

MASTER

Ontwerp optimalisatie van een fotovoltaïsche zonnecentrale : technische oplossingsrichtingen, financiële mogelijkheden en ontwerp van een milieubeoordelingstoel

Caelen, E.W.H.

Award date:
2002

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

General rights

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

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

Ontwerp optimalisatie van een fotovoltaïsche zonnecentrale

Technische oplossingsrichtingen, financiële
mogelijkheden en ontwerp van een
milieubeoordelingstool

TU/e Technische Universiteit Eindhoven

FACULTEIT TECHNOLOGIE MANAGEMENT (TM)

TECHNIEK en MAATSCHAPPIJ

Afstudeerrichting Technologie en Beleid (TIB/AE)

met technische component

Energietechnologie

Auteur	E.W.H. Caelen (480864)
Begeleiding	Dr.ir. A.J.D. Lambert, faculteit TM Dr.ir. G.P.J. Verbong, faculteit TM
Organisatie	Ing. L. Kuipers, DHV AIB DHV AIB Eindhoven (DHV Groep)

© 28 Maart 2002

Samenvatting

Aanleiding voor dit onderzoek naar de ontwerp optimalisering van een fotovoltaïsche zonnecentrale en de verschillende mogelijkheden daartoe, is de toenemende interesse in de mogelijkheden en toepassingen van duurzame energiebronnen in de bouw en industrie, vanuit DHV AIB. Uitgangspunt van DHV AIB voor dit onderzoek is het opdoen van vakspecifieke kennis van zonnecentrale ontwerpen op de gebieden: technische mogelijkheden, financiële gevolgen en duurzaamheid. De TU/e heeft aangegeven dat haar interesses liggen in onderzoek naar de mogelijkheden van milieubeoordeling van dergelijke duurzame energie alternatieven. Tezamen heeft dit geleid tot de volgende centrale probleemstelling:

Door middel van welke (praktisch hanteerbare) afbakeningswijze, wordt het mogelijk om een elektrisch ontwerp van een fotovoltaïsche zonnecentrale via een algemeen geldend LCA-basismodel (en SimaPro 5.0) te beoordelen, waardoor component en ontwerp keuze tot uiting komen in de milieubelasting van het elektrische ontwerp?

Verschillende deelvragen complementeren deze centrale probleemstelling, waardoor het geheel leidt tot realisering van de doelstelling: "het aanreiken van een zonnecentrale ontwerp waarbij een optimale mix tussen technische en financiële mogelijkheden benut is en waarbij het streven is: een ontwerp met een zo'n laag mogelijke milieubelasting". Hiertoe zijn in eerste instantie de huidige technologische mogelijkheden van fotovoltaïsche zonne-energie en de realisering van netkoppeling van zonne-energiesystemen aan het openbare elektriciteitsnet, geïnventariseerd.

Bij het onderzoek naar de mogelijkheden ter milieubeoordeling van zonnecentrales is de levenscyclusanalyse (LCA) als uitgangspunt gekozen. Bedoeling van dit theoretische deelonderzoek is om tot een algemeen geldend LCA-basismodel ter vergelijking van zonnecentrale ontwerpen te komen, wat door de beoogde praktische hanteerbaarheid als beslissingsinstrument voor het milieuaspect kan dienen. Belangrijkste conclusie in dit deelonderzoek is de benodigde afbakening van de systeemgrenzen waardoor een LCA-basismodel ter vergelijking van zonnecentrale ontwerpen ook daadwerkelijk een praktisch hanteerbaar beslissingsinstrument wordt. De voorgestelde afbakeningswijze bestaat uit een opsplitsing in basis- en veldcomponenten van een zonnecentrale, waarbij alleen de veldcomponenten meegenomen worden in het LCA-basismodel, en uit afbakening per veldcomponent zodat alleen de voor de milieubelasting relevante materialen worden meegenomen. Het uiteindelijk LCA-basismodel voor de vergelijking van zonnecentrale ontwerpen (milieubeoordelingstool) wordt in dit rapport gepresenteerd.

Uit de technologische inventarisatie bleek dat er in feite drie verschillende mogelijkheden zijn om tot een zonnecentrale ontwerp te komen, namelijk op basis van verschillende soorten inverter toepassingen. Men moet hierbij denken aan verschillende vermogensafmetingen van de beschikbare inverters, namelijk 4 à 500 watt, enkele kilowatts en circa 100 kW. De keuze van inverters bepaalt dan in zeer grote mate de configuratie van het zonnecentrale ontwerp, waardoor in dit rapport uiteindelijk drie relevante zonnecentrale ontwerpen uitgewerkt zijn: het DC-principe, het string-inverter-principe en het AC-principe ontwerp. Belangrijkste uitgangspunten voor deze drie ontwerpvarianten zijn het totale PV-vermogen van 5 MWp en de plaatsing van dit vermogen via een green-field opstelling (plaatsing in rijen achter elkaar op een vrij stuk grond). Berekening van de vermogensverliezen welke optreden bij elk zonnecentrale ontwerp, heeft uitgewezen dat het DC-principe ontwerp het meeste vermogen behoudt op de hoofdverdeelinrichting van de zonnecentrale.

De subsidiëringmogelijkheden en premiereregelingen die aangewend kunnen worden voor zonnecentrale projecten zijn onderzocht om zodoende deze op te kunnen nemen in de financiële haalbaarheidsoverzichten van de drie verschillende ontwerpvarianten. Voor de bepaling van de omvang van de verschillende kostenposten is in sommige gevallen beroep gedaan op een aantal fabrikanten en leveranciers en op DHV AIB medewerkers. Bovendien is marktonderzoek verricht middels brieven en internetcorrespondentie. Door combinatie van deze gegevens en de verwachte elektriciteitsopbrengst worden voor de drie ontwerpvarianten verschillende interne rentevoeten verkregen, waarmee keuzen op basis van het financiële aspect konden worden gemaakt. Het DC-principe ontwerp, met een interne rentevoet van -0,89%, bleek bij deze vergelijking het minst verliesgevend te zijn.

Met behulp van het opgestelde LCA-basismodel en SimaPro 5.0 zijn de milieubelastingen bepaald van de drie zonnecentrale ontwerpvarianten. In dit onderzoeksaspect bleek dat de grootste milieu effecten optreden bij de componenten welke in alle drie de ontwerpvarianten opgenomen zijn, namelijk: zonnepanelen en ondersteuningsconstructie. Hierdoor zijn de verschillen in de milieubelasting niet groot, maar wel aantoonbaar, namelijk: 17,65 voor het DC-principe, 20,24 voor string-inverter-principe en 19,05 voor AC-principe (deze getallen zijn indices zonder eenheid). De keuze op basis van het milieuaspect valt dus nu wederom op het DC-principe ontwerp.

Resumerend zijn de afzonderlijke resultaten op een rijtje gezet en werden algemene conclusies getrokken, waarvan de belangrijkste onderzoeksconclusie is dat het DC-principe zonnecentrale ontwerp het optimale zonnecentrale ontwerp blijkt te zijn in dit onderzoek. Als belangrijkste algemene conclusie wordt opgemerkt dat berekening van de financiële haalbaarheid in feite vervangen zou moeten worden door berekening van de economische haalbaarheid, waardoor de geïnternaliseerde milieukosten bij een zonnecentrale project als maatschappelijk gewin tot uiting komen. Hierdoor is de vergelijkbaarheid met conventionele energieprojecten objectiever, waardoor de kansen tot adoptie en implementatie van duurzame energieprojecten in de maatschappij groter zullen worden.

Voorwoord

Als afsluiting van mijn studie Techniek en Maatschappij aan de faculteit Technologie Management van de Technische Universiteit Eindhoven, heb ik de ontwerp optimalisatie van een fotovoltaïsche zonnecentrale onderzocht. Belangrijke aspecten in dit onderzoek waren de technische en financiële mogelijkheden en het ontwerp van een milieubeoordelingstool ter vergelijking van verschillende zonnecentrale ontwerpvarianten. DHV AIB zag hierin mogelijkheden tot het opdoen van vakspecifieke kennis met betrekking tot netgekoppelde zonne-energie systemen en bood mij de mogelijkheid om dit afstudeeronderzoek aldaar te verrichten.

DHV AIB gevestigd in Eindhoven is een onderdeel van de business group Bouw en Industrie van de internationaal georiënteerde onderneming: de DHV groep. Hoofdactiviteit van Bouw en Industrie en DHV AIB is het ontwerpen van productiefaciliteiten voor de industrie. DHV AIB kent in zijn organisatiestructuur drie functionele units waarvan de unit Design & Engineering (D&E) degene is waar uitvoer van dit onderzoek heeft plaatsgevonden. De vijf verschillende kennisgebieden welke D&E onderdak biedt zijn:

- Architectuur & Bouwkunde,
- Infrastructuur,
- Werktuigbouwkunde,
- Elektrotechniek,
- Instrumentation & Control.

Bij het kennisgebied elektrotechniek heb ik, van 1 oktober 2001 tot en met 31 maart 2002, met veel plezier gewerkt. Het leerzame klimaat en de betrokkenheid van de Elektrotechniek en Instrumentation & Control medewerkers, zorgden tezamen voor een zeer aangename afstudeerperiode. Gaarne wil ik iedereen van die twee kennisgebieden daarvoor bedanken en succes wensen in alles wat de toekomst voor hen brengen zal. In het bijzonder wil ik de begeleidende docenten van de TU/e: dhr. Lambert en dhr. Verbong bedanken voor de opbouwende kritiek en aanmoedigingen tijdens deze laatste fase van mijn studie aan de TU/e.

Voor de begeleiding tijdens de werkzaamheden kon ik eigenlijk altijd vertrouwen op en terecht bij mijn bedrijfsbegeleider: Léon Kuipers. Ik heb de begeleiding van hem als zeer prettig, gezellig en professioneel ervaren en ik ben hem daarom uiterst dankbaar. Persoonlijk vind ik dat Léon, die de begeleiding van een afstudeerder voor het eerst heeft mogen doen/ ervaren, dit zeer goed heeft volbracht en daarom zeker een compliment op deze plaats verdient, bij deze!

Erik Caelen
Lieshout, 25 maart 2002

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	II
VOORWOORD.....	IV
INHOUDSOPGAVE.....	V
ILLUSTRATIES.....	VIII
LIJST VAN AFBEELDINGEN.....	VIII
TABELLENLIJST:.....	VIII
TOEGEPASTE AFKORTINGEN, SYMBOLEN EN VOORVOEGSELS.....	X
1. INLEIDING.....	13
1.1 AANLEIDING EN VRAAGSTELLING VAN HET ONDERZOEK.....	13
1.1.1 Aanleiding.....	13
1.1.2 Doelstelling:.....	14
1.1.3 Probleemstelling:.....	14
1.1.4 Deelvragen:.....	14
1.1.5 Integratieve relevantie:.....	15
1.2 REIKWIJDTE, DEELASPECTEN EN OPZET VAN HET ONDERZOEK.....	15
1.3 OPBOUW VAN HET ONDERZOEKSRAPPORT.....	17
1.3.1 Kerngedeelte van het rapport.....	17
1.3.2 Geraadpleegde Literatuur en begrippenverklaringen.....	17
1.4 DE ORGANISATIE.....	18
1.4.1 De DHV Groep.....	18
1.4.2 DHV AIB.....	18
2. MILIEUPROBLEMATIEK EN FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE.....	19
2.1 MILIEUPROBLEMATIEK; DEFINIËRING EN MILIEUEFFECTKETEN.....	19
2.1.1 Ontwikkeling van bewustwording van duurzaamheid en milieu.....	19
2.1.2 Duurzame en maatschappelijke ontwikkeling.....	20
2.1.3. De milieueffectketen.....	22
2.1.4 Energieproductie, conventionele elektriciteitsopwekking en milieuprestaties.....	23
2.1.5 Trendbreuk: de maatschappelijke verantwoording van een zonnecentrale.....	24
2.2 FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE.....	25
2.2.1 Instraling van de zon en klimatologische waarden.....	25
2.2.2 Fotovoltaïsche cel (zonnecel), vervangingsschema en zonnepanelen.....	26
2.2.3 Verschillende typen zonnecellen.....	29
2.3 NETGEKOPPELDE PV-SYSTEMEN.....	30
2.3.1 Voor- en nadelen voor het AC- en DC- principe.....	31
2.3.2 Inverters.....	32
2.3.2.1 DC-AC-conversie efficiency.....	34
2.3.2.2 Harmonische storingen.....	34
2.3.2.3 Radio Frequency Interference (RFI); lichtflikkeringen.....	34
2.3.2.4 Islanding (eiland-bedrijf).....	35
2.3.2.5 Gevoeligheid voor Telecontrol signalen.....	35
3. ONTWERP LCA-BASISMODEL, VOOR DE VERGELIJKING VAN ZONNENCENTRALE ONTWERPEN OP BASIS VAN MILIEUBELASTING.....	36
3.1 DE LEVENSCYCLUSANALYSE IN HISTORISCH PERSPECTIEF.....	36
3.2 DE LEVENSCYCLUSANALYSE METHODE.....	37
3.2.1 De stappen binnen een LCA-onderzoek.....	37
3.2.2 Processen in een levenscyclus.....	39

3.2.3 <i>SimaPro 5.0, de CML 2 baseline 2000 methode en de milieuthema's</i>	39
3.3 DE LCA-STAPPEN VOOR EEN ZONNECENTRALE.....	41
3.4 EEN ZONNECENTRALE EN ZIJN BOUWSTENEN.....	45
3.5 VAN ENERGIEBALANS NAAR ECOLOGISCHE BALANS VOOR EEN ZONNECENTRALE.....	47
3.6 AFBAKENING VAN ZONNECENTRALE COMPONENTEN EN PROCESSEN.....	49
3.6.1 <i>Component afbakening door verdeling in basis- en veldcomponenten</i>	49
3.6.2 <i>Afbakening per veldcomponent: de relevante milieubelastende materialen en processen</i>	49
3.7 HET ALGEMENE LCA-BASISMODEL VOOR ZONNECENTRALE ONTWERPEN.....	51
3.7.1 <i>De milieubeoordelingsstool voor zonnecentrales en het toepassingsgebied</i>	51
3.7.2 <i>Conclusies, overzicht en knelpunten van de milieubeoordelingsstool</i>	54
4. TECHNISCH EN FINANCIËEL ONTWERP VAN EEN ZONNECENTRALE.....	56
4.1. UITGANGSPUNTEN EN CRITERIA VOOR HET ZONNECENTRALE ONTWERP.....	56
4.2. INVLOED COMPONENT KEUZE OP KOSTEN, RENDEMENT EN BETROUWBAARHEID.....	57
4.2.1 <i>Invloed inverter keuze</i>	57
4.2.2 <i>Invloed PV-paneel keuze</i>	58
4.3. REALISEERBARE ZONNECENTRALE ONTWERPEN.....	60
4.3.1 <i>Zonnecentrale ontwerp op basis van het DC-principe</i>	61
4.3.2 <i>Zonnecentrale ontwerp op basis van het string-inverter-principe</i>	62
4.3.3 <i>Zonnecentrale ontwerp op basis van het AC-principe</i>	63
4.3.4 <i>Concluderende technische opmerkingen betreffende de drie ontwerpvarianten</i>	65
4.4. SUBSIDIERINGMOGELIJKHEDEN EN INVESTERINGSPREMIEREGELINGEN.....	65
4.4.1 <i>Besluit CO₂-reductieplan</i>	65
4.4.2 <i>ENERGIE: onderdeel van het vijfde kaderprogramma van de EU</i>	68
4.4.3 <i>De Energie Investeringsaftrek (EIA)</i>	68
4.4.4 <i>Milieu investeringsaftrek (MIA) en Willekeurige afschrijving Milieu-investeringen (VAMIL)</i>	69
4.4.5 <i>De set van subsidiëringen voor de PV- zonnecentrale</i>	70
4.5. FINANCIËLE HAALBAARHEID VAN DE DRIE ZONNECENTRALE ONTWERPEN.....	71
4.6 CONCLUSIES; TECHNISCHE EN FINANCIËLE ASPECTEN VAN DE ONTWERP VARIANTEN.....	73
5. TOEPASSING LCA-BASISMODEL: VERGELIJKING VAN DRIE ZONNECENTRALE ONTWERPEN.....	74
5.1 CENTRALE AANNAMEN IN SIMAPRO EN DE GEHANTEERDE REKENWIJZE.....	74
5.2 INVOER EN DE PROCESBOMEN VAN DE DRIE ONTWERP VARIANTEN IN SIMAPRO.....	76
5.2.1 <i>DC-principe zonnecentrale ontwerp</i>	76
5.2.2 <i>String-inverter zonnecentrale ontwerp</i>	77
5.2.3 <i>AC-principe zonnecentrale ontwerp</i>	77
5.3 DE MILIEUEFFECTEN VAN DE DRIE VERSCHILLENDE ONTWERP VARIANTEN.....	78
5.4 MILIEU BELASTINGEN VAN DE VERSCHILLENDE ONTWERP VARIANTEN.....	79
5.5 CONCLUDERENDE OPMERKINGEN BETREFFENDE HET MILIEUASPECT.....	80
6. RESULTATEN, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	82
6.1 ONDERZOEKSRESULTATEN EN -CONCLUSIES.....	82
6.2 KANTTEKENINGEN.....	83
6.3 AANBEVELINGEN.....	84
LITERATUURLIJST.....	86
BEGRIPPENLIJST.....	91
BIJLAGEN.....	97
BIJLAGE 1 VERMEDEN UITSTOOT DOOR REEDS GEREALISEERDE DUURZAME ENERGIE.....	99
PROJECTEN IN NEDERLAND.....	99
BIJLAGE 2 ORGANOGRAM DHV GROEP.....	100
BIJLAGE 3 ORGANISATIESTRUCTUUR DHV AIB.....	101
BIJLAGE 4 DE GWP ₁₀₀ FACTOREN VAN HET IPCC MODEL.....	102
BIJLAGE 5 REDENERING ACHTER DE WEEGFACTOREN REEKSEN.....	103

