsen van een zonne-energiesysteem.

Deze opdracht is uitgevoerd door André Slump als afstudeeropdracht van de opleiding Milieukunde bij Van Hall/Larenstein. De uitvoering van opdracht heeft plaatsgevonden bij de gemeente Assen.

1.3 Opdrachtgever/begeleiders

De opdrachtgever voor deze opdracht:

- Marco Dalfsen	Beleidsadviseur Milieu, Gemeente Assen
	Telefoon : 0592-366259
	Emailadres : m.dalfsen@assen.nl

Vanuit Van Hall Larenstein zijn twee afstudeerbegeleiders toegewezen. Dit zijn:

- Ignas Dümmer	Docent Spatial Planning/GIS, Hogeschool Van Hall Larenstein
	Telefoon : 058-2846165
	Emailadres : ignas.dummer@wur.nl

- Wim Hilbrants	Docent Duurzame Energie, Hogeschool Van Hall Larenstein
	Telefoon : 058-2846221
	Emailadres : wim.hilbrants@wur.nl

1.4 Opbouw van dit document

Dit document is als volgt opgebouwd:

Hoofdstuk 1 geeft een introductie van de opdracht en een leeswijzer voor dit rapport.

In hoofdstuk 2 worden aanleiding en achtergrond voor deze opdracht toegelicht en zijn de doelstelling en opdracht geformuleerd.

Hoofdstuk 3 beschrijft het proces om te komen tot het succesvol behalen van de doelstelling. Dit proces is opgedeeld in een aantal deelprocessen en worden als zodanig beschreven.

In hoofdstuk 4, 5 en 6 worden van de processen en de bijbehorende deelprocessen de gevolgde methodieken en daaruit voorkomende resultaten beschreven.

In hoofdstuk 7 wordt vervolgens een gevoeligheidsanalyse door middel van een aantal scenario's uitgevoerd waarmee duidelijk wordt welke variabelen de meeste invloed op het model hebben.

In hoofdstuk 8 worden een aantal resultaten en methodieken die in deze opdracht zijn gebruikt, getoetst aan de hand van validatiecriteria.

In hoofdstuk 9 worden conclusies geformuleerd en aanbevelingen gedaan over mogelijke vervolgstappen.

1.5 Gebruikte termen

Hieronder volgt een overzicht van veel gebruikte termen in dit rapport waarbij een korte toelichting wordt gegeven.

Voor een overzicht van werking van zonne-energie op daken in het algemeen wordt verwezen naar bijlage 1: 'Toepassing zonne-energie op daken'.

- **Zonnepanelen**

Met een *zonnepaneel* wordt bedoeld een paneel wat in staat is zonne-energie om te zetten in elektriciteit. In dit onderzoek worden verschillende type panelen gebruikt voor de kosten/batenanalyse.

- **Zonnecollectoren**

Met een *zonnecollector* wordt bedoeld een paneel wat in staat is zonne-energie om te zetten in warmte. Deze warmte wordt afgegeven aan een medium wat door de collector stroomt. Met behulp van een warmtewisselaar kan deze warmte vervolgens voor verschillende doeleinden worden gebruikt.

- **Zonneboiler**

Zie 'zonnecollectoren'

- **Zonne-energiesysteem**

Met een zonne-energiesysteem wordt bedoeld een systeem bestaande uit zonnepanelen of zonnecollectoren in combinatie met een boiler. Er wordt gerefereerd aan complete systemen, inclusief bekabeling en eventuele omvormers.

- **Hellingshoek**
De *hellingshoek* van een dak is de (kleinste) hoek (in graden) van dit dak ten opzichte van de vloer van het gebouw.
- **Oriëntatie**
Onder de *oriëntatie* van een dak wordt verstaan de stand van het dak ten opzichte van de windrichting (N-O-Z-W). Dit is alleen van toepassing op schuine daken.
- **Dak, dakvlak**
Een dakvlak is één van de schuine delen van een zadeldak, of een plat deel van het dak.
Een dak is een geheel van alle dakvlakken van het gehele dak van een pand.
Dit onderscheid wordt gemaakt om per dakvlak te kunnen bepalen in hoeverre dit vlak geschikt is voor plaatsing van een zonne-energiesysteem.
- **Beschikbaar dakoppervlak**
Het *beschikbare dakoppervlak* is de oppervlakte van een dakdeel wat gebruikt kan worden voor plaatsing van een zonne-energiesysteem.
Dit wordt uitgedrukt in m².
- **Geschikt dakoppervlak**
Het *geschikte dakoppervlak* is het deel van beschikbare dakoppervlak waar genoeg zoninstraling is om genoeg rendement te leveren voor een zonne-energiesysteem .
- **Instraling**
De *instraling* geeft aan hoeveel zonne-energie op een dakvlak instraalt. Dit wordt uitgedrukt in kWh/jaar/m².
- **Rendement**
Het rendement van een zonne-energiesysteem is aan de mate waarin een systeem in staat is de instralende zonne-energie om te zetten in bruikbare elektriciteit.

Hoofdstuk 2: Doelstelling en opdrachtformulering

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt de totstandkoming van dit project beschreven en worden de doelstellingen geformuleerd. Uit deze doelstellingen is de opdracht voortgekomen. Deze opdracht wordt beschreven waarbij wordt aangegeven welke data voor deze opdracht is gebruikt, wat de beperkingen en risico's van deze opdracht zijn en er wordt gerefereerd aan vergelijkbare projecten die in het verleden zijn uitgevoerd.

2.2 Achtergrond

De gemeente Assen wil zich profileren als een 'groene' gemeente en heeft hiervoor een duurzaamheidsbeleid¹ geformuleerd. Speerpunt van dit beleid is dat Assen CO₂-neutraal wil worden. Voor dit beleid is het Duurzaamheidsfonds ingesteld (Raadbesluit van juni 2009 en Duurzaamheidsvisie 2009-2015, Gemeente Assen 2009). Voorbeeld van zaken die uit dit fonds kunnen worden gerealiseerd zijn het stimuleren van duurzaam wonen (nieuwbouw en bestaande bouw) door middel van energiebesparende of energieopwekkende maatregelen.

Hiervoor is een uitvoeringsprogramma opgezet waarbij twee projecten zijn gedefinieerd, met onderstaande doelen:

1) Verbeteren energieprestaties bestaande woningen

Inzet: door middel van energiebesparing en –opwekking komen tot een verbetering van de energieprestaties (op basis van het Energie Prestatie Advies) van de bestaande woningvoorraad. Hierbij wordt vooral ingezet op energiebesparing, maar ook energieopwekking kan tot de mogelijkheden behoren.

Voor dit project is een duurzaamheidscoördinator aangesteld bij de dienst stadsontwikkeling.

Als onderdeel van 'Verbeteren energieprestaties bestaande woningen' is in 2009 het deelproject 'dakthermografie' uitgevoerd, waarbij middels een thermografische opname de warmte-uitstraling (en daarmee vermoedelijk energieverlies) alle daken van Assen is opgemeten.

Het resultaat hiervan is een thermografische kaart (André Slump, 2009) waarop van alle daken binnen de gemeentegrenzen met een kleurcode de mate van warmte-uitstraling is aangegeven. Dit resultaat kan worden gebruikt als communicatiemiddel richting de burger om deze bewust te maken van het warmteverlies door het dak van zijn/haar woning.

2) Verbeteren energieprestaties maatschappelijk vastgoed.

Inzet: het toepassen van energiebesparende en energieopwekkende maatregelen op maatschappelijk vastgoed (gemeentelijke eigendommen). Hierbij geldt dat de gemeente een voorbeeldfunctie heeft en zal vanwege de zichtbaarheid van deze maatregelen niet alleen op energiebesparende maatregelen maar ook vooral op energieopwekkende maatregelen worden ingezet.

¹ <http://www.assen.nl/dsresource?objectid=7960&type=org>

Vormen van energieopwekkende maatregelen zijn het inzetten van zonnecollectoren of zonnepanelen. Om helder te krijgen wat het potentieel is aan daken waar deze vormen van energieopwekking kunnen plaatsvinden is de opdracht gegeven om een inventarisatie uit te voeren naar alle voor deze vorm van energieopwekking geschikte daken.

Deze inventarisatie van geschikte daken en het bepalen van de mate van geschiktheid is als afstudeeropdracht uitgevoerd.

De resultaten van deze opdracht kunnen door de duurzaamheidscoördinatoren worden gebruikt 1) voor het in beeld brengen van het dakpotentieel van de gemeentelijke eigendommen voor plaatsing van zonnecollectoren of zonnepanelen en 2) om een strategie te kunnen bepalen om eigenaren van daken in Assen bewust te laten worden van het zonne-energiepotentieel die deze daken bieden.

2.3 Doelstelling project

Uit bovenstaande wordt de doelstelling voor dit project als volgt gedefinieerd:

'Het informeren van de opdrachtgever over de mogelijkheden van plaatsing van een zonne-energiesysteem op daken in Assen waarbij voor elk dak de mate van geschiktheid voor een zonne-energiesysteem wordt aangegeven'

2.4 De opdracht

Zoals beschreven in bijlage 1 zijn voor de bepaling van de geschiktheid van zonne-energie op daken verschillende soorten gegevens nodig. Hierin wordt onderscheid gemaakt in geografische, technische en economische gegevens.

De geografische gegevens hebben betrekking op daken van gebouwen en omvatten de oppervlakte, hellingshoek en oriëntatie van daken.

Technische gegevens hebben betrekking op specificaties van zonne-energiesystemen.

Economische gegevens hebben betrekking op economische factoren die nodig zijn om een kosten/batenanalyse te kunnen maken van een zonne-energiesysteem.

Met bovenstaande gegevens kan voor elk dak in Assen de geschiktheid voor plaatsing van een zonne-energiesysteem worden bepaald waarvoor geldt dat de terugverdientijd van een zonne-energiesysteem kleiner moet zijn dan de levensduur wil een dak als geschikt worden aangemerkt. Uit bovenstaande volgt onderstaande projectopdracht:

'Maak een inventarisatie van de specificaties van zonne-energiesystemen, bepaal van alle daken de oriëntatie, dakoppervlakte, hellingshoek en bepaal middels een kosten/batenanalyse de mate van geschiktheid voor plaatsing van een zonne-energiesysteem voor deze daken'

2.5 Op te leveren producten

Hieronder worden de op te leveren producten benoemd welke als resultaten van dit project worden opgeleverd:

- Een overzicht van alle adressen in de gemeente Assen, met bijbehorende pandeigenaar/dakeigenaar waarbij voor elk dak de mate van geschiktheid wordt aangegeven voor het plaatsen van een zonne-energiesysteem.
- Een luchtfoto van Assen waarop van elk dak de mate van geschiktheid voor een zonne-energiesysteem met een kleurcodering worden aangegeven.
- Een rekenmodel waarmee op basis van specificaties van zonne-energiesystemen en eigenschappen van daken de mate van geschiktheid voor een zonne-energiesysteem kan worden bepaald.
- Gevoeligheidsanalyse waarin wordt aangegeven op welke manier verschillende parameters van het rekenmodel de mate van geschiktheid beïnvloeden.

Met bovenstaand producten kunnen de duurzaamheidcoördinatoren worden geïnformeerd over de geschiktheid van daken in Assen voor plaatsing van een zonne-energiesysteem. Tevens kan voor van elk dak afzonderlijk worden bepaald wat de mate van geschiktheid is voor een zonne-energiesysteem waarmee de mogelijkheid bestaat om de burger op individueel niveau te adviseren over de mogelijkheden voor een zonne-energie-installatie.

2.6 Metadata

Hieronder worden de bronbestanden beschreven die zijn gebruikt voor dit project:

Naam bestand:	Eigenaar:	Inhoud:	Geometrische nauwkeurigheid: (absoluut)	Gebruik schaal:	Jaartal:	Formaat
RD_G_KAD_PERCELEN	Kadaster	Kadastrale percelen met perceelnummers	Stedelijk gebied < 5 cm Landelijk gebied < 40 cm Is afhankelijk van de wijze van meten	1:500 - 1: 2000	2010	vector
RD_G_BAG_GEBOUWEN	Gemeente Assen (BAG)	Geometrie van panden afkomstig uit de Basisregistratie Adressen en gebouwen	Stedelijk gebied < 20 cm Landelijk gebied < 40 cm Nauwkeurigheid conform Norm-GBKN.	1:1000	2010	vector
RD_G_WOZ_OBJECTEN	Gemeente Assen (WOZ)	Informatie over WOZ-objecten afkomstig uit de WOZ-registratie.	WOZ objecten hebben een relatie met de gemeentelijk adressen uit de BAG in de tabel en hebben geen directe geometrie.	n.v.t.	2010	vector
AHN2	Waterschap Hunze en Aa's	Algemene Hoogtekaart Nederland (opnamedatum juni 2010)	De hoogte wordt aangegeven in cm. met een maximale afwijking van 5 cm. De punt dichtheid is gem. 10pnt/m2**	0,5*0,5m	2010	raster

Tabel 1: Metadata van de gebruikte bestanden

- * *Delen afkomstig van gedigitaliseerd van oud kaartmateriaal met schaal 1:1000 tot 1:2500 hebben een geometrische afwijking van maximaal 0,5 meter. Delen in stand gekomen door inmeting (GPS, tachymetrisch) hebben een afwijking van maximaal 10 cm.*
- ** *Conform de behaalde productkwaliteit vanuit de resultaten van het pilotprogramma AHN2.*

De hoogtekaart AHN2 is een proefversie van Rijkswaterstaat en is eigendom van het waterschap 'Hunze en Aa's' en is voor deze opdracht beschikbaar gesteld (Wilfried Heijnen, Waterschap Hunze en Aa's, aug. 2010) onder de voorwaarde dat het bestand niet voor andere doeleinden dan deze opdracht wordt ingezet.

2.7 Beperkingen/risico's

- Of een dak geschikt wordt bevonden voor een zonne-energiesysteem is niet alleen afhankelijk van hellingshoek, oriëntatie en oppervlakte, maar ook van de bouwtechnische staat van een dak.
Omdat voor deze opdracht niet voldoende bouwtechnische gegevens van daken beschikbaar zijn, wordt dit aspect niet nader onderzocht.
Wel wordt per dak of dakdeel aangegeven wat de extra belasting in kg/m² is bij de het gekozen systeem en het daarbij behorende gewicht.
Er wordt geadviseerd een gespecialiseerd bedrijf in te schakelen om te beoordelen of de draagconstructie van het dak voldoet aan de gestelde eisen voor het systeem alvorens over te gaan tot aanschaf van een systeem.
- Het model geeft een momentopname ten aanzien van de geschiktheid voor een zonne-energiesysteem. Dat moment hangt samen met de opnamedatum van de hoogtekaart en van de waarde van de gebruikte parameters voor de berekening van de terugverdiëntijden.
Aangezien de markt van zonne-energie volop in beweging is, is het wenselijk de parameters voor het rekenmodel regelmatig aan te passen aan de dan geldende situatie.
Hiervoor is in het rekenmodel de mogelijkheid opgenomen om in plaats van de waarden die door het model worden aangedragen, deze handmatig aan te passen aan een situatie die wellicht beter past bij de dan geldende situatie of bij iemands specifieke wensen.
- De hoogtekaart is een momentopname. De opname datum is juni 2010 (zie metadata paragraaf 2.6).
- De gebruikte bronbestanden kennen verschillende nauwkeurigheden, waarvan de hoogtekaart de minst nauwkeurige is. Deze (on)nauwkeurigheid kan voor afwijkingen zorgen bij het inventariseren van dakvlakken.
- Deze opdracht heeft zich met name gericht op toepassing van zonnepanelen op daken. Toepassingen met zonneboilers zijn niet uitgewerkt, maar aanvullende gegevens kunnen hiervoor in het model worden opgenomen waardoor ook de geschiktheid van zonnecollectoren met zonneboilers kan worden bepaald.

2.8 Referenties

Een vergelijkbaar project 'Powermapping' (zie website van het project: <http://www.waag.org/project/powermapping>, aug. 2010) heeft in Amsterdam de geschiktheid van daken bepaald voor zonne-energie en windenergie. Hierbij is geen gebruik gemaakt van een hoogtekaart, en is de aanname gedaan dat alle gebouwen van een bepaalde hoogte zijn, en allemaal een plat dak hebben. Ook is er geen gebruik gemaakt van een rekenmodel wat voor alle daken afzonderlijk een kosten/baten analyse maakt.

Er zijn rekenmodules op het internet beschikbaar waarmee op basis van een aantal in te voeren parameters de opbrengst van een zonne-energiesysteem kan worden bepaald (rekenmodule: <http://www.zonnefabriek.nl/advies.php>, aug. 2010). Hierbij wordt verondersteld dat een burger of een bedrijf zelf op zoek gaat naar mogelijkheden voor een zonne-energiesysteem en zelf ook de parameters (dakoppervlakte, oriëntatie, hellingshoek) paraat heeft.

Het model wat in het kader van deze opdracht wordt opgeleverd onderscheidt zich van bestaande modellen doordat informatie die nodig is om te kunnen inschatten of een dak wel of niet geschikt is voor een zonne-energiesysteem, beschikbaar is en wordt gebruikt in de berekeningen.

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de AHN2 (Algemene Hoogtekaart Nederland, versie 2010 met een resolutie van 0,5 m) en van gegevens beschikbaar in gemeentelijke registratiesystemen.

Op deze manier kan op voorhand een inschatting worden gemaakt of een dak wel of niet geschikt is voor plaatsing van een zonne-energiesysteem. Door de eigenaren van deze panden vervolgens te benaderen met deze informatie kan een bedrijf of burger wellicht eerder worden overgehaald tot het doen van een investering in een zonne-energiesysteem.

Zo wordt niet afgewacht tot een bedrijf of burger zelf initiatief ontwikkeld ten aanzien van zonne-energiemogelijkheden op daken, maar krijgt deze informatie op maat aangeleverd.

Daarmee zijn de resultaten van deze opdracht eigenlijk een combinatie van de aanpak van Powermapping met de reeds bestaande rekenmodules op internet, aangevuld met eigenaargegevens van percelen en gebouwen, waardoor eigenaren van daken op individueel niveau actief kunnen worden benaderd en geadviseerd.

Hoofdstuk 3: Onderzoekopzet

3.1 Inleiding

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 zijn voor de bepaling van de geschiktheid van zonne-energie op daken verschillende soorten gegevens nodig. Hierin wordt een onderscheid gemaakt in geografische, technische en economische gegevens.

De geografische gegevens hebben betrekking op daken van gebouwen en bestaan uit de oppervlakte, hellingshoek en oriëntatie van daken.

Technische gegevens hebben betrekking op specificaties van zonne-energiesystemen gericht op kosten en opbrengsten van de verschillende systemen. Onder de geïnterviewde gegevens vallen de aanschafkosten, de levensduur, het rendement en de benodigde oppervlakte en type dak nodig voor het systeem.

De economische gegevens hebben betrekking op factoren die nodig zijn om een kosten/batenanalyse te kunnen maken voor een zonne-energiesysteem waarbij rekening wordt gehouden met rentetarieven en energieprijzen.

Omdat de markt van zonne-energie voortdurend in beweging is en daarmee ook de informatie waarop kan worden bepaald of en in welke mate een dak geschikt is voor zonne-energie, is een model gemaakt wat op basis van parameters de geschiktheid van daken bepaald.

Bij wijzigingen in de geografische, economische of technische gegevens kan het model, na aanpassing van deze variabelen, de nieuwe situatie bepalen.

Eventuele subsidies op zonne-energiesystemen worden voor deze opdracht niet geïnterviewd of meegenomen in het rekenmodel. Wel is in het rekenmodel ruimte gelaten voor berekeningen met subsidies.

3.2 Model

Het rekenmodel waarmee de kosten/batenanalyse wordt uitgevoerd werkt naast de geografische gegevens van daken met verschillende parameters. Deze parameters hebben betrekking op de technische en economische gegevens.

Het model is op basis van deze parameters in staat om een op een gegeven moment in de tijd de geschiktheid van een dak voor een zonne-energiesysteem te kunnen bepalen. De waarden van deze parameters representeren een specifiek tijdsmoment.

Omdat deze parameters in de loop der tijd kunnen veranderen zijn ze in een database opgeslagen en kunnen worden aangepast. Doordat het model op met verschillende parameters de geschiktheid van daken kan bepalen ontstaat een dynamisch model.

De gebruikte database waarin de gebruikte tabellen en procedures voor het rekenmodel worden opgeslagen is een Oracle SDE-database (zie bijlage 2: Technische randvoorwaarden).

Een overzicht van alle voor deze opdracht gebruikte tabellen van deze database is als Entity-Relation-Diagram opgenomen in bijlage 2.

3.3 Proces

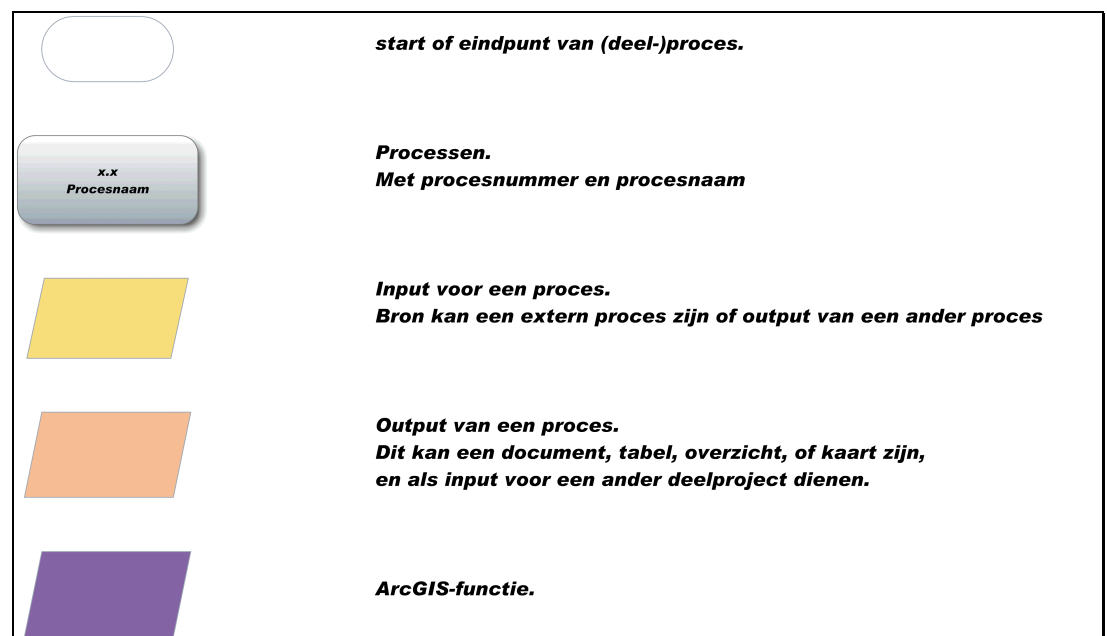
Het proces dat leidt tot het bepalen van geschiktheid van daken voor een zonne-energiesysteem bestaat uit drie delen:

- 1) inventarisatie
- 2) bepalen eigenschappen van zonrijke dakdelen
- 3) bepalen terugverdientijd per dakdeel

Elk proces bestaat uit een aantal deelprocessen.

In de volgende paragrafen worden alle deelprocessen beschreven en toegelicht met behulp van een procesdiagram. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4, 5 en 6 van elk deelproces beschreven wat de gevolgde methode is geweest en wat de resultaten van die methode zijn.

Onderstaande legenda is voor alle procesdiagrammen van toepassing:



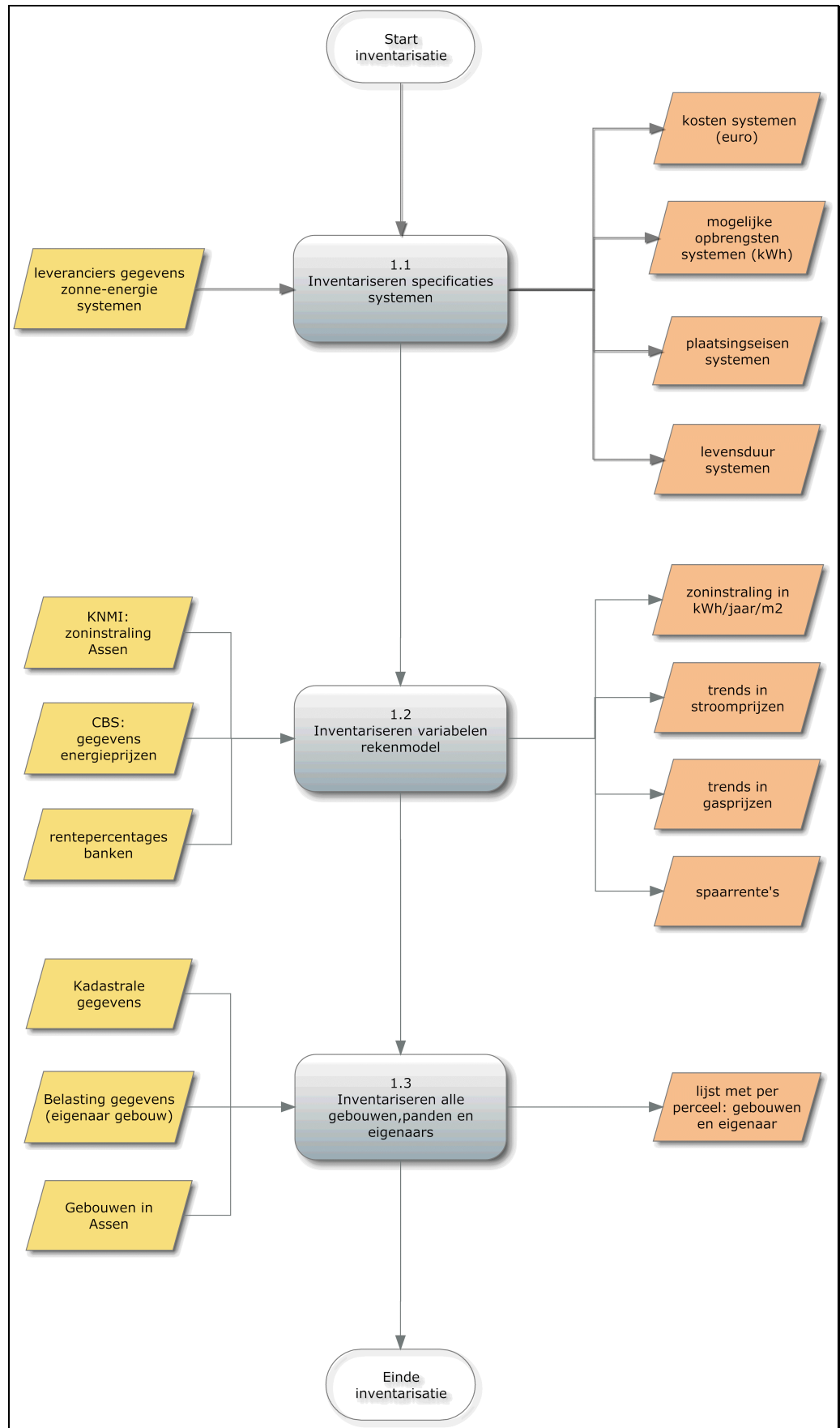
Figuur 1: legenda bij procesdiagrammen

3.4 Proces 1: Inventarisatie

Het doel van het proces 'Inventarisatie' is het verzamelen van benodigde gegevens voor deze opdracht.

