

De haalbaarheid van investeringen in fotovoltaïsche systemen bij bedrijven

Opstellen van een analysemodel

Maarten Kupers

promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

Voorwoord

Het schrijven van deze masterproef vormt het sluitstuk van mijn opleiding handelsingenieur, afstudeerrichting Technologie- Innovatie- en Milieumanagement.

De keuze van dit onderwerp sluit nauw aan bij mijn interesses in zowel de technische als de financiële wereld, alsmede mijn aandacht voor de milieuproblematiek.

Hoewel het schrijven van deze masterproef een zeer boeiende opgave was, kan zeker niet gezegd worden dat het gemakkelijk was. Daarom wil ik een aantal personen bedanken voor de geboden hulp.

Allereerst gaat mijn dank uit naar mij promotor, Prof. dr. Thewys. Zonder zijn raad en verbeteringen was deze masterproef nooit geworden wat het nu is.

Verder gaat mijn oprechte dank uit naar al de medewerkers van Intellisol NV. Enerzijds voor de mogelijkheid die ze mij geboden hebben om een stageperiode te doorlopen, anderzijds voor het beantwoorden van de vele vragen die ik achteraf nog had.

Ook wil ik mijn ouders bedanken voor alle morele en financiële steun van de afgelopen 5 jaar en voor de kans die ze mij geboden hebben om deze studies te kunnen voltooien. Zowel tijdens mijn universitaire carrière als bij het opstellen van deze masterproef stonden ze op elk moment van de dag voor me klaar.

Tenslotte wil ik mijn kotgenoten en andere vrienden bedanken voor de momenten van ontspanning, die toch zeker nodig waren.

Maarten Kupers,

Mei 2010

Samenvatting

Aan de basis van deze masterproef lagen enkele belangrijke grondslagen. Allereerst is er de problematiek rond de uitputting van de voorraden van fossiele brandstoffen. Daarnaast vormt de regionale concentratie van deze voorraden ook een groot probleem, zeker voor een land als België, dat te kampen heeft met een grote energieafhankelijkheid van het buitenland. Ten tweede zijn er de negatieve effecten voor het leefmilieu, die gepaard gaan met het verbranden van fossiele brandstoffen. Een grote verantwoordelijkheid voor het uitstoten van broeikasgassen in België ligt bij de gewone en energieproducerende industrieën. Uit cijfers van de nationale klimaatcommissie blijkt namelijk dat meer dan 50% van de uitstoot van broeikasgassen in België gebeurt door voornoemde industrieën. Om de gevolgen van deze uitstoot terug te dringen zal het dus van belang zijn dat de industrie minder broeikasgassen uitstoot, maar ook dat de energieopwekking op een duurzame manier gebeurt.

Eén van de methodes om tot een duurzame energievoorziening te komen is gebruik maken van fotovoltaïsche (PV) energieopwekking. Bij deze methode wordt er gebruik gemaakt van zonlicht om energie op te wekken. Het ingestraalde zonlicht wordt namelijk geabsorbeerd in een zonnecel, waar elektronen worden losgeslagen en vervolgens een elektrische gelijkstroom vormen. Momenteel worden de meeste cellen op de markt gemaakt van Silicium, een halfgeleidend materiaal. Toch hebben de laatste jaren enkele andere technologieën, zoals organische zonnecellen, hun opwachting gemaakt op de markt. In hoofdstuk 2 wordt er meer uitleg gegeven over de verschillende soorten en hun werkingsprincipes. Een groot voordeel voor de bedrijfswereld bij het gebruik van PV-installaties is dat deze installaties voor de buitenwereld zichtbaar zijn. Hierdoor zal het bedrijf een duurzamer imago krijgen. Grote industriële bedrijven kunnen zo iets doen aan het vaak slechte, vervuilende, imago dat veel van hen met zich mee dragen.

Uit cijfers van de European Photovoltaic Industry Association blijkt dat de PV-markt de afgelopen jaren een zeer sterke groei heeft gekend. Zo steeg het wereldwijd cumulatief geïnstalleerd vermogen in 2008 met maar liefst 60% ten opzichte van 2007. Een duidelijk bewijs dat meer en meer mensen overtuigd zijn van de mogelijkheden van PV-installaties. Een belangrijk gevolg van deze groei is dat de kostprijs voor PV-installaties wellicht gaat dalen naar de toekomst toe. Hierdoor zou

de kost per kWh, van ongesubsidieerde energieopwekking aan de hand van een PV-installatie, in de buurt komen van de kost van traditionele energiebronnen. Toch is enige voorzichtigheid hier aan te raden, want uit interviews met enkele personen binnen de sector blijkt dat veel fabrikanten de prijzen kunstmatig hoog houden omwille van vraagpieken, ontstaan door veranderingen in subsidiemaatregelen. Een voorbeeld hiervan is de grote vraag naar zonnepanelen in België op het einde van 2009, door de verandering van het subsidiebedrag voor groenestroomcertificaten vanaf 1 januari 2010.

De essentie van deze masterproef is het berekeningsmodel, dat in hoofdstuk 3 uitgebreid besproken wordt. Dit model kan onderverdeeld worden in 4 delen.

Als eerste wordt er, afhankelijk van de verbruiksgegevens van een bedrijf, gezocht naar een optimale dimensie van een PV-installatie. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van een jaarbelastingsduurkromme, waarbij gepoogd wordt om aan een zekere basislast te voldoen en pieklasten op andere manieren aan te vullen. Een belangrijk punt bij het dimensioneren van een PV-installatie is rekening houden met de weersomstandigheden. In duistere maanden zal de opbrengst namelijk minder hoog zijn dan in zonnige maanden. Daarom werd gebruik gemaakt van klimaatgegevens van het Atmospheric Science Data Center, om een zo optimaal mogelijke benadering te krijgen van de werkelijke opbrengsten van de installatie.

Het tweede deel omvat een investeringsanalyse waarbij, voor een periode van 25 jaar, alle relevante kosten en baten van een investering in een PV-systeem in kaart gebracht worden. De belangrijkste baten hierbij zijn de besparing in de aankoop van elektriciteit, opbrengsten van het leveren van elektriciteit aan het net en enkele subsidies. Als belangrijkste kosten worden er, naast het investeringsbedrag zelf, nog kosten opgenomen die voortkomen uit een (eventuele) externe financiering en uit het vervangen van onderdelen van de installatie. Nadat voor elk jaar de kosten en baten berekend werden, zal een jaarlijkse verwachte kasstroom worden bekomen. Vervolgens berekent het model een aantal evaluatiemaatstaven om de kasstromen die voortkomen uit de investering, te kunnen waarderen. Zo kan onderzocht worden of de investering al dan niet rendabel is.

Naast de opbrengsten voor de specifieke onderneming brengt een investering in zonne-energie ook ecologische gevolgen met zich mee. In het derde

onderdeel van het model zal daarom gepoogd worden om de ecologische impact zo goed mogelijk te omschrijven. Zo zal het model onder andere berekenen wat de vermeden CO₂-uitstoot is door de geleverde energie op een duurzame manier op te wekken. Ook zal er een economische waarde gegeven worden aan deze vermeden uitstoot door opbrengsten van verhandelbare emissierechten te berekenen.

Het vierde en laatste onderdeel van het berekeningsmodel omvat een gevoeligheidsanalyse. Hier wordt de gevoeligheid van de basisoplossing, voor veranderingen in de waarde van een aantal parameters nagegaan. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het analysepakket Crystal Ball.

Het opgestelde model werd vervolgens toegepast op een aantal concrete gevalstudies. De resultaten hiervan worden in het vierde hoofdstuk beschreven. Omwille van de slechte dakconstructie, was case 1 een zeer leerrijke case. Hiermee wordt namelijk een potentiële belemmering duidelijk voor PV-investeringen bij bedrijven. Door zowel het gewicht van de panelen zelf, als de last die optreedt door windbelasting, zijn veel bedrijfsdaken niet sterk genoeg om een PV-installatie met klassieke panelen op basis van silicium te kunnen dragen. Daarom moet er uitgeweken worden naar andere, minder rendabele alternatieven. Om het belang van de daksterkte aan te tonen werden voor deze case dan ook berekeningen gemaakt voor wat de maximale meerkost zou zijn, om het dak te verstevigen. Op deze manier wordt er een inzicht verworven in het belang van de sterkte van de dakconstructie voor een PV-installatie.

Uit de gevoeligheidsanalyse, die uitgevoerd werd op beide cases, bleek de grote invloed die de kostprijs van de installatie heeft op het economisch rendement. Ook de toekomstige stijging van de energieprijzen blijkt een significante invloed uit te oefenen op de rendementen. Om investeringen in PV nog rendabeler te maken voor bedrijven zal het naar de toekomst toe dan ook belangrijk zijn dat de kostprijs van de installatie nog verder zal dalen.

Aangezien zonne-energie niet de enige manier is om op een duurzame manier energie op te wekken, werd in het vijfde hoofdstuk een koppeling gemaakt met een soortgelijk model waar investeringen in warmtekrachtkoppeling (WKK) als uitgangspunt genomen worden. Op basis van een specifieke gevalstudie wordt gekeken wat de mogelijkheden zijn om eerst via een WKK aan bepaalde warmtebehoeften te voldoen. Vervolgens wordt een nieuwe jaarbelastingsduurkromme opgesteld waarbij rekening gehouden is

met de elektriciteitsproductie van deze WKK. De overgebleven energievraag zal dan via PV worden aangevuld.

Lijst van tabellen

Tabel 2-1: Historische ontwikkeling van cumulatief geïnstalleerd fotovoltaïsch vermogen	- 13 -
Tabel 2-2: Vergelijking opbrengsten van 3 types zonnecellen.....	- 33 -
Tabel 2-3: Vergelijking van efficiëntie van dunne film modules en kristallijn silicium modules.....	- 33 -
Tabel 3-1: Overzicht elektriciteitsverbruik, verklarend voorbeeld	- 45 -
Tabel 3-2: Berekenen piekvermogen, verklarend voorbeeld	- 46 -
Tabel 3-3: Eigenschappen module BP 3230 N.....	- 47 -
Tabel 3-4: Berekening verlies door temperatuur in de maand januari.....	- 49 -
Tabel 3-5: Sorteren gegevens, verklarend voorbeeld	- 50 -
Tabel 3-6: Overzicht productiviteitsverlies over 25 jaar	- 54 -
Tabel 3-7: Richtprijzen kostprijs installatie.....	- 59 -
Tabel 3-8: Richtprijzen kostprijs omvormers	- 59 -
Tabel 3-9: Rentepercentages investeringskrediet.....	- 60 -
Tabel 3-10: Final energy consumption Belgium	- 65 -
Tabel 4-1: Algemene gegevens case 1	- 72 -
Tabel 4-2: PV-specifieke gegevens, case 1.....	- 72 -
Tabel 4-3: Overzicht elektriciteitsverbruik case 1.....	- 73 -
Tabel 4-4: Overzichtstabel dimensionering, case 1.....	- 76 -
Tabel 4-5: Overzicht evaluatiemaatstaven, case 1	- 77 -
Tabel 4-6: Parameters gevoeligheidsanalyse, case 1	- 79 -
Tabel 4-7: Meerkost verstevigen dak, case 1.....	- 85 -
Tabel 4-8: Overzicht vermeden CO ₂ -uitstoot, case 1	- 86 -
Tabel 4-9: Algemene gegevens, case 2	- 87 -
Tabel 4-10: PV-specifieke gegevens, case 2.....	- 87 -

Tabel 4-11: Overzicht elektriciteitsverbruik, case 2	- 88 -
Tabel 4-12: Overzicht dimensionering, case 2	- 90 -
Tabel 4-13: Overzicht evaluatiemaatstaven, case 2	- 92 -
Tabel 4-14: Parameters gevoeligheidsanalyse, case 2	- 92 -
Tabel 4-15: Overzicht vermeden CO ₂ -uitstoot, case 1	- 98 -
Tabel 5-1: Bedrijfsgegevens, gekoppelde case	- 102 -
Tabel 5-2: Overzicht elektriciteitsverbruik, gekoppelde case	- 102 -
Tabel 5-3: Elektrische output WKK.....	- 103 -
Tabel 5-4: Overzichtstabel dimensionering, gekoppelde case	- 104 -
Tabel 5-5: Overzicht gezamenlijke elektrische output.....	- 105 -
Tabel 5-6: Overzicht evaluatiemaatstaven, gekoppeld model	- 105 -

Lijst van figuren

Figuur 1-1: World marketed energy consumption 1980-2030	- 1 -
Figuur 1-2: Aandeel van de belangrijkste sectoren in de uitstoot van broeikasgassen in België in 2007	- 4 -
Figuur 2-1: Economische voordelen van de ontwikkeling van de PV-markt	- 12 -
Figuur 2-2: Historische ontwikkeling van cumulatief geïnstalleerd fotovoltaïsch vermogen per regio	- 13 -
Figuur 2-3: Het bereiken van de grid parity	- 15 -
Figuur 2-4: Wisselwerking van variabelen die de toekomst van de PV markt bepalen ..	17 -
Figuur 2-5: Prijs-Leercurve voor PV-modules sinds 1976 (\$/W)	- 18 -
Figuur 2-6: De atomaire structuur van silicium bij een temperatuur van 0K	- 20 -
Figuur 2-7: De effecten van thermische trilling op de structuur van silicium	- 21 -
Figuur 2-8: Energy gap bij verschillende materialen	- 21 -
Figuur 2-9: Samenvoeging van p-type en n-type halfgeleider tot pn-junctie	- 23 -
Figuur 2-10: Verband tussen golflengte van het licht en de energie van de fotonen	- 24 -
Figuur 2-11: De werking van een zonnecel	- 25 -
Figuur 2-12: Opbouw PV-module	- 26 -
Figuur 2-13: Het verzagen van een siliciumcilinder tot wafers	- 28 -
Figuur 2-14: Monokristallijn zonnepaneel	- 28 -
Figuur 2-15: Polykristallijn zonnepaneel	- 29 -
Figuur 2-16: Werkingsprincipe van een organische polymeerzonnecel	- 31 -
Figuur 2-17: Aandeel van verschillende technologieën in 2007	- 34 -
Figuur 2-18: Omvormer Sunny Boy 3000 TL van SMA Solar Technology	- 35 -
Figuur 2-19: Schematisch overzicht netkoppeling met twee aansluitpunten	- 37 -

Figuur 3-1: Fictief voorbeeld jaarbelastingsduurkromme.....	- 42 -
Figuur 3-2: Fictief voorbeeld jaarbelastingsduurkromme met opdeling in zones...	- 43 -
Figuur 3-3: Grenzen van het gebied voor de klimaatgegevens.....	- 44 -
Figuur 3-4: Jaarbelastingsduurkromme, verklarend voorbeeld.....	- 51 -
Figuur 3-5: Overzicht prijs en volume verhandelbare emissierechten	- 67 -
Figuur 3-6: Driehoeksverdeling investeringsbedrag.....	- 69 -
Figuur 3-7: Kansverdeling stijging energieprijzen	- 71 -
Figuur 4-1: Luchtfoto case 1	- 74 -
Figuur 4-2: Jaarbelastingsduurkromme, case 1	- 76 -
Figuur 4-3: NCW-profiel, case 1	- 78 -
Figuur 4-4: Kansverdeling NCW, case 1.....	- 79 -
Figuur 4-5: Gevoeligheid NCW, case 1.....	- 80 -
Figuur 4-6: Kansverdeling IOV, case 1	- 81 -
Figuur 4-7: Gevoeligheid IOV, case 1	- 81 -
Figuur 4-8: Kansverdeling gewone terugverdientijd, case 1	- 82 -
Figuur 4-9: Gevoeligheid gewone terugverdientijd, case 1	- 82 -
Figuur 4-10: Kansverdeling verdisconteerde terugverdientijd, case 1	- 83 -
Figuur 4-11: Gevoeligheid verdisconteerde terugverdientijd, case 1.....	- 83 -
Figuur 4-12: Kansverdeling ROI, case 1	- 84 -
Figuur 4-13: Gevoeligheid ROI, case 1	- 84 -
Figuur 4-14: Schets dakoppervlak, case 2	- 89 -
Figuur 4-15: Jaarbelastingsduurkromme, case 2.....	- 91 -
Figuur 4-16: Kansverdeling NCW, case 2.....	- 93 -
Figuur 4-17: Gevoeligheid NCW, case 2.....	- 94 -
Figuur 4-18: Kansverdeling IOV, case 2.....	- 94 -
Figuur 4-19: Gevoeligheid IOV, case 2	- 95 -
Figuur 4-20: Kansverdeling gewone terugverdientijd, case 2.....	- 95 -

Figuur 4-21: Gevoeligheid gewone terugverdientijd, case 2	- 96 -
Figuur 4-22: Kansverdeling verdisconteerde terugverdientijd, case 2	- 96 -
Figuur 4-23: Gevoeligheid verdisconteerde terugverdientijd, case 2.....	- 97 -
Figuur 4-24: Kansverdeling ROI, case 2	- 97 -
Figuur 4-25: Gevoeligheid ROI, case 2	- 98 -
Figuur 5-1: Energetische balans van WKK-installatie en gescheiden productie...	- 101 -
Figuur 5-2: Vergelijking terugverdientijd, gekoppeld model	- 106 -
Figuur 5-3: Gevoeligheid NAW, gekoppeld model.....	- 106 -
Figuur 5-4: Vergelijking terugverdientijd PV en WKK.....	- 107 -
Figuur 5-5: vergelijking NAW tussen PV en WKK.....	- 108 -
Figuur 5-6: vergelijking IRR tussen PV en WKK	- 108 -
Figuur 5-7: Gevoeligheid gekoppeld model	- 109 -

Lijst van gebruikte afkortingen

AC	Alternating current (wisselstroom)
Ag	Zilver
AM	Airmass
CO ₂	Koolstofdioxide
Cu	Koper
DC	Direct current (gelijkstroom)
EIA	Energy Information Administration
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
EU	Europese Unie
EVA	Ethylvinylacetaat
GSC	Groenestroomcertificaten
Hz	Hertz
IEA	International Energy Agency
IOV	Interne opbrengstvoet
MVP	Maximum vermogen punt
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCW	Netto contante waarde
NOCT	Nominal Operation Cell Temperature
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PV	Photovoltaic (fotovoltaïsch)
PVF	Polyvinylfluoride
ROI	Return on investment
Si	Silicium
STC	Standard Test Conditions
VITO	Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek
VLAO	Vlaams agentschap ondernemen
VREG	Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt
WACC	Weighted average cost of capital (gewogen gemiddelde kapitaalkost)
WKK	Warmtekrachtkoppeling

Lijst van voorvoegsels en eenheden

Voorvoegsels

k	= kilo = 10^3
M	= mega = 10^6
G	= giga = 10^9
T	= tera = 10^{12}

Eenheden van energie en vermogen

J	= Joule = de SI-eenheid voor energie
W	= Watt = de SI-eenheid voor vermogen (de hoeveelheid energie per tijdseenheid), gedefinieerd in joule per seconde
Wh	= Wattuur = het vermogen van 1 Watt gedurende 1 uur = 3600 J
Wp	= Wattpiek = Nominaal outputvermogen van zonnecellen bij standard testing conditions.
toe	= tonne of oil equivalent = de hoeveelheid energie die vrijkomt bij het verbranden van 1 ton ruwe olie. Wordt gebruikt om grote hoeveelheden energie te beschrijven.

Eenheden van temperatuur

°C	= graden Celcius
K	= graden kelvin = het absolute nulpunt wordt gedefinieerd als 0K, en komt overeen met een waarde van $-273,15$ °C

Inhoudsopgave

VOORWOORD	I
SAMENVATTING	II
LIJST VAN TABELLEN	VI
LIJST VAN FIGUREN	VIII
LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN	XI
LIJST VAN VOORVOEGSELS EN EENHEDEN	XII
INHOUDSOPGAVE	XIII
HOOFDSTUK 1:	PROBLEEMSTELLING
- 1 -	
1.1 INLEIDING	- 1 -
1.2 PRAKTIJKPROBLEEM.....	- 3 -
1.3 CENTRALE ONDERZOEKSVRAAG	- 4 -
1.4 ONDERZOEKSOPZET	- 5 -
HOOFDSTUK 2:	VOORONDERZOEK
- 7 -	
2.1 STAGEVERSLAG INTELLISOL MAASEIK.....	- 7 -
2.1.1 <i>Wat heb ik geleerd?</i>	- 8 -
2.2 LITERAATUURSTUDIE OVER DE FOTOVOLTAÏSCHE INDUSTRIE.	- 10 -
2.2.1 <i>Waarom kiezen voor PV?</i>	- 10 -
2.2.1.1 Context.....	- 10 -
2.2.1.2 Belangrijkste voordelen.....	- 11 -
2.2.2 <i>Markt voor PV</i>	- 12 -
2.2.2.1 Historische ontwikkeling.....	- 12 -
2.2.2.2 Verwachtingen	- 14 -
2.2.3 <i>Zonne-energie</i>	- 17 -
2.2.3.1 Geschiedenis.....	- 17 -
2.2.3.2 Werkingsprincipes.....	- 18 -
2.2.3.3 Systeem.....	- 25 -
2.2.3.4 Soorten.....	- 27 -
2.2.3.5 Netkoppeling.....	- 34 -

2.2.4	<i>Huidige stand van zaken</i>	- 38 -
2.2.4.1	Systeemintegratie	- 38 -
2.2.4.2	Kostencompetitiviteit	- 39 -
2.2.4.3	Politieke omkadering	- 39 -
2.3	CONCLUSIE VAN DIT HOOFDSTUK	- 39 -

HOOFDSTUK 3: BEREKENINGSMODEL

- 41 -

3.1	DIMENSIONERING	- 41 -
3.1.1	<i>Theorie rond de jaarbelastingsduurkromme</i>	- 42 -
3.1.2	<i>Toepassing op model</i>	- 43 -
3.1.2.1	Overzicht elektriciteitsverbruik	- 45 -
3.1.2.2	Berekenen benodigd piekvermogen per maand (in kWp)	- 45 -
3.1.2.3	Sorteren van de gegevens	- 49 -
3.2	INVESTERINGSANALYSE	- 52 -
3.2.1	<i>Inleidende begrippen</i>	- 52 -
3.2.2	<i>Tijdsduur van de analyse</i>	- 52 -
3.2.3	<i>Bespreking van de baten</i>	- 53 -
3.2.3.1	Besparing aankoop elektriciteit	- 53 -
3.2.3.2	Opbrengst levering aan het net	- 55 -
3.2.3.3	Opbrengst groenestroomcertificaten	- 55 -
3.2.3.4	Opbrengst andere stimuli en subsidies	- 56 -
3.2.4	<i>Bespreking van de kosten</i>	- 58 -
3.2.4.1	Kostprijs van de installatie	- 58 -
3.2.4.2	Kostprijs vervangen omvormer	- 59 -
3.2.4.3	Lening	- 59 -
3.2.5	<i>Bespreking van de kasstromen</i>	- 60 -
3.2.6	<i>Evaluatiemaatstaven</i>	- 62 -
3.2.6.1	Netto contante waarde en netto contante waarde-profiel	- 62 -
3.2.6.2	Interne opbrengstvoet	- 63 -
3.2.6.3	Terugverdientijd	- 63 -
3.2.6.4	Verdisconteerde terugverdientijd	- 63 -
3.2.6.5	Return on investment	- 64 -
3.3	ECOLOGISCHE IMPACT BEPALEN	- 64 -
3.3.1	<i>Bijdrage van hernieuwbare energie aan het finaal energieverbruik in 2020.</i>	

3.3.2	<i>Bijdrage in het laten dalen van de uitstoot van broeikasgassen tegen 2020</i>	
	- 65 -	
3.3.3	<i>Opbrengsten van verhandelbare emissierechten</i>	- 66 -
3.4	GEVOELIGHEIDSANALYSE	- 67 -
3.4.1	<i>Monte-Carlo-analyse</i>	- 68 -
3.4.1.1	Identificeren parameters en doelvariabelen	- 68 -
3.4.1.2	Bepalen kansverdeling voor parameters	- 69 -
3.5	CONCLUSIE VAN DIT HOOFDSTUK	- 71 -

HOOFDSTUK 4: CASE STUDIES
- 72 -

4.1	CASE 1	- 72 -
4.1.1	<i>Bedrijfsgegevens:</i>	- 72 -
4.1.2	<i>Maandverbruiken van de afgelopen 3 jaar:</i>	- 73 -
4.1.3	<i>Beschrijving van het gebouw en de activiteiten</i>	- 73 -
4.1.4	<i>Luchtfoto</i>	- 74 -
4.1.5	<i>Extra informatie</i>	- 74 -
4.1.6	<i>Analyse</i>	- 75 -
4.1.6.1	Dimensionering	- 75 -
4.1.6.2	Kostprijs en lening	- 77 -
4.1.6.3	Evaluatiemaatstaven investering	- 77 -
4.1.6.4	Gevoeligheidsanalyse	- 78 -
4.1.6.5	Meerkost verstevigen dak	- 85 -
4.1.6.6	Ecologische impact	- 86 -
4.2	CASE 2	- 87 -
4.2.1	<i>Bedrijfsgegevens</i>	- 87 -
4.2.2	<i>Maandverbruiken van de afgelopen 3 jaar</i>	- 88 -
4.2.3	<i>Beschrijving van het gebouw en de activiteiten</i>	- 88 -
4.2.4	<i>Luchtfoto</i>	- 88 -
4.2.5	<i>Extra informatie</i>	- 89 -
4.2.6	<i>Analyse</i>	- 89 -
4.2.6.1	Dimensionering	- 89 -
4.2.6.2	Kostprijs en lening	- 91 -
4.2.6.3	Evaluatiemaatstaven investering	- 91 -
4.2.6.4	Gevoeligheidsanalyse	- 92 -
4.2.6.5	Ecologische impact	- 98 -
4.3	CONCLUSIES	- 99 -

HOOFDSTUK 5: KOPPELING AAN WKK MODEL**- 100 -**

5.1	KORTE INLEIDING WARMTEKRACHTKOPPELING	- 100 -
5.2	BEDRIJFSGEGEVENS GEKOPPELDE CASE.....	- 102 -
5.3	ANALYSE	- 103 -
5.3.1	<i>Individuele berekeningen voor de PV-installatie</i>	<i>- 103 -</i>
5.3.2	<i>Gezamenlijke investering</i>	<i>- 104 -</i>
5.3.3	<i>Resultaten</i>	<i>- 105 -</i>
5.3.4	<i>Gevoeligheidsanalyse</i>	<i>- 105 -</i>
5.4	ANALYSE 2.....	- 107 -
5.4.1	<i>Vergelijking tussen PV en WKK</i>	<i>- 107 -</i>
5.5	CONCLUSIES VAN DIT HOOFDSTUK	- 109 -

HOOFDSTUK 6: CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN**- 110 -**

6.1	ALGEMENE CONCLUSIES.....	- 110 -
6.2	AANBEVELINGEN	- 112 -

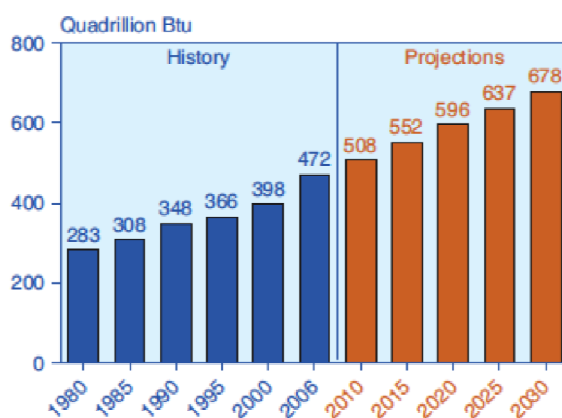
BIBLIOGRAFIE.....- 114 -**BIJLAGEN- 118 -**

Hoofdstuk 1: Probleemstelling

1.1 Inleiding

In de huidige samenleving staat energie centraal. Mensen verbruiken, vaak zonder erbij na te denken, elke dag energie. Energie is verder ook een cruciale productiefactor voor de meeste industriële bedrijven. Zonder de broodnodige energetische inputs zullen er geen afgewerkte producten kunnen worden gefabriceerd.

Het belang van deze energie voor de samenleving zal in de komende jaren alleen nog maar toenemen. In haar International Energy Outlook uit 2009, verwacht de Energy Information Administration (EIA) namelijk, dat de wereldwijde energieconsumptie tegen 2030 met ongeveer 44% gaat toenemen t.o.v. de waarde uit 2006. Figuur 1-1 geeft een overzicht van de geschiedenis en de schattingen van de wereldwijde energieconsumptie.



Figuur 1-1: World marketed energy consumption 1980-2030

(Bron: Energy Information Administration, 2009)

De voornaamste reden van deze verwachte stijging is te vinden in een stijgende energievraag in niet-OECD-landen¹. Vooral de snelle groei van de Chinese en Indiase

¹ De OECD kent 31 lidstaten: Australië, Oostenrijk, België, Canada, Chili, Tsjechië, Denemarken, Finland, Frankrijk, Duitsland, Griekenland, Hongarije, IJsland, Ierland, Italië, Japan, Korea, Luxemburg, Mexico, Nederland, Nieuw-Zeeland, Noorwegen, Polen, Portugal, Slowakije, Spanje, Zweden, Zwitserland, Turkije, Groot-Brittannië en de Verenigde Staten.

economieën leidt tot een enorme groei in de behoefte aan energie. (Energy Information Administration, 2009)

Daartegenover staat echter het feit dat de voorraden van fossiele brandstoffen eindig zijn. Hoewel de exacte voorraden niet bekend zijn, is er wel een consensus over het feit dat er een zogenaamd "peak oil punt" bereikt zal worden. Na het bereiken van dit punt zal, volgens de theorie van Hubbert, het wereldwijde aanbod aan aardolie steeds verkleinen. Dit lijkt dan ook ontzettend moeilijk te verzoenen met de stijgende energiebehoeften. De prijs voor fossiele brandstoffen zal, volgens de wetten van vraag en aanbod, ongetwijfeld stijgen. (Eccleston, 2008)

Een ander probleem, betreffende de huidige energievoorziening, is de regionale concentratie van fossiele brandstoffen in de wereld. Zo is ongeveer 60% van de bewezen oliereserves in handen van slechts 5 landen: Saudi-Arabië, Canada, Iran, Irak en Koeweit. (Central Intelligence Agency, 2009) Hierdoor is men, zeker in een land als België, erg afhankelijk van het buitenland voor zowel fossiele brandstoffen als energie in het algemeen. Uit cijfers van Eurostat blijkt namelijk dat België de laatste jaren een percentage van energieafhankelijkheid kende van ongeveer 77%. Deze energieafhankelijkheid geeft weer in hoeverre een land afhankelijk is van het buitenland om aan haar energie-noden te voldoen, door de netto import van primaire energie van dat land te delen door de bruto-energieconsumptie. Dit maakt België zeer kwetsbaar, zeker gezien de plannen van de regering om vanaf 2015 te beginnen met de sluiting van enkele kernreactoren. (Eurostat, 2010)

Dan is er nog de milieuproblematiek. Bij het verbranden van fossiele brandstoffen komen er zogenaamde "broeikasgassen" vrij. Broeikasgassen zijn van nature aanwezig op aarde om de temperatuur op aarde voldoende hoog te houden. De broeikasgassen die echter vrijkomen bij de verbranding van fossiele brandstoffen, zijn extern aan het milieu. Hierdoor worden enkele natuurlijke cycli, zoals de koolstofcyclus, verstoord en wordt het natuurlijk broeikaseffect versterkt. Dit versterkte broeikaseffect leidt tot een klimaatsverandering die gevaren met zich mee brengt, voor zowel de volksgezondheid als de natuur in het algemeen. Zo kunnen wijzigingen van ecosystemen negatieve effecten hebben op de water- en voedselvoorziening. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007)

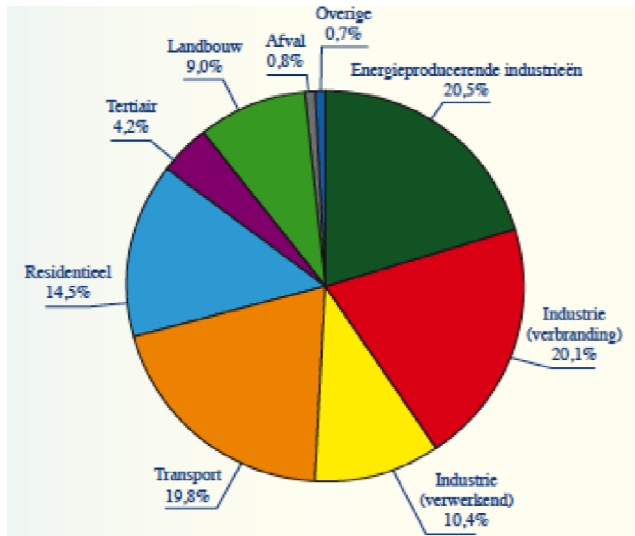
Om in te gaan tegen de klimaatverandering, die veroorzaakt werd door het versterkte broeikaseffect, werden reeds in 1992 in Rio de Janeiro stappen ondernomen. Op een VN-conferentie werd toen namelijk het "Raamverdrag van de Verenigde Naties inzake

Klimaatverandering" afgesloten. Het doel van dit verdrag was om de concentratie van broeikasgassen te stabiliseren op een niveau, waarop gevaarlijke antropogene verstoring van het klimaatsysteem wordt voorkomen. Uiteindelijk werd dit verdrag in 1997 verder uitgewerkt op een top in Kyoto. Het protocol van Kyoto, dat op deze top werd goedgekeurd, bevatte kwantificeerbare doelstellingen voor alle deelnemende landen, inzake emissiebeperkingen. (Federale Dienst Klimaatverandering, sd)

1.2 Praktijkprobleem

Bovenstaande problemen omtrent de energievoorziening en de klimaatverandering, beklemtonen de nood aan een duurzamere energievoorziening. Bij duurzame energieopwekking worden er geen natuurlijke hulpbronnen verspild en bovendien worden er geen schadelijke stoffen uitgestoten. Verder kan België, door in te zetten op duurzame energie, zowel zijn energieafhankelijkheid verminderen als aan de opgelegde doelstellingen van het Kyoto-protocol voldoen.

Eén van de manieren om op een duurzame wijze energie op te wekken, is gebruik maken van fotovoltaïsche (PV) cellen. Indien de bedrijfswereld, naast de particuliere sector, voldoende investeringen in PV-installaties zouden doen, bestaat de kans dat in België een aantal problemen rond energie en milieuvervuiling worden opgelost. Zeker gezien het feit dat meer dan de helft van de uitstoot van broeikasgassen in België gebeurt door energieproducenten en de industrie, zoals blijkt uit Figuur 1-2. De publieke opinie is dan ook dat industriële bedrijven, samen met de transportsector, worden aanzien als grootste vervuilers.



Figuur 1-2: Aandeel van de belangrijkste sectoren in de uitstoot van broeikasgassen in België in 2007

(Bron: Nationale Klimaatcommissie, 2009)

Bij bedrijven is men echter niet altijd geneigd om milieu-investeringen te laten primeren boven andere investeringen. Redenen hiervoor zijn onder andere het feit dat milieuinvesteringen vaak geen deel uitmaken van de core-business van een bedrijf en dat er vaak te weinig informatie voorhanden is binnen een bedrijf, om op een objectieve manier beslissingen te nemen omtrent deze investeringen.

1.3 Centrale onderzoeksvraag

In deze masterproef zal onderzocht worden welke bijdrage de bedrijfswereld in België kan leveren om tegemoet te komen aan bovenstaand beschreven problemen, door te investeren in PV- installaties. Daarom zal gepoogd worden om een model op te stellen dat zowel een economische als ecologische analyse maakt.

Het uitgangspunt wordt samengevat in de volgende centrale onderzoeksvraag:

"Wat is de haalbaarheid en wat zijn de mogelijkheden van investeringen in fotovoltaïsche systemen door de bedrijfswereld?"

Deze centrale onderzoeksvraag wordt uitgesplitst in een aantal deelvragen op een structurele manier een antwoord te kunnen geven op de centrale onderzoeksvraag.

1. **Welke zijn de elementaire werkingsprincipes van een PV-installatie?**
2. **Welke elementen moeten in een analysemodel aanwezig zijn om tot een correcte analyse te komen?**

3. Van welke parameters is de haalbaarheid van investeringen in PV-systemen het meest afhankelijk?

Ten slotte zal het onderzoek uit deze masterproef gekoppeld worden aan het onderzoek van Jasper Olaerts omtrent investeringen in installaties met warmtekrachtkoppeling (WKK). Dit gedeelte zal behandeld worden in een afzonderlijke deelvraag:

4. Wat is de opbrengst en de haalbaarheid van een gezamenlijke investering in WKK en PV?

1.4 Onderzoekopzet

Om een antwoord te vinden op bovenstaande deelvragen werd deze masterproef opgedeeld in een aantal hoofdstukken.

In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van het inleidend onderzoek dat werd uitgevoerd. Eerst wordt er een kort verslag gegeven van de stage die, met het oog op deze masterproef, werd gelopen. Vervolgens zal de uitgevoerde literatuurstudie besproken worden om uiteindelijk de eerste deelvraag te beantwoorden en aldus voeling te krijgen met het onderwerp.

In hoofdstuk 3 wordt een analysemodel besproken dat aan de hand van Microsoft Excel werd opgebouwd. Als basis voor de verschillende berekeningen werd zowel de informatie uit hoofdstuk 2 gebruikt, als extra informatie die nodig was voor het opstellen van een correct model. Op de klimaatgegevens na, wordt ervan uitgegaan dat we in een Vlaamse context werken. Bijgevolg worden ook alle subsidies en stimuli waarvoor Vlaamse bedrijven in aanmerking komen, in beschouwing genomen.

In hoofdstuk 4 volgen dan een aantal concrete gevalstudies waar de theorie en de principes uit de voorgaande hoofdstukken op zijn toegepast.

Verder worden de resultaten ook onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse om zo te komen tot een antwoord op de derde deelvraag.

In hoofdstuk 5 wordt de combinatie van het opgestelde model in deze masterproef, samen met het WKK-model van Jasper Olaerts, omschreven.

Het zesde en laatste hoofdstuk bevat persoonlijke bijdragen die gebaseerd zijn op het bestuderen van de materie tijdens deze masterproef. Eerst zal gepoogd worden om tot

een aantal slotconclusies te komen om vervolgens enkele aanbevelingen te geven voor verder onderzoek.

Hoofdstuk 2: Vooronderzoek

Om de eerste deelvraag te beantwoorden werd eerst een stage gelopen bij Intellisol NV. Met de hier verworven kennis werd dan aan de literatuurstudie begonnen. Tot slot werden enkele beweringen uit de literatuur getoetst aan de hand van interviews bij mensen die actief zijn in de sector.

2.1 Stageverslag Intellisol Maaseik

Als voorbereiding op de eigenlijke masterproef en het daarbij horende onderzoek heb ik stage gelopen bij het bedrijf Intellisol te Maaseik. Intellisol is een merk-onafhankelijke leverancier van PV-producten. Ze houden zich echter niet uitsluitend bezig met het leveren van zonnepanelen maar ze verzorgen ook opmetingen van daken en terreinen, rendementsanalyses, plaatsing en opvolging van projecten. Hierdoor leek het mij ook een interessante partner om stage bij te lopen.

Om voeling te krijgen met de praktijk en om de verschillende aspecten van het plaatsen van zonnepanelen te ervaren heb ik tijdens de eerste dagen van de stageperiode een industrieel project van de start tot het opsturen van de offerte mee gevolgd. Het ging om een grote bedrijfshal met plat dak waar er interesse was om zonnepanelen te plaatsen.

De eerste stap in het proces was het opmeten van het dak en alle mogelijke schaduwobjecten. Er werden, vanuit verschillende standpunten, foto's gemaakt van het dak. Dit om in een later stadium van de rendementsberekening, een goed beeld te kunnen krijgen over mogelijke hindernissen en schaduwobjecten op het dak zelf. Vervolgens werd met een GPS-gekoppeld toestel een foto gemaakt van de horizon om hindernissen voor diffuus licht te kunnen waarnemen. De volgende stap was het schetsen van het dak met haar objecten om na opmeting de juiste afstanden in te kunnen vullen. Zulke opmeting is belangrijk omdat de maten en afstanden van bijvoorbeeld airco-units zelden overeenkomen met de maten op het officiële plan. Ook worden vaak achteraf nog zaken bijgeplaatst op het dak die niet op een officieel plan staan. Ervan uitgaan dat het plan klopt zou dus kunnen leiden tot verschillen i.v.m.

schaduw en plaatsing van de panelen. Een belangrijk aandachtspunt voor alle industriële gebouwen!

Na het opmeten maakt men bij Intellisol een 3D-tekening van het gebouw en alle schaduwobjecten, op en in de nabijheid van het gebouw. Aan de hand van deze tekening en gespecialiseerde software kan berekend worden waar er schaduw gaat zijn op verschillende tijdstippen doorheen de dag en doorheen het jaar. Dit is zeer belangrijk voor het rendement van de PV-installatie, vermits er altijd verschillende panelen samen op een omvormer worden aangesloten. Als echter één of meerdere panelen schaduw krijgen dan daalt het rendement van de omvormer dramatisch en zullen ook de belichte panelen die op diezelfde omvormer zijn aangesloten amper nog elektriciteit produceren. Dit effect wordt volgens Glenn Van Dooren, 3D-tekenaar en werkvoorbereider bij Intellisol, vaak onderschat: "Bij industriële hallen of gebouwen staan er vaak allerlei schoorstenen, airco-units, afzuigkappen en dergelijke op het dak. Deze hebben bijgevolg een grote invloed op de plaatsing en het rendement van de zonnepanelen."

Als de panelen op een zo optimale manier op het dak geplaatst zijn en aan de omvormers toegewezen zijn kan er een rendementsberekening gemaakt worden. Deze kosten-batenanalyse wordt dan aan de klant voorgelegd die vervolgens al dan niet beslist om de investering te doen. Meestal bevat deze analyse 2 of 3 voorstellen waarin er telkens gewerkt wordt met verschillende panelen en bijgevolg een verschil in kostprijs en een verschil in rendement.

De laatste dagen van de stageperiode heb ik, samen met enkele medewerkers, de rendementsberekening van Intellisol overlopen. Met de kennis die ik tijdens mijn opleiding als handelsingenieur heb opgedaan heb ik enkele aanbevelingen gedaan om deze berekening nog verder te optimaliseren.

2.1.1 Wat heb ik geleerd?

Door deze stageperiode te doorlopen heb ik me veel beter kunnen "inleven" in de materie rond zonnepanelen. Door mee te draaien in een bedrijf als Intellisol werd het duidelijk waar mensen uit de sector belangrijke accenten leggen. Anders zou het risico bestaan dat ik, door het overaanbod aan informatie, door de bomen het bos niet meer zou zien. Het meest in het oog springende voorbeeld hiervan is ongetwijfeld de impact die schaduw heeft op individuele panelen en op een cluster van panelen.

Door samen met de medewerkers van Intellisol mee te denken over hun rendementsanalyse had ik een goede uitgangspositie om mijn eigen rendementssysteem uit te bouwen.

Door offertes van concurrerende bedrijven te vergelijken met die van Intellisol leerde ik dat veel leveranciers van zonnepanelen geen rekening houden met veel elementen die een invloed hebben op het rendement van zonnepanelen. Zo telt het merendeel met een gemiddelde opbrengst van 850 kWh per kWp wat leidt tot onnauwkeurige schattingen van het rendement, aangezien deze opbrengst afhankelijk is van de klimaatomstandigheden.

2.2 Literatuurstudie over de fotovoltaïsche industrie.

In het eerste deel van deze literatuurstudie zal eerst een inleiding worden gegeven waarin enkele redenen gegeven worden om te kiezen voor PV als alternatieve energiebron. Vervolgens zal de ontwikkeling van de PV sector besproken worden. Ten derde zullen diverse werkingsprincipes van PV-installaties uit de doeken gedaan worden.

2.2.1 Waarom kiezen voor PV?

Elektriciteit op basis van de zon is volgens een rapport van de European Photovoltaic Industry Association (EPIA) voorbestemd om een significante invloed te gaan hebben op de Europese elektriciteitsmarkt. Dit rapport werd geschreven door de EPIA samen met consultancybureau A.T. Kearney om te onderzoeken hoe PV kan helpen om te kunnen voldoen aan de 20/20/20 doelstellingen van de Europese Unie (EU).

2.2.1.1 Context

In maart 2007 kwam de EU met een geïntegreerde klimaat- en energiepolitiek naar voren. De doelstellingen van deze politiek, ook de 20/20/20 doelstellingen genoemd, werden als volgt gespecificeerd:

- Verminderen van de uitstoot van broeikasgassen tegen 2020 met 20% ten opzichte van de niveaus van 1990
- Zorgen dat tegen 2020 hernieuwbare energie 20% uitmaakt van het totale energieverbruik in Europa.
- Het verlagen van de algemene energieconsumptie in Europa met 20% tegen 2020

Volgens de EPIA kan PV via de elektriciteitsmarkt bijdragen aan al de bovenvermelde doelstellingen. Hiervoor halen ze een aantal redenen aan:

- De huidige, moeilijke, tijden bieden een kans om te starten met nieuwe manieren van energieopwekking waaronder opwekking via PV.
- Olie is een eindige bron, PV daarentegen is hernieuwbaar en duurzaam. Dit begint meer en meer door te dringen, waardoor mensen ook meer en meer de voordelen van hernieuwbare energieopwekking gaan inzien.

- De prijzen voor PV-systemen en componenten dalen sneller dan bij eender welke hernieuwbare technologie.

(European Photovoltaic Industry Association, 2009)

2.2.1.2 Belangrijkste voordelen

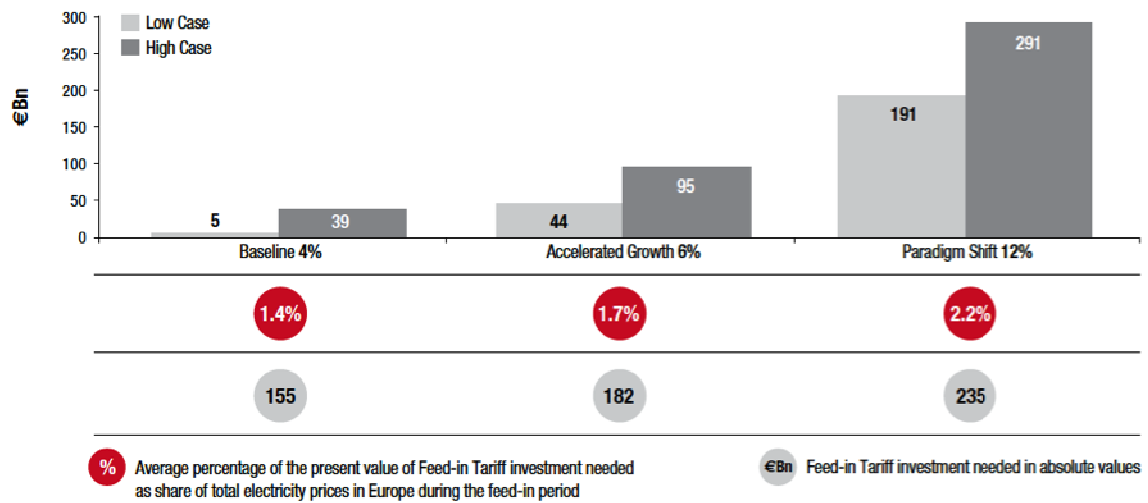
Volgens de EPIA zullen er in de komende jaren enorme positieve returns verkregen worden voor de Europese samenleving, indien er nu geïnvesteerd wordt in de ontwikkeling van PV.

2.2.1.2.1 Voordelen voor het milieu

Door het vervangen van vormen van energieopwekking die CO₂ uitstoten door zonnepanelen zullen CO₂-emissies gereduceerd worden. Volgens cijfers van de EPIA zal er zo'n 196 miljoen ton CO₂-emissies minder worden uitgestoten indien tegen 2020 12% van de energieopwekking gebeurt door middel van PV. Ze gaan er bij deze berekeningen van uit dat er gemiddeld 0,6 kg CO₂ bespaard wordt per kWh output van een PV-systeem. Voor België zal deze waarde iets lager liggen. In het ecologische luik van het berekeningsmodel in hoofdstuk 3 wordt hier nog op teruggekomen.

2.2.1.2.2 Economische voordelen

Figuur 2-1 toont de netto contante voordelen van de implementatie van PV in Europa onder 3 scenario's. In deze voordelen zijn onder andere vermeden CO₂-emissies en verminderde volaliteit van de energieprijzen opgenomen. Volgens de European Photovoltaic Industry Association (2009) zal de penetratie van de PV-technologie in Europa de competitiviteit en de werkgelegenheid bevorderen door te benadrukken dat Europa een high-tech industrie kent met kwaliteitsvolle werknemers.



Sources: ISET Study "Wertigkeit von PV Strom", Staffelstein, 2008 - LBBW, "PV Sector, Valuing the Invaluable", 2008 - Politecnico di Milano - A.T. Kearney analysis.

Figuur 2-1: Economische voordelen van de ontwikkeling van de PV-markt
 (Bron: European Photovoltaic Industry Association, 2009)

2.2.1.2.3 Sociale voordelen

Door energie te gebruiken uit een onuitputbare bron heeft PV een direct positief effect op de energieafhankelijkheid en de zekerheid van energiebevoorrading voor Europa. Onafhankelijkheid met betrekking tot energie is een ontzettend belangrijke factor voor economische stabiliteit en politieke zekerheid. (European Photovoltaic Industry Association, 2009)

2.2.2 Markt voor PV

2.2.2.1 Historische ontwikkeling

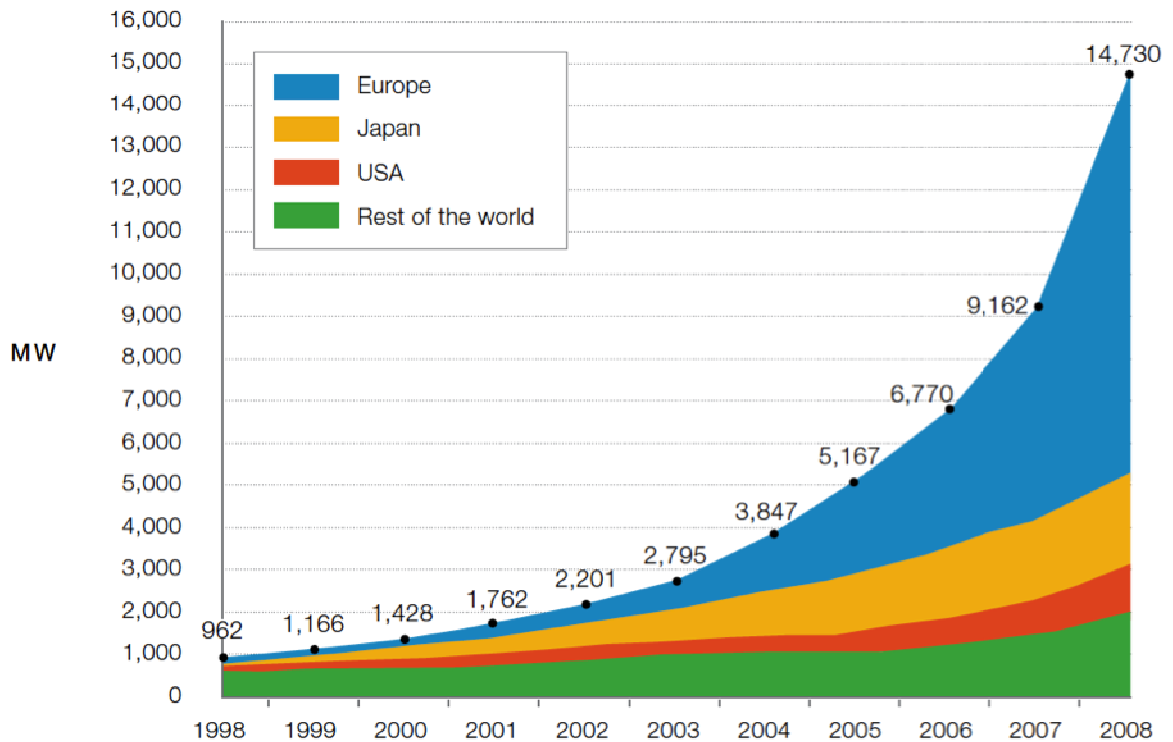
De PV-markt heeft de voorbije jaren een sterke opmars gekend, vooral in het laatste decennium. Figuur 2-2 weerspiegelt deze trend. Europa loopt voor op de rest van de wereld met meer dan 9 GW geïnstalleerd vermogen in 2008, procentueel gezien ongeveer 65% van de globale geïnstalleerde capaciteit. Japan en de VS vervolledigen de top 3 met respectievelijk 15% en 8% van de wereldwijd geïnstalleerde capaciteit.

In Tabel 2-1 werd de jaarlijkse groei van het geïnstalleerd fotovoltaïsch vermogen berekend. Hieruit blijkt dat de sector jaarlijks zeer sterk groeit.

Tabel 2-1: Historische ontwikkeling van cumulatief geïnstalleerd fotovoltaïsch vermogen

(Bron: eigen berekeningen van gegevens uit European Photovoltaic Industry Association, 2008)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
MW	962	1.166	1.428	1.762	2.201	2.795	3.847	5.167	6.770	9.162	14.730
Δ		204	262	334	439	594	1.052	1.320	1.603	2.392	5.568
%Δ		21,21%	22,47%	23,39%	24,91%	26,99%	37,64%	34,31%	31,02%	35,33%	60,77%



Figuur 2-2: Historische ontwikkeling van cumulatief geïnstalleerd fotovoltaïsch vermogen per regio

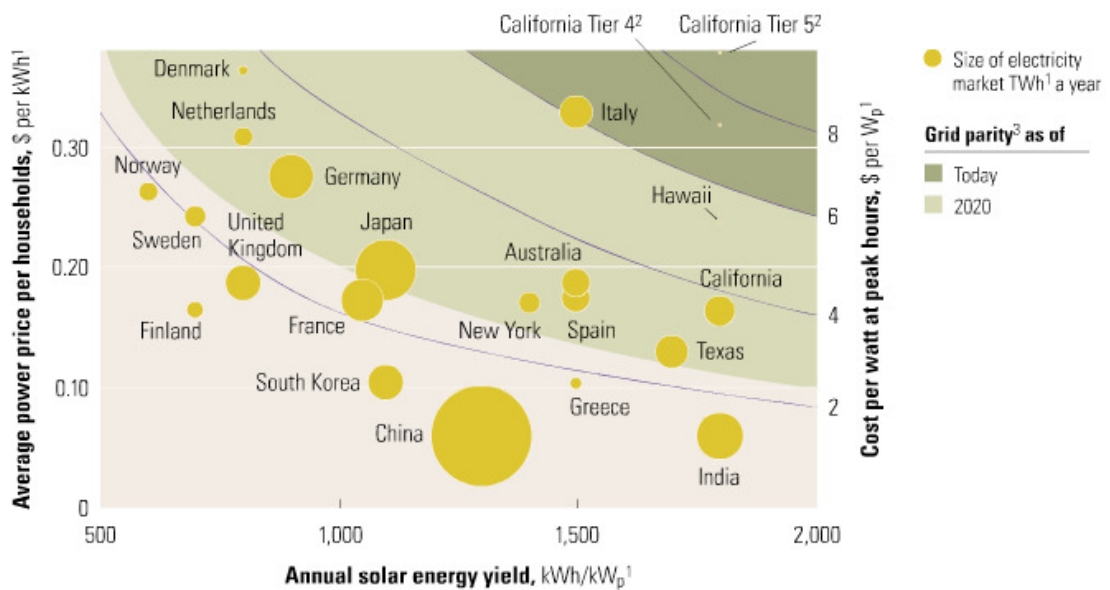
(Bron: European Photovoltaic Industry Association, 2008)

Lorenz et al (2008) benadrukken verder het belang van de diverse overheidssubsidies die een belangrijke rol hebben gespeeld in de ontwikkeling en de groei van de PV-sector. Zonder deze subsidies zou PV nooit hebben kunnen concurreren met traditionele energiebronnen omwille van het grote verschil in kosten. Dit verschil is echter niet alleen verkleind door de talrijke subsidies maar ook door dalende productiekosten voor PV in combinatie met stijgende prijzen voor energie uit traditionele bronnen.

2.2.2.2 Verwachtingen

De toekomstige ontwikkelingen van de markt zijn in grote mate afhankelijk van de politieke context van de overheden vermits zij over de steunmaatregelen beslissen. De introductie, aanpassing en afschaffing van zulke regels hebben vaak diepgaande gevolgen voor de markten. Deze maatregelen zijn nog belangrijk omdat de zogenaamde "grid parity" nog niet bereikt is. Als de grid parity bereikt is, wil dit zeggen dat de prijs van zonne-energie (per kWh) gelijk is aan de prijs van de conventionele energiebronnen. In landen met een relatief hoge instraling van de zon en hoge elektriciteitsprijzen (Spanje, Italië, ...) zal dit moment sneller bereikt worden dan bij landen waar minder instraling is. Deze grid parity wordt geleidelijk aan bereikt door enerzijds verbeteringen in de PV-technologie die kostendalingen met zich meebrengen en anderzijds de stijgende kost van de energie uit conventionele bronnen.

Figuur 2-3 toont duidelijk de wisselwerking tussen prijzen van conventionele energiebronnen, de hoeveelheid zonneschijn en het bereiken van de grid parity. België wordt niet weergegeven in deze afbeelding, maar uit de positie van de ons omringende landen blijkt dat, ondanks de lagere instraling van de zon, de grid parity tegen 2020 bereikt zou worden. Dit is vooral te wijten aan de hoge energieprijzen. (Lorenz, Pinner, Seitz, Farrell, & Remes, 2008; European Photovoltaic Industry Association, 2008)



¹kWh = kilowatt hour; kW_p = kilowatt peak; TWh = terawatt hour; W_p = watt peak; the annual solar yield is the amount of electricity generated by a south-facing 1 kW peak-rated module in 1 year, or the equivalent number of hours that the module operates at peak rating.

²Tier 4 and 5 are names of regulated forms of electricity generation and usage.

³Unsubsidized cost to end users of solar energy equals cost of conventional electricity.