BIJLAGE 6	DE PRODUCTIEKOSTEN, EFFICIENCY EN ETVT VAN VERSCHILLENDE ZONNECEL TYPEN	104
BIJLAGE 7	DE 'TECHNOLOGY MAPS' VAN DE PRODUCTIEPROCESSEN VAN VERSCHILLENDE TYPEN ZONNEPANELEN.....	105
BIJLAGE 8	DE MILIEUBEOORDELINGSTOOL VOOR ZONNECENTRALES.....	109
BIJLAGE 9	KOSTENVARIABILITEIT VAN DE INVERTER KEUZE	115
BIJLAGE 10	KOSTENVARIABILITEIT VAN DE PV-PANEEL KEUZE	117
BIJLAGE 11	TECHNISCHE SPECIFICATIES VAN DE SHELL SOLAR RSM 110 PV-PANELEN.....	118
BIJLAGE 12	HET DC-PRINCIPE ZONNECENTRALE ONTWERP	121
BIJLAGE 13	BEKABELINGSTRUCTUUR VAN HET DC-PRINCIPE ONTWERP.....	122
BIJLAGE 14	HET STRING-INVERTER-PRINCIPE ZONNECENTRALE ONTWERP	124
BIJLAGE 15	BEKABELINGSTRUCTUUR VAN HET STRING-INVERTER-PRINCIPE ONTWERP.....	126
BIJLAGE 16	HET AC-PRINCIPE ZONNECENTRALE ONTWERP	128
BIJLAGE 17	BEKABELINGSTRUCTUUR VAN HET AC-PRINCIPE ONTWERP.....	130
BIJLAGE 18	BEREKENINGEN VAN DE VERMOGENSVERLIEZEN	132
BIJLAGE 19	DE WERKGEBIEDEN VAN HET ALTENER PROGRAMMA.....	133
BIJLAGE 20	HET STANDAARD CASH FLOW SCHEMA VOOR ZONNECENTRALES.....	134
BIJLAGE 21	ONTWERP EN KOSTEN VAN DE ONDERSTEUNINGSCONSTRUCTIE.....	136
BIJLAGE 22	ONTWERP EN KOSTEN VAN DE HOOFD LAAG/HOOGSPANNING VERDEELINRICHTING INCLUSIEF DE TRANSFORMATORUNIT	137
BIJLAGE 23	ONTWERP VAN HET GEBOUW BIJ DE ZONNECENTRALE	138
BIJLAGE 24	CASH FLOW SCHEMA VOOR HET DC-PRINCIPE ONTWERP	139
BIJLAGE 25	KOSTENVERKLARING EN BRONSPECIFICATIES VAN HET DC-PRINCIPE ONTWERP	141
BIJLAGE 26	CASH FLOW SCHEMA VOOR HET STRING-INVERTER-PRINCIPE ONTWERP	142
BIJLAGE 27	KOSTENVERKLARING EN BRONSPECIFICATIES VAN HET STRING-INVERTER-PRINCIPE ONTWERP.....	144
BIJLAGE 28	CASH FLOW SCHEMA VOOR HET AC-PRINCIPE ONTWERP	145
BIJLAGE 29	KOSTENVERKLARING EN BRONSPECIFICATIES VAN HET AC-PRINCIPE ONTWERP	147
BIJLAGE 30	MATERIALEN EN GEWICHTEN PER KABELSOORT	148
BIJLAGE 31	OPBOUW IN SIMAPRO VAN HET DC-PRINCIPE ONTWERP	149
BIJLAGE 32	PROCESBOMEN VAN DE ZONNECENTRALE ONTWERP VARIANTEN	153
BIJLAGE 33	OPBOUW IN SIMAPRO VAN HET STRING-INVERTER-PRINCIPE ONTWERP	154
BIJLAGE 34	OPBOUW IN SIMAPRO VAN HET AC-PRINCIPE ONTWERP	158
BIJLAGE 35	MILIEU EFFECTEN VAN DE DRIE ONTWERP VARIANTEN ASSEMBLIES	162
BIJLAGE 36	MILIEU EFFECTEN VAN DE DRIE ONTWERP VARIANTEN LIFE CYCLES.....	168
BIJLAGE 37	WEGING VAN DE MILIEUEFFECTEN TOT MILIEUBELASTINGEN	174
BIJLAGE 38	CASH FLOW SCHEMA VAN DC-PRINCIPE ONTWERP MET ASE300-DG-FT-PANELEN	175

Illustraties

Lijst van afbeeldingen:

Afbeelding 1.1: schematisch overzicht van de onderzoeksaspecten en hun onderlinge samenhang.

Afbeelding 2.1: interactie van cultuur, structuur en technologie [¹⁵].

Afbeelding 2.2: de milieueffectketen; beschrijving van het ontstaan van milieuproblemen [¹⁷].

Afbeelding 2.3: bijdrage van doelgroepen aan de CO₂-emissie in 1997 [¹³].

Afbeelding 2.4: instraling in Nederland; hellingshoek en azimut [³].

Afbeelding 2.5: de generatie van een elektron-gat paar door invallend licht (foton).

Afbeelding 2.6: opbouw van een fofovoltaïsche cel (a) en volgorde van de opeenvolgende processen (b) [³].

Afbeelding 2.7: vervangingsschema van een fofovoltaïsche zonnecel in zijn meest elementaire vorm [³].

Afbeelding 2.8: stroomspanning karakteristiek en vermogensspanning karakteristiek van een zonnecel [³].

Afbeelding 2.9: opbouw van een netgekoppeld PV-systeem met DC-koppelkast(-en) [^{3, 25}].

Afbeelding 2.10: netgekoppeld PV-systeem opgebouwd uit 4 AC-zonnepanelen [³].

Afbeelding 3.1: raamwerk van een LCA-onderzoek [³⁶].

Afbeelding 3.2: processen in de levenscyclus van een product of proces.

Afbeelding 3.3: procesboom van een zonnecentrale.

Afbeelding 3.4: overzicht van de elektrische configuratie van een zonnecentrale.

Afbeelding 3.5: de ecologische balans van een zonnecentrale.

Afbeelding 3.6: "Schematisch basismodel"

Afbeelding 3.7: toepassing, overzicht en knelpunten van het model

Afbeelding 4.1: de totale prijzen voor de zes verschillende inverter mogelijkheden

Afbeelding 4.2: prijzen van de acht PV-paneel mogelijkheden voor de zonnecentrale.

Afbeelding 4.3: weergave van het green field en de situering van de array's.

Afbeelding 5.1: voorstelling van de opbouw van procesbomen in SimaPro.

Afbeelding 5.2: vergelijking meest en minst milieubelastende zonnecentrale ontwerp

Tabellenlijst:

Tabel 2.1: typen zonnecellen en hun rendementen

Tabel 3.1: de mondiale en nationale bijdrage aan de verschillende milieu effecten [⁴⁰]

Tabel 3.2: gekozen set van weegfactoren.

Tabel 3.3: componenten en bouwstenen van een fofovoltaïsche zonnecentrale [^{21, 22, 24, 41, 42, 43, 44}].

Tabel 3.4: indicatie van relevante milieubelastende materialen en processen van de veld componenten [^{24, 25, 41, 46}].

Tabel 4.1: zes verschillende mogelijkheden voor de totale invertercapaciteit

Tabel 4.2: acht PV-paneel mogelijkheden voor de totale zonnecentrale

Tabel 4.3: onderdelen van het DC-principe zonnecentrale ontwerp

Tabel 4.4: onderdelen van het string-inverter-principe zonnecentrale ontwerp

Tabel 4.5: onderdelen van het AC-principe zonnecentrale ontwerp

Tabel 4.6: vergelijking van de vermogensverliezen van de drie ontwerpvarianten

Tabel 4.7: vergelijking van de financiële parameters van de drie zonnecentrale ontwerpen

Tabel 5.1: berekening ontwerp specifieke elektriciteitslevering.

Tabel 5.2: de milieubelastingen van de zonnecentrale ontwerpen

Tabel 6.1: overzicht van de resultaten van het onderzoek

Tabel B.1: Overzicht van de 3 verschillende reeksen weegfactoren vanuit 3 perspectieven

Tabel B.2: Productiekosten, efficiency, energie input en ETVT van verschillende zonnecel typen [⁴⁶]

Tabel B.3: normalisatie waarden, weegfactoren en gevoeligheidsanalyse van de milieubelasting
beoordelingstool

Tabel B.4: indicatie van relevante milieubelastende materialen en processen van de veld componenten

Tabel B.5: Inverter prijzen overzicht

Tabel B.6: PV-panelen prijzen overzicht

Toegepaste afkortingen, symbolen en voorvoegsels

Afkortingen

1f.	: éénfasig
3f.	: driefasig
AC	: Alternative Current (wisselstroom of wisselspanning)
ADF	: Abiotic Depletion Factor (Abiotische uitputtingsfactor)
ADP	: Abiotic Depletion Potential (Abiotisch uitputtingspotentieel)
AP	: Acidification Potential (verzuringspotentieel)
a-Si	: Amorf Silicium
BG	: Business Group
CIS	: Koper indium-diselenide-achtigen
CML	: Centrum voor Milieukunde te Leiden
cosφ	: cosinus phi; fasedraaiing tussen het werkelijke vermogen (kW) en het blindvermogen (kVA _r)
c-Si	: Monokristallijn Silicium
DC	: Direct Current (gelijkstroom of gelijkspanning)
ECA	: Eco-toxicity Aquatisch
ECT	: Ecotoxicity Terrestrial
eg-Si	: electronic grade Silicium
EIA	: Energie Investerings Aftrek
EIZ	: Energie Investerende Zijde
ELZ	: Energie Leverende Zijde
EMC	: Elektro Magnetische Compatibiliteit
ETVT	: Energie Terug Verdien Tijd
EU	: Europese Unie
EZ	: Economische Zaken
FAETP	: Fresh water (Aqua) Eco-toxicity Potential
f-Si	: Dunne film kristallijn Silicium
GWP	: Global Warming Potential (klimaatverandering door toename van de temperatuur)
GWP ₁₀₀	: Global Warming Potential voor een periode van 100 jaar
GTO	: Gate Turn Off (Bijzondere thyristorsoort: afschakelen door middel van negatieve gatepuls)
HT	: Human Toxicity (Humane Toxiciteit)
IEC	: International Electrotechnical Commission
IGBT	: Insulated Gate Bi-polar Transistor
IPCC	: Intergovernmental Panel for Climate Change
IR	: Interne Rentevoet
ISO	: International Organization for Standardization
KBA	: Kosten Baten Analyse
LCA	: Life Cycle Assessment (Levenscyclusanalyse)
MAETP/SAETP	: Marine or Sea water (Aqua) Eco-toxicity Potential
Mc-Si	: Multikristallijn (of polykristallijn) Silicium
MCA	: Multi Criteria Analysis
mg-Si	: metallurgic grade Silicium
MIA	: Milieu investeringsaftrek
MLVP	: Main Low Voltage Panel (hoofd laagspanning verdeelinrichting)
MOSFET	: Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect transistor {FET (<i>field-effect transistor</i>) A three-terminal transistor device where the output current flowing between the <i>source</i> and <i>drain</i> terminals is controlled by a variable electric field applied to the <i>gate</i> terminal. The gate design determines the type of FET: either JFET (<i>junction FET</i>) or MOSFET (<i>metal-oxide semiconductor FET</i>). Each type has two polarities: positive, or <i>p-channel</i> devices, and negative, or <i>n-channel</i> devices. In a JFET device the gate forms a true semiconductor junction with the channel, while in a MOSFET device the gate is insulated from the channel by a very thin (typically less than the wavelength of light) layer of glass (<i>silicon dioxide</i>) and the gate is either metal or doped silicon (<i>polysilicon</i>), hence the acronym <i>metal-oxide semiconductor</i> [http://www.rane.com/digi-dic.html]}
MPPT	: Maximum Power Point Tracker
NMP3	: Nationaal MilieubeleidsPlan 3 ^e plan
NNI	: Nederlands Normalisatie-instituut
NOH	: Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van afvalstoffen
NP	: Nitrification Potential (Eutrofiëring)
N-Si	: Geleiding wordt in het Silicium voornamelijk veroorzaakt door elektronen (n)
ODP	: Ozone Depletion Potential (Ozonuitputtingspotentieel)

OZC	: Organische (polymere) cellen
PLC	: Programmable Logic Control
POCP	: Photochemical Oxidant Creation Potential (Fotochemische Oxidantvorming)
P-Si	: Geleiding wordt in het Silicium voornamelijk veroorzaakt door de gaten (p)
PV	: Photo Voltaic (Fotovoltaïsch)
R&D	: Research end Development (Onderzoek en Ontwikkeling)
REB	: Regulerende Energie Belasting
RFI	: Radio Frequency Interference (interferentie door radio frequentie signalen)
SETAC	: Society of Environmental Toxicology and Chemistry
sg-Si	: solar grade Silicium
TETP	: Terrestrial Ecotoxicity Potential
VAMIL	: Willekeurige (Variabele) afschrijving Milieu-investeringen
VE	: Vermogens Elektronische
VROM	: Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu
WMO	: World Meteorological Organization

Afgekorte chemische verbindingen

Cd	: Cadmium
CdTe	: Cadmium Telluride
CFK's	: Chloorfluorkoolwaterstoffen (volledig gehalogeneerd)
CH ₄	: Methaan
CO ₂	: Koolstofdioxide
EVA	: Ethyleen Vinyl Acetaat
HFK's	: (onvolledig gehalogeneerde) Fluorkoolwaterstoffen
NH ₃	: Ammoniak
N ₂ O	: Distikstofoxide (lachgas)
NO ₂	: Stikstofdioxide
NO _x	: Stikstofoxiden
PFK's	: Perfluorkoolwaterstoffen, (volledig gehalogeneerde fluorkoolwaterstoffen)
PO ₄	: Fosfaat
PVF	: Polyvinyl fluoride
SF ₆	: Zwavelhexafluoride
SO ₂	: Zwavel dioxide
SO _x	: Zwaveloxiden

Eenheden

A	: Ampère
F	: Farad
H	: Henry
J	: Joule
Jr of yr	: jaar
kWh	: kilowattuur
m	: meter
N	: Newton
s	: seconde
t	: ton (1000 kg)
V	: Volt
W	: Watt ($W = J/s$)
W _p	: Wattpiek ($W = J/s$)
Ω	: Ohm
°C	: graden Celcius

<i>Symbolen</i>	<i>Grootheden</i>	<i>Eenheden</i>
C	Capaciteit	[F]
E_{cond}	Energie conductieband	[J]
E_f	Foton energy	[J]
E_g	Energy Gap	[J]
E_{val}	Energie valentieband	[J]
I	Stroomsterkte	[A]
I_0	Opvallende lichtintensiteit (stralingsintensiteit)	[W/m ²]
I_d	Diode stroom	[A]
I_f	Fotostroom	[A]
I_{mp}	Stroom in maximale vermogenspunt	[A]
I_s	Sperstroom	[A]
I_{sc}	Kortsluitstroom	[A]
L	Inductie	[H]
λ	Golflengte	[m]
$P_{\text{max.}} = P_{\text{mpp}}$	Vermogen in het maximale vermogenspunt	[W]
R	Weerstand	[Ω]
η	Rendement (European Efficiency)	[%]
T	Temperatuur	[°C]
V of U	Spanning	[V]
V_{mp}	Spanning in maximale vermogenspunt	[V]
V_{oc}	Open klem spanning	[V]

Constanten

c	Lichtsnelheid	$3,0 \cdot 10^8$	[m/s]
h	Constante van Planck	$6,626 \cdot 10^{-34}$	[Js]
k	Constante van Boltzmann	$1,381 \cdot 10^{-23}$	[J/K]
q	Lading van een elementair deeltje (electron)	$1,6 \cdot 10^{-19}$	[C]

Voorvoegsels

k	:kilo	: 10^3
M	:Mega	: 10^6
G	:Giga	: 10^9
T	:Tera	: 10^{12}
P	:Peta	: 10^{15}

1. Inleiding

Opwekking van elektriciteit, kracht en warmte uit fossiele brandstoffen (steenkool, aardgas en olie) brengt blijvende schade toe aan het 'ecosysteem' (ons leefmilieu). Bij de verbranding van deze brandstoffen komen schadelijke gassen vrij. Eén daarvan is het broeikasgas CO₂ dat bij doorgroeiende uitstoot zelfs tot een verandering van het klimaat kan leiden [¹]. Vrijkomende stikstofoxiden (NO_x) en zwaveloxiden (SO_x) veroorzaken zure regen [¹]. Daarnaast dreigen de fossiele brandstofvoorraden (natuurlijke hulpbronnen) op (lange) termijn uitgeput te raken [²].

De inzet van 'duurzame energie' veroorzaakt, in principe geen schadelijke emissies naar het milieu en blijft altijd (oneindig voor menselijk begrip) beschikbaar [²]. Duurzame energie wordt nog maar sinds kort als integraal thema en uitdaging door de overheid en de energiesector aangepakt. Door de ruime beschikbaarheid van het goedkope aardgas en het relatief schone karakter van deze brandstof, kenmerkt de ontwikkeling van duurzame energie in Nederland zich door een late start (zie bijlage 1).

Toch werd begin 2000 bijna 1,2% van het Nederlandse energieverbruik gedekt door duurzame energiebronnen (ruim 35 PJ vermeden fossiele brandstoffen) [²]. De belangstelling voor duurzame energie is groot, er is sprake van een snel groeiend aantal initiatieven voor duurzame energieprojecten, mede door het stimulerings- en subsidiëringbeleid van de Ministeries van Economische Zaken (EZ) en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM). De liberalisering van de groene stroom markt (in 2004 volgt de grijze stroom markt voor elke afnemer) heeft ook een stimulerende werking op de energieleveranciers, hierdoor proberen zij actief groene energie klanten te werven. Maar de doelstelling: om nationaal 10% (288 PJ) duurzame energie opwekking te realiseren in 2020, is en blijft een ambitieuze [²].