Deze gegevens bestaan uit specificaties van zonne-energiesystemen, rekenvariabelen voor een kosten/batenanalyse en locaties en eigenschappen van alle te onderzoeken gebouwen.

Dit proces bestaat uit drie deelprocessen. Deze deelprocessen zijn in onderstaand procesdiagram weergegeven en worden in de volgende paragrafen beschreven. De uitwerking en de resultaten van elk deelproces zijn opgenomen in hoofdstuk 4.



Figuur 2: procesdiagram 'Inventarisatie'

Deelproces 1.1: Inventarisatie specificaties systemen

Het doel van dit deelproces is het in kaart brengen van specificaties van zonne-energiesystemen. Hiervoor is een inventarisatie gedaan in de markt van zonne-energiesystemen en trends in energieprijzen.

Input:

- leveranciersgegevens van zonne-energiesystemen

Output:

- aanschafkosten van verschillende zonne-energiesystemen
- mogelijke opbrengsten van verschillende zonne-energiesystemen
- plaatsingseisen van verschillende zonne-energiesystemen
- levensduur van verschillende zonne-energiesystemen

Deelproces 1.2: Inventarisatie variabelen rekenmodel

Het doel van dit deelproces is het inventariseren van variabelen die nodig zijn voor het rekenmodel om de terugverdientijd van dakvlakken te bepalen. Het betreft hier gegevens van banken omtrent rentepercentages op spaargeld, de ontwikkelingen van prijzen op de energiemarkt, en informatie met betrekking tot rendement van een zonne-energiesysteem als rekening wordt gehouden met de hellingshoek en oriëntatie van het panel.

Input:

- gegevens over spaarrentes
- energieprijzen en trends hierin
- instraling van de zon

Output:

- waarden toegekend aan rekenmodelvariabelen

Deelproces 1.3: Inventarisatie alle panden in Assen

Het doel van dit deelproces is het opleveren van een lijst van percelen met daarbij behorende gebouwen in Assen.

Met deze lijst kan per perceel advies worden uitgebracht aangaande de geschiktheid voor een zonne-energiesysteem.

Voor deze inventarisatie is gebruik gemaakt van ArcGIS software. De gebruikte versie is ArcGIS9.3 met de extensies 'Spatial Analyst' en '3DAnalyst' (zie bijlage 2: technische randvoorwaarden).

Input:

- vectorbestand met kadastrale gegevens
- vectorbestand met gebouwen
- vectorbestand met eigenaargegevens van gebouwen

Output:

- vectorbestand met gebouwen voorzien van perceelnummer en eigenaarinformatie

3.5 Proces 2: Bepalen geschikte dakvlakken

Het doel van dit proces is het opleveren van een lijst van alle gebouwen in Assen waarbij van elk gebouw de verschillende dakvlakken worden aangegeven, inclusief de hellingshoek, oppervlakte, oriëntatie en zonrijke oppervlakte.

Met deze eigenschappen kan het rekenmodel de geschiktheid voor een zonne-energiesysteem bepalen.

Omdat zadeldaken andere eigenschappen hebben dan platte daken ten aanzien van opwekking van zonne-energie, wordt er onderscheid gemaakt tussen platte daken en zadeldaken.

Aangezien een zadeldak per definitie uit minimaal twee dakdelen bestaat met elk een andere oriëntatie en daarmee een verschillende mate van geschiktheid, is elk zadeldak opgedeeld in verschillende dakvlakken.

Ter illustratie worden in onderstaande figuur de verschillende dakvlakken van een zadeldak (van een willekeurig pand) aangegeven:

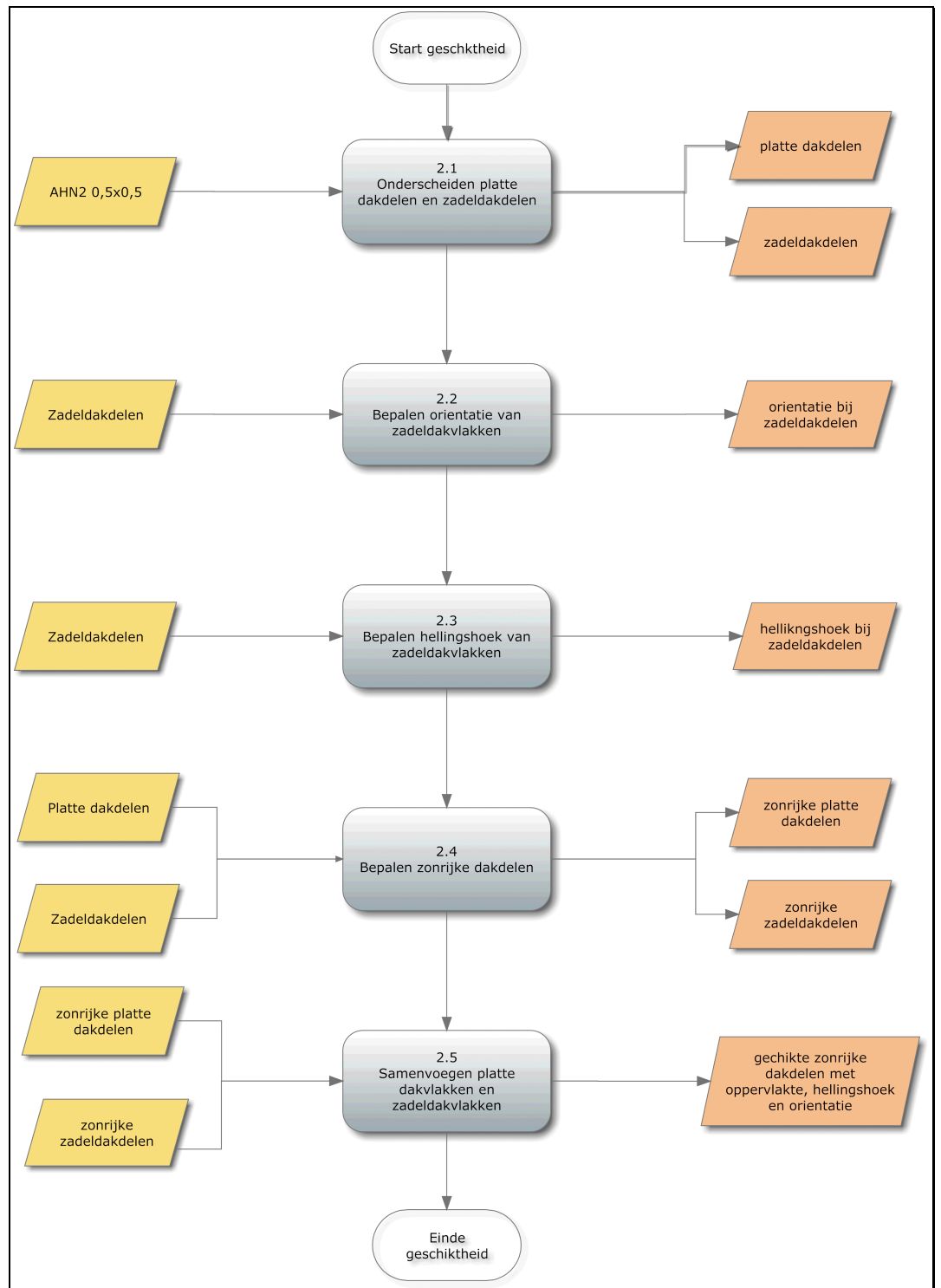


Figuur 3: dakvlakken van een zadeldak

Voor de bepaling van geschikte dakvlakken worden van dit gebouw van dakvlakken 1 t/m 5 de hellingshoek, oppervlakte, oriëntatie en zonrijke oppervlakte bepaald.

Het proces om te komen tot zonrijke dakdelen met bijbehorende eigenschappen is opgedeeld in een aantal deelprocessen. Hierbij is gebruik gemaakt van ArcGIS9.3 met de extensies 'Spatial Analyst' en '3DAnalyst' (zie bijlage 2: technische randvoorwaarden).

Elk van deze deelprocessen met bijbehorende in- en outputstromen is het procesdiagram (figuur 4) weergegeven en wordt in de volgende paragrafen beschreven. De uitwerking en de resultaten van elk deelproces zijn opgenomen in hoofdstuk 4.



Figuur 4: procesdiagram 'bepalen geschikte dakdelen'

Deelproces 2.1: Onderscheiden platte daken en zadeldaken

Het doel van dit deelproces is het onderscheiden van platte daken en zadeldaken. Dit is nodig omdat, in tegenstelling tot zadeldaken, platte daken geen beperkende factoren met behulp van de hellingshoek en oriëntatie kennen die van invloed zijn op het rendement van een geplaatste zonne-energiesysteem.

Input:

- hoogtekaart Nederland AHN2

Output:

- vectorbestand met platte dakdelen en vectorbestand met zadeldakdelen

Deelproces 2.2: Bepalen oriëntatie zadeldakvlakken

Het doel van dit deelproces is het bepalen van de oriëntatie (stand ten opzichte van de zon) van alle zadeldakdelen. Hiervoor wordt aan elk zadeldakdeel de eigenschap 'oriëntatiecode' toegevoegd.

Platte daken worden voor dit proces uitgesloten om dat deze dakdelen geen oriëntatie-eigenschap kennen.

Input:

- vectorbestand van zadeldakdelen

Output:

- vectorbestand van zadeldakdelen inclusief oriëntatiecode

Deelproces 2.3: Bepalen hellingshoek zadeldakvlakken

Het doel van dit deelproces is het bepalen van de hellingshoek van alle zadeldakdelen. Hiervoor wordt aan elk zadeldakdeel de eigenschap 'hellingshoek' (in graden) toegevoegd.

Platte daken worden voor dit proces uitgesloten om dat deze dakdelen geen oriëntatie-eigenschap kennen.

Input:

- vectorbestand van zadeldakdelen

Output:

- vectorbestand van zadeldakdelen incl. hellingshoek

Deelproces 2.4: Bepalen zonrijke zones van dakvlakken

Het doel van dit deelproces is het bepalen van de oppervlakte van schaduwrijke zones op dakdelen. Hiervoor wordt aan de bestaande zadeldaken en platte daken de eigenschap 'oppervlakte zonder schaduw' toegevoegd.

Input:

- vectorbestanden van platte dakdelen en zadeldakdelen

Output:

- vectorbestanden van zonrijke platte en zonrijke zadeldakdelen

Deelproces 2.5: Samenvoegen zonrijke platte daken en zadeldaken

Het doel van dit deelproces is het samenvoegen van alle zonrijke platte dakdelen en alle zonrijke zadeldakdelen tot één bestand.

Dit bestand bevat naast perceelsgegevens en eigenaargegevens ook de oriëntatie, hellingshoek, totale oppervlakte en zonrijke oppervlakte van dakvlakken.

Input:

- vectorbestanden van zonrijke platte en zonrijke zadeldakdelen

Output:

- vectorbestand van alle zonrijke dakdelen, inclusief totale oppervlakte, zonrijke oppervlakte, oriëntatiecode en hellingshoek

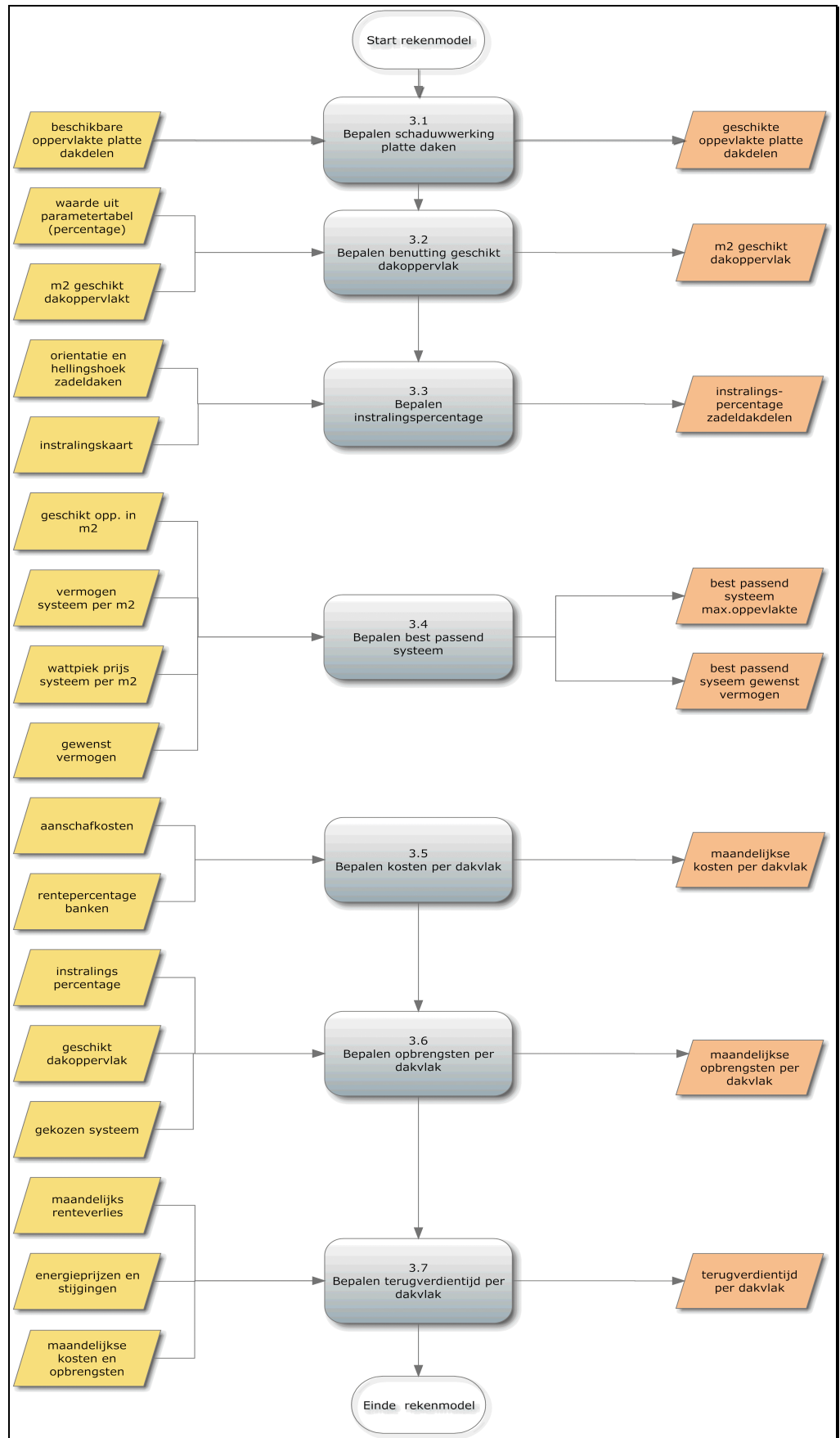
3.6 Proces 3: Bepalen terugverdientijd

Het doel van dit proces is het bepalen van de terugverdientijd van een zonne-energiesysteem voor elk dakvlak. Hiervoor is een rekenmodel gemaakt wat op basis van eigenschappen van dakvlakken het best passende (en goedkoopste) zonne-energiesysteem uit de geïnterpreteerde systemen kiest.

Het rekenmodel bepaalt op basis van kosten, mogelijke opbrengsten en eigenschappen van daken, met behulp van een aantal rekenvariabelen de terugverdientijd.

De waarden van deze variabelen en de uitwerking met de resultaten van elk deelproces zijn opgenomen in hoofdstuk 4.

Het bijbehorende procesdiagram is opgenomen in figuur 5.



Figuur 5: procesdiagram 'Rekenmodel'

Deelproces 3.1: Bepalen schaduwwerking platte daken

Het doel van deze procedure is het bepalen van het aantal geschikte m²'s van platte daken, rekening houdend met schaduwwerking van de panelen indien deze onder een hoek worden gemonteerd.

Input:

- hoeveelheid *beschikbare* m² plat dakdeel

Output:

- hoeveelheid *geschikte* m² plat dakdeel

Deelproces 3.2: Bepalen benutting beschikbaar dakoppervlak

Het doel van deze procedure is het handmatig kunnen aangeven welk percentage van het geschikte dakdeel gebruikt dient te worden in de berekeningen die leiden tot de terugverdientijd van het dakdeel.

Deze parameter moet worden gezien als een instelling die door een gebruiker zelf kan worden bepaald op basis van specifieke wensen. Zo zou bijvoorbeeld iemand op de gemeentelijke website aangeven dat van de 100m² geschikt dakoppervlak er maximaal 20m² gebruikt mag worden.

Hierdoor kan de keuze voor het best passende systeem en bijbehorende prijs veranderen.

Input:

- parameter '% benutting geschikt dakoppervlak'

Output:

- geschikte dakoppervlak in m²

Deelproces 3.3: Bepalen instraling per dakvlak

Het doel van dit deelproces is op basis van oriëntatie en hellingshoek het bepalen van het instraling voor elk zadeldakvlak.

Met het rendement van het systeem en met dit instraling kan de opbrengst van systeem in een specifieke situatie worden bepaald.

Hierbij wordt rekening houden met bewolking en de aanwezigheid van schaduwen.

Input:

- hellingshoek en oriëntatie van zadeldakvlakken
- zoninstraling gegevens in Assen, rekening houdend met bewolking (KNMI)
- zoninstraling per dakvlak, rekening houdend met schaduwen (ArcGIS)

Output:

- instraling van elk zadeldakvlakken in kWh/jaar/m²

Deelproces 3.4: Bepalen best passend systeem

Het doel van dit deelproces is het maken van een keuze voor het best passende systeem uit de geïnventariseerde systemen.

Een best passend systeem is niet alleen afhankelijk van de eigenschappen van daken maar is ook afhankelijk van de investering die iemand wenst te doen. Deze investering bepaalt in hoge mate het vermogen van een systeem (zie bijlage 1: Toepassing zonne-energie op daken). Voor beide situaties wordt het 'best passende systemen' bepaald.

Input:

- geschikt dakoppervlak in m²
- vermogen systeem per m²
- wattpiek-prijs systeem per m²
- gewenst vermogen

Output:

- best passend systeem bij maximale benutting geschikt dakoppervlak
- best passend systeem bij gewenste vermogen systeem

Deelproces 3.5: Bepalen kosten per dakvlak

Het doel van deze procedure is het bepalen van de maandelijkse kosten (in euro's) voor een zonne-energiesysteem per geschikt dakvlak. Dit wordt voor beide 'best passende systemen' bepaald.

Hierbij wordt uitgegaan van een aangegeven benutting in m²'s van het geschikte dakoppervlak en is rekening gehouden met renteverlies.

De kosten worden per maand vastgesteld omdat terugverdientijd in aantal jaren en maanden wordt berekend.

Input:

- aanschafkosten 'best passende systeem'
- rentepercentage spaarrente lange termijn

Output:

- maandelijkse kosten systeem (in euro's)

Deelproces 3.6: Bepalen opbrengsten per dakvlak

Het doel van deze procedure is het bepalen van de maandelijkse opbrengsten (in euro's) voor een zonne-energiesysteem per geschikt dakvlak. Dit wordt voor beide 'best passende systemen' bepaald.

Hierbij wordt rekening gehouden met de instraling, energieprijzen, rentetarieven en verwachte energieprijsstijgingen.

De opbrengsten worden per maand vastgesteld omdat terugverdientijd in aantal jaren en maanden wordt berekend.

Input:

- gemiddelde instraling per dakvlak (kWh/jaar/m²)

- geschikte oppervlakte
- energieprijzen
- verwachte energieprijsstijgingen
- rendement van een systeem

Output:

- maandelijkse opbrengsten (in euro's)

Deelproces 3.7: Bepalen terugverdientijd per dakvlak

Het doel van deze procedure is het bepalen van de terugverdientijd (in jaren, maanden) van een zonne-energiesysteem per geschikt dakvlak. Dit wordt voor beide 'best passende systemen' bepaald.

Hierbij wordt uitgegaan van een aangegeven benutting in m²'s van het geschikte dakoppervlak en is rekening gehouden met de instraling, energieprijzen, rentetarieven, verwachte energieprijsstijgingen en de verwachte levensduur van het gekozen systeem.

Hierbij is de terugverdientijd alleen vastgesteld van dakdelen waarbij de terugverdientijd korter is dan de levensduur van het gekozen systeem.

Input:

- levensduur van het gekozen systeem
- maandelijkse kosten
- maandelijkse opbrengsten

Output:

- terugverdientijd per dakvlak (in jaren/maanden)

Hoofdstuk 4: Inventarisatie

4.1 Inleiding

Het doel van het proces 'Inventarisatie' is het verzamelen van alle gegevens die nodig zijn voor het project.

De resultaten van dit deelproces zijn:

1. een databasetabel 'Referentie_systemen'.
In deze tabel zijn de voor het model benodigde specificaties van een aantal geïnterviewde zonne-energiesystemen opgenomen.
Geïnterviewde gegevens zijn:
 - o type systeem
 - o oppervlakte systeem
 - o vermogen systeem
 - o rendement systeem
 - o geschikt voor type_dak
 - o totale kosten
 - o totale opbrengsten

(voor de inhoud van deze tabel zie bijlage 3: 'Database tabellen en procedures').
2. een databasetabel 'Systemen'.
In deze tabel worden de gemiddelde waarden van de geïnterviewde systemen opgenomen. De inhoud is een afgeleide van de tabel 'Referentie_systemen'. Met de inhoud van deze tabel zal door het model worden gerekend.

(voor de inhoud van deze tabel zie bijlage 3: 'Database tabellen en procedures').
3. een databasetabel 'Systeem_parameters'.
In deze tabel worden gegevens opgenomen die wel van belang zijn voor het rekenmodel maar die niet specifiek zijn voor een zonne-energiesysteem.
Onderstaande variabelen zijn opgenomen als parameters:
 - o huidige energieprijzen
 - o verwachte jaarlijkse prijsstijging van energie per jaar
 - o rentepercentage_LANG
 - o rentepercentage_KORT
 - o zoninstraling in Assen

(voor de inhoud van deze tabel zie bijlage 3: 'Database tabellen en procedures').
4. een vectorbestand 'ZON_OBJECTEN' met alle gebouwen in Assen voorzien van perceelgegevens en adresgegevens.

Hoe is gekomen tot bovenstaande resultaten is in de paragrafen 4.2 t/m 4.4 uitgewerkt.

4.2 Deelproces 1.1: Inventarisatie specificaties systemen

Het doel van dit deelproces is het in kaart brengen van specificaties van zonne-energiesystemen. Hiervoor is een inventarisatie gedaan in de markt van zonne-energiesystemen en trends in energieprijzen.

Dit deelproces bestaat uit een aantal subprocessen die in onderstaande paragrafen worden uitgewerkt.

Subproces 1.1.1: Inventarisatie kosten

Er zijn verschillende manieren om de kosten van een zonne-energiesysteem te bepalen. Eén manier is het vergelijken van offertes van verschillende aanbieders en hieruit gemiddelde waarden halen om mee te rekenen.

Echter, offertes worden alleen uitgegeven voor situaties met bekende specificaties.

Voor een project als deze, waarbij niet van één, maar van een groot aantal daken moet worden bepaald welk systeem in aanmerking komt, is dit niet haalbaar.

Voor deze opdracht is dan ook per dakdeel gekeken naar het best passende systeem uit de geïnventariseerde systemen. Zoals beschreven in deelproces 3.4 is een best passend systeem niet alleen afhankelijk van de eigenschappen van de dakdelen maar is ook afhankelijk van de investering die iemand wenst te doen.

De twee best passende systemen waren als volgt gedefinieerd:

- 1) het best passend systeem wordt gedefinieerd als het goedkoopste systeem uit de referentie_systemen-tabel met de laagste prijs en qua afmetingen past op het beschikbare dakvlak, waarbij goedkoopst is gedefinieerd als het systeem met de laagste prijs per Wattpiek, uitgaande van maximale benutting van het beschikbare dakoppervlak.
- 2) het best passend systeem wordt gedefinieerd als het goedkoopste systeem dat qua opbrengst het dichtst bij het gewenste vermogen van een systeem ligt, waarbij goedkoopst is gedefinieerd als het systeem met de laagste prijs per Wattpiek en het gewenste vermogen (als variabele in het rekenmodel kan worden opgegeven).

Om een gefundeerde keuze in een best passend systeem te kunnen maken is het nodig te weten wat de benodigde oppervlakte van een aangeboden systeem is, wat het systeem op deze oppervlakte aan vermogen biedt, en wat dit systeem kost.

Zo kunnen de kosten (in euro's) per m² en de opbrengsten (in euro's) per m² worden bepaald. Op basis van deze gegevens kan het rekenmodel het best passende systeem kiezen voor elk dakvlak.