Source: CIA country files; European Photovoltaic Policy Group; Eurostat; Pacific Gas & Electric (PG&E); Public Policy Institute of New York State; McKinsey Global Institute analysis

Figuur 2-3: Het bereiken van de grid parity
(Bron: Lorenz, Pinner, Seitz, Farrell & Remes, 2008)

Hoewel de toekomst onzeker is, heeft de EPIA 3 mogelijke toekomstscenario's opgesteld, voor de verdere ontwikkeling van de PV-markt:

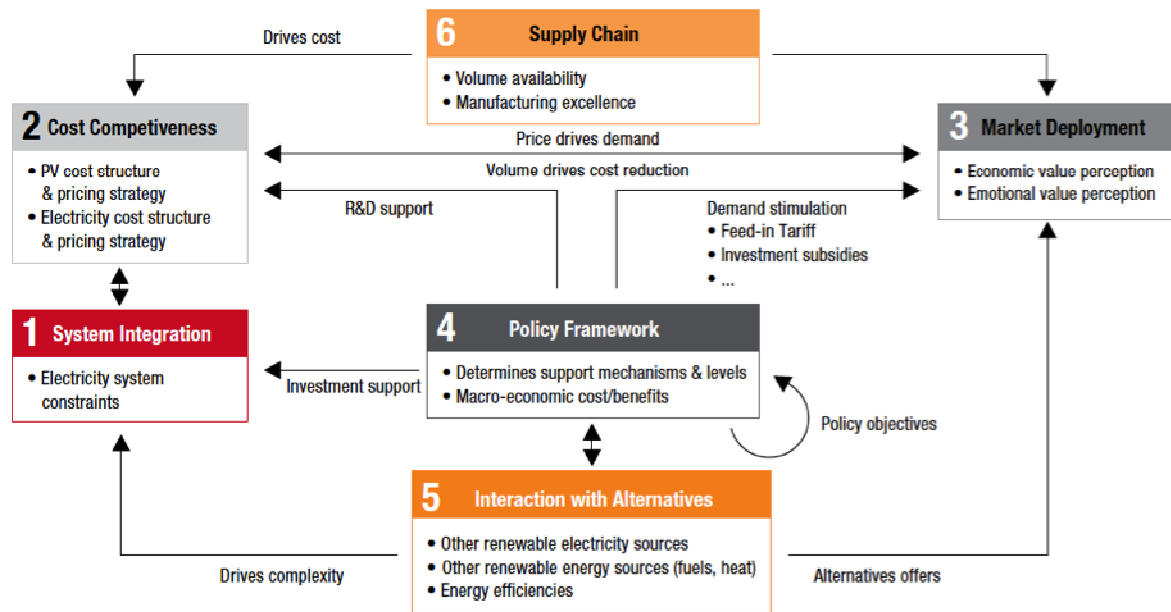
- Het baseline scenario:
PV zal tegen 2020 aan 4% van de totale elektriciteitsvraag voldoen. Dit scenario wordt ook het "business as usual" scenario genoemd. Vooral de PV-industrie wordt geacht om met kostenreducties hogere verkopen te realiseren.
- Het versnelde groeiscenario:
In dit scenario wordt gemikt op 6% van de totale elektriciteitsvraag. Deze hogere groei wordt bewerkstelligd door kleine veranderingen aan het elektriciteitssysteem en door het optimaliseren van de PV supply chain.
- Het paradigm shift scenario:
Hier wordt een doel van 12% gesteld tegen 2020. Vooral de aanpassing van elektrische netwerken (de grid) is belangrijk om tot het percentage van 12% te komen.

Welk van de 3 bovenstaande scenario's gaat uitkomen is volgens de EPIA (2009) afhankelijk van een zestal variabelen:

- Systemintegratie:
De technische limieten van de doordringing van PV zijn in grote mate afhankelijk van de verbetering van de distributie- en transmissie-infrastructuur. De variatie van energieopwekking via PV vereist namelijk een flexibel distributienetwerk. Deze factor is niet enkel van belang voor de PV-sector maar ook onder andere voor energieopwekking via windenergie.
- Kostencompetitiviteit:
Via prijsreducties moet er gestreefd worden naar competitieve prijzen in vergelijking met traditionele energiebronnen. Zo kunnen op middellange termijn de subsidies afgeschaft worden. Deze prijsreducties zouden bereikt moeten worden door schaalvoordelen en technologische ontwikkelingen.
- Marktontwikkeling:
Er moet een juiste toegevoegde waarde gecreëerd worden voor de eindklanten alsmede een gepaste financiering, aangepast aan de specifieke cashflowprofielen van PV-installaties.
- Politieke omkadering:
Er moet gewaakt worden over de subsidiemaatregelen. Deze zijn zeker nodig voor de verdere ontwikkeling van de PV markt maar mogen niet te generoos zijn. Verder heeft de politiek ook een invloed op administratieve procedures voor het doen van PV-investeringen.
- Interactie met andere hernieuwbare energiebronnen:
Om onder andere de 20/20/20 doelstellingen te halen is een gezamenlijke inspanning vereist van alle hernieuwbare energiebronnen. Zo hebben zowel PV als windenergie een sterk netwerk nodig omwille van de variabiliteit van de energieopwekking.
- Supply chain
Om de groei te kunnen bijhouden zal binnen de supply chain rekening gehouden moeten worden met onder andere de beschikbaarheid van grondstoffen en goed personeel.

Belangrijke opmerking bij bovenstaande variabelen is dat verschillende belanghebbenden een invloed kunnen uitoefenen op verschillende manieren. Zo zijn er

de beleidsmakers, de regulatoren, de onderzoekers en dergelijke meer. Figuur 2-1 laat de wisselwerking tussen de variabelen en de belanghebbenden duidelijk zien.



Source: A.T. Kearney analysis.

Figuur 2-4: Wisselwerking van variabelen die de toekomst van de PV markt bepalen
(Bron: European Photovoltaic Industry Association, 2009)

2.2.3 Zonne-energie

2.2.3.1 Geschiedenis

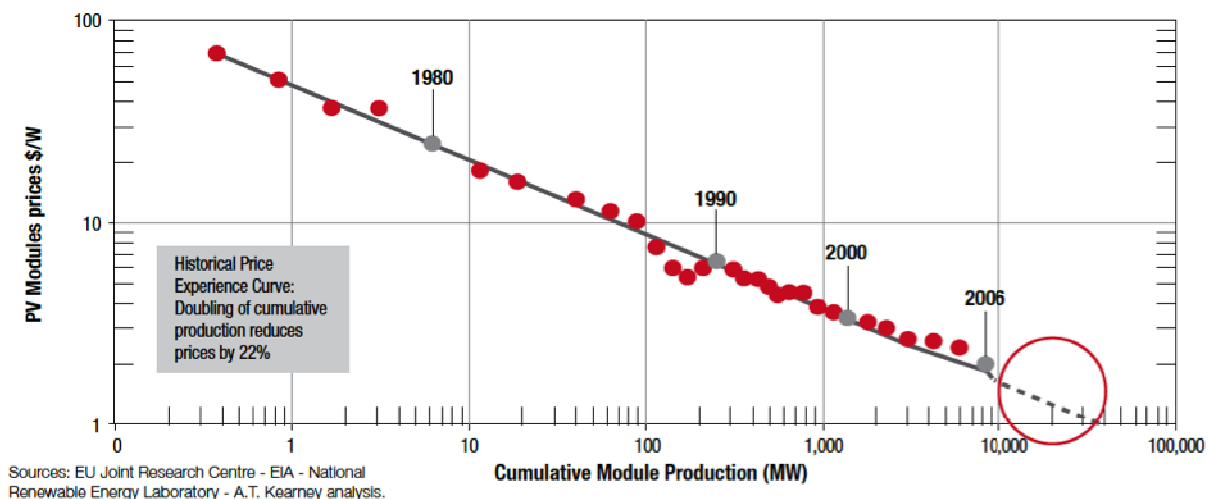
In het artikel "The First energy source" uit het tijdschrift Energy & Power Management uit 2006 beschrijft John Fetters de geboorte van de fotonvoltaïsche cellen die we op de dag van vandaag kennen.

In 1871 publiceerde Alexandre Edmund Becquerel, een Frans fysicus, als eerste rond het natuurlijk fotonvoltaïsch effect van materialen. Hij dompelde twee platinastaven onder, in een zwak geleidende vloeistof en belichtte vervolgens één van de staven. Aan de andere staaf kon hij een zwakke elektrische stroom meten.

Het duurde echter tot 1883 vooraleer Charles Fritz een zonnecel maakte met een omzettingsefficiëntie van ongeveer 1 à 2 % op basis van selenium. In de jaren die volgden ontdekten onderzoekers fotonvoltaïsche effecten in andere materialen zoals cadmium en germanium.

De eerste commerciële applicaties kwamen er pas in 1954 toen men bij experimenten met halfgeleiders bij Bell Laboratories toevallig tot de ontdekking kwam dat silicium, gedopeerd met bepaalde onzuiverheden, erg gevoelig was voor licht. Verder onderzoek leidde tot een module met een efficiëntie van ongeveer 6%. Zonnecellen bleven in die tijd wel erg duur en werden enkel gebruikt voor niche-applicaties zoals bij ruimtetuigen van de NASA. Zo werd de VANGUARD I de eerste satelliet die uitgerust was met (dure) zonnecellen. (Fetters, 2006; Organisatie Duurzame Energie, 2007)

De prijzen zijn intussen drastisch gedaald en de efficiëntie is gestegen. Uit Figuur 2-5 valt het leereffect op de prijzen per Watt af te leiden. De rechte lijn in deze grafiek toont een interessante eigenschap van de leercurve aan. Op elk punt van deze lijn komt namelijk een stijging van de cumulatieve productie met een vast percentage overeen met een consistente procentuele reductie van de prijs. (International Energy Agency, 2000)



Figuur 2-5: Prijs-Leercurve voor PV-modules sinds 1976 (\$/W)
(Bron: European Photovoltaic Industry Industry Association, 2009)

2.2.3.2 Werkingsprincipes

Kort samengevat bezitten fofovoltaïsche cellen de eigenschap om zonlicht om te zetten in elektriciteit. Een deel van het ingestraalde zonlicht wordt geabsorbeerd in de cel door halfgeleidend materiaal. Door de energie die het geabsorbeerde licht bezit worden elektronen losgeslagen in het halfgeleidend materiaal waardoor deze door het materiaal gaan vloeien. Deze stroom van elektronen zorgt voor de elektrische

gelijkstroom (DC) die door contactpunten aan de zonnecel kan worden afgenomen. (Organisatie Duurzame Energie, 2007)

In onderstaande punten zal dieper worden ingegaan op de werking van de klassieke zonnecellen aan de hand van fysische en chemische eigenschappen van de cellen en het celmateriaal. Ook zullen nieuwe technieken kort besproken worden.

2.2.3.2.1 Structuur van halfgeleiders

Aangezien de meeste zonnecellen grotendeels bestaan uit halfgeleidend materiaal, is het relevant om de structuur en de eigenschappen van halfgeleiders te bespreken teneinde de werkingsprincipes ten volle te begrijpen.

Om echter de structuur en de eigenschappen van halfgeleiders te bespreken, dient er eerst een onderscheid gemaakt te worden tussen halfgeleiders, geleiders en isolatoren. Zowel Giancoli (2005) als Storey (2006) geven een zeer duidelijk overzicht hieromtrent.

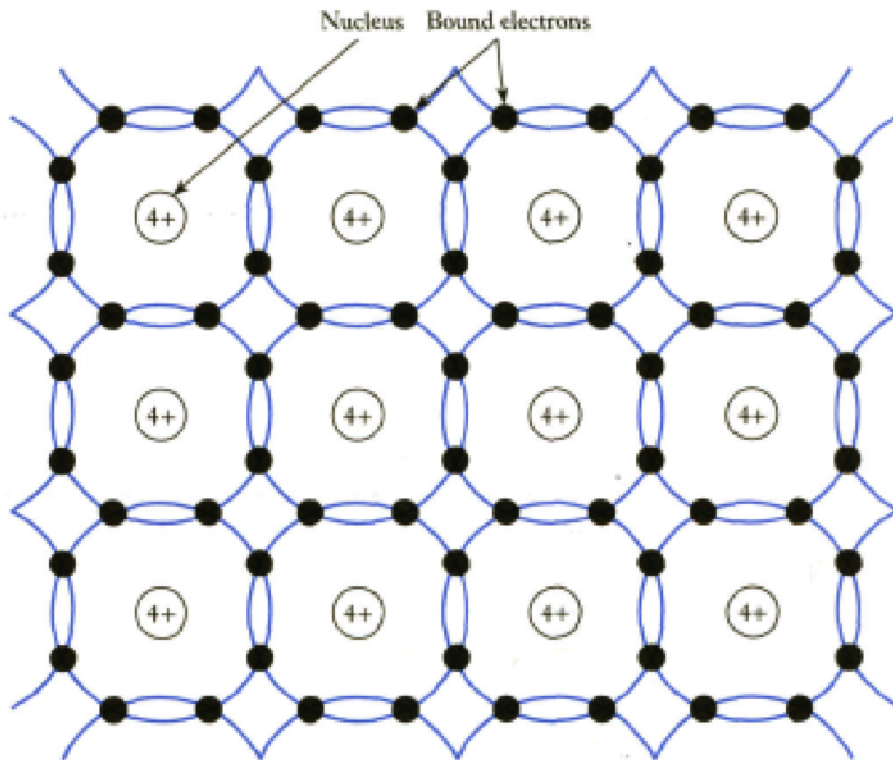
De eigenschappen van bovenstaande groepen van materialen worden bepaald door de atomaire structuur van de materialen. Meer specifiek speelt de verdeling van elektronen in de buitenste energieband rondom de kern een belangrijke rol. Deze valentie-elektronen bepalen voor het grootste deel de eigenschappen van het materiaal.

Zo is de hoogste energieband bij geleidende materialen slechts deels opgevuld. Hierdoor ontstaat er een wolk van zwak gebonden vrije elektronen die, bij het toepassen van een elektrisch veld over het materiaal, door dit materiaal zullen vloeien en zo een elektrische stroom veroorzaken. Voorbeelden van goede geleiders zijn onder andere zilver (Ag) en koper (Cu).

Isolatoren daarentegen hebben een valentieband (hoogste energieniveau) die volledig is opgevuld en bijgevolg valentie-elektronen die sterk gebonden zijn rondom de kern. Bovendien is er een aanzienlijk energieverschil tussen de hoogste energieband (valentieband) en de op één na hoogste energieband (conductieband) waardoor elektronen zich ook niet gemakkelijk tussen verschillende banden kunnen verplaatsen. Als er nu een elektrisch veld wordt aangelegd over het materiaal zullen er geen mobiele ladingsdragers zijn waardoor er geen stroom zal vloeien.

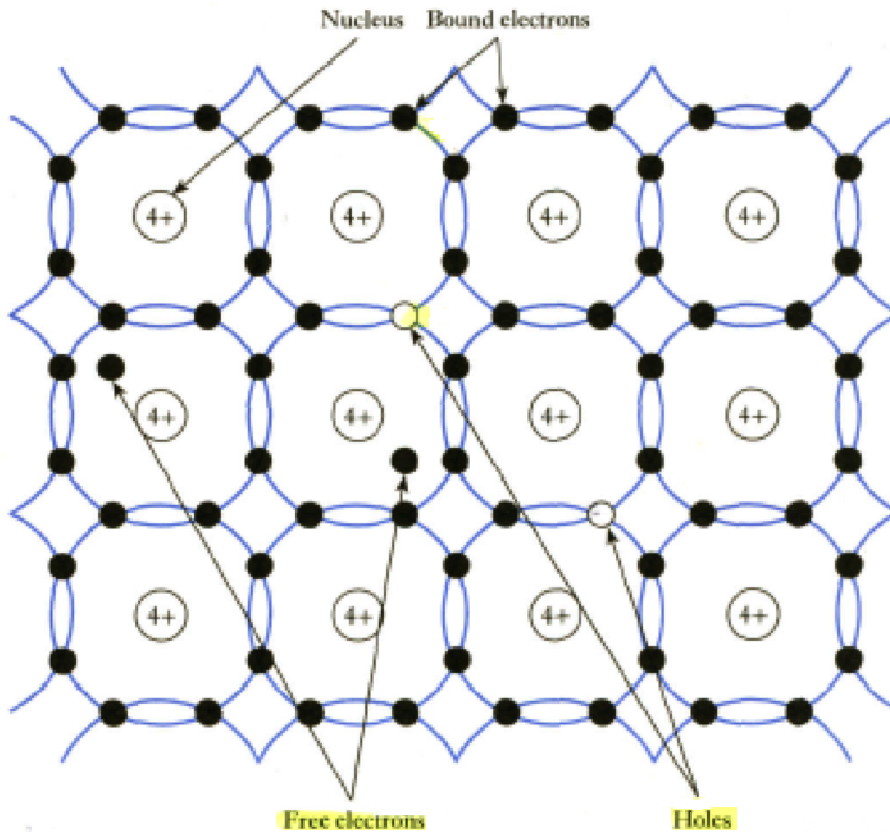
Halfgeleiders hebben eigenschappen die tussen de twee voorgaande materialen geplaatst kunnen worden.

Bij lage temperaturen hebben ze de eigenschappen van isolatoren. Figuur 2-6 geeft de binding van de valentie elektronen bij silicium-atomen weer bij een temperatuur van 0K. Elk silicium-atoom heeft 14 elektronen waarvan 4 valentie-elektronen. Een atoom zal altijd proberen om een stabiele octetstructuur (8 elektronen in de buitenste schil) te bereiken. Daarom gaan in een silicium-kristal de elektronen zich binden zodat er een sterke binding ontstaat van 8 elektronen: de covalente binding. Hierdoor gedraagt silicium zich als een isolator bij lage temperaturen.



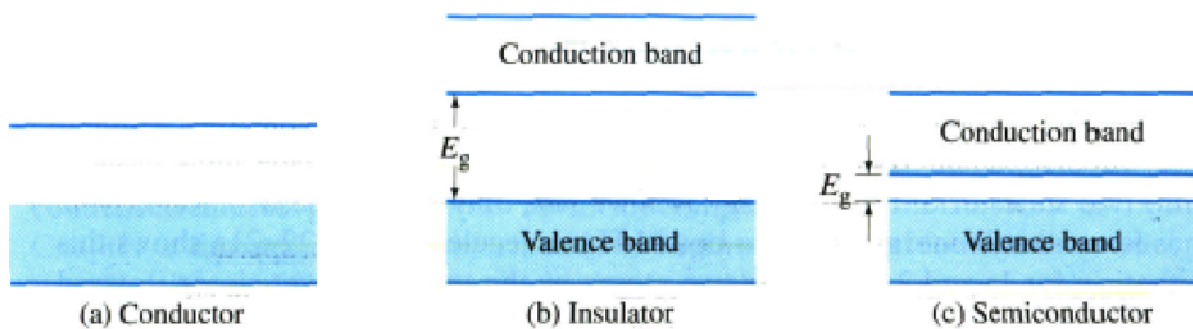
Figuur 2-6: De atomaire structuur van silicium bij een temperatuur van 0K
(Bron: Storey, 2009)

Bij hogere temperaturen zijn er sommige elektronen die vrij door het materiaal kunnen bewegen. Dit komt door het thermisch trillen van de atomen die ervoor zorgen dat sommige bindingen verbroken worden. Hierdoor ontstaan er vrije elektronen die doorheen de kristalstructuur kunnen bewegen en er ontstaan "holes" op de plaatsen waar de elektronen zijn losgekomen. De reden waarom de sterke bindingen bij halfgeleiders toch verbroken kunnen worden in tegenstelling tot isolatoren is dat het energieverval tussen de twee buitenste energiebanden aanzienlijk kleiner is dan bij isolatoren.



Figuur 2-7: De effecten van thermische trilling op de structuur van silicium
(Bron: Storey, 2009)

Figuur 2-7 laat de vrije elektronen en de "holes" zien. Bij het toepassen van een elektrisch veld zullen de elektronen in dit geval dragers zijn van negatieve ladingen terwijl de gaten dragers van positieve ladingen zijn. Beiden zullen in dit geval bijdragen aan de elektrische stroom. Dit principe wordt intrinsieke geleiding genoemd. (Giancoli, 2005; Storey, 2006)



Figuur 2-8: Energy gap bij verschillende materialen
(Bron: Giancoli, 2005)

Figuur 2-8 geeft tenslotte een overzicht van de energiebanden voor de verschillende materialen. Hieruit blijkt dat de valentieband bij een geleider slechts gedeeltelijk opgevuld is terwijl bij isolatoren en halfgeleiders deze band wel volledig gevuld is. Het verschil tussen deze laatste 2 materialen is echter te vinden in het energieverval tussen de buitenste energetische banden. Het belang van dit energieverval zal verderop duidelijk worden. (Giancoli, 2005)

2.2.3.2.2 Doperen van silicium

Bij de halfgeleiders die gebruikt worden in fotovoltaïsche toepassingen zijn zeer kleine onzuiverheden toegevoegd waardoor de eigenschappen drastisch veranderen. Dit proces is beter bekend als het doperen van halfgeleiders. Meer specifiek worden materialen toegevoegd die passen in de bestaande kristalstructuur, maar met een verschillend aantal valentie-elektronen. Zo worden er materialen toegevoegd met één elektron meer of minder dan silicium in de buitenste schil. (Storey, 2006)

Indien een materiaal wordt toegevoegd met 5 elektronen in de buitenste schil (en dus één elektron meer dan silicium) gaan 4 elektronen binden met silicium. Het extra, vijfde, elektron gaat echter zwak gebonden zijn en kunnen bewegen door het materiaal. Het materiaal heeft nu vrije negatieve ladingsdragers, in de vorm van elektronen. Dit type van halfgeleider wordt n-type halfgeleider genoemd. (Giancoli, 2005; Storey, 2006)

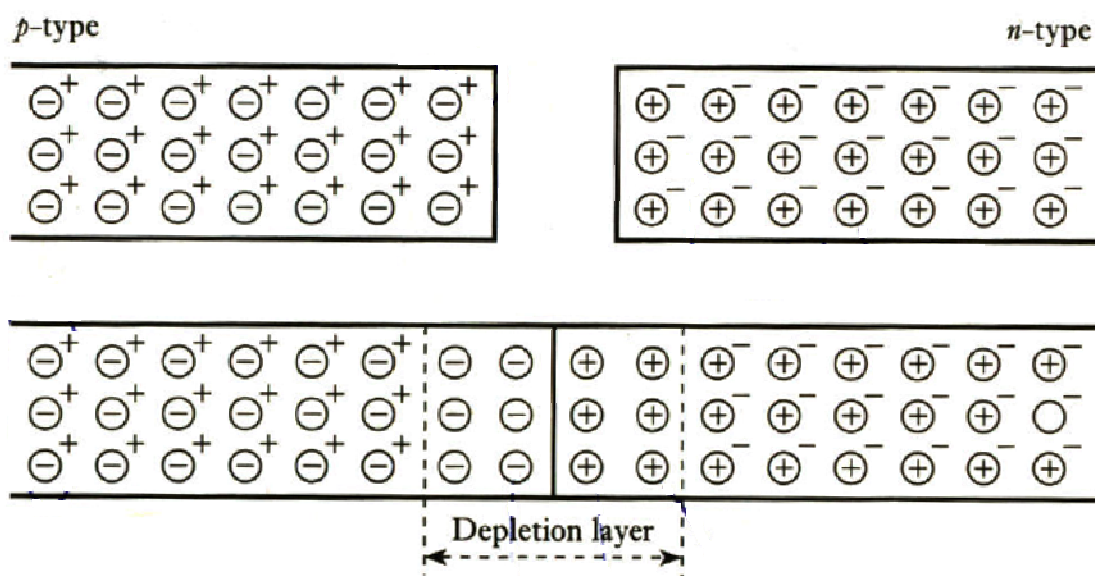
Bij een p-type halfgeleider zien we net het omgekeerde. Hier wordt een stof toegevoegd met slechts 3 elektronen in de buitenste schil. Hierdoor kunnen slechts 3 elektronen binden met de Si-atomen waardoor er een gat achterblijft. Elektronen van nabijgelegen atomen kunnen dit gat wel opvullen, maar laten dan op hun beurt een gat achter op de plaats waar ze vandaan komen. Hierdoor ontstaat er een netto positieve lading nabij het gat en wordt er gezegd dat het materiaal vrije positieve ladingsdragers heeft.

Een belangrijke opmerking is echter wel dat beide types halfgeleiders apart elektrisch neutraal zijn. (Giancoli, 2005; Storey, 2006)

2.2.3.2.3 PN-junctie

Pas echt interessant wordt het wanneer een p-type halfgeleider en een n-type halfgeleider worden samengevoegd. Men noemt dit een pn-junctie. De vrije ladingsdragers zullen dan gaan reageren in de regio van het raakvlak. Figuur 2-9 geeft

dit proces weer. De vrije elektronen van het n-type materiaal (dat rijk is aan elektronen) gaan combineren met de gaten van het p-type materiaal waardoor een laag ontstaat waarin amper mobiele ladingsdragers voorkomen (een uitputtingslaag of depletion layer). De elektronen die van het n-type naar het p-type materiaal zijn verplaatst, zorgen voor een overschot aan positieve ladingen bij het n-type materiaal. Door het opvullen van de gaten in het p-type materiaal daarentegen, ontstaat er een overschot aan negatieve ladingen bij het p-type. Als gevolg hiervan gaat er een verschil in lading zijn aan beide kanten van het raakvlak, waardoor een elektrisch veld ontstaat over dit raakvlak. (Giancoli, 2005; Storey, 2006)



Figuur 2-9: Samenvoeging van p-type en n-type halfgeleider tot pn-junctie
(Bron: Storey, 2009)

2.2.3.2.4 De fotovoltaïsche cel

Door het samenvoegen van een p- en een n-type materiaal wordt er een diode gevormd. Storey (2009) beschrijft een diode als een elektrische component die elektriciteit geleidt in één richting maar niet in de andere. Meer concreet zal er vanaf een bepaalde spanning (de turn-on spanning) geleiding zijn in één richting. Bij zonnecellen zullen de vrijgemaakte elektronen zo slechts naar één zijde bewegen. Zo kunnen ze via geleiders worden afgevoerd naar de omvormers om de gelijkstroom om te zetten in bruikbare wisselstroom.

Om het losmaken van de elektronen en de gaten beter te begrijpen moeten we kort ingaan op de theorie van Planck omtrent straling en fotonen. Licht wordt namelijk uitgezonden als kleine partikels, fotonen genaamd. Vermits zichtbaar licht deel

uitmaakt van het elektromagnetisch spectrum betekent dit dat het energieniveau van de fotonen afhankelijk is van de frequentie van de invallende elektromagnetische golf. Dit gebeurt volgens onderstaande formule:

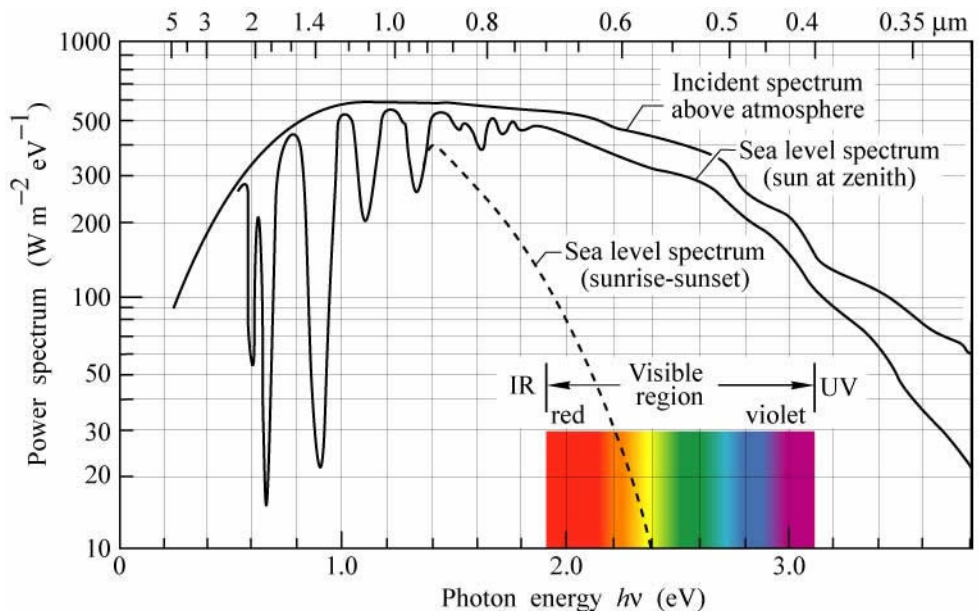
$$E = h \times f$$

Waarbij:

h = constante van Planck = $6,626 \times 10^{-6}$ Js

f = frequentie van de elektromagnetische golf (in Hz)

Figuur 2-10 beschrijft op de horizontale as bovenaan de golflengte van het licht. Onderaan volgt dan uit de vergelijking van Planck de energie van de fotonen.

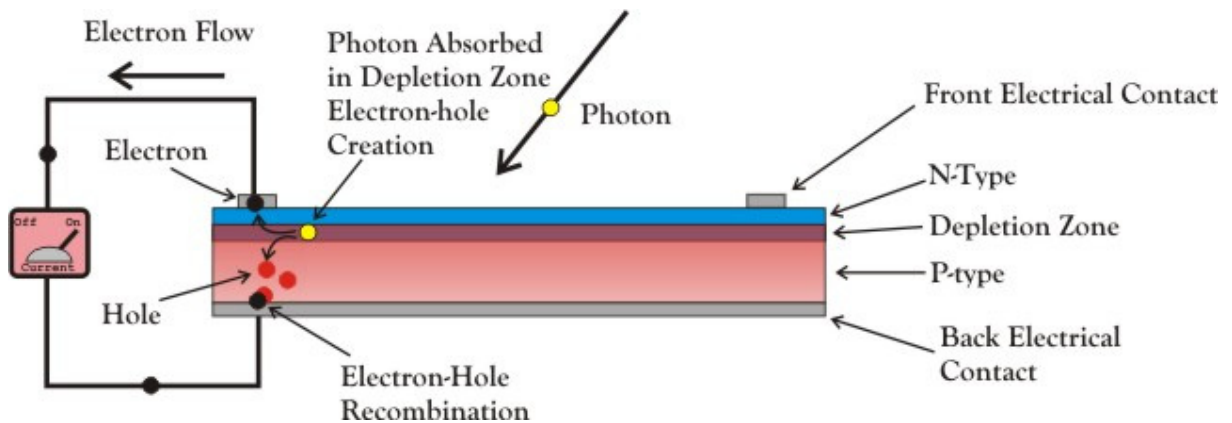


Figuur 2-10: Verband tussen golflengte van het licht en de energie van de fotonen
(Bron: Shubert, 2009)

Indien de energie van het foton groter is dan de band gap energie van het materiaal (zoals reeds aangehaald bij de bespreking van Figuur 2-8), dan wordt de energie van het licht overgedragen aan een elektron. Dit elektron kan zich vervolgens losmaken en via het elektrisch veld worden de elektronen in de richting van de n-kant gestuurd. Via de contactpunten op het paneel bewegen deze elektronen naar de p-kant van het paneel (waar de elektronen worden aangetrokken door de positieve ladingen) waardoor er een stroom van elektronen ontstaat. Doordat het elektrisch veld voor een spanning zorgt krijgt de zonnecel een bepaald vermogen. (vermogen = spanning x stroomsterkte) (Giancoli, 2005; Aldous, 2000)

Figuur 2-11 helpt deze abstracte begrippen te verduidelijken en legt de werking kort uit.

Een foton valt in op de cel en creëert een elektron-gat combinatie in de depletion zone. Het elektron zal door het elektrisch veld naar de n-kant worden gestuwd waar het vervolgens wordt aangetrokken tot gaten aan de p-kant. Het elektron gaat via de geleiders naar de andere kant vloeien waar er opnieuw een combinatie gaat gebeuren met een gat dat werd vrijgemaakt door de energie van een foton. Deze stroom van elektronen draagt bij aan een elektrische stroom.



Figuur 2-11: De werking van een zonnecel
(Bron: Images SI, 2009)

2.2.3.3 Systeem

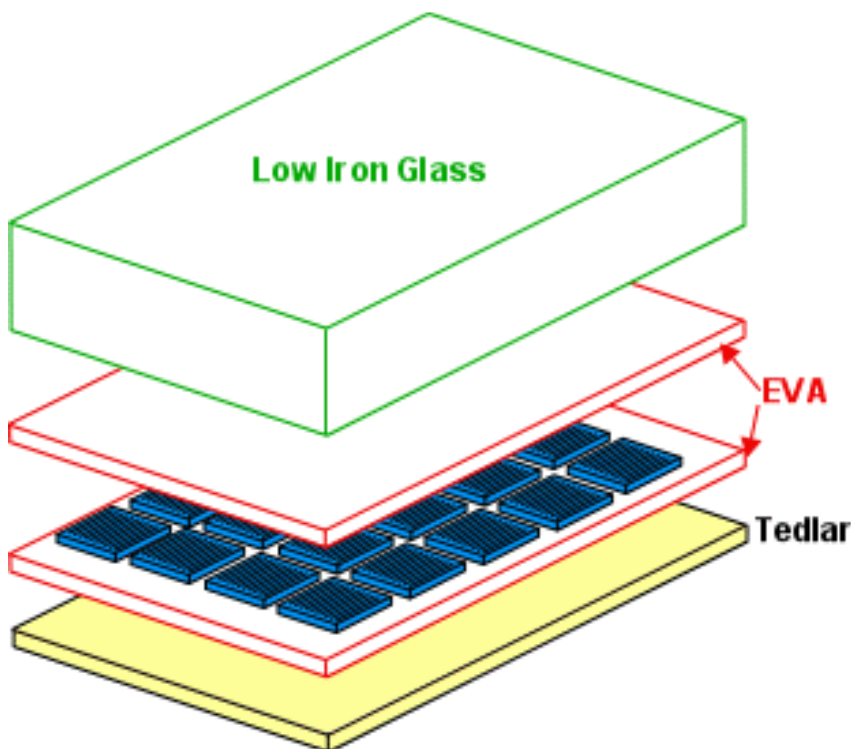
Zonnecellen worden (bijna) nooit los gebruikt maar worden altijd geïntegreerd in modules, waar de cellen onderling worden verbonden met gesoldeerde strips. De organisatie voor duurzame energie (2007) geeft vier goede redenen om zonnecellen te integreren in een fotovoltaïsche module (PV-module)

- ✓ De kleine stroom en lage spanning van de aparte cellen wordt door parallel- en serieschakelingen vergroot tot bruikbare elektriciteit
- ✓ De cellen en metaalcontacten worden zo beschermd tegen weersinvloeden (vooral vocht)
- ✓ De mechanische stevigheid van de broze zonnecellen wordt vergroot
- ✓ De praktische bevestiging op draagstructuren

Fetters (2006) licht het eerste punt verder toe. Een typische PV-cel uit silicium produceert ongeveer 0,5 – 0,6 volt DC-spanning onder open-circuit condities. De

grootte en efficiëntie van de cel bepaalt vervolgens de output van stroom en vermogen.

Wat betreft de bescherming en mechanische stevigheid geeft de organisatie voor duurzame energie (2007) zelf meer uitleg. De voorkant van PV-modules bestaat namelijk uit een lichtdoorlatende plaat (meestal een glasplaat) die thermisch gehard is en een laag ijzergehalte heeft om zoveel mogelijk licht door te laten. Dit glas is water- en dampdicht, kras- en hagelbestendig en zelfreinigend. Om de achterkant van de modules waterdicht te houden wordt meestal een PVF-film (PolyVinylFluoride) zoals Tedlar gebruikt. Verder worden de zonnecellen zelf nog extra beschermd tegen indringing van vocht, temperatuurschommelingen en veroudering door UV-straling door ze in te kapselen met een vochtbestendige kunststof: EthylVinylAcetaat (EVA). Figuur 2-12 geeft de verschillende lagen van een typische module grafisch weer.



Figuur 2-12: Opbouw PV-module
(Bron: Honsbert & Bowden, sd)

2.2.3.3.1 Kenmerken van modules

Om rendementsberekeningen te maken is het belangrijk om een goed begrip te hebben van relevante modulekenmerken. De belangrijkste kenmerken zullen daarom onderstaand besproken worden:

- Efficiëntie

De hoeveelheid ingestraalde energie die wordt omgezet in elektrische energie.

- Nominaal vermogen of piekvermogen in Wattpiek (Wp)

Dit is het vermogen dat de zonnecel of het zonnepaneel levert onder internationaal vastgelegde standaardcondities, de Standard Test Conditions (STC):

- 1000 W/m² instralend vermogen
- Een celtemperatuur van 25° C
- Zonlicht van een spectrum dat lijkt alsof het licht door de atmosfeer gepasseerd is: AirMass (AM) = 1,5

Een systeem van 60 Wp geeft onder bovenstaande voorwaarden dus een vermogen van 60 Watt. Dit wil echter niet zeggen dat dit systeem niet meer dan 60 watt kan genereren. Dit is afhankelijk van de omgevingsvoorwaarden.

2.2.3.4 Soorten

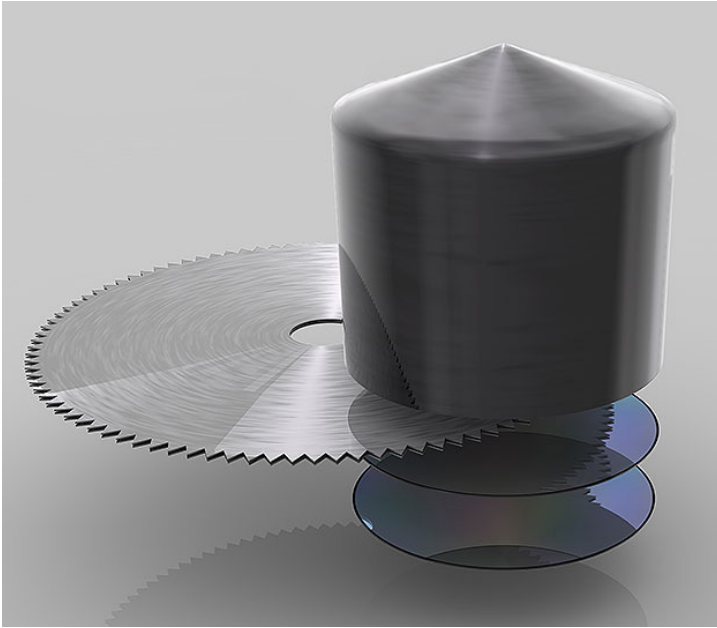
Tot nu toe zijn in de voorafgaande bespreking vooral de traditionele zonnecellen op basis van silicium aan bod gekomen. Toch is het in het kader van het onderzoek bij bedrijven belangrijk om een onderscheid te maken tussen de verschillende soorten panelen die op de markt beschikbaar zijn. Vermits elk bedrijf andere mogelijkheden heeft betreffende plaats, beschikbare middelen, verwachtingen en dergelijke meer moet er een afweging worden gemaakt van de te installeren installatie. Daarom worden de belangrijkste soorten en technieken onderstaand besproken.

2.2.3.4.1 Kristallijn silicium cellen

Binnen de kristallijne zonnecellen dient er een onderscheid gemaakt te worden tussen enerzijds monokristallijn cellen en anderzijds poly- of multikristallijne cellen.

Monokristallijn cellen zijn gemaakt van siliciumschijven die zijn gezaagd uit één groot kristal (een ronde cilinder) dat gevormd werd volgens de Czochralski methode. Bij deze methode wordt een "seed kristal" in gesmolten silicium ondergedompeld en vervolgens met een rotatiebeweging terug uit het smeltbad gehaald. Hierdoor groeit er 1 groot cilindervormig kristal. (Chan, Gibeling, & Grubin, 1988)

Figuur 2-13 verduidelijkt het proces waar wafers gezaagd worden uit een siliciumcilinder, ook ingot genoemd.



Figuur 2-13: Het verzagen van een siliciumcilinder tot wafers

Het resultaat, na enkele ingrepen, is uiteindelijk een egale zonnecel zoals te zien is op Figuur 2-14.



Figuur 2-14: Monokristallijn zonnepaneel
(Bron: BP SOLAR, 2009)

Bij polykristallijn of multikristallijn cellen wordt vloeibaar silicium in een vorm gegoten. Bij afkoeling ontstaan verschillende silicium-kristallen door het stollen waardoor het materiaal een onregelmatig geschakeerd uitzicht krijgt. Vervolgens worden ook hieruit wafers gezaagd. Het rendement van multikristallijn cellen ligt iets lager dan bij monokristallijn cellen. De kostprijs ligt echter ook lager waardoor er bij een investeringsbeslissing een afweging moet gemaakt worden tussen kostprijs en rendement. Figuur 2-15 geeft zulk paneel weer. (Organisatie Duurzame Energie, 2007)



Figuur 2-15: Polykristallijn zonnepaneel
(Bron: BP SOLAR, 2009)

Beide soorten cellen worden momenteel het meest gebruikt zoals ook blijkt uit Figuur 2-17 waar mono-kristallijn silicium en poly-kristallijn silicium samen 87,4% van de markt uitmaakten in 2007. Het grote voordeel is dan ook dat silicium, de basisgrondstof voor deze cellen, goed beschikbaar is op aarde. Een nadeel is wel dat er veel silicium nodig is wat de panelen, samen met de hoge kostprijs van de waferproductie, vrij duur maakt. (European Photovoltaic Industry Association, 2008)

Volgens het Vlaams Agentschap Ondernemen (2009) is er bij veel industriedaken verder een probleem dat optreedt door de windbelasting van de panelen die onder een hoek staan opgesteld. Hierdoor wordt verankering of verzwaring noodzakelijk. Dit is iets waar veel industriële gebouwen niet op voorzien zijn. Ook Lorenz, Pinner, Seitz, Farrell, & Remes (2008) weten verder dat men voor deze soort van panelen kort bij de theoretische efficiëntielimiet zit ($\pm 31\%$). Hoewel er nog verbeteringen mogelijk zijn zullen deze verbeteringen altijd vrij kostelijk zijn. De Organisatie Duurzame Energie (2007) weet hier nog aan toe te voegen dat zaagverliezen ook een belangrijke kost met zich meebrengen. Desondanks zijn de silicium-zonnecellen tot op de dag van vandaag nog altijd koploper wat betreft de efficiëntie.

2.2.3.4.2 Dunne film cellen

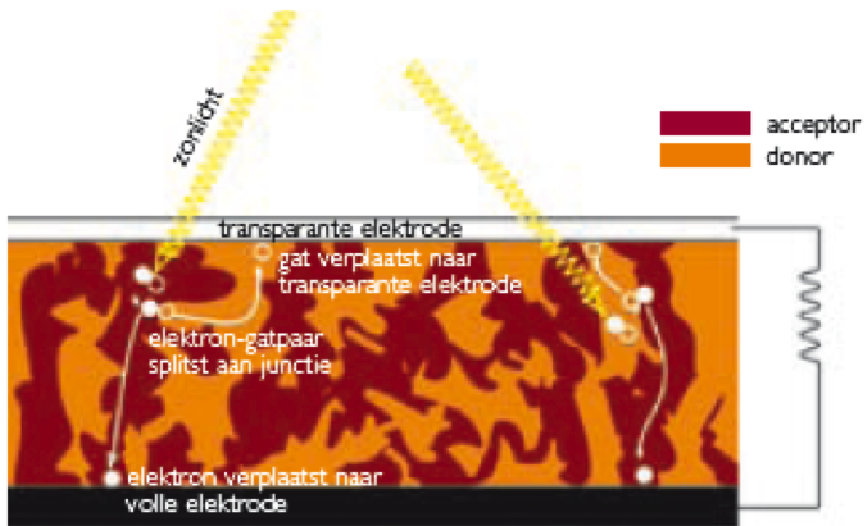
Bij deze soort modules worden dunne lagen van lichtgevoelige materialen op goedkope structuren geplaatst zoals glas, roestvrij staal of plastic. Hierdoor zijn deze modules veel goedkoper dan bovenstaande kristallijne technologieën. Hoewel er een prijsvoordeel is moeten deze modules het vooralsnog afleggen tegen de kristallijne tegenhangers wat betreft efficiëntie. Toch moet opgemerkt worden dat deze panelen iets beter presteren bij diffuus licht. (European Photovoltaic Industry Association, 2008)

Vooraf cellen die gebruik maken van amorf silicium zijn interessant voor toepassingen bij industriële bedrijven. Bij amorf silicium is er geen regelmatig geordend kristalrooster zoals bij kristallijn silicium, maar er is een netwerk van onregelmatig geordende silicium-atomen. Dit werd bekomen door het opdampen van silicium in plaats van het versnijden. Een interessante vorm van deze cellen voor industriële gebouwen zijn de amorf-silicium dakrollen. Deze rollen kunnen op bestaande dakbedekking van platte daken gekleefd worden of zelfs dienen als dakbedekking. Door hun lichte gewicht en het feit dat er geen extra windbelasting optreedt (i.t.t. gewone zonnepanelen die onder een hoek staan en veel wind vangen) worden er geen extra eisen gesteld aan het draagvermogen van de dakconstructie. Dit is voor veel industriedaken een goede oplossing vermits veel van deze daken niet bekwaam zijn om zware lasten te dragen. (Organisatie Duurzame Energie, 2007; Vlaams Agentschap Ondernemen, 2009)

2.2.3.4.3 Flexibele/organische zonnecellen

Flexibele of organische zonnecellen zijn de zonnecellen van de toekomst. Deze cellen bestaan uit polymeermoleculen of kleine organische moleculen. Polymeren worden opgelost in een solvent en aangebracht op een ondergrond. Wanneer het solvent vervolgens verdampt blijft een dunne actieve laag achter (± 100 nm).

Zulke zonnecellen werken volgens een principe met twee organische moleculen (een donor- en een acceptormolecule). Net zoals bij de klassieke silicium-cellen worden hier door absorptie van fotonen elektron-gatparen gevormd die een ladingstransport in gang zetten bij de raakvlakken tussen de donor- en acceptormoleculen. Figuur 2-16 verduidelijkt deze uitleg. (Heremans, 2008)



Figuur 2-16: Werkingsprincipe van een organische polymeerzonnecel
(Bron: Heremans, 2008)

Heremans (2008) licht een aantal voordelen toe van deze techniek: Door de ontzettend dunne actieve laag is de materiaalkost per vierkante meter zeer laag. Ook zijn er oneindig veel varianten van organische moleculen waardoor er veel mogelijkheden zijn om materiaalcombinaties te optimaliseren. Rechtstreeks gevolg hiervan is dat allerlei varianten kunnen ontwikkeld worden die beantwoorden aan specifieke noden.

Toch mogen de talloze nadelen en problemen niet uit het oog verloren worden. Om tot een commercieel product te komen moet de efficiëntie omhoog (op dit moment amper 4 tot 6%). Verder reageren organische moleculen met zuurstof uit de lucht waardoor

ze afbreken. Hierdoor zijn de cellen niet stabiel wanneer ze aan de buitenlucht worden blootgesteld. (Heremans, 2008)

Uit voorgaande tekst blijkt dat de commerciële toepassing van deze cellen nog niet voor morgen zal zijn maar toch dient de ontwikkeling van zulke cellen zeker van kortbij gevolgd te worden. Een bedrijf moet namelijk altijd vooruit kijken, zowel voor klassieke investeringen als voor milieu-investeringen.

2.2.3.4.4 Concentrated solar power.

Bij deze manier van energieopwekking wordt zonlicht op een smalle zone gericht via een optische concentrator. Deze bestaat uit een combinatie van concentrerende spiegels en lenzen, gekoppeld aan een zonnevolgsysteem. De belichte zone wordt dan uitgerust met hoogrendements zonnecellen. Materiaal van III-V compound halfgeleiders van silicium en galliumarsenide wordt hiervoor het meest gebruikt. Zo worden efficiënties gehaald tot 30% (tot 40% in laboratoria).

Er zijn wel een aantal grote nadelen verbonden aan dit systeem. Een eerste punt is dat er geen gebruik gemaakt kan worden van diffuus zonlicht waardoor zulk systeem meestal enkel zinvol is in zonovergoten klimaten. Verder wegen de kosten van het zonnevolgsysteem, de spiegels en de lenzen zwaar door en is ook regelmatig onderhoud noodzakelijk. Ten slotte zullen de kostprijzen van de reflectoren en andere componenten niet zo snel dalen als de componenten uit de halfgeleider-technieken. (European Photovoltaic Industry Association, 2008; Organisatie Duurzame Energie, 2007; Lorenz, Pinner, Seitz, Farrell, & Remes, 2008)

Dit systeem is dus niet zinvol voor toepassingen bij industriële bedrijven.

2.2.3.4.5 Vergelijking

Het Vlaams Agentschap Ondernemen vergelijkt in haar technologie-fiche uit 2009 de opbrengsten voor 3 types van PV-cellen, opgesteld onder een optimale helling en zonder schaduwverlies. Tabel 2-2 vat deze vergelijking samen. We zien duidelijk dat de opbrengst voor monokristallijne cellen merkkelijk hoger ligt dan voor de twee andere silicium-varianten. De European Photovoltaic Industry Association maakt in Tabel 2-3 iets meer onderscheid tussen verschillende cellen maar komt tot ongeveer dezelfde conclusies als het Vlaams Agentschap ondernemen.

Tabel 2-2: Vergelijking opbrengsten van 3 types zonnecellen

(Bron: Vlaams Agentschap Ondernemen, 2009)

Type	Vermogen per m ² (Wp/m ²)	Oppervlakte per kWp (m ² /kWp)	Opbrengst per m ² (kWh/m ²)
Monokristallijn Si	135-168	7,4 - 6	113-141
Polykristallijn Si	121-138	8,3-7,2	102-116
Amorf Si	54-63	18,5-15,9	45-53

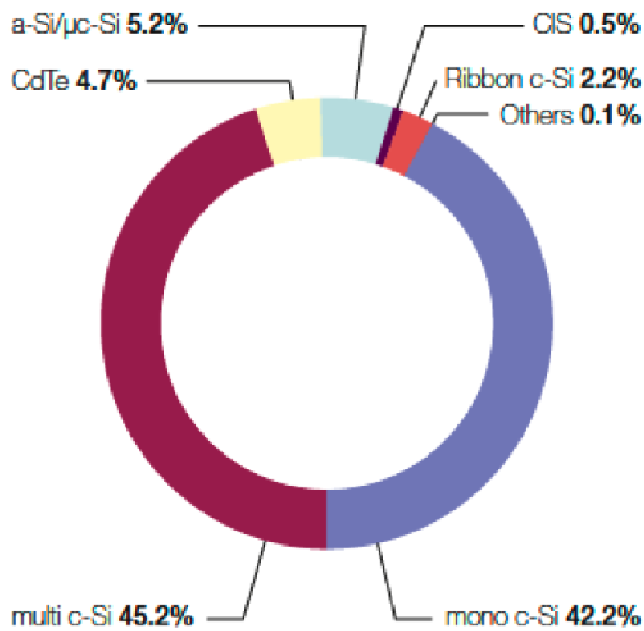
Tabel 2-3: Vergelijking van efficiëntie van dunne film modules en kristallijn silicium modules

(Bron: European Photovoltaic Industry Association, 2008)

Technology	Thin Film				Crystalline wafer based	
	<i>Amorphous silicon (a-si)</i>	<i>Cadmium telluride (CdTe)</i>	<i>Cl(G)S</i>	<i>a-Si/m-Si</i>	<i>Monocrystalline</i>	<i>Multicrystalline</i>
Cell Efficiency at STC*	5-7%	8-11%	7-11%	8%	16 -19%	14 - 15%
Module Efficiency					13 - 15%	12 - 14%
Area needed per kW** (for modules)	15 m ²	11 m ²	10 m ²	12 m ²	app. 7 m ²	app. 8 m ²

* Standard Testing Conditions: 25°C, light intensity of 1,000W/m², air mass = 1.5
 ** kW – kilowatt. Solar PV products and arrays are rated by the power they generate at Standard Testing Conditions

Figuur 2-17 geeft tenslotte een overzicht van het aandeel van verschillende technologieën in het jaar 2007.



Figuur 2-17: Aandeel van verschillende technologieën in 2007
(Bron: European Photovoltaic Industry Association, 2008)

2.2.3.5 Netkoppeling

PV-systemen worden meestal aan het elektriciteitsnet gekoppeld (behalve bij autonome PV-systemen). Het net vervult hierbij een belangrijke bufferfunctie. Wanneer de PV-installatie onvoldoende vermogen levert wordt het verschil aangevuld door energie van het net. Dit kan bijvoorbeeld 's nachts het geval zijn wanneer er geen elektriciteitsproductie is door de PV-installatie of op momenten waar de stroomvraag een piek kent die niet gedekt kan worden door het vermogen van de installatie. Tijdens periodes van overproductie daarentegen vloeit het overschot van de opgewekte elektriciteit terug naar het distributienet. (Vlaams Agentschap Ondernemen, 2009)

2.2.3.5.1 Omvormers/invertoren

Bij de koppeling van de PV-installatie aan het net speelt de omvormer of inverter, zichtbaar op Figuur 2-18, een cruciale rol. De omvormer vormt namelijk een koppeling tussen de gelijkstroomkant (PV-systeem) van de installatie en de wisselstroomkant (eigen vermogensbehoefte en het openbaar net) van de installatie.



Figuur 2-18: Omvormer Sunny Boy 3000 TL van SMA Solar Technology

(Bron: SMA Solar Technology, sd)

Een andere belangrijke functie, vervuld door de omvormers, is het zoeken naar het maximaal vermogen punt (MVP). Vermogen (in Watt) wordt gekenmerkt door het product van stroomsterkte (in Ampère) en spanning (in Volt). Het product van voorgaande grootheden is dus best zo hoog mogelijk om de PV-installatie ten volle te benutten. De omvormer zoekt daarom naar de optimale combinatie van stroom en spanning en dus het maximale vermogen. De geleverde spanning varieert enkel in functie van de temperatuur. De geleverde stroom varieert evenredig met het ingestraalde licht. Logischerwijs varieert het vermogen van een PV-systeem dus met de temperatuur van de cellen en het ingestraalde licht.

De omvormers houden verder ook nog data bij om de opbrengsten van het PV-systeem te kunnen opvolgen. (Organisatie Duurzame Energie, 2007)

Omvormers voor vermogens ≤ 10 kW AC

In het Technisch Reglement Distributie van de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt (VREG) stelt men in artikel 2.4.2 §1 dat:

"Voor productie-installaties met een maximaal AC-vermogen van 10 kVA moet op verzoek van de distributienetgebruiker en op kosten van de distributienetbeheerder de meetinstallatie op zo'n wijze aangepast worden, dat de elektrische productie van de installatie die geïnjecteerd wordt op het distributienet, in rekening gebracht kan worden van de afname, tussen twee meteropnames. Dit in rekening brengen gebeurt per tariefperiode en maximaal ten belope van de afname. ..."

(VREG, 2010)

De elektriciteitsmeter aan het distributienet moet dus met andere woorden kunnen terugdraaien indien het aansluitvermogen aan de wisselstroomzijde van de omvormer maximaal 10 kW bedraagt. Zo moet er enkel de netto opgenomen stroom betaald worden. De opgewekte stroom van de PV-installatie die geïnjecteerd werd in het net wordt dus tegen het geldende dagtarief vergoed. Deze vergoeding is echter beperkt tot het eigen jaarlijkse verbruik. De zogenaamde energie "onder 0" wordt dus niet automatisch vergoed.

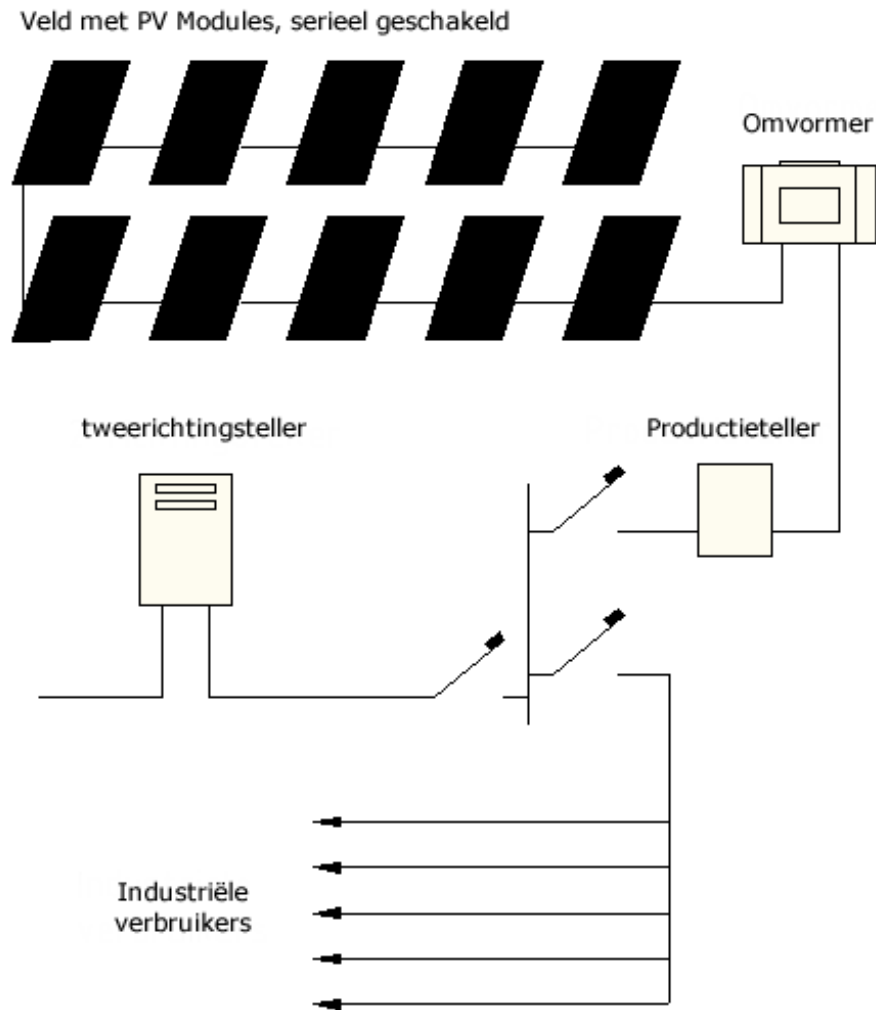
Omvormers voor vermogens > 10 kW AC

Voor aansluitvermogens aan wisselstroomzijde van de omvormer, groter dan 10 kW geldt Artikel 2.4.2 §2 van het Technisch Reglement Distributie van de VREG. Daarin stelt men dat:

"Voor productie-installaties met een vermogen groter dan 10 kW plaatst de distributiebeheerder een meetinrichting met uitlezing van de productie minstens op maandbasis. "

(VREG, 2010)

In dit geval zijn dus twee aparte meters voor verbruik en PV-productie verplicht. Bijgevolg zullen er twee aparte aansluitpunten (met twee aparte EAN-codes) geplaatst moeten worden. De afname van en injectie in het net worden door een tweerichtingsteller apart gemeten. In één richting wordt de netto afgenomen elektriciteit gemeten indien het verbruik niet gedekt kan worden door de PV-installatie (bijvoorbeeld 's nachts). In de andere richting wordt de meerproductie gemeten en dus de netto geïnjecteerde elektriciteit. Voor de verkoop van stroom die geïnjecteerd werd in het net moet er een afzonderlijke afnemer gezocht worden op de vrije markt en er moet onderhandeld worden over de verkoopprijs hiervan. Voor de meting van de totale productie aan groene stroom plaatst de distributiebeheerder, zoals bovenstaand geciteerd, een aparte meter. (Vlaams Agentschap Ondernemen, 2009)



Figuur 2-19: Schematisch overzicht netkoppeling met twee aansluitpunten

(Bron: Eigen tekening)

Figuur 2-19 geeft een schematisch overzicht voor de situatie waar het vermogen groter is dan 10 kW AC. Links bovenaan staat een string van serieel geschakelde PV modules. Deze modules produceren, indien er voldoende zonlicht is, een bepaalde gelijkspanning. De omvormer vormt deze gelijkspanning om naar een wisselspanning, geschikt voor industrieel verbruik en voor het net. De productieteller berekent vervolgens het totaal van de geproduceerde groene energie en staat los van de

tweerichtingsteller die de netto afgenomen elektriciteit registreert. De industriële verbruikers worden zo gevoed door het PV-systeem in combinatie met elektriciteit van het net.

2.2.4 Huidige stand van zaken

In hoofdstuk 2.2.2.2 werden een aantal variabelen naar voor gebracht die bepalend zijn voor de toekomst van de PV-markt. Om het belang van deze factoren na te gaan en om tot een stand van zaken te komen in de huidige markt heb ik enkele personen gecontacteerd uit de sector.

2.2.4.1 Systeemintegratie

Volgens de EPIA (2009) worden de technische limieten van de verdere groei van PV bepaald door de kwaliteit van het distributienet. Om na te gaan wat de kwaliteit van het Belgische net is op de dag van vandaag en om uitdagingen naar de toekomst toe te bepalen, heb ik contact opgenomen met Eefje Peeters van Vlaamse instelling voor technologisch onderzoek (VITO). Het VITO doet momenteel namelijk veel onderzoek naar een zogenaamd 'smart-grid' of intelligent energienetwerk.