Zonne-energie heeft nog niet zoveel kunnen bijdragen aan vermindering van het verbruik van fossiele brandstoffen (slechts 1,4% van de 35,3PJ, zie bijlage 1). Dit komt omdat de kostprijs van zonnepanelen en collectoren nog steeds te hoog is, waardoor de kWh-prijs van zonne-energie niet concurrerend is met verscheidene andere duurzame energie soorten en conventioneel opgewekte energie [³]. Echter het imagooversterkende karakter van zonne-energie [²], de voorspelde prijsdalingen van zonnepanelen [³], de subsidiëringmogelijkheden [⁴] en de voorspelde toename van de elektriciteitsopwekking door de toenemende elektriciteitsvraag in de komende jaren [⁵], bieden goede vooruitzichten voor zonne-energie projecten in de nabij toekomst.

1.1 Aanleiding en vraagstelling van het onderzoek

1.1.1 Aanleiding

Aanleiding voor dit onderzoek naar de ontwerp optimalisering van een fotonvoltaïsche zonnecentrale en de verschillende mogelijkheden daartoe, is de toenemende interesse van DHV AIB (organisatie waar dit onderzoek is uitgevoerd, zie paragraaf 1.4) in de mogelijkheden en toepassingen van duurzame energiebronnen in de bouw en industrie. Uitgangspunt van DHV AIB voor dit onderzoek is het opdoen van vakspecifieke kennis van zonnecentrale ontwerpen op de gebieden: technische mogelijkheden, financiële gevolgen en duurzaamheid. De interesse vanuit de TU/e bestaat voornamelijk uit de mogelijkheden tot milieubeoordeling van duurzame energie

¹ Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling 'Technologie en Duurzaamheid', TU/e, 2000.

² <http://www.pde.nl/de> Duurzame energie site van projectbureau duurzame energie, oktober 2001.

³ Zolingen van R.J.Ch. 'Hoofdstuk 6 van collegedictaat Blijvende Energie Bronnen (4P510)', TU/e, 2001.

⁴ <http://www.novem.nl> internetsite van de Nederlandse Onderneming Voor Energie en Milieu, oktober 2001.

⁵ <http://www.cbs.nl/nl/statline> internetsite van Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), oktober 2001.

opwekkingseenheden, zoals een fotovoltaïsche zonnecentrale. Tezamen heeft dit geleid tot de hieronder weergegeven doel- en probleemstelling van het onderzoek en tot de mogelijkheid dit onderzoek uit te voeren bij en voor DHV AIB te Eindhoven.

1.1.2 Doelstelling:

Algemeen doel van dit project is om tot een ontwerp van een fotovoltaïsche zonnecentrale te komen, waarbij een optimale mix tussen technische en financiële mogelijkheden zal worden benut. Bij technische mogelijkheden moet men aan verschillende typen zonnepanelen, elektrische componenten, netwerk configuraties, rendement en leveringsbetrouwbaarheid denken waarbij de uiteindelijke keuze van het ontwerp financieel haalbaar moet zijn.

Wetenschappelijke / theoretische relevantie:

Extra karakteristiek (sociaal /milieu) van dit project is de duurzaamheid van de energie verkregen uit de ontworpen zonnecentrale (groene stroom). Hierdoor is het interessant om te kunnen beoordelen in welke mate zonnepanelen, elektrische componenten en verschillende netwerk configuraties (bekabeling) van een zonnecentrale ontwerp het milieu belasten.

Om de milieubelasting van een zonnecentrale ontwerp in kaart te kunnen brengen en vergelijking van verschillende ontwerpen mogelijk te maken, zal een algemeen model ten behoeve van LCA (Life Cycle Assessment) voor zonnecentrales ontworpen worden, waarmee enkele zonnecentrale ontwerpvarianten met elkaar vergeleken kunnen worden. Dit algemene LCA-basismodel (milieubeoordelingsstool voor zonnecentrales) moet randvoorwaarden, een afbakeningswijze, de relevante milieubelastende componenten en een rekenwijze aangeven welke bij de uitvoering van een LCA, ter vergelijking van zonnecentrale ontwerpen, in acht moeten worden genomen. Hierdoor zou het mogelijk moeten worden om een kwalitatieve vergelijking van verschillende zonnecentrale ontwerpen te maken, waardoor op basis van de verschillen in milieubelasting van de zonnecentrale ontwerpen een keuze onderbouwd kan worden.

1.1.3 Probleemstelling:

Door middel van welke (praktisch hanteerbare) afbakeningswijze, wordt het mogelijk om een elektrisch ontwerp van een fotovoltaïsche zonnecentrale via een algemeen LCA-basismodel (en SimaPro 5.0) te beoordelen, waardoor component en ontwerp keuze tot uiting komen in de milieubelasting van ontwerpvarianten?

1.1.4 Deelvragen:

- Hoe veroorzaken milieu-ingrepen bepaalde milieueffecten en ontstaan milieuproblemen, en welke rol speelt een (alternatieve) technologie (bijvoorbeeld zonnecentrales) hierin?
- Welke verschillende elektrische ontwerpen voor een zonnecentrale zijn realiseerbaar, technisch en financieel gezien en wat is de invloed van een bepaald ontwerp op de betrouwbaarheid en het rendement van energielevering en de kosten van dat ontwerp?
- Welke componenten van een zonnecentrale moeten worden opgenomen in het op te stellen algemene LCA basismodel?
- Hoe kan aan het algemene LCA-basismodel vorm gegeven worden, zowel inhoudelijk als modelmatig?
- Wat zijn de milieubelastingen (kwalitatief) van de ontworpen zonnecentrale varianten tijdens de gehele levensduur?
- Is het mogelijk om de zonnecentrale ontwerpvarianten met elkaar te vergelijken op basis van de milieubelasting via het opgestelde LCA-basismodel voor zonnecentrales?
- Welke zonnecentrale ontwerpvariant is het meest optimale ontwerp, wanneer alle onderzoeksaspecten (technisch, financieel en milieu) meegenomen worden in de beoordeling?

1.1.5 Integratieve relevantie:

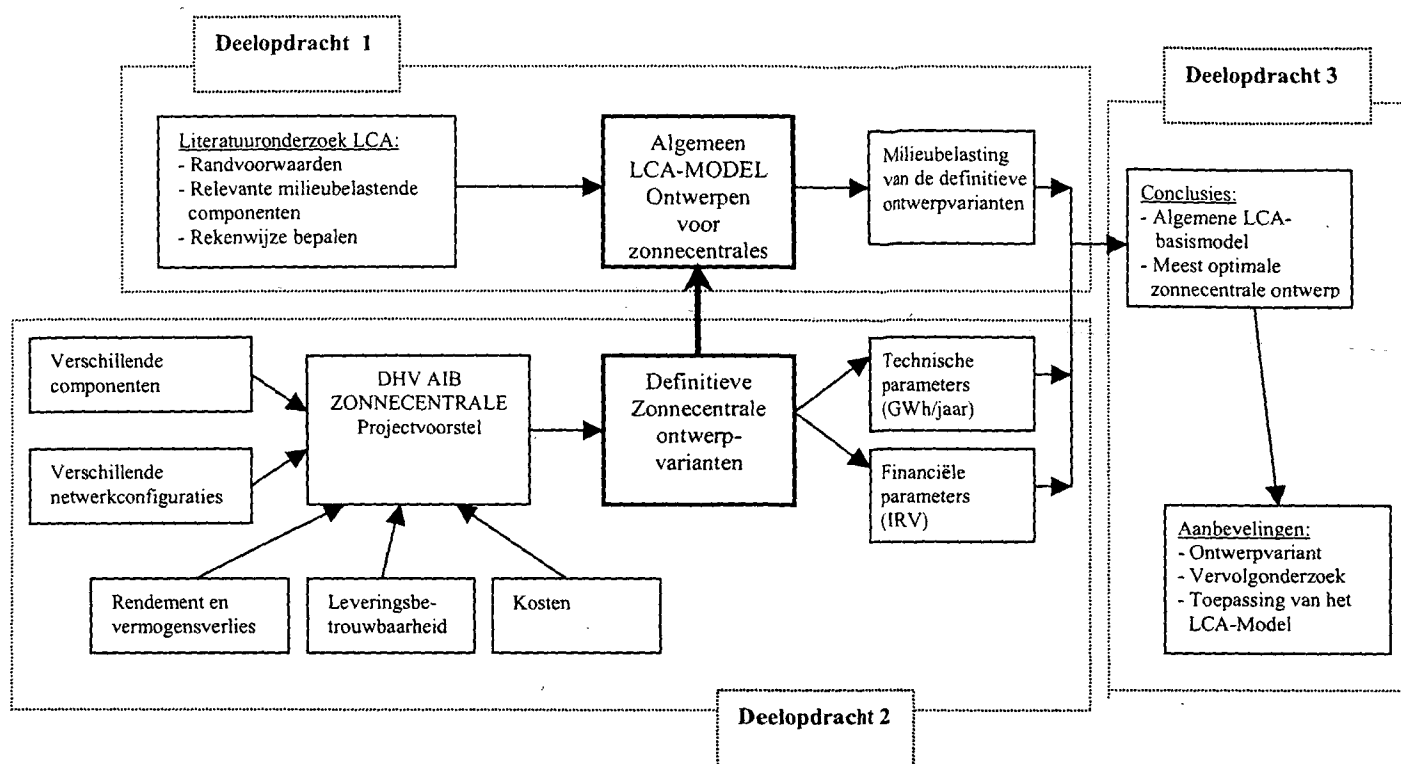
Zonnecentrales dienen een maatschappelijk nut (publiek belang) door de elektriciteitsvoorziening voor bijvoorbeeld ondernemingen en particulieren (huishoudens) en door de keuze om deze elektriciteit op een duurzame wijze op te wekken. Aan de andere zijde staat de opdrachtgever of projectontwikkelaar (privaat belang) die zullen proberen om een zonnecentrale project financieel aantrekkelijk te laten zijn. Hierdoor ontstaat een situatie waarin het belangrijk is om onafhankelijke afwegingen te maken tussen beide belangen, waarvoor een integratieve aanpak, reeds in de ontwerpfase van de zonnecentrale onontbeerlijk is.

Een successieve optimalisering van een fotonvoltaïsche zonnecentrale (als geïntegreerd project) kan alleen maar geschieden door alle van belangzijnde aspecten van de verschillende belangengroepen ter beoordeling mee te nemen. In dit onderzoek worden technische, financiële en milieuaspecten (vanuit meerdere perspectieven) van een fotonvoltaïsche zonnecentrale onderzocht, hierdoor zullen de uitkomsten van deze verschillende aspecten leiden tot integrale conclusies ter optimalisering van fotonvoltaïsche zonnecentrales.

1.2 Reikwijdte, deelaspecten en opzet van het onderzoek

Dit onderzoek kent 2 aspecten, namelijk een theoretische kijk op de mogelijkheid tot het opstellen van een algemene procedure op basis van LCA, waarmee zonnecentrale ontwerpen op basis van de milieubelasting met elkaar vergeleken kunnen worden. Belangrijk aspect hierin is de wijze van afbakening waardoor vergelijking van ontwerpvarianten mogelijk moet worden waarbij niet elk detail van een bepaalde (deel) component een apart diepgaand onderzoek vereist, maar waarmee een modulair model verkregen wordt dat als beslissingstool gebruikt kan worden.

De meer praktische blik van dit onderzoek ligt in het technische en financiële ontwerp van enkele zonnecentrale ontwerpvarianten welke mogelijk wordt toegepast kunnen worden voor concrete projecten in de toekomst. Deze ontwerpvarianten worden beoordeeld op vermogensverlies, leveringsbetrouwbaarheid, rendement en kosten. Tezamen worden deze 2 inzichten gekoppeld waardoor een wisselwerking ontstaat waarin de praktische ontwerpvarianten gebruikt worden voor toetsing (case study) van de opgestelde theoretische LCA-procedure (LCA-basismodel voor zonnecentrales), en waarmee dus uiteindelijk uitspraken over de praktische ontwerpvarianten mogelijk worden op basis van kosten, technische prestaties en milieubelasting (door gebruik van het LCA-basismodel). Om de onderlinge samenhang van de onderzoeksaspecten te verduidelijken zijn in afbeelding 1.1 de onderzoeksaspecten en de verbanden tussen deze aspecten aangegeven. In deze afbeelding is ook aangegeven hoe deze onderzoeksaspecten tezamen leiden tot de conclusies op basis van technische, financiële en milieuaspecten.



Afbeelding 1.1: schematisch overzicht van de onderzoeksaspecten en hun onderlinge samenhang.

In dit rapport wordt gebruik gemaakt van zowel het beschrijvende als het exploratieve onderzoekstype. De hieronder genoemde deelonderzoeken zijn van een *beschrijvende* aard:

- Maatschappelijk onderzoek naar het ontstaan van milieueffecten en het besef van milieuproblemen door de maatschappij en de rol die een zonnecentrale (de technologie) hierin kan spelen.
- Onderzoek naar geschikte elektrische ontwerp mogelijkheden voor een zonnecentrale van deze omvang en specifieke eigenschappen en wensen.
- Onderzoek naar de technische eigenschappen en financiële haalbaarheid van verschillende ontwerpvarianten.
- Onderzoek naar de relevantie van de milieubelasting van de verschillende componenten van een zonnecentrale ontwerp.
- Opstellen van een algemeen LCA-basismodel (procedure) voor de vergelijking van zonnecentrale ontwerpvarianten.
- Bepaling van de milieubelastingen van het verschillende zonnecentrale ontwerpen door middel van het opgestelde algemene LCA-basismodel.

Een tweetal onderzoeksaspecten is *exploratief* van aard, namelijk:

- Vergelijking van de verschillende zonnecentrale ontwerpen met als parameters de elektriciteitslevering (betrouwbaarheid), bouw- en exploitatiekosten (NCW en IRV).
- Case study waarin de mogelijkheid tot vergelijking van verschillende zonnecentrale ontwerpvarianten op basis van de milieubelasting, middels het opgestelde LCA-basismodel, onderzocht wordt.

1.3 Opbouw van het onderzoeksrapport

1.3.1 Kerngedeelte van het rapport

Dit onderzoeksrapport bestaat uit 6 hoofdstukken waarin verschillende facetten van de ontwerp optimalisatie van een fotovoltaïsche zonnecentrale aan bod komen. Ten eerst worden doel- en probleemstelling van het onderzoek, de verschillende onderzoeksaspecten en hun onderlinge samenhang beschreven in het inleidende hoofdstuk 1.

In hoofdstuk 2 worden in het eerste gedeelte de maatschappelijke facetten van de milieuproblematiek, duurzame energie en zonne-energie besproken. Het tweede gedeelte van dit hoofdstuk gaat in op de technische achtergronden, technische mogelijkheden en netgekoppelde toepassingen van fotovoltaïsche zonne-energie. Tevens komt een stuk regelgeving en problematiek betreffende netvervuiling aan de orde welke belangrijk zijn voor de netkoppeling van decentrale opwekkers (bijvoorbeeld een zonnecentrale) aan het openbare elektriciteitsnet. Theoretische studie naar de mogelijkheid tot het opstellen van een algemeen geldend basismodel voor de beoordeling van zonnecentrale ontwerpen, op basis van LCA is in hoofdstuk 3 van dit rapport geplaatst. Hierin wordt gewerkt naar een praktische hanteerbare procedure (het LCA-basismodel) waarmee zonnecentrale ontwerpvarianten met elkaar vergeleken kunnen worden op basis van de milieubelasting.

De technische ontwerp mogelijkheden en de financiële consequenties van deze verschillende ontwerpvarianten komen aan bod in hoofdstuk 4. Er worden drie ontwerpvarianten onderscheiden op basis van de verschillende configuraties die het gevolg zijn van verschillende inverter opties. Deze drie ontwerpvarianten zijn technisch (paragraaf 4.3) en financieel (paragraaf 4.4 en 4.5) uitgewerkt en worden met elkaar vergeleken op basis van technische prestaties en kosten van het ontwerp. In hoofdstuk 5 wordt het opgestelde LCA-basismodel toegepast voor de vergelijking van de drie zonnecentrale ontwerpvarianten, waardoor de milieubelastingen voor de verschillende ontwerpvarianten naar voren komen. In hoofdstuk 6 zijn de resultaten van de bevindingen geëvalueerd en conclusies geformuleerd ten einde aan de doelstellingen van dit onderzoek te voldoen. Tevens zijn in hoofdstuk 6 een aantal aanbevelingen ter optimalisering van zonnecentrale ontwerpen, en voor mogelijk vervolg onderzoek, aangegeven.

1.3.2 Geraadpleegde Literatuur en begrippenverklaringen

Wanneer voor de eerste maal in de hoofdtekst van dit onderzoeksrapport naar een bepaald literatuurstuk verwezen wordt, staat de literatuurverwijzing in de voetnoot van de betreffende pagina. Als verderop nogmaals (of nog meerdere malen) naar hetzelfde literatuurstuk verwezen wordt, is dit niet meer opnieuw geplaatst in de voetnoot, maar is dit aan de hand van de nummering terug te vinden in de algemene literatuurlijst achter in dit onderzoeksrapport.

Voor de begrippen en termen welke in dit rapport aangegeven zijn middels '.....', is een verklarende uitleg geplaatst in de begrippenlijst welke tracht het begrip nader toe te lichten. Deze begrippenlijst is op alfabetische volgorde gerangschikt en op het einde van dit onderzoeksrapport terug te vinden. Sommige begrippen zijn voorzien van een wat ruimere toelichting om het begrip en (in)directe gevolgen beter te kunnen verwoorden.