Als referentiesystemen worden een aantal specificaties van complete systemen van de webwinkels Solar-shop (<http://pfixx.nl/index.php?page=verkoop>, aug. 2010 en <http://www.infinitynrg.nl/>, aug. 2010) gekozen en in de databasetabel 'Ref_systemen' opgenomen. De prijzen van deze systemen liggen allemaal rond de €4,-- per Wattpiek en hebben allemaal ongeveer dezelfde levensduur en garantie op het vermogen. Er zijn ook goedkopere systemen op de markt waarbij bijvoorbeeld de garantie op opbrengsten korter is. Deze zijn niet in de inventarisatie meegenomen waardoor met kwalitatief vergelijkbare systemen wordt gewerkt in deze opdracht.

De inhoud van deze tabel kan worden uitgebreid waarbij geldt: naarmate er meer gegevens van verschillende leveranciers in deze tabel worden opgenomen, zal het model beter in staat zijn keuzes in best passende systemen te maken in overeenstemming met de huidige markt.

Input:

- leveranciersgegevens

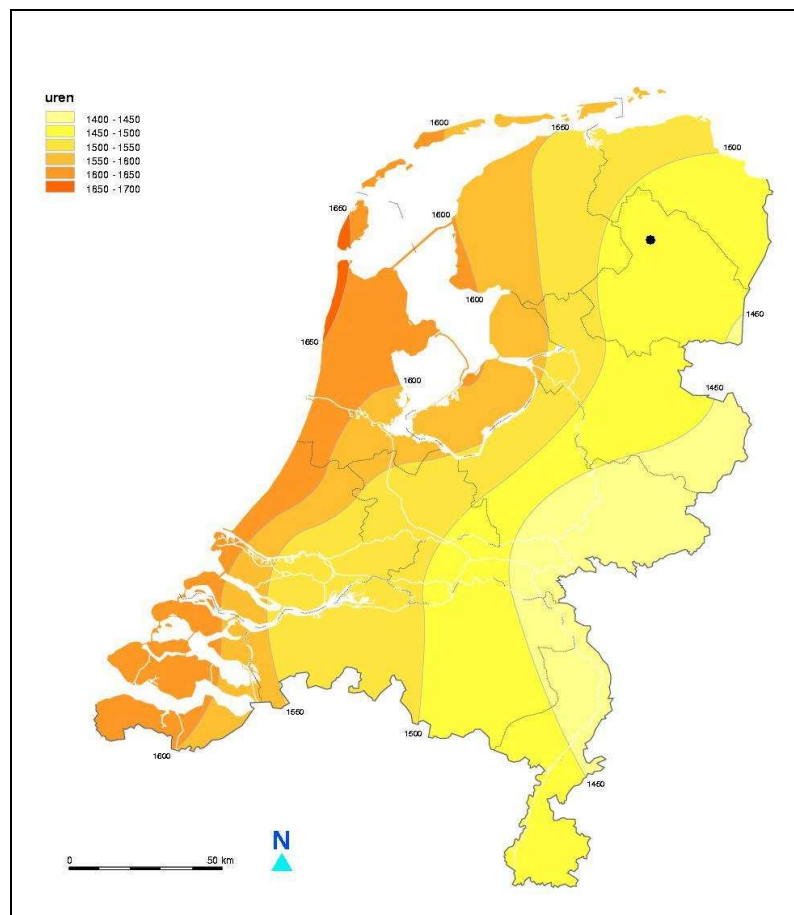
Output:

- gevulde databasetabel 'Referentie_systemen' met verschillende systemen, inclusief systeemprijzen en benodigde oppervlakte en type dak voor het systeem (zie 'bijlage 3: Database' voor de inhoud van deze tabel).

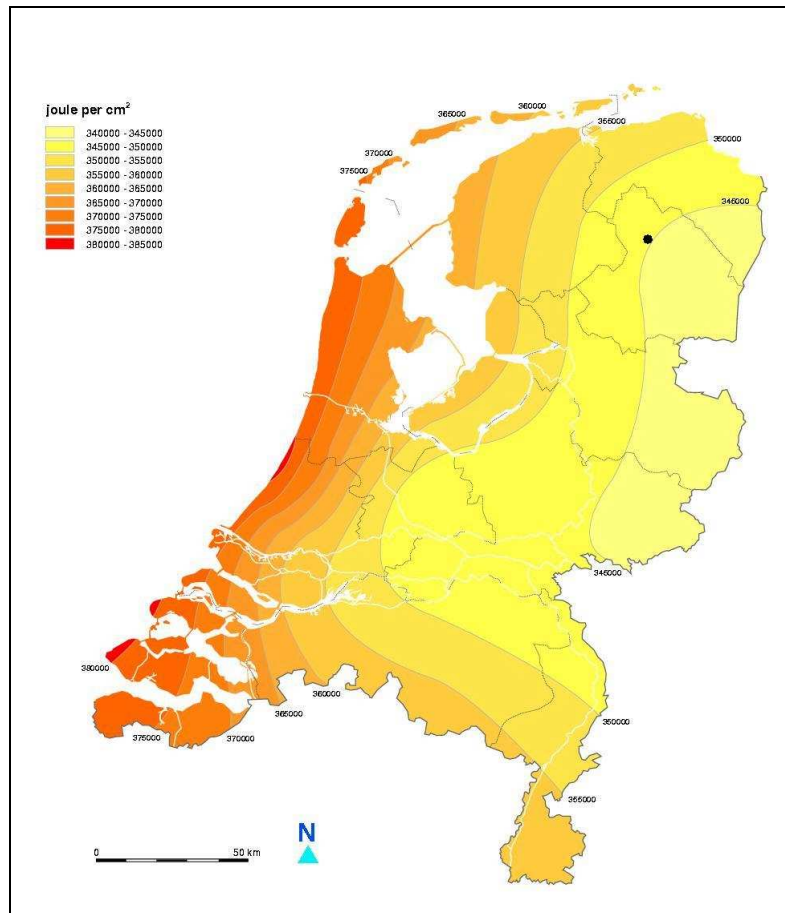
Deelproces 1.1.2: Inventarisatie mogelijke opbrengsten

De opbrengst van een zonne-energiesysteem is mede afhankelijk van de hoeveelheid zonne-energie wat het systeem ontvangt en in hoeverre het systeem in staat is deze energie om te zetten in 'bruikbare' energie (zie bijlage 1: 'Toepassing zonne-energie op daken' voor toelichting bij deze verschillen).

Het aantal zonne-uren in Nederland is gebaseerd op gegevens van het KNMI. Het KNMI heeft door middel van metingen van verschillende regio's in Nederland het aantal zonne-uren en de hoeveelheid zoninstraling (in J) per regio per jaar kunnen vaststellen. Figuur 6 en 7 geven respectievelijk het aantal zonne-uren in Nederland en de hoeveelheid zoninstraling in Nederland weer, gebaseerd op het tijdvak 1971-2000: (Bron: KNMI http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/globale_straling_jaarsom.html, aug. 2010). De locatie van Assen is met een zwarte stip aangegeven.



Figuur 6: gemiddeld aantal zonne-uren in Nederland (tijdvak 1971-2000)



Figuur 7: gemiddelde hoeveelheid zoninstraling in Nederland (in J/cm²) (tijdvak 1971-2000)

Uit deze figuren blijkt dat het aantal zonne-uren in Assen gemiddeld tussen de 1450 en 1500, en de hoeveelheid zoninstraling gemiddeld 3.450.000 en 3.500.000 Joule/cm² bedraagt.

Voor deze opdracht wordt de zoninstraling gebruikt: dit komt overeen met de daadwerkelijk gemeten hoeveelheid zonne-energie. In deze hoeveelheid is dus de beperkende factor van wolken op instraling verwerkt.

Uit figuur 7 is af te leiden dat deze waarde voor Assen tussen de 3.450.000 en 3.500.000 Joule/cm² is.

Omdat vermogens van zonne-energiesystemen in kWh/m² worden uitgedrukt, worden de gegevens van het KNMI van J/cm² omgerekend naar kWh/jaar/m²:

1 kilowattuur gelijk aan 3 600 000 J

$350000/3600000 \text{ J} = 0.097 \text{ kWh in Assen per cm}^2 = 970 \text{ kWh/jaar/m}^2$

$345000/3600000 \text{ J} = 0.096 \text{ kWh in Assen per cm}^2 = 960 \text{ kWh/jaar/m}^2$

De zoninstraling waarmee het model zal rekenen is het gemiddelde van beide waarden: 965 kWh/jaar/m².

Het vermogen van een paneel om zonne-energie om te zetten in elektriciteit wordt aangegeven door het rendement (in procenten) van het paneel. Hiervoor worden de rendementsgegevens van panelen geïnventariseerd.

Input:

- leveranciersgegevens
- KNMI

Output:

- aangevulde databasetabel 'Referentie_systemen' met per systeem aangegeven de STC-vermogen, het PDC-vermogen, het verwachte vermogen in Nederland (in kWh/jaar) en het rendement van een paneel (in procenten) (zie 'bijlage 3: Database' voor de inhoud van deze tabel)
- waarde '965' toegekend aan systeem_parameter 'zoninstraling'

4.3 Deelproces 1.2: Inventarisatie variabelen rekenmodel

Het doel van dit deelproces is het inventariseren van variabelen die nodig zijn voor het rekenmodel waarmee de terugverdientijd van dakvlakken kan worden bepaald. Het betreft hier gegevens van banken omtrent rentepercentages op spaargeld, de ontwikkelingen van prijzen op de energiemarkt en de mate waarin een zonne-energiesysteem in staat is de zoninstraling om te zetten in 'bruikbare' energie.

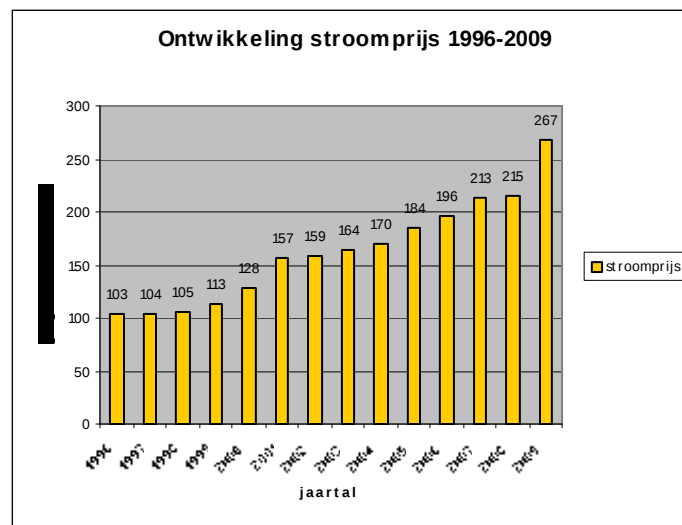
Dit deelproces is in een aantal subprocessen onderverdeeld:

Deelproces 1.2.1: Inventarisatie energieprijzen

De baten van een zonne-energiesysteem zijn afhankelijk van de huidige en toekomstige energieprijzen. De energieprijzen zijn voortdurend aan verandering onderhevig waardoor het lastig is te bepalen wat de toekomstige energieprijzen zullen zijn. Wel zijn de energieprijzen van het verleden bekend.

Voor dit onderzoek wordt op basis van historische gegevens een inschatting gemaakt van de ontwikkeling van energieprijzen richting de toekomst. Hiervoor zijn gegevens van het CBS over de periode 1996-2010 gebruikt.

In figuur 8 worden de historische gegevens van de stroomprijzen getoond (In bijlage 3 zijn de brongegevens opgenomen):



Figuur 8: ontwikkeling stroomprijzen 1996-2009 (Bron: CBS, aug. 2010)

Hieruit blijkt een stroomprijsstijging van 103 naar 250 eurocent in 14 jaar, wat overeenkomst met een gemiddelde stijging van 10,5% per jaar.

In de gevoeligheidsanalyse zijn een aantal scenario's doorgerekend met verschillende prijsstijgingen en worden de effecten daarvan beschreven.

Input:

- historische gegevens energieprijzen CBS

Output:

- waarde '2,2' toegekend aan systeem_parameter 'huidige energieprijzen'
- verschillende waarden toegekend aan systeem_parameter 'verwachte prijsstijgingen'

Deelproces 1.2.2: Inventarisatie afschrijving

Afschrijving is bedoeld om een spaarpotje aan te leggen om een vervangingsinvestering te kunnen doen indien de levensduur van een systeem is verstreken.

Een dakvlak wordt pas als geschikt aangemerkt indien de terugverdientijd kleiner is dan 25 jaar. Dat betekent dat het systeem zichzelf dus per definitie terugverdient binnen de levensduur, waarmee de vervanginginvestering kan worden gedaan.

Input:

- n.v.t.

Output:

- waarde '0' toegekend aan systeem_parameter 'afschrijving'

Deelproces 1.2.3: Inventarisatie rentepercentages

Het renteverlies is het bedrag wat zou zijn ontvangen indien het geïnvesteerde bedrag in een zonne-energiesysteem op een spaarrekening zou zijn gezet waarover rente zou worden ontvangen.

Voor de bepaling van de hoogte van deze rente is een momentopname gemaakt van de huidige situatie ten aanzien van rentestanden. Hiervoor is het gemiddelde percentage van de top-5 aanbieders met hoogste spaarrente van Nederlandse banken genomen. Dit is een momentopname (aug. 2010).

In bijlage 3 is een overzicht getoond van verschillende aanbieders met verschillende rentepercentages. Hierbij is aangegeven dat de looptijd tot 10 jaar moet zijn (dit is de maximale looptijd), en het in te leggen bedrag €5000,-, overeenkomstig met de maximale prijs van systemen met een opbrengst van 1000kWh.

Van de eerste vijf aanbieders is een gemiddelde rentepercentage genomen, wat neerkomt op 4,11 %.

Naast het renteverlies op de investering is er ook sprake van rente op de opbrengsten van het systeem. Dit rentepercentage is afgeleid uit de gemiddelde huidige rente van de top-5 aanbieders van spaarrentes met een korte looptijd. Ook hiervan is een overzicht in bijlage 3 opgenomen.

De waarde waarmee wordt gerekend is 2,2%.

Input:

- gegevens van de website 'Independer' met betrekking tot de huidige rentestanden

Output:

- waarde '4,11' toegekend aan systeem_parameter 'rente_lang'
- waarde '2,2' toegekend aan systeem_parameter 'rente_kort'

4.4 Deelproces 1.3: Inventarisatie alle panden in Assen

Het doel van dit deelproces is het opleveren van een lijst van percelen met de daarbij behorende gebouwen in Assen.

Met deze lijst kan per perceel advies worden uitgebracht aangaande de geschiktheid voor een zonne-energiesysteem.

Methode:

Er is een ArcGIS-model gemaakt (voor een uitgebreide beschrijving van dit model: zie bijlage 4), dat op basis van beschikbare gegevens binnen de gemeente Assen uit verschillende bestanden wordt combineert tot één bestand waarin alle gebouwen met aanvullende informatie zijn opgenomen.

Aan de basis van dit model staat het bestand RD_G_BAG_GEBOUWEN, in figuur 6 aangeduid met BAG (voor een beschrijving van dit bestand: zie metadata in hoofdstuk 2).

Dit bestand bevat op basis van de gemeentelijke basisadministratie gebouwen de geometrie van alle panden van Assen, evenals een unieke identiër 'gebouw_id' aangevuld met gegevens zoals bouwjaar en adresgegevens.

Dit zijn gevalideerde gegevens, wat wil zeggen dat ze een hoge mate van betrouwbaarheid hebben.

Het bestand RD_G_BAG_GEBOUWEN wordt middels de functie 'Spatial Join' gecombineerd met het bestand RD_G_KAD_OBJECTEN tot het bestand 'ZON_DAK_BAG_PERCEEL'. Hiermee kunnen per perceel de gebouwen worden geïdentificeerd.

Om gebouwen op percelen te kunnen koppelen aan eigenaren zijn gegevens uit de administratie van de gemeentelijke belastingen (RD_G_WOZ_OBJECTEN) middels de functie 'Spatial Join' toegevoegd aan het bestand ZON_DAK_BAG_PERCEEL'.

Het resultaat van de koppeling van deze bestanden is de tabel ZON_OBJECTEN.

Input:

- vectorbestand RD_G_BAG_GEBOUWEN
- vectorbestand RD_G_WOZ_OBJECTEN
- vectorbestand RD_G_KAD_OBJECTEN

Output:

- vectorbestand ZON_OBJECTEN



**Figuur 9: inhoud van ZON_OBJECTEN
(ingezoomd op willekeurig deel Assen)**

Identify	
Identify from:	<Top-most layer>
Location:	236.195,373 559.282,809 Meters
ZON_OBJECTEN 010610000000	
Field	Value
OBJECTID	34050
Shape	Polygon
Join_Count	8
GEBOUW_ID	3913
GEBOUWVOLGNUMMER	3
GEBOUWNUMMER	0106100000003913
BOUWJAAR	1991
GEOMETRIE_AREA	0
GEOMETRIE_LEN	0
PERCEELNUMMER	3193
OBJECTID_1	34050
RSYSWOZ	26811
OWOZOBJ	
KSRTWOZOBJ	1121
OSRTWOZOBJ	2/1 Kapwoning
RSYSADR	100061
HUUR_KOOP	KOOP
WONING	J
OIDNWOZ	010600026811
BUURTKODE	66
Shape_Length	59,547457
Shape_Area	131,48088

**Figuur 10: brongegevens van geselecteerd
object**

Hoofdstuk 5: Bepalen geschikte dakvlakken

5.1 Inleiding

Het doel van dit deelproces is het opleveren van een lijst met panden in Assen met van elk pand het type dak en het aantal dakdelen per pand. Van elk dakdeel wordt aangegeven de hellingshoek, oriëntatie, oppervlakte en de oppervlakte zonder schaduw.

Hierbij is gebruik gemaakt van ArcGIS9.3 met de extensies 'Spatial Analyst' en '3DAnalyst' (zie bijlage 2: technische randvoorwaarden) en van de Algemene Hoogtekaart Nederland.

De resultaten van dit deelproces zijn:

Tussenproducten:

- vectorbestand met alle platte dakdelen (ZON_BAG_PLAT)
- vectorbestand met alle zonrijke platte dakdelen (ZON_BAG_PLAT_GESCHIKT)
- vectorbestand met alle zadeldakdelen (ZON_BAG_ZADEL)
- vectorbestand met alle zonrijke zadeldakdelen (ZON_BAG_ZADEL_GESCHIKT)
- vectorbestand met alle zonrijke platte en zadeldakdelen (ZON_BAG_PLAT_ZADEL)

Eindproduct:

- vectorbestand RD_G_ZON_DAKDELEN waarin per perceel, per gebouw, per dakdeel de volgende gegevens meegegeven:
 - o type dak
 - o hellingshoek (indien zadeldak)
 - o oriëntatie (indien zadeldak)
 - o oppervlakte zonrijke dakdeel
 - o instraling

Hoe is gekomen tot bovenstaande resultaten is in de paragrafen 5.2 t/m 5.6 uitgewerkt.

5.2 Deelproces 2.1: Onderscheiden platte en zadeldaken

Het doel van dit deelproces is het identificeren van platte daken en zadeldaken. Dit is nodig omdat, in tegenstelling tot zadeldaken, platte daken geen beperkende factoren met betrekking tot de hellingshoek en oriëntatie kennen die van invloed zijn op het rendement van een zonne-energiesysteem.

Methode:

Om platte daken van zadeldaken te kunnen onderscheiden is een ArcGIS-model gemaakt (voor een uitgebreide beschrijving zie bijlage 4).

Aan de basis van dit model staat de hoogtekaart AHN2 van Assen. Op deze hoogtekaart is Assen in een hoeveelheid rastercellen opgedeeld, waarbij de waarde van elke cel de

hoogte (in cm. NAP) aangeeft van die rastercel. Elke cel representeert een oppervlakte van 0,5x0,5 meter. Doordat van elke cel de hoogtewaarde bekend is, kan ArcGIS hieruit een aantal zaken afleiden, waaronder de hellingshoek en oriëntatie ten opzichte van de zon van elke rastercel.

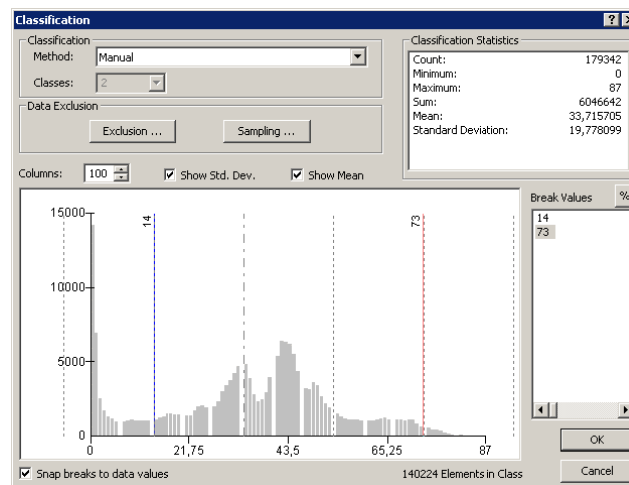
De definitie van een plat dak is uiteraard dat de hellingshoek 0 is. Middels de ArcGIS-functie 'Slope' kan van elk punt (de waarden van de omringende cellen) worden bepaald wat de hellingshoek is.

Doordat er onregelmatigheden op platte daken voor kunnen komen (b.v. schoorstenen) zal niet elke rastercel van een plat dak de waarde 0 krijgen. Hierdoor is het lastig om te kunnen bepalen wat platte daken zijn met onregelmatigheden, en wat geen platte daken zijn.

Hiervoor is de volgende aanname gedaan:

alle rastercellen hebben een hellingshoek. Voor zadeldaken zal deze hellingshoek meestal ergens tussen de 20 en 70 graden liggen. Voor overgangscellen (op de grens van een dak en de grond zal de hellingshoek groot zijn, in de buurt van de 90 graden. Voor cellen met een hellingshoek van minder dan 20 graden zal in de meeste gevallen gelden dat het een plat dak met een afwijking betreft.

Om deze aanname te controleren is de standaardafwijking bepaald van de hellingshoek alle rastercellen van Assen. In onderstaande figuur wordt het histogram van de hellingshoeken van alle gebouwen van één wijk in van Assen getoond. Dit betreft een woonwijk met verschillende daktypen, dat als representatief wordt gezien voor heel Assen.



Figuur 11: standaard afwijking hellingshoek

Op basis van de gedane aanname valt nu uit te lezen dat alle rastercellen met een hellingshoek tussen 14 en 73 graden aangemerkt worden als zadeldaken, alle rastercellen met een hellingshoek tussen 0 en 13 als platte daken, en alle rastercellen met een waarde > 73 aangemerkt worden als overgangscellen tussen grote hoogtes (dak/grond).

Op basis van deze waarden kan het onderscheid tussen zadeldaken en platte daken worden gemaakt.

In figuur 12 wordt een willekeurig deel van Assen getoond waarbij platte daken en zadeldaken worden onderscheiden op grond van bovenstaande procedure, en in figuur 13 worden de brongegevens van het geselecteerd object (met blauw aangegeven in figuur 12) weergegeven:



Figuur 12: zadeldaken en platte daken

Field	Value
OBJECTID	1124
Shape	Polygon
FID_ZON_OBJECTEN	34050
Join_Count	8
GEBOUW_ID	3913
GEBOUWVOLGNUMMER	3
GEBOUWNUMMER	0106100000003913
GEOMETRIE_AREA	0
GEOMETRIE_LEN	0
PERCEELNUMMER	3193
OBJECTID_1	34050
RSYSWOZ	26811
OWOZOBJ	
KSRTWOZOBJ	1121
OSRTWOZOBJ	2/1 Kapwoning
RSYSADR	100061
HUUR_KOOP	KOOP
WONING	J
OIDNWOZ	010600026811
BUURTKODE	66
Shape_Length	70,438035
Shape_Area	86,630658
ROOF_TYPE	Zadeldak

Figuur 13: brongegevens van geselecteerd object

Input:

- vectorbestand RD_G_BAG_GEBOUWEN
- rasterbestand AHN2

Output:

- vectorbestand ZON_BAG_PLAT
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL
- vectorbestand ZON_BAG_PLAT_ZADEL

5.3 Deelproces 2.2: Bepalen oriëntatie zadeldakvlakken

In deze stap wordt van alle geschikte zadeldaken de oriëntatie bepaald.

Methode:

Om te komen tot dit resultaat zijn een aantal stappen waarvoor een ArcGIS-model is gemaakt (voor een uitgebreide beschrijving zie bijlage 4).

In dit model is de eerste stap is het selecteren van alle rastercellen van de zadeldaken. Van deze selectie wordt van met behulp van de ArcGIS-functie 'Slope' (van elke rastercel) de oriëntatie bepaald. Dit geeft een rasterbestand welke wordt omgezet naar een vectorbestand 'ZON_DAKDELEN_SLOPE_vector'. Dit vectorbestand wordt middels een intersect met het vectorbestand 'ZON_BAG_ZADEL_geschikt' gecombineerd tot één tussenbestand. Van dit tussenbestand is met de functie 'Summary Statistics' per dakdeel een waarde voor de oriëntatie toegekend.

Nu in tabelvorm per dakvlak de oriëntatie bekend is kan door middel van de functie 'Add join' deze waarde aan het vectorbestand 'ZON_BAG_ZADEL_geschikt' worden toegevoegd met als resultaat een vectorbestand van alle zadeldakvlakken waarin de oriëntatie van elk dakvlak is opgenomen.

Input:

- rasterbestand AHN2
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL_geschikt

Output:

- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL_geschikt inclusief oriëntatiecode

5.4 Deelproces 2.3: Bepalen hellingshoek zadeldakvlakken

In deze stap wordt de hellingshoek van zadeldaken bepaald.

Methode:

Om te komen tot dit resultaat zijn een aantal stappen doorlopen waarvoor een ArcGIS-model is gemaakt (voor een uitgebreide beschrijving zie bijlage 4).

In dit model zijn de eerste stappen vergelijkbaar met het model waarmee de oriëntatie wordt bepaald. Maar nu vinden er voordat het rasterbestand naar een vectorbestand worden omgezet, nog twee tussenstappen plaats. Ten eerste wordt met de functie 'MajorityFilter' geprobeerd zo veel mogelijk onregelmatigheden die in het dakvlak zitten, te elimineren.