Zij wist me te vertellen dat de energieproductie grote veranderingen ondergaat en dat het huidige distributienet hier niet aan is aangepast. De stijging van hernieuwbare energiebronnen op lokaal niveau (decentrale productie) brengt enkele uitdagingen met zich mee. Zo zijn opbrengsten uit PV- en windenergie niet aanpasbaar aan het verbruik en kunnen er spanningspieken optreden op het netwerk. Daarom zal het energienetwerk intelligenter moeten worden.

In de toekomst zal er dus gegaan moeten worden naar een stroomnet dat in staat is om variabele pieken en dalen op te vangen. Hierbij wordt de combinatie gemaakt van decentrale energieproductie en verschuifbare energievragen. Via demand side management en opslagsystemen of buffers kunnen vraag en aanbod beter op elkaar worden afgestemd. Voor demand side management geeft ze een aantal voorbeelden waarbij elektrische verbruikers informatie uitwisselen met het net. Zo kunnen de verbruikers worden aangeschakeld op momenten dat dit voor het net ideaal is. Er is dus met andere woorden een sturing vanuit het net nodig. Ook moeten er meer buffers geplaatst worden in het net. Momenteel is er in het spaarbekken bij de watervallen van Coe wel sprake van een buffer, doch is dit niet voldoende om stroompieken te kunnen opvangen voor het hele land.

Verder merkt mevr. Peeters op dat, hoewel de deeltechnologieën reeds bestaan, er nog ontzettend veel werk is om alles te integreren.

Uit bovenstaand gesprek kan dus geconcludeerd worden dat het stroomnet in België niet klaar is voor een grote ontplooiing van hernieuwbare energiebronnen.

2.2.4.2 Kostencompetitiviteit

Via prijsreducties en technologische ontwikkelingen zouden de prijzen voor PV-systemen moeten dalen volgens de EPIA (2009).

Om deze stelling te toetsen heb ik een aantal verkopers van PV-systemen gecontacteerd. Onderstaand volgt een samenvatting van de gevoerde gesprekken.

Op dit moment blijkt dat de prijzen zeker niet dalen. In België heeft dit veel te maken met de verlaging van de waarde van groenestroomcertificaten van 450 naar 350 €/MWh vanaf 1 januari 2010. Aangezien veel mensen nog wilden profiteren van de hogere subsidiemaatregelen was de vraag enorm hoog. Hierdoor waren de fabrikanten niet geneigd om de prijzen te laten dalen, hetgeen logisch te verklaren valt met de wetten van vraag en aanbod. Verder waren er in Duitsland, één van de grootste leveranciers van PV-installaties in Europa, plannen om de subsidies drastisch te verlagen. Hierdoor kwam er, net zoals in België, een rush op de PV-markt. Wederom werden er geen prijsverlagingen vastgesteld. Verder blijken de Chinese markten enorm veel vraag te tonen naar silicium. Hierdoor stijgen de grondstofkosten voor de fabrikanten waardoor prijsverlagingen voorlopig uitblijven.

2.2.4.3 Politieke omkadering

Zoals blijkt uit voorgaande interviews heeft de politieke omkadering een zeer grote invloed. De Belgische en Europese regeringen zullen dan ook een groot aandeel hebben in het uitbouwen van slimme energienetten en het uitkeren van subsidies.

2.3 Conclusie van dit hoofdstuk

In dit hoofdstuk werd getracht een antwoord te vinden op de vraag: "Welke zijn de elementaire werkingsprincipes van een PV-installatie?". Naast een antwoord op deze vraag werd ook onderzocht wat de toekomst zal brengen voor de PV-markt en wat er nodig zal zijn om het aanwezige potentieel ten volle te benutten. Hieruit blijkt dat er

nog een hele weg af te leggen valt om tot een grootschalige energieopwekking door middel van PV-technieken te komen.

Hoofdstuk 3: Berekeningsmodel

Het ontwikkelen van een betrouwbaar en correct berekeningsmodel is de essentie van deze masterproef en biedt een antwoord op de tweede deelvraag: "Welke elementen moeten in een analysemodel aanwezig zijn om tot een correcte analyse te komen?".

Het berekeningsmodel is opgebouwd uit vier belangrijke delen. Het is in de eerste plaats een investeringsanalyse, die voor bedrijven nagaat wat het rendement kan zijn van een investering in een PV-systeem. Deze investeringsanalyse is gebaseerd op een ander deel van het model dat, voor elk specifiek bedrijf, gaat kijken wat de optimale dimensionering van de PV-installatie is en welke mogelijkheden er zijn, afhankelijk van enkele bedrijfseigenschappen. Het model gaat echter nog een stap verder door in het derde deel ook de ecologische impact van een investering in PV-systemen op te nemen. Ten slotte worden in het vierde deel enkele bepalende parameters uit de investeringsanalyse onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse d.m.v. het softwarepakket "crystall ball".

Een belangrijke opmerking bij het model is het feit dat de meeste berekeningen twee keer gebeuren. De eerste maal voor een installatie met Silicium-panelen die onder een hoek van 35° met het dak geplaatst worden. De tweede berekening betreft een systeem met dakrollen van amorf Silicium die worden uitgerold op een plat dak. De reden voor dit onderscheid is het probleem van de draagkracht bij veel industriële gebouwen. Vaak kan er omwille van beperkte draagkracht geen systeem geplaatst worden met zware panelen, onder een hoek van 35°. Door zowel de belasting van het gewicht van de panelen als de belasting die de wind met zich meebrengt, zou de dakconstructie het kunnen begeven. In zulke gevallen is het beter om voor de, minder rendabele, dakrollen te kiezen.

3.1 Dimensionering

Bij een investering in een energetische installatie is het van belang om niet lukraak te kiezen voor een bepaald vermogen. Door te werken met een jaarbelastingsduurkromme kan de installatie worden gedimensioneerd om een bepaalde basislast te dekken en pieklasten op andere manieren aan te vullen.

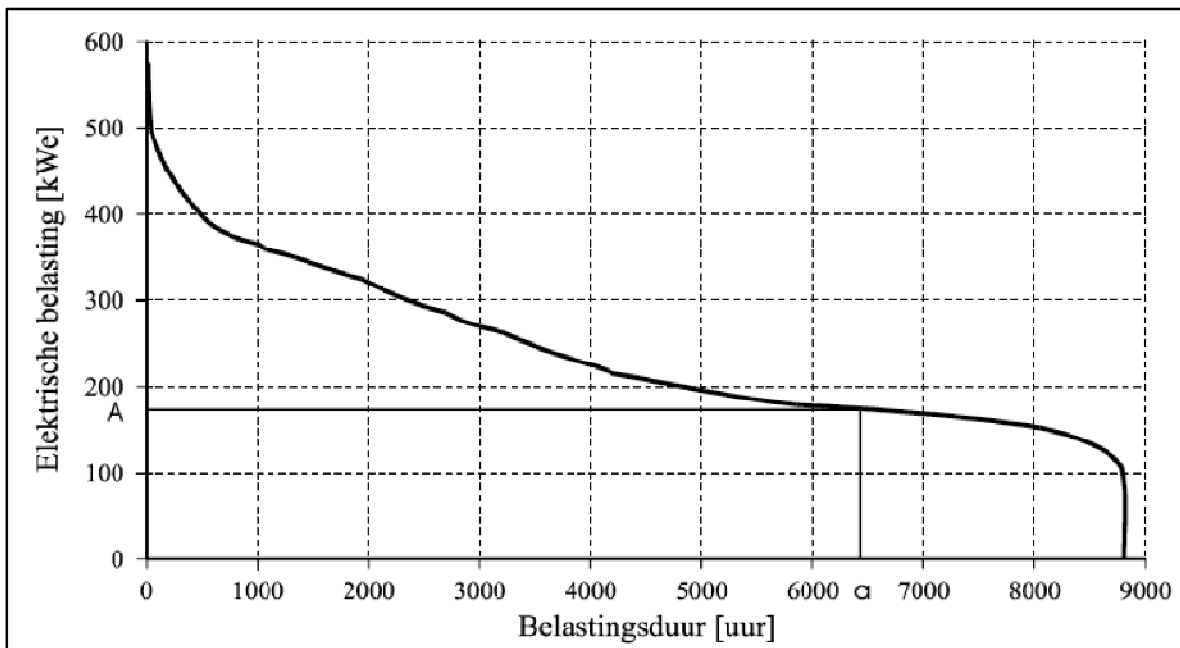
Hierna zal eerst algemene uitleg gegeven worden over de theorie rond een jaarbelastingsduurkromme om vervolgens de concrete berekeningen uit het model uit te leggen.

3.1.1 Theorie rond de jaarbelastingsduurkromme

Een jaarbelastingsduurkromme geeft de relatie weer tussen de tijd en de energievraag. Een punt op deze kromme geeft aan hoeveel uren per jaar een bepaald vermogen (dat kan worden afgelezen op de y-as) overschreden wordt. Hierdoor kan er een onderscheid gemaakt worden tussen basis- en pieklasten. (Dexters, 2007; Poulin, Dostie, Fournier, & Sansregret, 2008)

Het opstellen van een jaarbelastingsduurkromme gebeurt door het gevraagde vermogen per tijdseenheid te rangschikken van groot naar klein en vervolgens uit te zetten op de y-as met de overeenkomende tijdsduur op de x-as.

Bovenstaande uitleg wordt verduidelijkt in Figuur 3-1. Zo zal een vermogen van ongeveer 180 kW (punt A) 6400 uren per jaar worden overschreden.



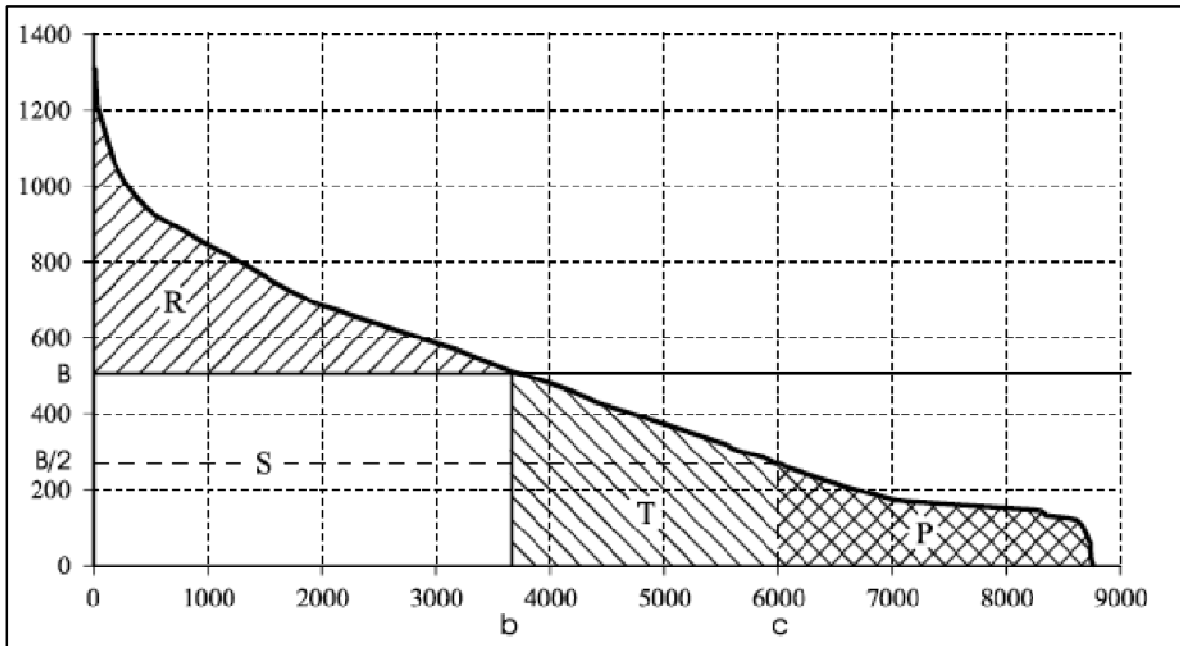
Figuur 3-1: Fictief voorbeeld jaarbelastingsduurkromme

(Bron: Commissie Ampere, 2000)

De volgende stap na het opstellen van de jaarbelastingsduurkromme is het tekenen van een zo groot mogelijk oppervlak onder deze kromme. Gezien het feit dat een jaarbelastingsduurkromme geen logische functie volgt, kan er geen gebruik gemaakt

worden van het rekenen met integralen om de grootste oppervlakte te vinden. Daarom wordt in deze masterproef met een lichte vereenvoudiging gewerkt. Zo zal de rechthoek enkel voor de gekende vermogens worden getekend. Dit principe zal verderop verduidelijkt worden bij de uitleg van het model.

Na het bepalen van de grootste rechthoek onder de kromme kan er nuttige informatie worden afgeleid uit de verschillende gebieden onder de curve. Figuur 3-2 speelt hierop in door het oppervlak onder de curve op te delen in een aantal zones.



Figuur 3-2: Fictief voorbeeld jaarbelastingsduurkromme met opdeling in zones

(Bron: Commissie Ampere, 2000)

Het oppervlak met de letter S geeft hier het optimale oppervlak weer onder de curve en beschrijft dus de basislast. Gebied R weerspiegelt daarentegen de pieklasten die niet gedekt kunnen worden door de installatie. Op deze momenten zal er dus elders energie gehaald moeten worden. Gebieden T en P ten slotte, geven periodes aan wanneer de opbrengst van de installatie groter is dan het gevraagde vermogen. Het niet-verbruikte vermogen kan worden doorverkocht aan het net, in het geval van een PV-installatie met netkoppeling.

3.1.2 Toepassing op model

De theorie rond de jaarbelastingsduurkromme is ook zeer nuttig bij PV-toepassingen. Een belangrijk aspect in het bepalen van het gewenste vermogen (in kWp) is dat er

rekening gehouden moet worden met de weersomstandigheden. Zo zal een paneel in duistere maanden zoals december, minder elektriciteit opwekken dan in een zonnige zomermaand. Daarom werd in de berekeningen rekening gehouden met instralings- en klimaatgegevens van het Atmospheric Science Data Center, dat nauw samenwerkt met de NASA. Deze gegevens zijn 22-jarige gemiddelden genomen voor het gebied dat beschreven wordt in Figuur 3-3 en begrensd wordt door de volgende waarden:

- 51° Noorderbreedte
- 50° Noorderbreedte
- 5° Oosterlengte
- 6° Oosterlengte



Figuur 3-3: Grenzen van het gebied voor de klimaatgegevens

Dit gebied werd gekozen omdat alle bedrijven uit de gevalstudies van hoofdstuk vier in dit gebied onder te brengen zijn.

De concrete toepassing van de theorie rond de jaarbelastingsduurkromme en het gebruik van de klimaatgegevens zal in onderstaande tekst worden uitgelegd aan de hand van een verklarend voorbeeld.

3.1.2.1 Overzicht elektriciteitsverbruik

Tabel 3-1 geeft de gemiddelde elektriciteitsvraag per maand (in kWh) weer voor een voorbeeldbedrijf. De tweede kolom geeft het aantal uren per maand weer, dit zal verderop nodig zijn bij het opstellen van de jaarbelastingsduurkromme.

Tabel 3-1: Overzicht elektriciteitsverbruik, verklarend voorbeeld

Maand	# uren/maand	E-vraag (kWh)
Januari	744	63.286
Februari	672	64.143
Maart	744	74.000
April	720	79.429
Mei	744	85.571
Juni	720	88.129
Juli	744	73.571
Augustus	744	88.771
September	720	86.700
Oktober	744	88.271
November	720	83.971
December	744	90.271
Totaal		966.114

3.1.2.2 Berekenen benodigd piekvermogen per maand (in kWp)

Uit de samenvattende Tabel 3-2 blijkt dat de opbrengst in kWh/kWp maand per maand verschilt. Hierdoor zal een installatie in januari een groter vermogen nodig hebben om de lasten te dekken dan bijvoorbeeld in de maand juli. De gegevens inzake het gevraagde vermogen per maand worden bekomen door toepassing van onderstaande formule:

$$\text{Vermogen per maand (in kWp)} = \frac{\text{Elektriciteitsverbruik in betreffende maand (in kWh)}}{\text{Opbrengst PV – installatie (in kWh/kWp)}}$$

Voor de maand januari bijvoorbeeld, zal het benodigd vermogen dus berekend worden als volgt:

$$\text{Vermogen per maand (in kWp)} = \frac{63286 \text{ kWh}}{34,80 \text{ kWh/kWp}} = 1818,43 \text{ kWp}$$

Tabel 3-2: Berekenen piekvermogen, verklarend voorbeeld

Maand	kWh/kWp	Vermogen per maand (in kWp)
Januari	34,80	1.818,43
Februari	50,25	1.276,48
Maart	78,06	947,98
April	97,04	818,51
Mei	118,97	719,25
Juni	113,90	773,75
Juli	116,79	629,92
Augustus	110,26	805,11
September	81,82	1.059,65
Oktober	60,53	1.458,27
November	37,54	2.236,93
December	27,84	3.242,62
Totaal	927,81	15.787

Om echter te komen tot de opbrengst in kWh/kWp dient er rekening gehouden te worden met instralings- en klimaatgegevens. In wat volgt zal dan ook stap voor stap worden uitgelegd hoe het uiteindelijk rendement per maand bepaald wordt.

Startpunt van de berekeningen zijn de paneleigenschappen. In dit voorbeeld wordt de berekening uitgelegd aan de hand van Silicium-panels die onder een hoek van 35° met het dak geplaatst worden. De berekening voor de dakrollen verloopt analoog. Ik heb gekozen voor het paneel BP 3230N van de fabrikant BP Solar om de berekening uit te leggen.

Tabel 3-3: Eigenschappen module BP 3230 N

(Bron: BP Solar, 2010)

Vermogen per paneel (in Wp)	230 Wp
Oppervlakte van 1 paneel (in m ²)	1,667 m ²
Temperatuurcoëfficiënt voor P _{max}	0,5% /°C
Nominal Operation Cell Temperature	47°C

De eerste stap is het bepalen van de efficiëntie van het paneel. Dit wordt bekomen door eerst uit te rekenen hoeveel vermogen (in Wp) het paneel biedt per m². Voor bovenvermeld paneel geldt:

$$\frac{230 \text{ Wp}}{1,667 \text{ m}^2} = 137,97 \text{ Wp/m}^2$$

Gezien het feit dat bij het bepalen van het piekvermogen van een paneel gewerkt wordt onder Standard Testing Conditions (STC), weten we dat er een vermogen van 1000 W/m² wordt ingestraald. Vermits het paneel onder zulke condities 137,97 W vermogen genereert kunnen we zeggen dat het paneel een efficiëntie heeft van 13,8%. Het rendement van een PV-paneel geeft namelijk aan hoeveel % van de ingestraalde hoeveelheid licht wordt omgezet door de panelen. In formulevorm wordt dit:

$$\text{Efficiëntie (in \%)} = \frac{\text{Vermogen omgezet in elektriciteit (in Watt)}}{\text{Ingestraald vermogen aan licht (in Watt)}}$$

Door de efficiëntie van de panelen te koppelen aan de instralingsgegevens van het Atmospheric Science Data Center kan er via onderstaande formule berekend worden welk vermogen er in een paneel wordt opgenomen.

$$\begin{aligned} & \text{Opgenomen vermogen (in kWh/m}^2\text{)} \\ & = \text{Ingestraald vermogen van de zon (in kWh/m}^2\text{)} \times \text{Rendement panelen (in \%)} \end{aligned}$$

Zo wordt er voor een Zuidwaarts-gericht paneel onder een hoek van 35° in de maand januari gemiddeld 40,61 kWh/m² ingestraald, voor de regio beschreven in Figuur 3-3. Door deze waarde te vermenigvuldigen met het eerder berekend rendement van 13,8% weten we dat er in de maand januari gemiddeld 5,60 kWh/m² wordt opgenomen door de panelen.

Om nu tot een opbrengst in kWh/kWp te komen, moet er eerst bepaald worden hoeveel m² aan panelen nodig is voor 1 kWp. De berekening met gegevens uit Tabel 3-3 gaat als volgt:

$$\frac{1,667 \text{ m}^2}{\frac{230 \text{ Wp}}{1000 \frac{\text{Wp}}{\text{kWp}}}} = 7,248 \text{ m}^2/\text{kWp}$$

Vermits er in de vorige twee formules respectievelijk waarden in kWh/m² en in m²/kWp werden berekend kan de omrekening naar vermogen in kWh/kWp eenvoudig gebeuren door deze waarden met elkaar te vermenigvuldigen.

$$\text{Opbrengst in } \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} = \text{Ingevoerd vermogen (in kWh/m}^2) \times \text{Oppervlak per kWp (in m}^2/\text{kWp)}$$

Voor de maand januari zou dit product een waarde geven van 40,61 kWh/kWp. Dit is echter NIET de uiteindelijke opbrengst van de panelen. Er moet namelijk nog rekening gehouden worden met een aantal opbrengstverliezen.

Allereerst zijn er reflectieverliezen. Indien het licht niet loodrecht invalt op de panelen zal bij de overgang tussen 2 mediums (van lucht naar glas) een deel van het licht worden weggereflecteerd. (Giancoli, 2005)

Vervolgens is er het verlies door de bekabeling. Elke kabel heeft een bepaalde weerstand die afhankelijk is van de lengte van de kabel, de oppervlakte van de verticale doorsnede en het gebruikte materiaal. Hierdoor ontstaan er spanningsverliezen over de leiding. (Giancoli, 2005)

Verder is er het verlies door de omvormer. Een omvormer kan geen rendement hebben van 100% en zal dus nooit alle ingevoerde gelijkstroom kunnen omzetten naar wisselstroom. Voor het verlies van reflectie, bekabeling en omvormers samen, tel ik in het model met een verlies van 14%.

Voor de maand januari zou dit dan betekenen dat er een opbrengst is van 34,92 kWh/kWp. Deze waarde is echter nog altijd te hoog. Er is namelijk nog een factor die invloed heeft op het rendement, namelijk de celtemperatuur. Uit Tabel 3-3 kunnen we de temperatuurcoëfficiënt en de Nominal Operation Cell Temperature (NOCT) halen. Deze twee waarden leren ons iets over de temperatuurinvloed op de stroomproductie. De temperatuurcoëfficiënt geeft namelijk weer hoeveel het geleverde vermogen verandert per °C die er wordt afgeweken van 25°C (de celtemperatuur onder Standard Testing Conditions). De NOCT geeft de celtemperatuur weer bij een

omgevingstemperatuur van 20°C en een instraling van 800 W/m² en een windsnelheid van 1m/s.

Als benadering ga ik ervan uit dat de temperatuur van de cellen kan gevonden worden via volgende formule:

$$Celtemperatuur (in ^\circ) = T_{omgeving} + NOCT - T_{STC}$$

(Skoplaki & Palyvos, 2009)

Waarbij T_{STC} = Temperatuur onder STC = 25° C. Volgens de gegevens van Tabel 3-3 zou de celtemperatuur dus telkens 22°C (47°C – 25°C) hoger liggen dan de omgevingstemperatuur. Skoplaki & Palyvos (2009) geven in hun werk formules om de celtemperatuur exacter te bepalen, doch dit zou in het kader van deze masterproef te ver reiken.

Door ten slotte het verschil van de celtemperatuur te zoeken met de waarde van 25°C en te combineren met de temperatuurcoëfficiënt wordt het effectief verlies weergegeven. Deze berekeningen worden samengevat in Tabel 3-4.

Tabel 3-4: Berekening verlies door temperatuur in de maand januari

	Januari
T _{omgeving}	3,7° C
T _{paneel}	25,7° C
Afwijking 25°	-0,7°C
winst/verlies	-0,350%

De waarde van 34,92 kWh/kWp die gevonden werd na inachtneming van verliezen door reflectie, bekabeling en de omvormer, zal nu dus gecorrigeerd worden met - 0,350% hetgeen leidt tot de waarde van 34,80 kWh/kWp voor de maand januari, zoals in Tabel 3-2 stond. Voor de andere maanden loopt de berekening analoog.

3.1.2.3 Sorteren van de gegevens

De volgende stap in het opstellen van de jaarbelastingsduurkromme, na het berekenen van het benodigd vermogen per maand, is het sorteren van de gegevens volgens het gevraagde vermogen.

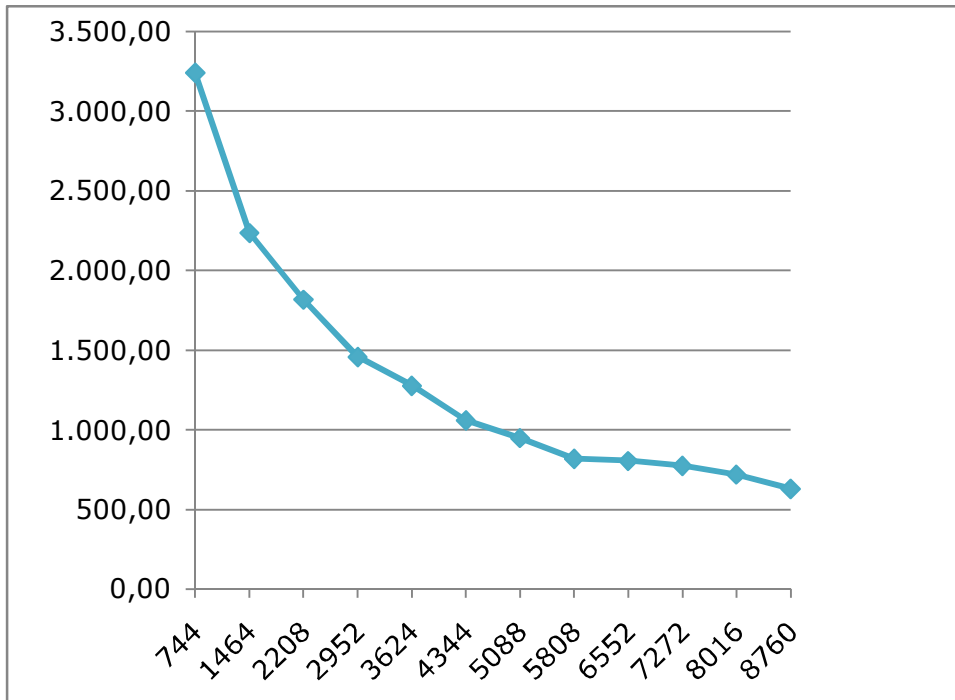
Tabel 3-5 geeft een overzicht van deze rangschikking. De gegevens in de kolommen maand, kWh/kWp en vermogen zijn hetzelfde als die uit Tabel 3-2 maar zijn nu

gerangschikt volgens het vermogen per maand (van groot naar klein). Om uiteindelijk te komen tot de jaarbelastingsduurkromme is het vervolgens nog nodig om het totaal aantal uren te tellen dat een vermogen nodig is. Dit wordt duidelijk uit de voorlaatste kolom.

Tabel 3-5: Sorteren gegevens, verklarend voorbeeld

Maand	kWh/kWp	Vermogen per maand (in kWp)	Uren per maand	Totaal aantal uren	Product
December	27,84	3.242,62	744	744	2.412.509,43
November	37,54	2.236,93	720	1464	3.274.872,50
Januari	34,80	1.818,43	744	2208	4.015.096,72
Oktober	60,53	1.458,27	744	2952	4.304.818,62
Februari	50,25	1.276,48	672	3624	4.625.953,47
September	81,82	1.059,65	720	4344	4.603.115,59
Maart	78,06	947,98	744	5088	4.823.336,98
April	97,04	818,51	720	5808	4.753.928,08
Augustus	110,26	805,11	744	6552	5.275.060,24
Juni	113,90	773,75	720	7272	5.626.730,21
Mei	118,97	719,25	744	8016	5.765.486,40
Juli	116,79	629,92	744	8760	5.518.140,88

Door op de X-as het totaal aantal uren uit te zetten en op de Y-as het gevraagde vermogen per maand, wordt uiteindelijk de jaarbelastingsduurkromme uit Figuur 3-4 bekomen.



Figuur 3-4: Jaarbelastingsduurkromme, verklarend voorbeeld

Om ten slotte de optimale grootte te bepalen van de PV-installatie, wordt in de laatste kolom van Tabel 3-5 het product gemaakt van de waarden op de x- en de y-as van de jaarbelastingsduurkromme. De grootste waarde uit deze kolom weerspiegelt de grootst mogelijke rechthoek onder de curve, volgens de theorie van de jaarbelastingsduurkromme.

In dit geval zou de optimale PV-installatie een vermogen hebben van 719,25 kWp, gezien het feit dat het product in deze rij maximaal is.

Men dient echter nog rekening te houden met het beschikbare dakoppervlak. Aangezien elk paneel een bepaald vermogen (in kWp) per m² heeft kan er op een dak dus geen oneindig groot vermogen geplaatst worden. Stel bijvoorbeeld dat er een beschikbaar dakoppervlak is van 1000 m² terwijl de panelen 137,97 Wp/m² opbrengen, dan kan er maximaal een vermogen van 137,97 kWp geplaatst worden.

Daarom wordt, met het oog op de investeringsanalyse, de kleinste waarde genomen van het optimale vermogen en het maximale vermogen dat op het dak geplaatst kan worden. Met deze waarde wordt dan doorheen de rest van het model gewerkt.

3.2 Investeringsanalyse

3.2.1 Inleidende begrippen

Ieder bedrijf komt op regelmatige basis in aanraking met investeringen. Bij een investering is het doel (meestal) om initieel een inspanning te leveren en in de volgende jaren winsten te halen door inkomsten te genereren die groter zijn dan de oorspronkelijke uitgaven. Het nemen van goede investeringsbeslissingen is van zeer groot belang voor elke organisatie. Een investeringsbeslissing draagt namelijk een aantal gevolgen met zich mee. Meestal is er sprake van een onherroepelijk karakter en zal de onderneming gedurende een aantal jaren gebonden zijn aan een bepaalde investering. Een euro kan namelijk maar 1 keer worden uitgegeven. Op deze manier bestaat het gevaar dat grote bedragen verkwist worden, wat de toekomstige werking van een bedrijf negatief kan beïnvloeden. Verder vragen investeringsprojecten vaak substantiële inspanningen terwijl de toekomstige inkomsten vaak onzeker zijn. (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2004; Mercken, 2004)

Gelet op het voorgaande is het dus enorm belangrijk om een zo betrouwbaar mogelijke investeringsanalyse te maken om vervolgens een beslissing te nemen om al dan niet de investering uit te voeren. Het is dan ook zeer belangrijk om de relevante kasstromen zo objectief mogelijk te bepalen en in te schatten. Daarom zal in de volgende alinea's uitgebreid worden ingegaan op alle relevante kasstromen en de onderliggende redeneringen.

3.2.2 Tijdsduur van de analyse

Bij de analyse is er sprake van 26 periodes. De eerste periode is het zogenaamde "jaar 0". Jaar 0 kan best omschreven worden als de periode waarin de investering gebeurt en gebruiksklaar gemaakt wordt. Bijgevolg worden alle kosten van de investering en alle kosten en baten (o.a. subsidies) die voortkomen uit deze de investering toegewezen aan jaar 0.

Vanaf het moment dat de installatie werkt begint jaar 1. In totaal bekijkt de analyse 25 volledige levensjaren van de installatie. De keuze van 25 jaar volgt uit het feit dat de fabrikanten garanties geven op het nominale vermogen tot 25 jaar gebruiksduur.

3.2.3 Bespreking van de baten

Het investeren in een PV-installatie brengt een aantal baten met zich mee. Deze zullen in onderstaande alinea's uitvoerig besproken worden.

3.2.3.1 Besparing aankoop elektriciteit

Bij het investeren in een PV-installatie wordt er de keuze gemaakt tussen het (gedeeltelijk) zelf opwekken van het benodigde vermogen of het aankopen van elektriciteit bij een leverancier. Indien gekozen wordt voor het zelf opwekken van elektriciteit zal dus bespaard kunnen worden op de aankoop van elektriciteit.

De jaarlijkse besparing wordt als volgt berekend:

$$\begin{aligned} & \text{Besparing aankoop elektriciteit (in €)} \\ & = \text{Aankoopkost elektriciteit (in €/kWh)} \times \text{Percentage eigen verbruik} \\ & \quad \times \text{elektriciteitsproductie (in kWh)} \end{aligned}$$

Zoals blijkt uit de formule zijn er 3 componenten van belang bij het berekenen van de besparing.

Als eerste is er de aankoopkost van elektriciteit bij de huidige leverancier. Deze prijs is bedrijfsspecifiek en wordt jaarlijks bepaald door de leverancier. Als basiswaarde wordt in dit model de gemiddelde prijs van de laatst beschikbare energiefactuur genomen. Voor elk volgend jaar wordt er uitgegaan van een lineaire stijging van de energieprijzen met 3% per jaar. Tot dit percentage werd gekomen door future-prijzen voor elektriciteit op de endex-markt te vergelijken. Op deze markt wordt gehandeld in future-contracten betreffende de energiesector. De prijzen voor deze future-contracten weerspiegelen de verwachtingen van de belangrijkste spelers op deze markt zoals energieproducenten en netbeheerders.

De volgende component is het percentage eigen verbruik. Zoals bleek uit de theorie omtrent de jaarbelastingsduurkromme (*cf. supra*) zijn er momenten waarop de installatie meer elektriciteit produceert dan er vraag is binnen het bedrijf. Als veronderstelling wordt hier genomen dat 25% van de opgewekte energie niet zelf verbruikt wordt.

De laatste factor is de elektriciteitsproductie per jaar. Voor het eerste jaar wordt deze waarde berekend als volgt:

Elektriciteitsproductie (in kWh)

$$= \text{Geïnstalleerd vermogen (in kWp)} \times \text{Geschat rendement (in kWh/kWp)}$$

Zowel het geïnstalleerd vermogen als het geschat rendement werden reeds berekend bij het opstellen van de jaarbelastingsduurkromme. Deze berekeningen zijn echter enkel geldig voor het eerste jaar. Elke PV-installatie is immers onderhevig aan externe omstandigheden zoals vocht en vuil. Daarom wordt er na het eerste jaar rekening gehouden met productiviteitsverliezen van de installatie.

Voor het tweede jaar wordt er gerekend met een lineair productiviteitsverlies van 1,5%. Dit verlies is aanzienlijk maar heeft te maken met de blootstelling van de installatie aan de natuur. Bij het fabriceren van zonnecellen worden deze nog niet blootgesteld aan zonlicht en aan invloeden van de natuur. De productie gebeurt namelijk hoofdzakelijk in zogenaamde cleanrooms. Bij de eerste blootstelling aan de natuurinvloeden zal elke cel en elk paneel nog moeten "acclimatiseren". Verder bestaat er de kans dat de onzuiverheden uit het Silicium (zie hoofdstuk 2.2.3.2.1 omtrent de werkingsprincipes van zonnecellen) gaan kristalliseren met onzuiverheden uit de omgeving en zo ongeleidende kristallen gaan vormen. Hierdoor valt het verlies in jaar 1 te verantwoorden. (Bron: Persoonlijke communicatie met medewerkers van Intellisol NV, op 22 april 2010)

In de daarop volgende jaren wordt er gerekend met een productiviteitsverlies van 0,9% per jaar. Deze verliezen ontstaan door indringend vocht en zuurstof via de verschillende lagen van een zonnecel (zie Figuur 2-12). Onder andere de EVA-folie is niet voor 100% lucht en waterdicht. (Bron: Persoonlijke communicatie met medewerkers van Intellisol NV, op 22 april 2010)

Tabel 3-6: Overzicht productiviteitsverlies over 25 jaar

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100,00%	98,50%	97,61%	96,73%	95,86%	95,00%	94,15%	93,30%	92,46%	91,63%
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
90,80%	89,99%	89,18%	88,37%	87,58%	86,79%	86,01%	85,23%	84,47%	83,71%
21	22	23	24	25					
82,95%	82,21%	81,47%	80,73%	80,01%					

Zoals blijkt uit Tabel 3-6 zal, door het toepassen van deze verliespercentages, de installatie na 25 jaar nog 80% opbrengen van de waarde in het eerste jaar. Dit komt

overeen met de opbrengstgarantie die de meeste fabrikanten bieden na 25 jaar. Er zijn echter producenten die meer dan 80% garanderen na 25 jaar, maar desalniettemin zal in dit model de waarde van 80% behouden worden om de opbrengsten zo kritisch mogelijk te bekijken.

3.2.3.2 Opbrengst levering aan het net

Het gedeelte van het opgewekte vermogen dat niet zelf verbruikt wordt, kan terug het net worden opgestuurd. De relevante uitleg hieromtrent werd in hoofdstuk 2.2.3.5 gedaan. Gezien het feit dat de installaties bij bedrijven meestal groter zijn dan 10kW aan wisselstroomzijde, zal de vergoeding voor levering aan het net niet hetzelfde zijn als de aankoopprijs voor elektriciteit. Als veronderstelling wordt hier genomen dat de verkoopprijs 0,056 €/kWh is. (Bron: Persoonlijke communicatie met medewerkers van Luminus NV, op 22 april 2010)

Bijgevolg zal deze baat jaarlijks als volgt berekend worden:

$$\begin{aligned} & \text{Opbrengst levering aan het net (in €)} \\ & = \text{Percentage niet voor eigen verbruik} \times \text{elektriciteitsproductie (in kWh)} \\ & \times \text{verkoopprijs elektriciteit (in €/kWh)} \end{aligned}$$

3.2.3.3 Opbrengst groenestroomcertificaten

Om de productie van elektriciteit uit hernieuwbare energiebronnen te bevorderen heeft het Vlaams gewest het systeem van groenestroomcertificaten (GSC) opgestart. Dit is een tweeledig systeem waar enerzijds de producenten van hernieuwbare energie GSC ontvangen en anderzijds elektriciteitsleveranciers verplicht worden om jaarlijks een aantal GSC in te leveren bij de Vlaamse Reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt (VREG). De leveranciers moeten namelijk voldoen aan een jaarlijkse certificatenverplichting, die afhangt van de totale geleverde stoom voor een jaar. Indien ze niet voldoende GSC kunnen voorleggen zullen er boetes worden opgelegd door de VREG. In 2010 bedraagt deze verplichting 6% van alle leveringen van een bepaalde leverancier. (Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt, 2010)

Elk certificaat geeft weer dat er 1.000 kWh (of 1MWh) werd opgewekt door middel van een hernieuwbare energiebron. De certificaten worden opgenomen in een centrale gegevensdatabank door de VREG, waar producenten deze kunnen raadplegen. De

producenten kunnen vervolgens certificaten verkopen aan leveranciers die nog niet aan hun certificatenverplichting voldoen. (Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt, 2010)

Het steunbedrag dat via deze certificaten bekomen kan worden bedraagt € 350 per verkregen certificaat, voor installaties die in het jaar 2010 in gebruik genomen worden. Vanaf het jaar 2011 is dit nog slechts € 330 per certificaat. Dit bedrag zal gedurende een periode van 20 jaar betaald worden.

Bij de berekening in dit model worden deze inkomsten evenredig toegewezen aan elk jaar. Indien bijvoorbeeld in een jaar 1200 kWh aan elektriciteit geproduceerd wordt zal er € 420 worden toegewezen aan de opbrengsten van de GSC voor dat jaar. Hiervoor werd namelijk de volgende berekening gevolgd:

$$\text{Opbrengst GSC (in €)} = \text{elektriciteitsproductie (in MWh)} \times € 350$$

In de praktijk zou de opbrengst in het eerste jaar slechts € 350 bedragen (voor de eerste schijf van 1000 kWh) en zou de vergoeding voor de overige 200 kWh pas in het volgend jaar toegekend worden bij het behalen van de volgende schijf van 1000 kWh. Doch lijkt het in het kader van deze masterproef beter om gebruik te maken van het realisatieprincipe. Volgens dit principe moeten opbrengsten erkend worden bij realisatie en niet bij ontvangst. (Jorissen, Lybaert, Reyns, & Vanneste, 2009)

3.2.3.4 Opbrengst andere stimuli en subsidies

Naast de GSC die afhangen van de energieproductie komen bedrijven in aanmerking voor een aantal eenmalige subsidies/stimuli. De bedragen die hieraan gekoppeld zijn zullen worden opgenomen in jaar 0 van de investeringsanalyse.

3.2.3.4.1 Ecologiepremie

Kleine, middelgrote en grote ondernemingen die ecologische investeringen uitvoeren in het Vlaamse Gewest kunnen genieten van ecologiesteun in de vorm van een investeringspremie, de zogenaamde ecologiepremie.

Jaarlijks gebeuren er 3 opeenvolgende oproepen (calls) waarop ondernemingen hun project kunnen indienen. Zo is er begin 2010 een call die loopt van 19 januari 2010 tot en met 30 april 2010 met een budgettaire enveloppe van €40.000.000. De onafhankelijke investeringsprojecten worden op een objectieve wijze beoordeeld en gerangschikt. Het beschikbare subsidiebedrag wordt vervolgens verdeeld over de

gunstig beoordeelde projecten tot de budgettaire enveloppe is opgebruikt. Volgens art. 20 §1 BVR van 16 mei 2007 wordt er geoordeeld op basis van de volgende criteria:

- de mate waarin de ecologie-investering bijdraagt tot de realisatie van de Kyoto-doelstellingen of de milieudoelstellingen
- de economische leefbaarheid van de onderneming;
- de toetreding tot een energiebeleidovereenkomst, gesloten met het Vlaamse Gewest
- het beschikken over een milieucertificaat

Voor investeringen in fotovoltaïsche panelen wordt er wel enkel steun verleend voor het opwekkingsvermogen dat overeenstemt met de "voor eigen gebruik aangekochte elektriciteit". Onder voorgaand begrip wordt het gemiddelde jaarverbruik van de laatste 3 jaar, voorafgaand aan de indieningsdatum van de steunaanvraag, bedoeld. De berekening van het opwekkingsvermogen gebeurt volgens volgende formule:

$$\text{Opwekkingscapaciteit} = \frac{\text{Gemiddeld jaarverbruik}}{800}$$

Het getal 800 in de noemer weerspiegelt het vermogen van 800 kWh dat een paneel van 1 kWp gemiddeld zou produceren in Vlaanderen.

Om het effectieve steunbedrag te bepalen met er rekening gehouden worden met twee factoren. Als eerste speelt de grootte van de onderneming een rol. Zo komen kleine- en middelgrote ondernemingen in aanmerking voor een subsidiepercentage van 40% op het investeringsbedrag. Grote ondernemingen moeten het met een subsidiepercentage van 20% op het investeringsbedrag stellen. Als tweede factor zijn er de meerkosten en besparingen/opbrengsten van de technologie waarin geïnvesteerd wordt. Voor investeringen in PV systemen werd een meerkostenpercentage vastgesteld op 10%. Het uiteindelijke subsidiepercentage wordt gevonden door het subsidiepercentage te vermenigvuldigen met het meerkostenpercentage.

Het uiteindelijke steunbedrag kan dan berekend worden volgens onderstaande formule. Er dient wel opgemerkt te worden dat het steunbedrag beperkt is tot een bedrag van maximaal € 1.750.000 per aanvraag.

$$\text{Bedrag ecologiepremie (in €)} = \text{Subsidiepercentage (in \%)} \times \text{Investeringsbedrag (in €)}$$

Er dient ten slotte nog te worden opgemerkt dat niet alle bedrijven in aanmerking komen voor een ecologiepremie. Een onderneming die in aanmerking wil komen voor

een ecologiepremie moet gevestigd zijn in het Vlaams gewest en moet een hoofdactiviteit uitvoeren (op basis van de NACE-code die is opgenomen bij de kruispuntbank van ondernemingen) die tot één van de toegelaten activiteiten behoort. De lijst met toegelaten activiteiten is te vinden via <http://www.vlaanderen.be/ecologiepremie> en werd tevens in het model geïntegreerd.

3.2.3.4.2 Fiscaal voordeel van de verhoogde investeringsaftrek

De verhoogde investeringsaftrek voor ondernemingen is een fiscaal voordeel waarbij een vastgelegd percentage van 15,5 van de aanschaffingswaarde van de investering mag worden afgetrokken van de belastbare winst.

Het uiteindelijke bedrag van deze subsidie kan dan bijgevolg bepaald worden door onderstaande formule toe te passen:

$$\begin{aligned} & \text{Voordeel investeringsaftrek} \\ & = (15,5\% \times \text{investeringsbedrag}) \times \text{percentage vennootschapsbelasting} \end{aligned}$$

3.2.3.4.3 Bijkomende stimuli van steden of gemeenten

De meeste steden of gemeenten kennen een aantal subsidies toe bij het uitvoeren van duurzame investeringen. Deze bedragen zullen bijgevolg ook worden opgenomen in de baten van jaar 0.

3.2.4 Bespreking van de kosten

Naast de baten moet ook rekening gehouden worden met de kosten die het plaatsen van een installatie jaarlijks met zich mee brengen. Alle kostenposten die werden opgenomen zullen dan ook uitvoerig besproken worden in wat volgt.

3.2.4.1 Kostprijs van de installatie

De kostprijs van de installatie vormt de grootste kost in het zogenaamde jaar 0. Bij het bepalen van de kostprijs van een installatie werd uitgegaan van de waarden uit Tabel 3-7. Deze prijzen per kWp omvatten de kostprijs van de PV-installatie inclusief plaatsingskosten en kosten voor de ondersteunende constructies.

Tabel 3-7: Richtprijzen kostprijs installatie

(Bron: Persoonlijke communicatie met Herman Daniëls, algemeen directeur Intellisol NV, op 22 april 2010)

Grootteorde	Prijs per kWp
5 kWp	3600 EUR
10 kWp	3500 EUR
100 kWp	3300 EUR

3.2.4.2 Kostprijs vervangen omvormer

Net zoals de PV-panelen hebben ook de omvormers last van productiviteitsverlies. Daarom worden deze geacht om minstens 1 keer vervangen te moeten worden, tijdens de nuttige levensduur van de panelen. Daarom neemt dit model in jaar 12 een kost op voor het vervangen van de omvormers. De kost wordt bepaald volgens de gegevens uit Tabel 3-8.

Tabel 3-8: Richtprijzen kostprijs omvormers

(Bron: Persoonlijke communicatie met diverse leveranciers van omvormers, op 22 april 2010)

Grootteorde	Prijs per kWp
5 kWp	500 EUR
10 kWp	400 EUR
100 kWp	300 EUR

3.2.4.3 Lening

Aangezien ondernemingen vaak niet over voldoende eigen middelen beschikken zullen investeringen in veel gevallen (deels) gefinancierd worden door externe middelen. Dit brengt echter, tijdens de looptijd van de lening, een jaarlijkse meerkost met zich mee vermits er intrestkosten betaald moeten worden. Bij het berekenen van deze intrestkosten wordt er in dit model van uitgegaan dat jaarlijks eenzelfde bedrag afbetaald wordt gedurende de looptijd van de lening, een zogenaamde lening door middel van een constante annuïteit. Meer informatie omtrent dit type van lening is te vinden in bijlage 2.

In de investeringsanalyse zal enkel het rentebestanddeel worden opgenomen bij de jaarlijkse kosten. Dit bedrag dient echter nog gecorrigeerd te worden met het belastingspercentage gezien de intresten op leningen fiscaal aftrekbaar zijn voor bedrijven. De jaarlijkse kost van de lening zal dus bepaald worden als volgt:

Jaarlijkse kost lening (in €)

$$= \text{Bedrag aflossing rente} \times (100\% - \text{percentage vennootschapsbelasting})$$

Voor het inschatten van de relevante rendementsvoeten heb ik enkele banken gecontacteerd. De relevante communicatie hieromtrent is te vinden in de bijlagen. Tabel 3-9 biedt een overzicht van de verschillende condities. Afgaande op deze tarieven lijkt het best om bij een looptijd van 10 jaar te rekenen met 4,2 % uitgaande van een vaste rentevoet over de gehele looptijd. Bij een looptijd van 5 jaar lijkt 3,2% het meest aangewezen.

Tabel 3-9: Rentepercentages investeringskrediet

(Bron: communicatie met enkele banken)

Kenmerken	Rentevoet (jaarlijks)
Looptijd 10 jaar, goede cliënt	4,27 % vaste rentevoet
Looptijd 10 jaar, top-client	3,87 % vaste rentevoet
Looptijd 5 jaar, goede cliënt	3,47 % vaste rentevoet
Looptijd 5 jaar, top-client	3,07 % vaste rentevoet
Looptijd 10 jaar, rentevoeten jaarlijks aanpasbaar	± 3%
Looptijd 10 jaar, rentevoeten vijfjaarlijks aanpasbaar	± 4%
Looptijd 10 jaar, vaste rentevoet	± 4,5 %

3.2.5 Bespreking van de kasstromen

Na het bepalen van de kosten en baten per jaar, is de volgende stap het opstellen van een aantal kasstromen. Deze kasstromen zullen vervolgens als input dienen voor een aantal evaluatiemaatstaven ter beoordeling van de investering.

In eerste instantie wordt voor elk jaar het verschil berekend tussen de totale kosten en baten voor dat jaar. Dit geeft een overzicht van de in- en uitstromen van financiële middelen per jaar.

In een volgende stap worden kasstromen opgesteld die rekening houden met een afschrijvingschild. Het principe hierachter is dat een afschrijving een boekhoudkundige kost is. Meer kosten betekenen minder winst en dus ook minder belastingen. Daardoor kan er gesteld worden dat de investering leidt tot het betalen van minder belastingen via de kosten die voortkomen uit de afschrijvingen. Om dit weer te geven zal de vorige cashflow gecorrigeerd worden met een afschrijvingschild volgens onderstaande formule:

$$\begin{aligned} & \text{Cashflow inclusief afschrijvingschild} \\ & = \text{Gewone cashflow} + (\% \text{ vennootschapsbelasting} \\ & \quad \times \text{bedrag afschrijvingen installatie}) \end{aligned}$$

Ten slotte dient er nog rekening gehouden te worden met de tijdswaarde van het geld. Daarom zullen alle toekomstige kasstromen worden omgerekend naar een waarde van nu, wat vergelijking zal vergemakkelijken.

Geld heeft namelijk een bepaalde tijdswaarde. Om de woorden van Mercken (2004) te gebruiken:

" één euro nu (die ik nu bezit) is meer waard dan één euro die ik later zal ontvangen"

De redenering achter dit citaat is dat een euro die we nu bezitten nog belegd kan worden waardoor er inkomsten uit intresten komen. Een euro die later ontvangen zal worden kan nog niet belegd worden. Daarom moeten toekomstige kasstromen worden verdisconteerd naar de waarde van nu. Zo kunnen toekomstige kasstromen vergeleken worden met kasstromen van nu. Disconteren gebeurt volgens volgende formule:

$$X_0 = \frac{X_n}{(1 + k)^n}$$

Waarbij:

- X_0 = Actuele waarde van een kasstroom
- X_n = Waarde van de toekomstige kasstroom
- k = Discontovoet
- n = Jaar van toekomstige kasstroom

De link tussen de toekomstige en de huidige kasstromen wordt, zoals blijkt uit bovenstaande formule, gemaakt door de discontovoet, ook wel kapitaalkost genoemd. De kapitaalkost verwijst voor een bedrijf naar een minimaal vereiste opbrengstvoet

voor haar investeringsprojecten. De kapitaalkost verwijst echter ook naar de opbrengstvoeten die externe kapitaalverschaffers wensen te bekomen op verstrekte middelen. (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2004)

In dit berekeningsmodel wordt er gewerkt met een gewogen gemiddelde kapitaalkost (WACC). Zo wordt er voor de investering zowel rekening gehouden met de vereiste opbrengstvoet van de onderneming als met de rentevoet die betaald moet worden op een eventuele lening. De berekening van de WACC gebeurt als volgt:

$$WACC = r \times \left(\frac{\text{geleend bedrag}}{\text{investeringsbedrag}} \right) + k \times \left(\frac{\text{eigen middelen}}{\text{investeringsbedrag}} \right)$$

Waarbij:

r = intrestpercentage lening

k = interne kapitaalkost van de onderneming

Als interne kapitaalkost wordt in dit model een waarde van 8% gehanteerd, tenzij anders aangegeven door de bedrijven. Deze waarde werd gekozen in overleg met H. Daniels (Intellisol) en G. Kupers (Financieel adviseur in de bedrijfswereld). Deze waarde is bewust niet al te hoog genomen omdat een investering in een PV-installatie anders ondergewaardeerd zou worden. Gezien het feit dat een PV-installatie op een bedrijfsdak een duurzame uitstraling met zich meebrengt. Deze uitstraling is niet kwantificeerbaar in de kosten-batenanalyse dus zal deze factor in de kapitaalkost worden opgenomen.

3.2.6 Evaluatiemaatstaven

Om de cashflows die voortkomen uit de investering te kunnen waarderen, zullen een aantal evaluatiemaatstaven worden berekend. Op basis van deze maatstaven zal dan beslist kunnen worden of een investering al dan niet rendabel is. Onderstaand zullen de maatstaven slechts summier besproken worden. Voor een uitgebreide uitleg verwijs ik graag naar de bijlage.

3.2.6.1 Netto contante waarde en netto contante waarde-profiel

De netto contante waarde (NCW) geeft de huidige waarde van de kasstromen van het project weer. De toekomstige kosten en baten worden verdisconteerd volgens een

actualisatievoet om zo de huidige waarde te berekenen. (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2004; Mercken, 2004)

Een project wordt best verworpen indien de NCW kleiner of gelijk aan 0 is. Een NCW groter dan nul impliceert namelijk dat de geactualiseerde baten, die gegenereerd worden door het project, ruim voldoende zijn om het geïnvesteerde kapitaal terug te betalen en om dit kapitaal te vergoeden met een gepast rendement.

In alle geval geldt dat een hogere waarde beter is dan een kleine vermits het project dan meer zal opbrengen.

3.2.6.2 Interne opbrengstvoet

De interne opbrengstvoet (IOV) sluit nauw aan bij de NCW en het NCW-profiel. De interne opbrengstvoet weerspiegelt namelijk de discontovoet die leidt tot een NCW van 0. (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2004; Mercken, 2004)

Om beslissingen te nemen op basis van de IOV zal deze vergeleken moeten worden met een vooropgestelde, gewenste opbrengstvoet. Indien de IOV de gewenste opbrengstvoet overstijgt zal het project aanvaard worden.

3.2.6.3 Terugverdiëntijd

De terugverdiëntijd geeft, zoals de naam doet vermoeden, aan hoeveel tijd er nodig is om het oorspronkelijke investeringsbedrag terug te verdienen via de inkomende kasstromen in de loop van het project.

Om beslissingen te maken op basis van de terugverdiëntijd zal de terugverdiëntijd vergeleken moeten worden met een vooropgestelde waarde waarin men de investering wil terugverdienen.

3.2.6.4 Verdisconteerde terugverdiëntijd

Het principe van de verdisconteerde terugverdiëntijd is een variant op de gewone terugverdiëntijd. Het verschil situeert zich echter in het feit dat hier berekend wordt hoelang het duurt vooraleer het investeringsbedrag wordt terugverdiend als er rekening gehouden wordt met de huidige waarde van de inkomende kasstromen. Zo wordt er wel rekening gehouden met de tijds waarde van het geld. Het nadeel blijft echter wel nog dat er geen rekening gehouden wordt met kasstromen die gebeuren na de terugverdiendatum. (Mercken, 2004)

3.2.6.5 Return on investment

De Return On Investment (ROI) vergelijkt de gemiddelde opbrengsten met het investeringsbedrag volgens volgende formule:

$$ROI \text{ (in \%)} = \frac{\text{Gemiddelde opbrengsten gedurende de levensduur}}{\text{Investeringsbedrag}}$$

3.3 Ecologische impact bepalen

Naast de financiële impact heeft de plaatsing van een PV-installatie ook gevolgen voor het leefmilieu, zowel in België als daarbuiten. In het onderdeel "Ecologische impact" wordt dan ook geprobeerd om deze ecologische gevolgen zoveel mogelijk te kwantificeren.

3.3.1 Bijdrage van hernieuwbare energie aan het finaal energieverbruik in 2020.

Volgens de Europese richtlijn 2009/28/EG van 23 april 2009, ter bevordering van gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen, verbindt België zich om tegen 2020 een aandeel van 13% van het finaal energieverbruik op te wekken door middel van hernieuwbare energiebronnen. Deze maatregelen dragen, samen met anderen, bij tot het voldoen aan het Kyoto-protocol, ter verlaging van broeikasgasemissies.

Onder hernieuwbare energiebronnen worden in de wettekst onder andere de volgende zaken gedefinieerd: wind, zon, geothermische en hydrothermische energie. Opgewekte energie uit PV-installaties zal dus in een belangrijke mate bijdragen tot het al dan niet halen van het doel in 2020.

Tabel 3-10 geeft het finaal energieverbruik weer in België van 1996 tot 2007. De gemiddelde verbruikswaarde over deze 12 jaar bedraagt 38.456 ktoe (kiloton oil equivalent) of 447.240.373 MWh. De richtwaarde van 13% aan hernieuwbare energiebronnen zou dan gemiddeld uitkomen op een jaarlijkse duurzame opwekking van 58.141.249 MWh. Deze waarde zal in de berekening van de bijdrage van hernieuwbare energie dan ook gebruikt worden in het model.

De omrekening van ktoe naar MWh gebeurt volgens cijfers uit Giancoli (2005) waarin men stelt dat 1 ktoe = 41.868 GJ. Vermits 1 MWh = 3,6 GJ zal 1 toe = $41.868/3,6$ MWh.

Tabel 3-10: Final energy consumption Belgium

(Bron: Eurostat, 2009)

Finale energie-consumptie (in ktoe)	1996 1997 1998 1999 2000 2001					
	België	37.981	38.363	39.037	38.968	39.129
in MWh	441.719.030	446.161.690	454.000.310	453.197.840	455.070.270	458.070.810
	2002 2003 2004 2005 2006 2007					
België	37.652	40.042	39.427	38.444	38.165	34.874
in MWh	437.892.760	465.688.460	458.536.010	447.103.720	443.858.950	405.584.620

Naast het al dan niet behalen van de Kyoto-norm zijn er voor België nog andere voordelen verbonden aan het opdrijven van het aandeel van hernieuwbare energiebronnen in het finaal energieverbruik. Zoals reeds in hoofdstuk 1 besproken werd, is België enorm afhankelijk van het buitenland als het gaat om het voorzien van energiebehoeften. Door zelf energie op te wekken zal deze afhankelijkheid voor een stuk verminderen. Gezien de geplande sluiting van de kerncentrales in België zeker geen positieve invloed heeft op de energie-afhankelijkheid zal het aandeel van hernieuwbare energievormen nog belangrijker worden.

3.3.2 Bijdrage in het laten dalen van de uitstoot van broeikasgassen tegen 2020

De Europese beschikking 406/2009/EG van 23 april 2009, inzake de inspanningen van de lidstaten om hun broeikasgasemissies te verminderen om aan de verbintenissen van de Gemeenschap op het gebied van het verminderen van broeikasgassen tot 2020 te voldoen, stelt dat België tegen 2020 de broeikasgasemissies met 15% moet laten dalen ten opzichte van het niveau van 2005.