1.4 De organisatie

1.4.1 De DHV Groep

De DHV Groep (DHV Holding BV), vernoemd naar de oprichtende ingenieurs in 1917: Dwars, Heederik en Verhey, is een internationaal advies- en ingenieursbureau dat diensten verleent en duurzame oplossingen aanbiedt in de markten: Transport en Infrastructuur, Bouw en Industrie, Water, Telecommunicatie, Ruimtelijke Ordening en Milieu. De DHV organisatiestructuur is verdeeld in zes business groups (BG): Milieu en Infrastructuur, Bouw en Industrie, Water, DHV SGPS, Stewart Scott International en Emerging Economies. De eerste drie zijn markt georiënteerde de laatste drie geografisch georiënteerde Business Groups [⁶]. Een organogram is opgenomen in bijlage 2 van dit rapport. Het hoofdkantoor van de DHV Groep is gevestigd in Amersfoort sinds 1920. Anno 2000 is het bedrijf uitgegroeid tot een onderneming met ruim 3600 medewerkers in 37 verschillende landen [⁷]. Alleen al in Nederland heeft DHV ruim 35 vestigingen in 23 verschillende steden, een daarvan is DHV AIB (Advies en Ingenieurs Bureau, voorheen: Architectuur, Industrie en Bouw) te Eindhoven [⁸].

De strategie van de DHV Groep is gericht op de combinatie van kenniscentra, met erkende expertise gebieden in zowel de publieke als private sector en een netwerk van bedrijven in een groot aantal landen, en de lokale aanwezigheid waarbij marktorientatie centraal staat [⁷]. Verder richt de bedrijfsstrategie zich op het versterken van de DHV Groep als één geheel [⁷]. De gekozen marktbenadering, kenmerkt zich door een spreiding over klanten groepen, landen, regio's en kernactiviteiten.

1.4.2 DHV AIB

DHV AIB is onderdeel van de BG Bouw en Industrie (zie bijlage 2), welke als hoofdactiviteit heeft het ontwerpen van productiefaciliteiten voor de industrie. DHV AIB is een multidisciplinair advies- en ingenieursbureau, dat zich met name richt op nationaal en internationaal opererende industriële en winst georiënteerde opdrachtgevers. Deze relaties hebben een sterke behoefte aan multidisciplinaire technische expertise met betrekking tot hun kapitaalsinvesteringen. DHV AIB adviseert hen daarbij op het gebied van ontwerp en engineering (architectuur, bouwkunde en constructies, werktuigbouwkunde, infrastructuur en elektrotechniek), management consultancy, project- contract- en exploitatiemanagement [⁹].

DHV AIB bedient verschillende markten waarvoor het bedrijf verscheidene markt units heeft opgericht, te weten: Elektronica, Telecom, Fine chemical/ pharma/ voeding & genot, Philips, Internationaal en Commercieel vastgoed. Om deze markten te kunnen bedienen zijn er een drietal verschillende functionele units; Projectmanagement & Management Consultancy, Design & Engineering en Procestechniek en een aantal service units [⁹]. Een overzicht van de organisatiestructuur van DHV AIB is opgenomen in bijlage 3 van dit rapport.

⁶ DHV Plaza DHV's intranet, oktober 2001.

⁷ DHV 'Jaarverslag DHV 2000'

⁸ [Http://www.dhv.nl](http://www.dhv.nl) internetsite van DHV, oktober 2001.

⁹ DHV AIB 'Startpagina DHV AIB', oktober 2001.

2. Milieuproblematiek en fotovoltaïsche zonne-energie

Dit hoofdstuk behandelt de Technische en Maatschappelijke van belang zijnde onderwerpen welke onvermijdelijk verbonden zijn met de duurzame energie soort: fotovoltaïsche zonne-energie. In de eerste paragraaf (2.1) wordt ingegaan op de maatschappelijke aspecten van fotovoltaïsche zonne-energie, zoals: milieuproblematiek, duurzaamheid, maatschappelijke ontwikkeling en noodzaak tot het forceren van trendbreuken (maatschappelijke verantwoording van een zonnecentrale). De tweede paragraaf (2.2) verwoordt de technische principes, achtergronden en mogelijkheden van fotovoltaïsche zonne-energie op dit moment. De afsluitende paragraaf 2.3 gaat meer specifiek in op de netkoppeling van fotovoltaïsche systemen, hierbij zijn van belang: elektrische configuratie mogelijkheden, inverters en technische eisen met betrekking tot koppeling aan het openbare elektriciteitsnet.

2.1 Milieuproblematiek; definiëring en milieueffectketen

2.1.1 Ontwikkeling van bewustwording van duurzaamheid en milieu

Een beroemde studie welke de bewustwording van duurzaamheid en het besef van de mogelijk catastrofale ontwikkeling van de aarde en zijn bevolking verwoordt, is het rapport van de Club van Rome in 1972: *The Limits to Growth* [¹⁰,¹¹]. In dit rapport worden vijf variabelen in hun onderlinge samenhang onderzocht: vervuiling, voedselvoorziening, uitputting van hulpbronnen (fossiele brandstofvoorraden), wereldbevolking en industriële ontwikkeling. De onafhankelijke, en zeer moeilijk te beïnvloeden variabele, is de omvang van de wereldbevolking, deze zal in de toekomst alleen maar toe nemen totdat levensbeperkende effecten als gevolg hiervan zouden gaan optreden. De andere vier variabelen zijn van deze wereldbevolkingsomvang afhankelijk en zouden volgens de Club van Rome de leefbaarheid op aarde in gevaar kunnen brengen. Conclusie van het rapport is dat een catastrofale ontwikkeling in de 21^e eeuw onvermijdelijk is, tenzij op korte termijn elk van de genoemde variabelen fundamentele wijzigingen zouden ondergaan, die deze tendens konden ombuigen [¹⁰]. Veranderingen in één van de variabelen zou niet voldoende zijn omdat dit veelal zou leiden tot verschuiving van het probleem naar een ander gebied. Als oplossing wordt in het rapport gezocht naar een ideale industriële samenleving, die door middel van een stationaire economie, binnen de draagcapaciteit van de aarde blijft.

Een aantal jaren na het rapport van de Club van Rome, (wat een soort van waarschuwingsboodschap bevatte) verschijnt het rapport: *Our Common Future* in 1987. Dit rapport is uitgebracht door de Wereldcommissie voor Milieu en Ontwikkeling van de Verenigde Naties (WECD), ook wel de Brundtland-commissie genoemd [¹]. Een belangrijke reden voor het succes van het Brundtland-rapport is dat het de menselijke behoeften als uitgangspunt neemt en van daaruit bekijkt welke milieustrategieën (beleid) nodig zijn om bepaalde sociaal-economische doelstellingen te bereiken [¹]. Waar het rapport van de Club van Rome vooral goed het probleem schetst van de exponentiële groei van de wereldbevolking en de daarmee gepaard gaande gevolgen [¹¹], geeft het Brundtland-rapport juist belangrijke definiëringen en beleidsaanbevelingen die de weg voorbereiden om de gevolgen van de wereldbevolkingsgroei (de eerder genoemde vijf variabelen) te kunnen verbeteren. Een belangrijke definiëring uit het Brundtland-rapport, die nog steeds veel gebruikt wordt is de definitie van het begrip 'duurzame ontwikkeling':

¹⁰ [Http://www.clubofrome.org](http://www.clubofrome.org) internet site van de Club van Rome, oktober 2001.

¹¹ Meadows D. L. et al. *THE LIMITS TO GROWTH*, Universe Books, New York, 1972.

'Een proces van verandering waarin het gebruik van hulpbronnen, de richting van investeringen, de oriëntatie van technologische ontwikkeling en institutionele verandering alle met elkaar in harmonie zijn en (alle) zowel de huidige als toekomstige mogelijkheid vergroten om aan menselijke behoeften en wensen tegemoet te komen' [1].

Een andere verbeterde benadering, ten opzichte van de benadering van de Club van Rome, is dat de Brundtland-commissie geen restricties voor economische groei noemt, maar benadrukt dat het juist noodzakelijk is de wereldeconomie te behouden en te revitaliseren [1]. Economische groei en nieuwe technologie zijn volgens deze commissie de daarvoor noodzakelijke instrumenten.

Een decennium later, december 1997, wordt in Kyoto de basis gelegd voor de huidige afspraken ter reductie van broeikasgassen. Er wordt in Kyoto gefocust op een van de meest urgente milieuproblemen: de 'klimaatverandering' als gevolg van het 'broeikaseffect'. De deelnemende landen (een aantal industrielanden) stellen voor elk deelnemend land apart een norm vast op basis van een CO₂-reductie ten opzichte van eigen nationale CO₂ uitstoot niveau in 1990 [12]. Nederland heeft afgesproken om de uitstoot van broeikasgassen in 2012 gereduceerd te hebben met 6% ten opzichte van het niveau in 1990 [13]. Naast CO₂ tellen ook andere broeikasgassen mee voor de uitstoot vermindering, hierbij gaat het om CH₄, N₂O en een aantal fluorverbindingen (CFK's, HFK's, PFK's en SF₆) [12]. Deze kunnen via de 'Global Warming Potential' (GWP), dit is een weegfactor, teruggerekend worden naar CO₂-equivalenten [1].

Anno 2002 wordt integratie van economische ontwikkeling en de draagcapaciteit van de aarde, als oplossingsrichting gezien waardoor een duurzame economische groei zou moeten kunnen plaatsvinden. Dit blijkt door bijvoorbeeld het schrijven van R.C. Dorf waarin hij het als volgt formuleert: "The emerging challenge is to develop a **sustainable global economy**: an economy that the earth is capable of supporting indefinitely" [14]. Blijken zal in de volgende paragraaf dat integratie van economische groei en vermindering van de milieubelasting van de aarde alleen mogelijk is wanneer dit gepaard gaat met kwalitatieve groei (duurzame ontwikkeling!) en dus met verbeterde technologieën en artefacten om gelijke of meerdere behoeften te bevredigen.

2.1.2 Duurzame en maatschappelijke ontwikkeling

In voorgaande paragraaf is een definiëring van duurzame ontwikkeling gegeven, maar waarom is duurzame ontwikkeling eigenlijk zo belangrijk? Het streven naar duurzaamheid (duurzame ontwikkeling) komt voort uit de wil van de soort om te overleven en uit een gevoel van rechtvaardigheid: toekomstige generaties moeten ook gebruik kunnen maken van de mogelijkheden die de aarde ons nu biedt [1]. In de westerse wereld kan men twee benaderingen formuleren waardoor integratie van economie, milieu en verandering van levensstijl mogelijk wordt [1]. Deze benaderingen lijken rechtlijnig tegenover elkaar te staan, namelijk: behoud van economische groei en versobering. Maar juist de integratie van milieu en economie hoeft niet te leiden tot groei in klassieke termen (meer economische groei als oorzaak van meer milieudruk, dit is dus kwantitatieve groei), want door toepassing van nieuwe economische concepten (kwalitatieve groei, met technologische innovaties als katalysator), waarin milieu geïnternaliseerd wordt in de economie, kan kwalitatieve economische groei plaatsvinden. Dorf heeft hiervoor het begrip 'natural capital' opgenomen (geïnternaliseerd) in zijn model van een duurzame economie naast de begrippen: 'intellectual capital', 'financial capital' en technologie welke gezamenlijk de kwaliteit van leven bepalen [14]. Dit internaliseren van milieu in economie zou dan moeten leiden

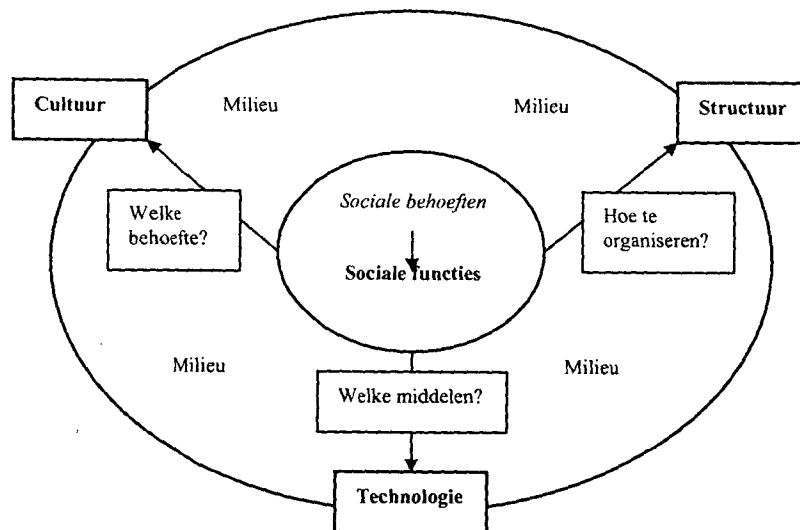
¹² UN FCCC 'Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change', FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, 10 december 1997.

¹³ [Http://www.vrom.nl](http://www.vrom.nl) internetsite van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, oktober 2001.

¹⁴ Dorf R.C. 'Technology, Humans, and Society: Towards a Sustainable World', University of California, Academic Press, United States of America, 2001.

tot economische groei die gepaard gaat met een bepaalde vorm van versobering (slechts vermindering van de milieubelasting van de aarde, en geen teruggang van het welvaartsniveau) [14].

Nu de relevantie van duurzame ontwikkeling, om de economische en maatschappelijke groei te kunnen beantwoorden zonder dat dit ten nog meer ten koste gaat van het milieu, duidelijk naar voren is gekomen, moet het maatschappelijk krachtenveld in ogenschouw genomen worden. Het maatschappelijk kader waarin duurzame ontwikkeling zijn positie tracht te verbeteren kan beschreven worden door een drietal dimensies, namelijk: 'cultuur', 'structuur' en 'technologie' [15, 16]. Deze drie dimensies van maatschappelijke ontwikkeling staan in een sterke onderlinge relatie met elkaar, zoals aangegeven is in afbeelding 2.1.



Afbeelding 2.1: interactie van cultuur, structuur en technologie [15].

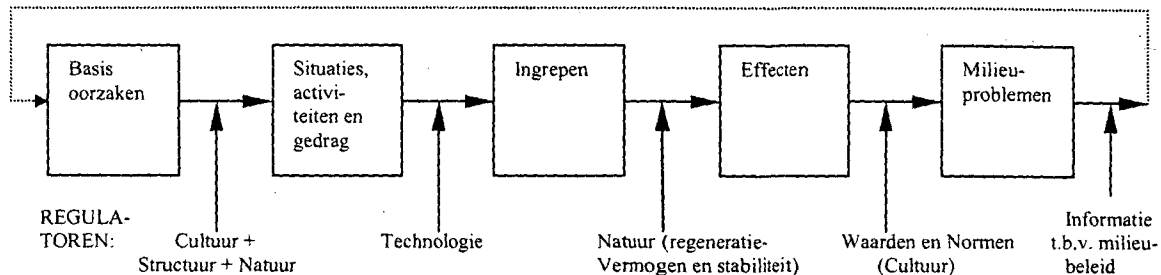
Wanneer een radicale verandering in bijvoorbeeld technologie ('radical innovation') plaats zou vinden omwille van het milieu ter vervulling van de sociale behoefte daarnaar, kan dat niet zomaar doorgang vinden zonder rekening te houden met de onderlinge afhankelijkheid van het culturele en structurele aspect van een bepaalde maatschappij. Voorbeeld hiervan zou kunnen zijn de omschakeling van de huidige brandstoffen voor vervoer over de weg (benzine, diesel en LPG), naar waterstof als brandstof. Dit betekent een cultuuromslag voor de gebruikers en een niet te onderschatten structurele aanpassing van de infrastructuur, waarbij gedacht kan worden aan vervanging van bijvoorbeeld vele tankinstallaties langs de wegen. De acceptatie van een milieuvriendelijkere technologie is dus direct verbonden met de economische marktcondities [14] en de behoeften van de maatschappij op een bepaald moment [15]. Het moment waarop beslissingen over duurzame technologie worden genomen is dus zeer evident, omdat de marktcondities, behoeften van de maatschappij en overheidsregulering dynamische variabelen zijn [14, 15].

¹⁵ Jansen, L. 'Towards a sustainable future, en route with technology!' Hoofdstuk 19 in *The Environment Towards a Sustainable Future* edited by Dutch Committee for Long-Term Environmental Policy, Den Haag, Nederland, Kluwer Academic Publishers, 1994.

¹⁶ Lapperre P.E. 'Sociologie en Techniek; Lange termijn wisselwerking tussen technologie en maatschappij', Dictaat TU/e, TM, TeMa, Eindhoven, 1997.

2.1.3. De milieueffectketen

Een manier om de onderlinge relaties in het maatschappelijke proces (sociale systeem) waarin technologie en milieu (ecosysteem) zich bevinden weer te geven, is de milieueffectketen (een beschrijvingsstructuur voor milieuproblemen) die weergegeven is in afbeelding 2.2 [17]. De milieueffectketen laat de wisselwerking zien tussen cultuur, structuur, technologie en milieu op verschillende momenten in de tijd. Belangrijk zijn de regulatoren in deze figuur, deze geven namelijk de mechanismen weer die bepalen op welke manier (en in welke mate) het verband tussen de variabelen zich manifesteert. Het regenererende vermogen van de natuur bepaald bijvoorbeeld hoe ernstig een milieu-ingreep zich ontwikkelt tot een milieueffect.



Afbeelding 2.2: de milieueffectketen; beschrijving van het ontstaan van milieuproblemen [17].

Met behulp van deze keten is het ontstaan van milieuproblemen duidelijk aangegeven doordat de keten vanaf de basisoorzaken, via de maatschappelijke bedrijvigheid, ingrepen en ontstane effecten, naar de uiteindelijke milieuproblemen (de gevolgen) loopt. Hiermee wordt de wisselwerking tussen het ecosysteem en het sociale systeem per schakel expliciet weergegeven. De schakels zullen nu apart toegelicht worden om deze wisselwerking te verduidelijken.

De basisoorzaken

Er zijn twee verschillende basisoorzaken, namelijk maatschappelijke en natuurlijke [17]. De maatschappelijke basisoorzaken zijn de menselijke eigenschappen die interacties tussen mensen onderling en mensen met processen inhouden, waardoor na verloop van tijd een bepaalde cultuur en structuur gevormd wordt. Met natuurlijke basisoorzaken worden bijvoorbeeld natuurrampen zoals vulkaanuitbarstingen en aardbevingen bedoeld. Het gedrag en de activiteiten van mensen vindt dus zijn oorsprong in de basisoorzaken en wordt gereguleerd door de sociale cultuur, structuur en natuurlijke omgeving.