Met de functie 'Reclassify' worden op basis van de uitkomsten van paragraaf 5.2 de cellen uit het bestand gefilterd waarbij wordt aangenomen dat deze waarschijnlijk een dakrand of een onregelmatigheid op het dak betreffen (hellingshoek kleiner dan 14 of groter dan 73 graden).

Na deze bewerkingen wordt het rasterbestand omgezet naar een vectorbestand en wordt de oppervlakte van alle dakdelen met een hellingshoek tussen de 14 en 73 graden bepaald.

Tot slot wordt dit bestand samengevoegd met het vectorbestand 'ZON_BAG_ZADEL' tot 'ZON_DAKDELEN_ASPECT'. Dit laatste bestand wordt in het deelproces 'Bepalen zonrijke zadeldakdelen' gebruikt als input bij het bepalen van zonrijke zadeldakvlakken.

Input:

- rasterbestand AHN2
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL

Output:

- vectorbestand ZON_DAKDELEN_ASPECT

5.5 Deelproces 2.4: Bepalen zonrijke dakvlakken

Het doel van dit deelproces is het bepalen van schaduwrijke en zonrijke zones voor zowel platte dakdelen als zadeldakdelen.

Hiervoor wordt aan de bestaande zadeldaken en platte daken een oppervlakte (in m²) zonder schaduw toegevoegd.

Methode:

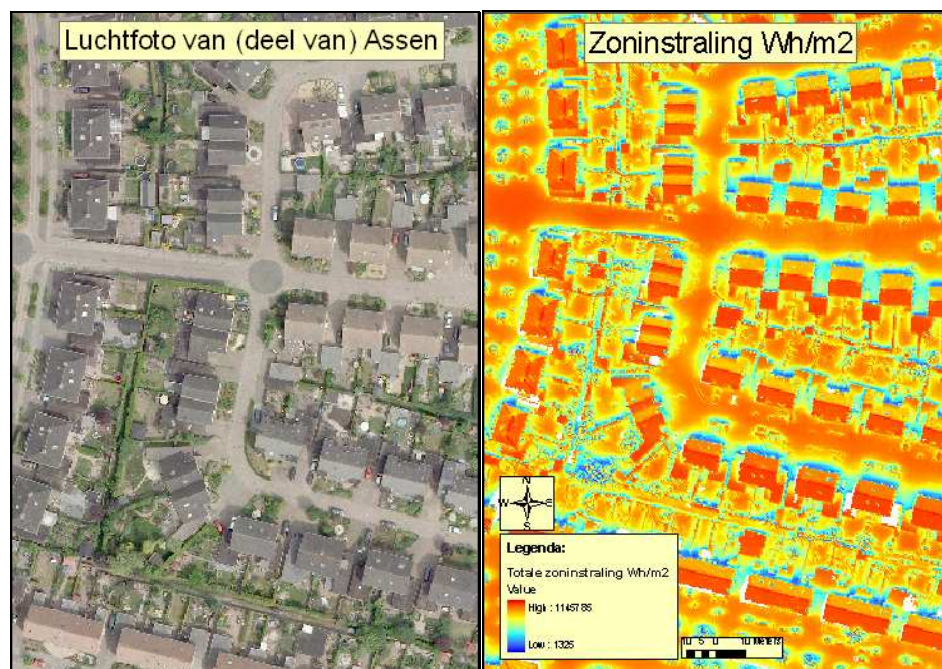
Om te komen tot dit resultaat zijn een aantal stappen doorlopen waarvoor een ArcGIS-model is gemaakt (voor een uitgebreide beschrijving zie bijlage 4).

De eerste stap is het bepalen van de hoeveelheid zoninstraling voor alle rastercellen van de hoogtekaart AHN2. Hiervoor is uit de extensie 'Spatial Analyst' voor ArcGIS9.3 de functie 'Solar Radiation' gebruikt. Met deze functie kan van een bepaalde periode de zoninstraling worden berekend van elke cel in een raster. Deze functie houdt rekening met schaduwen die veroorzaakt worden door andere rastercellen.

Het resultaat van deze functie is een rasterbestand 'AHN_ZON_SUM' waarin per cel de hoeveelheid zoninstraling wordt gegeven in Wh/m².

Voor een toelichting op deze functie en de gebruikte instellingen, zie bijlage 4: Toelichting 'Solar Radiation'.

In figuur 14 wordt van (een deel van Assen) een luchtfoto getoond, met in figuur 15 de hoeveelheid totale zoninstraling op datzelfde gebied.



Figuur 14: luchtfoto (van deel) van Assen

Figuur 15: zoninstraling van (deel van) Assen

De kleuren in de figuur geven de hoeveelheid zoninstraling aan waarbij het kleurenspectrum richting rood overeenkomt met meer instraling en richting blauw met minder instraling.

De contouren van de gebouwen zijn te onderscheiden en de zuidkant van zadeldaken zijn 'warmer' (roder) dan de noordkant van de zadeldaken. Indien nog verder ingezoomd worden de schaduwen van de hoger gelegen delen te onderscheiden zichtbaar op lager gelegen delen.

De volgende stap is het indelen van alle dakdelen in twee categorieën: schaduwrijke en zonrijke dakdelen.

Doordat de zon een baan aan de hemel beschrijft waarbij de baan aan de hemel afhankelijk is van dag van het jaar en tijdstip van de dag, is het moeilijk te bepalen wanneer een dakdeel in de schaduw of in de zon ligt. Er is altijd sprake van een meer of mindere mate van zon en schaduw.

Om toch deze indeling te kunnen maken is het nodig schaduwrijke en zonrijke dakdelen

te definiëren. Hiervoor wordt gesteld dat een zonrijk dakdeel pas als zonrijk wordt aangemerkt indien dit dakvlak genoeg zoninstraling ontvangt om rendabel te kunnen zijn voor plaatsing van een zonne-energiesysteem. Een dakvlak wordt als rendabel aangemerkt indien een terugverdientijd van 25 jaar te realiseren valt met één van de best passende systemen. Daarvoor dienen de totale kosten na 25 jaar gelijk te zijn aan de totale opbrengsten.

De databasefunctie Bepalen_totale_opbrengsten(dakdeel_id) kan dit bepalen door op basis van de prijs van een best passend systeem en een handmatig opgegeven zoninstraling van dat dakdeel.

Rekenvoorbeeld:

Stel, de prijs van een systeem is €4499,-- en het rendement bedraagt 17%. (afkomstig uit de tabel referentie_systemen)

Gerekend met rentepercentage van 4,5 % zijn de totale kosten voor dit systeem $3999 \cdot (1 + 4,5)^{25} = €12.018,75,--$ (De formule die hiervoor is gebruikt: $FV = PV \cdot (1+i)^t$, zie hoofdstuk 6.6: bepalen kosten dakvlak).

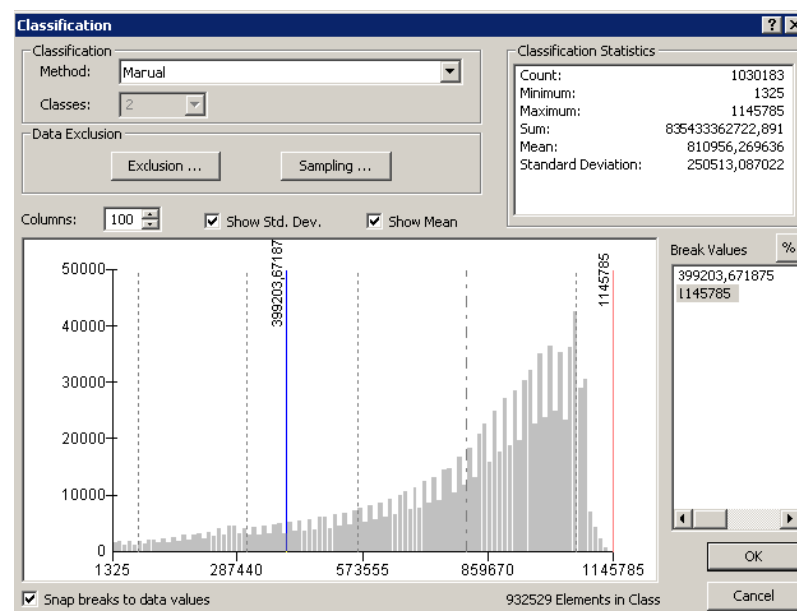
Dus in 25 jaar moet er €12.018,75,-- worden verdiend.

Met behulp van de database procedure bepalen_totale_opbrengsten kunnen op basis van instraling, rendement, rentestanden en levensduur de totale opbrengsten in euro's worden bepaald.

Het rendement is 17%, de rente over de opbrengsten is 2,2%, de levensduur is 25 jaar. Met een instraling van 400 kWh/m² zijn de opbrengsten van een dakvlak van het referentieobject €12.031,--. Het lijkt dan ook reëel om de waarde van 400 kWh aan te houden als grens tussen een zonrijk en schaduwrijk dakdeel.

Met deze minimale hoeveelheid directe en diffuse zoninstraling (400 kWh/m²) kan de grens worden bepaald tussen zonrijke en schaduwrijke dakvlakken. Vervolgens wordt met behulp van de ArcGIS- functie 'Reclassify' en het bijbehorende histogram (zie figuur 16) van het vectorbestand 'AHN_ZON_SUM' de grens van 400 kWh/m² tussen zonrijk en schaduwrijk aangegeven.

Alle rastercellen met een hoeveelheid zoninstraling kleiner dan 400 kWh/m² worden aangemerkt als schaduwrijk, alle overige cellen als zonrijk.



Figuur 16: histogram van zoninstraling in (een wijk van) Assen

Tot slot worden de schaduwrijke zones gefilterd uit de selectie. Zo blijven alleen de zonrijke dakdelen over waarvan bepaald gaat worden in hoeverre ze geschikt zijn voor een zonne-energiesysteem.

In figuur 17 worden de resultaten van bovenstaande acties getoond. Hierbij is ingezoomd op een willekeurig deel van Assen met geschikte dakdelen, onderverdeeld in zonrijke platte dakdelen en zonrijke zadeldakdelen. Van het geselecteerde object (met een blauw kader aangegeven) worden de brongegevens in figuur 18 weergegeven.



Figuur 17: zonrijke platte en zadeldakdelen

i Identify	
Identify from:	<Top-most layer>
Zonrijke zadeldakd... 01061000001	Location: 236,220,875 559,298,028 Meters
Field	Value
OBJECTID	3250
Shape	Polygon
GRIDCODE	5
FID_ZON_BAG_ZADEL	1030
FID_ZON_OBJECTEN	20765
Join_Count	16
GEBOUW_ID	12779
GEBOUWVOLGNUMMER	3
GEBOUWNUMMER	010610000012779
GEOMETRIE_AREA	0
GEOMETRIE_LEN	0
PERCEELNUMMER	3316
OBJECTID_1	20765
RSYSWOZ	24629
OWOZOBJ	
KSRTWOZOBJ	1121
OSRTWOZOBJ	2/1 Kapwoning
RSYSADR	100036
HUUR_KOOP	KOOP
WONING	J
OIDNWOZ	010600024629
BLURTKODE	66
ROOF_TYPE	Zadeldak
opp_zonder_schaduw	24,657587
Shape_Length	23,958701
Shape_Area	25,157587

Figuur 18: brongegevens van geselecteerd object

Input:

- vectorbestand ZON_BAG_PLAT
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL
- rasterbestand AHN_ZON

Output:

- rasterbestand AHN_ZON_SUM
- vectorbestand ZON_BAG_PLAT_geschikt
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL_geschikt

5.6 Deelproces 2.5: Samenvoegen platte en zadeldakvlakken

Tot slot worden de verkregen gegevens uit bovenstaande processen samengevoegd tot één bestand: RD_G_ZON_DAKDELEN. Hierin zijn per perceel, per gebouw, per dakdeel de volgende gegevens meegegeven:

- type dak
- hellingshoek (indien zadeldak)
- oriëntatie (indien zadeldak)
- totale oppervlakte dakdeel
- geschikte oppervlakte dakdeel

Op basis van deze gegevens kan het rekenmodel de terugverdientijd voor een zonne-energiesysteem bepalen.

Het ArcGIS-model van deze samenvoeging is in bijlage 4 opgenomen.

Hoofdstuk 6: Bepalen terugverdientijd

6.1 Inleiding

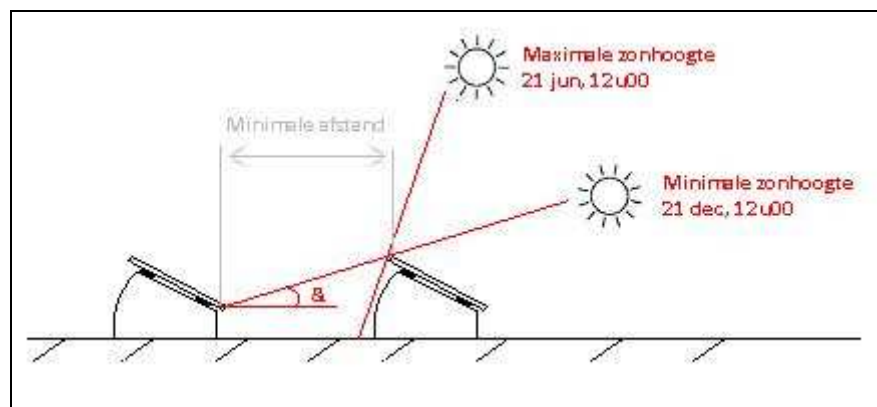
In dit hoofdstuk worden de deelprocessen van het rekenmodel uitgewerkt en de daarbij horende informatiestromen beschreven. Hierbij wordt per deelproces de gevolgde methode beschreven en wat de resultaten van die methode zijn.

6.2 Deelproces 3.1: Bepalen schaduwwerking platte daken

Het doel van deze procedure is het bepalen van het aantal geschikte m²'s van platte daken, rekening houdend met schaduwwerking van de panelen indien deze onder een hoek worden gemonteerd.

Indien panelen of collectoren op platte daken in rijen achter elkaar worden geplaatst zal niet het volledige dakoppervlak benut kunnen worden.

De reden hiervan is dat de panelen of collectoren onder een hoek worden geplaatst waardoor schaduwen ontstaan achter de panelen of collectoren. Dit wordt met behulp van onderstaande figuur geïllustreerd:



Figuur 19: schaduwwerking op platte daken (<http://www.resolenergy.be/pages/index.php?action=4>, aug. 2010)

Omdat deze schaduwwerking afhankelijk is van de afmetingen van de panelen en de hoek waaronder ze worden gemonteerd en omdat op voorhand niet bekend is met hoeveel panelen of collectoren gerekend moet worden, kan niet met zekerheid worden bepaald hoe groot deze beperking zal zijn. Hiervoor is in aanname gedaan:

Voor een plat dak is 60% van het totale platte dakoppervlak van het dakdeel beschikbaar voor een zonne-energiesysteem. Voor zadeldaken wordt uitgegaan van 100% beschikbaarheid van het oppervlak.

Input:

- aanname 60%

Output:

- waarde '0,6' toegekend aan systeem_parameter 'schaduwwerking platte daken'

6.3 Deelproces 3.2: Bepalen benutting beschikbaar dakoppervlak

Het doel van deze procedure is het handmatig kunnen aangeven welk percentage van het geschikte dakdeel gebruikt dient te worden in de berekeningen die leiden tot de terugverdientijd van het dakdeel.

Voor de initiële berekeningen voor bepalen van de terugverdientijd van alle daken in Assen, is deze waarde gesteld op 100%.

Indien deze rekenmodule aan individuele gebruikers beschikbaar wordt gesteld, bijvoorbeeld via het 'Asserloket' (persoonlijke gemeentelijke website van burgers in Assen), kan de gebruiker deze waarde naar eigen inzicht aanpassen.

Output:

- waarde '1' toegekend aan systeem_parameter 'benutting beschikbaar oppervlak'

6.4 Deelproces 3.3: Bepalen instraling per dakvlak

Het doel van dit deelproces is het bepalen van de zoninstraling voor elk dakvlak. Hierbij wordt rekening gehouden met schaduwen, oriëntatie en hellingshoek. Met behulp van het rendement van een best passend zonne-energiesysteem kan op basis van deze instraling de opbrengst van het systeem op een dakvlak worden bepaald (zie bijlage 1: 'Toepassing zonne-energie op daken' voor toelichting bij dit principe).

Methode:

De hoeveelheid zoninstraling voor heel Nederland en Assen is bekend. Deze waarde is overgenomen uit het proces 'Inventarisatie' en komt overeen met 965 kWh/jaar/ m² (zie: deelproces 1.1.2). Dit is een gemiddelde waarde en houdt geen rekening met schaduwen, hellingshoek of oriëntatie van het gemeten vlak.

Deze instraling wordt in dit rapport aangeduid met 'gemeten hoeveelheid instraling'.

Om voor elk dakvlak afzonderlijk de instraling te bepalen waarbij wel rekening wordt gehouden met deze factoren, is de ArcGIS-functie 'Solar Radiation' gebruikt. Voor een toelichting over het gebruik en de resultaten van deze functie wordt verwezen naar bijlage 4: Toelichting ArcGIS-functie 'Solar Radiation'.

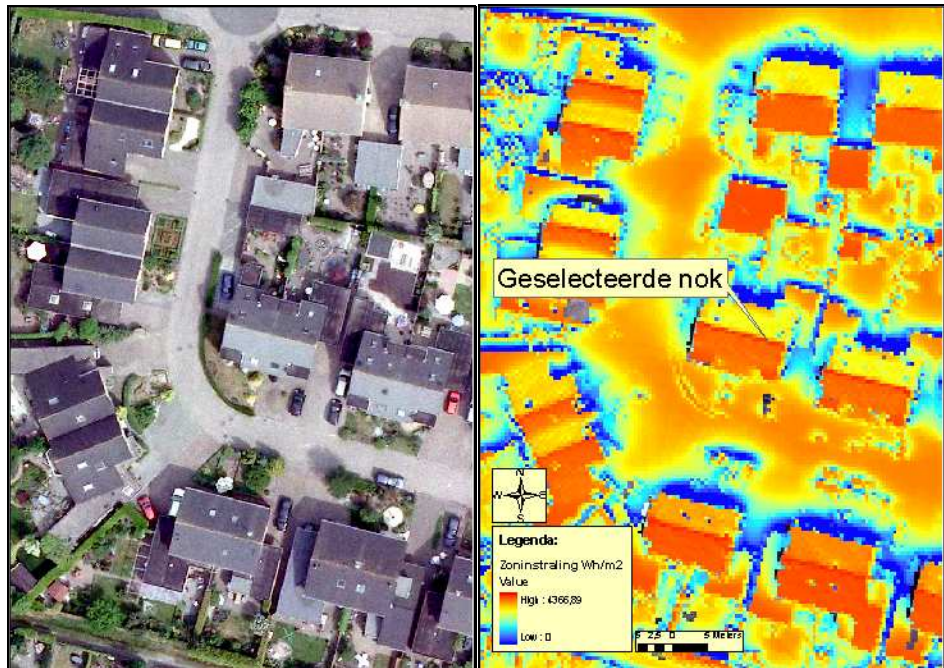
Met deze functie kan van elke rastercel van een hoogtebestand de hoeveelheid zoninstraling worden berekend, zonder rekening te houden met bewolking. Deze instraling wordt in dit rapport aangeduid met 'theoretische hoeveelheid instraling'.

Door gemeten hoeveelheid instraling te delen met de theoretische hoeveelheid instraling, kan de factor worden bepaald die bewolking heeft op de theoretische zoninstraling.

Om deze factor te kunnen bepalen wordt van één punt instralingwaarde bepaald. Dit punt komt overeen met een rastercel uit het door Solar Radiation gegenereerde bestand.

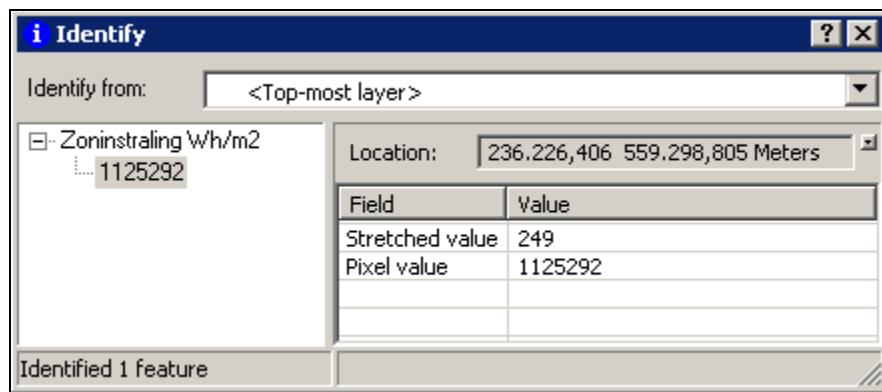
Het geselecteerde punt betreft een deel van een nok van een gebouw waarbij geen sprake is van omliggende hoge gebouwen of bomen die schaduw kunnen veroorzaken. In figuur 20 wordt een luchtfoto getoond van de geselecteerde nok en een overzicht totale hoeveelheid zoninstraling in de omgeving van deze nok.

In figuur 21 wordt vervolgens de waarde van de zoninstraling (in Wh/ m²) van die nok weergegeven.



Figuur 20: luchtfoto van deel van Assen

figuur 21: zoninstraling aangegeven bij geselecteerde nok



Figuur 22: totale zoninstraling rastercel van de nok

De 'Pixel value' geeft de theoretische hoeveelheid zoninstraling in Wh/ m² van dit punt aan, overeenkomstig met 1125,292 kWh/ m². Aangenomen wordt dat dit punt een representatief beeld geeft voor een willekeurig ander schaduwloos punt uit het rasterbestand.

Door vervolgens deze waarde te delen met de gemeten hoeveelheid zoninstraling van het KNMI wordt voor dit punt het effect van bewolking bepaald: $965/1125,292=0,86$. Deze factor wordt in dit rapport aangeduid met 'bewolkingsfactor'.

Deze waarde komt in grote lijnen overeen met de door leveranciers gehanteerde netto vermogen (rekening houdend met bewolking) van een systeem ten opzichte van het bruto vermogen (maximaal haalbaar vermogen). Deze conclusie wordt verder uitgewerkt in hoofdstuk 8: Validatie.

Nu deze bewolkingsfactor bekend is kan met de totale hoeveelheid zoninstraling de gemiddelde zoninstraling per dakvlak worden bepaald. Hiervoor wordt de som van de zoninstraling van alle rastercellen binnen één dakvlak genomen (geeft de totale hoeveelheid kWh/jaar instraling op deze geschikte oppervlakte) en wordt gedeeld door het aantal m²'s geschikte oppervlakte. Dit, vermenigvuldigd met de bewolingsfactor geeft de gemiddelde hoeveelheid zoninstraling in kWh per m² per jaar van een dakvlak.

Tot slot dient er een verrekening plaatsvinden met zoninstraling op platte daken, omdat de hoeveelheid zoninstraling voor alle dakvlakken is bepaald op basis van onder andere de hellingshoek van een dakvlak. De hellingshoek van een platdak is gelijk aan nul, maar als een zonne-energiesysteem op een plat dak wordt geïnstalleerd, worden de panelen onder een hoek geplaatst. Deze hoek is voor platte daken niet meegenomen bij de bepaling van zoninstraling door het ArcGIS-model. Hierdoor is de hoeveelheid zoninstraling van platte daken voor het rekenmodel te laag en dient een correctiefactor op de platte daken te worden toegepast.

Om deze factor te bepalen is de gemiddelde zoninstraling van alle dakvlakken met een hellingshoek tussen de 30 en 35 graden met een oriëntatie op het zuiden bepaald. Dit komt overeen met een gemiddelde van 1068 kWh/jaar/ m² (bij dakvlakken met een zonrijke oppervlakte van 5 m² of meer). Deze hellingshoek en oriëntatie komen overeen met de manier waarop panelen op plat daken worden geplaatst.

Van de platte daken met een zonrijke oppervlakte van 5 m² of meer is de instraling gemiddeld 995 kWh/jaar/ m².

Met deze twee waarden kan de correctiefactor voor platte daken op $(-995-1068)/995+1) = 1,07\%$ worden bepaald.

Deze correctie is als systeem_parameter opgenomen en wordt gebruikt door de functie 'instraling_m2' waar de zoninstraling per dakvlak wordt bepaald.

In bijlage 4 is het ArcGIS model 'zoninstraling per dakvlak' met beschrijving toegevoegd.

Input:

- KNMI zoninstraling in Assen
- theoretische zoninstraling per rastercel (volgens GIS)

Output:

- waarde '0,86' toegekend aan systeem_parameter 'bewolkingsfactor'
- waarde '1,07' toegekend aan systeem_parameter 'correctiefactor_ plattedaken'
- vectorbestand RD_G_ZON_DAKDELEN met toevoeging kolom en waarde 'gemiddelde totale instraling in kWh/m²'.

6.5 Deelproces 3.4: Bepalen best passend systeem

Het doel van dit deelproces is het maken van een keuze voor een best passende systeem voor elk dakvlak.

Een best passend systeem is niet alleen afhankelijk van de eigenschappen van daken maar is ook afhankelijk van de investering die iemand wenst te doen. Deze investering bepaalt in hoge mate het vermogen van een systeem (zie bijlage 1: Toepassing zonne-energie op daken).

Omdat vooraf geen keuze gemaakt kan worden in gewenst vermogen van een systeem of gewenst investeringsbedrag, worden de terugverdientijden van twee best passende systemen door het rekenmodel bepaald.

De twee best passende systemen worden als volgt gedefinieerd:

- 1) het eerste best passend systeem wordt gedefinieerd als het goedkoopste systeem dat qua afmetingen past op het beschikbare dakvlak, waarbij goedkoopst gedefinieerd is als het systeem met de laagste prijs per Wattoek, uitgaande van maximale benutting van het beschikbare dakoppervlak.

Voorbeeld:

Met een beschikbaar investeringsbedrag €5.000,-- en een gewenst vermogen installatie 1000kWh en een geschikte oppervlakte van 100m² kan de keuze vallen op zowel een kristallijn als een amorf systeem

- 2) het tweede best passende systeem wordt gedefinieerd als het goedkoopste systeem dat qua opbrengst het dichtst bij het gewenste vermogen van een systeem ligt, waarbij goedkoopst gedefinieerd is als het systeem met de laagste prijs per Wattoek en het gewenste vermogen als variabele in het rekenmodel kan worden opgegeven.