Uit cijfers van de Statbel, het vroegere NIS, blijkt dat in er in 2005 144 Mton CO₂-equivalent aan broeikasgassen werd uitgestoten in België. Een daling van 15% tegen

2020 impliceert dat er 21,6 Mton aan CO₂-equivalente broeikasgassen minder zal moeten worden uitgestoten. (Statbel, 2009)

Uit gegevens van het International Energy Agency (IEA) blijkt dat voor België gemiddeld 261 gram CO₂ werd uitgestoten per kWh opgewekte elektriciteit over een periode van 2005 tot 2007. Deze waarde zal in het model dan ook gebruikt worden voor berekeningen van vermeden CO₂-uitstoot en dergelijke. (International Energy Agency, 2009)

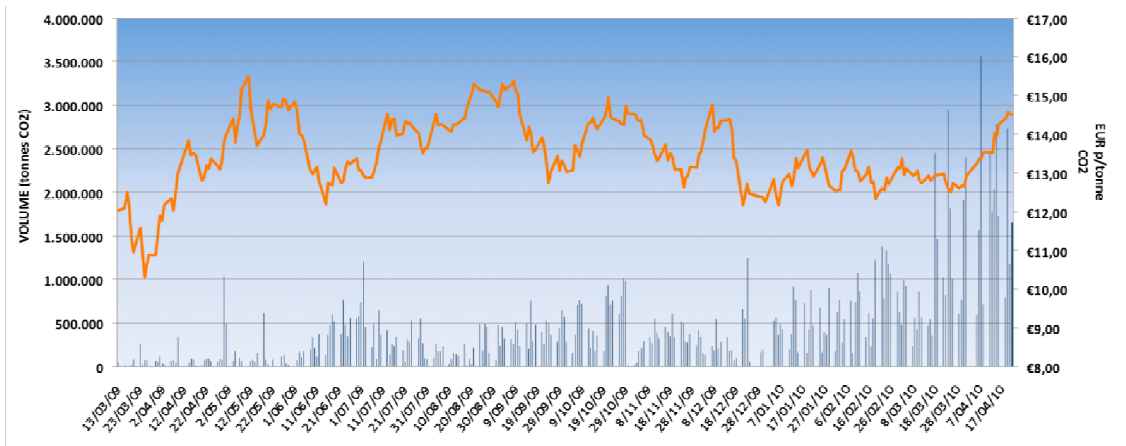
Hoewel in deze analyse enkel de Belgische situatie bekeken wordt, is het laten dalen van de uitstoot van broeikasgassen een internationale en intergenerationele aangelegenheid. Het tenietdoen van verstoringen in ecosystemen, veroorzaakt door het versterkte broeikaseffect, is zowel voor de huidige wereldbevolking als voor de toekomstige generaties van groot belang.

3.3.3 Opbrengsten van verhandelbare emissierechten

In de Europese richtlijn 2003/87/EC werd een systeem van verhandelbare emissierechten vastgelegd. Het principe is dat één emissierecht de mogelijkheid biedt om één ton broeikasgas (in CO₂-equivalent) uit te stoten. De verschillende Europese lidstaten moeten zelf uitmaken hoeveel rechten er aan bepaalde installaties zullen worden toegewezen.

Door gebruik te maken van verhandelbare emissierechten, wordt elke ton broeikasgas, die wordt uitgestoten, gekwantificeerd. Hierdoor wil de EU milieuvriendelijke investeringen aanwakkeren en de emissie van schadelijke stoffen op de agenda plaatsen bij de bedrijven. Dit zal op een kosteneffectieve en efficiënte manier gebeuren vermits bedrijven die te veel CO₂-equivalenten uitstoten kunnen kiezen voor een investering in een milieuvriendelijke technologie of het kopen van een bijkomend emissierecht. Afhankelijk van de kosten en baten van elk scenario zal het bedrijf op een efficiënte manier de beslissing nemen. (European Comission, 2006)

Het verhandelen van de emissierechten gebeurt op een beurs waar de prijs per emissierecht bepaald wordt door de wetten van vraag en aanbod. De aanbieders van emissierechten zijn bedrijven of instellingen die minder broeikasgassen uitstoten dan toegelaten. Zij hebben dus een overschot aan emissierechten. De vragers van deze rechten zijn degenen die meer broeikasgassen uitstoten dan toegelaten en dus bijkomende rechten nodig hebben. (European Comission, 2006)



Figuur 3-5: Overzicht prijs en volume handelbare emissierechten

(Bron: European Climate Exchange, 2010)

Figuur 3-5 geeft een overzicht gedurende een periode van 13 maart 2009 t.e.m. 22 april 2010 een overzicht van de prijs per emissierecht en het verhandelde volume. Gemiddeld werd er over deze periode genomen € 13,33 per emissierecht betaald. In mijn model werd deze waarde dan ook gebruikt als waarde per ton CO₂-equivalent.

De waarde van € 13,33 per ton CO₂, gecombineerd met de waarde van 261 g CO₂ / kWh opgewekte energie geeft samen een benadering van de economische waarde van een kWh opgewekte energie door middel van een PV-installatie.

3.4 Gevoeligheidsanalyse

De toekomstige kasstromen uit de rendementsanalyse zijn slechts schattingen. Er van uitgaan dat elke gebeurtenis zich exact gaat voordoen als voorspeld, is dus zeer onrealistisch. Daarom is het nodig om een sensitiviteitsanalyse uit te voeren.

Mercken (2004) definieert een sensitiviteitsanalyse als volgt:

"Het verkennen van de gevoeligheid van de basisoplossing voor veranderingen in de waarden van de parameters."

Het verkennen van de gevoeligheid zal in deze masterproef gebeuren door middel van een Monte-Carlo-analyse. Meer informatie volgt in de volgende punten.

3.4.1 Monte-Carlo-analyse

Bij een Monte-Carlo-analyse worden er experimenten uitgevoerd waarbij er scenario's worden gemaakt op basis van toevallig gekozen waarden van de parameters. Het uitvoeren van een groot aantal experimenten met verschillende scenario's leidt dan tot een waarschijnlijkheidsverdeling voor de beslissingsvariabelen. (Mercken, 2004)

Mercken (2004) en Laceren, Engelen, Limère en Vandemaele (2004) onderscheiden vijf stappen bij het uitvoeren van een Monte-Carlo-simulatie:

- Identificeren van de parameters en doelvariabelen.
Parameters zijn de variabelen die in het model door toeval een bepaalde waarde zullen aannemen.
Doelvariabelen zijn de variabelen waarop de invloed wordt nagegaan van het veranderen van de parameters.
- Bepalen van de kansverdeling voor de parameters.
- Toevallige keuze van een parameterwaarde
- Uitvoeren van het experiment. Bijvoorbeeld het berekenen van de NCW.
- Verwerking tot kansverdeling van de doelvariabele

De eerste twee stappen gebeuren door de analist, de volgende 3 stappen worden uitgevoerd door gespecialiseerde software. In het kader van deze masterproef maak ik hiervoor gebruik van het pakket Crystal Ball van Oracle.

Uit de geproduceerde output van de Crystal Ball software worden een aantal belangrijke gegevens gehaald. Allereerst wordt er voor elke doelvariabele een kansverdeling opgesteld (cf. stap 5). Vervolgens wordt er voor elke doelvariabele een zogenaamde gevoeligheidsgrafiek opgesteld. Hierin wordt er nagegaan hoeveel een bepaalde assumptie het uiteindelijke resultaat beïnvloedt. Door te begrijpen welke variabelen het resultaat het meeste beïnvloeden wordt er meer inzicht verkregen in het volledige model.

3.4.1.1 Identificeren parameters en doelvariabelen

De doelvariabelen waarvan ik de gevoeligheid wil onderzoeken zijn de volgende:

- De netto contante waarde (NCW)
- De interne opbrengstvoet (IOV)
- De gewone terugverdientijd
- De verdisconteerde terugverdientijd
- De return on investment (ROI)

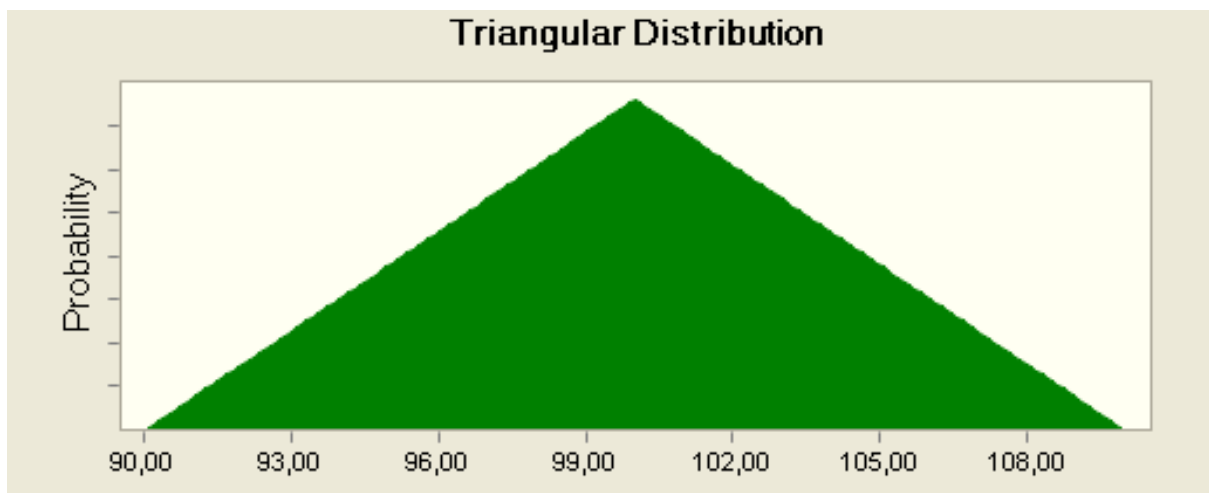
De parameters, die toevallig gekozen waarden gaan aannemen, worden onderstaand opgesomd:

- Investeringskost
- Vermogen van de panelen (in Wp)
- Rendement (in kWh/kWp)
- Verwachte stijging van de energieprijzen
- De gewogen gemiddelde kapitaalkost (WACC)

3.4.1.2 Bepalen kansverdeling voor parameters

3.4.1.2.1 Investeringskost

Voor de investeringskost werd gekozen voor een driehoeksverdeling, visueel weergegeven in Figuur 3-6.



Figuur 3-6: Driehoeksverdeling investeringsbedrag

Bij een driehoeksverdeling zijn 3 waarden van belang: de meest waarschijnlijke waarde, de maximumwaarde en de minimumwaarde. Als meest waarschijnlijke waarde kies ik voor de basiswaarde uit de rendementsanalyse. Voor de minimum- en maximumwaarde is er telkens gewerkt met de 10%-regel. Dit wil zeggen dat de betreffende waardes respectievelijk 10% onder en 10% boven de meest waarschijnlijke waarde liggen. Zoals verder blijkt uit Figuur 3-6, neemt de kans dat een bepaalde waarde gekozen wordt af, naarmate men zich verder verplaatst van de meest waarschijnlijke waarde.

3.4.1.2.2 Vermogen van de panelen (in Wp)

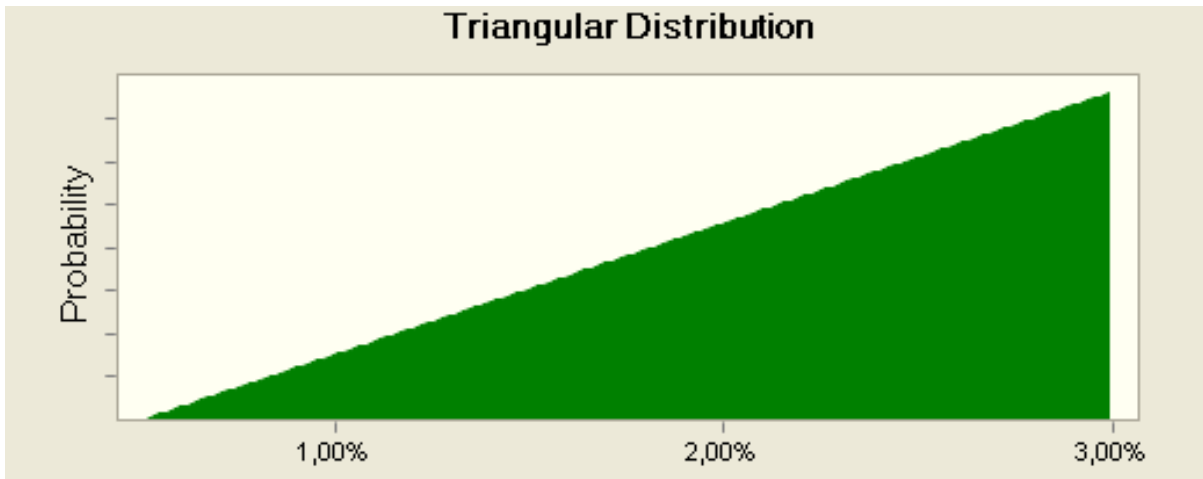
Vermits de productieprocessen bij fabrikanten van PV-panelen niet continu optimaal verlopen kan er een zekere afwijking zijn in het effectieve vermogen van de panelen. De productfiches van een aantal fabrikanten die ik geraadpleegd heb, geven waardes voor het afwijken van het nominale vermogen van $\pm 3\%$. Daarom werd bij deze parameter gekozen voor een driehoeksverdeling waarbij het minimum en het maximum op 3% van de basiswaarde liggen.

3.4.1.2.3 Rendement (in kWh/kWp)

Het rendement in kWh/kWp is in grote mate afhankelijk van natuurlijke fenomenen zoals de grootte van de instraling, de hoeveelheid bewolking en de omgevingstemperatuur. Deze fenomenen kunnen het rendement zowel positief als negatief beïnvloeden, toch is de kans groter dat er een negatieve invloed zal zijn. De instraling van de zon zal namelijk niet veel veranderen, het al dan niet aanwezig zijn van bewolking e.d. wel. Daarom werd als kansverdeling gekozen voor een driehoeksverdeling waar het minimum 10% lager ligt dan de meest waarschijnlijke waarde terwijl de maximumwaarde slechts 5% hoger ligt.

3.4.1.2.4 Stijging van energieprijzen

De verwachte stijging van de energieprijzen is één van de meest onzekere parameters in dit model. Deze waarde is namelijk afhankelijk van ontzettend veel factoren, wereldwijd. Deze parameter is dan ook zeer moeilijk voorspelbaar. Daarom heb ik in dit geval gekozen voor een scheve driehoeksverdeling, waarbij de maximum- en de meest waarschijnlijke waarde (van 3%) overeen komen. Als minimumwaarde werd gekozen voor 0,5% omdat er van uit gegaan mag worden dat er altijd een stijging zal optreden.



Figuur 3-7: Kansverdeling stijging energieprijzen

3.4.1.2.5 Gewogen gemiddelde kapitaalkost

Bedrijven kunnen vaak onvoldoende schatten wat de werkelijke waarde is van hun kapitaalkost. Daarom zal bij deze parameter toegelaten worden om 10% af te wijken van de meest verwachte waarde, zowel in positieve als in negatieve zin.

3.5 Conclusie van dit hoofdstuk

In dit hoofdstuk werd getracht een antwoord te formuleren op de vraag "Welke elementen moeten in een analysemodel aanwezig zijn om tot een correcte analyse te komen?". Er werd ook de voorbereiding gemaakt voor het beantwoorden van de derde deelvraag "Van welke parameters is de haalbaarheid van investeringen in PV-systemen het meest afhankelijk?".

Het beschikken over klimaatgegevens bleek onontbeerlijk voor het opstellen van een correcte dimensionering voor de PV-installatie. Verder is het aan de kostenzijde van belang, om productieverliezen en vervangingskosten niet uit het oog te verliezen.

Hoofdstuk 4: Case studies

In dit hoofdstuk zal het model uit hoofdstuk 3 worden toegepast op een aantal case studies. Zo kan ook de derde deelvraag: "Van welke parameters is de haalbaarheid van investeringen in PV-systemen het meest afhankelijk?" beantwoord worden door het toepassen van een gevoeligheidsanalyse.

Omwille van de gevoeligheid van de informatie omtrent verbruiksgegevens worden alle bedrijven hier anoniem voorgesteld.

4.1 Case 1

4.1.1 Bedrijfsgegevens:

Tabel 4-1: Algemene gegevens case 1

Algemeen	
Adres:	X
Telefoon:	X
Fax:	X
Contactpersonen:	X (Technisch verantwoordelijke) X (Milieuverantwoordelijke)
Website:	X
Ondernemingsnummer:	X
NACE-code:	X (komt in aanmerking voor ecologiepremie)
KMO?	Neen, groot bedrijf
Percentage vennootschapsbelasting:	33,99%

Tabel 4-2: PV-specifieke gegevens, case 1

PV-specifiek	
Oriëntatie dak:	210°
Stevigheid dak:	Slecht. Dak is zeker niet sterk genoeg en vertoont lekken. Muren dragen zeker niet genoeg voor zware PV-panelen.

Huidige energieprijs:	Gemiddeld € 0,1013 / kWh
Gewenste afschrijvingstermijn:	12 jaar
Beschikbaar dakoppervlak:	9.000 m ²
Subsidies gemeente?	€ 1.000, vast bedrag in jaar 0

4.1.2 Maandverbruiken van de afgelopen 3 jaar:

Tabel 4-3: Overzicht elektriciteitsverbruik case 1

	2007	2008	2009
	kWh totaal	kWh totaal	kWh totaal
Januari	366.559	335.687	384.291
Februari	372.987	357.644	325.690
Maart	375.554	321.885	374.673
April	315.751	394.048	307.376
Mei	357.629	342.408	323.679
Juni	406.992	392.009	379.953
Juli	341.735	252.560	308.943
Augustus	293.204	247.750	339.171
September	341.021	334.712	381.573
Oktober	361.088	391.118	385.001
November	364.927	306.999	378.314
December	293.967	266.456	296.685
Totaal	4.191.414	3.943.276	4.185.349

4.1.3 Beschrijving van het gebouw en de activiteiten

Het bedrijfsgebouw omvat zowel een kantoorgedeelte als een grote fabriekshal. Er is geen exacte onderverdeling bekend van het elektriciteitsverbruik tussen het kantoor- en het fabrieksgedeelte.

4.1.4 Luchtfoto



Figuur 4-1: Luchtfoto case 1

4.1.5 Extra informatie

Het bedrijf streeft reeds een groene gedachte na. Investeren in duurzame ontwikkeling is zelfs onderdeel van de core-doelstellingen. Verder bezitten ze het ISO 14001 certificaat, wat duidt op het beschikken over een goed werkend milieumanagementsysteem.

Ook is er een akkoord met elektriciteitsleverancier Luminus omtrent het afnemen van groene stroom. Het bedrijf betaalt zo enerzijds meer voor haar elektriciteit maar anderzijds vallen een aantal taksen en bijdragen weg zoals de energietaks, de kyoto-bijdrage en de bijdrage ter financiering van het nucleair passief.

Het afgewerkt product dat ze maken kan voor 99% gerecycleerd worden.

Men probeert zoveel mogelijk de afvalstromen te beperken en te zuiveren. Zo is er rondom elke productielijn een apart rioleringsstelsel van waar het water naar een zuiveringsinstallatie gaat. Het gezuiverde water gaat op dit moment de riolering in omdat het net niet zuiver genoeg is om in het productieproces te gebruiken. Er zijn echter wel plannen om het gezuiverde water te gebruiken bij spoelprocessen.

Op het gebied van de sensibilisering van het personeel omtrent de "groene gedachte" doet het bedrijf een aantal inspanningen. Zo werken ze onder andere met ecocheques

voor de werknemers en proberen ze de arbeiders zoveel mogelijk te informeren via informatieborden.

4.1.6 Analyse

4.1.6.1 Dimensionering

Zoals blijkt uit Tabel 4-4 zou de optimale installatie een vermogen hebben van 13.893,62 kWp. Dit gezien het feit dat de oppervlakte onder de jaarbelastingduurkromme (uit Figuur 4-2) hier maximaal is. Deze waarde is ontzettend hoog omdat er gewerkt dient te worden met PV-dakrollen die een lagere energieproductie hebben. Hierdoor zal de installatie meer vermogen moeten hebben om tegemoet te kunnen komen aan de elektrische noden van het bedrijf.

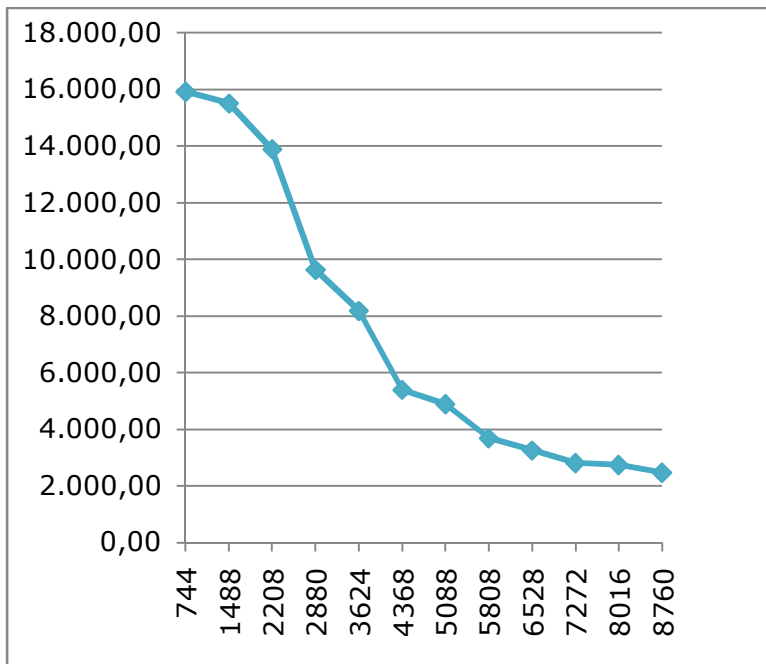
De waarde van 13.893,62 kWp zal echter niet gebruikt worden doorheen het verdere verloop van de analyse. Rekening houdend met het beschikbaar dakoppervlak van 9.000 m², kan er slechts 546,43 kWp geplaatst worden. Tot deze waarde werd gekomen door het toepassen van onderstaande formule:

$$\text{Maximaal vermogen (in kWp)} = \frac{\text{Beschikbaar dakoppervlak (in m}^2\text{)}}{\text{Vermogen paneel (in m}^2\text{/kWp)}}$$

Vermits de gekozen richtwaarde van het vermogen van de dakrollen in deze masterproef gelijk gesteld wordt aan 16,47 m²/kWp, leidt het invullen in voorgaande formule tot een maximaal vermogen van 546,43 kWp. Tot de waarde van 16,47 m²/kWp werd gekomen door het vergelijken van diverse datasheets van fabrikanten van dakrollen van amorf-si.

Tabel 4-4: Overzichtstabel dimensionering, case 1

Maand	kWh/kWp	Vermogen per maand (in kWp)	Uren per maand	Totaal aantal uren	Product
December	17,94	15.923,17	744	744	11.846.835,03
Januari	23,34	15.514,23	744	1488	23.085.166,94
November	25,20	13.893,62	720	2208	30.677.105,45
Februari	36,56	9.629,62	672	2880	27.733.302,46
Oktober	46,32	8.182,92	744	3624	29.654.902,85
Maart	66,24	5.394,87	744	4368	23.564.809,39
September	72,03	4.893,00	720	5088	24.895.596,46
April	92,05	3.683,49	720	5808	21.393.689,71
Juni	120,68	3.256,43	720	6528	21.257.992,48
Mei	121,51	2.808,42	744	7272	20.422.822,14
Augustus	107,03	2.741,14	744	8016	21.972.992,31
Juli	121,77	2.472,46	744	8760	21.658.708,88



Figuur 4-2: Jaarbelastingsduurkromme, case 1

4.1.6.2 Kostprijs en lening

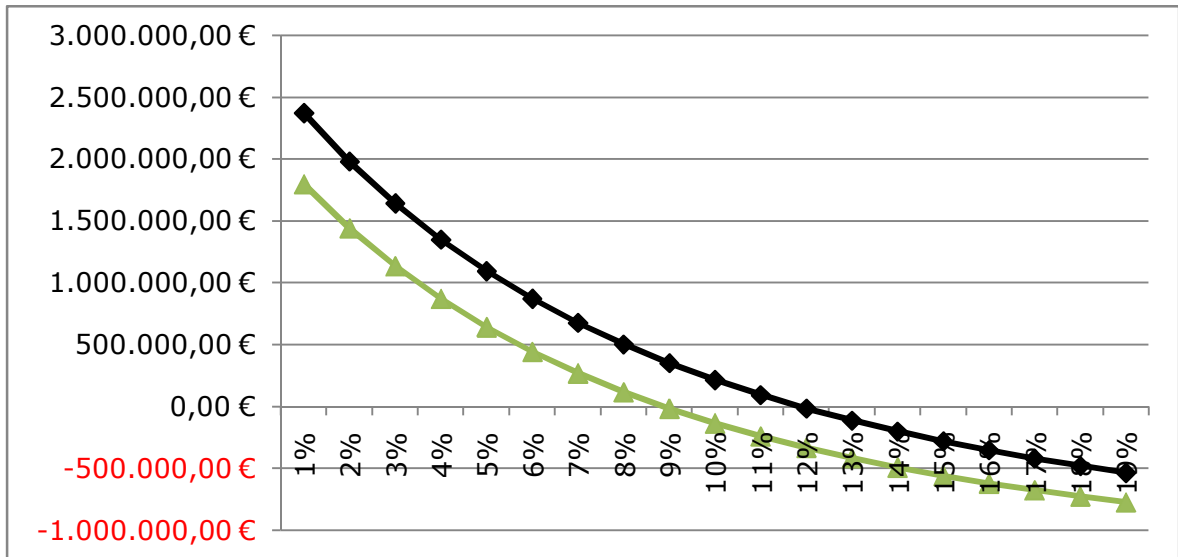
Uitgaande van het piekvermogen van 546,43 kWp en de gegevens uit Tabel 3-7 omtrent de prijzen per kWp, komen we tot een kostprijs van 1.803.214 EUR. Voor de financiering van dit bedrag, tellen we op ongeveer 30% financiering uit het eigen vermogen en 70% financiering via vreemd vermogen. In het betreffende geval wordt uitgegaan van een lening van 1.260.000 EUR, wat neerkomt op 69,88% financiering met vreemd vermogen.

4.1.6.3 Evaluatiemaatstaven investering

Bij het bespreken van de evaluatiemaatstaven zijn er voor de NCW, IOV en de gewone terugverdientijd telkens twee berekeningen gemaakt. In de eerste berekening is het belastingschild van de afschrijvingen wel opgenomen, in de tweede berekening niet.

Tabel 4-5: Overzicht evaluatiemaatstaven, case 1

	Incl. afschrijvings-schild	Zonder afschrijvings-schild
Netto contante waarde	€ 1.013.477	€ 569.452
Interne opbrengstvoet	11,84%	8,87%
Gewone terugverdientijd	7,36	9,34
Verdisconteerde terugverdientijd	9,49	
Return on Investment	9,35%	



Figuur 4-3: NCW-profiel, case 1

De NCW is in beide gevallen sterk positief. Op basis van deze maatstaf zou de investering dus zeker aan te raden zijn. Het project genereert gedurende de levensduur namelijk voldoende, geactualiseerde, baten om het investeringsbedrag ruimschoots terug te verdienen.

De IOV overstijgt ook altijd de interne kapitaalkost van 8%, wat een investering op basis van deze maatstaf interessant maakt.

De terugverdientijden liggen vrij hoog als ze vergeleken worden met traditionele investeringen. Gezien het snel veranderende klimaat en de globalisering, verkiezen veel bedrijven een kortere terugverdientijd. Toch mag hier niet uit het oog verloren worden dat het hier gaat over een investering met een nuttige levensduur van minstens 25 jaar. Indien gerekend wordt met een terugverdientijd van 7,36 jaar zou dit slechts 29,4% van de nuttige levensduur omvatten. De PV-installatie zal ook minstens 25 jaar bijdragen tot het bieden van een bepaalde uitstraling aan het gebouw.

De return on investment van 9,35% is goed te noemen. Zulke winsten zullen niet gegenereerd kunnen worden door bijvoorbeeld geld op een depositorekening te plaatsen.

4.1.6.4 Gevoeligheidsanalyse

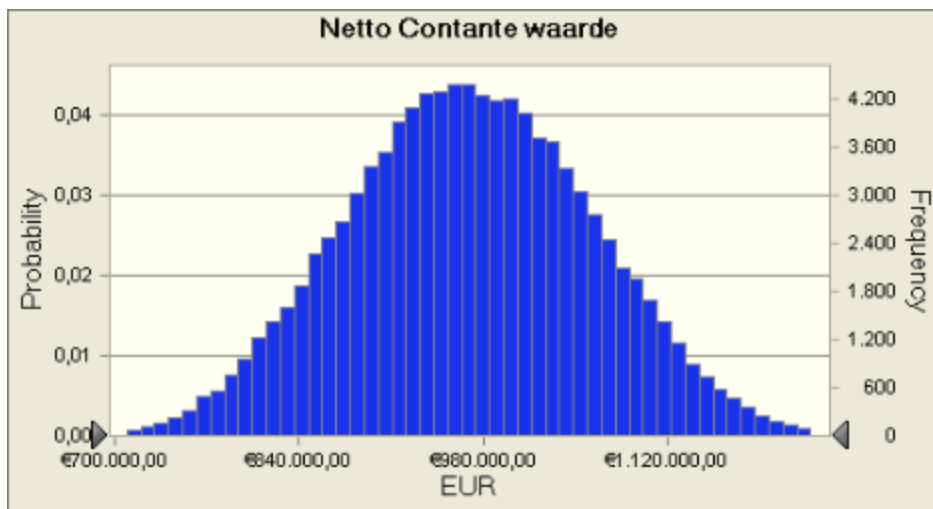
Tabel 4-6 geeft een beknopt overzicht van de meest waarschijnlijke, maximum- en minimumwaarden die gebruikt werden bij de kansverdeling voor de Monte-Carlo-

analyse. Vervolgens wordt per doelvariabele een bespreking gegeven van de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse. Voor de uitgebreide resultaten van deze gevoeligheidsanalyse verwijs ik graag naar de bijlagen.

Tabel 4-6: Parameters gevoeligheidsanalyse, case 1

Parameter	Meest waarschijnlijke waarde	Minimumwaarde	Maximumwaarde
Kostprijs installatie	1.803.214	1.622.893	1.985.536
Totaal vermogen	546,43	530,04	562,82
Rendement	850,68	765,610	893,212
WACC	5,34%	4,81%	5,88%
Stijging energieprijzen	3,00%	0,50%	3,00%

4.1.6.4.1 Netto contante waarde



Figuur 4-4: Kansverdeling NCW, case 1

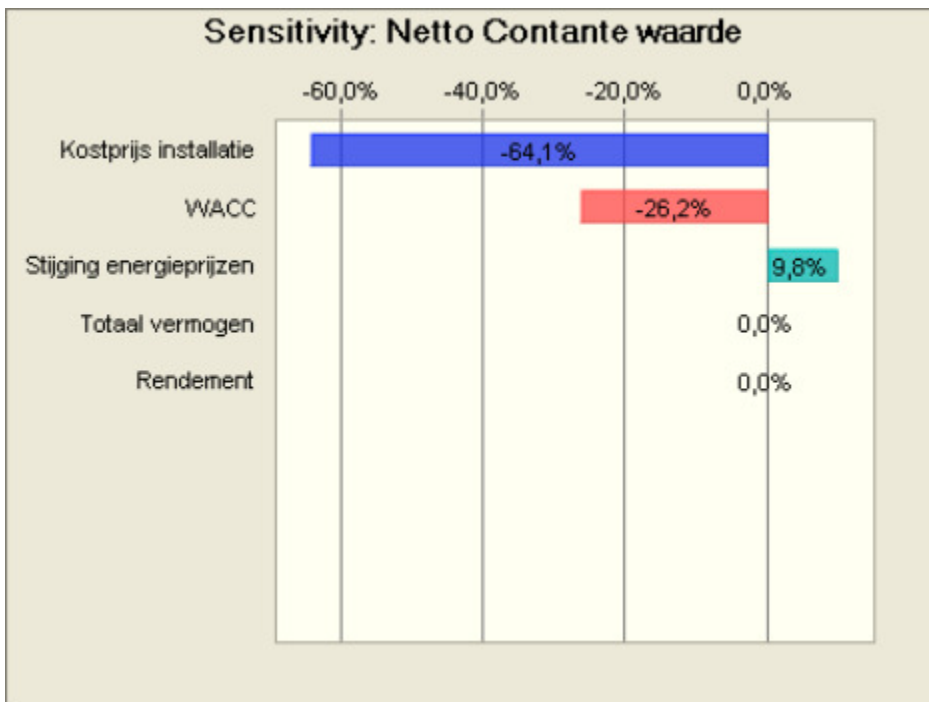
Uit de kansverdeling voor de NCW, uit Figuur 4-4, blijkt dat deze maatstaf altijd tot een positieve waarde leidt. De gemiddelde waarde van 968.913, ligt echter lager dan de waarde van 1.013.574 die in de investeringsanalyse werd gevonden. Dit zou erop kunnen wijzen dat de investeringsanalyse een lichte overschatting van de NCW heeft.

Indien we vervolgens kijken voor welke parameters de NCW het meest gevoelig is, valt op te merken dat 64% van de variantie in de NCW verklaard wordt door de waarde van de kostprijs van de installatie. Uit de gevoeligheidsgrafiek van Figuur 4-5 blijkt namelijk dat voor de kostprijs een waarde van -64,1% bekomen wordt. Een

hogere kostprijs leidt dus tot een lagere NCW. Het zal dus zeer belangrijk zijn voor elkeen die wil investeren in PV-systemen, dat de kostprijzen gaan dalen. Zoals reeds besproken in het tweede hoofdstuk, is dit momenteel niet het geval. Toch worden er naar de toekomst toe sterkere prijsdalingen verwacht. Dit zou de NCW dus zeker ten goede komen.

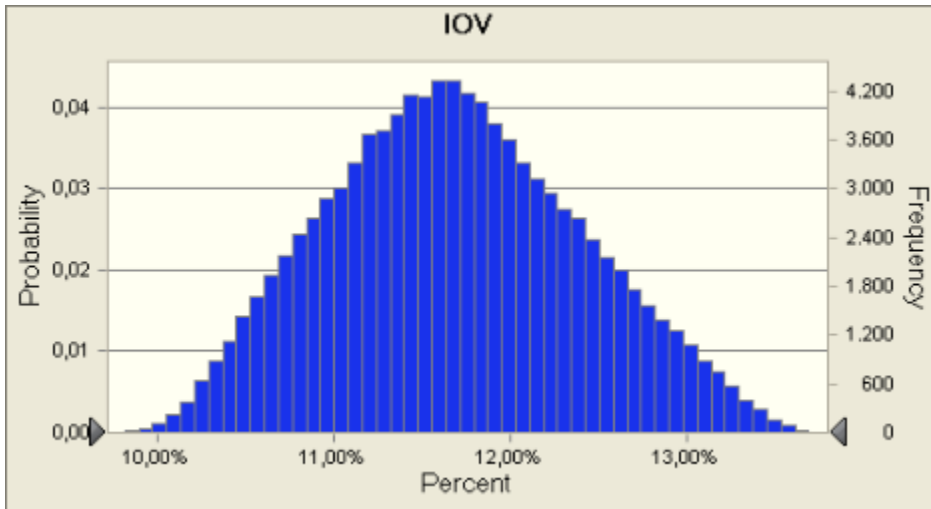
Verder is er de WACC die, logischerwijze, een redelijk grote invloed heeft op de kansverdeling van de NCW. Zo'n 26,2% van de variantie in de NCW valt de verklaren door het veranderen van de WACC.

Ten slotte is er de stijging van de energieprijzen die zo'n 10% van de variantie in de NCW verklaart. Deze waarde is positief gezien een stijging in de energieprijzen betekent dat er meer bespaard wordt door elektriciteit uit PV te halen, wat de NCW positief beïnvloedt.



Figuur 4-5: Gevoeligheid NCW, case 1

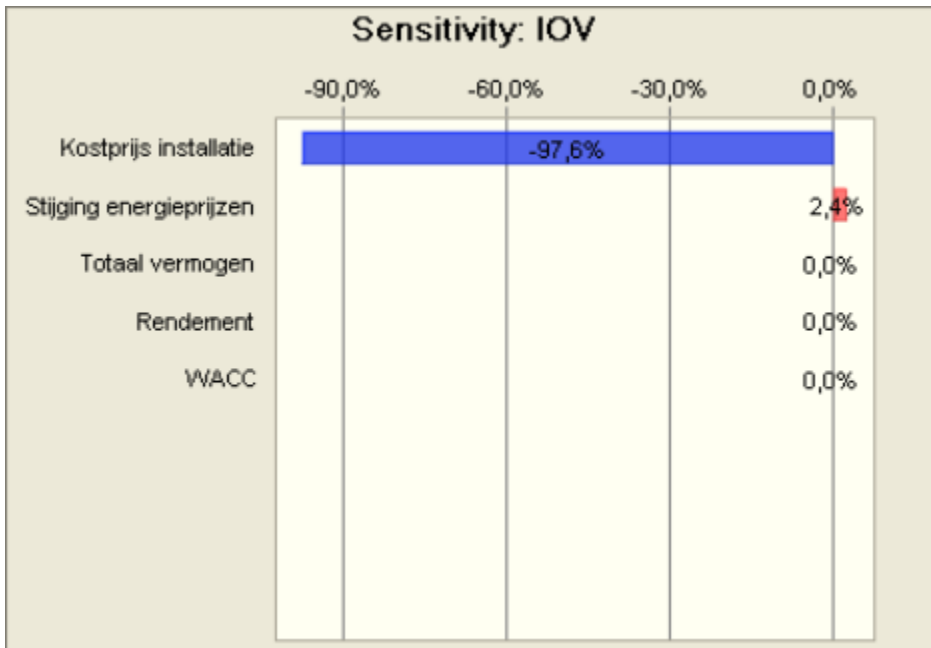
4.1.6.4.2 Interne opbrengstvoet



Figuur 4-6: Kansverdeling IOV, case 1

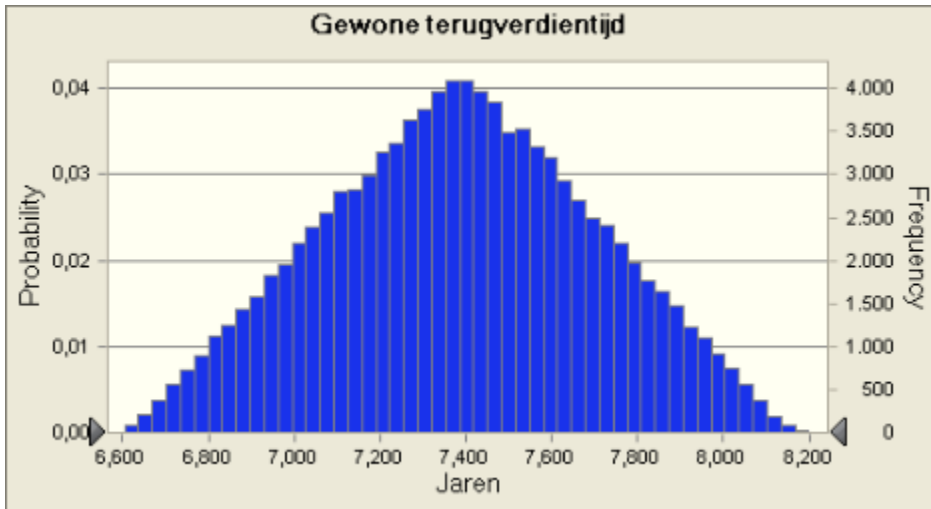
Ook voor de IOV ligt de gemiddelde waarde van 11,68 % iets lager dan de waarde van 11,84% uit de investeringsanalyse. Dit verschil is echter minimaal. Volgens deze kansverdeling zal de IOV in 90% van de gevallen boven de 10,74% liggen, wat zeer goed te noemen is.

Uit de gevoeligheidsgrafiek (Figuur 4-7) wordt snel duidelijk dat de kostprijs van de installatie een enorm grote invloed uitoefent op de verdeling van de IOV. Ook hier is het dus weer van belang dat de PV prijzen gaan dalen naar de toekomst toe.



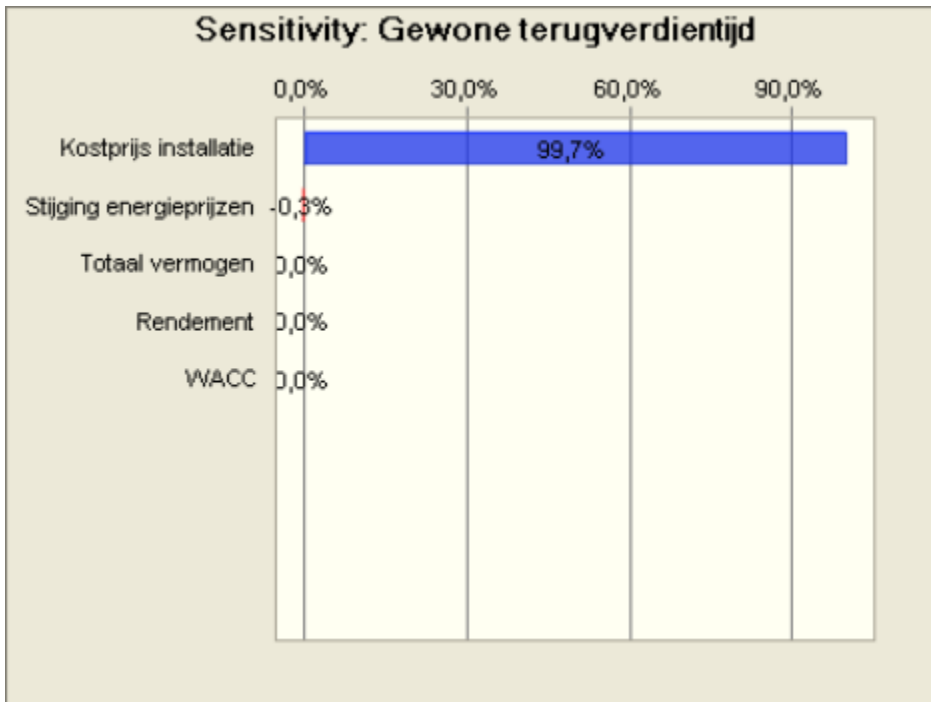
Figuur 4-7: Gevoeligheid IOV, case 1

4.1.6.4.3 Gewone terugverdientijd



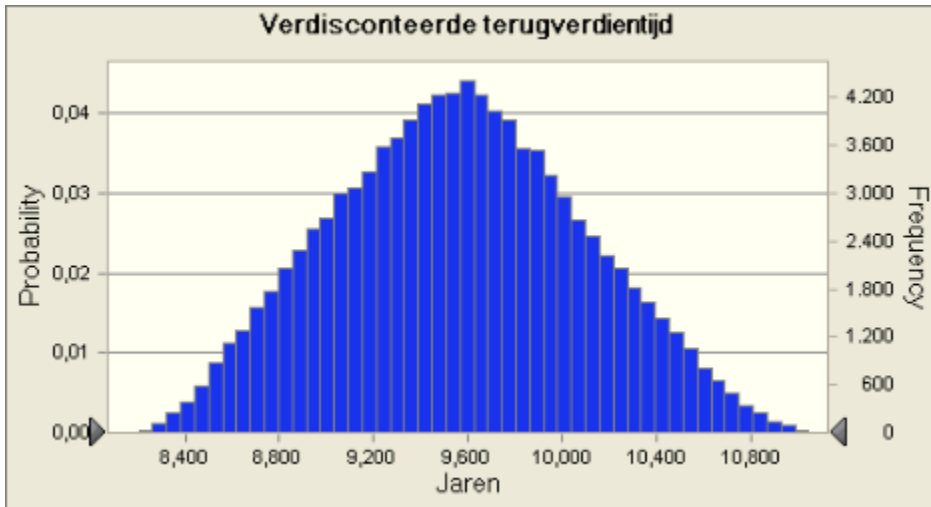
Figuur 4-8: Kansverdeling gewone terugverdientijd, case 1

Met een gemiddelde terugverdientijd van 7,38 jaar wordt de waarde uit de investeringsanalyse goed benaderd. Uit Figuur 4-9 blijkt dat, ook voor deze doelvariabele, de kostprijs van de installatie zo goed als de volledige variantie verklaart in de kansverdeling van de gewone terugverdientijd.



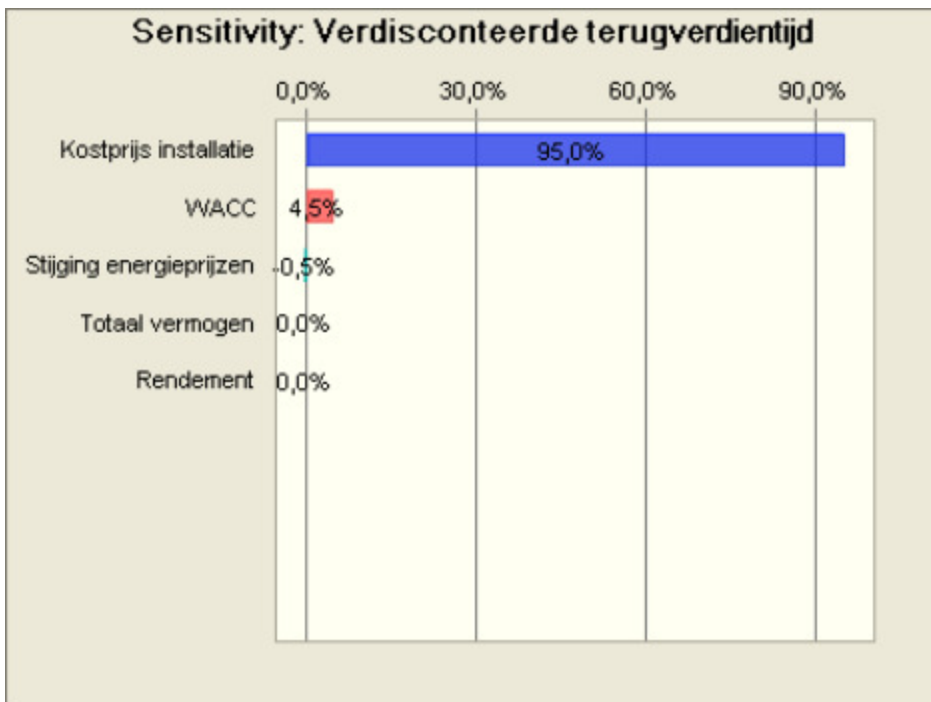
Figuur 4-9: Gevoeligheid gewone terugverdientijd, case 1

4.1.6.4.4 Verdisconteerde terugverdientijd



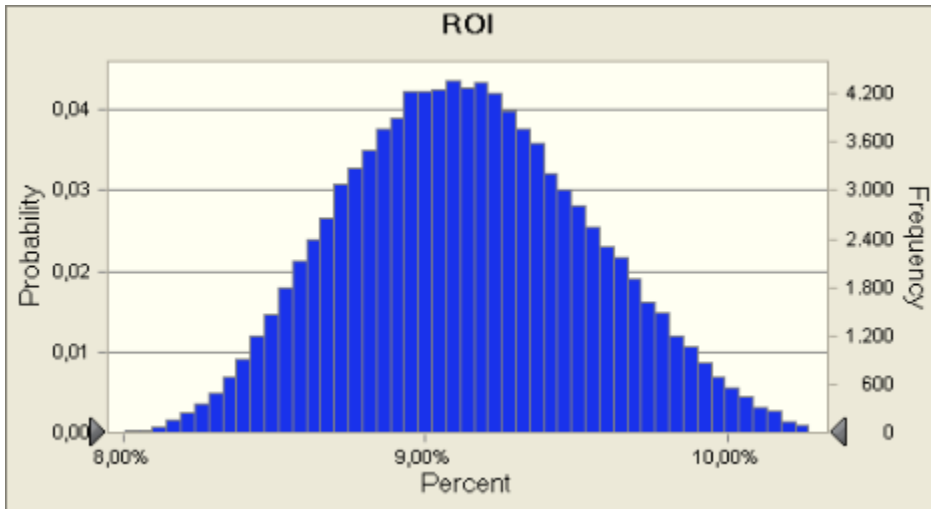
Figuur 4-10: Kansverdeling verdisconteerde terugverdientijd, case 1

De kansverdeling van de verdisconteerde terugverdientijd kent een gelijkaardig verloop als die van de gewone terugverdientijd. Ook hier speelt de investeringskost een belangrijke rol, zoals blijkt uit Figuur 4-11.



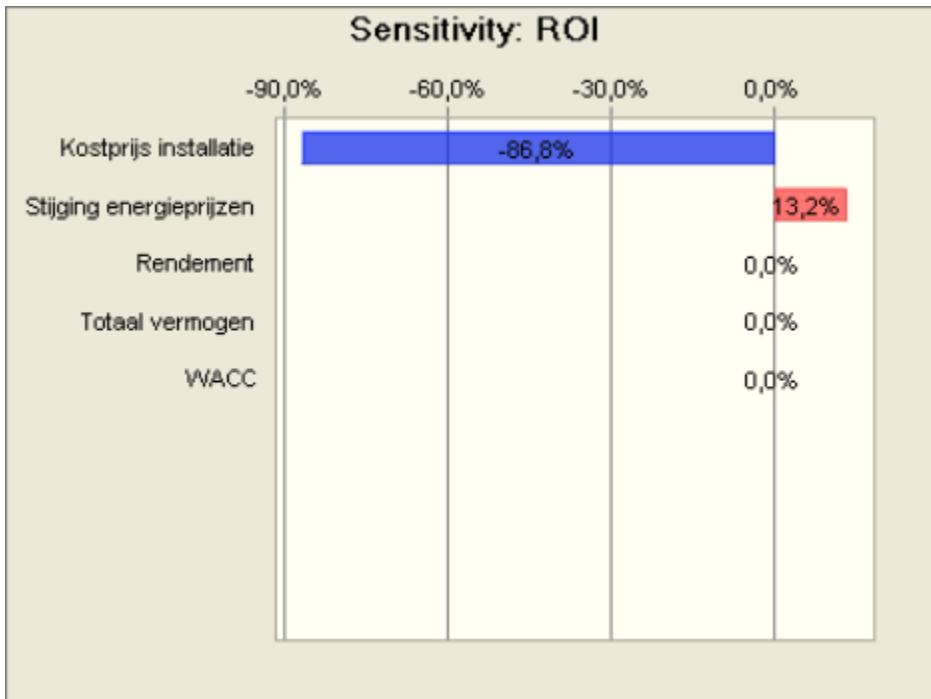
Figuur 4-11: Gevoeligheid verdisconteerde terugverdientijd, case 1

4.1.6.4.5 Return on investment



Figuur 4-12: Kansverdeling ROI, case 1

De return on investment kent een gelijkmatig verloop, al lijkt de top van de verdeling iets meer naar links te liggen. Naast de gebruikelijke kostprijs van de installatie, speelt de factor i.v.m. de stijging van de energieprijzen hier nog een rol in de kansverdeling van deze doelvariabele.



Figuur 4-13: Gevoeligheid ROI, case 1

4.1.6.4.6 Algemene conclusies

Uit voorgaande besprekingen omtrent de output van Crystal Ball blijkt dat de belangrijkste parameters uit het model de kostprijs van de installatie en de stijging van de energieprijzen zijn. Waarden zoals rendement en totaal vermogen bleken amper invloed te hebben op de geteste evaluatiemaatstaven. Hiervoor zijn een aantal verklaringen mogelijk:

Als eerste is er het feit dat de kostprijs van de installatie 10% kan variëren in zowel positieve als negatieve richting. Aangezien het hier over een aanzienlijk bedrag gaat, zal een procentuele verandering van 10% een grote verandering in absolute cijfers met zich meebrengen. Andere parameters zoals wijzigingen van het vermogen kennen kleinere procentuele afwijkingen, omdat er bewijs is dat deze waarden slechts 3% afwijken van de basiswaarde. Verder zijn er maatstaven zoals de gewone terugverdientijd en de ROI, waar de WACC geen invloed op heeft. Daardoor zal de invloed van de andere parameters versterkt worden.

4.1.6.5 **Meerkost verstevigen dak**

Uit deze case bleek duidelijk dat als een dakconstructie niet sterk genoeg is, er slechts een klein vermogen kan worden opgewekt in vergelijking met Si-panelen. Daarom werd op twee manieren berekend wat de maximale meerkost per m² zou mogen zijn om de dakconstructie geschikt te maken voor het gebruik van Si-panelen. Om deze maximale kost te berekenen werd een investeringsanalyse opgesteld waarbij een vermogen van 1.241,75 kWp wordt opgewekt met Si-panelen. Dit is namelijk het maximumvermogen dat met Si-panelen kan worden opgewekt, rekening houdend met het beschikbaar dakoppervlak. Een sterker dak draagt met andere woorden bij tot een vermogen dat ongeveer 2,3 keer meer is dan bij een slechte dakconstructie. Dan werden op basis van de NCW en op basis van verschillen in kasstromen bepaald wat de maximale kost per m² mag zijn.

Tabel 4-7 vat de uitkomsten samen.

Tabel 4-7: Meerkost verstevigen dak, case 1

Op basis van NCW (8%)	€ 160,13 /m ²
Op basis jaarlijks verschil CF	€ 35,25 /m ²
Op basis totaal verschil CF	€ 881,29 /m ²

Als eerste is er de berekening op basis van de NCW. Het verschil in NCW, met discontovoet 8%, tussen de twee situaties bedraagt 1.441.138 EUR. Rekening

houdend met het beschikbaar dakoppervlak van 9000 m², leidt dit tot een maximale kost van 160,13 EUR/m².

Het gemiddeld jaarlijks verschil tussen de cashflows van de twee situaties bedraagt 317.263 EUR. Over de hele levensduur genomen, zal het verschil 7.931.578 EUR bedragen. Hierdoor zal de maximale jaarlijkse kost 35,25 EUR / m² bedragen. Over de volledige levensduur genomen wordt dit 881,29 EUR/m².

Teneinde een inzicht te verwerven in de grootte van deze waardes heb ik contact op genomen met een ingenieursbureau en een constructiebedrijf. Uit deze gesprekken bleek dat de prijzen voor een dakversteving dermate specifiek zijn dat hier geen algemene conclusies over gemaakt kunnen worden. Er zal altijd een berekening nodig zijn door een gespecialiseerd bureau, hetgeen tot 6.000 EUR kan kosten.

4.1.6.6 Ecologische impact

4.1.6.6.1 Bijdrage aan het aandeel hernieuwbare energie

Met een gemiddelde jaarlijkse opbrengst van 444.032 kWh/jaar van nu tot 2020 wordt zo'n 0,00076% van het totale Belgische doel voor 2020 opgewekt.

4.1.6.6.2 Vermeden CO₂-uitstoot

Tabel 4-8: Overzicht vermeden CO₂-uitstoot, case 1

Vermeden CO ₂ uitstoot in jaar 1	121.321,95	kg CO ₂
Vermeden CO ₂ uitstoot over periode van 10 jaar	1.158.924,55	kg CO ₂
Vermeden CO ₂ uitstoot over levensduur van de installatie	2.711.227,89	kg CO ₂

Deze installatie zou 0,00537% van de totale Belgische daling van de CO₂-uitstoot vertegenwoordigen.

Om hier een financiële waarde aan te geven kan worden berekend wat deze vermeden uitstoot waard is volgens verhandelbare emissierechten. Gerekend over de 25-jarige levensduur van de installatie zou er 36.140,67 EUR verdiend kunnen worden met het verkopen van verhandelbare emissierechten.

4.2 Case 2

Omwillen van de wens van het betreffende bedrijf om anoniem te blijven zullen alle kenmerken die zouden kunnen leiden tot identificatie van het bedrijf hier worden weggelaten.

4.2.1 Bedrijfsgegevens

Tabel 4-9: Algemene gegevens, case 2

Algemeen	
Adres:	X
Telefoon:	X
Fax:	X
Contactpersonen:	X
Website:	X
Ondernemingsnummer:	X
NACE-code:	X (komt in aanmerking voor ecologiepremie)
KMO?	Ja
Percentage vennootschapsbelasting:	33,99%

Tabel 4-10: PV-specifieke gegevens, case 2

PV-specifiek	
Oriëntatie dak:	157,5°
Stevigheid dak:	Dak bestaat uit 3 grote delen. Alle 3 de delen zijn zeker stevig genoeg voor het dragen van een PV-constructie
Huidige energieprij:	Gemiddeld € 0,0993 / kWh
Gewenste afschrijvingstermijn:	12 jaar
Beschikbaar dakoppervlak:	10.000 m ²
Subsidies gemeente?	Neen

4.2.2 Maandverbruiken van de afgelopen 3 jaar

Tabel 4-11: Overzicht elektriciteitsverbruik, case 2

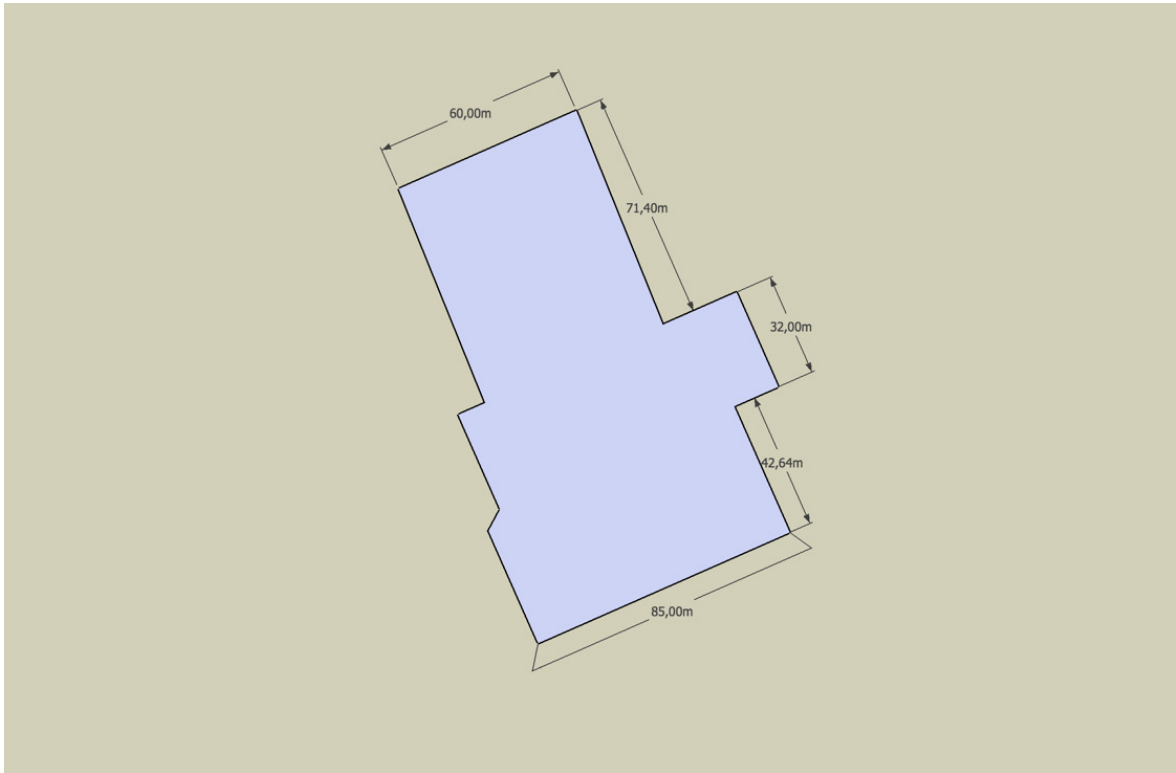
	2007	2008	2009
	kWh totaal	kWh totaal	kWh totaal
Januari	175.723	155.856	167.975
Februari	159.869	156.148	153.870
Maart	182.015	175.739	149.732
April	154.686	165.747	127.028
Mei	159.984	145.557	127.791
Juni	159.558	116.187	124.900
Juli	154.185	148.306	129.307
Augustus	132.303	129.771	124.845
September	134.304	122.224	126.292
Oktober	153.412	153.336	148.514
November	181.784	141.644	160.711
December	174.186	159.369	164.505
Totaal	1.922.009	1.769.884	1.705.470

4.2.3 Beschrijving van het gebouw en de activiteiten

Het gebouw bestaat uit 3 grote delen. Eerst zijn er kantoren voor directie en bedienden. Verder is er een hal met productie-installaties en een kwaliteitslabo. Ten slotte is er een groot magazijn om zowel grondstoffen als afgewerkte producten op te slaan. Van maandag t.e.m. vrijdag wordt er in de productiehal volcontinu gedraaid. In de weekends wordt er niet gewerkt.

4.2.4 Luchtfoto

Op verzoek van het betreffend bedrijf werd de luchtfoto vervangen door een schets van het dak.