Situaties, activiteiten en gedrag

Hiermee worden doelbewuste en doelgerichte maatschappelijke verschijnselen en processen bedoeld, maar ook processen waaraan niet een doel gekoppeld is zoals: bevolkingsgroei, verstedelijking en armoede. Wanneer eenmaal besloten is tot een bepaalde activiteit is het de regulator: technologie (kennis en kunde), die de mate en typering van de milieu-ingrepen bepaalt [17].

Milieu-ingrepen

De uitwisseling van een fysische entiteit (materie en/of energie) tussen het milieu (ecosysteem) en de maatschappij (sociale systeem) beschouwd men als een milieu-ingreep. Een milieu-ingreep is op deze manier gedefinieerd tweeledig, namelijk toevoegen (bijvoorbeeld: warmte, gassen, geluid e.d.) en onttrekken (grondstoffen, energievoorraden, ruimte e.d.) [17]. Wanneer tot bepaalde

¹⁷ Janssen H., Leroy P., Bouwer K. 'Waarover zal het gaan: naar een beschrijvingsmodel van milieuvraagstukken', Hoofdstuk 3 in Het Milieu: denkbeelden voor de 21ste eeuw, Commissie Lange Termijn Milieubeleid, Kerckebosch BV, Zeist, 1990.

milieu-ingrepen door een maatschappij wordt besloten, is het de natuur welke als regulator de omvang van de ontstane milieueffecten bepaalt.

Milieueffecten

Een milieueffect is de feitelijke doorwerking van een milieu-ingreep in het (veranderde) milieu. Een milieu-ingreep kan overigens tot meerdere effecten leiden. Ook kan een reeks van gebeurtenissen ontstaan ten gevolge van allerlei complexe processen (bijvoorbeeld: verdunning, zelfreiniging en verspreiding) die zich in het milieu afspelen. Deze processen kunnen ervoor zorgen dat de ruimte en tijd tussen de milieu-ingrepen en de manifesterende milieueffecten ver uit elkaar kunnen liggen [17].

Milieuproblemen

In deze milieueffectketen wordt er van uit gegaan dat milieuproblemen pas ontstaan wanneer zij als zodanig door de maatschappij worden erkend. Dit betekent dus dat de relatie tussen milieueffecten en milieuproblemen geen causale relatie is zoals de andere relaties dat wel zijn, maar een beoordeling van de milieueffecten is, door de maatschappij [17]. De toegekende waarden door en geldende normen van een maatschappij bepalen of erkennen een milieuprobleem.

Terugkoppelingsmechanisme

Wanneer milieueffecten optreden impliceert dit dat het ecosysteem verandert, waardoor veranderingen in het sociale systeem volgen, hierdoor ontstaan veranderde natuurlijke basisoorzaken [17]. Dit is dus een terugkoppelingsmechanisme, waardoor de milieueffectketen opnieuw doorlopen kan worden met mogelijk anderszins veranderende opvattingen en regulatoren. De ontstane informatie betreffende optredende milieuproblemen kunnen dienen als aangrijpingspunten voor milieubeleid.

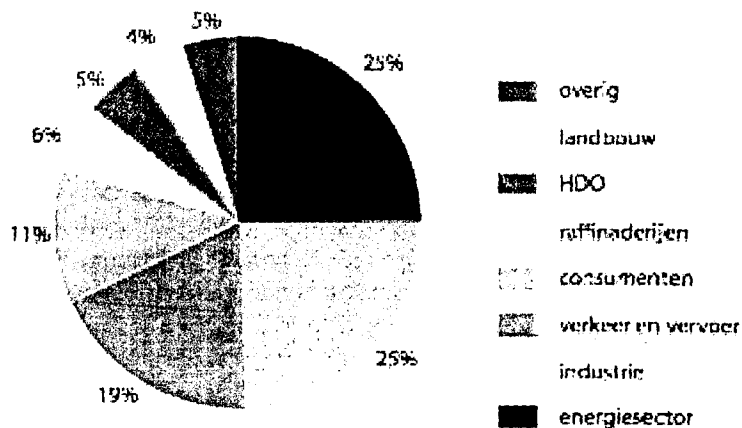
Duurzame technologie als regulator

De eisen die uit alle maatschappelijke aspecten voortvloeien moeten vertaald worden in ontwerpcriteria, die gezamenlijk met de traditionele ontwerpcriteria kunnen leiden tot de ontwikkeling van duurzame technologie (technologie is de regulator van de milieueffecten). Dit vraagt aan de ene kant om kennis over de culturele en structurele dimensies maar aan de andere zijde om creativiteit tijdens het ontwerpen van duurzame technologie, zodat een integrale aanpak bij dit soort problemen noodzakelijk is [1].

Als duurzame technologie zijn regulerende werking volledig benutten wil, ten voordele van het milieu, dan zal men de invloed van duurzame technologie op het milieu in alle fasen van de levensduur moeten kunnen beoordelen. Alleen dan kan duidelijk worden wanneer welke milieubelasting ('milieudruk') plaatsvindt en hoe (met welk maatschappelijk kader) deze eventueel kan worden verbeterd. Technieken om de levensloop van een technologie in kaart te brengen zijn bijvoorbeeld: 'integraalketenbeheer' en 'levenscyclusanalyse' (LCA) [1].

2.1.4 Energieproductie, conventionele elektriciteitsopwekking en milieuprestaties

Energieproductie (de energiesector) is een van de hoofdoorzaken van de CO₂-problematiek, zoals uit afbeelding 2.3 duidelijk naar voren komt [13]. Ruim 25% (2001) van de CO₂-emissie komt ten laste van de energieopwekking door de energieproducerende bedrijven.



Afbeelding 2.3: bijdrage van doelgroepen aan de CO₂-emissie in 1997 [13].

Conventionele elektriciteitsproductie veroorzaakt als belangrijkste vier milieueffecten: het broeikaseffect (klimaatverandering), de verzuring, vast afval (vlieggas verwijdering) en de uitputting van natuurlijke hulpbronnen (verspilling). Duurzame elektriciteitsopwekking zou dus minimaal moeten inhouden dat deze milieueffecten voorkomen (of verminderd) worden en dat impliceert een sterke reductie van de daarmee samenhangende milieu-ingrepen (zie afbeelding milieueffectketen). Maatregelen ter voorkoming van de milieueffecten kunnen zowel aan de vraagzijde als aanbodzijde plaatshebben. De maatregelen aan de vraagzijde hebben tot doel de vraag naar elektriciteit te verminderen (efficiencyverbetering van de gebruiksapparatuur en gedragsbeïnvloeding van de consument), terwijl maatregelen in de aanbodzijde tot doel hebben de milieu-ingrepen te reduceren bij een gelijkblijvende elektriciteitsproductie.

Desalniettemin zal bij de beoordeling van de milieuprestaties van een zonnecentrale toch alle milieueffecten (vaak ook milieuthema's genoemd) in acht moeten worden genomen, omdat andere milieueffecten dan die bij conventionele elektriciteitsopwekking optreden, kunnen ontstaan. De milieueffecten die in het meest recente Nationaal Milieubeleidsplan (NMP3, 1998) onderscheiden worden zijn: klimaatverandering; verzuring; vermisting; verspreiding; verwijdering; verstoring; verontreiniging; verdroging; en verspilling [13].

2.1.5 Trendbreuk: de maatschappelijke verantwoording van een zonnecentrale

De exponentiële groei waarover in het rapport: *The Limits to Growth* al over gesproken werd, zal van een dermate omvang zijn dat het niet op te vangen is met de huidige wijze van energie en elektriciteitsopwekking middels fossiele brandstoffen. Als uitsluitend fossiele brandstoffen (de huidige technologie) ingezet zullen worden voor de opwekking van energie in de huidige verhoudingen, zal de olie na 40 jaar op zijn, het gas na 56 jaar en de steenkolenvoorraad na 219 jaar [1].

Dit scenario is overigens niet alleen vanwege de (verbranding en ontginning van de) grondstoffenvoorraad onhaalbaar maar ook zal bij de geschetste bevolkingsgroei en daarmee samenhangende afhankelijke variabelen (in: *The Limits to Growth*), een enorme luchtverontreiniging (CO₂ is in principe geen luchtverontreiniging, maar veroorzaakt een verschuiving van natuurlijk evenwicht) ontstaan. Zo zal de stijging van de CO₂-concentratie in de atmosfeer het klimaat ernstig beïnvloeden. Het probleem van de bevolkingsgroei en afhankelijke variabelen (als gevolg van de economische en maatschappelijke ontwikkeling) kan dus niet met de huidige cultuur, structuur en technologie verholpen worden. Omdat wijziging van de dimensies; cultuur en structuur, van het maatschappelijke kader niet snel als wenselijk beschouwd worden en op veel weerstand kunnen rekenen, zal de oplossing onvermijdelijk gezocht moeten worden in de dimensie technologie. Omdat gebleken is dat de huidige technologie (hier de

conventionele elektriciteitsopwekking) onvoldoende zal zijn om het probleem van economische en maatschappelijk ontwikkeling te ondermijnen, zal men onontkoombaar een 'trendbreuk' moeten forceren [1]. Alleen een trendbreuk kan het (voorspelde) verloop van de wereldwijde CO₂-emissie in de toekomst in de gewenste richting afbuigen, waarbij de economische en maatschappelijke ontwikkeling niet perse hoeft worden afgeremd. Dit laatste is een heugelijk gegeven voor de minder ontwikkelde landen, welke vanuit het rechtvaardigheidsbeginsel, ook recht hebben op verdergaande economische en maatschappelijke ontwikkeling.

Wetende dat een trendbreuk noodzakelijk zal zijn om het mondiale doel: reductie van de CO₂-emissie (wat slechts een deeloplossing is van het probleem van exponentiële groei) te kunnen realiseren, kan men concluderen dat duurzame elektriciteitsopwekking (de trendbreuk) een soort van maatschappelijke verplichting is, die ons allen aangaat (de 'natuur-uitbater' daargelaten). Een fotovoltaïsche zonnecentrale als één methode van duurzame elektriciteitsopwekking kan op zichzelf beschouwd worden als trendbreuk hetgeen de maatschappelijke relevantie van een zonnecentrale en dit project onderbouwt.

2.2 Fotovoltaïsche zonne-energie

Zonne-energie is een verzamelnaam voor een aantal verschillende technieken om de energie van de zon (stralingsenergie) om te zetten in elektrische en/of thermische bruikbare energie. Te onderscheiden zijn passieve zonne-energie (zodanig ontwerpen dat optimaal gebruik wordt gemaakt van binnentredend zonlicht voor verwarming en verlichting), actieve (thermische) zonne-energie (zonneboilers) en fotovoltaïsche (photovoltaic = PV) zonne-energie. Deze laatste variant, fotovoltaïsche zonne-energie, wordt opgewekt door middel van het in 1839 door Becquerel ontdekte fotovoltaïsche effect [3]. Dit is het verschijnsel dat er een elektrisch spanningsverschil ontstaat wanneer een bepaald vaste stof element (fotovoltaïsche cel) wordt belicht. Het ontstane spanningsverschil kan een elektrische stroom genereren waarmee elektriciteit uit zonlicht werkelijkheid wordt.

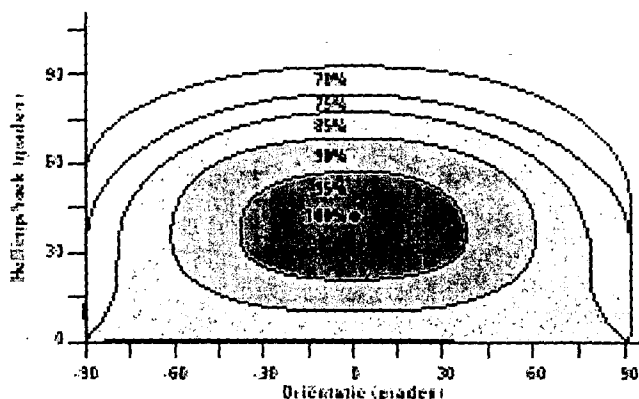
2.2.1 Instraling van de zon en klimatologische waarden

Het aanbod van zonne-energie wereldwijd is enorm, gemiddeld bereikt namelijk: $1,2 \cdot 10^{17}$ W aan zonne-energie het aardoppervlak [18, 14]. Dit betekent dat in minder dan één uur voldoende energie aan de aarde wordt toegevoerd, om aan de jaarlijkse energievraag van de gehele wereldpopulatie te voldoen. Ondanks dat de wereldwijde 'energie instraling' 1 kW/m^2 is (bij heldere hemel), is de beschikbare ingestraalde energie meestal een stuk lager. Dit komt door de rotatie van de aarde en de verschillende lokale weersomstandigheden [18]. Toch verschilt de verdeling van deze energie instraling slechts maximaal een factor 3 tussen de Sahara en het uiterste noorden van Scandinavië waardoor fotovoltaïsche zonne-energie overal ter wereld een alternatief kan zijn [18]. Dit betekent voor Scandinavië een gemiddelde instraling van 100 W/m^2 , voor Nederland 150 W/m^2 en voor de Sahara 300 W/m^2 . Omgerekend naar kWh/m^2 zonlicht per jaar is dit voor Nederland gemiddeld $1000 \text{ [kWh/m}^2\text{-jaar]}$ [19]. Maar er treedt een groot verschil op tussen de instraling in de zomer en in de winter, zodat de instraling in de maanden juni en december respectievelijk 5 kWh/m^2 per dag en 1 kWh/m^2 per dag (of nog minder in een donkere decembermaand) bedraagt. Onderscheid kan men nog maken in directe en diffuse straling, deze is in Nederland ongeveer gelijk verdeeld in tegenstelling tot dicht bij de evenaar waar het aandeel directe straling groter is (en het dus relatief belangrijker is dat de zon wel of niet schijnt) [18].

¹⁸ Markvart, T. 'Solar electricity', University of Southampton, UK, 2nd edition march, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2000.

¹⁹ [Http://www.zon-pv.nl](http://www.zon-pv.nl) 'Fotovoltaïsche systemen (H1 t/m 3)', oktober 2001.

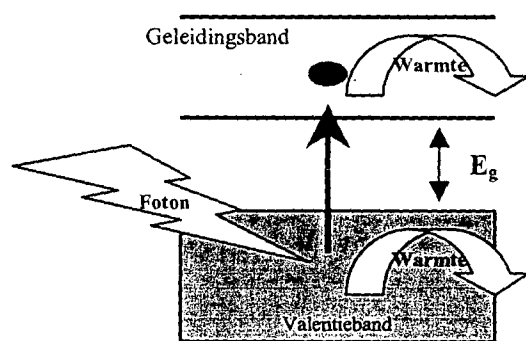
Zoals hierboven is aangegeven is de instraling in Nederland (ondanks de locatie op aarde) een groot deel van het jaar (contrast tussen de zomer en winter is echter groot) aanzienlijk. Deze instraling op een vlak is echter te vergroten door het vlak een zekere hellingshoek te geven, maar ook door de azimuth, die de stand ten opzichte van het zuiden aangeeft. Optimale oriëntatie in Nederland voor een maximale instraling op jaarbasis is zuid met een hellingshoek van 30 tot 40 graden [3]. Maar zoals in onderstaande afbeelding 2.4 is aangegeven, hebben afwijkingen van enkele 10-tallen graden ten opzichte van de optimale oriëntatie, geen forse (meer dan 10%) verlaging van de instraling ten gevolge [3].



Afbeelding 2.4: instraling in Nederland; hellingshoek en azimuth [3].

2.2.2 Fotovoltaïsche cel (zonnecel), vervangingsschema en zonnepanelen

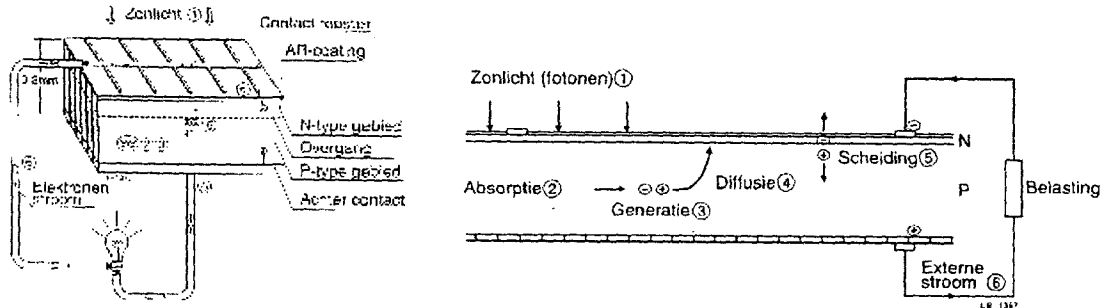
Bij zonnecellen wordt gebruik gemaakt van halfgeleidermaterialen; basismateriaal is meestal Silicium (Si), de verontreinigingen zijn vaak Fosfor (N-Si) en Borium (P-Si). Het bijzondere van halfgeleidermaterialen is dat daarin onder invloed van licht (negatief geladen) elektronen worden vrijgemaakt. Dit komt doordat de energie van het invallende foton (lichtdeeltje) geabsorbeerd wordt (fundamentele absorptie) waardoor excitatie van een elektron optreedt. Dit houdt in dat het elektron de juiste hoeveelheid energie ($E_g = \text{Energy gap} = E_f = E_{\text{cond}} - E_{\text{val}}$) verkregen heeft, van het invallende foton ($E_f = hc/\lambda$), waardoor het van de valentieband naar de geleidingsband (conductieband) kan gaan [18]. Hierdoor laat het vertrokken elektron een positieve plaats achter in de valentieband, een gat genoemd (zie afbeelding 2.5)[18].



Afbeelding 2.5: de generatie van een elektron-gat paar door invallend licht (foton).