Voorbeeld:

Met een beschikbaar investeringsbedrag €5.000,- en een gewenst vermogen installatie 1000kWh en een geschikte oppervlakte van 10m² zal de keuze vallen op een kristallijn systeem omdat een amorf systeem veel meer ruimte nodig zou hebben voor dit vermogen

De keuze tussen deze twee systemen zal dan ook bepaald worden door de investeringsmogelijkheden en het gewenste vermogen van de installatie. Hierbij zal de afmeting van het systeem binnen de hoeveelheid beschikbare oppervlakte moeten vallen en wordt gekozen voor het systeem met de laagste prijs Wattoek.

Input:

- geschikt dakoppervlak in m²
- vermogen systeem per m²
- wattoek-prijs systeem per m²
- gewenst vermogen

Output:

- best passend systeem bij maximale benutting geschikt dakoppervlak
- best passend systeem bij gewenste vermogen systeem (1000kWh/jaar)

6.6 Deelproces 3.5: Bepalen kosten per dakvlak

Het doel van deze procedure is het per dakvlak bepalen van de kosten (in euro's) voor een zonne-energiesysteem, rekening houdend met renteverlies.

Er zijn twee soorten kosten waarmee gerekend wordt, de aanschafkosten en het renteverlies.

De aanschafkosten voor een zonne-energiesysteem zijn naast de keuze voor het type systeem afhankelijk van de hoeveelheid beschikbare m². Zoals eerder aangegeven worden om deze reden 2 best passende systemen uitgewerkt.

Methode best passend systeem 1:

Allereerst worden in de tabel referentie_systemen de systemen geselecteerd die bij benadering 1000kWh per jaar opwekken. Hierbij wordt een bandbreedte toegepast van 350 kWh. Zowel de 1000kWh als de waarde voor de bandbreedte zijn systeemvariabelen en kunnen, indien wenselijk, worden aangepast.

Dat betekent dat alle systemen met een vermogen tussen de 650 kWh en 1350 kWh in aanmerking komen. De prijzen van deze systemen worden genormaliseerd naar 1000 kWh, waarbij ook de oppervlakte wordt genormaliseerd naar een vermogen van 1000kWh.

Omdat bekend is wat het geschikte dakoppervlak van elk dakdeel is, kan op basis hiervan de gemiddelde systeemprijs worden bepaald.

Deze procedure gaat is volgt:

Stel een dakdeel met oppervlakte van 25 m², en gewenste hoeveelheid vermogen is 1000kWh. Dat geeft twee mogelijkheden: systeem Kristal1 of Kristal2 (beide andere systemen hebben meer dakoppervlak nodig).

Van deze twee systemen wordt het goedkoopste systeem gekozen, dat een prijs heeft van €4491,--.

Stel een dakdeel met oppervlakte van 50 m² en gewenste hoeveelheid vermogen is 1000kWh. Dat geeft drie mogelijkheden: systeem Amorf1, Kristal1 of Kristal2.

Van deze drie systemen wordt het goedkoopste systeem gekozen, dat een prijs heeft van €4299,--.

Systeem	Prijs	Aantal m ²	Aantal kWh	Prijs per m ²	kWh_ m ²	Prijs 1000 kWh (genormaliseerd)	Aantal m ² nodig (genormaliseerd)
Amorf1	€4299	45	1005	95	22	(1000/22)* 95 = €4318	1000/22 = 45.5
Amorf2	€3998	60	1050	67	17.5	(1000/17.5)*60 = €3429	1000/17.5 = 57
Kristal1	€4499	21	918	215	44	(1000/44)* 215 = €4919	1000/44 = 23
Kristal2	€4700	19	1050	247	55	(1000/55)* 19 = €4491	1000/55 = 18

Tabel 2: voorbeeld berekeningen kosten systeem 1000kWh

In tabel 2 is een rekenvoorbeeld van dit scenario opgenomen.

Methode best passend systeem 2:

Allereerst wordt bepaald wat de geschikte oppervlakte van het dakoppervlak is.

Vervolgens worden op basis hiervan in de tabel referentie_systemen de systemen geselecteerd passend op de overeenkomstige oppervlakte.

Hierbij wordt een sortering toegepast op basis van prijs per WattPiek. Deze prijs per Wattpiek wordt bepaald door de prijs van het complete systeem te delen door het aantal Wattpiek van het systeem.

Kostenberekeningen:

Om voor beide scenario's de totale kosten van de installatie te kunnen berekenen voor een langere periode wordt het renteverlies ook meegerekend.

Zoals uit de inventarisatie is gebleken wordt gerekend met een rentepercentage van 4,11%. Hierbij wordt onderstaande de formule voor enkelvoudige interest gebruikt (<http://financieel.infonu.nl/geld/55856-renteberekening.html>, aug. 2010):

$FV = PV * (1+i)^t$ waarvoor geldt:

FV = Future Value	PV	= present value
i = interest	t	= looptijd

Rekenvoorbeeld:

De 'present value' is het bedrag dat geïnvesteerd gaat worden in het systeem. We nemen aan dat de investering €5000,-- is.

De looptijd komt overeen met de terugverdiëntijd van het systeem. Deze is op voorhand niet bekend, maar wordt tijdens de kosten/batenanalyse bekend.

In dit rekenvoorbeeld wordt uitgegaan van een terugverdiëntijd van 25 jaar en de rente waarmee gerekend gaat worden is 4,11%.

*Het bedrag dat uiteindelijk op de spaarrekening zou hebben gestaan is $5000 * (1 + (4,11/100))^{25} = €13.686,15$.*

Dit bedrag komt overeen met de totale kosten van het systeem.

Input:

- aantal geschikte m²
- kleinste prijs mogelijk systeem
- renteverlies

Output:

- totale kosten systeem

6.7 Deelproces 3.6: Bepalen opbrengsten per dakvlak

Het doel van dit deelproces is voor elk dakdeel het bepalen van de totale opbrengsten (in euro's) van een zonne-energiesysteem, rekening houdend met het instralingspercentage, energieprijzen, rentetarieven en verwachte energieprijsstijgingen.

Methode:

Hiervoor is een databasefunctie gemaakt met de volgende inputparameters:

- De *zoninstraling* van een dakvlak (gemiddeld kWh/jaar/m²)
- De *mogelijke opbrengst* van het systeem (afhankelijk van het gekozen scenario gelijk aan 1000 kWh, of gelijk aan het vermogen van het systeem dat op de geschikte dakoppervlakte past)
- De *opbrengst* van het systeem (in kWh) wordt verkregen door het rendement van een systeem te vermenigvuldigen met de zoninstraling van een dakdeel en dit te vermenigvuldigen met de 'bewolkingsfactor'.

- De *huidige jaaropbrengst* van het systeem (in euro's) wordt verkregen door de opbrengst van het systeem te delen door 12, en dat te vermenigvuldigen met de kWh-prijs uit de systeemparemeter tabel
- De *totale opbrengst* van het systeem (in euro's) wordt verkregen door de elk jaar de verwachte energieprijsstijging te verwerken in de energieprijzen en jaarlijks een nieuwe opbrengst te berekenen en van alle jaren (= levensduur) bij elkaar op te tellen.
Hierbij wordt er vanuit gegaan dat de opbrengsten op een spaarrekening zouden kunnen worden weggezet, wat een bepaalde rente oplevert. Hiervoor wordt de spaarrente_korte termijn uit paragraaf 4.1.1 gebruikt.

Input:

- dakdeel_id
- kWh/jaar/m²
- energieprijzen en jaarlijkse prijsstijging
- levensduur systeem

Output:

- totale opbrengsten

6.8 Deelproces 3.7: Bepalen terugverdientijd per dakvlak

Het doel van dit deelproces is het voor elk dakdeel bepalen van de terugverdientijd van een systeem, rekening houdend met huidige en verwachte toekomstige energieprijsstijgingen, rentetarieven en de verwachte levensduur van de installatie.

Methode:

De terugverdientijd is afhankelijk van de investeringen en opbrengsten gedurende een bepaalde periode.

Voor het bepalen van de terugverdientijd van een zonne-energiesysteem worden in de deelprocessen 4.3.4 en 4.3.5 de kosten en opbrengsten (per maand) bepaald. Door met een tijdsinterval van één maand en een herhaling van het aantal maanden van de levensduur van de installatie de kosten en de opbrengsten met elkaar te vergelijken, wordt de terugverdientijd met een nauwkeurigheid van één maand bepaald.

Is binnen die termijn geen terugverdientijd bepaald, wordt geconcludeerd dat het dakdeel niet geschikt is voor een zonne-energiesysteem en wordt geen terugverdientijd geconstateerd.

Input:

- dakdeel_id
- kosten per maand inclusief renteverlies
- energieprijzen en jaarlijkse prijsstijging
- opbrengsten per maand rekening houden met korte termijn spaarrente

Output:

- terugverdientijd per dakdeel

Hoofdstuk 7: Gevoeligheidsanalyse

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt aangegeven in hoeverre de gebruikte systeemparameters die in voorgaande hoofdstukken zijn beschreven en een waarde hebben gekregen, invloed hebben op de uitkomsten van het rekenmodel.

Hiervoor worden een aantal scenario's doorlopen, waarbij verschillende systeemparameters een andere waarde krijgen.

Tot slot zijn van één scenario de uitkomsten gepresenteerd op een luchtfoto. Hierbij worden de terugverdiëntijden per dakvlak met verschillende kleurcoderingen weergegeven.

7.2 Systeemparameters

Het rekenmodel bepaalt op basis van eigenschappen van daken (geografische gegevens), eigenschappen van systemen (technische gegevens) en economische gegevens van elk dakvlak de terugverdiëntijd van een zonne-energiesysteem.

De geografische gegevens die tijdens het inventarisatieproces zijn bepaald, hebben een statisch karakter. Deze worden dan ook niet in de gevoeligheidsanalyse meegenomen.

De technische gegevens zijn dynamisch van aard en zijn om die reden ook in de database opgeslagen. Het model bepaalt per situatie wat het best passende systeem is met bijbehorende prijzen.

De economische gegevens bestaan uit een aantal variabelen waarmee het rekenmodel de terugverdiëntijden bepaald. Deze zijn:

- energieprijzen en verwachte prijsstijgingen
- spaarrentes korte termijn (op de opbrengsten)
- spaarrentes lange termijn (op de investering)
- gewenst vermogen van een systeem versus benutting dakoppervlakte

Tijdens het inventarisatieproces hebben deze variabelen een waarde gekregen.

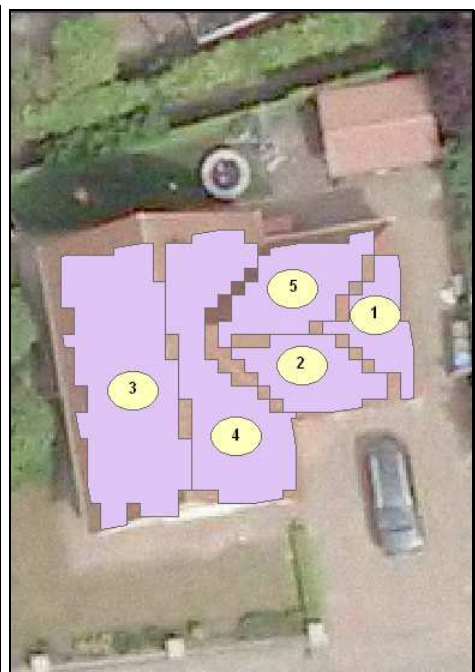
7.3 Referentieobject

Voor de gevoeligheidsanalyse is een referentieobject geselecteerd om de uitkomsten van de analyse inzichtelijk te maken. Voor dit referentieobject zullen van elk dakvlak de terugverdiëntijden worden getoond.

Het adres van dit referentieobject wordt om privacyredenen niet bgnoemd. De interne sleutel die in de BAG (Basisadministratie Adressen en Gebouwen) wordt gebruikt voor dit gebouw is 4773. Hiermee kan dit gebouw worden teruggevonden in de eindresultaten.



Figuur 23: referentieobject



Figuur 24: geschikte dakvlakken 1 t/m 5

Dit gebouw bestaat uit een 5-tal dakvlakken die in aanmerking komen voor de terugverdientijdberekening. Elk dakvlak is genummerd van 1 t/m 5, en komen overeen met de dakvlakken in de tabel van de gevoeligheidsanalyse.

7.4 Scenario's

Om een inschatting te kunnen maken van de impact van verschillende variabelen op de bepaling van de terugverdientijden zijn een aantal scenario's opgesteld waarbij deze variabelen verschillende waarden krijgen. Deze scenario's zijn weergegeven in tabel 3.

Bij elk scenario zijn voor zowel het referentieobject als voor alle dakvlakken in Assen de terugverdientijd bepaald. Voor alle daken in Assen is gekeken naar de gemiddelde terugverdientijden van alle dakvlakken samen.

Alle scenario's zijn uitgewerkt voor beide best passende systemen: een situatie met een 1000kWh systeem, alsmede voor de systemen waarbij maximale benutting van het geschikte dakoppervlak plaatsvindt.

In scenario's 7 en 8 wordt met een rentetarief van 8% gerekend. Dit gaat er vanuit dat het te investeren bedrag geleend moet worden. De rente op de lening bedraagt dan 8%, en als de opbrengsten in mindering worden gebracht op de lening kan worden gesteld dat ook hierop een rentetarief van 8% van toepassing is.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Huidige prijs 1 kWh	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Gem. jaarlijkse prijsstijging stroom	0	0	0	1	5	10	5	10
Rente lang	0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	8	8
Rente kort	0	0	2,2	2,2	2,2	2,2	8	8
Gemiddelde prijzen Wattoek	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem	waarde uit ref.systeem
Gemiddelde levensduur paneel	25	25	25	25	25	25	25	25
Best passend systeem 1000kWh op beschikbare dakoppervlakte								
Tvt. dakdeel nr. 1	19,2 jaar	-	-	-	-	15,8 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 2	16,3 jaar	-	-	-	24,3 jaar	13,9 jaar	-	23,3
Tvt. dakdeel nr. 3	15,2 jaar	-	-	-	25 jaar	13,3 jaar	-	24,3
Tvt. dakdeel nr. 4	15,8 jaar	-	-	-	-	13,6 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Best passend systeem maximale dakoppervlakte benut								
Tvt. dakdeel nr. 1	19,2 jaar	-	-	-	-	15,8 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 2	16,3 jaar	-	-	-	24,3 jaar	13,9 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 3	16,6 jaar	-	-	-	22,2 jaar	14,2 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 4	17,1 jaar	-	-	-	23,3 jaar	15,5 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Gemiddelde terugverdien tijd heel Assen (1000kWh)	11,8 jaar	-	-	-	15,1 jaar	10,2 jaar	-	22,4 jaar
Gemiddelde terugverdien tijd heel Assen (max.oppervlakte)	15,4 jaar	-	-	-	15,1 jaar	13,3 jaar	-	21,6 jaar

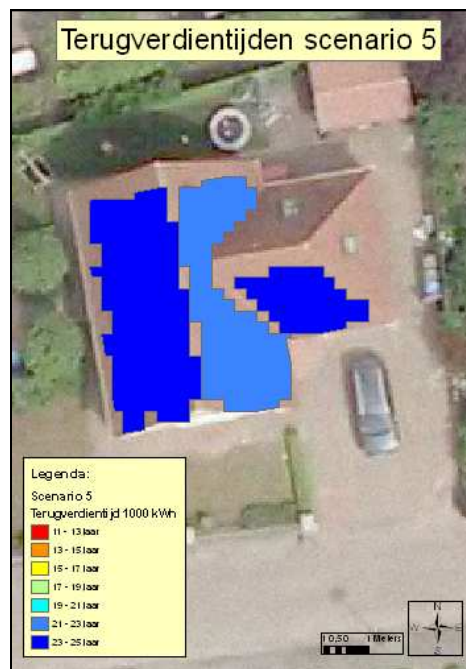
Tabel 3: gevoeligheidsanalyse terugverdiertijden geschikte dakdelen

7.5 Resultaten

In deze paragraaf worden de resultaten van scenario 5 gepresenteerd. Van dit scenario wordt aangenomen dat het op basis van de trends in energieprijzen een hoog waarschijnlijkheidsgehalte heeft.

Deze waarschijnlijkheid is gebaseerd op energieprijzen van de afgelopen 14 jaar (op basis van de gegevens van het CBS) en de wetenschap dat de huidige fossiele brandstoffen opraken. Aangezien de huidige landelijke energieconsumptie in de afgelopen jaren is gestegen (Bron: CBS, zie bijlage 3: rentepercentages en energieprijzen), lijkt het op basis van vraag een aanbod aannemelijk dat energieprijzen zullen blijven stijgen. Hiervoor wordt een 'voorzichtig scenario' met 5% prijsstijging als uitgangspunt genomen en niet de 10% prijsstijging van de afgelopen 14 jaar. Het resultaat is een luchtfoto van Assen met daarop geprojecteerd per dakvlak de terugverdiertijden (met een kleurcodering aangegeven).

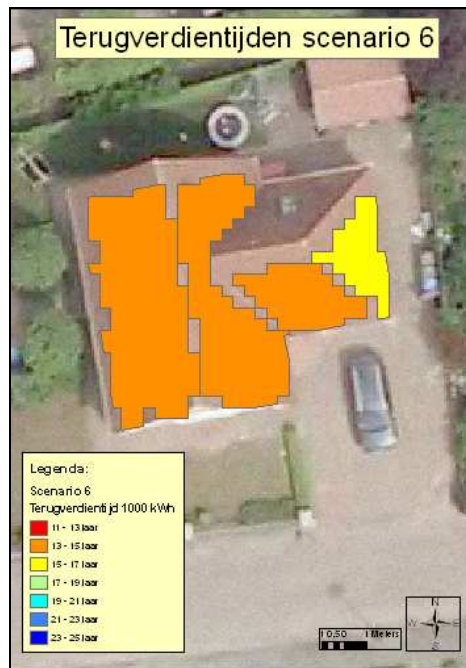
Hieronder worden de uitkomsten van het referentieobject getoond, voor elk van de best passende systemen:



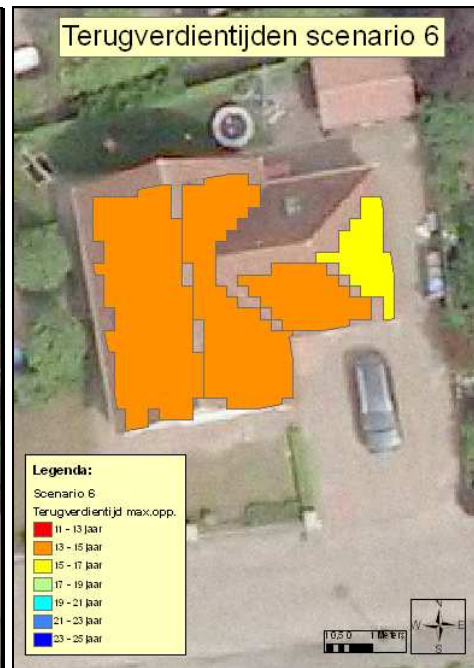
Figuur 25: terugverdiertijden 1000 kWh



Figuur 26: terugverdiertijden max. oppervlakte



Figuur 27: terugverdiertijden 1000 kWh



Figuur 28: terugverdiertijden max. oppervlakte

Als eindproduct van deze opdracht is van heel Assen een vergelijkbaar resultaat opgeleverd. Deze luchtfoto met bijbehorende kleurcoderingen per dakdeel zijn te gedetailleerd om in dit rapport op te nemen, maar is in digitale vorm aan de opdrachtgever aangeboden. Voor een deel van Assen zijn hiervan voorbeelden opgenomen in paragraaf 8.4.

Daarnaast is een lijst met alle gebouwen in Assen, met bijbehorende gegevens zoals eigenaar, geschikte oppervlakte en terugverdiertijden op basis van dit scenario digitaal aangeboden.

7.6 Conclusies

Uit de verschillende scenario's blijkt dat de hoogte van energieprijzen en de mogelijke stijging daarvan veel invloed heeft op de uitkomsten van de terugverdiertijden.

Bij een energieprijsstijging van 0% is een terugverdiertijd kleiner dan 25 jaar alleen mogelijk indien ook geen rentes op investeringen worden gerekend.

Bij een energieprijsstijging van 0% of 1 % inclusief berekeningen met korte termijn rentes op opbrengsten en lange termijn rentes op de investering, is geen enkel dakvlak in Assen, dat op basis van deze uitkomsten een terugverdiertijd kent, kleiner dan de levensduur van een installatie.

Pas bij een prijsstijging van 5% of meer blijken de terugverdiertijden kleiner dan 25 jaar te worden.

Uit de scenario's 7 en 8 blijkt dat met vreemd vermogen de terugverdiertijden aanzienlijk oplopen, naar gemiddeld 22,4 jaar met een energieprijsstijging van 10%. Een prijsstijging van 5% geeft aan dat met vreemd vermogen geen enkel geschikt dakvlak wordt gevonden.

Hoofdstuk 8: Eindproducten

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de op geleverde producten beschreven. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt in een rekenmodel en de ArcGIS-modellen. Deze modellen vormen samen het model waarmee de geschiktheid van daken voor een zonne-energiesysteem kan worden bepaald.

Daarnaast zijn een aantal kaarten en tabellen opgeleverd en is een internetkoppeling gemaakt.

8.2 Rekenmodel

Als één van de tussenproducten is een rekenmodel opgeleverd. Dit model is opgeslagen in een Oracle-database (zie bijlage 2: Technische randvoorwaarden).

Dit model bepaalt aan de hand van opgeslagen specificaties van zonne-energiesystemen en een aantal economische variabelen per dakvlak de terugverdientijd van een zonne-energiesysteem.

De scripts van dit model zijn in de vorm van procedures en functies in packages opgenomen, en voorzien van commentaar ten aanzien van doel en werking van de procedure of functie.

Aangezien deze scripts in een database zijn opgeslagen waarin ook vertrouwelijk informatie is opgeslagen, kan niet van de gehele database een export worden opgeleverd als eindproduct.

Een digitale versie van alle scripts is op aanvraag beschikbaar.

8.3 ArcGIS modellen

Als één van de tussenproducten is een verzameling ArcGISmodellen opgeleverd. Deze modellen zijn opgeslagen in een Geodatabase (zie bijlage 2: Technische randvoorwaarden).

Alle ArcGIS modellen samen brengen met behulp van de Algemene Hoogtekaart Nederland-2 (versie 2010) en de BAG (Basisadministratie Adressen en Gebouwen) de eigenschappen van alle dakvlakken (per pand) in kaart die een rol spelen in het bepalen van de terugverdientijd van een zonne-energiesysteem.

Deze modellen leveren een aantal tussenproducten op in de vorm van tabellen en vector of rasterbestanden. Deze producten worden niet aangeboden als eindproduct omdat ze 100% genereerbaar zijn met behulp van de modellen.

Alle modellen zijn in bijlage 4 opgenomen waarbij elke stap van het model is toegelicht. Een digitale versie van deze modellen is op aanvraag beschikbaar.

8.4 Kaart Assen met terugverdiertijden

Eén van de eindproducten bestaat uit verschillende kaarten van (een deel van) Assen waarbij voor elk dakvlak is aangegeven wat de terugverdiertijden zijn voor een zonne-energiesysteem.

Hieronder zijn vier voorbeelden van deze kaart opgenomen. Het zijn luchtfoto's van (een deel van) Assen met daarop aangegeven de terugverdiertijden per dakvlak, waarbij de terugverdiertijden door middel van een kleurcodering zijn ingedeeld. Voor scenario's 5 en 6 worden de resultaten getoond in figuur 28 t/m 31.



Figuur 29: terugverdiertijden 1000 kWh



Figuur 30: terugverdiertijden max. oppervlakte



Figuur 31: terugverdiertijden 1000 kWh



Figuur 32: terugverdiertijden max. oppervlakte

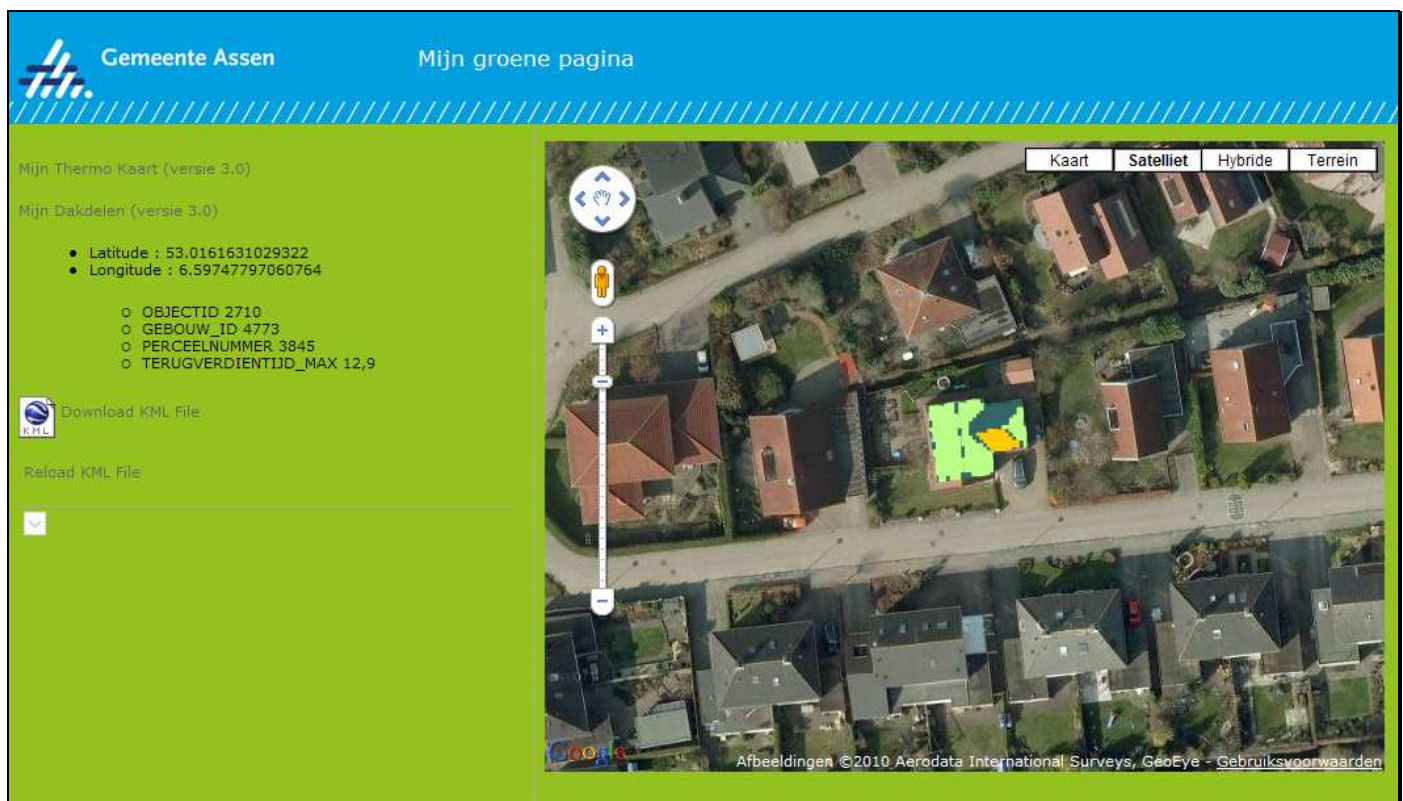
8.5 Koppeling Google maps

Als één van de eindproducten is voorbeeld- internetpagina gemaakt waarop door middel van een koppeling met GoogleMaps de resultaten uit 8.4 per gebouw of perceel kunnen worden getoond.