Figuur 4-14: Schets dakoppervlak, case 2

4.2.5 Extra informatie

Het grootste deel van het gebouw bestaat uit magazijnruimte. In deze ruimtes wordt er overal gewerkt met automatische verlichting. Dit wil zeggen dat de verschillende gangen enkel verlicht worden als er iemand aanwezig is. Ook is de magazijnruimte goed geïsoleerd, wat verwarming of koeling overbodig maakt. Door bovenstaande ingrepen worden veel overbodige energiekosten vermeden.

Men geeft verder ook aan dat er binnen het bedrijf interesse is voor duurzame investeringen. Er zijn buiten bovenvermelde maatregelen nog geen andere investeringen met een duurzaam karakter gebeurd. Men geeft wel aan om hier op korte/middellange termijn werk van te willen maken.

4.2.6 Analyse

4.2.6.1 Dimensionering

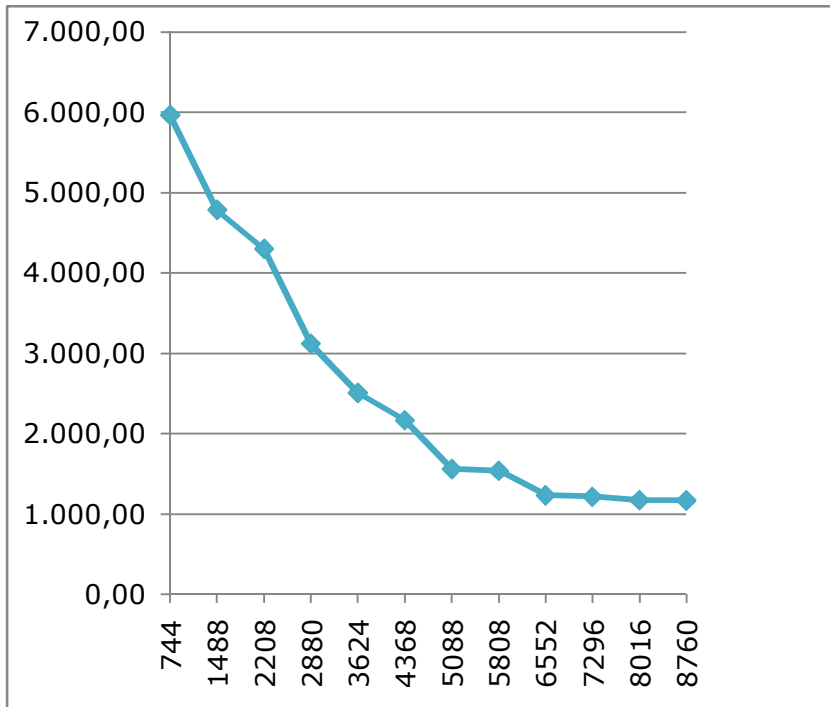
De grootste rechthoek, die onder de jaarbelastingsduurkromme uit Figuur 4-15 getekend kan worden, zal een hoogte hebben van 1.169,71 kWp. Dit vermogen komt

overeen met het benodigd vermogen uit de maand augustus. Dit impliceert dus dat er in de wintermaanden overdag zeker extra elektriciteit zal moeten worden aangekocht.

Het grote verschil met de vorige case is echter dat hier het beschikbaar dakoppervlak voldoende groot is om het optimale vermogen van 1.169,71 kWp te plaatsen. Verderop in de berekeningen zal dan ook gerekend worden op een installatie met bovenstaand vermogen.

Tabel 4-12: Overzicht dimensionering, case 2

Maand	kWh/kWp	Vermogen per maand (in kWp)	Uren per maand	Totaal aantal uren	Product
December	27,84	5.963,57	744	744	4.436.894,61
Januari	34,80	4.784,67	744	1488	7.119.596,38
November	37,54	4.299,03	720	2208	9.492.260,78
Februari	50,25	3.117,00	672	2880	8.976.962,96
Oktober	60,53	2.507,02	744	3624	9.085.455,07
Maart	78,06	2.167,06	744	4368	9.465.732,42
September	81,82	1.559,61	720	5088	7.935.301,52
April	97,04	1.537,03	720	5808	8.927.087,46
Juli	116,79	1.232,36	744	6552	8.074.446,28
Mei	118,97	1.214,08	744	7296	8.857.961,59
Juni	113,90	1.172,53	720	8016	9.399.000,50
Augustus	110,26	1.169,71	744	8760	10.246.681,43



Figuur 4-15: Jaarbelastingsduurkromme, case 2

4.2.6.2 Kostprijs en lening

Er van uitgaande dat het vermogen van 1.169,71 kWp geplaatst wordt, zal de investeringskost ongeveer uitkomen op 3.860.051 EUR. Ook hier wordt voor de financiering uitgegaan van ongeveer 30% eigen middelen. Bij de investeringsanalyse zal dan ook rekening gehouden worden met een lening van 2.700.000 EUR die op 10 jaar zal worden afbetaald.

4.2.6.3 Evaluatiemaatstaven investering

Net zoals bij de eerste case, werden ook hier voor de eerste drie maatstaven een dubbele berekening gemaakt. Eerst met belastingschild van de afschrijvingen, daarna zonder dit schild.

Tabel 4-13: Overzicht evaluatiemaatstaven, case 2

	Incl. afschrijvings-schild	Zonder afschrijvings-schild
Netto contante waarde	€ 2.702.751,40	€ 1.752.103,77
Interne opbrengstvoet	13,44%	10,41%
Gewone terugverdientijd	6,71	8,39
Verdisconteerde terugverdientijd	8,47	
Return on Investment	10,20%	

De NCW is in beide gevallen zeer hoog, zeker gezien het aanzienlijke investeringsbedrag van 3.860.051 EUR. Op basis van dit criterium zou een investering in PV zeer interessant zijn.

Ook de interne opbrengstvoeten liggen beiden boven de 10%. Dit is ruim boven de kritische grenzen van 5,34% (de WACC) en 8% (de interne kapitaalkost) en dus ook op basis van dit criterium zou de investering interessant zijn.

De terugverdientijden van 6,71 en 8,39 liggen al een stuk lager dan bij case 1. Indien deze waarden vergeleken worden met de nuttige levensduur van 25 jaar dan is de investering respectievelijk na 26,84% en 33,56% van de levensduur terugverdiend.

De return on investment is verder hoog te noemen.

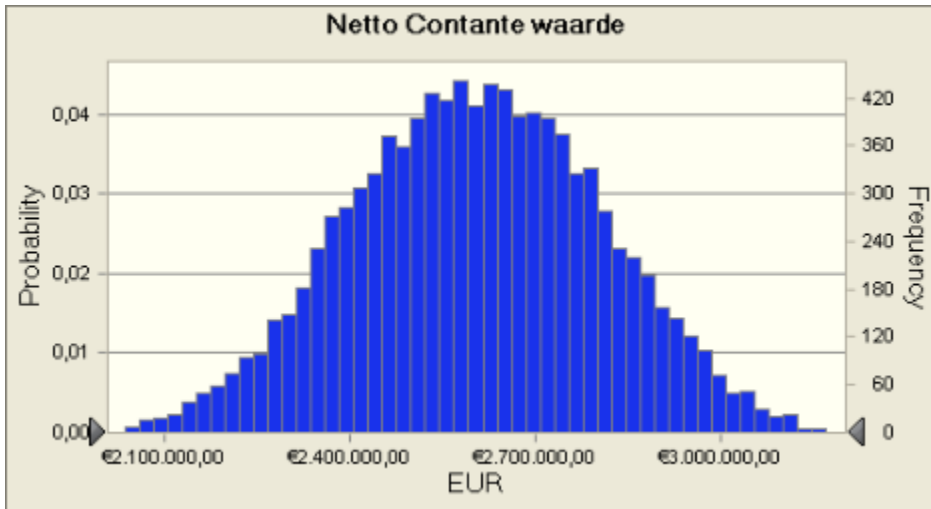
4.2.6.4 Gevoeligheidsanalyse

Tabel 4-14 omvat een overzicht van de meest waarschijnlijke, minimum- en maximumwaarde voor elk van de onderzochte parameters. Vervolgens zal voor elk van de doelvariabelen een kansverdeling en een gevoeligheidsgrafiek worden besproken.

Tabel 4-14: Parameters gevoeligheidsanalyse, case 2

Parameter	Meest waarschijnlijke waarde	Minimumwaarde	Maximumwaarde
Kostprijs installatie	3.860.051	3.474.046	4.246.056
Totaal vermogen	1.169,71	1.134,62	1.204,80
Rendement	927,81	835,03	974,19
WACC	5,34%	4,81%	5,88%
Stijging energieprijzen	3,00%	0,50%	3,00%

4.2.6.4.1 Netto contante waarde



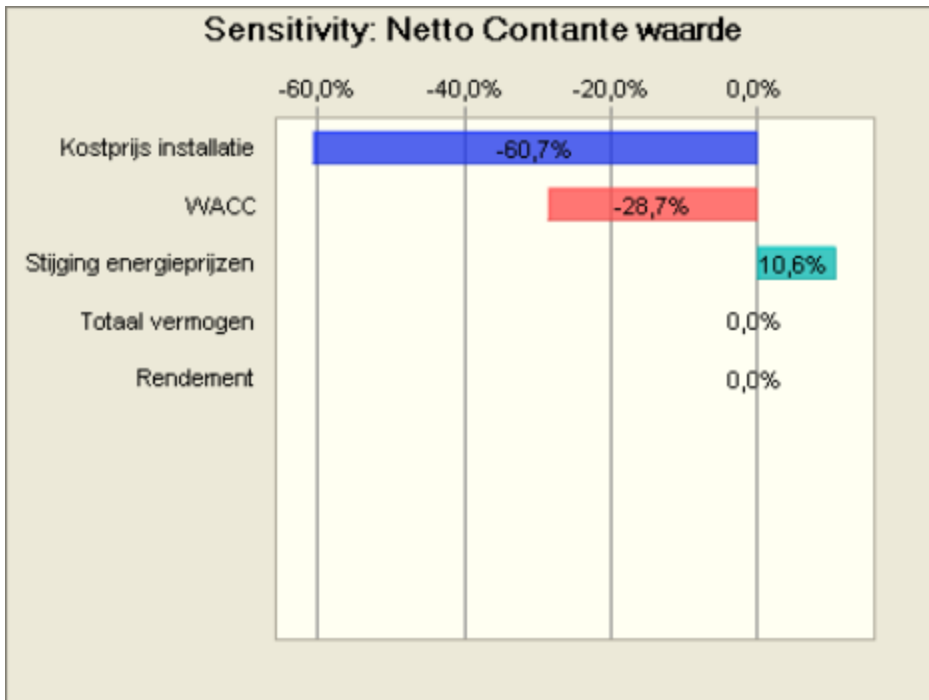
Figuur 4-16: Kansverdeling NCW, case 2

De kansverdeling van de NCW, uit Figuur 4-16 toont aan dat de waarde altijd zeer positief zal zijn. De kleinste waarde van 1.889.498 EUR uit deze kansverdeling is nog altijd ruim voldoende om op basis van de NCW een positieve waardering te geven aan de investering.

Uit Figuur 4-17 blijkt dat ook hier de investeringskost weer het grootste percentage van de variantie in de NCW verklaart, net zoals bij de eerste case. Toch is de invloed kleiner dan bij case 1.

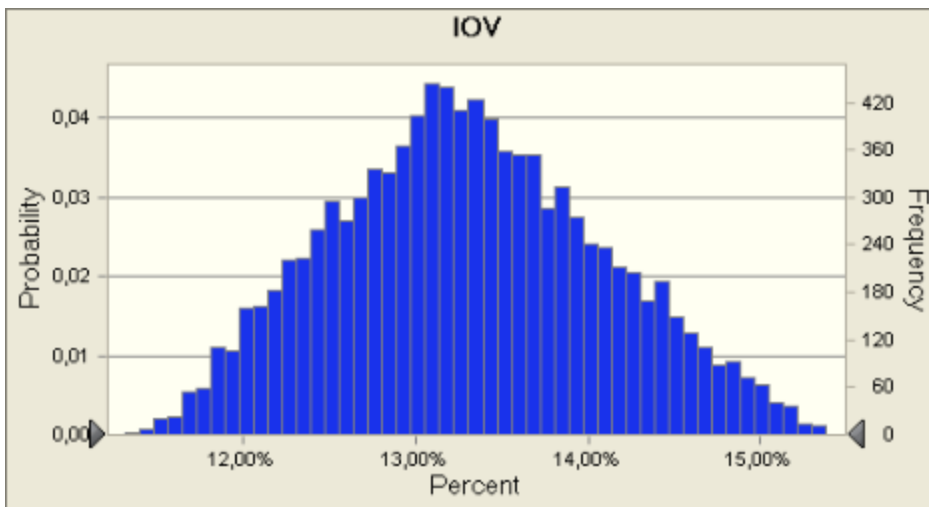
De WACC verklaart zo'n 28% van de variantie, een waarde die iets hoger ligt dan de 23% uit case 1.

De stijging van de energieprijzen heeft in beide cases ongeveer dezelfde invloed.



Figuur 4-17: Gevoeligheid NCW, case 2

4.2.6.4.2 Interne opbrengstvoet

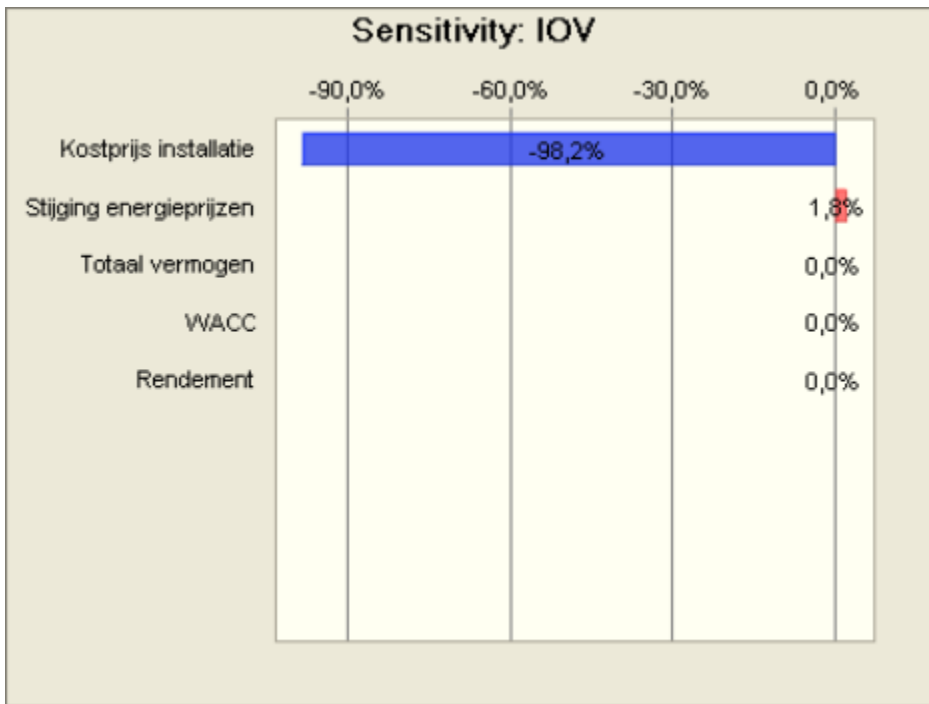


Figuur 4-18: Kansverdeling IOV, case 2

De interne opbrengstvoet, die nauw aansluit bij de NCW, is volgens deze analyse altijd voldoende hoog. De kleinste waarde van 11,32% zou ruimschoots de kapitaalkost van de meeste bedrijven moeten overtreffen.

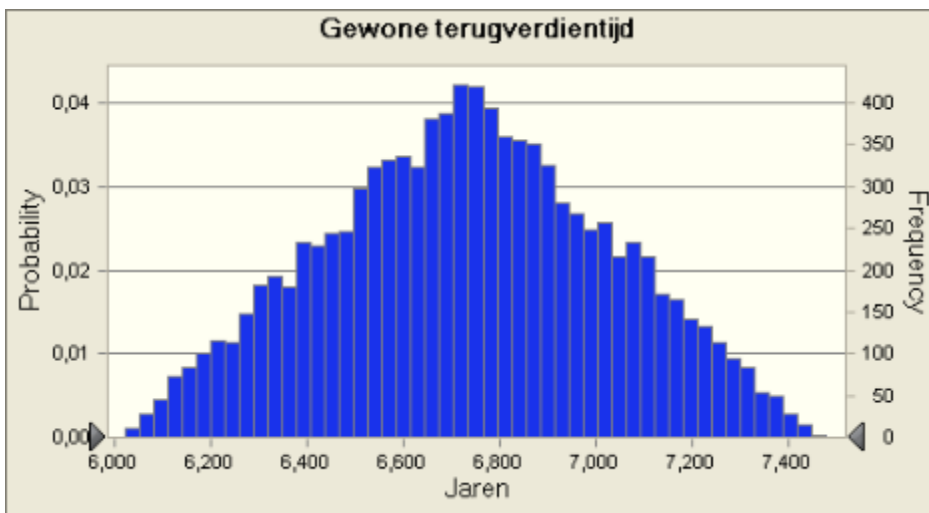
Met betrekking tot de gevoeligheid zijn hier weer grote gelijkenissen op te merken met de gevoeligheid van de IOV in de eerste case. Bijna de volledige variatie in de

kansverdeling van de IOV wordt verklaard door wijzigingen in de kostprijs van de installatie.



Figuur 4-19: Gevoeligheid IOV, case 2

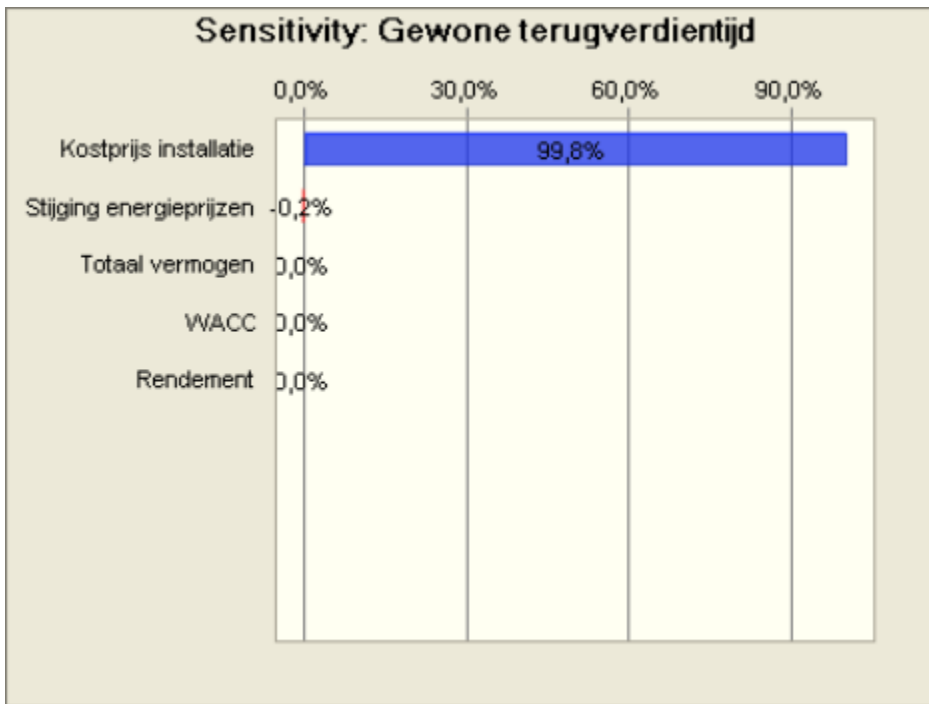
4.2.6.4.3 Gewone terugverdiëntijd



Figuur 4-20: Kansverdeling gewone terugverdiëntijd, case 2

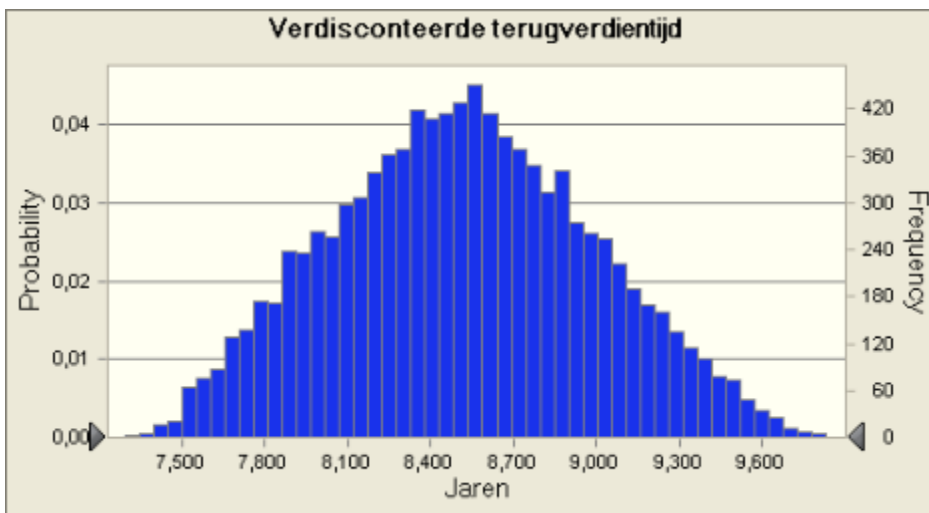
Volgens de kansverdeling uit Figuur 4-20 zou het project zich in maximaal 7,5 jaar terugverdienen. Dit is opmerkelijk beter dan bij case 1 waar de terugverdiëntijd zelfs minimaal rond de 7 jaar hangt, volgens de opgestelde kansverdeling.

Met betrekking tot de gevoeligheid is het toch weer vooral de kostprijs van de installatie die de spreiding van de terugverdiendtijd beïnvloedt.



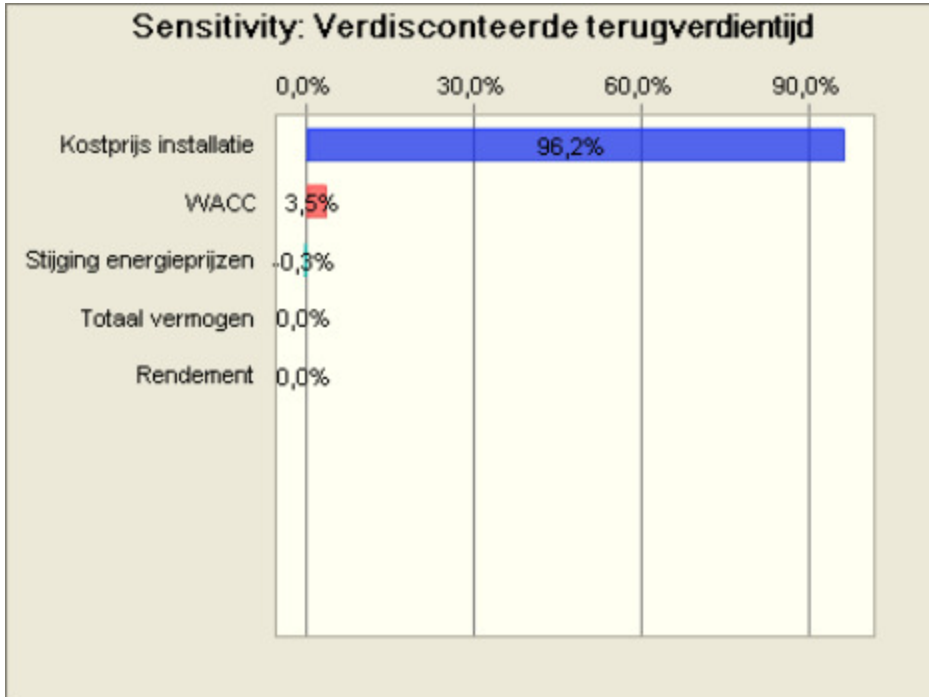
Figuur 4-21: Gevoeligheid gewone terugverdiendtijd, case 2

4.2.6.4.4 Verdisconteerde terugverdiendtijd



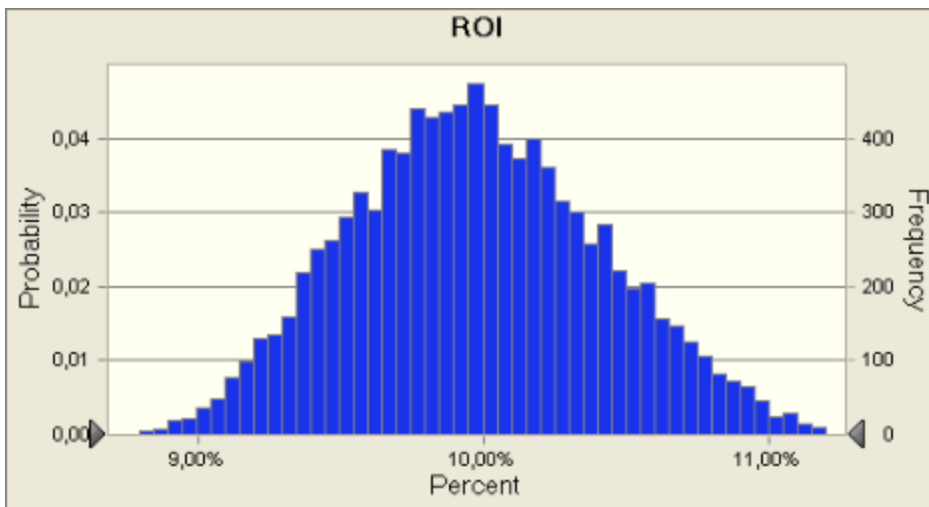
Figuur 4-22: Kansverdeling verdisconteerde terugverdiendtijd, case 2

In tegenstelling tot de eerste case kent de kansverdeling van de verdisconteerde terugverdiendtijd wel een gelijkmatig verloop. De verwachte waarde zal tussen de 7,2 en 9,9 jaar liggen. Naast de grote invloed van de kostprijs op de verdeling van de verdisconteerde terugverdiendtijd is er hier een kleine rol weggelegd voor de WACC.



Figuur 4-23: Gevoeligheid verdisconteerde terugverdientijd, case 2

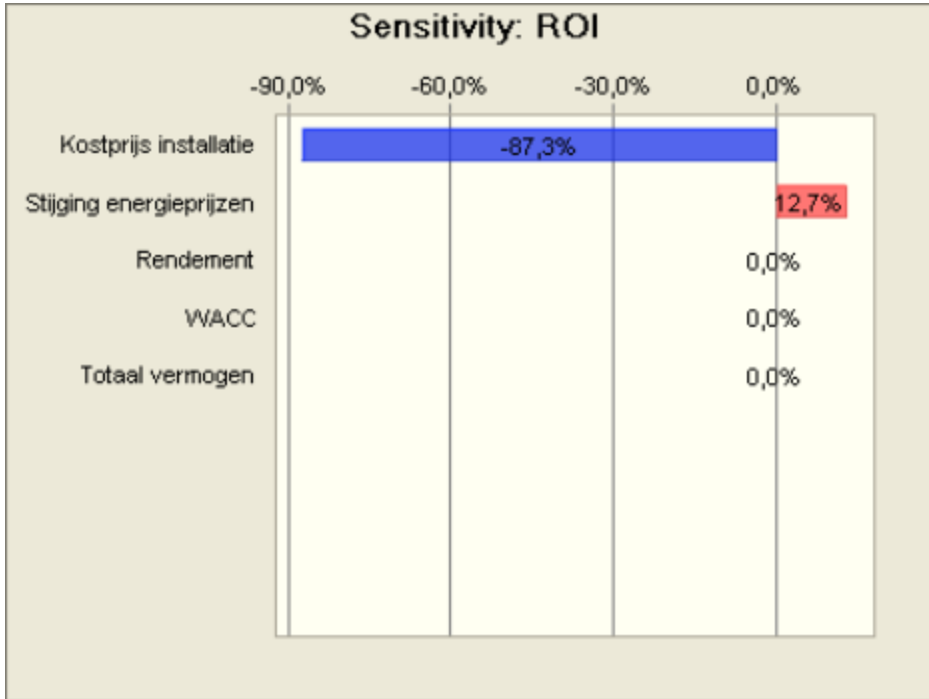
4.2.6.4.5 Return on investment



Figuur 4-24: Kansverdeling ROI, case 2

De ROI bedraagt volgens bovenstaande kansverdeling minstens 8,74% wat zeker voldoende is om het project op basis van deze maatstaf goed te keuren.

Met betrekking tot de gevoeligheid lijkt de gevoeligheidsgrafiek van de ROI weer sterk op die van case 1. Wederom is de kostprijs met 90% de meest invloedrijke variabele.



Figuur 4-25: Gevoeligheid ROI, case 2

4.2.6.4.6 Algemene conclusies

Net zoals bij de eerste case is de kostprijs van de installatie één van de belangrijkste verklarende factoren van dit model. De tweede belangrijke factor is de stijging van de energieprijzen. De redenen hiervoor zijn reeds aangehaald bij de conclusies van de eerste case. Verder dient ook opgemerkt te worden dat de investeringsmaatstaven iets betere waardes opleveren dan in het eerste geval. De reden hiervoor is het hogere rendement van de installatie in dit geval.

4.2.6.5 **Ecologische impact**

4.2.6.5.1 Bijdrage aan het aandeel hernieuwbare energie

Met een gemiddelde jaarlijkse opbrengst van 1.036.699 kWh/jaar van nu tot 2020 wordt zo'n 0,00178% van het totale Belgische doel voor 2020 opgewekt.

4.2.6.5.2 Vermeden CO₂-uitstoot

Tabel 4-15: Overzicht vermeden CO₂-uitstoot, case 1

Vermeden CO ₂ uitstoot in jaar 1	283.254,82	kg CO ₂
Vermeden CO ₂ uitstoot over periode van 10 jaar	2.705.783	kg CO ₂
Vermeden CO ₂ uitstoot over levensduur van de installatie	6.330.993	kg CO ₂

Deze installatie zou 0,012527% van de totale Belgische daling van de CO₂-uitstoot vertegenwoordigen.

Om hier een financiële waarde aan te geven kan worden berekend wat deze vermeden uitstoot waard is volgens verhandelbare emissierechten. Gerekend over de 25-jarige levensduur van de installatie zou er 84.378 EUR verdiend kunnen worden met het verkopen van verhandelbare emissierechten.

4.3 Conclusies

De bovenstaand besproken cases bleken beiden zeer interessant te zijn. De eerste case omwille van de slechte kwaliteit van het dak, de tweede case omwille van de mogelijkheid tot het plaatsen van het optimaal gedimensioneerd vermogen.

Beide cases bleken zeker financieel interessant te zijn. Toch moet opgemerkt worden dat in de eerste case slechts een heel klein deel (ongeveer 11%) van de energieproductie opgevangen kan worden door een PV-installatie. Bij de tweede case daarentegen, is de dimensionering optimaal om aan een bepaalde basislast te kunnen voldoen. Dit maakt een investering in PV hier zeer interessant, zeker gezien de goede waarden van de financiële maatstaven.

Als antwoord op de derde deelvraag kan gesteld worden dat de kostprijs van de installatie een zeer grote invloed heeft op het resultaat van de investeringsanalyse. De stijging van de energieprijzen naar de toekomst toe heeft in mindere mate belang. De andere geteste parameters bleken vrij robuust te zijn voor veranderingen in waarde.

Hoofdstuk 5: Koppeling aan WKK model

In dit hoofdstuk zal getracht worden om een oplossing te vinden op de vierde deelvraag: "Wat is de opbrengst en haalbaarheid van een gezamenlijke investering in WKK en PV?". Hiertoe werd het model uit hoofdstuk 3 gekoppeld aan het model van Jasper Olaerts. Voor meer informatie omtrent zijn individuele analyses kan u best zijn masterproef raadplegen met als titel: "Economische analyse van de integratie van warmtekrachtkoppeling in bedrijven: gevalstudies". In wat volgt zal eerst een korte inleiding gegeven worden rond WKK-installaties en daarna zal het gekoppeld model besproken worden.

Bij de koppeling van beide modellen wordt eerst een dimensionering voor een WKK-installatie opgesteld, waar de warmtevraag het uitgangspunt vormt. Nadat aan een zekere warmtebehoefte voldaan werd, is bij de elektriciteitsvraag rekening gehouden met de elektrische opbrengsten van de WKK-installatie. Op basis van de overblijvende vraag naar elektriciteit wordt dan een nieuwe dimensionering gemaakt om met een PV-installatie te voldoen aan een deel van deze vraag. Tot slot wordt er een gezamenlijke kosten-batenanalyse opgesteld.

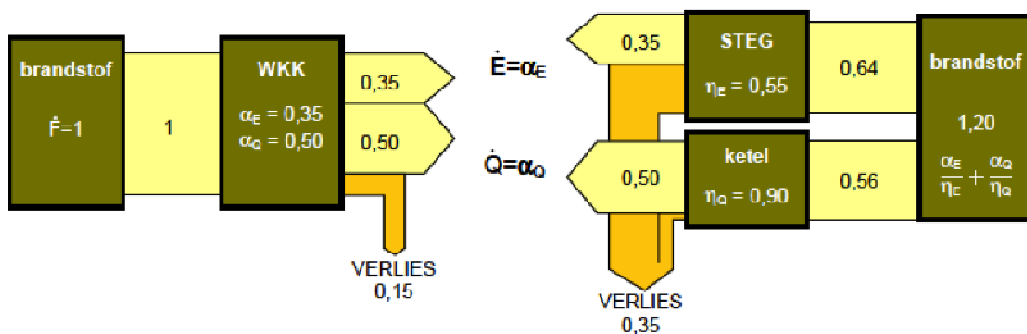
Om de werking van dit model aan te tonen werd een gevalstudie opgelost voor een bedrijf waarvan zowel de warmte- als de elektrische vraag bekend is.

5.1 Korte inleiding warmtekrachtkoppeling

De productie van warmte en elektriciteit gebeurt meestal gescheiden. Elke energievorm zal dus in een afzonderlijke installatie worden opgewekt. Een van de redenen hiervoor is dat elektriciteit makkelijk te transporteren is en dat de opwekking dus makkelijk kan gebeuren in grote centrales zoals steenkool- of kerncentrales. Warmte wordt meestal kort bij de gebruiker geproduceerd aan de hand van een boiler of een ketel.

Bij een WKK-installatie wordt warmte en elektriciteit binnen eenzelfde installatie opgewekt. De hoogwaardige warmte (1200 °C) die men bekomt door het verbranden van de brandstof, wordt eerst gebruikt om mechanische energie te produceren. Deze mechanische energie wordt dan via een alternator omgezet in elektriciteit. De laagwaardige restwarmte, met temperaturen van 80° tot 150°, kan dan worden gebruikt om te voldoen aan specifieke warmtevragen binnen een bedrijf. (Commissie Ampere, 2000)

Het grote voordeel van deze methode is dat de ingevoerde brandstof veel beter benut wordt. Hierdoor is er minder brandstof nodig om tot dezelfde output te komen van twee gescheiden installaties. Figuur 5-1 verduidelijkt dit principe. Om tot een elektrisch vermogen van 0,35 eenheden te komen en een warmtevermogen van 0,5 eenheden is bij een WKK-installatie (links) slechts 1 eenheid energie nodig als input. Bij gescheiden productie zijn 1,2 eenheden energie nodig om tot dezelfde output te komen, hoewel de individuele omzettingsrendementen van 0,55 en 0,9 hoger liggen dan de rendementen bij een WKK.



Figuur 5-1: Energetische balans van WKK-installatie en gescheiden productie

(Bron: Commissie ampere, 2000)

5.2 Bedrijfsgegevens gekoppelde case

Onderstaande tabellen geven een inzicht in de bedrijfsgegevens voor de gezamenlijke gevalstudie.

Tabel 5-1: Bedrijfsgegevens, gekoppelde case

Bedrijfsgegevens	
Aantal werknemers:	100
Ploegensysteem:	Tweeploegensysteem, geen weekendwerk
Aard van het gebouw:	Burelen, refter, werkplaats en magazijn
Oriëntatie dak:	157,5°
Stevigheid dak:	OK
Huidige energieprijs:	Gemiddeld € 0,12 / kWh
Gewenste afschrijvingstermijn:	12 jaar
Beschikbaar dakoppervlak:	2300 m ²
Subsidies gemeente?	Neen

Tabel 5-2: Overzicht elektriciteitsverbruik, gekoppelde case

	Gemiddeld kWh totaal
Januari	63.286
Februari	64.143
Maart	74.000
April	79.429
Mei	85.571
Juni	88.129
Juli	73.571
Augustus	88.771
September	86.700
Oktober	88.271
November	83.971
December	90.271
Totaal	966.114

5.3 Analyse

5.3.1 Individuele berekeningen voor de PV-installatie

Nadat de WKK-installatie werd gedimensioneerd om zo optimaal mogelijk aan de warmtevraag van dit bedrijf te voldoen, moet er rekening gehouden worden met de elektrische output van de WKK-installatie. Deze output wordt samengevat in Tabel 5-3. De exacte berekening van deze gegevens kunt u vinden in de masterproef van Jasper Olaerts.

Tabel 5-3: Elektrische output WKK

	Elektrische Output WKK (in kwh)
Januari	6.663
Februari	5.932
Maart	6.663
April	6.448
Mei	6.663
Juni	6.448
Juli	6.663
Augustus	6.663
September	6.448
Oktober	6.663
November	6.448
December	6.663
Totaal	78.363

De volgende stap is het dimensioneren van een PV-installatie, rekening houdend met de elektrische output van de WKK-installatie. Hiertoe zullen de gegevens uit Tabel 5-3 dus moeten worden afgetrokken van de gegevens uit Tabel 5-2. De optimale grootte van een PV-installatie blijkt 663,25 kWp te zijn, zoals af te leiden valt uit Tabel 5-4.

Tabel 5-4: Overzichtstabel dimensionering, gekoppelde case

Maand	kWh/kWp	Vermogen per maand (in kWp)	Uren per maand	Totaal aantal uren	Product
December	27,84	3.003,29	744	744	2.234.446,07
November	37,54	2.065,17	720	1464	3.023.407,09
Januari	34,80	1.626,99	744	2208	3.592.383,17
Oktober	60,53	1.348,20	744	2952	3.979.888,06
Februari	50,25	1.158,43	672	3624	4.198.138,29
September	81,82	980,84	720	4344	4.260.783,04
Maart	78,06	862,63	744	5088	4.389.055,08
April	97,04	752,07	720	5808	4.368.013,43
Augustus	110,26	744,68	744	6552	4.879.137,85
Juni	113,90	717,14	720	7272	5.215.054,95
Mei	118,97	663,25	744	8016	5.316.572,54
Juli	116,79	572,88	744	8760	5.018.406,26

Toch moet ook hier nog rekening gehouden worden met het beschikbare dakoppervlak. Aangezien dit geschat werd op 2300 m², zal slechts een maximaal vermogen van 317,37 kWp geplaatst kunnen worden. De berekeningen verderop in deze case zullen dun uitgaan van een grootte van 317,37 kWp.

De investeringskost die samenhangt met een installatie van deze grootte bedraagt 1.047.210 EUR.

5.3.2 Gezamenlijke investering

De kostprijs van een WKK-installatie, om zo optimaal mogelijk te voldoen aan de warmtevraag, bedraagt 57.000 EUR. Het gezamenlijk investeringsbedrag bedraagt dus 1.104.210 EUR. Voor de financiering van dit bedrag zal, net zoals bij de andere cases van deze masterproef, geteld worden met een financiering van 70% externe middelen. Er dient toch wel worden opgemerkt dat de investering in een PV-installatie in dit geval ongeveer 95% van de totale investeringskost voor zijn rekening neemt.

5.3.3 Resultaten

Tabel 5-5: Overzicht gezamenlijke elektrische output

Maand	Verbruik	Dekking door WKK	Dekking door PV	% WKK	%PV	Totaal
Januari	63.285,71	6.662,79	11.044,06	10,53%	17,45%	27,98%
Februari	64.142,86	5.932,03	15.946,13	9,25%	24,86%	34,11%
Maart	74.000,00	6.662,79	24.771,44	9,00%	33,47%	42,48%
April	79.428,57	6.447,86	30.794,33	8,12%	38,77%	46,89%
Mei	85.571,43	6.662,79	37.754,66	7,79%	44,12%	51,91%
Juni	88.128,57	6.447,86	36.143,86	7,32%	41,01%	48,33%
Juli	73.571,43	6.662,79	37.063,00	9,06%	50,38%	59,43%
Augustus	88.771,43	6.662,79	34.989,66	7,51%	39,42%	46,92%
September	86.700,00	6.447,86	25.964,33	7,44%	29,95%	37,38%
Oktober	88.271,43	6.662,79	19.208,87	7,55%	21,76%	29,31%
November	83.971,43	6.447,86	11.912,37	7,68%	14,19%	21,86%
December	90.271,43	6.662,79	8.834,34	7,38%	9,79%	17,17%
Totaal	966.114,29	78.362,96	294.427,07	8,11%	30,48%	38,59%

Zoals blijkt uit Tabel 5-5 kan in totaal aan zo'n 38,6% van de totale energiebehoefte worden voldaan door te investering in zowel een WKK- als een PV-installatie.

De resultaten van de gezamenlijke kosten-batenanalyse worden samengevat in onderstaande tabel. Voor de volledige resultaten verwijst ik graag naar de bijlagen.

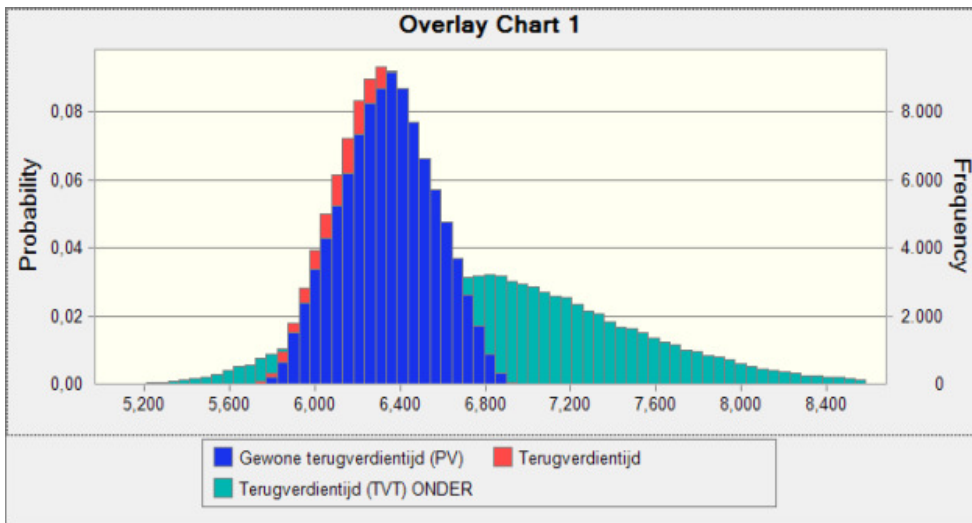
Tabel 5-6: Overzicht evaluatiemaatstaven, gekoppeld model

Netto contante waarde (7,33%)	€ 604.849
Gewone terugverdientijd	6,33
Verdisconteerde terugverdientijd	8,74
Return on Investment	14,42 %

5.3.4 Gevoeligheidsanalyse

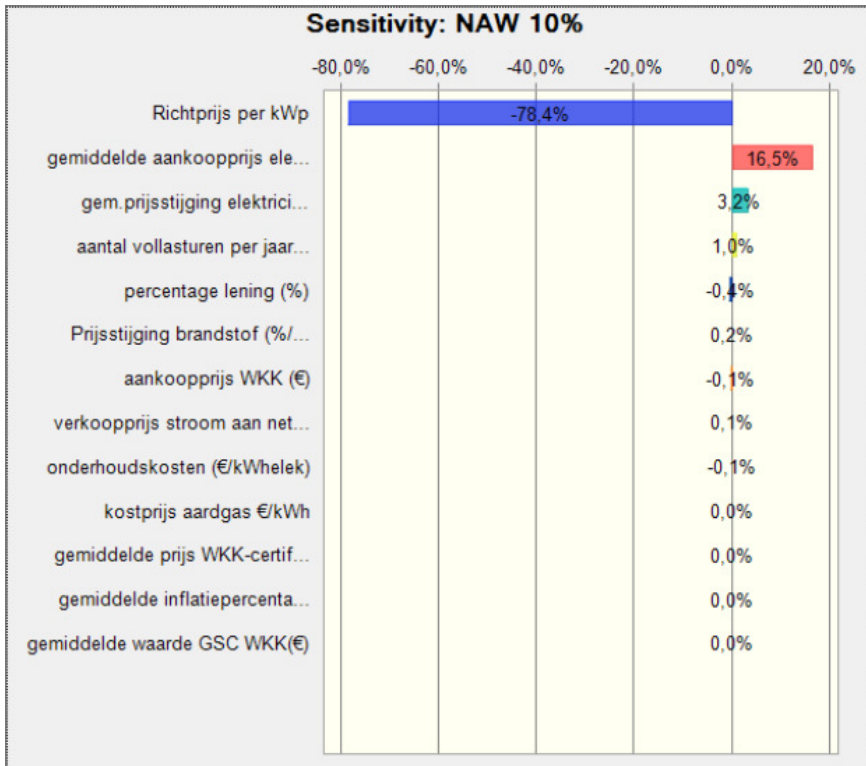
Figuur 5-2 geeft een overzicht van de spreiding van de terugverdientijden in de respectievelijke modellen. De spreiding in het PV-model wordt in het blauw weergegeven. De gegevens over het WKK-model werden groen gekleurd en het gekoppeld model ten slotte heeft een rode kleur gekregen. De grote invloed van het PV-gedeelte wordt erg duidelijk. Dit kan verklaard worden door het relatieve percentage dat de PV-installatie van het totale investeringsbedrag voor zijn rekening neemt. Ook valt de bredere spreiding op van de terugverdientijd onder het WKK

model. Een mogelijke verklaring hiervoor is het groter aantal variabele parameters voor het WKK-model, die in deze gevoeligheidsanalyse werden opgenomen.



Figuur 5-2: Vergelijking terugverdientijd, gekoppeld model

Na het bekijken van de gevoeligheidsgrafieken werd duidelijk dat, net zoals bij het individueel model voor PV-systemen, de invloed van de kostprijs van de PV-installatie erg groot is. Ook dit valt weer te verklaren door het grote relatieve belang van de PV-installatie in dit gekoppeld model.



Figuur 5-3: Gevoeligheid NAW, gekoppeld model

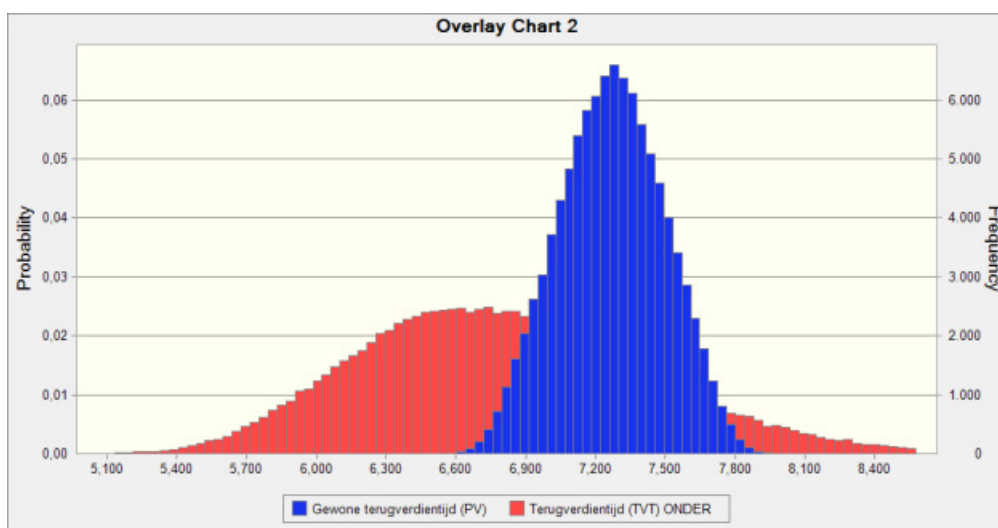
5.4 Analyse 2

Aangezien in de vorige case zo'n 95% van het investeringsbedrag werd bepaald door de investering in een PV-installatie werd in dit model nagegaan wat de financiële implicaties zijn indien een bedrag van 57.000 EUR wordt geïnvesteerd. Dit is het bedrag dat betaald moet worden voor een investering in een WKK-installatie. Door voor beide technologieën eenzelfde bedrag te investeren kan worden nagegaan welke investering het meest interessant is voor een bedrijf dat slechts beperkte middelen heeft om te investeren.

Onderstaand zal dan ook voor een aantal maatstaven een vergelijking gemaakt worden tussen de twee technologieën.

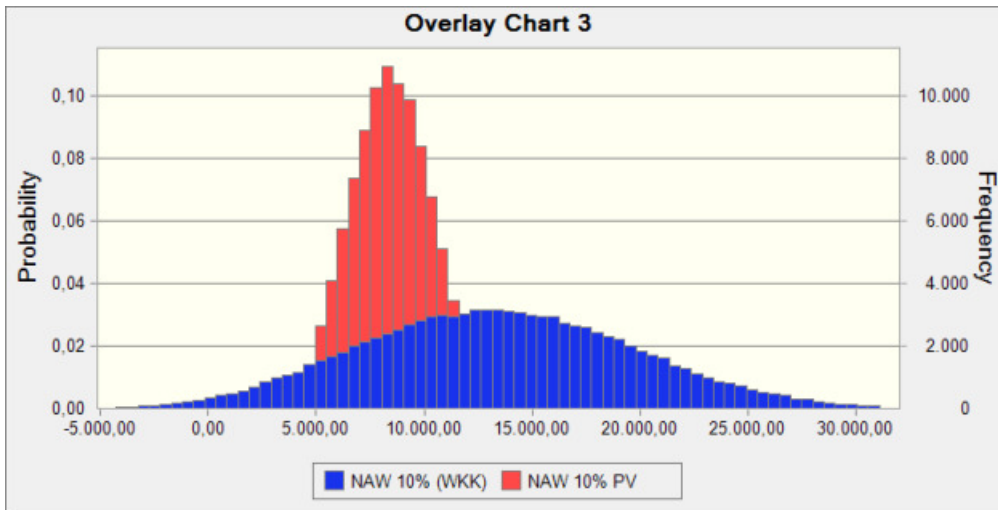
5.4.1 Vergelijking tussen PV en WKK

Indien de terugverdientijd van beide projecten wordt bekeken valt op dat de terugverdientijd van een WKK-installatie lager ligt dan deze van een PV-installatie. Verder valt het op dat de terugverdientijd voor de PV-installatie hoger ligt dan in het geval van een investering van 1.047.210 EUR. Een mogelijke verklaring hiervoor is het verlies aan schaalvoordelen t.o.v. de investering in het eerste geval. Ook wordt opnieuw waargenomen dat de spreiding breder is voor de WKK-installatie.



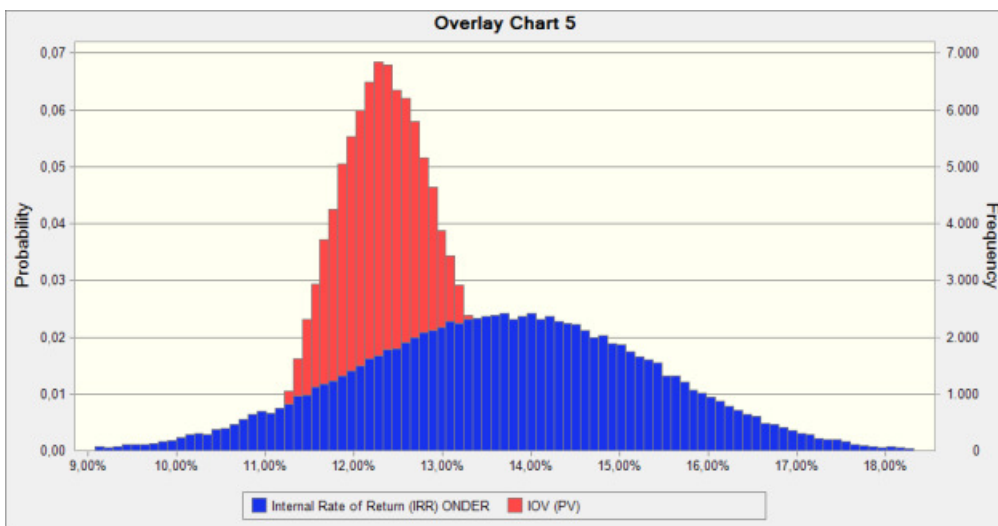
Figuur 5-4: Vergelijking terugverdientijd PV en WKK

De NAW bij een discontovoet van 10% ligt gemiddeld genomen hoger voor de investering in WKK. Opnieuw is de spreiding van het resultaat voor een PV-installatie echter kleiner.



Figuur 5-5: vergelijking NAW tussen PV en WKK

De interne rendementsvoet duidt opnieuw op gelijkaardige resultaten. Onderstaande figuur geeft dit grafisch weer.

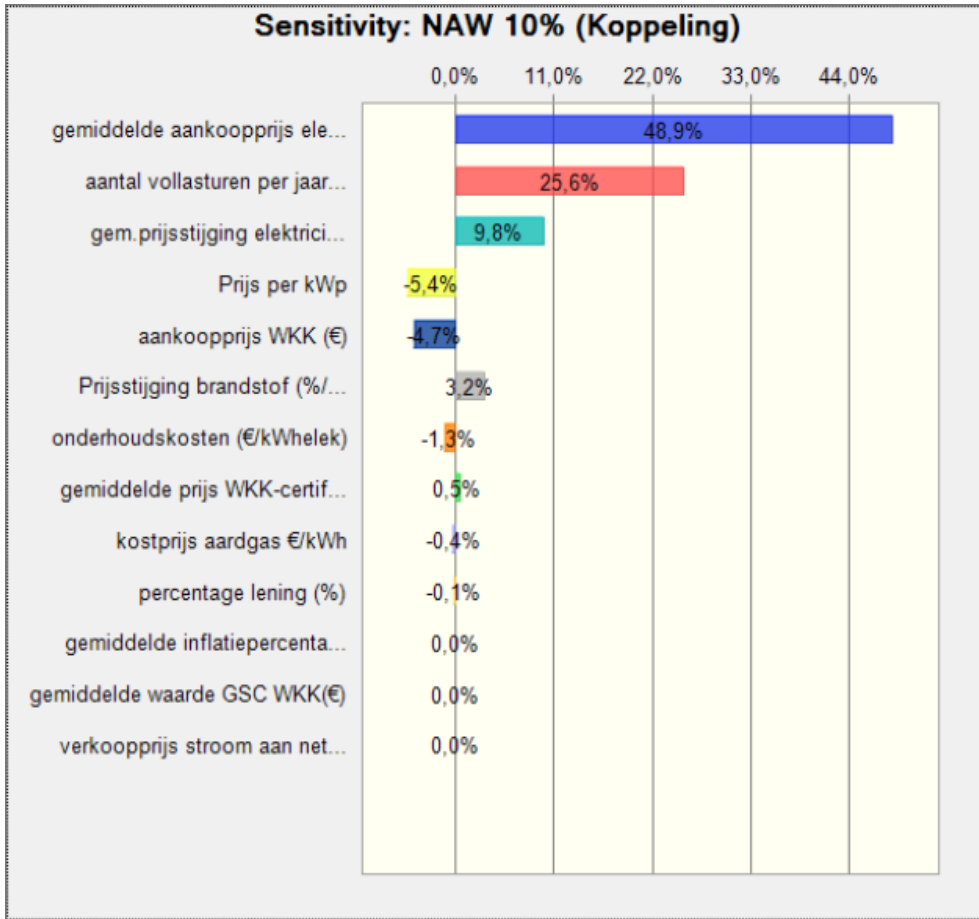


Figuur 5-6: vergelijking IRR tussen PV en WKK

Uit de resultaten blijkt dat beide investeringsprojecten tot vergelijkbare positieve resultaten leiden. De investering in een PV-systeem brengt vanwege zijn kleinere spreiding minder onzekerheid met zich mee. Dit kan voor een investeerder een doorslaggevende rol spelen. Er moet echter worden opgemerkt dat de gemiddelde NAW, TVT en IRR van de WKK-installatie gunstiger zijn.

Om toch een beeld te krijgen over de gevoeligheid van het gekoppelde model werd een gevoeligheidsgrafiek opgesteld met als uitgangspunt een gelijk investeringsbedrag in PV en in WKK. Onderstaande grafiek biedt hiervan een overzicht.

Indien we naar de gevoeligheid voor de NAW kijken, kunnen we concluderen dat de gevoeligheid niet meer grotendeels door de prijs van de PV-installatie bepaald wordt. Zo blijkt dat vooral de aankoopprijs van elektriciteit en het aantal vollasturen die een WKK kan draaien van belang zijn.



Figuur 5-7: Gevoeligheid gekoppeld model

5.5 Conclusies van dit hoofdstuk

In dit hoofdstuk werd een antwoord geformuleerd op de vraag "Wat is de opbrengst en de haalbaarheid van een gezamenlijke investering in WKK en PV?".

Voor de gevalstudie die in dit hoofdstuk werd opgelost bleek een WKK allereerst goedkoper uit te vallen en ook iets betere opbrengsten te genereren. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat voor het bedrijf in kwestie de elektrische vraag veel hoger was dan de warmtevraag, waardoor er een vertekend beeld kan ontstaan.

Hoofdstuk 6: Conclusies en aanbevelingen

In de voorgaande hoofdstukken werden de centrale onderzoeksvraag en de deelvragen reeds besproken. In dit hoofdstuk zullen eerst algemene conclusies getrokken worden om vervolgens enkele aanbevelingen te doen.

6.1 Algemene conclusies

Hoewel PV-systemen momenteel slechts een klein aandeel vertegenwoordigen in de Belgische hernieuwbare energieproductie, zal het belang in de toekomst zeker toenemen. Toch mag niet uit het oog verloren worden dat het onvoldoende is om in de komende jaren enkel de PV markt te blijven ontwikkelen. Een combinatie van verschillende alternatieve energiebronnen, waaronder ook waterkracht en windkracht, zal noodzakelijk zijn om de emissiedoelstellingen tegen 2020 te halen. Recente berichtgeving in kranten en andere nieuwsmedia omtrent de vele bouwplannen voor windmolens doet dan ook vermoeden dat we op de goede weg zijn.

De PV-sector is een relatief jonge sector. Hoewel de sector de laatste jaren een enorme boost heeft gekend, is er nog veel groeipotentieel. Dit potentieel zal zeker benut moeten worden om de zogenaamde grid-parity te bereiken. Uit de literatuur bleek dat dalingen in de kostprijs van de PV-systemen, samen met de stijging van de prijzen van energiebronnen op basis van alternatieve energie de belangrijkste factoren zijn in het bereiken van deze grid-parity. Net deze twee factoren kwamen bij de gevoeligheidsanalyse ook naar voor als meest invloedrijke factoren voor het rendement van een PV-investering. Er is met andere woorden sprake van een soort vicieuze cirkel. Als er meer investeringen gebeuren in PV-systemen zal de cumulatieve productiecapaciteit stijgen. Hoe meer deze capaciteit stijgt, hoe meer schaalvoordelen en leereffecten er optreden. Daardoor kunnen de prijzen voor PV-installaties op hun beurt weer dalen. Door de grote invloed van prijsdalingen op het rendement van een

PV-investering, zullen deze laatste weer toenemen. Dit is als het ware een zelfversterkend effect.

Naar de toekomst toe zal het echter niet alleen belangrijk zijn om de prijzen van de klassiekere silicium-panelen verder te laten dalen, maar ook om andere technologieën verder te laten evolueren. Een zeer grote uitdaging hierbij is het bestand maken van PV-installaties tegen weersinvloeden en het verhogen van de rendementen. De verliezen door weersinvloeden blijken momenteel namelijk inherent te zijn aan de opbouw van PV-modules. Daarom moest er in het model ook gewerkt worden met een zekere verliesfactor in de opbrengst van de PV-installatie. Indien hier, naar de toekomst toe, nog verbeteringen zouden gebeuren, is het vanzelfsprekend dat ook het financieel rendement gaat stijgen.