Het type verontreiniging maakt het mogelijk om zowel elektronen geleiding als gaten geleiding te verkrijgen, wat resulteert in respectievelijk N-type en P-type halfgeleidermateriaal [3]. Door nu beide materialen te combineren en metaalcontacten aan te brengen ontstaat een fotovoltaïsche zonnecel. De werking van een zonnecel berust er dus op dat elektronen en gaten van elkaar worden gescheiden (door inval van fotonen), waardoor de voorzijde negatief geladen en de

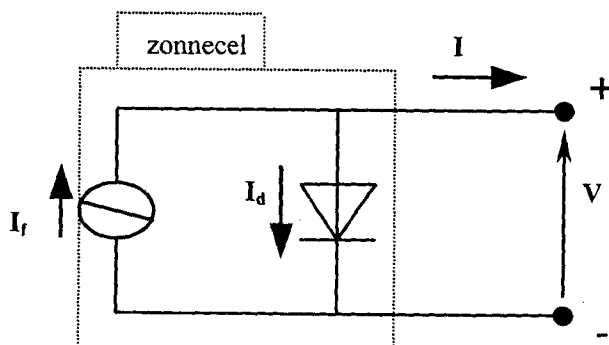
achterzijde positief geladen wordt (of omgekeerd), hierdoor ontstaat dus een potentiaalverschil [3]. In afbeelding 2.6a en b (figuur 6.3.9 en 6.3.11) is de opbouw en de werking van de fotovoltaïsche cel aangegeven.



Afbeelding 2.6: opbouw van een fotovoltaïsche cel (a) en volgorde van de opeenvolgende processen (b) [3].

Als een zonnecel wordt belicht dan ontstaat in de cel een fotostroom I_f . Deze fotostroom komt tot stand door het sterke inwendige veld waardoor de minderheidsladingdragers (bij N-Si zijn dit de gaten en bij P-Si zijn dit de elektronen) welke diffunderen richting de P-N-overgang, naar de andere zijde worden gezogen. De I-V-karakteristiek (in formulevorm) en het vervangingsschema van een zonnecel kan op zijn eenvoudigst beschreven worden door de volgende vergelijking (I_s is een zeer kleine stroom, welke aanwezig is in een donkere situatie) en afbeelding 2.7 [3]:

$$(2.1) \quad I = I_f - I_d = I_f - I_s \cdot \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

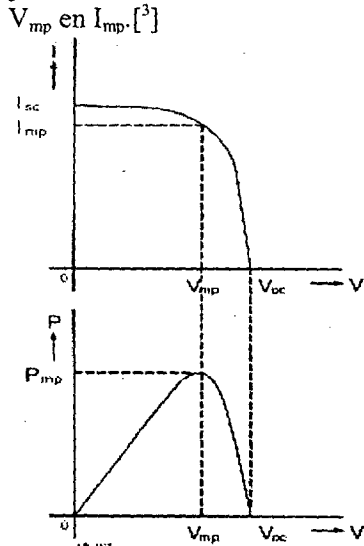


Afbeelding 2.7: vervangingsschema van een fotovoltaïsche zonnecel in zijn meest elementaire vorm [3]

Een zonnecel is dus vergelijkbaar met een parallel schakeling van een stroombron en een diode (omdat een P-N-overgang altijd inherent aanwezig is in een zonnecel). Wanneer een variabele externe weerstand aangesloten is, gebeurt het volgende: bij een weerstand nul zal de volle fotostroom I_f door het externe circuit lopen wat voor de (externe) kortsluitstroom I_{sc} betekent: $I_{sc} = I_f$ ($V=0$, volgt uit vergelijking 2.1). Indien de weerstand verhoogd wordt zal er een toenemende spanning ontstaan en zal een steeds groter deel van de fotostroom I_f door de diode gaan lopen. Wanneer tenslotte de externe weerstand oneindig groot wordt gemaakt (zonnecel wordt onbelast), zal de volle fotostroom door de diode gaan lopen. De hierbij optredende spanning wordt de open klemspanning V_{oc} genoemd en is uit vergelijking 2.1 (met $I=0$) af te leiden, via [3]:

$$(2.2) \quad V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(1 + \frac{I_f}{I_s} \right)$$

De afbeelding 2.8 hieronder geeft de grafische stroomspanning karakteristiek weer, samen met de vermogensspanning karakteristiek. Deze laatste geeft het afgegeven vermogen aan voor ieder punt van de stroomspanning karakteristiek, zo ook het 'maximale vermogenspunt' P_{max} . Dit is het punt waar het door de zonnecel geleverde vermogen maximaal is en wordt gekarakteriseerd door



Afbeelding 2.8: stroomspanning karakteristiek en vermogensspanning karakteristiek van een zonnecel [3]

Omdat een enkelvoudige zonnecel slechts een spanning geeft van 0,45-0,50 V in zijn maximale vermogenspunt, worden meerdere zonnecellen in serie geschakeld om op die manier praktische toepassingen (12V of meer) te realiseren. Wanneer meerdere zonnecellen aaneengeschakeld zijn spreekt men van een 'zonnepaneel' of module. Het vermogen van een zonnepaneel wordt meestal uitgedrukt in Wattpiek (W_p) ofwel 'piekvermogen': het vermogen dat gegenereerd wordt onder standaard licht (AM1,5 (= standaard spectrum) en 1000 W/m^2 ; heldere hemel) bij een zonnecel temperatuur van 25°C [19]. Deze omstandigheden worden aangegeven met de naam; 'standaard condities'. Het door een zonnecel gegenereerde vermogen is dus mede afhankelijk van de spectrale samenstelling van de instraling (licht spectrum) en de celtemperatuur [18]. Zo blijkt uit een praktijk experiment in de Zwitserse alpen dat wanneer de omgevingstemperatuur (en dus ook de celtemperatuur) gemiddeld fors (circa 10°C) lager is dan bij standaard condities de opbrengst ('Efficiency' [20]) een stuk (circa 40%) hoger kan zijn [21]. Meerdere serieel gekoppelde zonnepanelen noemt men een 'string' en meerdere strings worden tezamen met de draagconstructie vaak een 'array' genoemd [22].

Het 'rendement van een zonnecel' (of zonnepaneel) wordt gegeven door de verhouding tussen de door de zonnecel in het maximum vermogenspunt afgegeven elektrische vermogen en de op de zonnecel vallende lichtintensiteit (I_0). Dit rendement is sterk golflengte (kleur) afhankelijk [3]. Het halfgeleidermateriaal is namelijk niet voor alle kleuren licht even gevoelig en een deel van het zonlicht draagt niet bij aan de generatie van elektron-gat paren, waardoor het rendement automatisch lager uitvalt. Zoals is aangegeven in afbeelding 2.5 zal een foton met $h\lambda > \Delta E_g$ zijn

²⁰ Gabler H. en Wiemken E. 'How much energy will a specific PV-system produce?', Fraunhofer institute for solar energy systems, Freiburg, Germany, 1995.

²¹ Haberland, H. & Beutler, C. 'Highest Grid Connected PV Plant in the world at Jungfraujoeh (3454m): Excellent performance in the first two years of operation', Ingenieurschule Burgsdorf (ISB), Switzerland, 1995.

²² Solar Energy International (SEI) 'Photovoltaic Design & Installation Manual', 1998.

teveel aan energie afgeven als warmte en dus zal dit stukje energie niet benut kunnen worden voor de opwekking van elektriciteit. Maar ook fotonen met $h\lambda < \Delta E_g$ hebben geen elektriciteitsopwekking als gevolg waardoor een verlaging in het rendement ontstaat [18]. Op deze manier gaat 55% van de invallende energie verloren, zodat nog 45% resteert [3]. Wanneer een elektron eenmaal is losgemaakt heeft het telkens weer de neiging om te 'recombineren', zelfs in het beste halfgeleidermateriaal is dit niet helemaal te voorkomen. Hierdoor is het rendement van een ideale, enkelvoudige ('tandem'-constructies niet meegenomen) zonnecel, theoretisch nooit hoger dan circa 30%. Tot nu toe zijn in laboratoria rendementen van 25% als bovengrens gemeten en in commerciële productie wordt 5-16% bereikt afhankelijk van het type zonnecel [3].

2.2.3 Verschillende typen zonnecellen

Een aantal typen zonnecellen kan men onderscheiden welke zich elk in een verschillende fase van ontwikkeling bevinden, namelijk:

- Eénkristallijn (monokristallijn) silicium zonnecellen zijn vanaf het begin van de jaren zeventig doorontwikkeld en hebben nu een rendement van ongeveer 15% [3]. Deze zijn gemaakt van siliciumplakken, die uit één groot monokristal zijn gezaagd, waarin de silicium atomen precies gerangschikt zijn. Het monokristal wordt gemaakt met behulp van de zogenaamde 'Czochralski-groeitechniek'. Hierbij wordt een ronde Silicium staaf met een snelheid van enkele centimeters per uur uit een smelt van zuiver silicium getrokken [23,24].
- Polykristallijn (multikristallijn) silicium zonnecellen worden gemaakt op materiaal dat verkregen wordt met behulp van (spuit)giettechnieken (eenvoudigere productie techniek dan monokristallijn silicium). De rendementen hiervan zijn op industriële schaal ongeveer 13 - 14% [3].
- Amorf silicium zonnecellen zijn dunne film zonnecellen en verschillen van kristallijn silicium cellen doordat de silicium atomen niet op gelijke afstand gelokaliseerd zijn en omdat de hoeken tussen de Si-Si-verbindingen niet gelijk zijn [18]. Hun huidige rendement (12% op laboratorium schaal en 5 -8% in productie) is duidelijk lager dan dat van kristallijn silicium zonnecellen, maar voordeel is dat hun productie relatief weinig energie en materiaal kost [3]. Dunne film zonnecellen worden gemaakt met behulp van een opdamptechniek bijvoorbeeld plasmadepositie [23]. Ander voordeel is dat men dit type zonnecel relatief eenvoudig in een tandem structuur maken kan [3].
- Koper-indium-diselenide en cadmiumtelluride zonnecellen zijn eveneens dunne film zonnecellen die sterk in ontwikkeling zijn (momenteel productie op pilotschaal). Bijbehorende rendementen zijn 8 -9% [3]. Verwachting is dat deze rendementen over een aantal jaren op lopen tot 10 -12% [3]. Deze cellen worden vaak aangeduid met CIS, hierbij worden onderscheiden de cadmium-based en non-cadmium-based [24].
- De organische zonnecellen bevinden zich nog in een vroege fase van ontwikkeling [3].

Hieronder volgt een overzicht van een aantal typen zonnecellen [3, 24, 24]:

Tabel 2.1: typen zonnecellen en hun rendementen

Materiaal	Symbool	Maximum rendement (%)	
		Laboratorium	Industrieel
<i>Silicium zonnecellen</i>			
Monokristallijn silicium	c-Si	24	14-16
Multikristallijn silicium	Mc-Si	18	12-15
<i>Dunne film zonnecellen</i>			
Amorf silicium en	a-Si of a-	12	4-8

²³ <http://www.zon-pv.nl/techniek/home.html>, Oktober 2001.

²⁴ Partain, L. D. 'Solar Cells and Their Applications', 1995, J. Wiley & Sons, Inc., New York.

siliciumgermanium	(Si,Ge)		
Koper-indium-diselenide (non-cadmium-based) –achtigen	CIS, CISG en CuInSe_2	13,3 ^a	8-9
Koper-indium-diselenide (cadmium-based)	CIS, CISG en Cd/CuInSe_2	14,8 ^b	8-10
Cadmiumtelluride –achtigen	CdTe , CdS	15,8 ^c	5-10
Dunne-film kristallijn silicium	f-Si of Si-Film	11	8-10
<i>Organische zonnecellen</i>			
Organische (polymere) cellen	OZC	8-10	---

^a CIS cells zonder Cd laag, hoogste rendement tot nu toe (Ermer et al., 1992); ZnO/CIS [²⁴].

^b CdS/CuInSe_2 , hoogste rendement tot nu toe (Stolt et al., 1992); $\text{MgF}_2/\text{ZnO/CdS/CIS}$ [²⁴].

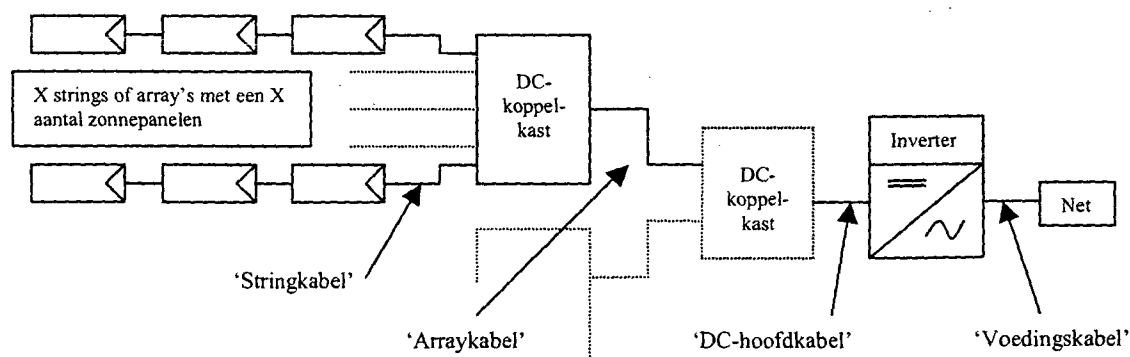
^c CdTe dunne-film wereldrecord rendement (Chu et al., 1992); $\text{MgF}_2/\text{glass/SnO}_2 \text{ CdS/CdTe}$ [²⁴].

2.3 Netgekoppelde PV-systemen

Hiermee worden PV-systemen aangeduid die de opgewekte zonne-energie aan het openbare elektriciteitsnet leveren of kunnen leveren. Ze bestaan tenminste uit een array van zonnepanelen, een 'koppelkast', een 'inverter' en een aansluiting met het elektriciteitsnet [¹⁸]. Verder bezitten netgekoppelde PV-systemen net zoals overige PV-systemen nog een aantal ('Blokkeer', 'Bypass' en 'Isolatie') diodes om stroom verliezen te voorkomen of te reduceren [²²]. Het grootste verschil met de autonome PV-systemen is dat ze geen opslag unit (batterij/ accu) nodig hebben. Wanneer op een zonnig moment meer elektriciteit opgewekt wordt dan er verbruikt wordt, kan dit eenvoudig aan het openbare elektriciteitsnet geleverd worden. Tijdens perioden met weinig zon, wordt de verbinding met het openbare elektriciteitsnet gebruikt om elektriciteit te verkrijgen. Men kan 3 basistypen van netgekoppelde systemen onderscheiden, namelijk [³]:

- Netgekoppelde PV-systemen met een DC-koppelkast:

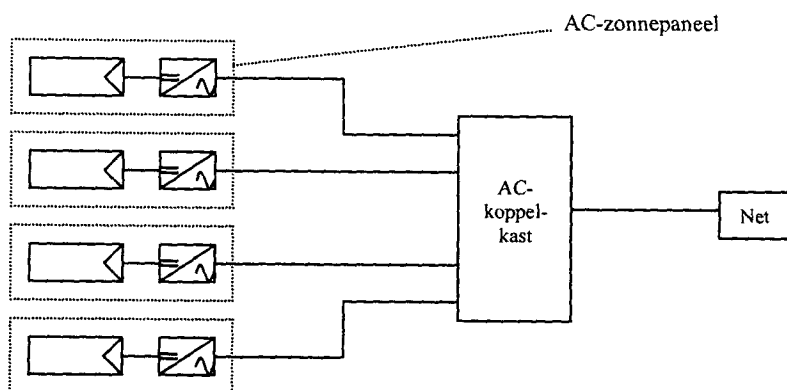
In dit geval bestaat het systeem uit twee of meerdere strings, die parallel geschakeld zijn in een DC-koppelkast. In afbeelding 2.9 is een schema weergegeven waarin het systeem en de bijbehorende onderdelen gedefinieerd worden [²⁵]. Vanuit de DC-koppelkast gaat een afgaande leiding naar de inverter, waar omzetting in wisselspanning plaatsvindt zodat net aansluiting, meestal middels een AC-koppelkast of door een aparte groep, mogelijk wordt. Voorbeelden hiervan zijn de wat grotere systemen op daken van huizen (2-5kW_p) en grote systemen (5-500kW_p), zoals op geluidswallen.



Afbeelding 2.9: opbouw van een netgekoppeld PV-systeem met DC-koppelkast(-en) [^{3, 25}].

²⁵ EnergieNed en NOVEM 'Handleiding voor de elektrische installatie van netgekoppelde fotovoltaïsche (PV) systemen', December 1998.

- Netgekoppelde PV-systemen met string-inverter:
Hier bestaat het array uit een of maximaal twee strings, waardoor een DC-koppelkast niet nodig is. De typische systeem grootte is kleiner namelijk: 0,5 -2 kW_p. Het schema hiervan is gelijk aan het bovenstaande schema alleen de DC-koppelkasten zijn dan overbodig [3].
- Netgekoppelde PV-systemen opgebouwd uit AC-zonnepanelen:
AC-zonnepanelen verschillen van DC-zonnepanelen doordat ieder zonnepaneel zijn eigen ingebouwde inverter heeft (zie afbeelding 2.10). De door het zonnepaneel opgewekte gelijkstroom wordt door een hoog rendement inverter omgezet in een sinusvormige AC-stroom op netspanning niveau (230 V_{AC}) [3]. De modulariteit van de AC-zonnepanelen is sterk waardoor elke gewenste systeemgrootte mogelijk is. Competitieve implementatie van netgekoppelde systemen opgebouwd uit AC-zonnepanelen heeft zich bewezen als alternatief voor DC-zonnepanelen in verschillende onderzoeken, zoals bijvoorbeeld door Oldenkamp, de Haan, en andere in hun artikel over de OKE4 AC modules [26].



Afbeelding 2.10: netgekoppeld PV-systeem opgebouwd uit 4 AC-zonnepanelen [3].