Deze internetpagina dient als voorbeeld om aan te geven hoe de resultaten van deze opdracht aan de burgers van Assen kunnen worden gepresenteerd.

Deze koppeling maakt gebruik van standaard Google-api's. Door middel van een export van de eindresultaten vanuit ArcGIS naar een KML-bestand kan de koppeling met Google-maps de resultaten op een kaart tonen.

Hieronder wordt een screenshot van de internetpagina getoond, waarbij het referentieobject met alle dakvlakken en terugverdientijden (aangegeven met kleurcoderingen) wordt weergegeven. Dit screenshot is slechts als voorbeeld bedoeld om aan te geven wat de mogelijkheden zijn. De uiteindelijke toepassing zal waarschijnlijk een andere vorm kennen.



Figuur 33: screenshot resultaten gepresenteerd op Google-maps kaart

De verschillende dakvlakken worden met een kleurcodering aangegeven, waarbij na het aanklikken van een dakvlak, onder andere de terugverdientijden worden getoond.

Een volgende stap kan zijn het aanbieden van het rekenmodel via deze internetpagina aan de burgers van Assen, waarmee van een eigen woning (op basis van zelf ingevoerde parameters) de terugverdientijden per dakvlak kunnen worden berekend.

Op deze manier kan de burger zelf de definitie van geschiktheid voor een zonnepanelensysteem bepalen.

Hoofdstuk 9: Validatie

9.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een aantal gemaakte keuzes en resultaten van deze opdracht getoetst. Hierbij is gebruik gemaakt van andere modellen waarvan de uitkomsten worden vergeleken met de voor deze opdracht gebruikte modellen.

9.2 Bewolkingsfactor

Bij elk van de geïnventariseerde zonne-energiesystemen is het maximale vermogen en het werkelijke vermogen aangegeven, waarbij het werkelijke vermogen uitgaat van de praktijksituatie onder optimale omstandigheden. Het maximale vermogen van een systeem is bepaald in laboratoriumomstandigheden waarbij wordt getest met een bepaalde optimale temperatuur zonder de aanwezigheid van bewolking (zie bijlage 2: Technische randvoorwaarden, tabel systemen).

Volgens gegevens van de geïnventariseerde systemen blijkt dat het gemiddelde maximale vermogen overeenkomt met 3905,54 kWh, en het gemiddelde vermogen uit de praktijk met 3322,38 kWh. Dat betekent dat er 85% van het aangegeven maximale vermogen van een systeem overblijft, een verlies van 15%.

In paragraaf 6.4 is de bewolkingsfactor vastgesteld op 0,86. Deze factor zou overeen moeten komen met de gegevens van leveranciers. Dit betekent dat er een verschil van 1% is tussen de gegevens uit de tabel referentie_systemen en de bepaalde bewolkingsfactor.

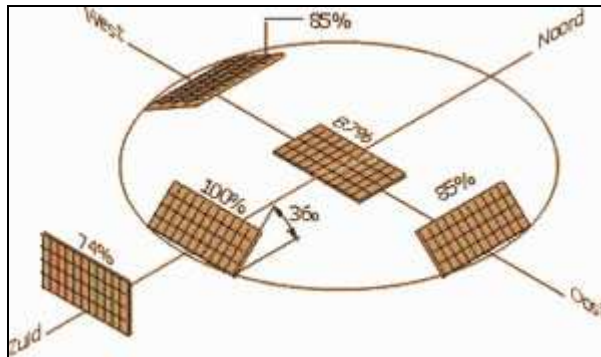
Dit verschil kan worden verklaard doordat met de STC-vermogens van de leveranciers is gerekend. Beter was geweest om met de PDC-vermogens te werken. Dit PDC-vermogen is lager dan het aangegeven STC-vermogen omdat dan onder andere condities wordt getest (voor uitleg over deze vermogens zie bijlage 1: Toepassing zonne-energie op daken'.

9.3 Instralingsdiagram

In deze paragraaf worden de uitkomsten van de ArcGIS-functie 'Solar Radiation' vergeleken met een (op het internet) gangbaar diagram om de zoninstraling op een dakvlak te kunnen bepalen waarbij rekening wordt gehouden met de hellingshoek en oriëntatie van het vlak.

Methode gebruik instralingsdiagram:

De opbrengst van een systeem is afhankelijk van de mate waarop de zon direct kan instralen op het paneel of collector. De manier van instralen is afhankelijk van hellingshoek en oriëntatie van het dakvlak. Figuur 34 illustreert dit. Deze figuur dient slechts ter illustratie, met de getallen uit de figuur worden geen berekeningen uitgevoerd).



Figuur 34: invloed hellingshoek en oriëntatie (Bron: <http://www.zonnepanelen.wouterlood.com/> aug.2010)

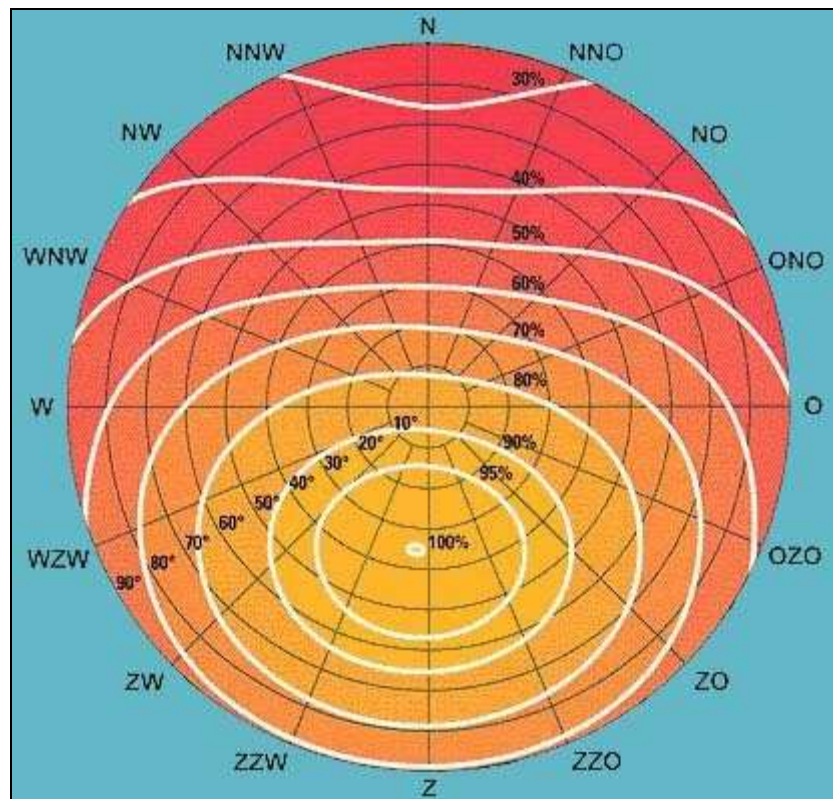
Om voor elk dakvlak te kunnen bepalen wat de instraling is op basis van oriëntatie en hellingshoek, is gebruik gemaakt van een instralingsdiagram (zie figuur 22). In dit diagram wordt van een punt of vlak met een bepaalde oriëntatie en hellingshoek het verlies aangegeven ten opzichte van de meest ideale situatie waarbij meest ideaal wordt gezien als een paneel gemonteerd op het zuiden onder een hoek van 36 graden

(http://www.senternovem.nl/mmfiles/U_ontvangt_SDE-subsidie_voor_zonnepanelen._Hoe_nu_verder_tcm24-326603.pdf, aug. 2010).

Het instralingsdiagram uit figuur 22 is vertaald naar een tabel in de database waarmee het model per dakdeel kan uitrekenen wat de instraling is.

Aangezien het instralingsdiagram niet in digitale vorm beschikbaar is, is een representatieve voorstelling van dit diagram in de database opgenomen.

Hierbij is het instralingsdiagram opgedeeld in acht oriëntatielijnen lopend van Noord naar Noordwest met stappen van 22,5 graden. Vervolgens is voor elke lijn en elke hellingshoek het bijbehorende percentage in de tabel opgenomen.



Figuur 35: het instralingsdiagram (Bron: http://www.senternovem.nl/mmfiles/Leidraad_Zonnestroomprojecten_tcm24-170098.pdf, aug. 2010)

Voor platte daken is het instralingspercentage bepaald op 100% omdat bij plaatsing op platte daken zelf de hellingshoek en de oriëntatie kan worden bepaald.

Om de uitkomsten van deze methode te vergelijken met de voor deze opdracht toegepaste methode is een gevoeligheidsanalyse gemaakt waarmee met het instralingsdiagram is gerekend. De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse worden hieronder vergeleken met de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse uit hoofdstuk 7.

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Best passend systeem 1000kWh op beschikbare dakoppervlakte								
Tvt. dakdeel nr. 1	14,3 jaar	-	-	-	-	15,9 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 2	12 jaar	-	-	-	22,5 jaar	13,3 jaar	-	23,6 jaar
Tvt. dakdeel nr. 3	13,8 jaar	-	-	-	-	15,4 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 4	13,9 jaar	-	-	-	-	15,4 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Gemiddelde terugverdien tijd van geschikte daken (1000kWh)	16,4	-	-	-	21,03 jaar	14,6 jaar	-	21,8 jaar
Gemiddelde terugverdien tijd van geschikte daken (maximale oppervlakte)	16,8 jaar	-	-	-	21,03 jaar	14,7 jaar	-	22,4 jaar

Tabel 4: gevoeligheidsanalyse op basis van instralingsdiagram

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6	Scenario 7	Scenario 8
Best passend systeem 1000kWh op beschikbare dakoppervlakte								
Tvt. dakdeel nr. 1	19,2 jaar	-	-	-	-	15,8 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 2	16,3 jaar	-	-	-	24,3 jaar	13,9 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 3	16,6 jaar	-	-	-	22,2 jaar	14,2 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 4	17,1 jaar	-	-	-	23,3 jaar	15,5 jaar	-	-
Tvt. dakdeel nr. 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Gemiddelde terugverdien tijd heel Assen (1000kWh)	11,8 jaar	-	-	-	15,1 jaar	10,2 jaar	-	22,4 jaar
Gemiddelde terugverdien tijd heel Assen (max.oppervlakte)	15,4 jaar	-	-	-	15,1 jaar	13,3 jaar	-	21,55 jaar

Tabel 5: gevoeligheidsanalyse op basis van 'Solar Radiation'

Na vergelijking van beide analyses blijkt dat kleine verschillen aan te wijzen. In sommige gevallen loopt de terugverdiëntijd op terwijl in andere gevallen de terugverdiëntijd is afgenomen en uit tabel 5 blijkt dat er meer dakvlakken in aanmerking komen voor een zonne-energiesysteem. De gemiddelde terugverdiëntijden voor heel Assen veranderen nauwelijks.

De conclusie is dat gebruik van de ArcGIS-functie nauwkeuriger werkt als gebruik van het instalingsdiagram maar dat de verschillen klein zijn.

Hoofdstuk 10: Conclusies en aanbevelingen

10.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden conclusies en aanbevelingen geformuleerd naar aanleiding van het onderzoek naar de geschiktheid van daken voor opwekking van zonne-energie.

Naast conclusies ten aanzien van het zonne-energiepotentieel op daken in Assen zijn ook conclusies getrokken over de toepasbaarheid van het model wat de geschiktheid van daken heeft bepaald.

De conclusies ten aanzien van het zonne-energiepotentieel zijn gebaseerd op de uitkomsten van het rekenmodel voor één wijk in Assen. Het betreft een woonwijk aan de oostkant van Assen met 694 woningen, gebouwd in de periode 1996-1998. Deze wijk is niet per definitie representatief voor Assen als geheel, voor heel Assen kunnen deze cijfers dus iets verschillen. Deze selectie is gemaakt om de werking van het model aan te tonen, niet om een volledig beeld van alle daken van Assen te schetsen als het gaat om de geschiktheid voor opwekking van zonne-energie.

10.2 Conclusies zonne-energiepotentieel

Zoals uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken, wegen de energieprijzen en de eventuele stijgingen daarvan, zwaar mee in de berekening van de terugverdientijd van een zonne-energiesysteem.

Indien wordt gerekend met een energieprijsstijging van 5% of meer waarbij een investering met eigen vermogen wordt gedaan, blijkt dat ongeveer 80% van de gebouwen de geselecteerde wijk één of meerdere dakdelen te hebben die als geschikt worden aangemerkt.

Met vreemd vermogen lopen de terugverdientijden op en is het aantal gebouwen met geschikte dakdelen bij een energieprijsstijging van 5%, te verwaarlozen.

Indien wordt gerekend met een prijsstijging van 10% waarbij een investering met vreemd vermogen wordt gedaan, blijkt dat ongeveer 80% van de gebouwen in de geselecteerde wijk één of meerdere dakdelen te hebben die als geschikt worden aangemerkt.

De verschillen tussen de gemiddelde terugverdientijden met gebruik van een systeem van 1000kWh en een systeem dat de maximale oppervlakte gebruikt, kunnen worden verklaard doordat de rente op de investering die gedaan moet worden bij benutting van maximale oppervlakte bij grote dakoppervlakten enorm kan oplopen. Daarnaast is er gebruik gemaakt van de specificaties uit de database van een beperkt aantal zonne-energiesystemen. Indien deze lijst van systemen zou worden uitgebreid is het mogelijk dat deze verschillen toe- of afnemen.

Verwacht mag worden dat gebruik van maximale oppervlakte juist zal leiden tot lagere terugverdientijden omdat de bijkomende kosten bij aanschaf van een zonne-energiesysteem worden verdeeld over een groter oppervlak.

Naast de percentages van gebouwen die als geschikt worden aangemerkt, vallen de verschillen in terugverdientijden op. Indien wordt gerekend met de parameters van scenario 6 blijkt dat de gemiddelde terugverdientijden van 15,1 naar 10,2 jaar (bij een

systeem van 1000 kWh) zakken.

Dat betekent dat het zonne-energiesysteem gedurende de levensduur van het systeem in plaats van de resterende 9,1 jaar, 14,8 jaar winstgevend is.

In tabel 6 worden deze uitkomsten voor (dit deel) van Assen getoond.

	% gebouwen met een terugverdien tijd < 25 jaar van (deel van) Assen (1000kWh)	% gebouwen met een terugverdien tijd < 25 jaar van (deel van) Assen (maximale oppervlakte)	Gemiddelde terugverdien tijd alle dakdelen van (deel van) Assen (1000kWh)	Gemiddelde terugverdien tijd alle dakdelen van (deel van) Assen (max. oppervlakte)
Energieprijsstijging 5%, eigen vermogen (scenario 5)	79%	80,1%	15,1 jaar	15,1 jaar
Energieprijsstijging 10%, eigen vermogen (scenario 6)	80%	86%	10,2 jaar	13,3 jaar
Energieprijsstijging 5%, vreemd vermogen (scenario 8)	0,01%	0,01%	-	-
Energieprijsstijging 10%, vreemd vermogen (scenario 9)	80%	80,1%	22,4 jaar	21,55 jaar

Tabel 6: samenvatting resultaten terugverdientijden

10.3 Conclusies model bepalen geschiktheid

Om te komen tot deze conclusies is gebruikt van gemaakt van ArcGIS-software in combinatie met een rekenmodel, gebruik makend van een oracle-database.

Met de ArcGIS software zijn diverse modellen gemaakt waarmee op basis van gestandaardiseerde gegevens (Algemene Hoogtekaart Nederland en de BAG: Basis Administratie Adressen en Gebouwen) van alle daken (dakdelen) in Assen de hellingshoek, oriëntatie, schaduwen en zoninstraling is vastgesteld. Met deze gegevens heeft het rekenmodel van elk dakvlak de terugverdientijd bepaald van verschillende typen zonne-energiesystemen.

De ArcGIS modellen en het rekenmodel zijn onafhankelijk van de Assense situatie opgezet. Dat wil zeggen, indien de hoogtekaart en de BAG van Assen worden vervangen

door een hoogtekaart en de BAG van een ander deel van Nederland, de terugverdiëntijden van daken van een andere regio kunnen worden vastgesteld. Hiermee is een dynamisch en generiek model opgeleverd.

10.4 Aanbevelingen

Bredere toepassing model:

Als één van de resultaten van deze opdracht is een generiek en dynamisch model opgeleverd dat op basis van de Algemene Hoogtekaart Nederland-2 (versie 2010) en de BAG (Basisadministratie Adressen en Gebouwen) op basis van een aantal parameters de terugverdiëntijd en daarmee de mate van geschiktheid van alle dakvlakken in Assen voor opwekking van zonne-energie heeft bepaald.

Omdat het model met gestandaardiseerde brongegevens werkt, kan het worden toegepast op een willekeurig ander deel van Nederland. Zo kan bijvoorbeeld door vervanging van de AHN2 en de BAG van Assen door de AHN2 en de BAG van Groningen de geschiktheid van alle daken in Groningen worden bepaald.

Het wordt dan ook aanbevolen om de methodieken en resultaten van deze opdracht te delen met andere gemeenten in Nederland. Op deze manier kan in theorie heel Nederland in kaart worden gebracht.

Nauwkeurigheid rekenmodel:

Om de nauwkeurigheid bij het bepalen van de terugverdiëntijd te vergroten is het wenselijk om het aantal zonne-energiesystemen waarvan de specificaties zijn geïnventariseerd en opgenomen in de database, uit te breiden. Hierbij geldt: hoe meer systemen worden opgenomen, hoe nauwkeuriger de uitkomsten.

Er wordt geadviseerd leveranciers zelf gegevens aan te laten leveren of om door middel van een koppeling met de database, de leveranciers zelf gegevens van de nieuwste systemen in te laten voeren. Hierdoor kan het model met actuele gegevens van veel verschillende leveranciers rekenen.

Internetkoppeling:

De huidige koppeling met GoogleMaps biedt al de mogelijkheid om resultaten van één doorgerekend scenario aan de burger te tonen. Een volgende stap kan zijn het aanbieden van het model via het internet aan de burgers van Assen, waarmee van de eigen woning op basis van zelf ingevoerde parameters (zonne-energiesysteem prijzen, rentes en energieprijzen) de geschiktheid voor opwekking van zonne-energie kan worden bepaald. Hierdoor bepaalt de burger dan zelf de definitie van geschiktheid.

Zonneboilers:

Deze opdracht heeft zich met name gericht op de toepassing van zonnepanelen. Ook de plaatsing van zonnecollectoren met boilers zou op een vergelijkbare manier in kaart kunnen worden gebracht. Hiervoor dient een inventarisatie in die markt plaats te vinden. Met een enkele aanpassing of uitbreiding moet het model ook in staat zijn om voor deze vormen van zonne-energie de terugverdiëntijden te bepalen.

De aanpassingen hebben dan betrekking op de manier van bepalen van het best passende systeem. Dit zal op een andere manier gaan omdat een zonnecollector warmte levert en een zonnepaneel electriciteit.

Literatuurlijst

- Afstudeeropdracht Niels van der Vaart
Beschikbaar op <http://www.waag.org/project/powermapping>
geraadpleegd op 1 augustus 2010
- Energieverbruik, een stijgende trend (PB99-145,7 juni 1999, 9.30 uur)
Persbericht CBS
Beschikbaar op <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/95D6C0E1-D2BB-4F00-A03B-6A0915E07216/0/pb02n103.pdf>
Geraadpleegd op 16 augustus 2010.
- Enkelvoudige interest
Online informatie van Info.nu
Beschikbaar op: <http://financieel.infonu.nl/geld/55856-renteberekening.html>
Geraadpleegd op 1 augustus 2010.
- Projectverslag 'Dakthermografie'
André Slump dec. 2009
beschikbaar op aanvraag bij de gemeente Assen
- Raadbesluit juni 2009 Duurzaamheidsvisie 2009-2015
Raadsvoorstel/besluitvormend
Beschikbaar op <http://www.assen.nl/dsresource?objectid=8212&type=org>
geraadpleegd op 12 augustus 2010.
- Rekenmodule om terugverdientijd van een dakvlak te bepalen
Beschikbaar op <http://www.zonnefabriek.nl/advies.php>
Geraadpleegd op 1 augustus 2010.
- 'Solar Radiation' van Esri:
Online Helpfiles ESRI
Beschikbaar op
http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=An_overview_of_the_Solar_Radiation_tools
Geraadpleegd op 16 augustus 2010.
- Spaarrentes overzicht
Keuzemodules van Independer.nl
Beschikbaar op www.independer.nl
Geraadpleegd op 15 juli 2010.
- Webshops om specificaties zonne-energie systemen te inventariseren:
De Solar shop:
Beschikbaar op <http://pfixx.nl/index.php?page=verkoop>
Geraadpleegd op 15 juli 2010.
Infinity NRG
Beschikbaar op <http://www.infinitynrg.nl/>
Geraadpleegd op 15 juli 2010.
- Zoninstralingsgegevens Nederland
Beschikbaar op http://www.knmi.nl/klimatologie/normalen1971-2000/globale_straling_jaarsom.html
Geraadpleegd op 12 augustus 2010.

Bijlage 1: Toepassing zonne-energie op daken

Hieronder wordt een globale uitleg gegeven over de werking van zonnepanelen. Deze informatie kan als achtergrondinformatie worden gebruikt voor dit rapport.

De bron van deze informatie: <http://www.maxxart.nl/uitleg%20pv.html>.

De huidige zonnecellen worden vervaardigd uit silicium. Er zijn drie verschillende typen cellen te onderscheiden:

- Mono-kristallijne zonnecellen zijn gemaakt van siliciumplakken, die uit een groot donkerblauw “monokristal” zijn gezaagd, waarin de siliciumatomen netjes gerangschikt zijn. Dit is een kostbaar en tijdrovend proces. Rendementen gaan van 14% tot 18%
- Multi-kristallijne zonnecellen worden gegoten en zijn eenvoudiger en goedkoper te maken dan cellen uit mono-kristallijn silicium. Tijdens het stollen ontstaan de verschillende kristalgebieden die het materiaal zijn karakteristiek uiterlijk geven (gestructureerd blauw). Deze cellen zijn eenvoudiger te produceren en hierdoor goedkoper. Het rendement van deze cellen ligt in het algemeen iets lager dan dat van monokristallijne zonnecellen. Opbrengstrendementen van 12% tot 15%.
- Amorf silicium wordt niet zoals beide voorgaande kristallijnmaterialen uit een blok silicium gezaagd, maar wordt op een ondersteunend materiaal “opgedampt”. Zo zijn er amorf silicium pv-cellen, die bij massaproductie relatief goedkoop zijn. Door het gebruik van relatief weinig silicium ligt de opbrengst lager dan bij de kristallijne panelen (6 tot 8%). De kleur is bruin.

Door een aantal van die zonnecellen met elkaar te verbinden kan er een bruikbare hoeveelheid elektriciteit worden verkregen. Zo’n verzameling van zonnecellen wordt ondergebracht in een zonnepaneel.

Gemiddeld produceren 8 m² PV panelen jaarlijks ongeveer 850 kWh. De productie hangt af van verschillende criteria zoals de zonnestraling in het vlak van de panelen, het rendement van de gebruikte panelen en van de omvormer, maar ook van andere parameters eigen aan de plaats en opstelling van de installatie. Het vermogen van een pv-zonnecel wordt uitgedrukt in Watt-piek (Wp). Dit is het vermogen gemeten onder standaard testcondities:

- Instraling loodrecht op het paneel: 1000 W/m².
- Paneeltemperatuur: 25°C.
- Specifiek licht spectrum vastgelegd in de norm IEC60904-3: Dit spectrum wordt aangeduid met AM 1.5 ofwel Air Mass 1.5. Zonlicht dat door de schuine inval op aarde een luchtdikte van 1.5 maal de atmosferedikte heeft afgelegd, heeft ongeveer het AM 1.5 spectrum.

8 m² paneeloppervlakte produceert jaarlijks ongeveer 850kWh voor een installatie gericht op het zuiden onder een hellingshoek van 35°. Indien de oriëntatie zich situeert tussen zuidoost en zuidwest en de hellingshoek gelegen is tussen 25° en 60° heeft dit slechts een invloed van ongeveer 5% op de gemiddelde jaarlijks opgewekte energie. 8 m² paneeloppervlakte komt ongeveer overeen met een geïnstalleerd vermogen van 1 kWp. Het aantal zonne-uren per jaar is ook van invloed op de productie van de panelen. Het aantal zonne-uren is afhankelijk van de plaats binnen Nederland.

De opbrengst, de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit, van een PV-paneel hangt af van de instraling die het zonnepaneel op kan vangen. Die wordt niet alleen bepaald door de intensiteit van het invallend licht, maar ook van de hellingshoek, temperatuur en

oriëntatie van een zonnepaneel.