Naast het potentieel voor de PV-sector in het algemeen zijn er ook nog een aantal aanvullende mogelijkheden voor de bedrijfswereld. Aangezien de grootste vrije dakoppervlakken te vinden zijn bij bedrijven zijn er nog enorm veel beschikbare exploitatiemogelijkheden voor PV-systemen. Zeker aangezien het plaatsen van een PV-installatie, naast de investeringskosten, ook opbrengsten met zich meebrengt. Dit staat in contrast met veel andere milieu-investeringen die enkel gedaan worden om boetes te vermijden. Toch mag niet uit het oog verloren worden dat PV-investeringen voor bijna geen enkel bedrijf behoren tot de core-business.

Bij het opstellen van het berekeningsmodel werd duidelijk dat het beschikken over goede klimaatgegevens onontbeerlijk is. De effectieve opbrengst van een PV-installatie wordt namelijk niet alleen bepaald door het vermogen van de installatie maar ook door de weersomstandigheden. Indien bij grote projecten zou gewerkt worden met benaderende schattingen voor de opbrengst in kWh/kWp zouden de afwijkingen met de werkelijke waarden te groot worden.

Na de analyse van de gevalstudies bleek de sterkte van de dakconstructie een zeer grote invloed te hebben. Case 1 gaf hier een mooi voorbeeld van. Hoewel er een sterk positieve NCW en een ROI van meer dan 9% gevonden werd, mag niet uit het oog verloren worden dat de installatie ondergedimensioneerd is. Er moest namelijk gewerkt worden met minder rendabele systemen, wat leidt tot aanzienlijk minder opwekkingscapaciteit. Dit brengt met zich mee dat er ook minder milieubaten zullen zijn. Zowel het aandeel hernieuwbare energie als de vermeden CO₂-uitstoot zullen minder groot zijn dan bij een systeem met meer rendement. Dit kan een ernstige belemmering vormen in het verder uitbreiden van PV-systemen voor bedrijven. In de

realiteit zijn er namelijk veel bedrijven die te maken hebben met slechte dakconstructies. Daarom werd ook een berekening gemaakt van de maximale meerkost voor het verstevigen van de dakconstructie. Uit gesprekken met ingenieursbureaus bleek echter dat elk gebouw zeer specifiek bekeken moet worden wat betreft dakversterkingen.

Na het analyseren van de tweede gevalstudie, bleken de resultaten duidelijk beter te zijn dan die van case 1. Dit is vooral te wijten aan 2 factoren: de daksterkte en het beschikbaar dakoppervlak. Doordat het dak in dit geval wel sterk genoeg was, kon er namelijk met meer rendabele systemen gewerkt worden. Verder was het beschikbaar dakoppervlak groot genoeg om een optimaal gedimensioneerde installatie te plaatsen. Hierdoor lagen zowel de economische baten als de ecologische baten hoger dan bij de eerste gevalstudie. Indien gekeken wordt naar de gevoeligheid van de parameters werden wel ongeveer dezelfde resultaten gevonden als bij de eerste case. Vooral de kostprijs van de investering, de gewogen gemiddelde kapitaalkost en de toekomstige stijgingen van elektriciteitsprijzen bleken de meest invloedrijke factoren te zijn.

6.2 Aanbevelingen

Op het vlak van subsidiemaatregelen zou het goed zijn om Europees enkele afspraken te maken. Zo worden vraagschokken ten gevolge van veranderingen in subsidiemaatregelen, zoals in België rond de jaarwisseling van 2009 naar 2010, vermeden en kan de markt zonder verstoringen verder groeien. Dit zou zeker niet onlogisch zijn aangezien het beleid om de uitstoot van broeikasgassen te verlagen, ook al Europees geregeld is. Zo komt er misschien ook een kans om het potentieel in Zuid-Europa te ontplooien.

Verder lijkt het mij ook beter om de subsidiemaatregelen meer te richten op investeringssubsidies teneinde de kostprijs van investeringen in PV te drukken. Deze maatregelen zouden dan ook makkelijker aan te passen zijn aan de actuele prijzen van de PV-installaties. Zo zal er zeker geen oversubsidiering zijn en zijn overheden niet meer op langere termijn gebonden, zoals wel het geval is bij groenstroomcertificaten. Gezien het feit dat de investeringskosten een grote invloed uitoefenen op de investeringsanalyse zou dit ook het financieel rendement ten goede komen. Aangezien in de bedrijfswereld de terugverdiëntijd toch vaak als een

belangrijke factor gezien wordt, zou het verlagen van het investeringsbedrag zeker een aansporing kunnen zijn voor bedrijven om te investeren in PV-installaties.

Omdat er bij veel bedrijven een informatieprobleem is rond PV- en andere milieu-investeringen zou het goed zijn als er meer informatie aangeboden zou worden omtrent deze materie. Als ideale partners zie ik hier sectorfederaties, Unizo en industriële verenigingen.

Bij het groeien van de PV-sector mogen de gevaren niet uit het oog verloren worden. Aantrekkelijke sectoren zullen namelijk altijd mensen met minder nobele bedoelingen en mensen met minder kennis aantrekken. Om de kopers van PV-toepassingen te beschermen is het belangrijk om een bepaalde regelgeving te ontwikkelen en om minimum kwaliteitseisen op te leggen aan leveranciers. Initiatieven zoals "quest for quality" moeten dan ook worden toegejuicht en meer invloed krijgen.

Uit verschillende gesprekken die ik met bedrijfsleiders, technische verantwoordelijken en milieuverantwoordelijken had omtrent investeringen in PV-systemen bleek dat er enerzijds wel de wil was om te investeren in PV-systemen maar anderzijds merkte ik toch duidelijk dat er bepaalde belemmeringen waren. Daarom zou een goed idee voor een andere masterproef kunnen zijn om een onderzoek te doen bij bedrijven waarbij getracht wordt om te achterhalen wat motiveringen en belemmeringen zijn voor investeringen in PV-systemen.

Bibliografie

Aldous, S. (2000). *How Solar Cells Work*. Opgeroepen op 10 februari 2010, van howstuffworks.com: <http://www.howstuffworks.com/solar-cell.htm>

BP Solar. (2010, januari). *BP 3230N - 230 Watt Photovoltaik Modul*. Opgeroepen op 18 april 2010, van BP Solar Datenblätter: <http://www.bp.com//sectiongenericarticle.do?categoryId=9024402&contentId=7045307>

Central Intelligence Agency. (2009). *The World Factbook*. Opgeroepen op 4 mei 2010, van <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html>

Chan, Y., Gibeling, H., & Grubin, H. (1988). Numerical simulations of Czochralski silicon growth. *Journal of applied physics*, 64 (3), 1425-1426.

Commissie Ampere. (2000). *Hoofdrapport - sectie d3*. Opgeroepen op 29 november 2009, van Eindverslag commissie ampere: http://www.internet-observatory.be/energy/ampere_comission/Rapport_nl.htm

Dexters, A. (2007). *Hoe dimensioneert men een WKK*. Opgeroepen op 23 oktober 2009, van VEI Technische bib: <http://www.vei.be/technische-bib>

Eccleston, C. (2008). Climbing Hubbert's peak, the looming world oil crisis. *Environmental Quality Management*, 17 (3), 25-30.

Energy Information Administration. (2009). *International Energy Outlook 2009*. Washington: US Department of energy.

European Climate Exchange. (2010). *Prices and Volume: ECX EUA Daily Futures Contract*. Opgeroepen op 22 april 2010, van Historical data - ECX EUA & CER Daily Futures (Spot) : <http://www.ecx.eu/EUA-CER-Daily-Futures>

European Commission. (2006). *The EU Emissions Trading Scheme*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.

European Photovoltaic Industry Association. (2009). *Set For 2020 - Solar Photovoltaic Electricity: A mainstream power source in Europe by 2020*. Opgeroepen op 2 februari 2010, van <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>

European Photovoltaic Industry Association. (2008). *Solar Generation V*. Opgeroepen op 2 februari 2010, van <http://www.epia.org/publications/epia-publications.html>

Eurostat. (2010, mei 5). *Energy Dependency*. Opgeroepen op 5 mei 2010, van Eurostat, European statistics: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc310>

Eurostat. (2009, april 30). *Final Energy Consumption*. Opgeroepen op 20 april 2010, van Eurostat, European statistics: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&code=ten00095>

Federale Dienst Klimaatverandering. (sd). *Het VN-Klimaatverdrag : van Rio tot Kyoto*. Opgeroepen op 4 mei 2010, van <http://www.klimaat.be/spip.php?rubrique52&fs=>

Fetters, J. (2006). The First Energy Source. *Energy & Power Management* , 31 (2), 12-12.

FOD economie, K.M.O, Middenstand en Energie. (2009). *Inkomstenbelastingen*. Opgeroepen op 23 maart 2010, van Vademecum van de onderneming: http://economie.fgov.be/nl/binaries/2_1_NL_tcm325-66802.pdf

Giancoli, D. (2005). *Physics* (6de ed.). Pearson Prentice Hall.

Heremans, P. (2008). Zonnecellen voor een prikje. *Interconnect* (27), 4-6.

Honsberg, C., & Bowden, S. (sd). Opgeroepen op 28 februari 2010, van Photovoltaic Education Network: <http://pvcdrom.pveducation.org/main.html>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: synthesis report*. Opgeroepen op 4 mei 2010, van http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html

International Energy Agency. (2009). *CO2 Emissions from Fuel Combustion 2009 - Highlights*. Opgeroepen op 18 april 2010 , van International Energy Agency - Energy Publications: <http://www.iea.org/co2highlights/CO2highlights.pdf>

International Energy Agency. (2000). *Experience curves for energy technology policy*. Parijs: International Energy Agency.

Jorissen, A., Lybaert, N., Reyns, C., & Vanneste, J. (2009). *Financial Accounting*. Antwerpen: Uitgeverij De Boeck.

Laveren, E., Engelen, P.-J., Limère, A., & Vandemaele, S. (2004). *Handboek financieel beheer*. Antwerpen: Intersentia.

Lorenz, P., Pinner, D., Seitz, T., Farrell, D., & Remes, J. (2008). The Economics of solar power. *The McKinsey Quarterly* (4), 66-78.

Mercken, R. (2004). *De investeringsbeslissing, een beleidsgerichte analyse*. Antwerpen: Uitgeverij Garant.

Nationale Klimaatcommissie. (2009). *Vijfde Belgische Nationale Mededeling onder het raamverdrag van de Verenigde Naties inzake klimaatverandering*. Opgeroepen op 4 mei 2010, van http://www.climat.be/IMG/pdf/NC5_NL_LR.pdf

Organisatie Duurzame Energie. (2007). Electriciteit uit zonlicht.

Photovoltech. (2009). *Photovoltech datasheets*. Opgeroepen op 11 februari 2010, van http://www.photovoltech.be/?pagina_id=41

Poulin, A., Dostie, M., Fournier, M., & Sansregret, S. (2008). Load duration curve: A tool for technico-economic analysis of energy solutions. *Energy and buildings, Volume 40, Issue 1*, 29-35. Opgeroepen op 23 oktober 2009, van <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V2V-4MYMFVB-3/2/6cceb3c585f320d553b19fe28e68894c>

Skoplaki, E., & Palyvos, J. (2009). Operationing temperature of photovoltaic modules: a survey of pertinent correlations. *Renewable Energy, Volume 34, Issue 1*, 23-29. Opgeroepen op 22 april 2010, van Science Direct: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V4S-4SV12MV-4/2/31fe9d4b09a5683ab5dd47b4a7f82e99>

SMA Solar Technology. (sd). *Sunny Boy 3000 TL - Volkommen. Einfach - Data Sheet*. Opgeroepen op 28 februari 2010, van <http://www.sma.de/de/produkte/solar-wechselrichter/sunny-boy/sunny-boy-3000tl-4000tl-5000tl.html>

Statbel. (2009). *Overzicht van de milieustatistieken (2007)*. Opgeroepen op 19 april 2010, van Statbel - Leefmilieu: <http://statbel.fgov.be/nl/statistieken/cijfers/leefmilieu/index.jsp>

Storey, N. (2006). *Electronics - A systems approach* (3de ed.). Essex, England: Pearson Education.

Vlaams Agentschap Ondernemen. (2009). *Technologie-fiche: PV systemen voor ondernemingen*. Opgeroepen op 4 februari 2010, van http://www.vlao.be/images_sub/pdf/energie/PV-systemen%20AO_12-11-2009.pdf

Vlaamse Overheid. (sd). *Wat is een NACE(BEL)-code?* Opgeroepen op 9 april 2010, van

http://www.vlaanderen.be/servlet/Satellite?pagename=Infolijn/View&cid=1090509550128&c=Solution_C&p=1186804409590&context=

Vlaamse Reguleringsinstantie voor de Elektriciteits- en Gasmarkt. (2010). *Het systeem van groenestroomcertificaten (GSC)*. Opgeroepen op 1 maart 2010, van http://www.vreg.be/nl/03_algemeen/02_energiemarkt/02_wiedoetwat/07_groenestroom.asp

VREG. (2010). *Technisch Reglement Distributie Elektriciteit*. Opgeroepen op 2 maart 2010, van <http://www.vreg.be/vreg/documenten/technische%20reglementen/TRDE20091204.pdf>

Bijlagen

Bijlagen

Bijlage 1:	Mails van en naar banken i.v.m. rentetarieven.....	- 1 -
Bijlage 2:	Bespreking werkwijze lening.....	- 3 -
Bijlage 3:	Uitleg evaluatiemaatstaven	- 5 -
Bijlage 4:	Crystal Ball output, case 1.....	- 9 -
Bijlage 5:	Crystal Ball output, case 2.....	- 19 -
Bijlage 6:	Crystal ball output, gezamenlijke case, geval 1	- 32 -
Bijlage 7:	Crystal ball output, gezamenlijke case, geval 2	- 49 -

Bijlage 1: Mails van en naar banken i.v.m. rentetarieven

Mail verzonden aan KBC, kantoor Ophoven-Kinrooi

Geachte heer Mallet,

In het kader van mijn masterproef (thesis) had ik graag enkele geldende rentetarieven ontvangen inzake de volgende investeringskredieten:

Looptijd: telkens 10 jaar

Bedragen:

- 400.000 EUR
- 500.000 EUR
- 600.000 EUR
- 700.000 EUR
- 800.000 EUR

Dank bij voorbaat.

Vriendelijke groeten,
Maarten Kupers

Ontvangen bericht van KBC

Hallo Maarten,

Voor wat de rentetarieven betreft is er geen onderscheid voor een bedrag van 200.000 EUR of 500.000 EUR of een ander bedrag. Wat wel belangrijk gaat zijn, is de bewaarborging.

Afhankelijk van de solvabiliteit, liquiditeit, gang van zaken, winstgevendheid, waarborgen, worden er verschillende tarieven berekend en wordt er in feite maatwerk geleverd.

Om je toch een indicatie te geven van de huidige rentetarieven:

- jaarlijks aanpasbare rente: ca 3 %
- 5 jaarlijks aanpasbare rente: ca 4 %
- volledig vast op 10 jaar: 4,5 %

Ik hoop dat je met deze info al een stuk verder kunt, maar mocht je nog vragen hebben, dan mag je steeds contact opnemen.

Verder nog veel succes toegewenst met je studies.

PS: een heel interessante website is ook www.kbc.be/ondernemen

Vriendelijke groeten

Willy Mallet
WILLY MALLETT
KBC BANK OPHOVEN-KESSENICH
089 56 09 05

Ontvangen bericht van Delta Lloyd bank Hasselt (na telefonische vraag)

Beste Maarten,

Ziehier de actuele rentetarieven toegekend door Delta Lloyd Bank voor investeringskredieten (professionele kredietverlening).

Rekening houdende met de cliëntenrelatie, mogelijke cross-selling en rendement on investment worden de volgende rentevoeten vandaag toegepast :

Looptijd van 10 jaar : vaste rentevoet van 4.27 % voor een goede cliënt

Looptijd van 10 jaar : vaste rentevoet van 3.87 % voor een top-client (parameters door de bank te bepalen)

Looptijd van 5 jaar : vaste rentevoet van 3.47 % voor goede cliënt

Looptijd van 5 jaar : vaste rentevoet van 3.07 % voor top-client

Rentevoet is vast (variabel kan ook) en de bedragen (400.000 €-800.000 €) spelen geen rol in tariefzetting tenzij bedrag hoger is dan 1.500.000 €.

Groeten en succes,

Guido

Bijlage 2: Bespreking werkwijze lening

Bij het berekenen van deze intrestkosten wordt er in dit model van uitgegaan dat jaarlijks eenzelfde bedrag afbetaald wordt gedurende de looptijd van de lening, een zogenaamde lening door middel van een constante annuïteit.

Laveren, Engelen, Limère en Vandemaele (2004) verkiezen om gebruik te maken van een gecumuleerde actualisatiefactor bij het bepalen van het vast jaarlijks bedrag.

Deze actualisatiefactor wordt gevonden door volgende formule in te vullen:

$$\text{Gecumuleerde actualisatiefactor} = \left[1 - \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \right] / i$$

Waarbij:

i = jaarlijkse rentevoet op de lening

n = looptijd van de lening

Vervolgens kan het jaarlijks te betalen bedrag gezocht worden volgens:

$$\text{Jaarlijks te betalen bedrag} = \frac{\text{Geleend bedrag}}{\text{gecumuleerde actualisatiefactor}}$$

Dit bedrag bevat zowel een rentebestanddeel als een gedeelte betreffende de kapitaalsaflossing. Het voorbeeld uit tabel 2-1 zal een en ander verduidelijken.

In dit voorbeeld zal een bedrag van 200.000 EUR worden geleend tegen een rentevoet van 5% per jaar. De looptijd van het krediet bedraagt 10 jaar. Na toepassing van de formule voor het berekenen van het jaarlijks te betalen bedrag blijkt dat er 25.900,91 EUR per jaar zal moeten worden betaald. In het eerste jaar is er nog geen kapitaalsaflossing gebeurd. Daarom zal de rente berekend worden op basis van het startbedrag. In dit geval bedraagt de betaling van de rente 10.000 EUR (200.000 x 5%). Het verschil tussen het jaarlijks betaald bedrag en de aflossing van de rente zal gebruikt worden om een gedeelte van de hoofdsom af te lossen. Voor het eerste jaar komt dit neer op 15.900,91 EUR (25.900,91 – 10.000,00) en bijgevolg zal op het einde van het jaar nog een schuldsaldo van 184.099,09 EUR overblijven. Voor het tweede jaar zal het bedrag van de aflossing van de rente op basis van dit bedrag bepaald worden.

Tabel 2-1: Voorbeeld aflossingsschema

Jaar	Schuldsaldo begin	Aflossing rente	Aflossing hoofdsom	Schuldsaldo einde jaar
1	€ 200.000,00	€ 10.000,00	€ 15.900,91	€ 184.099,09
2	€ 184.099,09	€ 9.204,95	€ 16.695,96	€ 167.403,12
3	€ 167.403,12	€ 8.370,16	€ 17.530,76	€ 149.872,37
4	€ 149.872,37	€ 7.493,62	€ 18.407,30	€ 131.465,07
5	€ 131.465,07	€ 6.573,25	€ 19.327,66	€ 112.137,41
6	€ 112.137,41	€ 5.606,87	€ 20.294,04	€ 91.843,36
7	€ 91.843,36	€ 4.592,17	€ 21.308,75	€ 70.534,62
8	€ 70.534,62	€ 3.526,73	€ 22.374,18	€ 48.160,43
9	€ 48.160,43	€ 2.408,02	€ 23.492,89	€ 24.667,54
10	€ 24.667,54	€ 1.233,38	€ 24.667,54	€ 0,00

In de investeringsanalyse zal enkel het rentebestanddeel worden opgenomen bij de jaarlijkse kosten. Dit bedrag dient echter nog gecorrigeerd te worden met het belastingspercentage gezien de intresten op leningen fiscaal aftrekbaar zijn voor bedrijven. De jaarlijkse kost van de lening zal dus bepaald worden als volgt:

$$\begin{aligned} \text{Jaarlijkse kost lening (in €)} \\ = \text{Bedrag aflossing rente} \times (100\% - \text{percentage vennootschapsbelasting}) \end{aligned}$$

Bijlage 3: Uitleg evaluatiemaatstaven

Netto contante waarde en netto contante waarde-profiel

De netto contante waarde (NCW) geeft de huidige waarde van de kasstromen van het project weer. De toekomstige kosten en baten worden verdisconteerd volgens een actualisatievoet om zo de huidige waarde te berekenen. (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2004; Mercken, 2004)

In formulevorm wordt dit:

$$NCW = \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Waarbij:

t = tijdsindex voor de periode (telkens 1 jaar)

N = totaal aantal perioden (25 jaar)

CF_t = cashflow van het project in periode t

K = actualisatievoet = WACC

I₀ = Cashflow uit jaar 0

Een project wordt best verworpen indien de NCW kleiner of gelijk aan 0 is. Een NCW groter dan nul impliceert namelijk dat de geactualiseerde baten, die gegenereerd worden door het project, ruim voldoende zijn om het geïnvesteerde kapitaal terug te betalen en om dit kapitaal te vergoeden met een gepast rendement.

In alle geval geldt dat een hogere waarde beter is dan een kleine vermits het project dan meer zal opbrengen.

Laveren, Engelen, Limère & Vandemaele (2004) en Mercken (2004) halen een aantal voor- en nadelen aan van deze methode:

Voordelen:

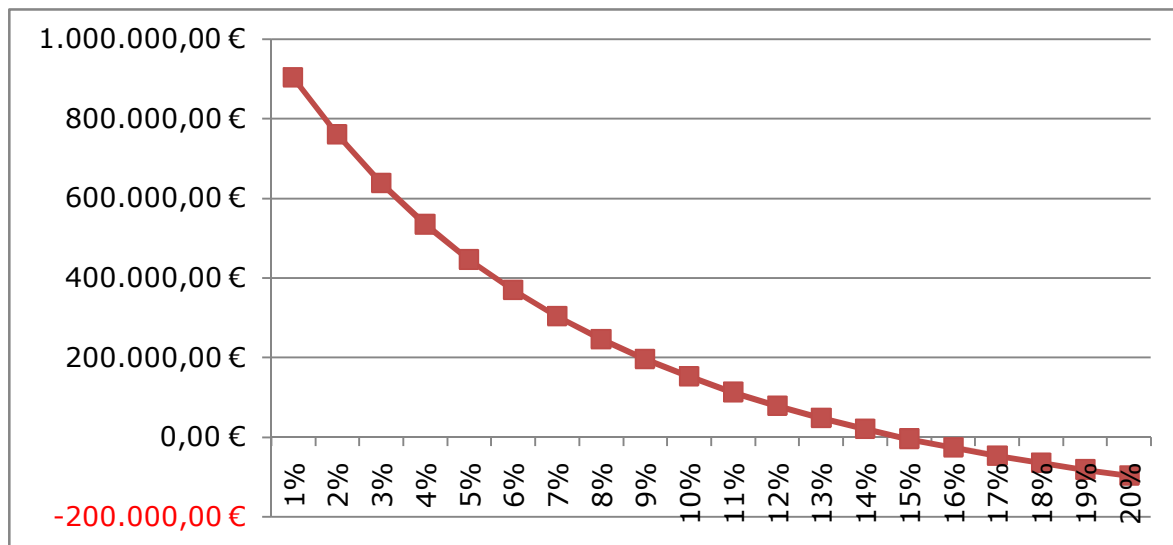
- De tijdswaarde van het geld wordt mee in rekening genomen
- Alle relevante kasstromen uit de volledige levensduur van het project worden mee opgenomen.
- Beslissingen nemen op basis van deze regel is eenvoudig en duidelijk

- De NCW biedt een maatstaf voor de verwachte toename van de waarde voor de onderneming, en dit in actuele monetaire termen.

Nadelen:

- Het bepalen van de juiste actualisatievoet is vaak moeilijk

Nauw aansluitend bij de NCW is het NCW-profiel. Het NCW-profiel is een grafische weergave waar de NCW werd uitgezet in functie van de discontovoet. Op deze manier kan men een range van rendementspercentages vastleggen waarbij het project aanvaardbaar is. (Mercken, 2004)



Figuur 3-1: Voorbeeld van een NCW-profiel

Figuur 3-1 geeft een NCW-profiel voor een bepaald project weer. Hieruit wordt duidelijk dat het project zeker tot een discontovoet van 15% aanvaardbaar is.

Interne opbrengstvoet

De interne opbrengstvoet (IOV) sluit nauw aan bij de NCW en het NCW-profiel. De interne opbrengstvoet weerspiegelt namelijk de discontovoet die leidt tot een NCW van 0. Bij het NCW-profiel komt dit dus overeen met het snijpunt van de kromme met de X-as. (Laveren, Engelen, Limère, & Vandemaele, 2004; Mercken, 2004)

Om beslissingen te nemen op basis van de IOV zal deze vergeleken moeten worden met een vooropgestelde, gewenste opbrengstvoet. Indien de IOV de gewenste opbrengstvoet overstijgt zal het project aanvaard worden.

Mercken (2004) geeft nog een aantal voordelen van deze evaluatiemaatstaf:

- Er wordt een idee gegeven van het relatieve rendement van het project
- Een zogenaamde veiligheidsmarge kan berekend worden. Dit is het verschil tussen de IOV en het gewenste rendement.

Terugverdiëntijd

De terugverdiëntijd geeft, zoals de naam doet vermoeden, aan hoeveel tijd er nodig is om het oorspronkelijke investeringsbedrag terug te verdienen via de inkomende kasstromen in de loop van het project.

De berekening gebeurt via onderstaande formule:

$$\text{Terugverdiëntijd (in jaren)} = J - \left(\frac{CCF_j}{CCF_j - CCF_{j-1}} \right)$$

Waarbij:

- J = eerste jaar waarin de cumulatieve kasstromen van het project positief worden
- CCF_j = cumulatieve cashflow in jaar j (eerste positieve cumulatieve cashflow)
- CCF_{j-1} = cumulatieve cashflow in jaar j-1 (laatste negatieve cumulatieve cashflow)

Door gebruik te maken van deze formule wordt er verondersteld dat de kasstromen evenredig gespreid worden doorheen het jaar. Dit is in realiteit niet waar, maar zal hier worden aangenomen ter vereenvoudiging.

Om beslissingen te maken op basis van de terugverdiëntijd zal de terugverdiëntijd vergeleken moeten worden met een vooropgestelde waarde waarin men de investering wil terugverdienen.

Net zoals bij de voorgaande evaluatiemaatstaven zijn er een aantal voor- en nadelen verbonden aan deze methode.

Voordelen:

- De methode is eenvoudig te gebruiken.
- Er wordt een aanduiding gegeven van het risico. Zo zal een korte terugverdiëntijd minder risico dragen dan een langere.
- Kasstromen die verder in de toekomst liggen zijn moeilijker te voorspellen dan diegene die dichterbij liggen. Door gebruik te maken van de kasstromen uit de eerste jaren zal de schatting betrouwbaarder zijn.

Nadelen

- Er wordt geen rekening gehouden met kasstromen die na de terugverdiëndatum vallen. Significante inkomsten of uitgaven die verder in de tijd liggen worden dus niet opgenomen.
- Er wordt geen rekening gehouden met de tijds waarde van het geld

Verdisconteerde terugverdientijd

Het principe van de verdisconteerde terugverdientijd is een variant op de gewone terugverdientijd. Het verschil situeert zich echter in het feit dat hier berekend wordt hoelang het duurt vooraleer het investeringsbedrag wordt terugverdiend als er rekening gehouden wordt met de huidige waarde van de inkomende kasstromen. Zo wordt er wel rekening gehouden met de tijdswaarde van het geld. Het nadeel blijft echter wel nog dat er geen rekening gehouden wordt met kasstromen die gebeuren na de terugverdiendatum. (Mercken, 2004)

Return on investment

De Return On Investment (ROI) vergelijkt de gemiddelde opbrengsten met het investeringsbedrag volgens volgende formule:

$$ROI \text{ (in \%)} = \frac{\textit{Gemiddelde opbrengsten gedurende de levensduur}}{\textit{Investeringsbedrag}}$$

Om beslissingen te nemen op basis van deze maatstaf moet er een bedrijfsafhankelijke norm bepaald worden. Indien de ROI van het project deze norm overstijgt, zal het project aanvaard worden.

Deze maatstaf is eenvoudig te begrijpen en wordt vaak gebruikt door managers. Toch mogen een aantal nadelen niet uit het oog verloren worden.

- Door met een gemiddelde opbrengst te werken, wordt er geen rekening gehouden met de timing van de kasstromen. Zo kan bijvoorbeeld een project met kleine winstgevendheid in de eerste jaren en een grote winstgevendheid in latere jaren, eenzelfde rendement hebben dan een project dat een hoge initiële winstgevendheid heeft maar een lagere latere winstgevendheid heeft. Toch zal dit laatste project te verkiezen zijn, gezien de tijdswaarde van het geld.
- De kapitaalkost heeft geen invloed op deze berekening

Bijlage 4: Crystal Ball output, case 1

Run preferences:

Number of trials run	100.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95,00%

Run statistics:

Total running time (sec)	108,06
Trials/second (average)	925
Random numbers per sec	4.627

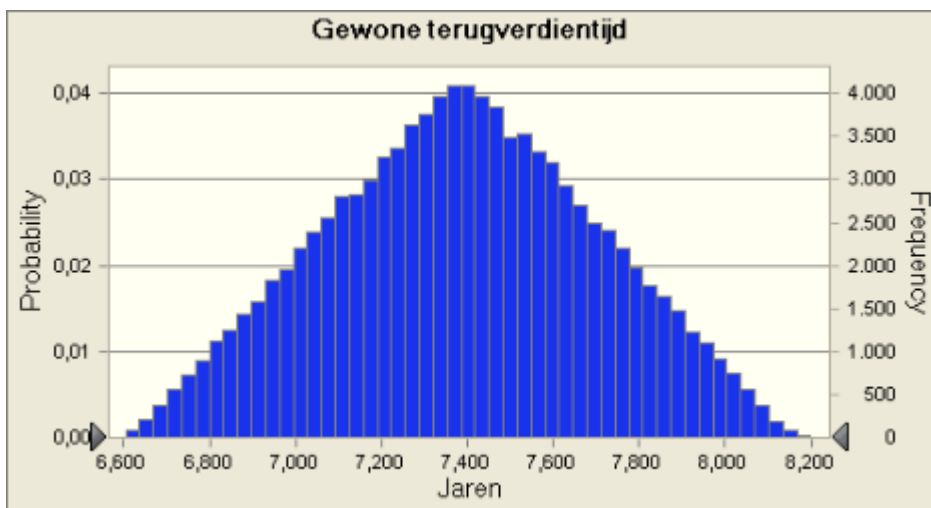
Crystal Ball data:

Assumptions	5
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	5

Forecasts

Summary:

Entire range is from 6,605 to 8,199
Base case is 7,356
After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,001



Statistics:

Trials	100.000
Mean	7,387
Median	7,387

Forecast values

Mode	---
Standard Deviation	0,314
Variance	0,099
Skewness	-0,0035
Kurtosis	2,41
Coeff. of Variability	0,0425
Minimum	6,605
Maximum	8,199
Range Width	1,594
Mean Std. Error	0,001

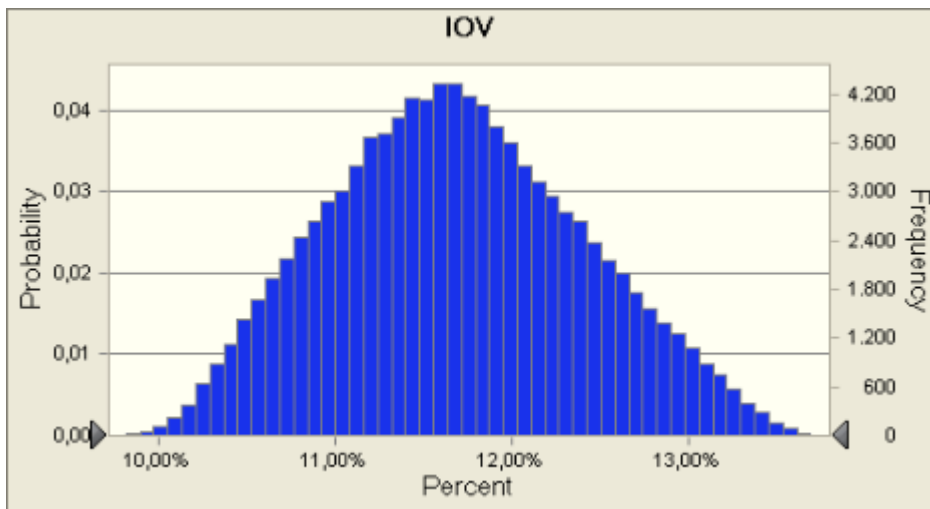
Percentiles:	Forecast values
0%	6,605
10%	6,962
20%	7,103
30%	7,213
40%	7,306
50%	7,387
60%	7,469
70%	7,561
80%	7,668
90%	7,811
100%	8,199

Summary:

Entire range is from 9,81% to 13,70%

Base case is 11,84%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



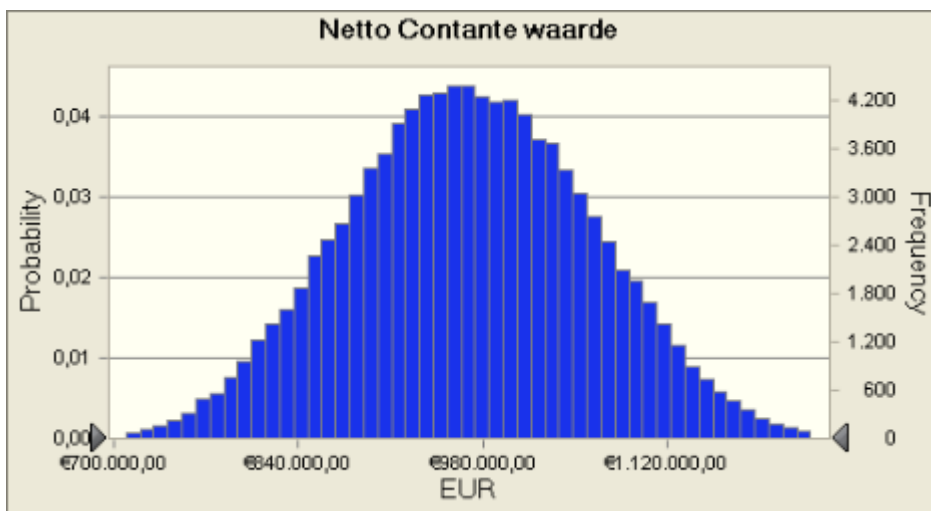
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	11,68%

Median	11,66%
Mode	---
Standard Deviation	0,72%
Variance	0,01%
Skewness	0,1496
Kurtosis	2,46
Coeff. of Variability	0,0615
Minimum	9,81%
Maximum	13,70%
Range Width	3,89%
Mean Std. Error	0,00%

Percentiles:	Forecast values
0%	9,81%
10%	10,74%
20%	11,04%
30%	11,27%
40%	11,47%
50%	11,66%
60%	11,85%
70%	12,06%
80%	12,32%
90%	12,67%
100%	13,70%

Summary:

Entire range is from €656.265,85 to €1.294.520,66
 Base case is €1.013.477,38
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is €293,64



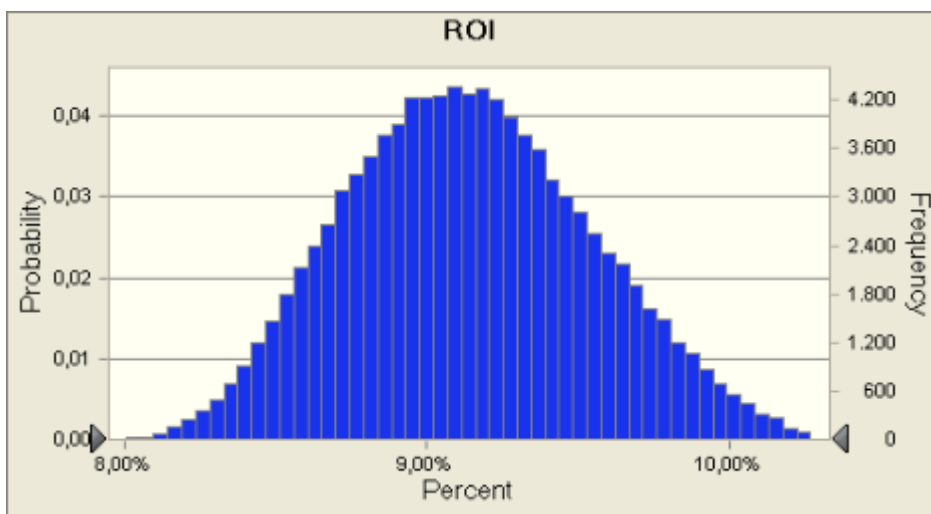
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000

Mean	€968.913,80
Median	€968.563,25
Mode	---
Standard Deviation	€92.857,37
Variance	#####
Skewness	0,0110
Kurtosis	2,70
Coeff. of Variability	0,0958
Minimum	€656.265,85
Maximum	€1.294.520,66
Range Width	€638.254,81
Mean Std. Error	€293,64

Percentiles:	Forecast values
0%	€656.265,85
10%	€847.748,15
20%	€888.495,57
30%	€918.512,40
40%	€944.000,21
50%	€968.561,90
60%	€993.453,67
70%	€1.019.327,40
80%	€1.049.475,83
90%	€1.090.797,28
100%	€1.294.520,66

Summary:

Entire range is from 7,98% to 10,37%
 Base case is 9,35%
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics: Forecast values

Trials	100.000
Mean	9,14%
Median	9,12%
Mode	---
Standard Deviation	0,40%
Variance	0,00%
Skewness	0,1503
Kurtosis	2,58
Coeff. of Variability	0,0443
Minimum	7,98%
Maximum	10,37%
Range Width	2,39%
Mean Std. Error	0,00%

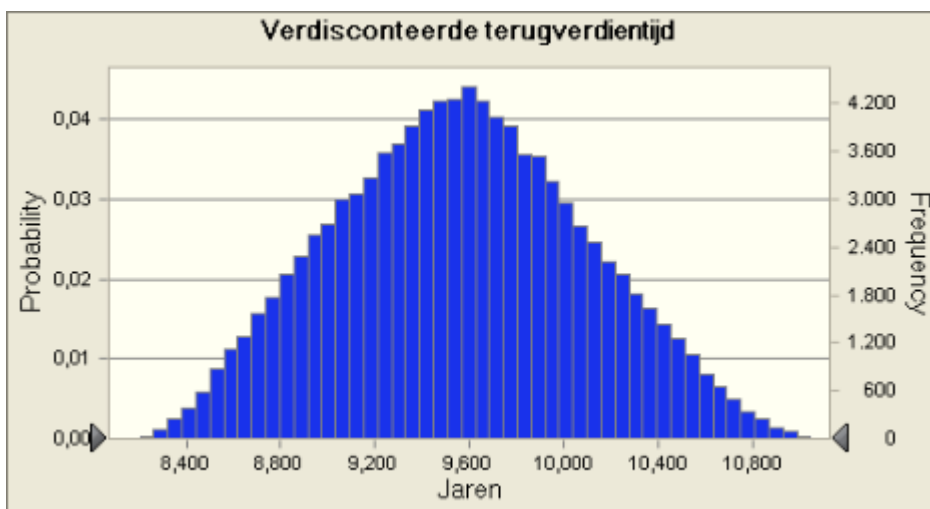
Percentiles:	Forecast values
0%	7,98%
10%	8,61%
20%	8,78%
30%	8,90%
40%	9,01%
50%	9,12%
60%	9,23%
70%	9,35%
80%	9,49%
90%	9,68%
100%	10,37%

Summary:

Entire range is from 8,143 to 11,708

Base case is 9,492

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,002



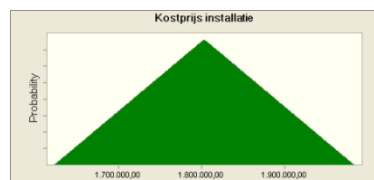
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Mean	9,560
Median	9,555
Mode	---
Standard Deviation	0,531
Variance	0,282
Skewness	0,0779
Kurtosis	2,49
Coeff. of Variability	0,0555
Minimum	8,143
Maximum	11,708
Range Width	3,565
Mean Std. Error	0,002

Percentiles:	Forecast values
0%	8,143
10%	8,853
20%	9,080
30%	9,262
40%	9,416
50%	9,555
60%	9,693
70%	9,847
80%	10,027
90%	10,277
100%	11,708

Assumptions

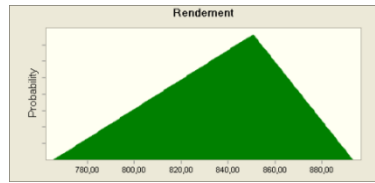
Triangular distribution with parameters:

Minimum	1.622.892,86	(=C2)
Likeliest	1.803.214,29	(=B2)
Maximum	1.983.535,71	(=D2)



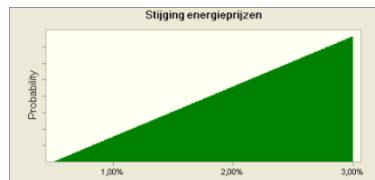
Triangular distribution with parameters:

Minimum	765,61	(=C4)
Likeliest	850,68	(=B4)
Maximum	893,21	(=D4)



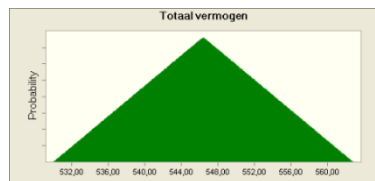
Triangular distribution with parameters:

Minimum	0,50%	(=C17)
Likeliest	3,00%	(=B17)
Maximum	3,00%	(=D17)



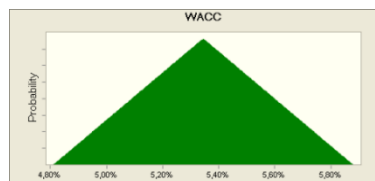
Triangular distribution with parameters:

Minimum	530,04	(=C3)
Likeliest	546,43	(=B3)
Maximum	562,82	(=D3)

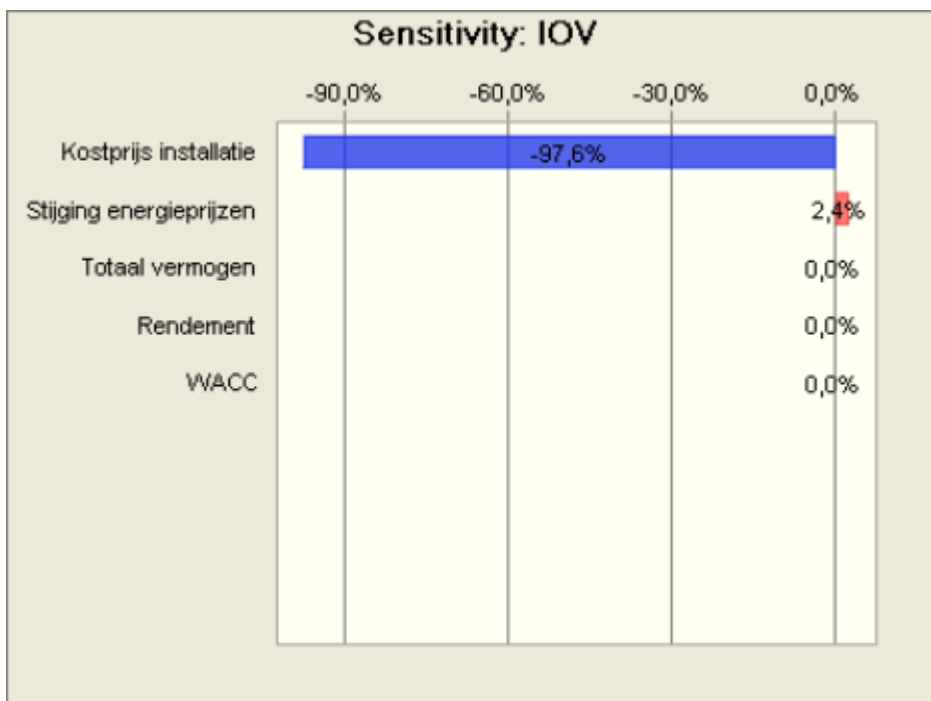
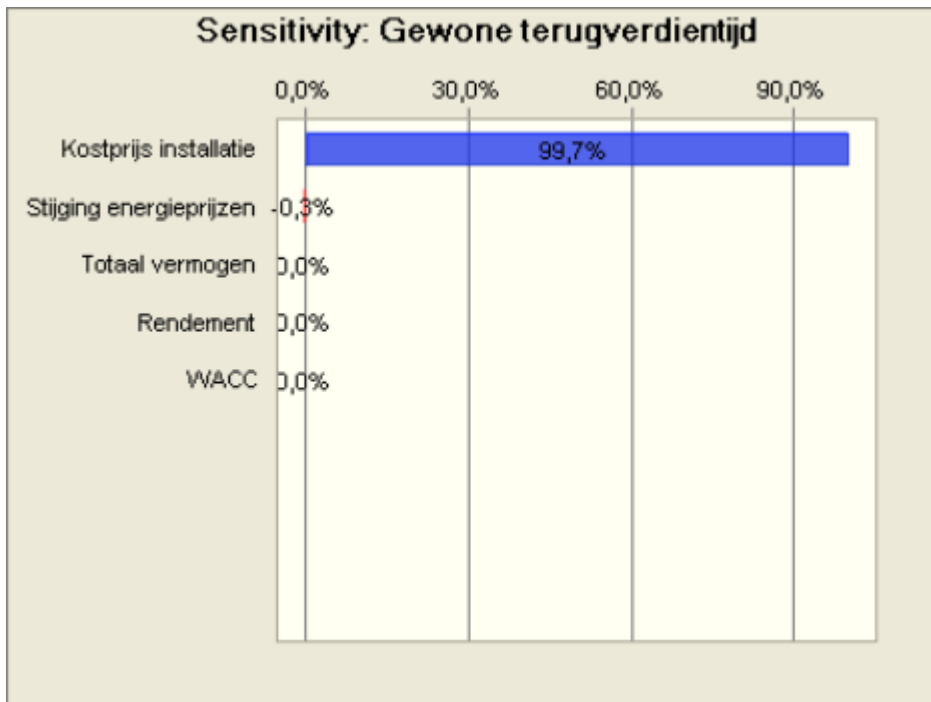


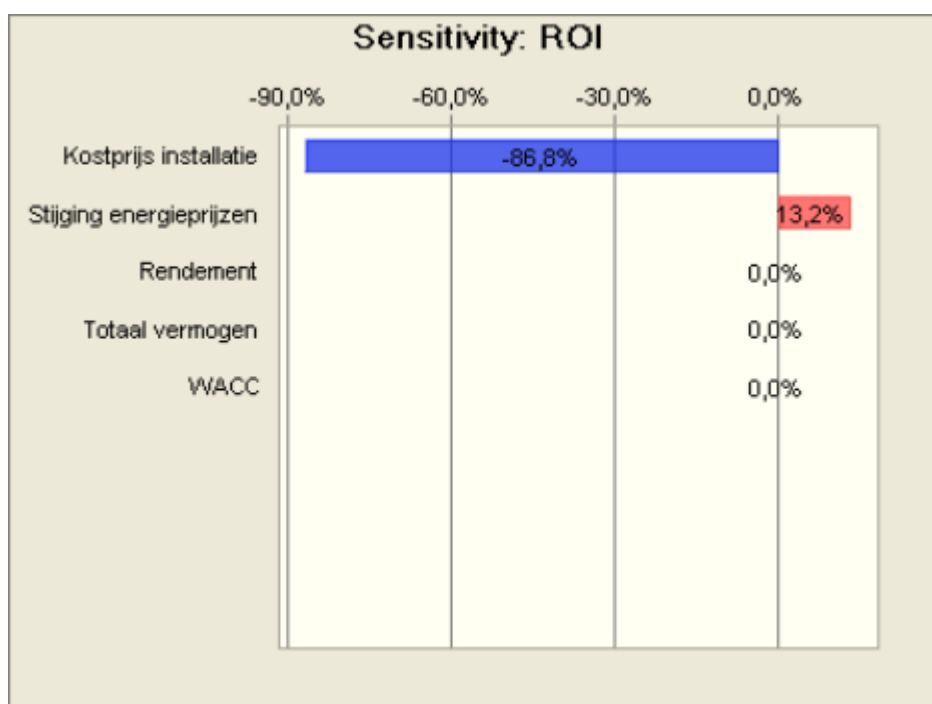
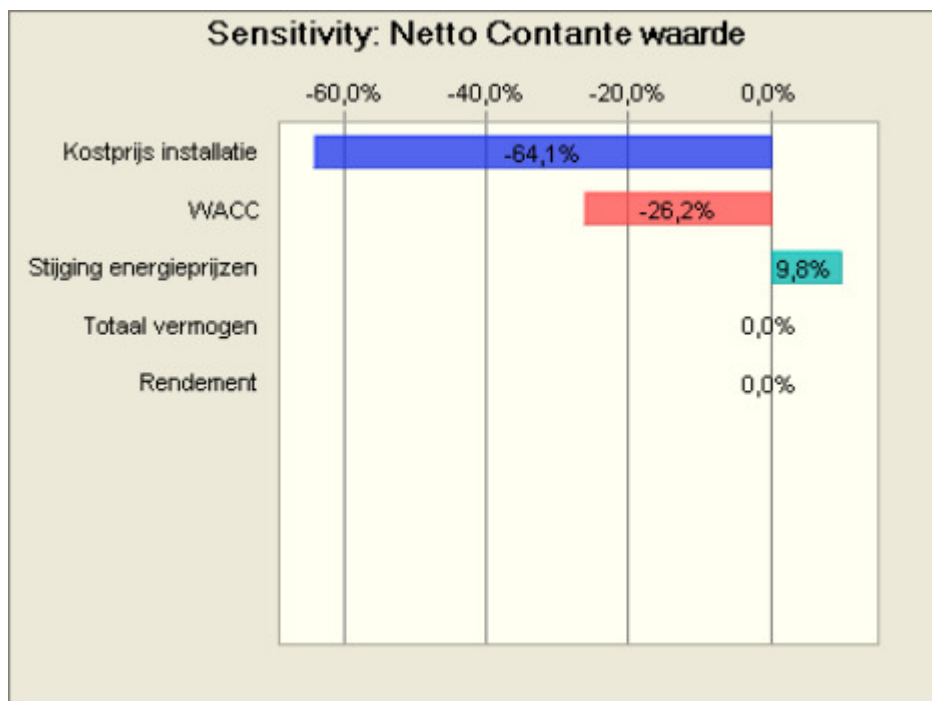
Triangular distribution with parameters:

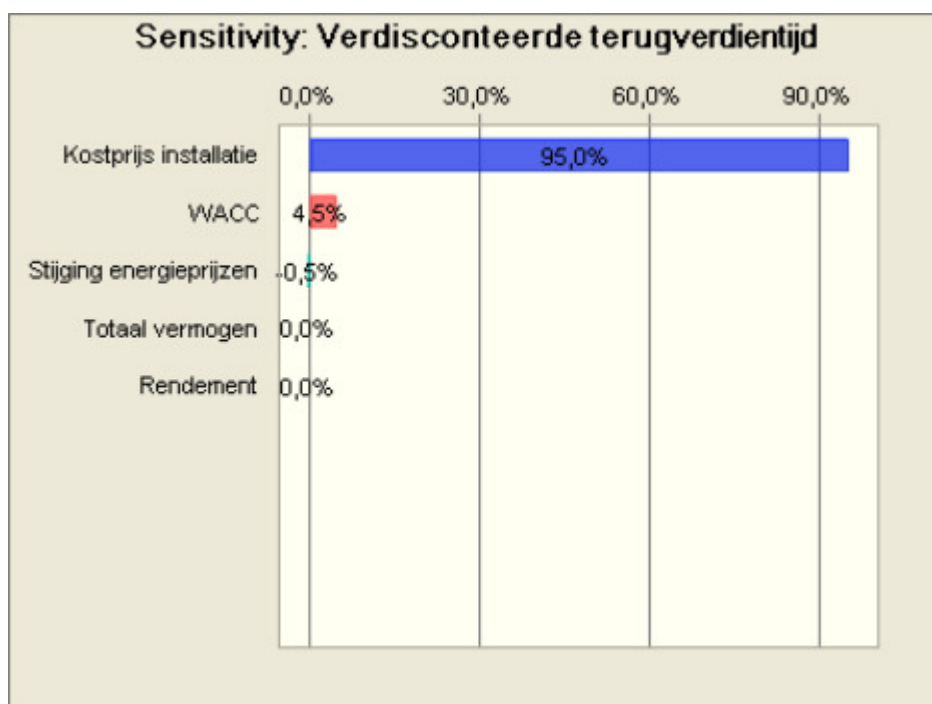
Minimum	4,81%	(=C8)
Likeliest	5,34%	(=B8)
Maximum	5,88%	(=D8)



Sensitivity Charts







Bijlage 5: Crystal Ball output, case 2

Run preferences:

Number of trials run	10.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95,00%

Run statistics:

Total running time (sec)	11,35
Trials/second (average)	881
Random numbers per sec	4.406

Crystal Ball data:

Assumptions	5
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	5

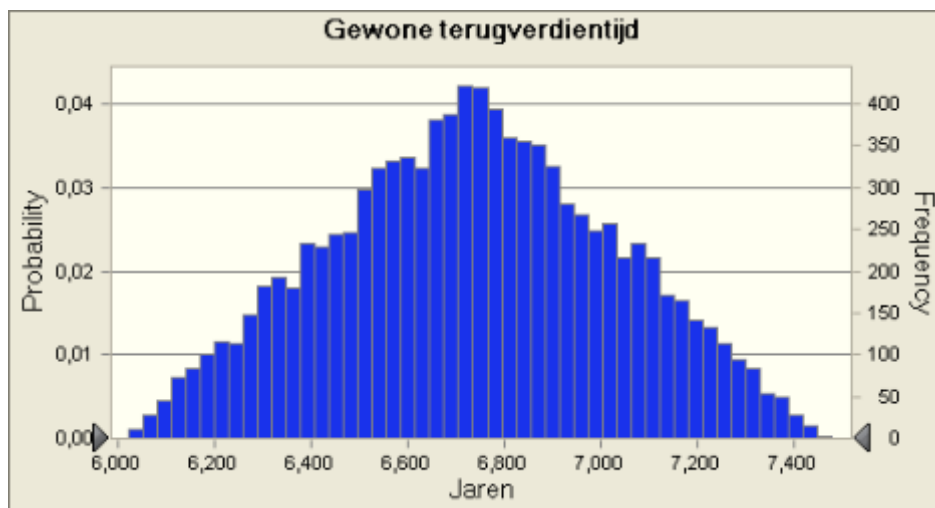
Forecasts

Worksheet: [Sensitiviteit.xlsx]RendementCB

Forecast: Gewone terugverdiertijd

Summary:

Entire range is from 6,021 to 7,478
Base case is 6,712
After 10.000 trials, the std. error of the mean is 0,003



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	6,733
Median	6,733
Mode	---
Standard Deviation	0,294
Variance	0,086
Skewness	0,0084
Kurtosis	2,42
Coeff. of Variability	0,0436
Minimum	6,021
Maximum	7,478
Range Width	1,457
Mean Std. Error	0,003

Forecast: Gewone terugverdientijd (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	6,021
10%	6,334
20%	6,470
30%	6,571
40%	6,658
50%	6,733
60%	6,808
70%	6,892
80%	6,999
90%	7,130
100%	7,478

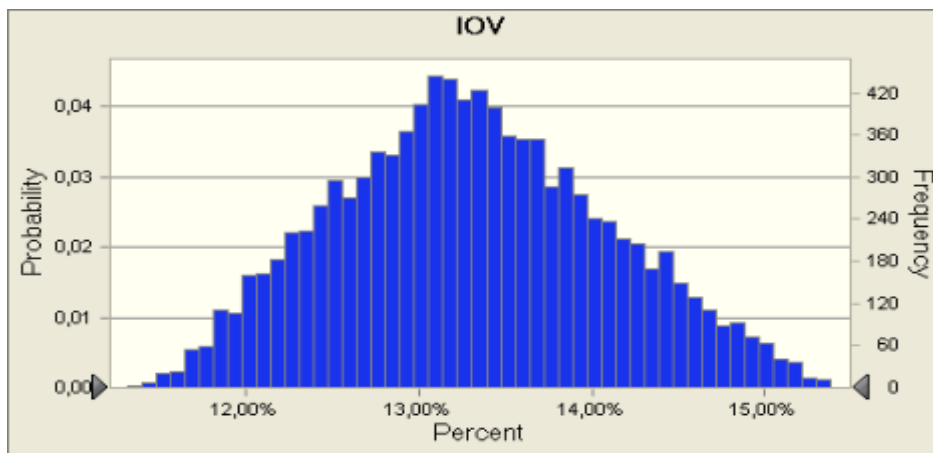
Forecast: IOV

Summary:

Entire range is from 11,32% to 15,38%

Base case is 13,44%

After 10.000 trials, the std. error of the mean is 0,01%



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	13,30%
Median	13,27%
Mode	---
Standard Deviation	0,78%
Variance	0,01%
Skewness	0,1451
Kurtosis	2,48
Coeff. of Variability	0,0587
Minimum	11,32%
Maximum	15,38%
Range Width	4,06%
Mean Std. Error	0,01%

Forecast: IOV (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	11,32%
10%	12,27%
20%	12,60%
30%	12,87%
40%	13,08%
50%	13,27%
60%	13,47%
70%	13,71%
80%	13,99%
90%	14,39%
100%	15,38%

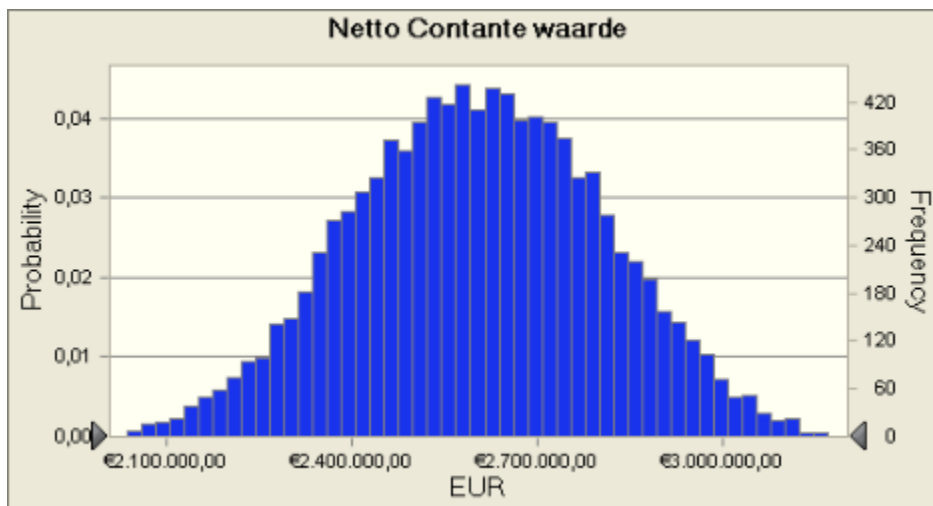
Forecast: Netto Contante waarde

Summary:

Entire range is from €1.889.498,96 to €3.241.102,46

Base case is €2.702.751,40

After 10.000 trials, the std. error of the mean is €2.031,39



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	€2.603.662,36
Median	€2.603.361,10
Mode	---
Standard Deviation	€203.139,25
	#####
Variance	#
Skewness	-0,0178
Kurtosis	2,69
Coeff. of Variability	0,0780
Minimum	€1.889.498,96
Maximum	€3.241.102,46
Range Width	€1.351.603,50
Mean Std. Error	€2.031,39