2.3.1 Voor- en nadelen voor het AC- en DC-principe

Uit verschillende onderzoeken en artikelen zijn een aantal voordelen en nadelen voor de toepassing van het AC-principe en het DC-principe gedestilleerd. De verschillende punten waarop verschillende voor- en nadelen voor deze twee principes te onderscheiden zijn staan hieronder uiteengezet.

Partiële beschaduwing

AC-zonnepanelen hebben een hogere tolerantie met betrekking tot partiële beschaduwing omdat ieder AC-zonnepaneel zijn eigen inverter heeft welke een voorziening ('MPPT': Maximum Power Point Tracker) heeft om het zonnepaneel in zijn maximum vermogenspunt te belasten [3].

Inverter uitval

Wanneer een inverter van een PV-systeem op basis van het DC-principe defect is, zal geen enkel zonnepaneel dat verbonden is met deze inverter nog energie leveren aan het elektriciteitsnet [26]. Volgens een monitoring onderzoek in Duitsland is gebleken dat uitval van een netgekoppeld PV-systeem in 65% van de gevallen door een defecte inverter werd veroorzaakt en dat het in 53% van deze gevallen meer dan zeven dagen duurde voordat het probleem verholpen kon worden [27].

²⁶ Oldenkamp H., de Haan S.W.H., de Jong I.J., Baltus C.W.A., Frumau C.F.A. en Verhoeven S.A.M.

'Competitive implementation of multi-kilowatts grid connected PV-systems with OKE4 AC modules', 1995, Nederland.

²⁷ Kiefer, K. et al 'Measurements and analysis programme within the thousand roofs programme', 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, volume 1, pp.461-464, 1994.

Modulariteit van het PV-systeem

De sterke modulariteit van het AC-principe biedt vooral bij vervanging van een defect zonnepaneel het voordeel dat de andere zonnepanelen in functie kunnen blijven [3]. Dit modulariteit voordeel van het AC-principe kan tevens een nadeel zijn, doordat de verwachte levensduur van inverters meestal lager is dan de verwachte levensduur van PV-panelen, vooral bij grotere PV-systemen. Wanneer inverters beter bereikbaar zijn (DC-principe), kan vervanging of reparatie makkelijker plaatsvinden.

Energieopbrengst en energieverliezen

Het AC-principe kent minder energieverliezen, zoals transport en mismatch, doordat bij hogere spanningen getransporteerd wordt en doordat er in mindere mate scheiders, zekeringen, diodes, schakelaars en DC-bekabeling aanwezig zijn [26]. Tegenover deze vermindering van energieverliezen bij het AC-principe staat het wat betere rendement van grote inverters (DC-principe, rendement circa 95 à 96%) ten opzichte van kleine inverters (AC-principe, rendement circa 91 à 92%)

Monitoring kosten

Uitsparing van monitoring kosten kan mogelijk zijn bij het AC-principe, doordat per AC-zonnepaneel een monitoring faciliteit ingebouwd (in de inverter) is. Dit AC-principe voordeel zal zich vooral doen gelden bij grote schaal PV-projecten waar normaliter (bij toepassing DC-principe) veel aandacht en kosten in de monitoring zitten [26]. Daarbij moet vermeld worden dat tegenwoordig door gebruik te maken van infrarood camera's (warmte metingen), het erg gemakkelijk geworden is om defecte of minder functionerende PV-panelen te kunnen traceren. Hierdoor zou een vaste monitoring faciliteit in omvang en functionaliteit kunnen inkrimpen.

Hoge spanningen, risico's en brandgevaar

Traditionele PV-systemen (DC-principe) vertonen vaak problemen met de hoge DC-spanningen, het risico van grote spanningsvariëaties, brandgevaar en met de veiligheidseisen. Deze bijkomende problemen zijn moeilijk te kwantificeren maar worden in ieder geval vermeden door gebruik te maken van AC-zonnepanelen [26]. Echter dit nadeel van het DC-principe ten opzichte van het AC-principe is vooral bij de consumenten markt en toepassingen van belang. De zakelijke markt zal hiermee nauwelijks problemen ondervinden als zij zich aan de geldende richtlijnen en voorschriften houden bij het ontwerp en installatie van PV-systemen.

Behuizing

Bij het AC-principe is minder behuizing benodigd in de vorm van gebouwen waarin de invertercapaciteit kan worden geplaatst.

2.3.2 Inverters

Het fundamentele doel van een inverter in een netgekoppeld PV-systeem is het veranderen van de gelijkstroom geproduceerd door de PV-panelen in wisselstroom welke aan het net toegevoerd kan worden. Dit type inverters wordt synchroon inverters genoemd en wordt toegepast in fotovoltaïsche zonnecentrales en residentiële (netgekoppelde) systemen [22]. In het verleden waren deze inverters de zwakke schakel in een PV-systeem omdat ze onbetrouwbaar en niet efficiënt genoeg waren, waardoor de efficiency van het PV-systeem laag bleef en vaak zelfs tijdelijk nul was (door uitval). De laatste jaren zijn de inverters verbeterd waardoor ze een betrouwbaardere brug tussen de gelijkstroom en wisselstroom vormen.

Voor de beveiliging van de koppeling tussen de zonnepanelen en de laagspanningsinstallatie (in Europa is voor laagspanningsniveau afgesproken de waarde van 400 V (éénfasig 230V) \pm 10%, in

Nederland blijft de bovengrens beperkt tot + 6% [^{28, 29}]) dienen inverters te voldoen aan "model aanvullende voorwaarden decentrale opwekkers laagspanningsniveau" [²⁹], uitgegeven door EnergieNed in 1997 [²⁵]. In dit model wordt gesproken over vermogenselektronische (VE) omzeters (inverters) welke noodzakelijk zijn, omdat de decentrale opwekker, gelijkstroom levert zoals bij zonnepanelen, of een wisselstroom met variabele frequentie zoals bij sommige windturbines [²⁹]. Er bestaan een aantal soorten VE omzeters met elk hun specifieke eigenschappen. Algemeen gesteld zijn er twee hoofdgroepen:

- De eerste groep werkt door het aansnijden van de gelijkspanning, dit zijn de thyristoren of GTO's (bijzondere soort thyristor) die "Transformer based" inverters genoemd worden [²⁹]. Een Transformer based inverter verandert de gelijkstroom in wisselstroom door het omschakelen van de polariteit van de inkomende gelijkstroom, 60 keer per seconde. De omgeschakelde stroom passeert de primaire zijde van de transformator en induceert een wisselstroom in de secundaire zijde van de transformator. De verhouding tussen de windingen van de primaire en secundaire zijde van de transformator kan gevarieerd worden om de spanning van de uitkomende elektriciteit te verhogen of te verlagen [²²].
- De tweede groep werkt met een hoge schakelfrequentie en (bijvoorbeeld) met pulsbreedte modulatie (MOSFET en IGBT) [²⁹]. Deze soort is de zogenaamde "Switching type" inverter en opereert met hoge frequenties (25.000 Hz) in plaats van 60 Hz, net zoals computers en soortgelijke apparatuur. De inverter converteert het hoog frequente en hoge spanningssignaal terug naar een DC-signaal en chopt dit in 60 cycli per seconde voor uiteindelijke toepassing. Wanneer de frequentie van de wisselspanning toeneemt, kan de afmeting van de transformator hierdoor afnemen, waardoor dit type inverter kleiner en goedkoper wordt [²²].

Ontwikkelingen bij netgekoppelde PV-systemen doen vermoeden dat decentrale opwekkers met kleine vermogens en voorzien van VE omzeters in grote aantallen toegepast zullen worden. Om nu de installatiekosten voor dergelijke kleine vermogens te beperken is het, in afwijking van het gestelde in de aansluitvoorwaarden, toegestaan VE omzeters tot een vermogen van 5 kVA éénfasig aan te sluiten. Vermogens boven de 5 kVA moeten driefasig worden aangesloten [²⁹]. Bij grotere netgekoppelde PV-systemen met een spanning van 500 V of meer moet men voldoen aan de veiligheidseisen, zoals deze in de NEN 1010 staan vermeld [^{29, 30}]. Voor de overige bepalingen en voorschriften welke van toepassing kunnen zijn bij inverters en de bekabeling ervan, wordt verwezen naar de geldende normen, waarnaar eerder in deze tekst gerefereerd is.

Voor zonnecentrales (grootschalige netgekoppelde PV-systemen) wordt vaak gebruik gemaakt van een synchroon inverter welke 'line-commutated' is [¹⁸], mits men vele zonnepanelen op één centrale inverter aansluit (DC-principe). Dit houdt in dat het elektriciteitsnet alleen gevoed wordt wanneer de netfrequentie gedefinieerd is door andere parallelle bronnen welke aan het netgekoppeld zijn. De inverter zal dus niet functioneren wanneer de externe referentie frequentie ontbreekt [¹⁸]. Wanneer kleinere inverters gebruikt worden, bijvoorbeeld bij toepassing zoals AC-modules of kleine arrays zonnepanelen per inverter, dan worden ook vaak de 'self-commutated' inverters gebruikt. Deze inverters zijn in staat om ook op geïsoleerde netwerk toepassingen met of zonder enkele parallelle bronnen, energie te leveren [¹⁸].

De overige van belang zijnde neveneffecten, functies en parameters van inverters zijn in de volgende paragrafen samengevat.

²⁸ NEN 10038 (IEC 38) 'Elektrische energiesystemen en toestellen; nominale spanning', NNI Delft, 1995.

²⁹ EnergieNed 'Model aanvullende voorwaarden decentrale opwekkers laagspanningsniveau 1997', Juni 1997.

³⁰ NEN 1010 'Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties', NNI Delft, 1996.

2.3.2.1 DC-AC-conversie efficiency

Het DC-AC-conversie rendement van een inverter is altijd afhankelijk van de 'load' (de last of wel belasting) welke op een bepaald moment aanwezig is [31]. Daarom wordt vaak gebruik gemaakt van de zogenaamde 'European efficiency' welke volgens formule 2.3 berekend wordt:

$$(2.3) \quad \eta = 0,03\eta_5 + 0,06\eta_{10} + 0,13\eta_{20} + 0,17\eta_{30} + 0,48\eta_{50} + 0,2\eta_{100}$$

De index waarde bij de verschillende η -tekens, geeft het percentage van de maximale belasting weer. De peak efficiency geeft het DC-AC-conversie rendement weer bij maximale belasting en is meestal wat hoger dan de European efficiency (89–93%), namelijk 92–95% [31].

2.3.2.2 Harmonische storingen

Dit verschijnsel wordt voornamelijk veroorzaakt doordat in de netten gebruik wordt gemaakt van elektronische schakelingen om vermogen te regelen en te sturen. Door de harmonischen, ook wel als netvervuiling aangeduid, kan (PC) apparatuur bij andere verbruikers soms niet meer goed functioneren, kunnen de systemen voor toonfrequent besturing (in- en uitschakelen van de openbare Verlichting of het omschakelen naar daltarief) worden beïnvloed en kan opwarming van componenten (zowel in het net als in apparatuur) plaatsvinden [29]. Om de toelaatbaarheid van harmonischen te reguleren zijn in internationaal verband hiervoor normen opgesteld voor apparatuur tot 11kVA [32] en voor Nederland voor niet huishoudelijke apparatuur met een vermogen groter dan 11kVA een richtlijn [33] opgesteld [29]. Wanneer er veel decentrale opwekkers op hetzelfde netgedeelte gaan invoeden moet er rekening mee worden gehouden dat netvervuiling uit verschillende bronnen elkaar kunnen versterken (opslingeren) [29]. Bij het ontwerp van de zonnecentrale zal men hiermee rekening moeten houden, en dus product keuzes moeten maken, waardoor dit probleem niet buiten de normen treedt. Eventueel kan men hogere harmonischen "vangen" middels netfilters, wanneer deze toch nog (te sterk) optreden.

Inverters die self-commutated zijn en werken met hoogfrequente pulsbreedte modulatie (MOSFET en IGBT) ondervinden meestal geen problemen met harmonischen en hebben weinig moeite de normen te bereiken [31]. Onderscheid wordt meestal gemaakt tussen kleine en grotere inverters welke aan verschillende normen moeten voldoen. Voor de kleine inverters geldt de EN60555-2 norm en voor de grotere inverters (met stromen > 16A) geldt de IEC 1000 3-4 norm [26, 31].

2.3.2.3 Radio Frequency Interference (RFI); lichtflikkeringen

Lichtflikkeringen ontstaan door kortdurende spanningsvariaties die in korte tijd achter elkaar plaatsvinden [29]. In internationaal verband zijn de toelaatbare grenzen vastgelegd in de EMC regelgeving, aangegeven in de zogenoemde Flickercurve in IEC publicatie 555-3 en 1000-3-2 en in NEN 11000-3-3 [34]. Deze curve geeft aan bij welke amplitude en frequentie een spanningsfluctuatie hinderlijk wordt voor het menselijk oog [29].

Voor inverters zijn in vergelijking met vroegere ontwerpen, de RF-spanningen aan de AC-zijde flink gereduceerd en meestal conform de normen (EN55014) [31]. Sommige inverters hebben echter aan de DC-zijde nog te hoge RF-spanningen, waardoor additionele filtering noodzakelijk

³¹ Haeblerlin H., Kaeser F., Liebi Ch., Beutler Ch. 'Results of Recent Performance and Reliability Tests of the Most Popular Inverters for Grid Connected PV Systems in Switzerland', ISB, Burgdorf, Switzerland, 1995.

³² NEN 10555, 1 en 2 'Netvervuiling veroorzaakt door huishoudelijke en soortgelijke elektrische apparatuur' deel 1: Termen en definities, deel 2 Harmonischen, NNI Delft, 1988. Deel 3 is vervangen door de NEN 11000-3-2.

³³ EnergieNed 'Richtlijnen voor toelaatbare harmonischen stromen, geproduceerd door apparatuur met een vermogen groter dan 11 kVA', januari 1996.

³⁴ NEN 11000-3-3 'Elektromagnetische Compatibiliteit'; limietwaarden voor spanningschommelingen en lichtflikkeringen in laagspanningsnetten voor apparatuur met een ingangsstroom tot en met 16A per fase, NNI Delft, 1995.

is. Lage RF-spanningen aan de DC-zijde zijn namelijk niet alleen wenselijk om interferentie in elektronische apparatuur te voorkomen, maar ook om geavanceerde beveiligingsapparatuur (bijvoorbeeld een elektrische spanningssprong detector) te kunnen gebruiken tegen brandgevaar aan de DC-zijde. Een voldoende niveau van RFI filtering werkt bovendien de betrouwbaarheid van een inverter in de hand, omdat het immuuniteit verschafft tegen spanningsvallen (voltage transients) welke inverter uitval als gevolg kunnen hebben [31].

2.3.2.4 Islanding (eilandbedrijf)

Eilandbedrijf houdt in dat de decentrale opwekker door gaat met zijn bedrijf (elektriciteit leveren) ondanks dat het openbare net uitgevallen is [18]. Voordat aansluitingsrecht op het net voor een decentrale opwekker verkregen wordt moet er een beveiliging tegen eilandbedrijf aanwezig zijn, dit ten behoeve van veiligheidsredenen en schade aan componenten van het netwerk en de decentrale opwekkers zelf [29, 31].

2.3.2.5 Gevoeligheid voor Telecontrol signalen

Wanneer inverters blootgesteld worden aan telecontrol signalen kunnen ze soms tijdelijk uitschakelen. Haerberlin et al. hebben dit getest met behulp van gesimuleerde telecontrol signalen, met vrij hoge spanningen (tot 18V) [31]. Geen hardware matige defecten volgde, alleen schakelde soms bepaalde inverter typen even uit voor slechts een paar seconden. Aangenomen mag worden dat telecontrol signalen dus geen (serieuze) problemen vormen voor inverters. Aanbevolen wordt toch om inverters zodanig af te schermen dat deze geen hinder ondervinden van telecontrol signalen.

In dit project, maar eigenlijk in alle gevallen waarbij parallel schakeling aan het openbare elektriciteitsnet plaatsvindt, zal de kwaliteit van de geleverde elektriciteit moeten voldoen aan de voorwaarden opgelegd door het energiebedrijf. Bij kwaliteit moet men denken aan de volgende begrippen, welke middels een synchronisatie eenheid kunnen worden gecontroleerd: amplitude, fasevolgorde en frequentie van de spanning.

3. Ontwerp LCA-basismodel, voor de vergelijking van Zonnecentrale ontwerpen op basis van milieubelasting

In dit hoofdstuk wordt toegewerkt naar een algemeen geldend LCA (Life Cycle Assessment) basismodel waarmee verschillende zonnecentrale ontwerpen met elkaar vergeleken kunnen worden op basis van de milieubelasting. De eerste twee paragrafen beschrijven de achtergronden, de methodiek en het gekozen analyse instrument van de levenscyclusanalyse (LCA). Daarna worden in paragraaf 3.3 de verschillende LCA-stappen doorlopen en uitgewerkt voor een zonnecentrale. De bouwstenen waaruit een zonnecentrale bestaat worden uiteengezet in paragraaf 3.4. In paragraaf 3.5 wordt aangegeven hoe de zonnecentrale stromen geanalyseerd zullen worden en welke ecologische stromen van belang zijn voor het LCA-basismodel. Paragraaf 3.6 vertegenwoordigt het zeer belangrijke onderdeel: afbakening van componenten en processen welke meegenomen worden in de analyse. Afbakening is vooral belangrijk om het LCA-basismodel een hanteerbaar analyse instrument te laten zijn. De afsluitende paragraaf (3.7) presenteert het ontstane LCA-basismodel (milieubeoordelingstool voor zonnecentrales) en onderbouwt de gemaakte keuzen om de doelstellingen van het LCA-basismodel (vergelijking en praktische hanteerbaar instrument, modulariteit, en op basis van levenscyclusanalyse), te kunnen realiseren. In paragraaf 3.7 vindt tevens een kritische beoordeling van de milieubeoordelingstool plaats waarbij de knelpunten worden aangegeven.