De straling die van de zon komt voorziet de aarde van een enorme hoeveelheid energie. Gemiddeld wordt op aarde jaarlijks 1700 kWh per vierkante meter ingestraald. In Nederland is de instraling ongeveer 1015 kWh/m² op jaarbasis. Deze straling kan met behulp van zonnepanelen rechtstreeks omgezet worden in elektriciteit.

Daglicht bestaat uit direct zonlicht en indirect, diffuus licht. Direct zonlicht heeft meer energie dan indirect licht. Een zonnepaneel geeft dus meer elektriciteit als het optimaal op de zon is gericht. Van belang hierbij zijn de hellingshoek en de oriëntatie. Aangezien de zon en de aarde draaien, verschilt de optimale situering per locatie. In Nederland wordt de maximale opbrengst op jaarbasis gehaald met een paneel dat recht op het zuiden is gericht onder een hoek van 36°.

De intensiteit van de zonnestraling verandert met het uur van de dag, de tijd van het jaar en de weersomstandigheden. Om toch gemakkelijk te kunnen rekenen met gegevens over de instraling, kan de totale hoeveelheid zonne-energie worden uitgedrukt in uren volle zon per m². Als standaard wordt aangenomen dat bij 'volle zon' een vermogen van 1000 W per m² op het aardoppervlak wordt ingestraald. Eén uur volle zon levert dan dus als maat 1000 Wh per m² = 1 kWh/m². Een zonaanbod van één uur volle zon (dus 1 kWh/m²) komt ruwweg overeen met de zonne-energie die op een wolkenloze zomerdag op een op de zon gericht vlak valt. Het totale jaarlijkse zonaanbod in Nederland komt overeen met ongeveer 1000 uur volle zon. Met andere woorden: de gemiddelde jaarlijkse zoninstraling in ons land is circa 1000 kWh/m². Voor ontwerp van PV-systemen wordt in Nederland 1000 kWh/m²/jaar als kengetal gehanteerd. In Nederland is het daggemiddelde 2,7 uur volle zon (2,7 kWh/m²). Dit is een gemiddelde over december (0,5 uur) tot juni (5 uur). Het verschil tussen zonne-energie-instraling in zomer en winter is dus een factor 10. Ook binnen Nederland zelf kan de zoninstraling iets variëren. De kustgebieden blijken iets meer zon te ontvangen dan de meer landinwaarts gelegen gebieden.

Teneinde de straling effectief op te kunnen vangen, moeten zonnepanelen naar de zon gericht staan. De opbrengst van een PV systeem hangt af van de oriëntatie en de hellingshoek. Welke hellingshoek optimaal is voor een PV-systeem hangt af van de toepassing en de plek. Het paneel van een systeem dat de grootste energievraag in de winter heeft kan het best onder een hoek van 70° op het zuiden staan. Bij een systeem dat alleen in de zomer wordt gebruikt, is een wat platter opgesteld paneel (bijvoorbeeld 30°) gunstiger, omdat de zon in de zomer een hogere baan langs de hemelkoepel beschrijft.

De optimale oriëntatie van een vrijstaand PV-systeem is meestal goed te realiseren. Bij een zonnestroomsysteem voor een gebouw is het niet altijd mogelijk de panelen op het zuiden te plaatsen. Waar het dan op aankomt is een zo goed mogelijke hellingshoek te zoeken bij de beste oriëntatie. Is de oriëntatie oost of west, dan is met een dakhelling van 20° nog altijd 80 á 85% van het maximum haalbaar.

Bijlage 2: Technische randvoorwaarden

Databasegegevens:

Oracle database 10g Enterprise Edition Release 10.2.0.3.0 – 64bi

PL/SQL Release 10.2.0.3.0

CORE Release 10.2.0.3.0

TNS for Linux version 10.2.0.3.0

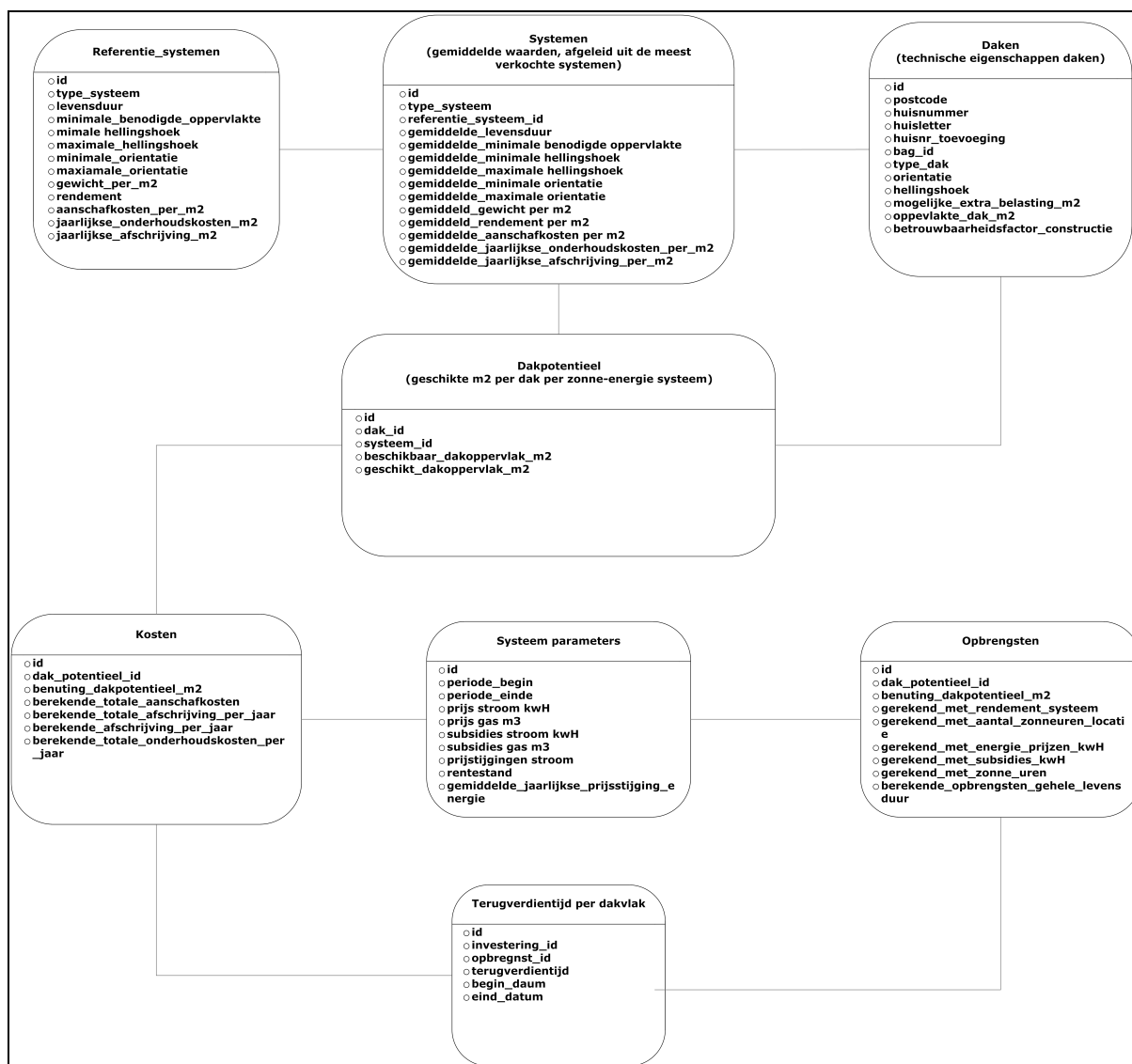
NLSRTL version 10.2.0.3.0

ArcGIS-gegevens:

ESRI Desktop Evaluation Edition 9.3.1

Licentie type: ArcEditor

Extensies: Spatial Analyst/ 3D Analyst/ Data interoperability



Figuur 36: ERD rekenmodel

ID	OMSCHRIJVING	WAARDE	TOELICHTING	DATUM_BEGIN	DATUM_EINDE
1	minimale oppervlakte nodig	5		18-08-2010 12:34:10	
2	schaduwbeperking	0,66	schaduwwerking op platte daken	18-08-2010 12:35:02	
3	benuttingpercentage	100	mate van benutting van beschikbaar oppervlak	18-08-2010 12:35:26	
4	spaarrente_10_jaar	4,5	rekenvariabele (rente verlies op investering)	18-08-2010 12:44:44	
5	jaarlijkse prijsstijging_stroom	5	rekenvariabele	18-08-2010 12:59:51	
6	prijs_kwh	0,22	huidige stroomprijs (aug. 2010)	18-08-2010 13:00:18	
7	opbrengst_systeem_kwh	1000	gewenst vermogen	18-08-2010 13:02:31	
8	rente_opbrengst	2,2	rekenvariabele (rente op de opbrengst)	19-08-2010 16:35:09	
10	zoninstraling Assen	965	kWh/jaar/m2	30-08-2010 22:21:02	
11	bewolkingsfactor	0,86	bewolkingsfactor (uit ArcGIS)	01-09-2010 18:28:38	
12	correctiefactor_platte_daken	1,07	correctiefactor ivm hellingshoek panelen op platte daken	07-09-2010 16:54:56	

Figuur 37: inhoud tabel 'Systeem_parameters'

ID	TYPE_DAK	PRIJS_SYSTEEM_INCL_BTW	RENDEMENT	MERK_EN_TYPE_SYSTEEM	OPPERVLAKTE_NODIG	STC_VERMOGEN_WP	PRIJS_WP
50	Platdak	11699	7	3312 WP Amorf	134	3312	3,53230676328502
110	Platdak	49220	15	CSV PVTech 15120	109,2	15120	3,25529100529101
100	Zadeldak	49220	15	CSV PVTech 15120	109,2	15120	3,25529100529101
70	Platdak	13699	13	3600 Silicium	70	3600	3,80527777777778
60	Zadeldak	10599	7	3312 Amorf	60	3312	3,20018115942029
10	Platdak	4299	7	1104 WP Amorf	45	1104	3,89402173913043
80	Zadeldak	13699	13	3600 WP Silicium	26	3600	3,80527777777778
30	Platdak	4499	12,5	1080 WP Silicium	21	1080	4,16574074074074
20	Zadeldak	3999	7	1104 WP Amorf	20	1104	3,62228260869565
130	Platdak	4298	15	CSV PVTech 1260	8,9	1260	3,41111111111111
40	Zadeldak	4299	13,97	1080 WP Silicium	8	1080	3,98055555555556
90	Platdak	1963	15	CSV PVTech 540	3,9	540	3,63518518518519
120	Zadeldak	1963	15	CSV PVTech 540	3,9	540	3,63518518518519

Figuur 38: inhoud tabel systemen (view) waaruit keus wordt gemaakt voor een systeem bij benutting maximale oppervlakte

ID	TYPE_DAK	PRIJS_SYSTEEM	RENDEMENT	GEWENSTE_OPBRENGST	MERK_EN_TYPE_SYSTEEM	OPP_NODIG	STC_VERMOGEN_WP	PRIJS_WP
30	Platdak	4499	12,5	1000	1080 WP Silicium	21	1080	4,16574074074074
40	Zadeldak	4299	13,97	1000	1080 WP Silicium	8	1080	3,98055555555556
10	Platdak	4299	7	1000	1104 WP Amorf	45	1104	3,89402173913043
20	Zadeldak	3999	7	1000	1104 WP Amorf	20	1104	3,62228260869565
130	Platdak	4298	15	1000	CSV PVTech 1260	8,9	1260	3,41111111111111

Figuur 39: inhoud tabel systemen (view) waaruit keus wordt gemaakt voor een systeem van 1000 kWh/jaar

	MERK_EN_TYPE_SYSTEEM	TYPE_DAK	PRIJS_SYSTEEM_INCL_BTW	OPP_SYSTEEM	KWH_JAAR	STC_VERMOGEN_WP	RENDEMENT_SYSTEEM
▶	1104 WP Amorf	Platdak	4299	45	1005	1104	7
	1104 WP Amorf	Zadeldak	3999	20	1005	1104	7
	1080 WP Silicium	Platdak	4499	21	918	1080	17
	1080 WP Silicium	Zadeldak	4299	8	918	1080	17
	3600 WP Silicium	Zadeldak	13699	26	3060	3600	17
	3312 WP Amorf	Platdak	11699	134	3017	3312	7
	3312 Amorf	Zadeldak	10599	60	3017	3312	7
	3600 Silicium	Platdak	13699	70	3060	3600	17
	CSV PVTech 540	Platdak	1963	3,9	449	540	17
	CSV PVTech 15120	Zadeldak	49220	109,2	12586	15120	17
	CSV PVTech 15120	Platdak	49220	109,2	12586	15120	17
	CSV PVTech 540	Zadeldak	1963	3,9	449	540	17
	CSV PVTech 1260	Platdak	4298	8,9	1121	1260	17

Figuur 40: inhoud tabel referentie_systemen

Bijlage 3: Rentepercentages en energieprijzen

Onderwerpen	Aardgas			Elektriciteit	
	Kleinverbruik			Huishoudelijk en klein zakelijk verbruik	
	500 m3	2000 m3	50 000 m3	150 000 m3	3000 kWh enkeltarief
Perioden	euro/1 000 m3			euro/1 000 kWh	
1996	276	218	208	207	103
1997	299	248	243	243	104
1998	296	253	252	252	105
1999	269	249	236	234	113
2000	290	278	253	250	128
2001	432	361	280	276	157
2002	451	387	306	301	159
2003	517	423	331	326	164
2004	558	436	334	328	170
2005	701	503	398	393	184
2006 1e kwartaal	757	552	462	458	194
2006 2e kwartaal	757	552	462	458	194
2006 3e kwartaal	763	557	467	463	197
2006 4e kwartaal	764	558	468	464	198
2006	760	555	465	461	196
2007 1e kwartaal	803	597	514	510	213
2007 2e kwartaal	804	597	513	510	214
2007 3e kwartaal	775	565	481	478	212
2007 4e kwartaal	774	565	481	478	212
2007	789	581	497	494	213
2008 1e kwartaal	788	576	491	488	213
2008 2e kwartaal	788	577	492	489	213
2008 3e kwartaal	817	622	542	539	218
2008 4e kwartaal	817	622	542	539	219
2008	801	598	516	512	215
2009 1e kwartaal	894	668	578	575	269
2009 2e kwartaal	893	667	577	574	269
2009 3e kwartaal	741	515	425	422	264
2009 4e kwartaal	741	515	425	421	264
2009	817	591	501	498	267
2010 1e kwartaal	748	518	425	422	250

© Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen 18-8-2010

Figuur 41: prijsstijgingen 1000Kwh 1996-2010 (CBS.nl, aug. 2010)

Energieverbruik Nederland, 1990 - 1998

	1990	1994	1998
	Petajoule (PJ)		
<i>Niet gecorrigeerd voor buitentemperatuur</i>			
Energieverbruik Nederland	2702	2849	3024
Raffinaderijen	159	172	188
Elektriciteits- en warmteproductie	303	325	307
Andere energiebedrijven	66	87	116
Industrie	956	967	995
Verkeer	375	404	445
Huishoudens	404	421	423
Diensten en landbouw	425	464	515
<i>Gecorrigeerd voor buitentemperatuur</i>			
Energieverbruik Nederland	2812	2915	3090
Raffinaderijen	160	173	189
Elektriciteits- en warmteproductie	305	326	308
Andere energiebedrijven	66	87	116
Industrie	970	975	1002
Verkeer	375	404	446
Huishoudens	456	450	454
Diensten en landbouw	468	491	541

Tabel 7: trends in Nederlands energieverbruik (Bron: CBS persbericht, PB99-145, 7 juni 1999, 9.30 uur)

NIBC Direct ZekerMeer				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	4,50%	7,6	Looptijd: 120 maanden	
Credit Europe Termijndeposito (lang lopend)				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	4,25%	7,8	Looptijd: 120 maanden	
LeasePlan Bank Termijndeposito				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	
	4,00%	Niet bekend	Looptijd: 60 maanden	
Rabo DoelSparen				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	
	4,00%	6,9	Looptijd: 120 maanden	
REAAL Deposito Rekening				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	3,80%	6,9	Looptijd: 120 maanden	

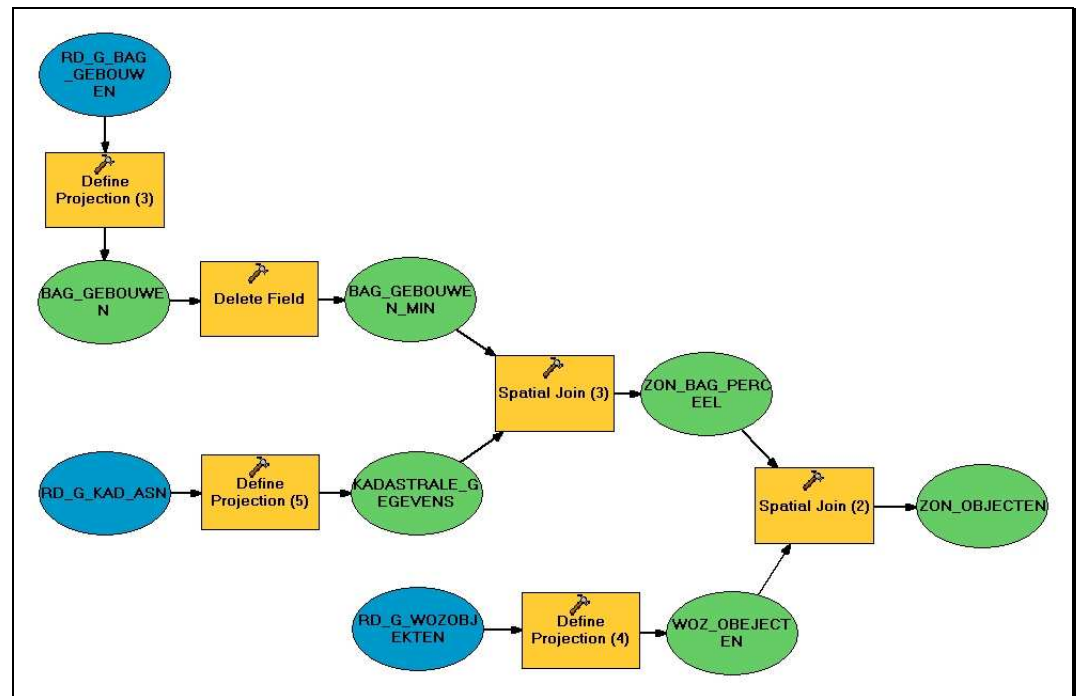
Figuur 42: overzicht spaarrentes met een looptijd van 10 jaar (Bron: www.independ.nl)

Bank of Scotland Internet Spaarrekening				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	2,40%	Niet bekend	Aktie: € 30 kado. Geen DNB gar...	
MoneYou Spaarrekening				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	2,30%	7,3	MoneYou deelt haar bankvergunn...	
Anadolu Alfa Spaarrekening				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	
	2,30%	7,7	Internetbankieren niet mogelijk	
NIBC Direct Internetspaarrekening				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	2,25%	7,6		
Argenta Internetspaarrekening				Details
	rente	klantopinie	bijzonderheden	NAAR AANBIEDER
	2,25%	7,5	Geen DNB garantie; Argenta val...	

Figuur 43: overzicht spaarrentes zonder vaste looptijd (Bron: www.independ.nl)

Bijlage 4: ArcGIS-modellen

Bepalen zon objecten



Figuur 44: ArcGIS model aanmaken alle objecten

Input:

- vectorbestand RD_G_BAG_GEBOUWEN
- vectorbestand RD_G_KAD_ASN
- vectorbestand RD_G_WOZ_OBJECTEN

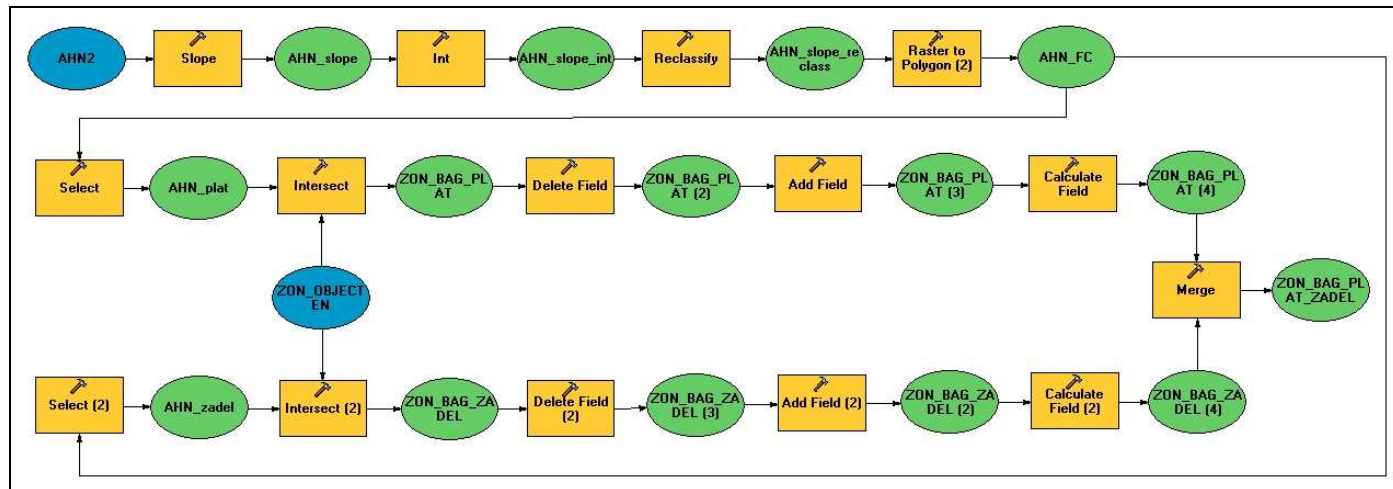
Functies:

- define projection: coördinaten systeem RD_NEW.
- spatial Join (3): keep all target features
join-operation = ONE_TO_ONE
match option = Intersect
search Radius = 0 meter
- spatial Join (2): keep all target features
join-operation = ONE_TO_ONE
match option = Intersect
search radius = 0 meter

Eindproduct:

- vectorbestand ZON_OBJECTEN

Bepalen platte en zadeldaken



Figuur 45: ArcGIS model bepalen platte daken en zadeldaken

Input:

- rasterbestand AHN2
- vectorbestand ZON_OBJECTEN

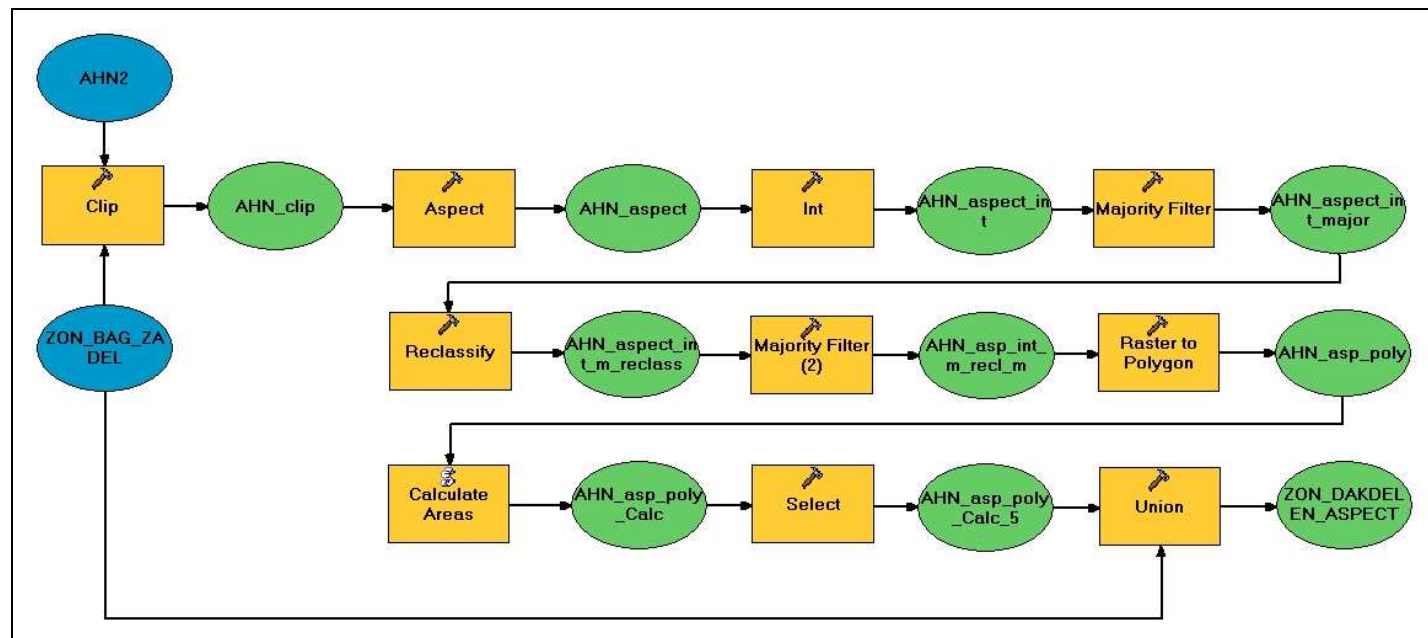
Functies:

- slope degrees
- int
- reclassify waarden 0-14 => value 1
waarden 14 – 73 => value 2
waarden 73 – 87 => value 3
- raster to polygon (2) Simplify niet aangevinkt
- select/select (2) Gridcode = 1 voor platte daken
Gridcode = 2 voor zadeldaken
- intersect/intersect (2) Join Attributes = All
- delete field/delete field (2) overbodige velden verwijderen
- add Field/add field (2) toevoegen veld 'Roof_type'
- calculate field toewijzen waarde 'Zadeldak' aan veld 'Roof_type'
- calculate field (2) toewijzen waarde 'Platdak' aan veld 'Roof_type'
- merge

Eindproducten:

- vectorbestand ZON_BAG_PLAT (alle platte daken)
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL (alle zadeldaken)
- vectorbestand ZON_BAG_PLAT_ZADEL (platte daken en zadeldaken)