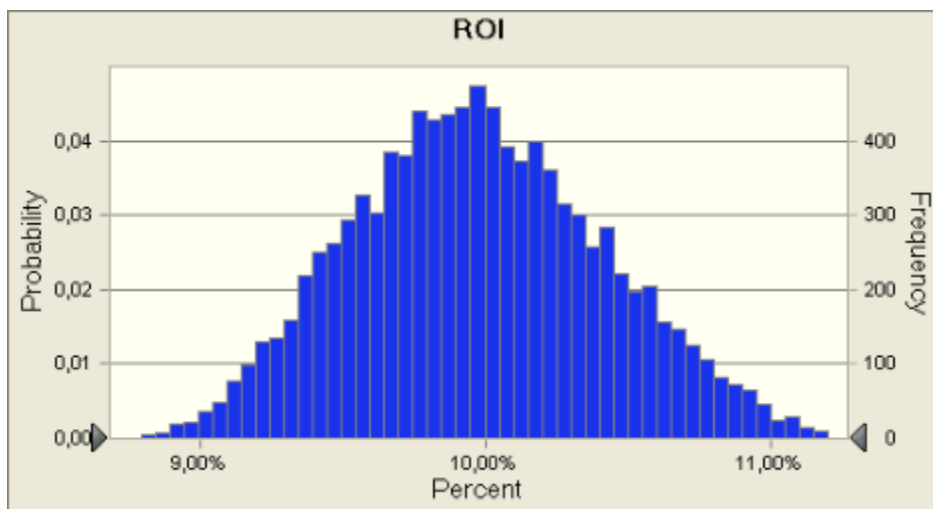
Forecast: Netto Contante waarde (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	€1.889.498,96
10%	€2.340.042,88
20%	€2.425.644,69
30%	€2.492.311,59
40%	€2.550.143,09
50%	€2.603.317,34
60%	€2.657.902,54
70%	€2.716.144,09
80%	€2.781.407,85
90%	€2.868.842,32
100%	€3.241.102,46

Forecast: ROI

Summary:

Entire range is from 8,74% to 11,22%
 Base case is 10,20%
 After 10.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	9,97%
Median	9,96%
Mode	---
Standard Deviation	0,44%
Variance	0,00%
Skewness	0,1362
Kurtosis	2,59
Coeff. of Variability	0,0440
Minimum	8,74%
Maximum	11,22%
Range Width	2,48%
Mean Std. Error	0,00%

Forecast: ROI (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	8,74%
10%	9,40%
20%	9,58%
30%	9,73%
40%	9,85%
50%	9,96%
60%	10,07%
70%	10,20%
80%	10,36%
90%	10,57%
100%	11,22%

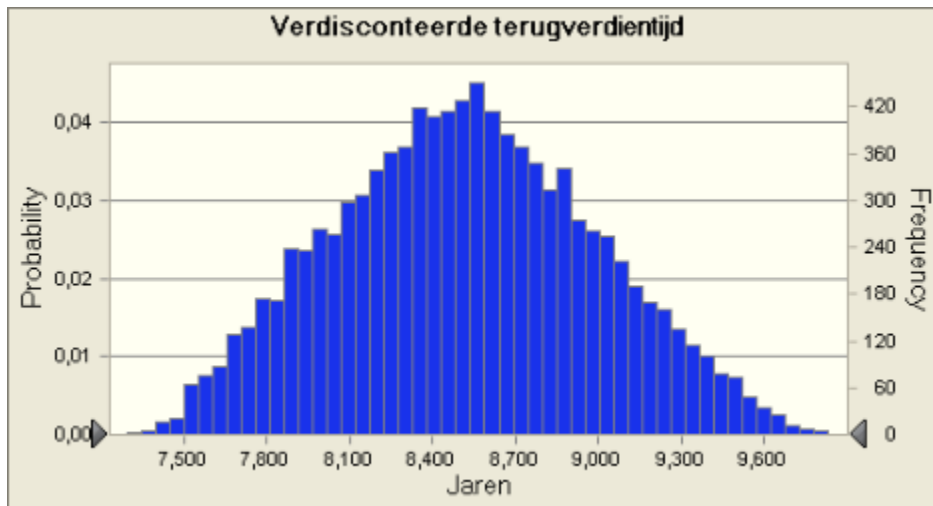
Forecast: Verdisconteerde terugverdientijd

Summary:

Entire range is from 7,293 to 9,927

Base case is 8,470

After 10.000 trials, the std. error of the mean is 0,005



Statistics:	Forecast values
Trials	10.000
Mean	8,516
Median	8,511
Mode	---
Standard Deviation	0,471
Variance	0,221
Skewness	0,0850
Kurtosis	2,48
Coeff. of Variability	0,0553
Minimum	7,293
Maximum	9,927
Range Width	2,634
Mean Std. Error	0,005

Forecast: Verdisconteerde terugverdiëntijd (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	7,293
10%	7,889
20%	8,092
30%	8,251
40%	8,386
50%	8,511
60%	8,631
70%	8,767
80%	8,933
90%	9,150
100%	9,927

End of Forecasts

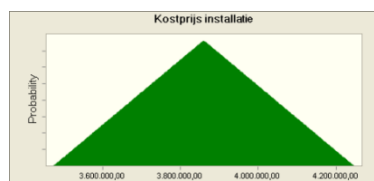
Assumptions

Worksheet: [Sensitiviteit.xlsx]InputsCB

Assumption: Kostprijs installatie

Triangular distribution with parameters:

Minimum	3.474.046,10	(=C2
Likeliest	3.860.051,22)
Maximum	4.246.056,35	(=B2
		(=D2
)



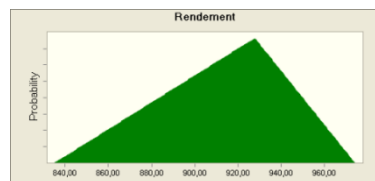
Statistics:	Assumption values	Distribution
Trials	10.000	---
Mean	3.858.250,86	3.860.051,22
Median	3.857.979,30	3.860.051,22
Mode	---	3.860.051,22
Standard Deviation	157.013,01	157.585,93
Variance	24.653.084.833,5	24.833.325.746,1
Skewness	7	5
Kurtosis	0,0129	,000
Coeff. of Variability	2,41	5,40
Minimum	0,0407	0,0408
Maximum	3.480.431,72	3.474.046,10
Range Width	4.236.505,96	4.246.056,35
Mean Std. Error	756.074,24	772.010,24
	1.570,13	---

Percentiles:	Assumption values	Distribution
0%	3.480.431,72	3.474.046,10
10%	3.645.300,87	3.646.672,84
20%	3.717.755,04	3.718.177,18
30%	3.770.767,46	3.773.044,38
40%	3.817.760,57	3.819.299,58
50%	3.857.970,27	3.860.051,22
60%	3.898.057,03	3.900.802,87
70%	3.942.522,61	3.947.058,06
80%	3.999.387,28	4.001.925,27
90%	4.070.069,20	4.073.429,61
100%	4.236.505,96	4.246.056,35

Assumption: Rendement

Triangular distribution with parameters:

Minimum	835,03	(=C4)
Likeliest	927,81)
Maximum	974,20	(=B4)
		(=D4)
)



Statistics:	Assumption values	Distribution
Trials	10.000	---
Mean	911,99	912,34
Median	914,58	915,38

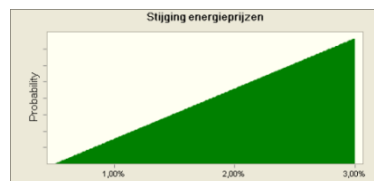
Mode	---	927,81
Standard Deviation	28,99	28,93
Variance	840,70	836,91
Skewness	-0,3009	-0,3054
Kurtosis	2,40	5,40
Coeff. of Variability	0,0318	0,0317
Minimum	836,69	835,03
Maximum	973,41	974,20
Range Width	136,72	139,17
Mean Std. Error	0,29	---

Percentiles:	Assumption values	Distribution
0%	836,69	835,03
10%	870,53	870,96
20%	885,68	885,84
30%	897,10	897,27
40%	906,59	906,89
50%	914,58	915,38
60%	922,53	923,05
70%	929,87	930,19
80%	938,13	938,26
90%	948,76	948,79
100%	973,41	974,20

Assumption: Stijging energieprijzen

Triangular distribution with parameters:

Minimum	0,50%	(=C17)
Likeliest	3,00%	(=B17)
Maximum	3,00%	(=D17)



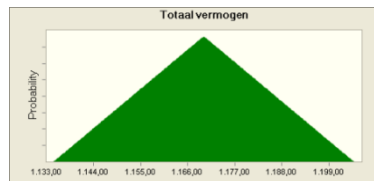
Statistics:	Assumption values	Distribution
Trials	10.000	---
Mean	2,17%	2,17%
Median	2,27%	2,27%
Mode	---	3,00%
Standard Deviation	0,58%	0,59%
Variance	0,00%	0,00%
Skewness	-0,5682	-0,5657
Kurtosis	2,41	5,40
Coeff. of Variability	0,2690	0,2720
Minimum	0,52%	0,50%
Maximum	3,00%	3,00%
Range Width	2,48%	2,50%
Mean Std. Error	0,01%	---

Percentiles:	Assumption values	Distribution
0%	0,52%	0,50%
10%	1,30%	1,29%
20%	1,64%	1,62%
30%	1,88%	1,87%
40%	2,08%	2,08%
50%	2,27%	2,27%
60%	2,44%	2,44%
70%	2,59%	2,59%
80%	2,74%	2,74%
90%	2,87%	2,87%
100%	3,00%	3,00%

Assumption: Totaal vermogen

Triangular distribution with parameters:

Minimum	1.134,62	(=C3)
Likeliest	1.169,71	(=B3)
Maximum	1.204,80	(=D3)



Statistics:	Assumption values	Distribution
Trials	10.000	---
Mean	1.169,69	1.169,71
Median	1.169,61	1.169,71
Mode	---	1.169,71
Standard Deviation	14,34	14,33
Variance	205,72	205,23
Skewness	0,0030	0,00
Kurtosis	2,42	5,40
Coeff. of Variability	0,0123	0,0122
Minimum	1.135,68	1.134,62
Maximum	1.204,52	1.204,80
Range Width	68,83	70,18
Mean Std. Error	0,14	---

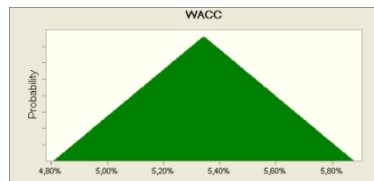
Percentiles:	Assumption values	Distribution
0%	1.135,68	1.134,62
10%	1.150,21	1.150,31
20%	1.157,05	1.156,81
30%	1.161,85	1.161,80
40%	1.165,91	1.166,01

50%	1.169,61	1.169,71
60%	1.173,20	1.173,42
70%	1.177,65	1.177,62
80%	1.182,70	1.182,61
90%	1.188,94	1.189,11
100%	1.204,52	1.204,80

Assumption: WACC

Triangular distribution with parameters:

Minimum	4,81%	(=C8)
Likeliest	5,34%	(=B8 (=D8
Maximum	5,88%)

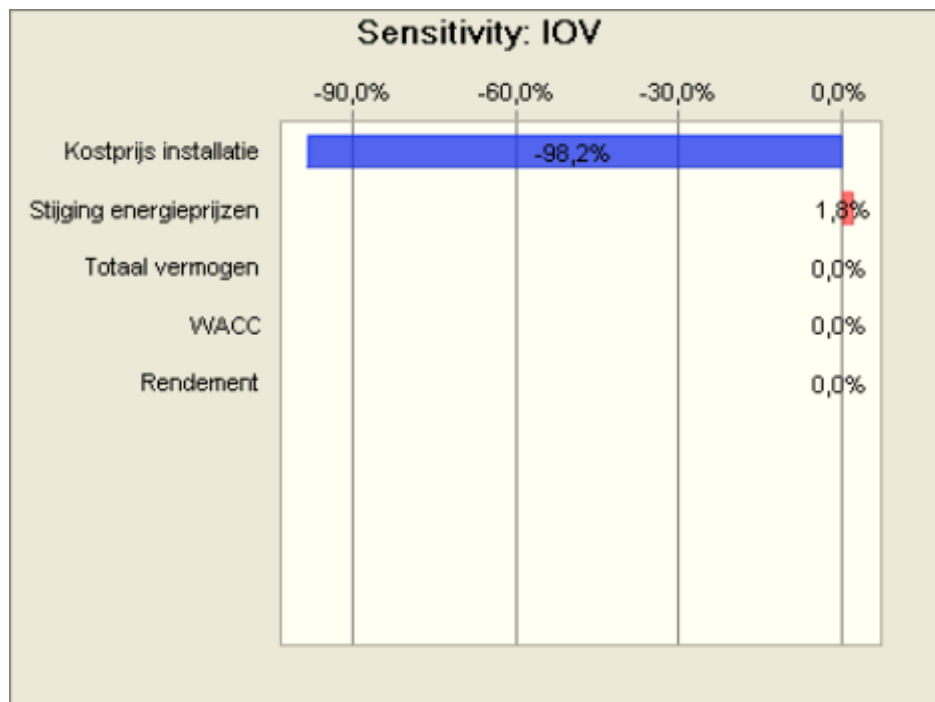
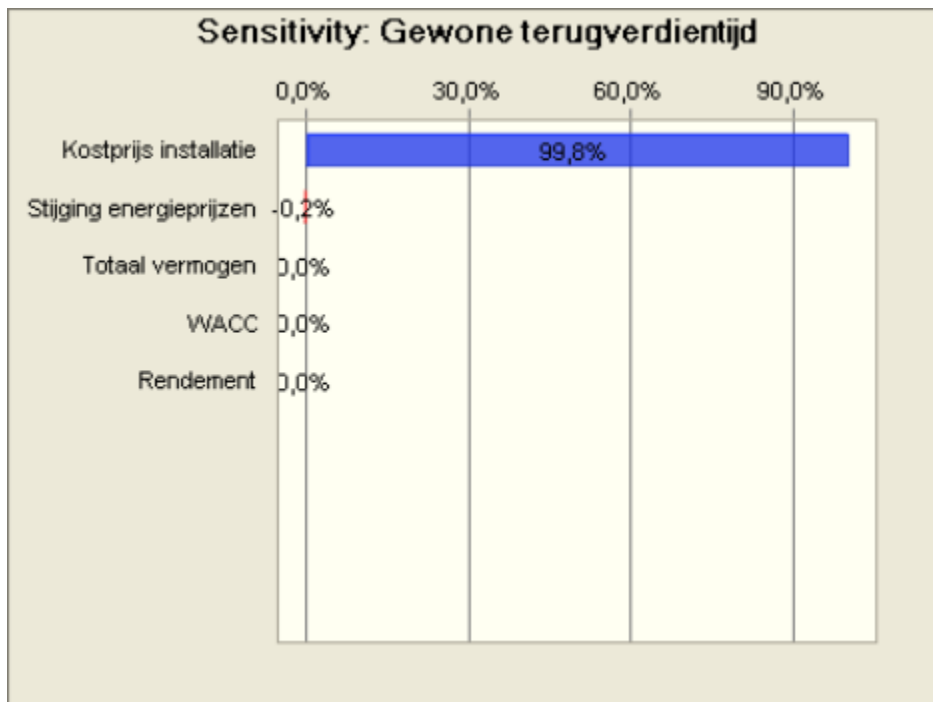


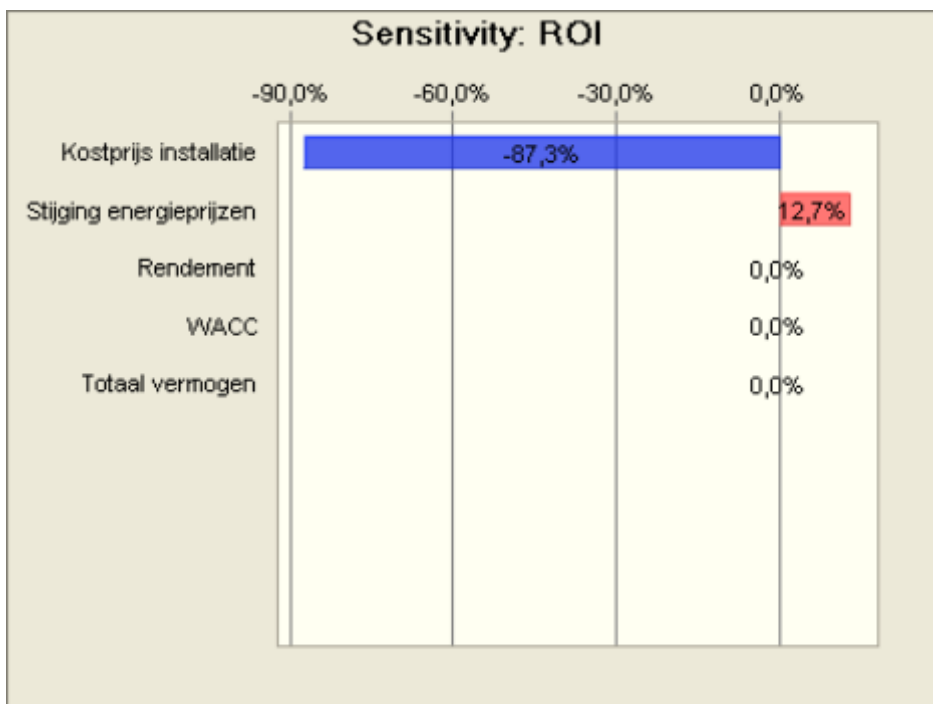
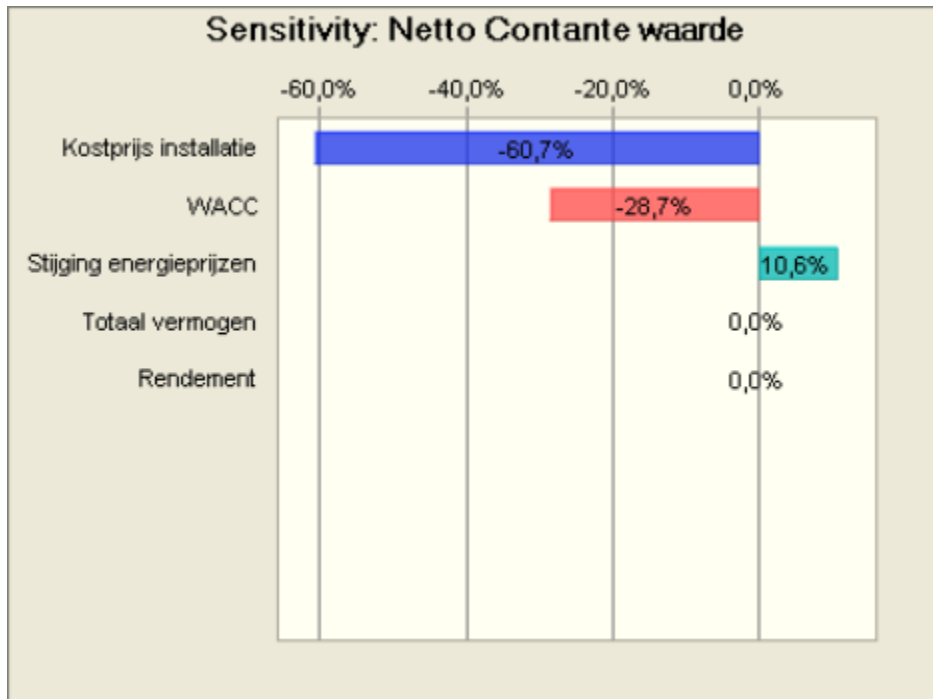
Statistics:	Assumption values	Distribution
Trials	10.000	---
Mean	5,34%	5,34%
Median	5,34%	5,34%
Mode	---	5,34%
Standard Deviation	0,22%	0,22%
Variance	0,00%	0,00%
Skewness	0,0106	,000
Kurtosis	2,40	5,40
Coeff. of Variability	0,0404	0,0408
Minimum	4,82%	4,81%
Maximum	5,87%	5,88%
Range Width	1,05%	1,07%
Mean Std. Error	0,00%	---

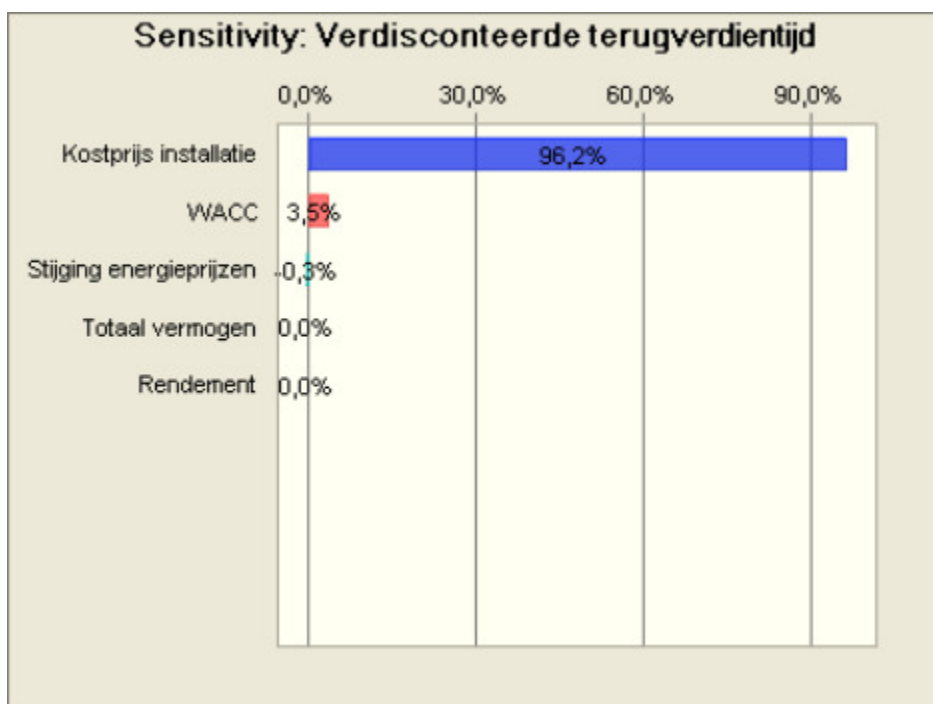
Percentiles:	Assumption values	Distribution
0%	4,82%	4,81%
10%	5,05%	5,05%
20%	5,15%	5,15%
30%	5,22%	5,22%
40%	5,28%	5,29%
50%	5,34%	5,34%
60%	5,40%	5,40%
70%	5,46%	5,46%
80%	5,54%	5,54%
90%	5,63%	5,64%
100%	5,87%	5,88%

End of Assumptions

Sensitivity Charts







End of Sensitivity Charts

Bijlage 6: Crystal ball output, gezamenlijke case, geval 1

Run preferences:

Number of trials run	100.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95,00%

Run statistics:

Total running time (sec)	102,64
Trials/second (average)	974
Random numbers per sec	12.665

Crystal Ball data:

Assumptions	13
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	23

Forecasts

Worksheet: [koppeling.xlsx]Kosten-baten

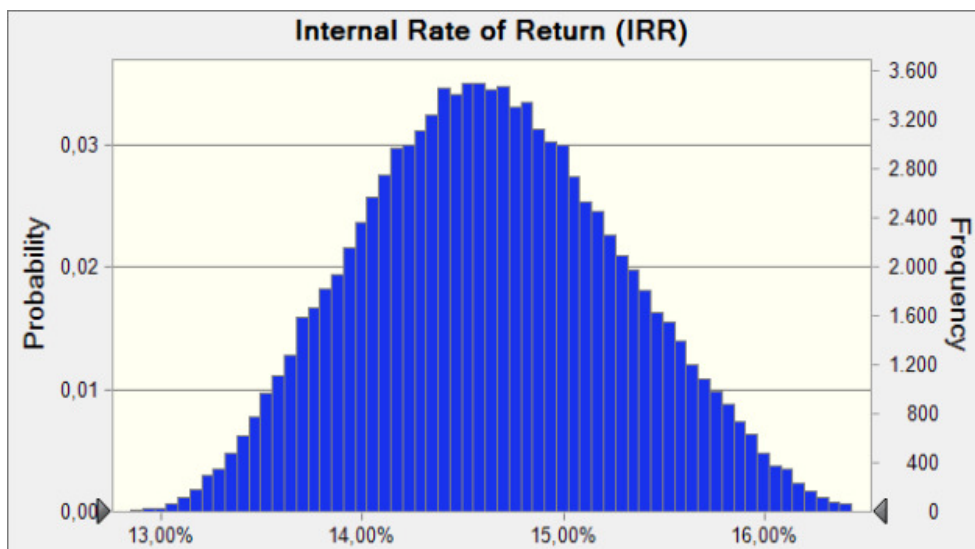
Forecast: Internal Rate of Return (IRR)

Summary:

Entire range is from 12,78% to 16,76%

Base case is 14,42%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	14,42%
Mean	14,64%
Median	14,62%
Mode	---
Standard Deviation	0,64%
Variance	0,00%
Skewness	0,1240
Kurtosis	2,55
Coeff. of Variability	0,0437
Minimum	12,78%
Maximum	16,76%
Range Width	3,98%
Mean Std. Error	0,00%

Forecast: Internal Rate of Return (IRR) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	12,78%
10%	13,80%
20%	14,07%
30%	14,27%
40%	14,45%
50%	14,62%
60%	14,79%
70%	14,98%
80%	15,20%
90%	15,50%
100%	16,76%

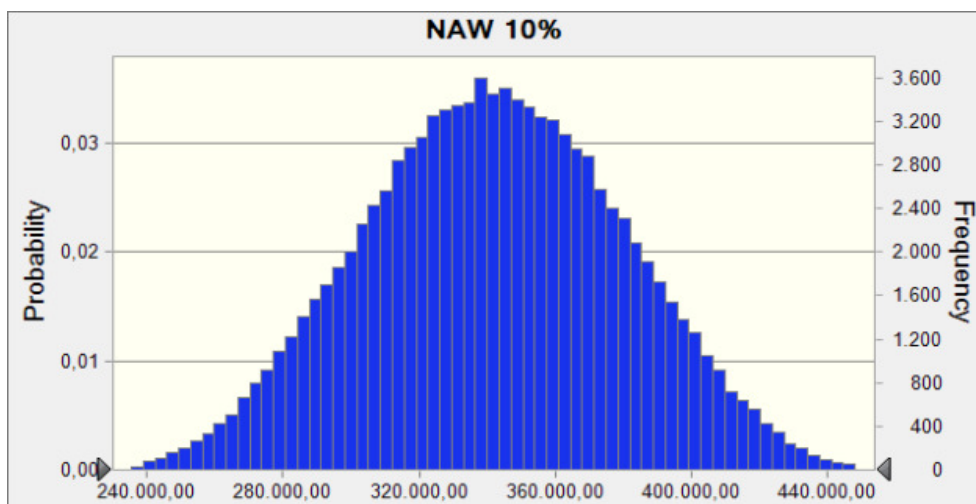
Forecast: NAW 10%

Summary:

Entire range is from 217.843,31 to 470.029,61

Base case is 322.133,32

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 119,95



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	322.133,32
Mean	341.709,86
Median	341.642,05
Mode	---
Standard Deviation	37.932,00
Variance	1.438.836.444,27
Skewness	-0,0021
Kurtosis	2,62
Coeff. of Variability	0,1110
Minimum	217.843,31
Maximum	470.029,61
Range Width	252.186,30
Mean Std. Error	119,95

Forecast: NAW 10% (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	217.843,31
10%	291.613,90
20%	308.558,23
30%	320.915,21
40%	331.620,59
50%	341.641,48
60%	351.838,30
70%	362.581,83
80%	374.951,80
90%	391.567,88
100%	470.029,61

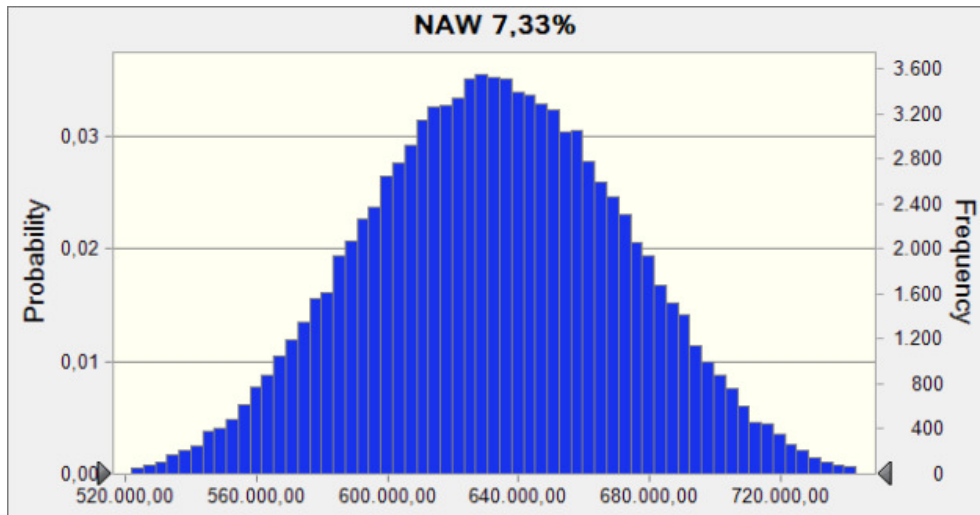
Forecast: NAW 7,33%

Summary:

Entire range is from 499.617,79 to 772.394,48

Base case is 604.849,38

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 125,07



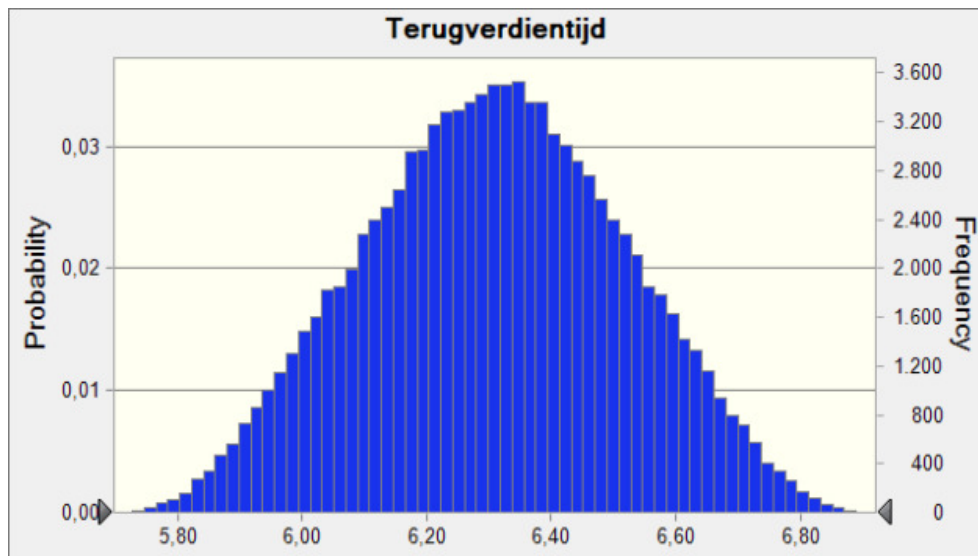
Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	604.849,38
Mean	632.308,15
Median	632.294,65
Mode	---
Standard Deviation	39.549,39
Variance	1.564.153.893,50
Skewness	0,0031
Kurtosis	2,69
Coeff. of Variability	0,0625
Minimum	499.617,79
Maximum	772.394,48
Range Width	272.776,69
Mean Std. Error	125,07

Forecast: NAW 7,33% (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	499.617,79
10%	580.437,91
20%	597.956,61
30%	610.762,69
40%	621.908,52
50%	632.293,85
60%	642.815,33
70%	653.958,61
80%	666.721,88
90%	683.924,61
100%	772.394,48

Forecast: Terugverdiertijd

Summary:
 Entire range is from 5,69 to 6,95
 Base case is 6,33
 After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	6,33
Mean	6,31
Median	6,31
Mode	---
Standard Deviation	0,21
Variance	0,04
Skewness	-0,0048
Kurtosis	2,51
Coeff. of Variability	0,0329
Minimum	5,69
Maximum	6,95
Range Width	1,26
Mean Std. Error	0,00

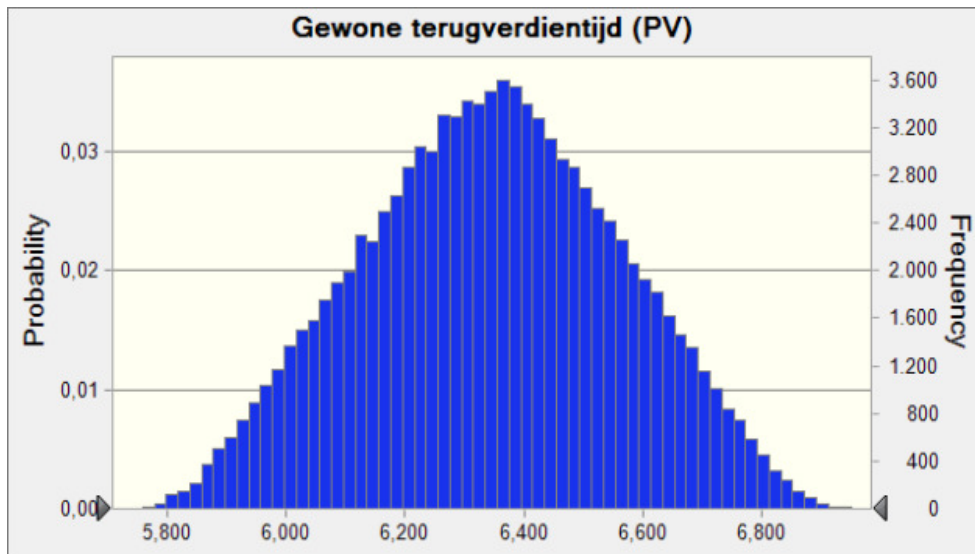
Forecast: Terugverdiertijd (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	5,69
10%	6,03
20%	6,12
30%	6,19
40%	6,25
50%	6,31
60%	6,36
70%	6,42
80%	6,49
90%	6,58
100%	6,95

Worksheet: [maarten.xlsx]Rendement 35°

Summary:
 Entire range is from 5,729 to 6,966
 Base case is 6,377

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,001



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	6,377
Mean	6,345
Median	6,346
Mode	---
Standard Deviation	0,216
Variance	0,047
Skewness	-0,0128
Kurtosis	2,46
Coeff. of Variability	0,0341
Minimum	5,729
Maximum	6,966
Range Width	1,236
Mean Std. Error	0,001

Forecast: Gewone terugverdiertijd (PV) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	5,729
10%	6,053
20%	6,152
30%	6,226
40%	6,288
50%	6,346
60%	6,403
70%	6,464
80%	6,538
90%	6,634
100%	6,966

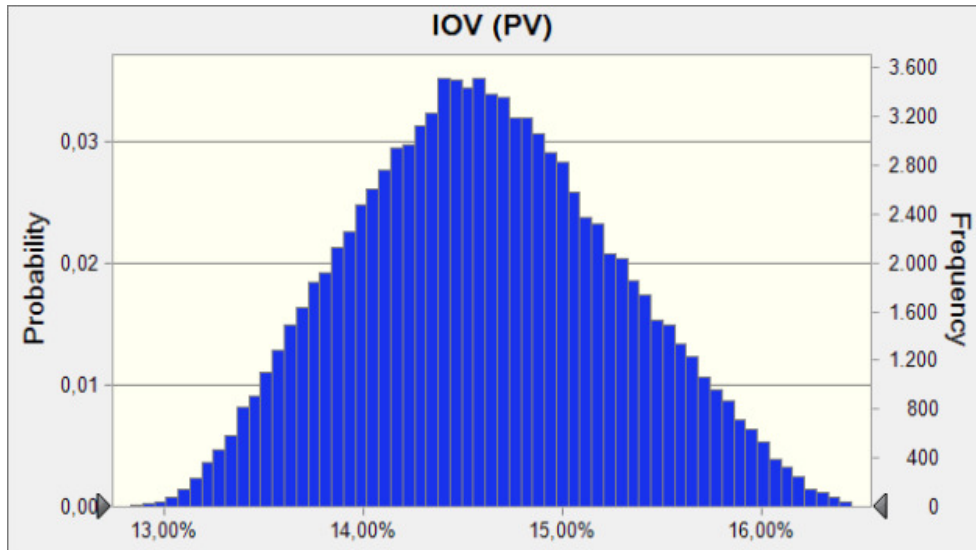
Forecast: IOV (PV)

Summary:

Entire range is from 12,83% to 16,68%

Base case is 14,33%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	14,33%
Mean	14,61%
Median	14,59%
Mode	---
Standard Deviation	0,66%
Variance	0,00%
Skewness	0,1368
Kurtosis	2,51
Coeff. of Variability	0,0449
Minimum	12,83%
Maximum	16,68%
Range Width	3,85%
Mean Std. Error	0,00%

Forecast: IOV (PV) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	12,83%
10%	13,75%
20%	14,02%
30%	14,23%
40%	14,42%
50%	14,59%
60%	14,76%
70%	14,96%
80%	15,19%

90%	15,51%
100%	16,68%

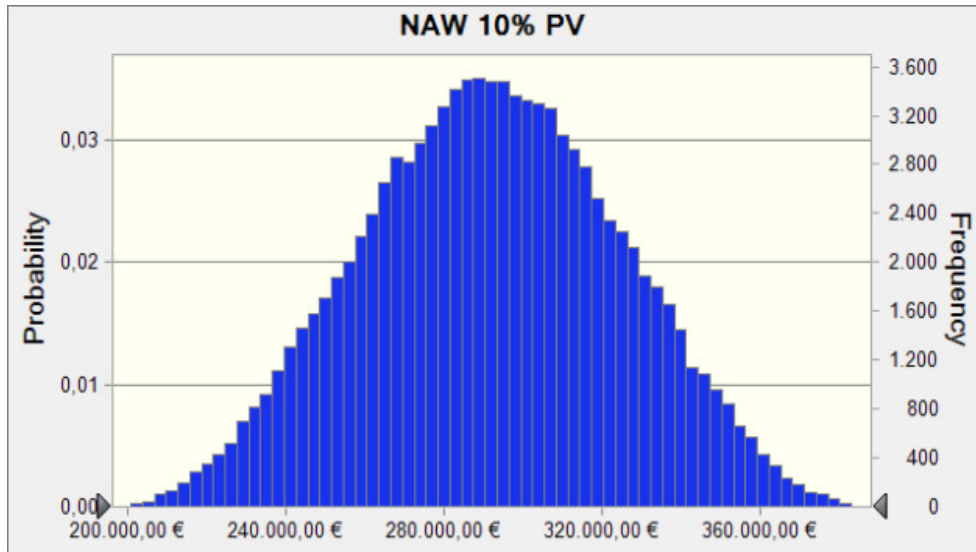
Forecast: NAW 10% PV

Summary:

Entire range is from 192.463,81 € to 396.855,76 €

Base case is 269.775,36 €

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 103,14 €



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	269.775,36 €
Mean	291.909,17 €
Median	291.886,55 €
Mode	---
Standard Deviation	32.615,01 €
Variance	1.063.738.663,53 €
Skewness	-0,0046
Kurtosis	2,56
Coeff. of Variability	0,1117
Minimum	192.463,81 €
Maximum	396.855,76 €
Range Width	204.391,96 €
Mean Std. Error	103,14 €

Forecast: NAW 10% PV (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	192.463,81 €
10%	248.520,47 €
20%	263.243,90 €
30%	273.975,33 €

40%	283.304,72 €
50%	291.886,42 €
60%	300.613,70 €
70%	309.905,55 €
80%	320.678,70 €
90%	335.103,53 €
100%	396.855,76 €

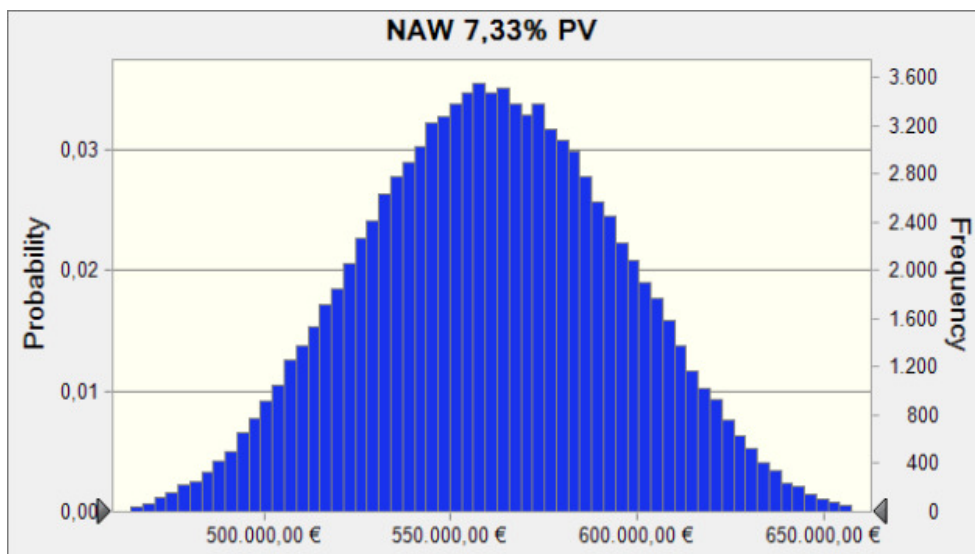
Forecast: NAW 7,33% PV

Summary:

Entire range is from 451.765,88 € to 677.998,46 €

Base case is 527.865,91 €

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 109,01 €



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	527.865,91 €
Mean	560.845,88 €
Median	560.765,32 €
Mode	---
Standard Deviation	34.472,97 €
Variance	1.188.385.737,60 €
Skewness	-1,2551E-04
Kurtosis	2,64
Coeff. of Variability	0,0615
Minimum	451.765,88 €
Maximum	677.998,46 €
Range Width	226.232,58 €
Mean Std. Error	109,01 €

Forecast: NAW 7,33% PV (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	451.765,88 €
10%	515.450,97 €
20%	530.727,24 €
30%	542.000,93 €
40%	551.760,46 €
50%	560.764,66 €
60%	570.007,53 €
70%	579.765,07 €
80%	591.008,70 €
90%	606.036,23 €
100%	677.998,46 €

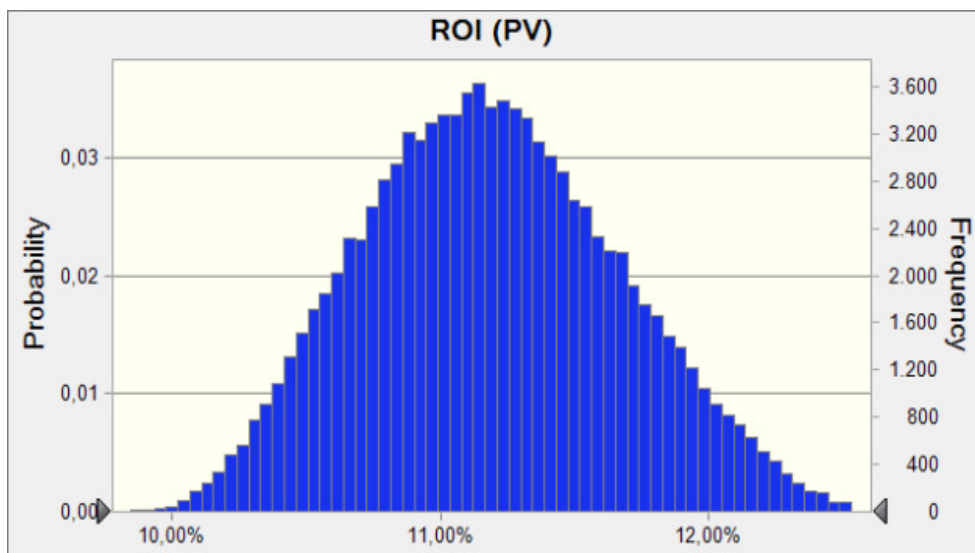
Forecast: ROI (PV)

Summary:

Entire range is from 9,84% to 12,91%

Base case is 10,74%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	10,74%
Mean	11,19%
Median	11,17%
Mode	---
Standard Deviation	0,48%
Variance	0,00%
Skewness	0,1663
Kurtosis	2,60
Coeff. of Variability	0,0429
Minimum	9,84%
Maximum	12,91%
Range Width	3,06%

Mean Std. Error 0,00%

Forecast: ROI (PV) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	9,84%
10%	10,57%
20%	10,76%
30%	10,91%
40%	11,05%
50%	11,17%
60%	11,30%
70%	11,44%
80%	11,61%
90%	11,84%
100%	12,91%

Assumptions

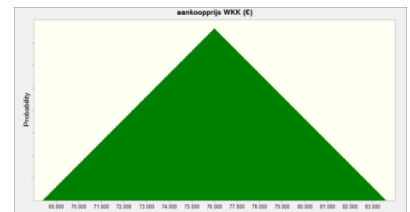
Worksheet: [koppeling.xlsx]Input

Assumption: aankooprijs WKK (€)

Indien deze kosten niet gekend zijn kunnen ze worden geschat op basis van de grafiek die weergegeven is in tabblad "grafieken"

Triangular distribution with parameters:

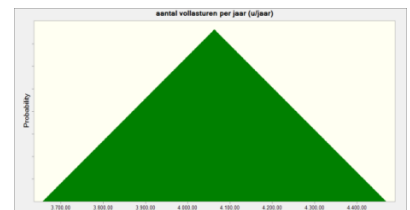
Minimum	68.400
Likeliest	76.000
Maximum	83.600



Assumption: aantal vollasturen per jaar (u/jaar)

Triangular distribution with parameters:

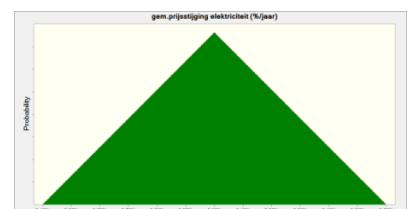
Minimum	3.656,70
Likeliest	4.063,00
Maximum	4.469,30



Assumption: gem.prijsstijging elektriciteit (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	5,40%
---------	-------

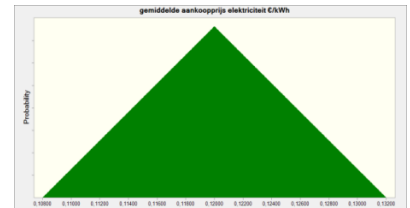


Likeliest	6,00%
Maximum	6,60%

Assumption: gemiddelde aankooprijs elektriciteit €/kWh

Triangular distribution with parameters:

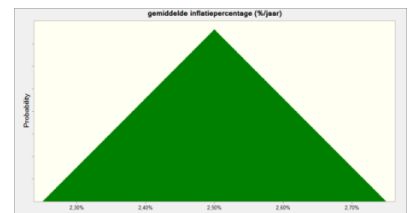
Minimum	0,10800
Likeliest	0,12000
Maximum	0,13200



Assumption: gemiddelde inflatiepercentage (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	2,25%
Likeliest	2,50%
Maximum	2,75%

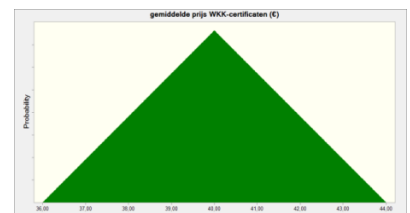


Assumption: gemiddelde prijs WKK-certificaten (€)

kan ook uitgedrukt worden als x% van de boeteprijs.

Triangular distribution with parameters:

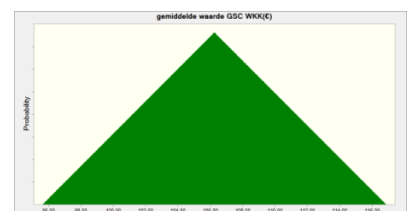
Minimum	36,00
Likeliest	40,00
Maximum	44,00



Assumption: gemiddelde waarde GSC WKK(€)

Triangular distribution with parameters:

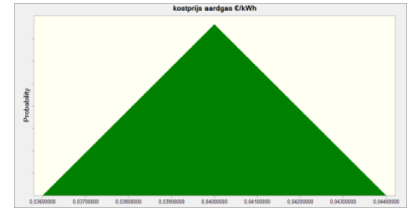
Minimum	95,63
Likeliest	106,25
Maximum	116,88



Assumption: kostprijs aardgas €/kWh

Triangular distribution with parameters:

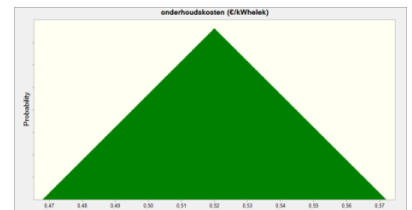
Minimum	0,03600009
Likeliest	0,04000010
Maximum	0,04400011



Assumption: onderhoudskosten (€/kWhelek)

Triangular distribution with parameters:

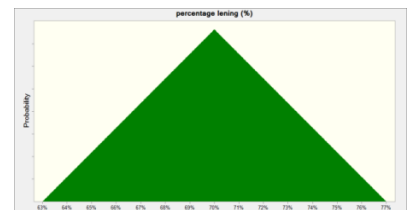
Minimum	0,47
Likeliest	0,52
Maximum	0,57



Assumption: percentage lening (%)

Triangular distribution with parameters:

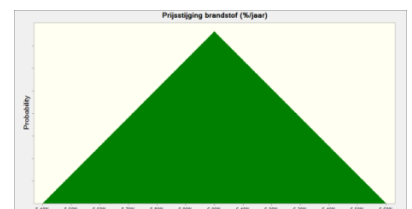
Minimum	63%
Likeliest	70%
Maximum	77%



Assumption: Prijsstijging brandstof (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	5,40%
Likeliest	6,00%
Maximum	6,60%

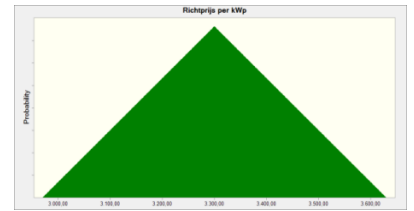


Worksheet: [maarten.xlsx]Modelassumpties

Assumption: Richtprijs per kWp

Triangular distribution with parameters:

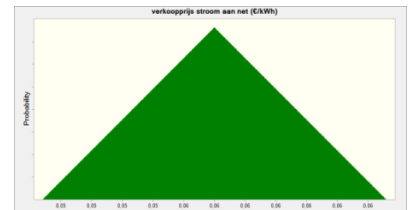
Minimum	2.970,00
Likeliest	3.300,00
Maximum	3.630,00



Assumption: verkoopprijs stroom aan net (€/kWh)

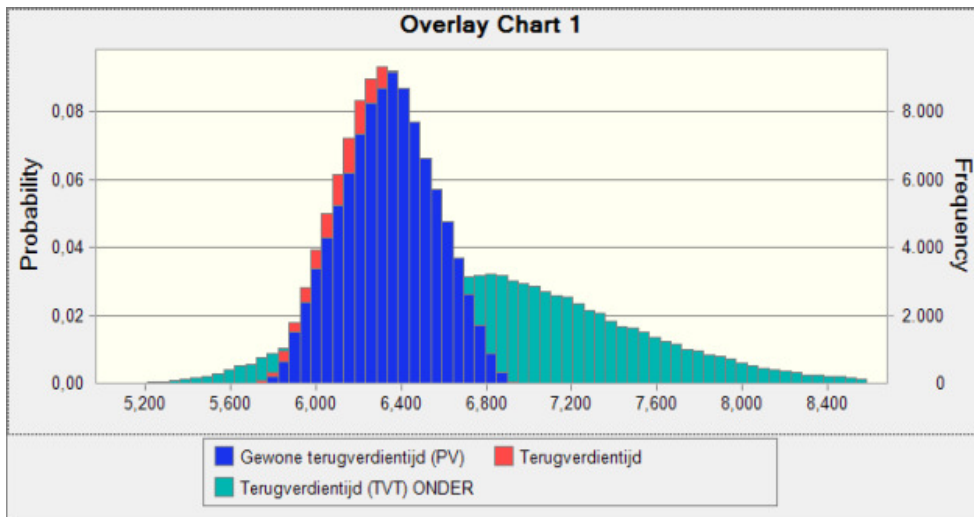
Triangular distribution with parameters:

10%	0,05
Likeliest	0,06
90%	0,06



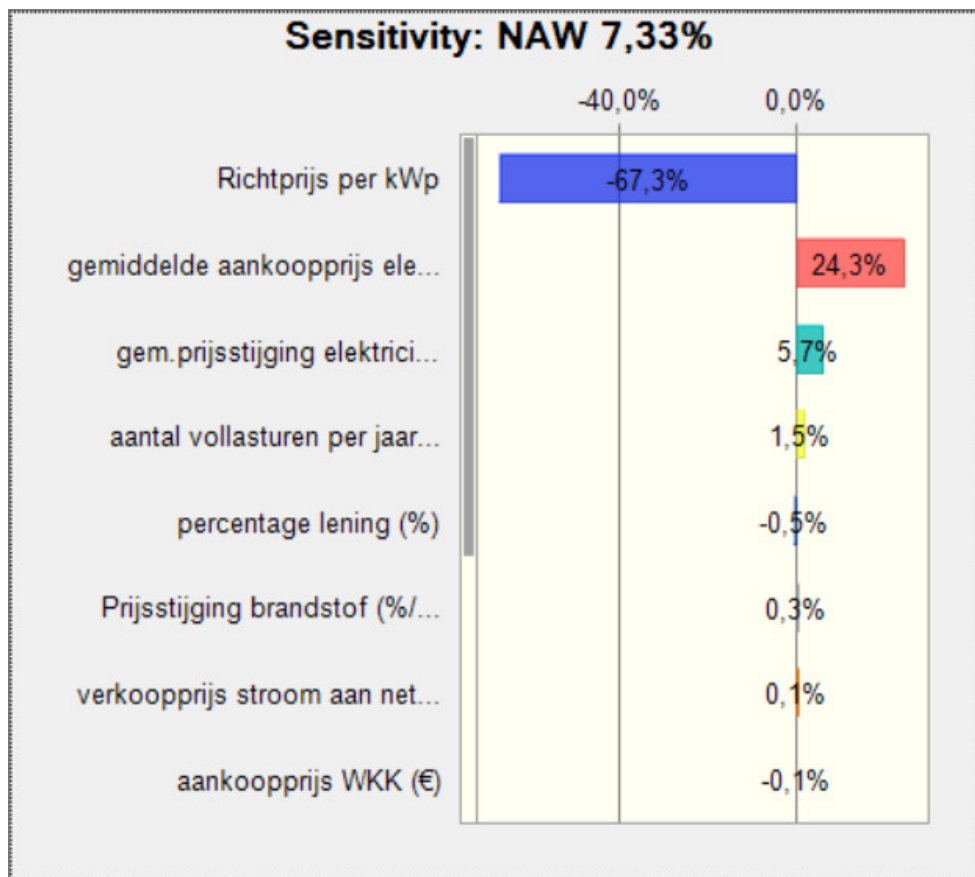
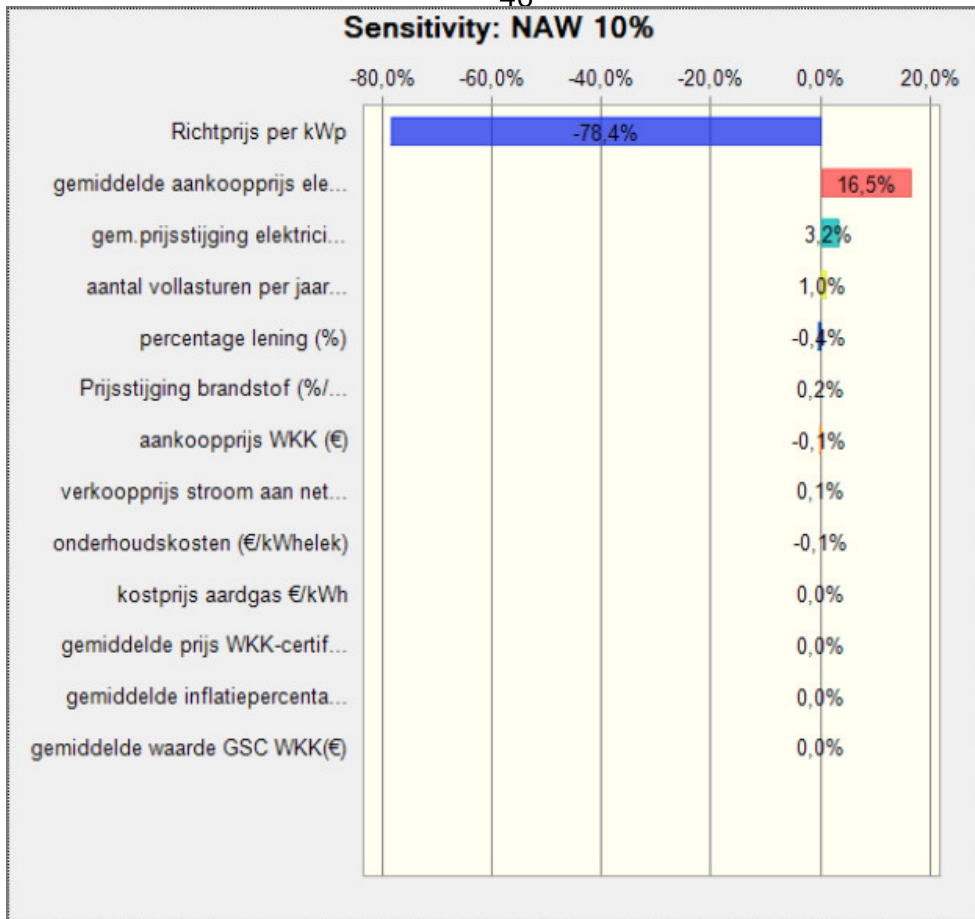
End of Assumptions