Bepalen oriëntatie van zadeldakdelen



Figuur 46: ArcGIS model bepalen oriëntatie van zadeldakvlakken

Input:

- rasterbestand AHN2
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL (alle zadeldaken)

Functies:

- clip clip to features aangevinkt
- aspect
- int
- majority Filter numbers = 8
replacement = half
- reclassify waarden -1 - 22 => 1
waarden 22 - 67 => 2
waarden 67 - 112 => 3
waarden 112 - 157 => 4
waarden 157 - 202 => 5
waarden 202 - 247 => 6
waarden 247 - 292 => 7
waarden 292 - 337 => 8
waarden 337 - 360 => 1
- majority filter numbers = 8
replacement = half
- raster to polygon simplify niet aangevinkt
- calculate Area's
- select shape_aarea>5

- union join attributes = All

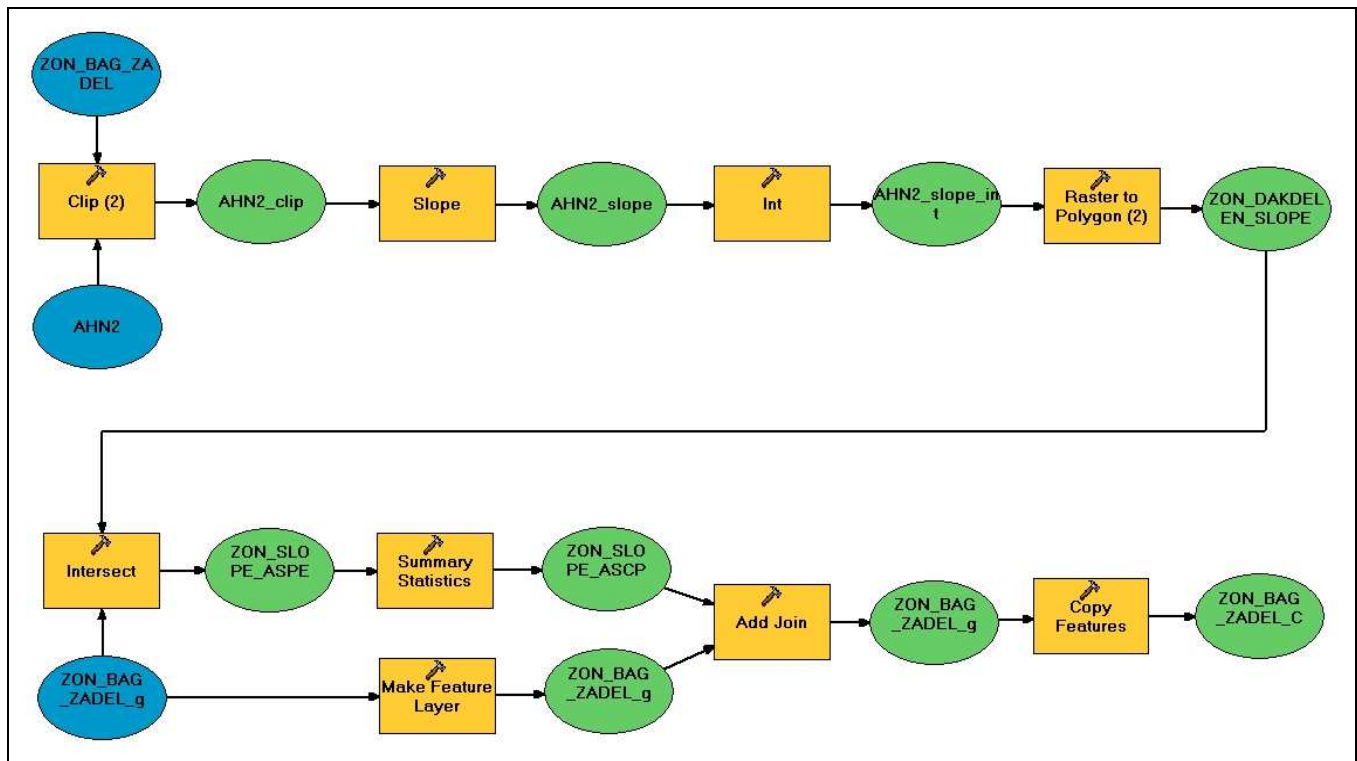
Eindproduct:

- vectorbestand ZON_DAKDELEN_ASPECT (Alle zadeldakdelen voorzien van orientatie)

Wordt gebruikt in:

- bepalen zonrijke zadeldakvlakken

Bepalen hellingshoek van zadeldakvlakken



Figuur 47: ArcGIS model bepalen hellingshoek van zadeldakvlakken

Input:

- rasterbestand AHN2
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL
- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL_geschikt (alle zadeldaken)

Functies:

- slope degrees
- int
- raster to polygon (2) simplify niet aangevinkt
- intersect JoinAttributes = All
- summary statistics avg hellingshoek case by dakdeel_id
- add join objectid aan dakdeel_id
- copy features

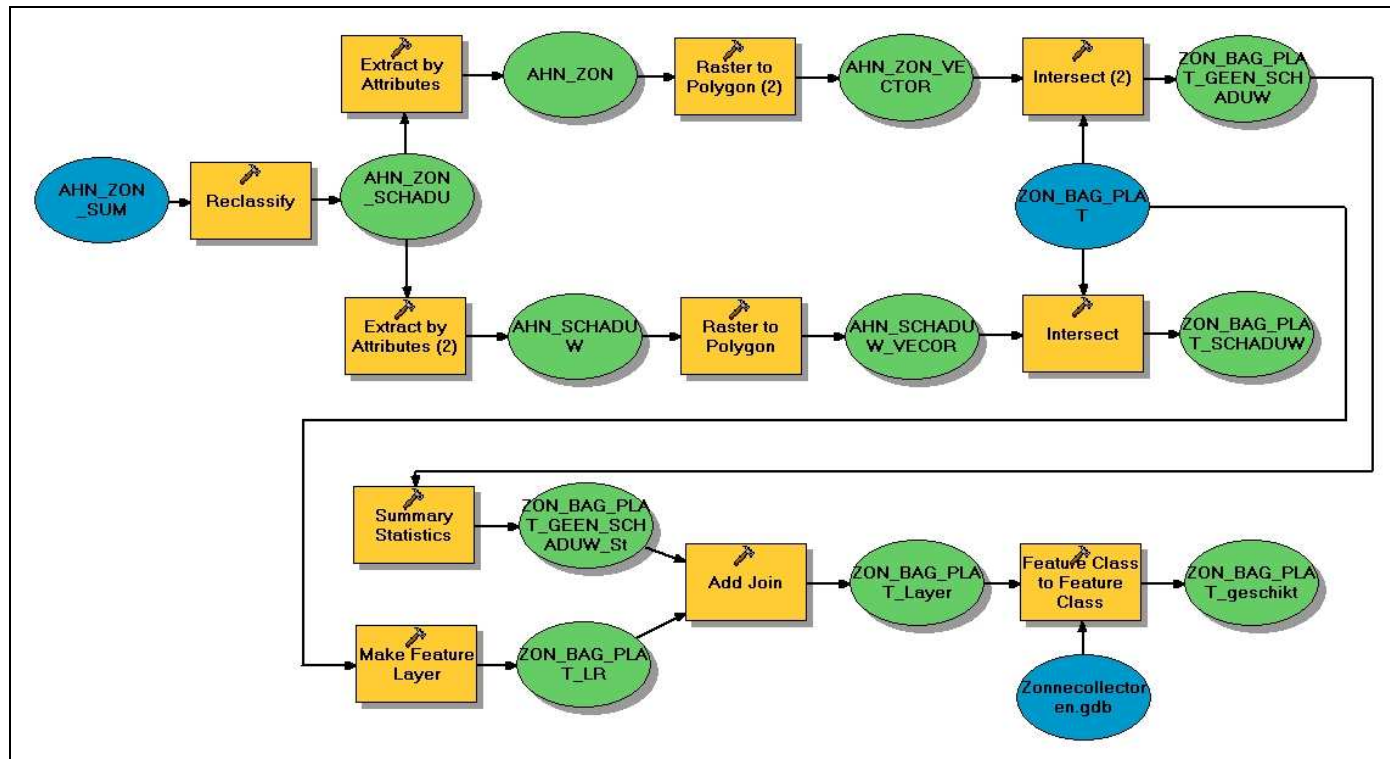
Eindproduct:

- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL_COMPLEET (incl. hellingshoek en oriëntatie)

Wordt gebruikt in:

- samenvoegen zonrijke platte en zadeldakvlakken

Bepalen zonrijke platte dakdelen



Figuur 48: ArcGIS model bepalen zonrijke platte dakdelen

Input:

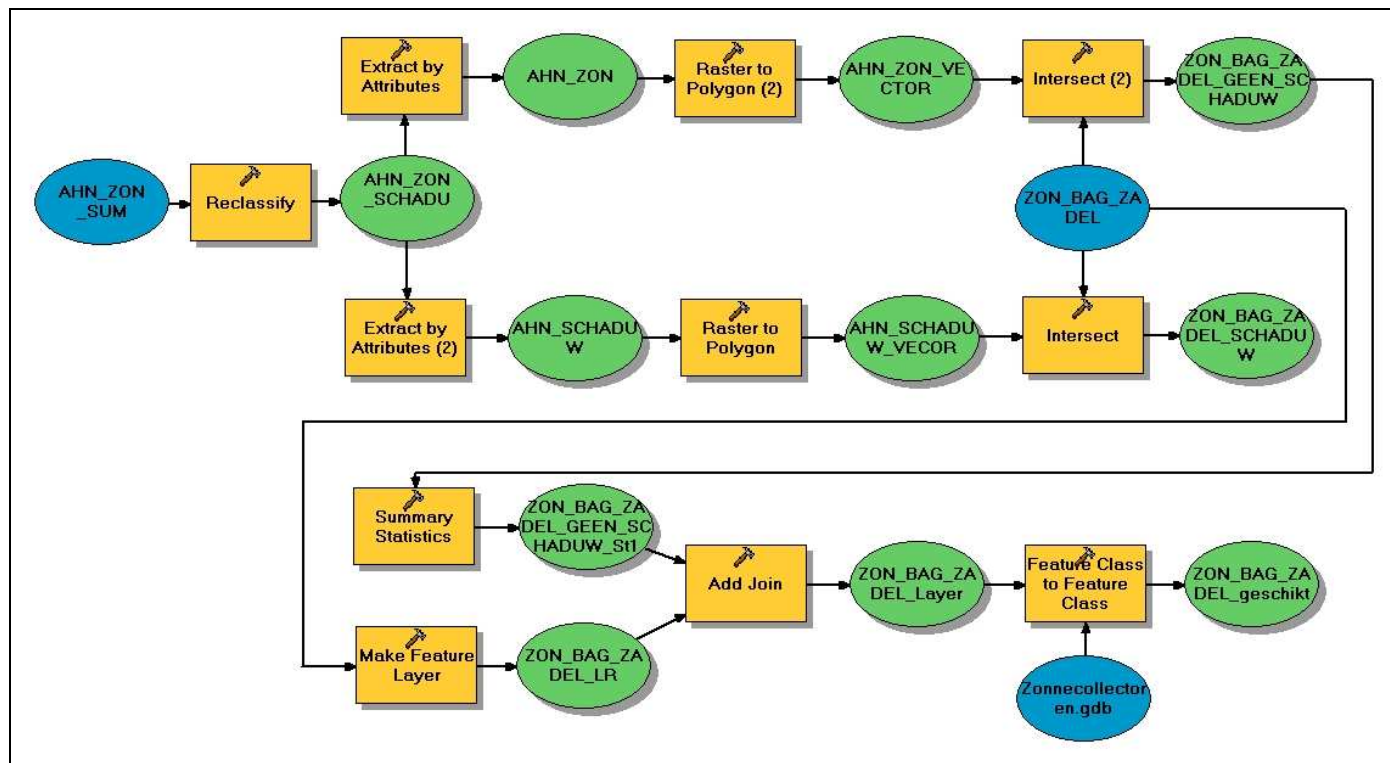
- rasterbestand AHN_ZON_SUM
- vectorbestand ZON_BAG_PLAT

Functies:

- reclassify waarden 1325 - 399204 => 1
waarden 399204 - 1145785 => 2
- extract by attributes value 1 = schaduw
- extract by attributes (2) value 2 = zonrijk
- raster to polygon simplify niet aangevinkt
- raster to polygon(2) simplify niet aangevinkt
- intersect/intersect (2) JoinAttributes = All
- summary statistics SUM op Shape Area, case by FID_ZON_BAG_PLAT
- make feature layer
- add Join join OBJECTID aan FID_ZON_BAG_PLAT, keep all
- feature class to feature class

Eindproduct:

- vectorbestand ZON_BAG_PLAT_geschikt



Figuur 49: ArcGIS model om zonrijke dakdelen te bepalen

Input:

- rasterbestand AHN_ZON_SUM
- vectorbestand ZON BAG ZADEL

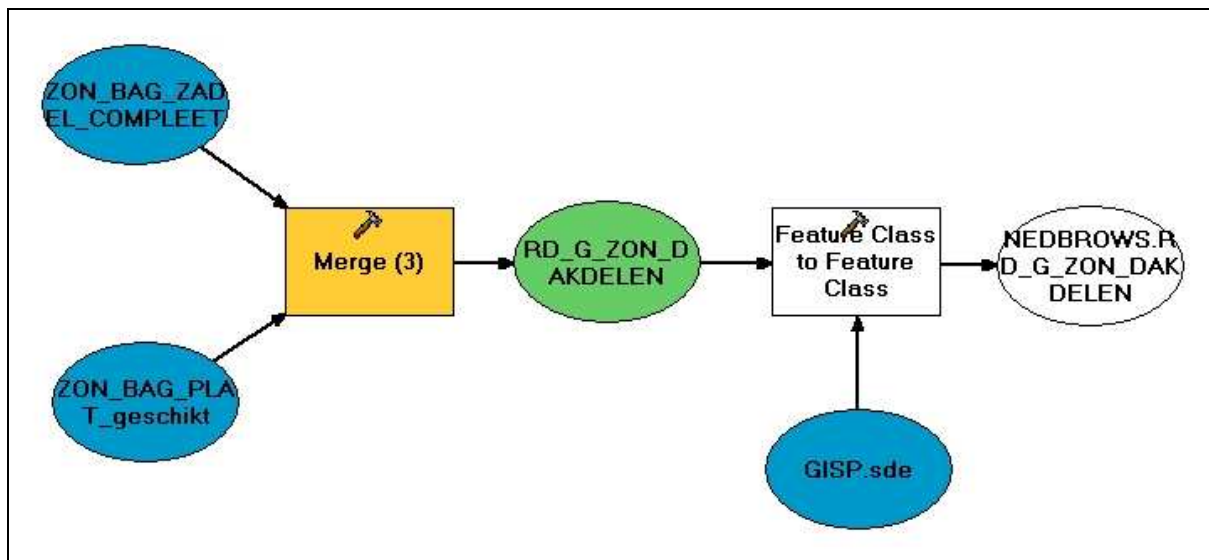
Functies:

- reclassify
waarden 1325 - 399204 => 1
waarden 399204 - 1145785 => 2
- extract by attributes
value 1 = schaduw
- extract by attributes (2)
value 2 = zonrijk
- raster to polygon/ raster to polygon(2) simplify niet aangevinkt
- intersect/intersect (2)
JoinAttributes = All
- summary statistics
SUM op Shape Area
case by FID_ZON_BAG_ZADEL
- make feature layer
- add Join
join OBJECTID aan FID_ZON_BAG_ZADEL, keep all
- feature class to feature class

Eindproduct:

- vectorbestand ZON BAG ZADEL geschikt

Samenvoegen zonrijke platte en zadeldakdelen



Figuur 50: ArcGIS model samenvoegen platte en zadeldakdelen

Input:

- vectorbestand ZON_BAG_ZADEL_compleet
- vectorbestand ZON_BAG_PLAT_geschikt

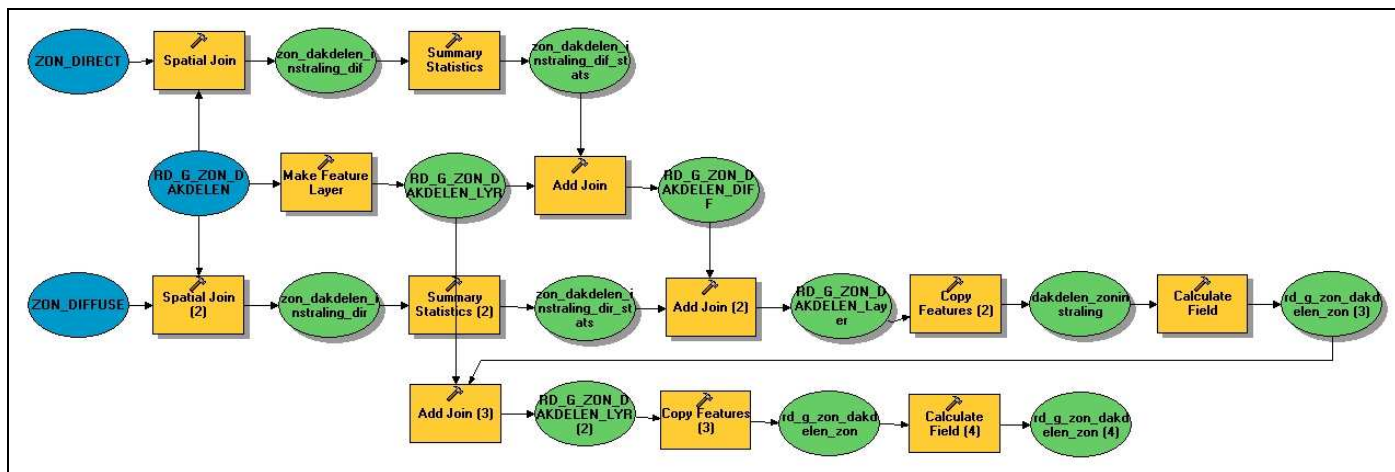
Functies:

- merge
- feature class to feature class (werkt alleen indien GISP.SDE beschikbaar)

Eindproduct:

- vectorbestand RD_G_ZON_DAKDELEN

Bepalen zoninstraling per dakvlak



Figuur 51: ArcGIS-model bepalen gemiddelde zoninstraling per dakvlak per m2

Input:

- vectorbestand ZON_DIRECT
- vectorbestand ZON_DIFFUSE

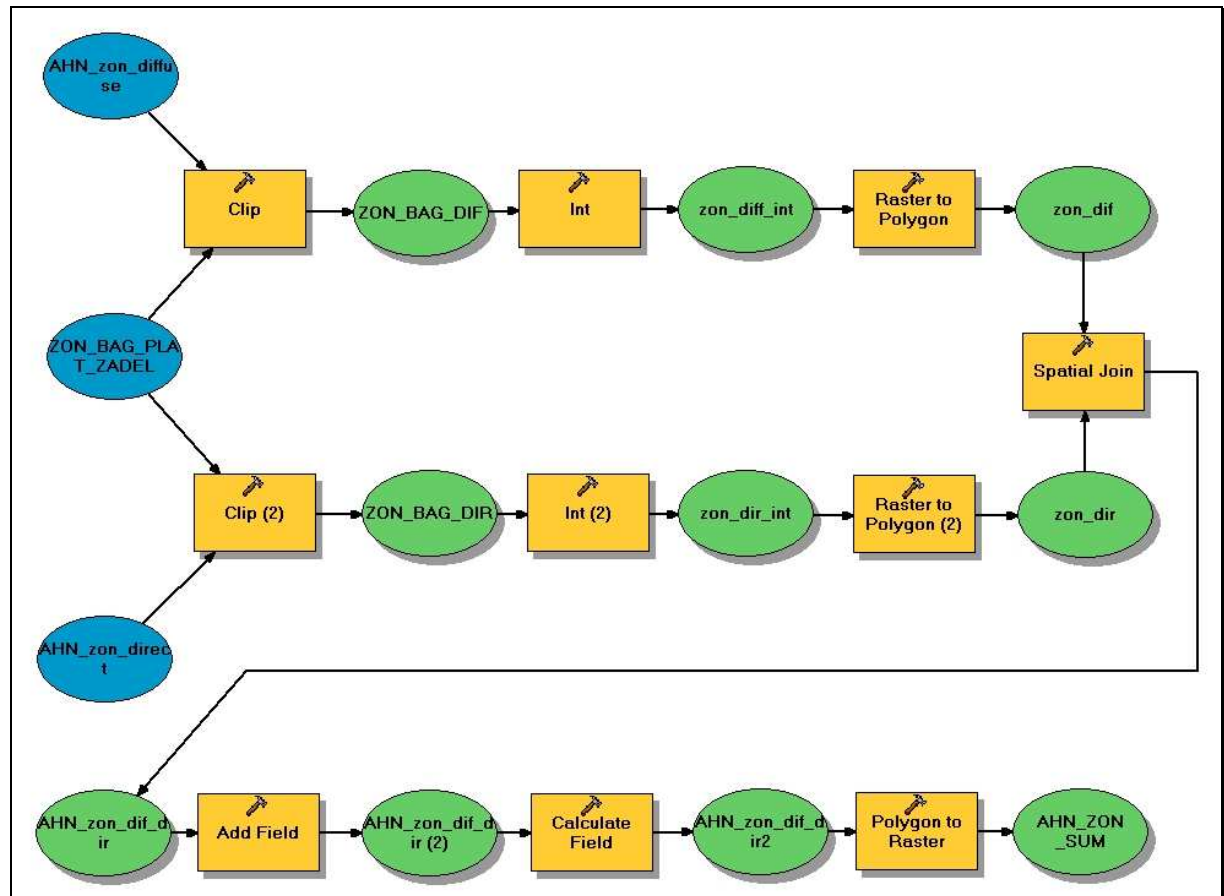
Functies:

- spatial join/spatial Join(2) keep all target features
join-operation = ONE_TO_ONE
match option = intersect
search radius = 0 meter
- summary statistics sum value, case by dakdeel_id
- summary statistics(2) sum value, case by dakdeel_id
- add Join/add Join(2) objectid aan dakdeel_id
- copy features(2)
- calculate field objectid = dakdeel_id
- add join(3)
- copy features(3)
- calculate field(4) kwh_m2_jaar = zon_sum

Eindproduct:

- vectorbestand RD_G_ZON_DAKDELEN_zon

Samenvoegen directe en diffuse zoninstraling



Figuur 52: AcGIS-model samenvoegen directe en diffuse zoninstraling

Input:

- rasterbestand ZON_zon_diffuse
- rasterbestand ZON_zon_direct
- vectorbestand ZON_BAG_PLAT_ZADEL

Functies:

- clip/clip(2) clip to Features aangevinkt
- int/int(2)
- raster to polygon/raster to polygon(2) simplify niet aangevinkt
- spatial join keep all target features
join-operation = ONE_TO_ONE
match option = intersect , search radius =0 meter
- addfield Sum_zon_dir_dif
- calculate field Sum_zon_dir_dif = GRIDCODE1+GRIDCODE2
- polygon to raster

Eindproduct:

- rasterbestand AHN_ZON_SUM

Toelichting ArcGIS-functie 'Solar Radiation'

In deze paragraaf wordt ingegaan op het gebruik van de ArcGIS-functie 'Solar Radiation' en de gebruikte instellingen hierbij.

De werking en achtergrond van deze ArcGIS-functie is complex en zal in dit rapport verder niet worden beschreven. Voor aanvullende informatie over de werking hiervan wordt doorverwezen naar de website van ESRI:

[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=An overview of the Solar Radiation tools](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=An+overview+of+the+Solar+Radiation+tools) (aug. 2010) of naar de helpfiles van ArcGIS (zoeken op 'Solar Radiation').

Volgens het ArcGIS-model bestaat zoninstraling uit twee varianten: directe instraling en diffuse instraling. De som van deze twee vormen van instraling is de totale instraling. Bij de berekeningen kan worden aangegeven in hoeverre rekening gehouden dient te worden met bewolking. Omdat de bewolkingsfactor in de gegevens van het KNMI is verwerkt en als betrouwbaar wordt geacht (dit zijn gemeten waarden), wordt het ArcGIS-model gebruikt om de condities zonder bewolking na te bootsen.

De instelling die hiervoor wordt gebruikt is 'Diffuse Proportion' waarbij een waarde tussen de 0 en 1 kan worden ingegeven. De beschrijving hierbij luidt: 'typically it is approximately 0,2 for very clear sky conditions and 0,7 for very cloudy sky conditions'. Deze waarde is ingesteld op 0,2 waarmee een erg onbewolkte lucht wordt nagebootst.

De uitvoer van deze functie levert twee bestanden op. Dit zijn rasterbestanden met cellen die in plaats van een hoogtewaarde nu een waarde van zoninstraling hebben. De namen van de bestanden waar in deze opdracht mee wordt gewerkt zijn 'AHN_ZON_DIRECT' en 'AHN_ZON_DIFFUSE'.

Door de waarden van deze bestanden bij elkaar op te tellen wordt de totale hoeveelheid zoninstraling verkregen. Dit levert het rasterbestand 'AHN_ZON_SUM' op. Het ArcGISmodel van het optellen van de directe en diffuse instraling is toegevoegd in bijlage 4: 'samenvoegen zoninstraling'.

Het ArcGISmodel van het optellen van de directe en diffuse instraling is toegevoegd in bijlage 4: 'samenvoegen zoninstraling'.

De periode van berekening is gesteld op één heel jaar, met een interval van 14 dagen en een half uur. Dat betekent dat voor elke cel vanaf dag 1 tot dag 365 eens in de 14 dagen, en 48 keer per dag wordt bepaald wat de zoninstraling is.

Het is ook mogelijk om de intervaltijden te veranderen. Zo kan bijvoorbeeld voor elke dag in plaats van eens in de 14 dagen de instraling worden bepaald en kan de tijdsinterval van een half uur ook een andere waarde krijgen. Hiermee kan de nauwkeurigheid van deze functie worden vergroot.

Voor de doeleinden voor deze opdracht is aangenomen dat een opname van eens in de 14 dagen met een tijdsinterval van een half uur, genoeg gedetailleerde gegevens oplevert om een juiste hoeveelheid zoninstraling te bepalen.