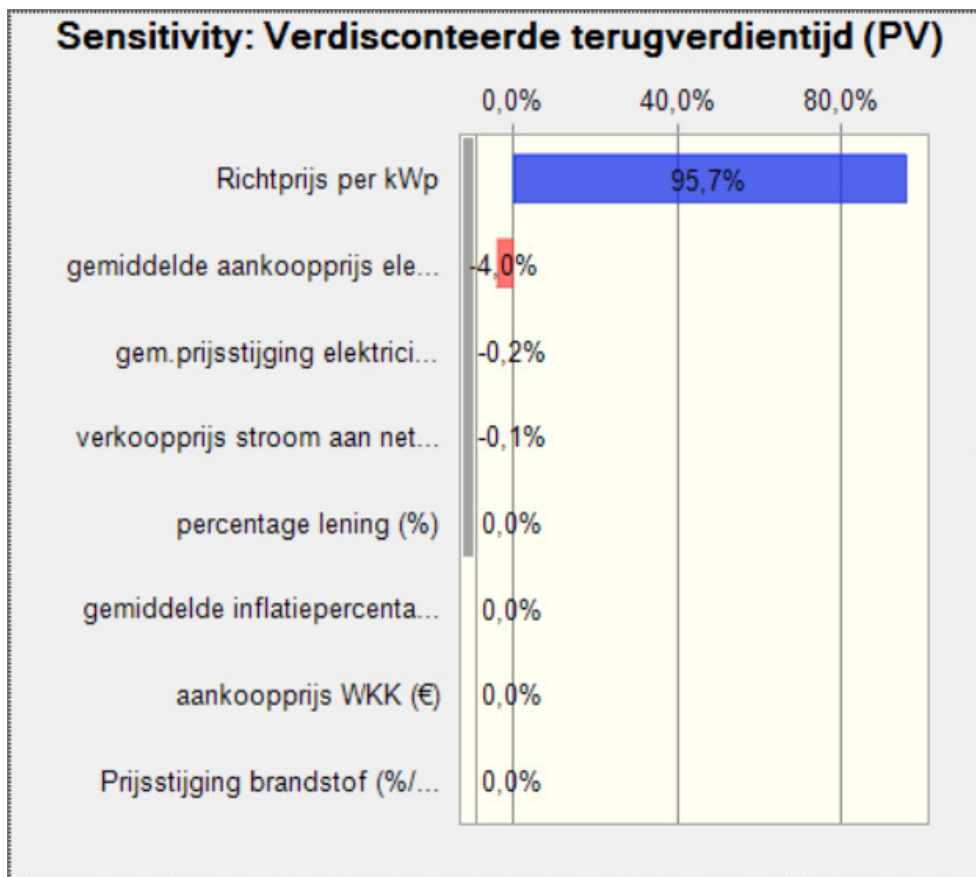
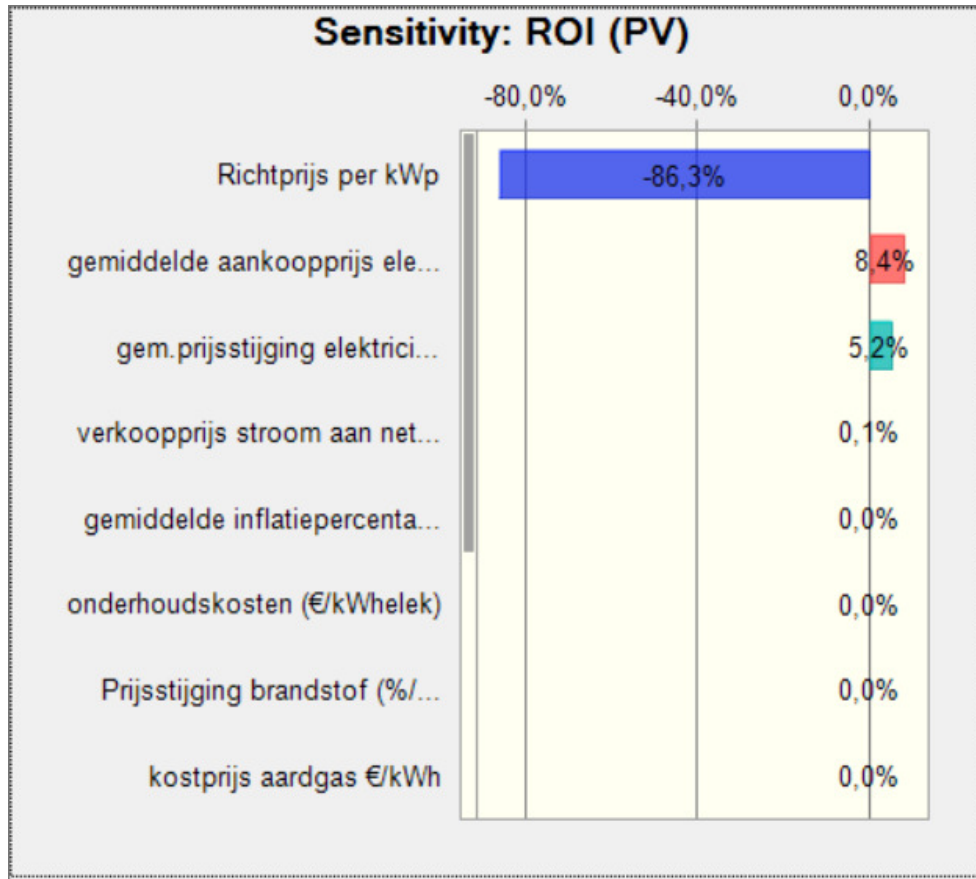
Overlay Charts

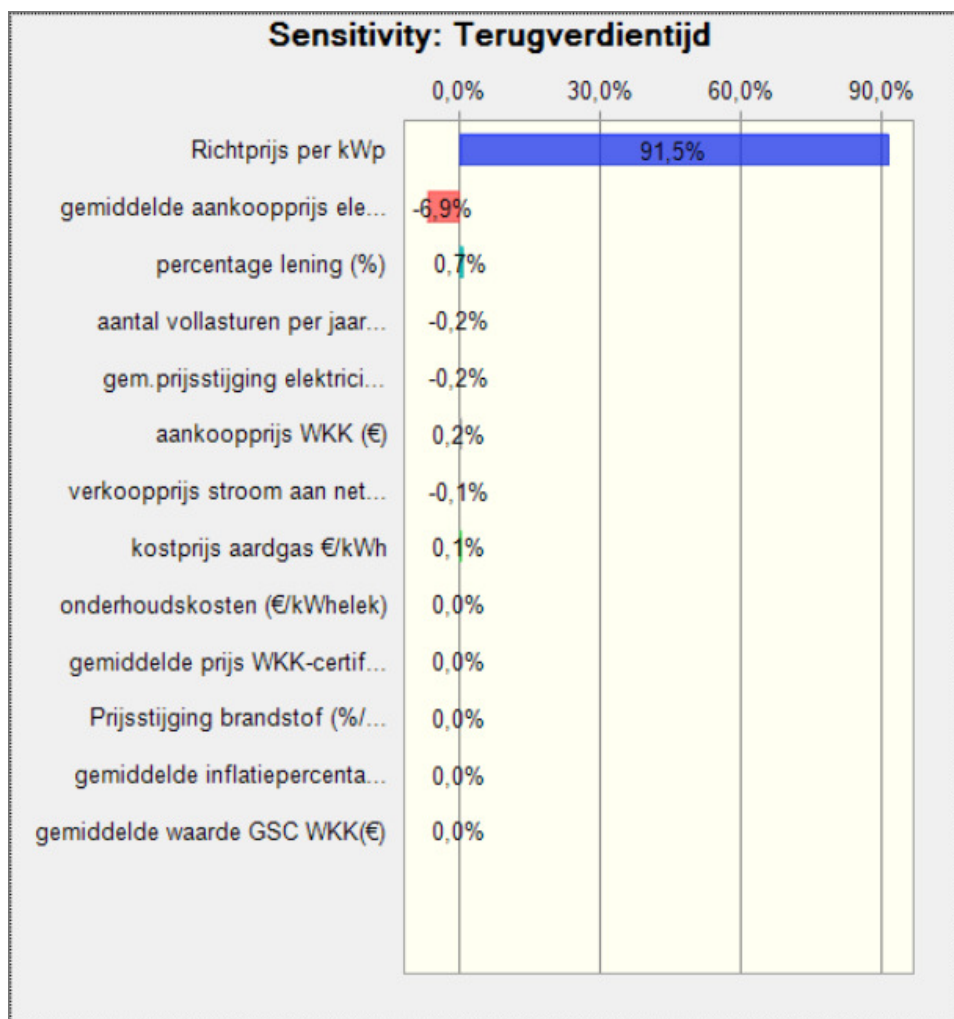
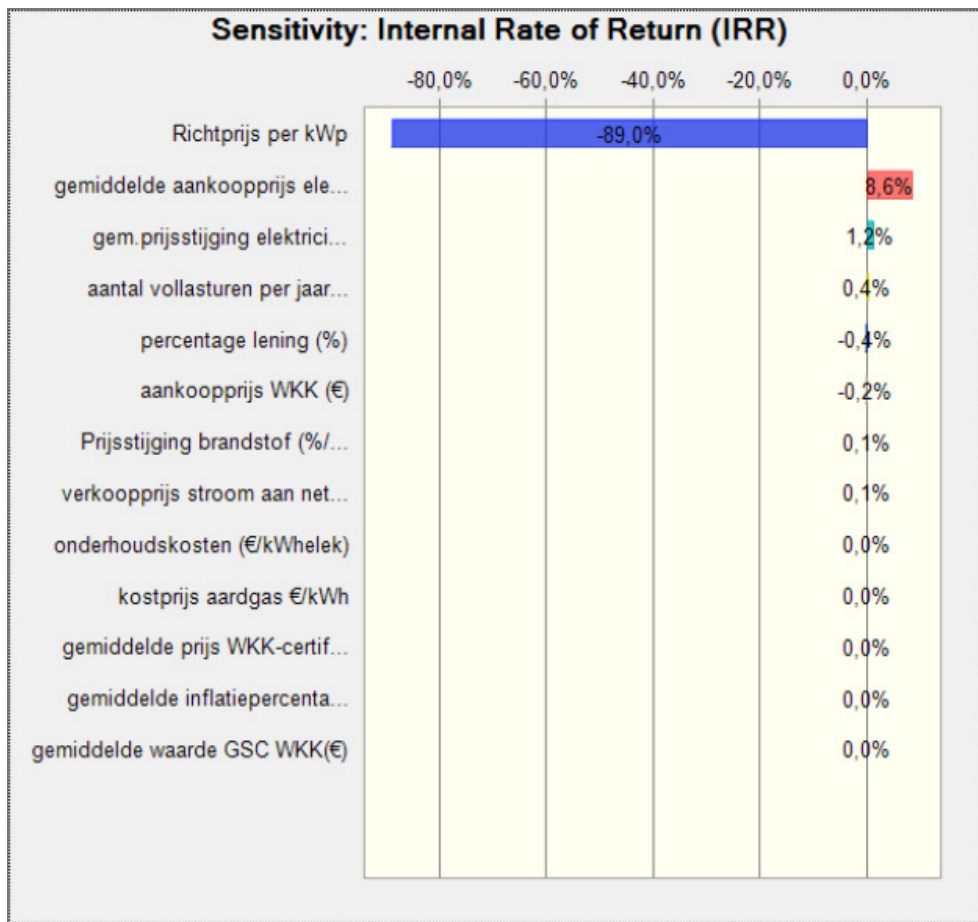


End of Overlay Charts

Sensitivity Charts







Bijlage 7: Crystal ball output, gezamenlijke case, geval 2

Run preferences:

Number of trials run	100.000
Extreme speed	
Monte Carlo	
Random seed	
Precision control on	
Confidence level	95,00%

Run statistics:

Total running time (sec)	102,52
Trials/second (average)	975
Random numbers per sec	12.680

Crystal Ball data:

Assumptions	13
Correlations	0
Correlated groups	0
Decision variables	0
Forecasts	24

Forecasts

Worksheet: [koppeling.xlsx]Kosten-baten

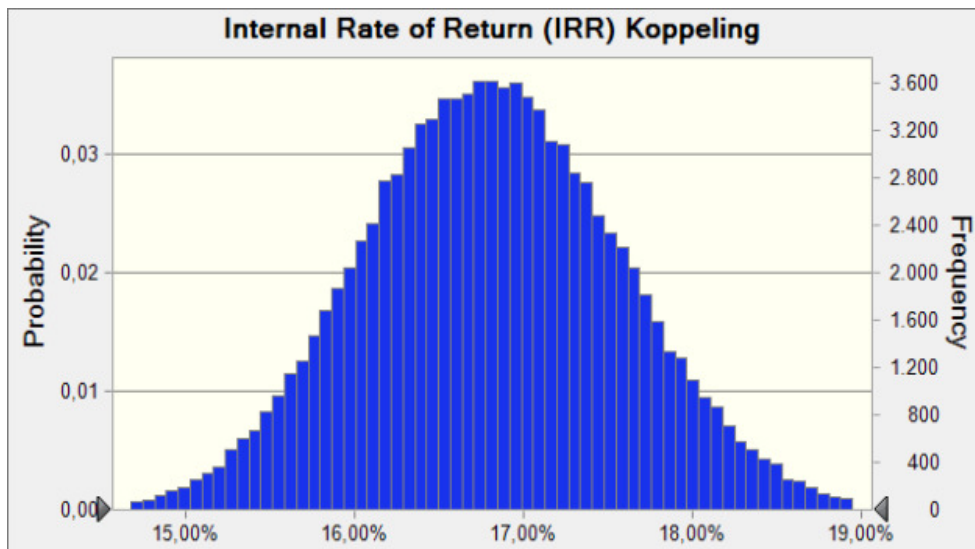
Forecast: Internal Rate of Return (IRR) Koppeling

Summary:

Entire range is from 14,21% to 20,26%

Base case is 16,80%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	16,80%
Mean	16,81%
Median	16,80%
Mode	---
Standard Deviation	0,76%
Variance	0,01%
Skewness	0,0722
Kurtosis	2,88
Coeff. of Variability	0,0454
Minimum	14,21%
Maximum	20,26%
Range Width	6,05%
Mean Std. Error	0,00%

Forecast: Internal Rate of Return (IRR) Koppeling (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	14,21%
10%	15,83%
20%	16,16%
30%	16,40%
40%	16,60%
50%	16,80%
60%	17,00%
70%	17,21%
80%	17,46%
90%	17,80%
100%	20,26%

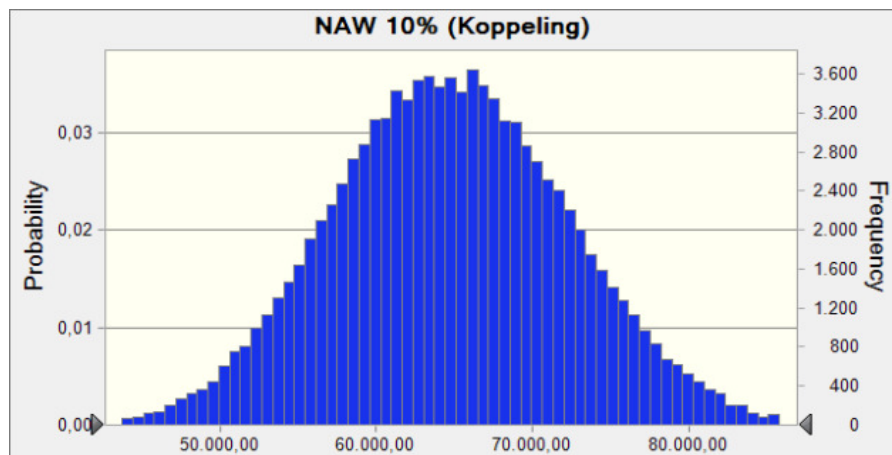
Forecast: NAW 10% (Koppeling)

Summary:

Entire range is from 39.697,21 to 98.179,82

Base case is 63.048,72

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 23,73



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	63.048,72
Mean	64.750,36
Median	64.644,12
Mode	---
Standard Deviation	7.503,16
Variance	56.297.368,55
Skewness	0,0804
Kurtosis	2,85
Coeff. of Variability	0,1159
Minimum	39.697,21
Maximum	98.179,82
Range Width	58.482,61
Mean Std. Error	23,73

Forecast: NAW 10% (Koppeling) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	39.697,21
10%	55.141,61
20%	58.341,26
30%	60.657,10
40%	62.698,14
50%	64.644,06
60%	66.593,19
70%	68.680,09
80%	71.148,97
90%	74.545,12
100%	98.179,82

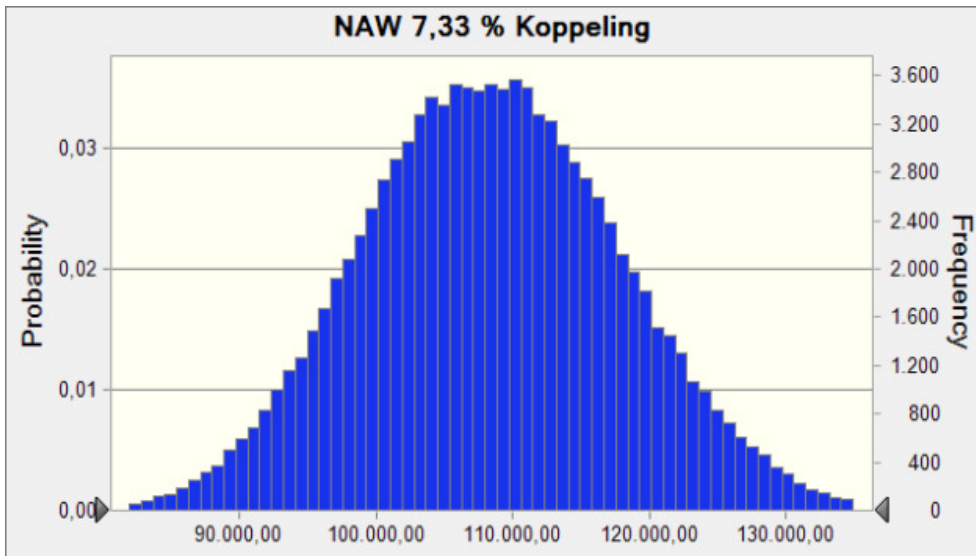
Forecast: NAW 7,33 % Koppeling

Summary:

Entire range is from 76.945,81 to 149.813,74

Base case is 105.360,25

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 29,95



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	105.360,25
Mean	108.420,93
Median	108.288,16
Mode	---
Standard Deviation	9.470,52
Variance	89.690.657,95
Skewness	0,0908
Kurtosis	2,84
Coeff. of Variability	0,0873
Minimum	76.945,81
Maximum	149.813,74
Range Width	72.867,94
Mean Std. Error	29,95

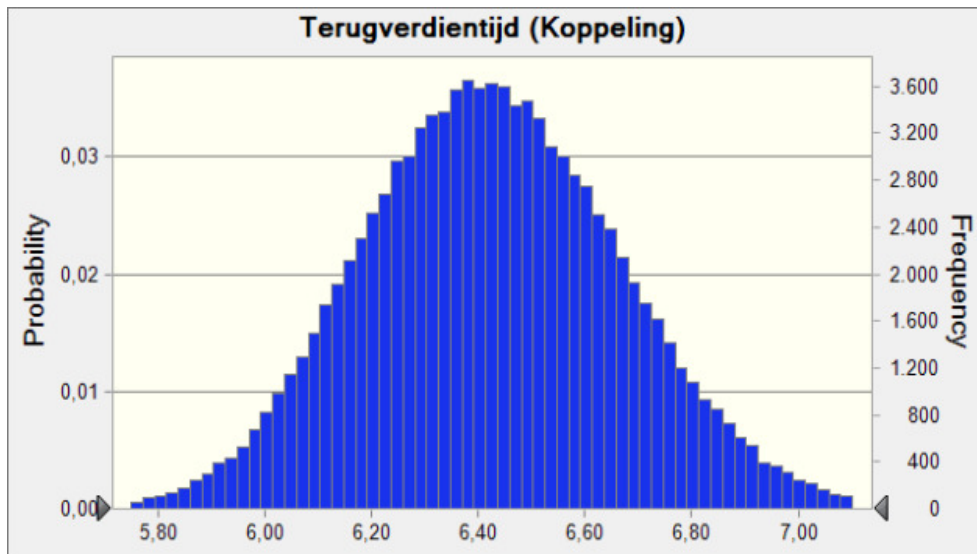
Forecast: NAW 7,33 % Koppeling (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	76.945,81
10%	96.274,25
20%	100.306,85
30%	103.243,34
40%	105.807,33
50%	108.288,11
60%	110.741,64
70%	113.372,29
80%	116.482,54
90%	120.784,08
100%	149.813,74

Forecast: Terugverdientijd (Koppeling)

Summary:
 Entire range is from 5,46 to 7,33
 Base case is 6,32

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	6,32
Mean	6,43
Median	6,42
Mode	---
Standard Deviation	0,24
Variance	0,06
Skewness	0,1028
Kurtosis	2,88
Coeff. of Variability	0,0376
Minimum	5,46
Maximum	7,33
Range Width	1,87
Mean Std. Error	0,00

Forecast: Terugverdiertijd (Koppeling) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	5,46
10%	6,12
20%	6,22
30%	6,29
40%	6,36
50%	6,42
60%	6,48
70%	6,55
80%	6,63
90%	6,74
100%	7,33

Worksheet: [maarten.xlsx]Rendement 35°

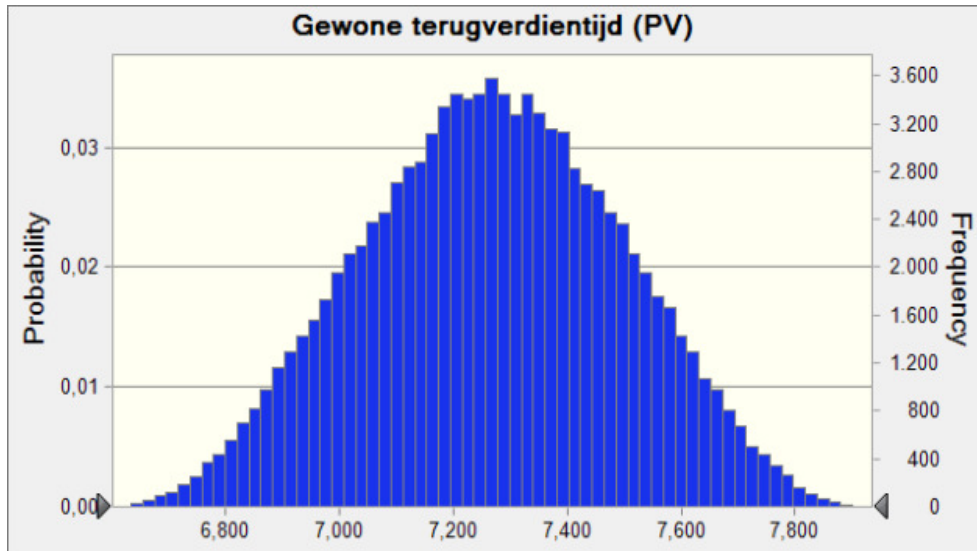
Forecast: Gewone terugverdiertijd (PV)

Summary:

Entire range is from 6,550 to 7,991

Base case is 7,309

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,001



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	7,309
Mean	7,267
Median	7,268
Mode	---
Standard Deviation	0,226
Variance	0,051
Skewness	-0,0239
Kurtosis	2,53
Coeff. of Variability	0,0312
Minimum	6,550
Maximum	7,991
Range Width	1,441
Mean Std. Error	0,001

Forecast: Gewone terugverdiertijd (PV) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	6,550
10%	6,965
20%	7,066
30%	7,143

40%	7,208
50%	7,268
60%	7,329
70%	7,393
80%	7,468
90%	7,567
100%	7,991

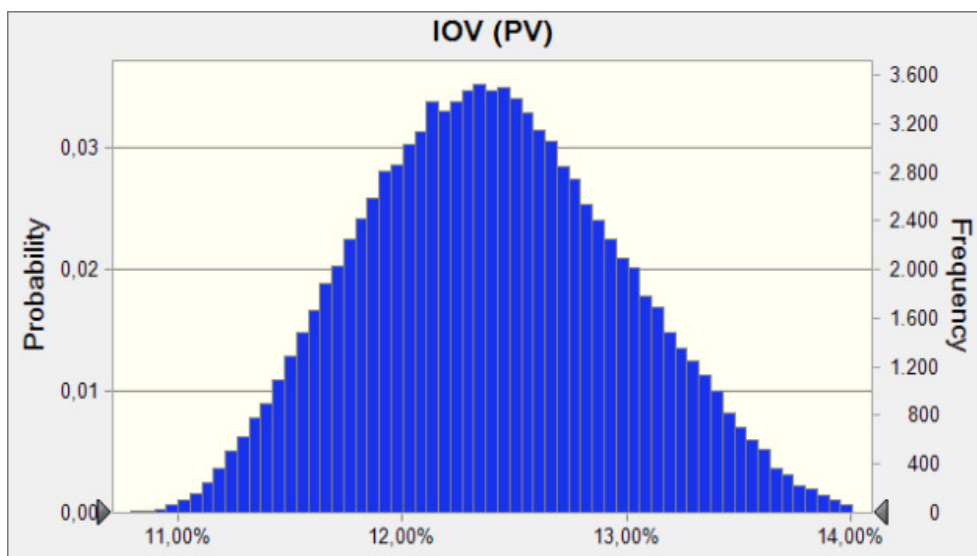
Forecast: IOV (PV)

Summary:

Entire range is from 10,70% to 14,33%

Base case is 12,11%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	12,11%
Mean	12,40%
Median	12,38%
Mode	---
Standard Deviation	0,57%
Variance	0,00%
Skewness	0,1408
Kurtosis	2,57
Coeff. of Variability	0,0463
Minimum	10,70%
Maximum	14,33%
Range Width	3,63%
Mean Std. Error	0,00%

Forecast: IOV (PV) (cont'd)

Percentiles:	Forecast
--------------	----------

	values
0%	10,70%
10%	11,65%
20%	11,89%
30%	12,07%
40%	12,23%
50%	12,38%
60%	12,53%
70%	12,70%
80%	12,90%
90%	13,17%
100%	14,33%

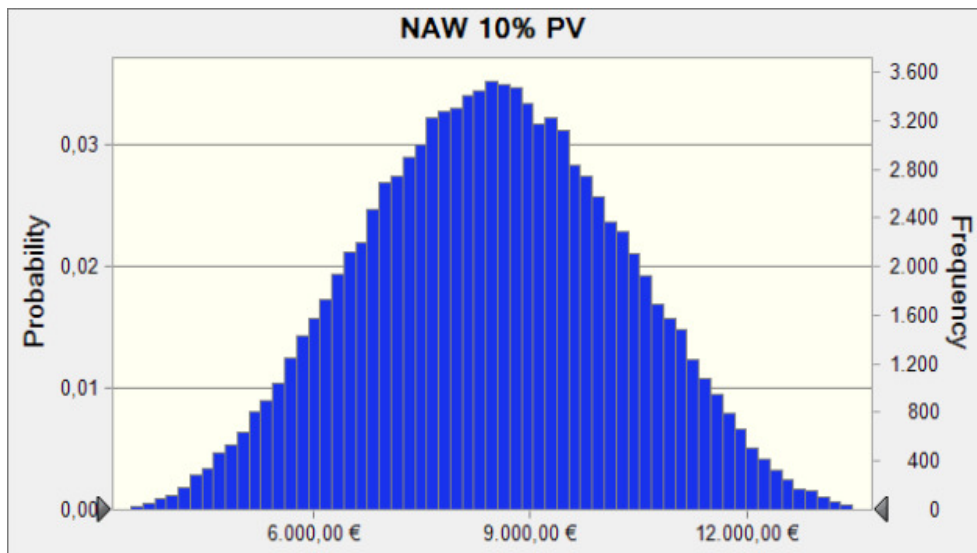
Forecast: NAW 10% PV

Summary:

Entire range is from 2.659,27 € to 14.323,40 €

Base case is 7.329,32 €

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 5,65 €



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	7.329,32 €
Mean	8.465,76 €
Median	8.468,01 €
Mode	---
Standard Deviation	1.786,02 €
Variance	3.189.875,26 €
Skewness	0,0073
Kurtosis	2,59
Coeff. of Variability	0,2110
Minimum	2.659,27 €
Maximum	14.323,40 €

Range Width 11.664,13 €
 Mean Std. Error 5,65 €

Forecast: NAW 10% PV (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	2.659,27 €
10%	6.110,51 €
20%	6.894,68 €
30%	7.477,34 €
40%	7.988,25 €
50%	8.468,01 €
60%	8.935,31 €
70%	9.446,34 €
80%	10.040,23 €
90%	10.829,70 €
100%	14.323,40 €

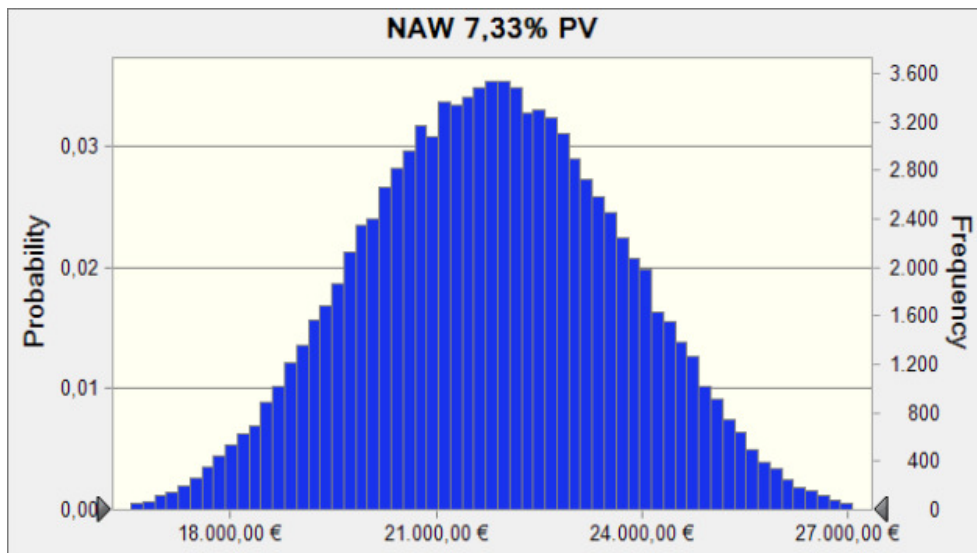
Forecast: NAW 7,33% PV

Summary:

Entire range is from 15.440,06 € to 28.327,99 €

Base case is 20.114,35 €

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 5,93 €



Statistics:	Forecast values
Trials	100.000
Base Case	20.114,35 €
Mean	21.807,65 €
Median	21.807,48 €
Mode	---

Standard Deviation	1.876,45 €
Variance	3.521.075,45 €
Skewness	0,0121
Kurtosis	2,67
Coeff. of Variability	0,0860
Minimum	15.440,06 €
Maximum	28.327,99 €
Range Width	12.887,93 €
Mean Std. Error	5,93 €

Forecast: NAW 7,33% PV (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	15.440,06 €
10%	19.352,66 €
20%	20.170,52 €
30%	20.771,35 €
40%	21.303,07 €
50%	21.807,46 €
60%	22.299,94 €
70%	22.830,88 €
80%	23.448,06 €
90%	24.269,83 €
100%	28.327,99 €

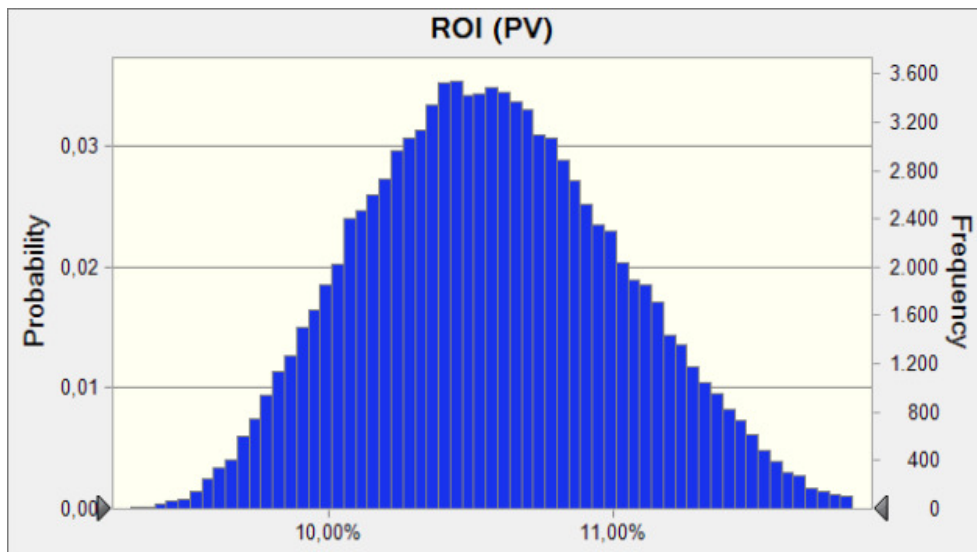
Forecast: ROI (PV)

Summary:

Entire range is from 9,24% to 12,20%

Base case is 10,15%

After 100.000 trials, the std. error of the mean is 0,00%



Statistics: Forecast values

Trials	100.000
Base Case	10,15%
Mean	10,57%
Median	10,55%
Mode	---
Standard Deviation	0,45%
Variance	0,00%
Skewness	0,1794
Kurtosis	2,62
Coeff. of Variability	0,0428
Minimum	9,24%
Maximum	12,20%
Range Width	2,96%
Mean Std. Error	0,00%

Forecast: ROI (PV) (cont'd)

Percentiles:	Forecast values
0%	9,24%
10%	9,99%
20%	10,17%
30%	10,31%
40%	10,43%
50%	10,55%
60%	10,67%
70%	10,81%
80%	10,97%
90%	11,18%
100%	12,20%

End of Forecasts

Assumptions

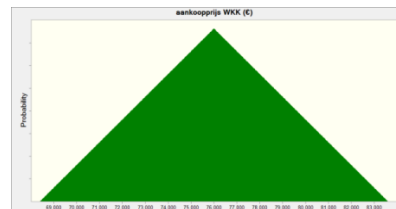
Worksheet: [koppeling.xlsx]Input

Assumption: aankooprijks WKK (€)

Indien deze kosten niet gekend zijn kunnen ze worden geschat op basis van de grafiek die weergegeven is in tabblad "grafieken"

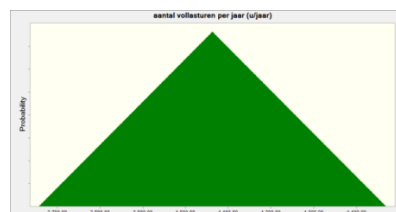
Triangular distribution with parameters:

Minimum	68.400
Likeliest	76.000
Maximum	83.600



Assumption: aantal vollasturen per jaar (u/jaar)

Triangular distribution with parameters:



Minimum	3.656,70
Likeliest	4.063,00
Maximum	4.469,30

Assumption: gem.prijsstijging elektriciteit (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	5,40%
Likeliest	6,00%
Maximum	6,60%

Assumption: gemiddelde aankoop prijs elektriciteit €/kWh

Triangular distribution with parameters:

Minimum	0,10800
Likeliest	0,12000
Maximum	0,13200

Assumption: gemiddelde inflatiepercentage (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	2,25%
Likeliest	2,50%
Maximum	2,75%

Assumption: gemiddelde prijs WKK-certificaten (€)

kan ook uitgedrukt worden als x% van de boeteprijs.

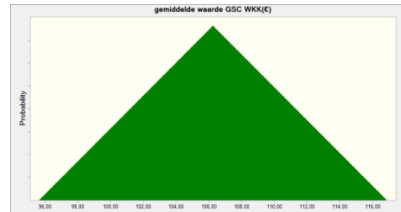
Triangular distribution with parameters:

Minimum	36,00
Likeliest	40,00
Maximum	44,00

Assumption: gemiddelde waarde GSC WKK(€)

Triangular distribution with parameters:

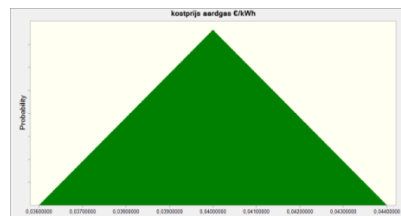
Minimum	95,63
Likeliest	106,25
Maximum	116,88



Assumption: kostprijs aardgas €/kWh

Triangular distribution with parameters:

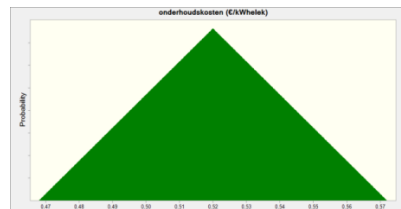
Minimum	0,03600009
Likeliest	0,04000010
Maximum	0,04400011



Assumption: onderhoudskosten (€/kWhelek)

Triangular distribution with parameters:

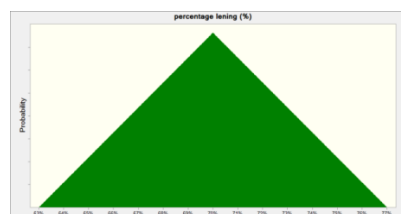
Minimum	0,47
Likeliest	0,52
Maximum	0,57



Assumption: percentage lening (%)

Triangular distribution with parameters:

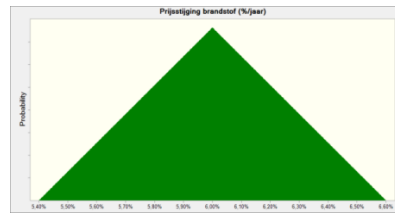
Minimum	63%
Likeliest	70%
Maximum	77%



Assumption: Prijsstijging brandstof (%/jaar)

Triangular distribution with parameters:

Minimum	5,40%
Likeliest	6,00%
Maximum	6,60%

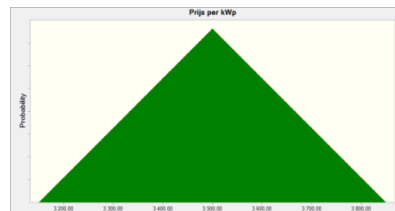


Worksheet: [maarten.xlsx]Modelassumpties

Assumption: Prijs per kWp

Triangular distribution with parameters:

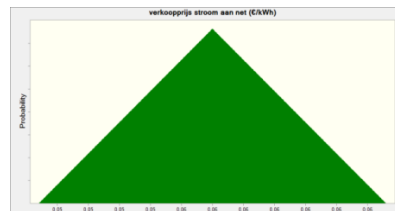
Minimum	3.150,00
Likeliest	3.500,00
Maximum	3.850,00



Assumption: verkoopprijs stroom aan net (€/kWh)

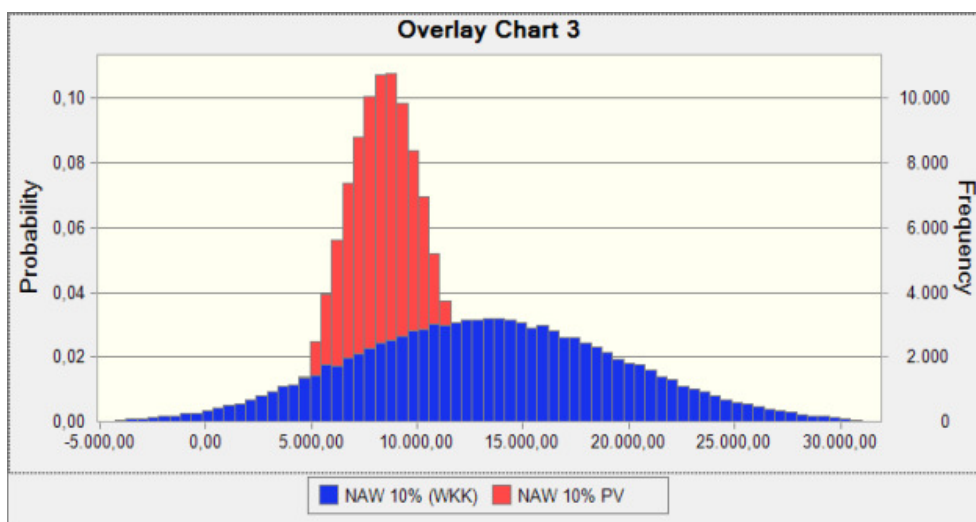
Triangular distribution with parameters:

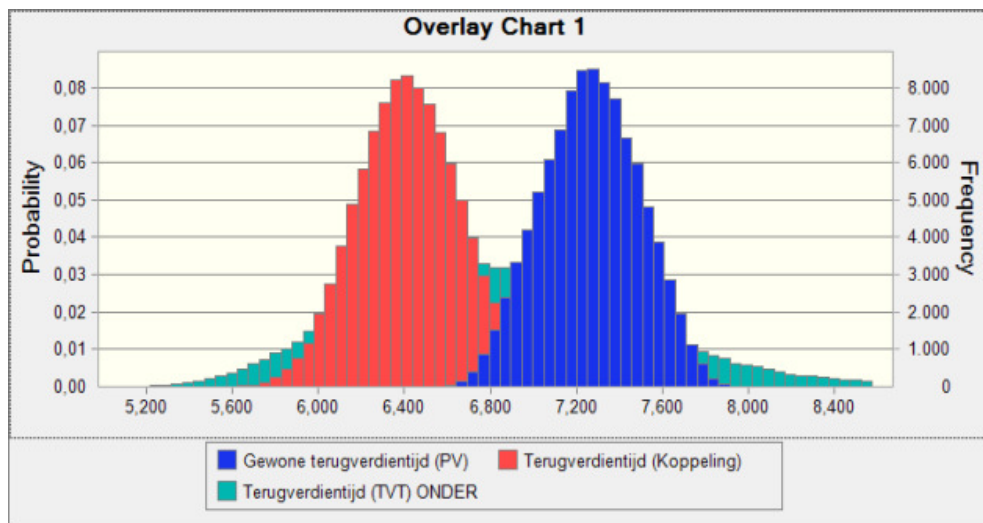
10%	0,05
Likeliest	0,06
90%	0,06



End of Assumptions

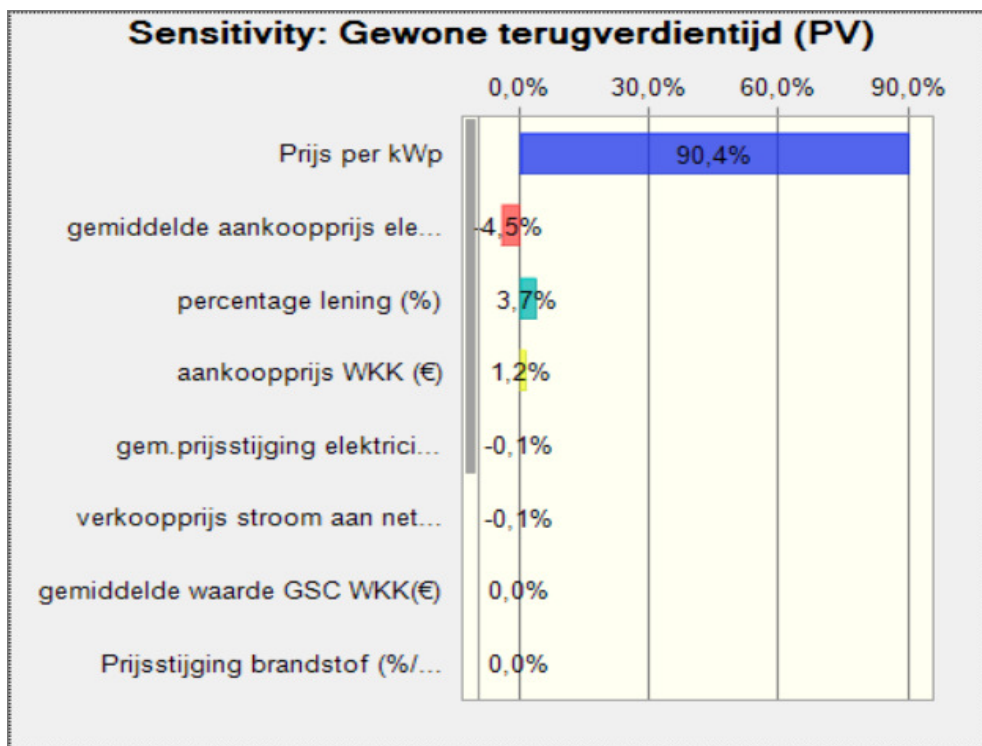
Overlay Charts

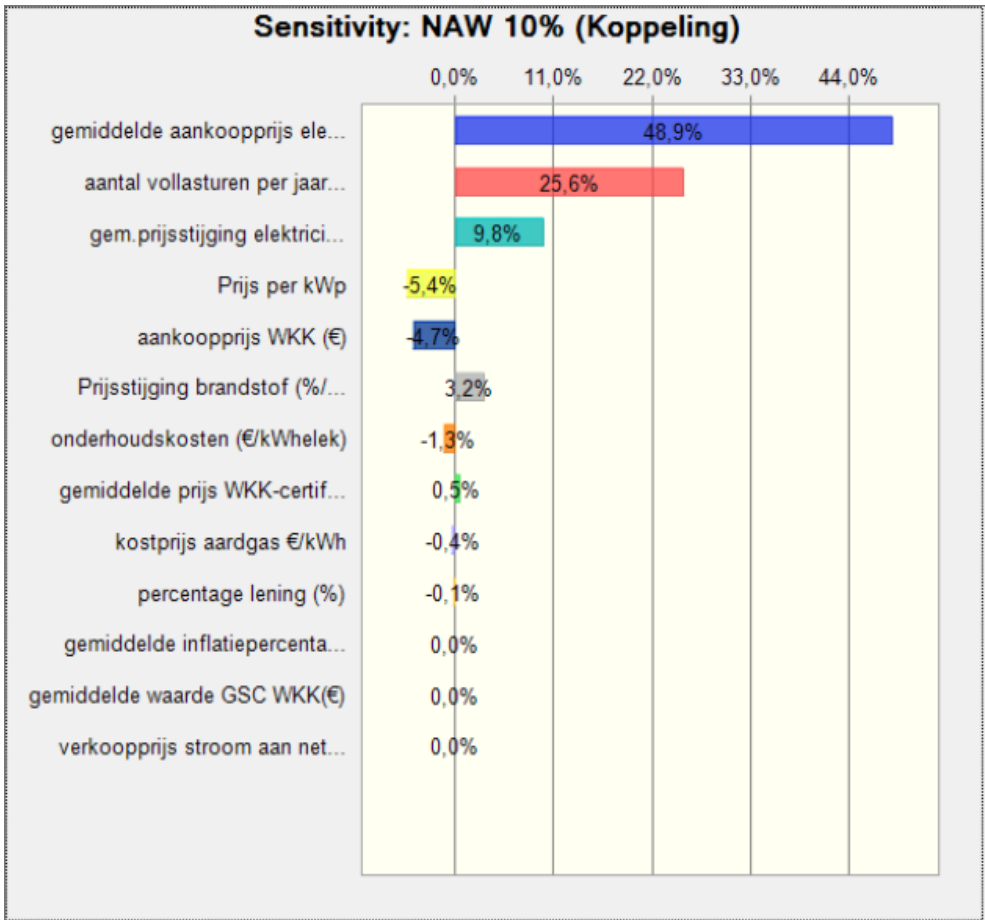
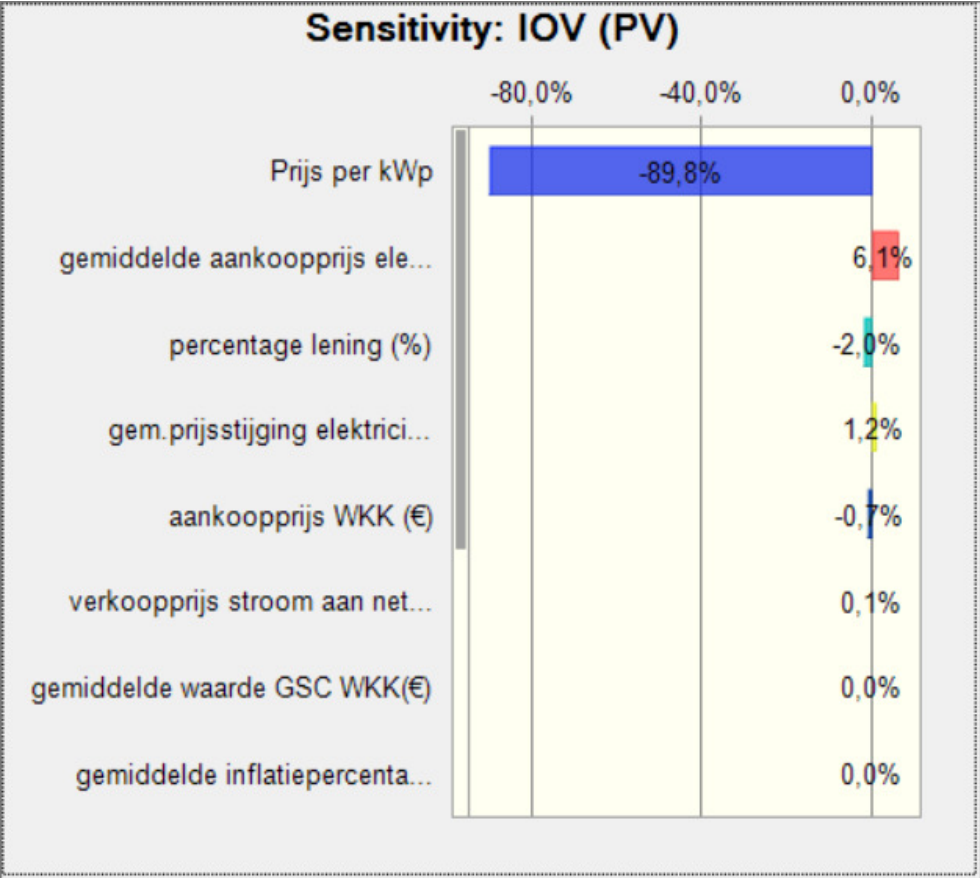


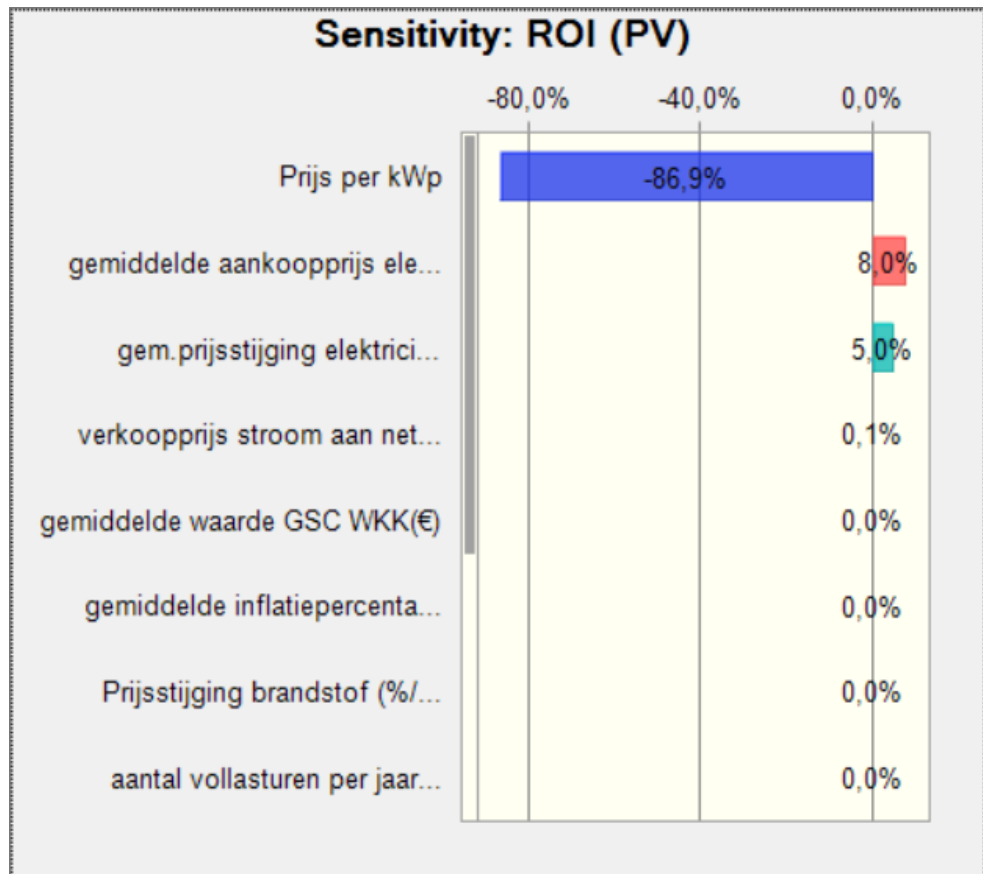
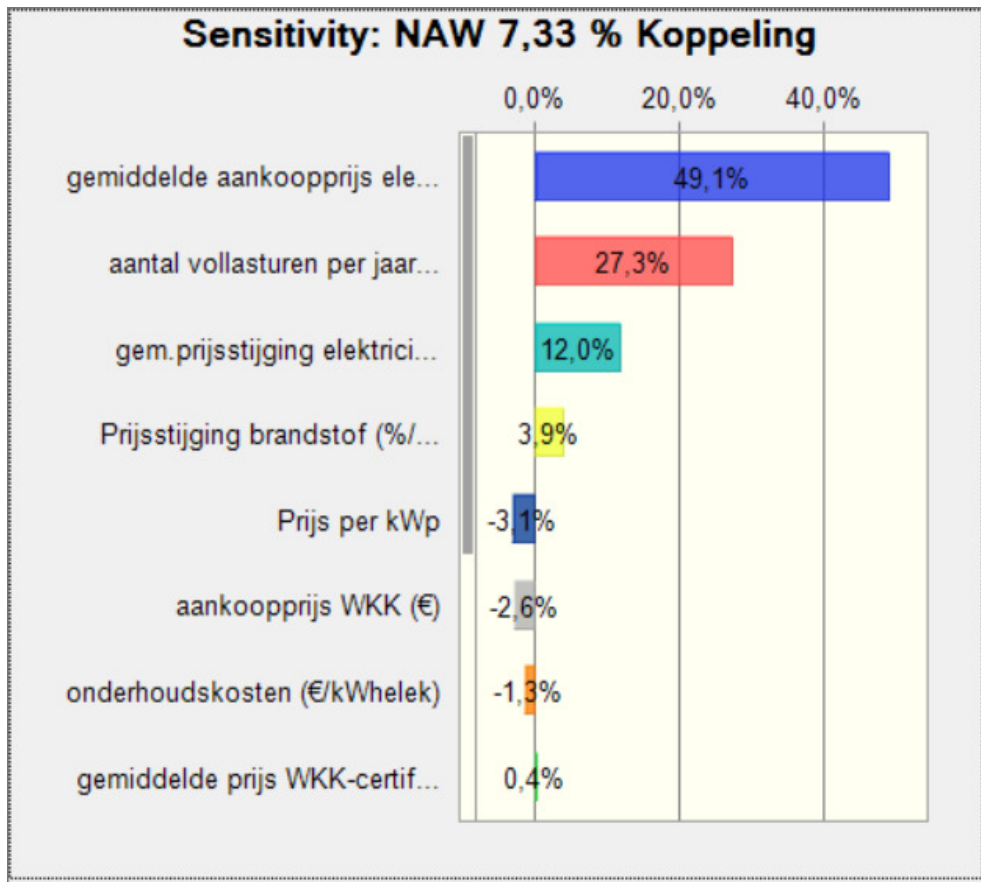


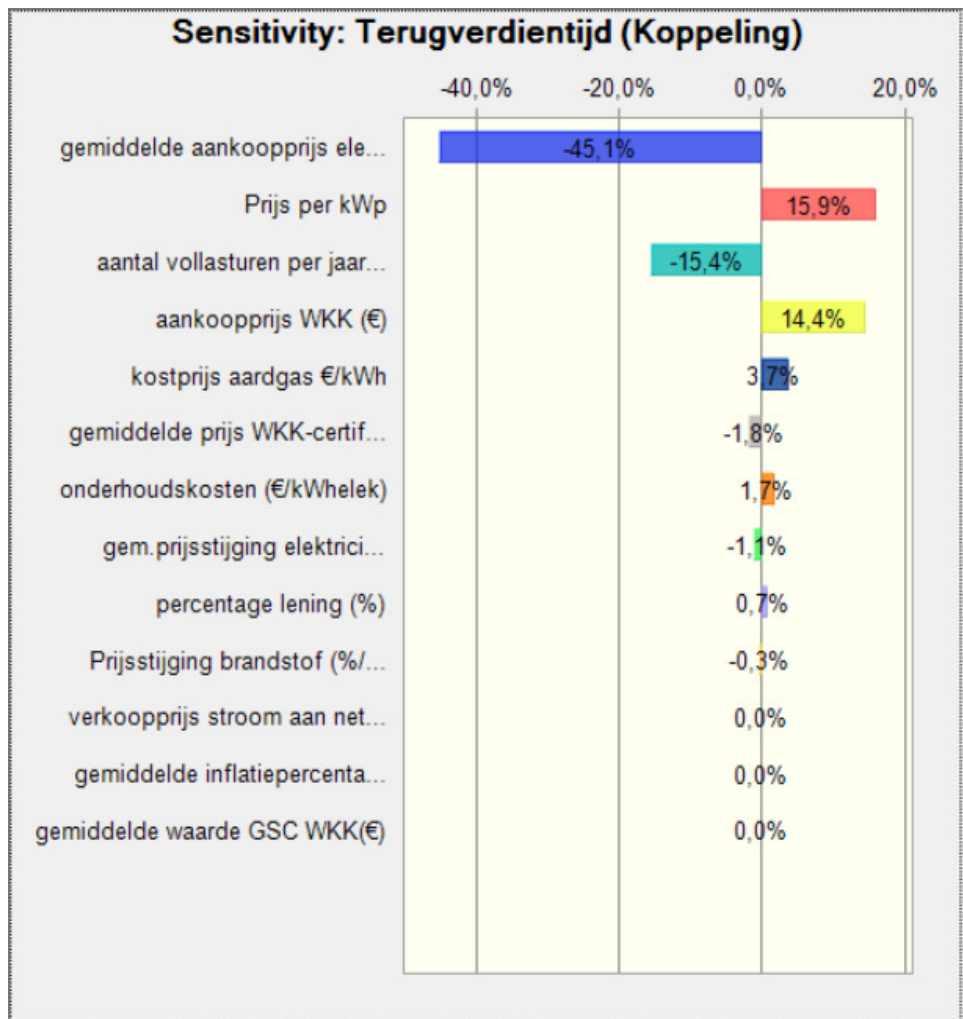
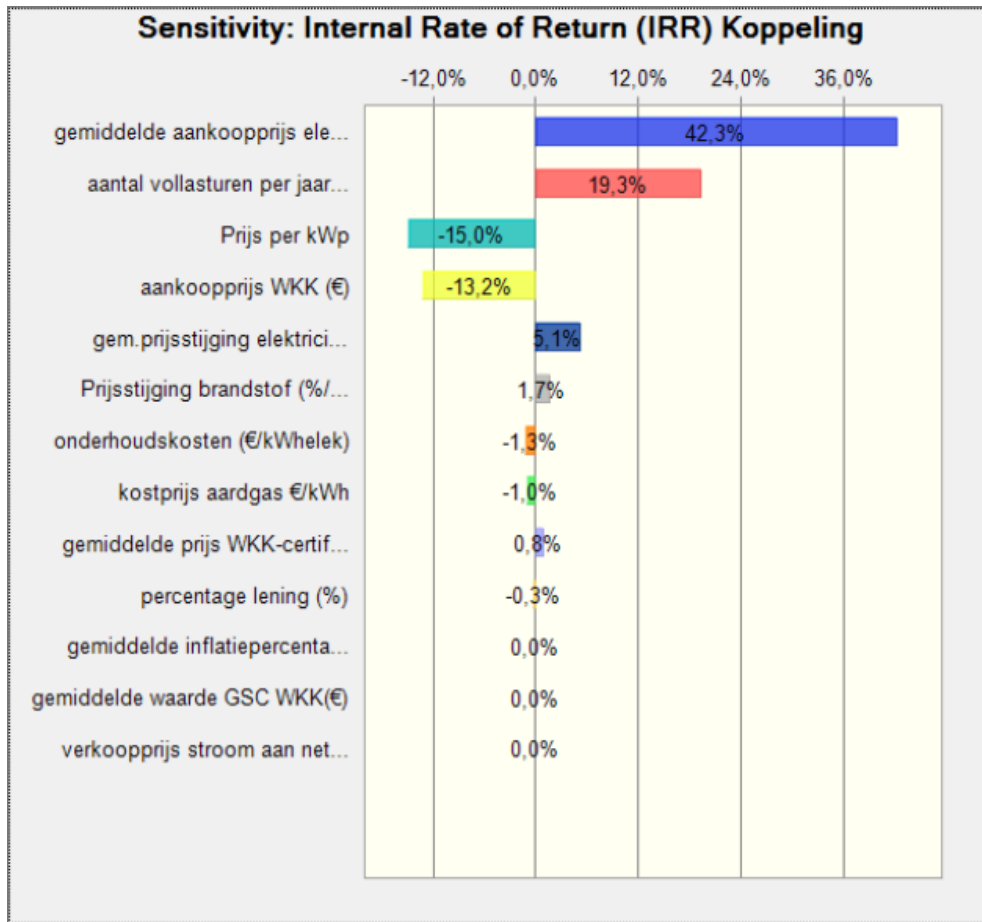
End of Overlay Charts

Sensitivity Charts









Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

De haalbaarheid van investeringen in fotovoltaïsche systemen bij bedrijven, opstellen van een analysemodel

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-technologie-, innovatie- en milieumanagement**

Jaar: **2010**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Kupers, Maarten

Datum: **1/06/2010**