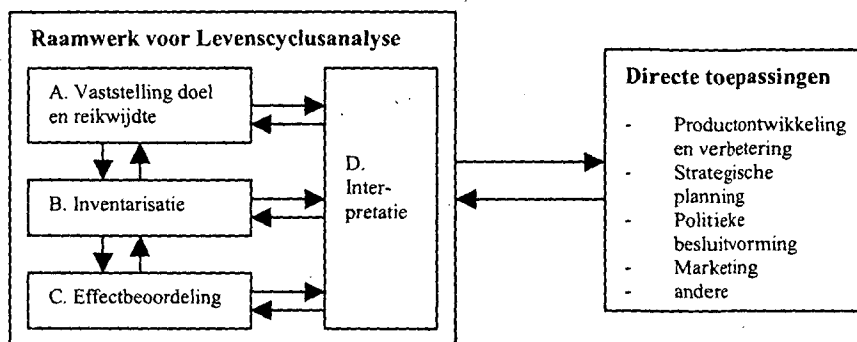
3.1 De Levenscyclusanalyse in historisch perspectief

Het verhoogde bewustzijn van het belang van milieubescherming en de mogelijke milieueffecten die verbonden zijn met het vervaardigen en consumeren van producten, heeft geleid tot een toenemende aandacht voor de ontwikkeling van methoden om deze effecten beter te begrijpen en te kunnen verminderen. Een van de methoden die voor dit doel zijn ontwikkeld is de levenscyclusanalyse (LCA). Eind jaren tachtig waren er al een aantal verschillende, vooral kwalitatieve methoden, welke milieugedrag van materialen trachtte te beoordelen, maar deze methoden werden gekenmerkt door een hoge mate van subjectiviteit [1]. In 1992 werd een belangrijke stap in de richting van een objectieve methode gezet door het Centrum voor Milieukunde te Leiden (CML). Het CML ontwikkelde in het kader van het Nationaal Onderzoeksprogramma Hergebruik van Afvalstoffen (NOH) een methode welke een leidraad biedt voor onderzoek naar de milieuaspecten in de levenscyclus van een product, bekend geworden als de levenscyclusanalyse (LCA) [35]. Deze CML-methodiek werd al snel ook internationaal erkend als een geschikt raamwerk voor levenscyclusanalyse, wat resulteerde in een "Code of Practice" opgesteld door de Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) in 1993. In 1997 kwam de internationale norm voor LCA uit, namelijk de ISO 14040: "Environmental management - life cycle assessment - Principles and framework" van de international organization for standardization (ISO). Deze internationale norm geeft de principes en het raamwerk alsmede enkele methodische eisen voor het uitvoeren van LCA-onderzoeken [36]. Aanvullende details over de methoden worden gegeven in de aanvullende internationale normen ISO 14041 (Goal and scope definition and inventory analysis), ISO 14042 (Life cycle impact assessment) en ISO 14043 (Life cycle interpretation) die gaan over de verschillende fasen van LCA. Aan de hand van deze ISO-normen (tevens NEN-norm 14040 t/m 14043) en de CML-methodiek zullen de verschillende fasen van een LCA worden toegelicht in paragraaf 3.2 en worden uitgewerkt voor toepassing op een zonnecentrale in paragraaf 3.3.

³⁵ Heijungs et al. 'Milieugerichte levenscyclusanalyses van producten', CML, Leiden, 1992

3.2 De levenscyclusanalyse methode

LCA is een techniek voor de analyse van de milieuaspecten en mogelijke milieueffecten die verbonden zijn met een product of proces. In een LCA moet de vaststelling van doel en reikwijdte, 'inventarisatie', 'effectbeoordeling' en interpretatie van de resultaten altijd worden opgenomen [36]. Dit is het zogenaamde raamwerk van een LCA-onderzoek (afbeelding 3.1).



Afbeelding 3.1: raamwerk van een LCA-onderzoek [36].

3.2.1 De stappen binnen een LCA-onderzoek

De 4 basis onderdelen van het LCA raamwerk (A,B,C en D zijn onderdeel van een 'iteratief proces') kunnen onderverdeeld worden in een 9-tal stappen, welke hieronder kort toegelicht zullen worden [35, 37]:

A.1 Wanneer is LCA een zinvol instrument

In deze fase moet de afweging gemaakt worden of een LCA-onderzoek een geschikte methode is om de vraagstelling van het onderzoek te beantwoorden. LCA wordt gebruikt bij:

- Vergelijking van de milieu-impact van verschillende producten met dezelfde functie.
- Vergelijking van de milieu-impact van één bepaald product met referentie of standaard.
- Het identificeren van de zwaartepunten in de levenscyclus van een product en op basis daarvan de belangrijkste wegen naar milieuverbetering aan te geven.
- Het beoordelen van nieuwe ontwerpen van producten of diensten.
- Het beoordelen van strategische keuzes [35, 37].

A.2 Doelbepaling

In deze fase moet het doel van de LCA, de initiatiefnemer en de doelgroep, het onderwerp van studie ('functionele eenheid'), de diepgang van de studie (niveau van detail en betrouwbaarheid) en de ruimtelijke en temporele representativiteit aangegeven worden [35, 37].

B.1 De 'procesboom'

Als resultaat van deze fase komt een grafische weergave van het te onderzoeken onderwerp naar voren. Een procesboom dient te beginnen bij de onttrekking van grondstoffen uit het milieu, waarbij ook de daarbij benodigde hulpstoffen en de productie ervan moet worden meegenomen. De procesboom eindigt bij emissie naar het milieu en het finale afval dat gestort wordt. Daartussen dient voor alle processen zichtbaar gemaakt te worden op welke manier grondstoffen worden verwerkt tot producten en welke emissies daarbij ontstaan. Bovendien moet een procesboom aangeven waar bijproducten worden gegenereerd en waar kringlopen ontstaan [35, 37].

³⁶ NEN-EN-ISO 14040 'Milieumanagement-Levenscyclusanalyse-Principes en raamwerk', NNI, 1998.

³⁷ Berg van den N.W., Dutilh C.E., Huppes G. 'LCA voor beginners; handleiding milieugerichte levenscyclusanalyse', CML, Leiden, juni 1995

B.2 Gegevens verzameling

Het raadplegen van literatuur en andere vormen van informatie winning om de in- en uitgaande stromen van de afzonderlijke processen van de opgestelde procesboom te kwantificeren [^{35, 37}].

B.3 Definiëring van systeemgrenzen

De bedoeling in deze fase is om met de in de voorgaande fasen opgedane informatie te bepalen welke delen meer of minder detaillering behoeven. De feitelijke definiëring van de grens tussen het te onderzoeken systeem en milieu, de grens tussen het te onderzoeken systeem en andere hiermee samenhangende systemen (allocatie regels) en de grens tussen relevante en niet-relevante gegevens en processen moet hier duidelijk aangeven en verantwoord worden [^{35, 37}].

B.4 Gegevensverwerking

De gegevens dienen in een zodanige vorm te worden gepresenteerd dat bewerking mogelijk wordt. Deze bewerkingen gebeuren door achtereenvolgens te formaliseren (in éénduidig format plaatsen), het berekenen van de specifieke hoeveelheden en het opstellen van een inventarisatietabel. In deze tabel wordt duidelijk welke milieu-ingrepen ontstaan bij de voor de functionele eenheid van een product benodigde processen [^{35, 37}].

C.1 Classificatie/ karakterisatie/ normalisatie

Eerste deel van de effectbeoordeling (ook wel ingrepenanalyse genoemd) is het classificeren en karakteriseren van de uitkomsten van de inventarisatiefasen, zodat ze aan de relevant zijnde milieuthema's toegewezen kunnen worden. Alle stof en energiestromen worden nu gerelateerd aan verschillende milieuthema's (milieueffecten). Het resultaat van de classificatie/ karakterisatie is een tabel van de relevante milieuthema's die het milieuprofiel van de functionele eenheid beschrijven in absolute of genormaliseerde getallen. Normalisatie kan namelijk optioneel uitgevoerd worden door de bijdrage van de functionele eenheid te relateren aan het totaal van alle emissies en winningen over de hele wereld [^{35, 37}].

C.2 Evaluatie

Het omzetten van het milieuprofiel in één milieu-index (milieubelasting van de functionele eenheid). De milieuthema's moeten gewogen worden door bepaalde verantwoorde weegfactoren. Vereenvoudiging tot één enkele score heeft als risico dat men het inzicht verliest op de onderliggende aannames en informatie. Daarom moet men de geldigheid van de concluderende milieu-index onderzoeken. Controle van de geldigheid kan plaatsvinden door het opstellen van een 'gevoelighedsanalyse' of een 'peer review'. Een praktische manier om een gevoelighedsanalyse vorm te geven is door best/ base/ worst-case scenario's op te stellen [^{35, 37}].

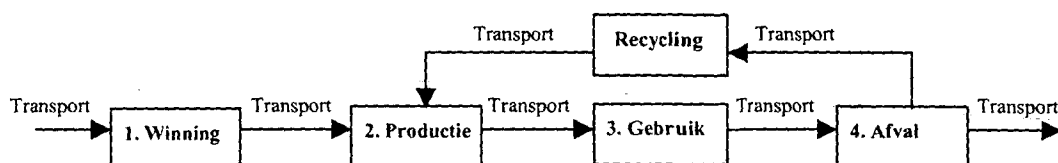
D. Structurering tot interpreteerbare resultaten en opstellen van een verbeteranalyse

Rapportage van de resultaten van het uitgevoerde LCA-onderzoek en de daaruit voortkomende conclusies. Op basis van de conclusies kan men afhankelijk van het gestelde doel van de LCA: aandachtspunten en verbeter opties formuleren, producten en processen met elkaar vergelijken of een strategische keuze onderbouwen [^{35, 37}].

Zoals uit voorgaande bespreking van de 9 stappen van de LCA-methode gebleken is kan de reikwijdte, de systeemgrenzen en het niveau van detaillering van een LCA-onderzoek sterk afhankelijk zijn van het onderwerp (de functionele eenheid) en het bedoelde gebruik van de onderzoeksuitkomsten. Hierdoor kunnen aanzienlijke verschillen met andere, mogelijk onderwerpgerelateerde, LCA-onderzoeken ontstaan [³⁶]. Deze probleemonderkenning van onvergelykbaarheid, mogelijk te verwoorden als de zwakheid van de LCA-methode, geeft de relevantie aan van een algemeen basismodel voor zonnecentrales ten behoeve van LCA-onderzoek en maakt studie naar opzet van dergelijk model theoretisch en praktisch nuttig [^{35, 37}].

3.2.2 Processen in een levenscyclus

Tijdens de levensloop van een product of proces vinden vele verschillende deelprocessen plaats. Om overzicht te verkrijgen en structurering aan te brengen kan men verschillende fasen van het leven van een product of proces onderscheiden. Transport kan een onderdeel zijn van elk deelproces, bij uitwerking van de deelprocessen kan transport opgenomen worden in de procesboom van de deelprocessen. In afbeelding 3.2 staan de verschillende processen van een levenscyclus welke in dit rapport onderscheiden zullen worden [^{1,38}].



Afbeelding 3.2: processen in de levenscyclus van een product of proces.

Recycling is op zichzelf geen echte fase van het leven van een product (bijvoorbeeld een fiets), omdat het product na ontmanteling uiteenvalt in verschillende stromen. Maar onderdelen en materialen van deze fiets kunnen in de afvalfase, na scheiding, hergebruikt worden waardoor onderdelen en materialen voor nieuwe producten (nieuwe fietsen of andere producten) opnieuw ingezet kunnen worden. Metalen, zoals aluminium, koper, zink, ijzer en lood zijn zeer goed recyclebaar, de energiebesparing bij recycling hiervan is namelijk respectievelijk 98%, 87%, 63%, 62% en 60% [¹].

3.2.3 SimaPro 5.0, de CML 2 baseline 2000 methode en de milieuthema's

Het aanbod van LCA-programmatuur is de laatste jaren behoorlijk toegenomen [³⁷]. Middels een database met product gegevens en verschillende berekeningsmethoden kan deze programmatuur de analyse kracht bij zetten. In dit onderzoek (en in het LCA-basismodel) zal gebruik gemaakt worden van het softwarepakket: SimaPro 5.0 (2001 versie), dat ontwikkeld is door Pré Consultants te Amersfoort. SimaPro kent verschillende LCA-methodieken, welke alle verschillende eigenschappen, milieuthema's en berekeningswijzen kennen. De verschillende methodieken zijn de "CML 1992", de "Eco-indicator 95", de "Ecopoints 97", de "CML 2 Baseline 2000", de "EPS 2000 Default" en de "EDIP/ UMIP 96". De methodiek welke in dit rapport gevolgd wordt en aan het LCA-basismodel gekoppeld zal worden is de CML 2 Baseline 2000, omdat dit een update is van de in dit rapport uiteengezette CML 1992 methode, van Heijungs [³⁹]. De CML 2 Baseline 2000 methode onderscheidt in de classificatiefase, de volgende 10 milieuthema's (milieueffecten) [³⁹]:

1. Abiotisch uitputtingspotentieel (Abiotic Depletion Potential, ADP)

Abiotische uitputting betreft de winning en de daardoor ontstane uitputtingsverschijnselen van niet-hernieuwbare grondstoffen en fossiele brandstoffen zoals bijvoorbeeld ertsen, kolen en aardolie. De abiotische uitputtingsfactor (ADF) wordt uitgedrukt in de hoeveelheid gebruikte grond- en brandstoffen gerelateerd aan de totale (bekende) hoeveelheid van die grond- en brandstoffen op aarde.

³⁸ Pré Consultants 'SimaPro 5 Coffee machine demo', Amersfoort, januari 2001

³⁹ Pré Consultants 'SimaPro 5.0 Database Manual, methods library', Goedkoop M., Oele M., Effting S., Amersfoort, juni 2001.

2. *Klimaatverandering door broeikas effect (Greenhouse effect, Global Warming Potential, GWP)*
Klimaatverandering is gerelateerd aan de emissies van broeikasgassen in de atmosfeer. In SimaPro wordt gebruik gemaakt van het karakterisatie model ontwikkeld door het IPCC, waarin weegfactoren voor de verschillende broeikasgassen zijn opgenomen. De factoren worden uitgedrukt als GWP voor een tijd horizon van 100 jaar (GWP_{100}), in kg CO_2 /kg emissie. Een overzicht van deze GWP_{100} factoren van het IPCC is opgenomen in bijlage 4.

3. *Ozon uitputtingspotentieel (Stratospheric Ozone depletion, ODP)*

Aantasting van de ozonlaag resulteert in een stijging van de hoeveelheid UV-straling die het aardoppervlak bereikt. Dit is schadelijk voor de menselijke en dierlijke gezondheid, terrestische en aquatische ecosystemen, biochemische cycli en materialen. Het karakterisatie model in SimaPro maakt gebruik van een model ontwikkeld door de World Meteorological Organisation (WMO), waarin ozon uitputtingpotentiëlen zijn opgenomen voor verschillende gassen en een oneindige tijdspanne gehanteerd wordt.

4. *Humane toxiciteit (Human Toxicity, HT)*

Het blootstellen van de mens aan giftige stoffen welke gezondheidsproblemen veroorzaken. Blootstelling kan plaatsvinden via alle compartimenten (water, lucht en bodem), maar met name via de voedselketen. In SimaPro worden de humane toxiciteit potentiëlen (HTP) berekend via USES-LCA. Dit is een database in SimaPro welke oorzaken, blootstelling en gevolgen van toxicische substanties voor een oneindige tijdshorizon beschrijft.

5 en 6. *Ecotoxiciteit Aquatisch (Eco-toxicity Aquatic, ECA)*

Het blootstellen van giftige stoffen welke gezondheidsproblemen veroorzaken voor flora en fauna in aquatische ecosystemen. Onderscheid wordt in de CML 2 Baseline 2000 gemaakt tussen "fresh water" (FAETP, milieuthema 5) en "marine of sea water" (MAETP, milieuthema 6) ecotoxiciteit. De Eco-toxicity Potentials (FAETP en MAETP) worden in SimaPro berekend met behulp van de USES-LCA database.

7. *Ecotoxiciteit Terrestisch (Eco-toxicity Terrestrial, ECT)*

Het blootstellen van giftige stoffen welke gezondheidsproblemen veroorzaken voor flora en fauna in terrestische ecosystemen. De Eco-toxicity Potential (TETP) wordt in SimaPro berekend met behulp van de USES-LCA database.

8. *Fotochemische Oxidantvorming (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP)*

Reacties tussen NO_x en vluchtige organische stoffen leiden, onder invloed van UV-straling, tot fotochemische oxidantvorming (meestal ozon, O_3), hetgeen zomer smog veroorzaakt. Winter smog valt niet onder deze categorie. POCP voor emissie van substanties naar lucht wordt in SimaPro berekend met behulp van het "UNECE Trajectory model", en uitgedrukt in kg ethyleen-equivalenten/ kg emissie. De tijdspanne is 5 dagen en de geografische grenzen kunnen variëren van locale tot continentale schaal.

9. *Verzuringspotentieel (Acidification Potential, AP)*

Verzuring veroorzaakt een breed spectrum aan effecten op bodem, grondwater, oppervlakte water, organismen ecosystemen en materialen (bijvoorbeeld: gebouwen). SimaPro gebruikt voor de berekening van de AP van emissies naar lucht het "RAINS 10 model". Dit model beschrijft de oorzaken en depositie (aanslibbing) van zure substanties, waardoor onder meer zure regen ontstaat. De AP wordt uitgedrukt in kg SO_2 -equivalenten/ kg emissie. De tijdspanne is oneindig en de geografische grenzen kunnen variëren van locale tot continentale schaal.

10. Eutrofiëring; vermesting (*Eutrophication or Nutrifcation Potential, NP*)

Toevoeging van nutriënten (meststoffen) aan het water en de bodem, waardoor de productie van bepaalde soorten biomassa toenemen kan. Hierdoor verminderd de zuurstofgraad, hetgeen gevolgen heeft voor de hogere organismen (bijvoorbeeld de vissen in een sloot). Dit kan leiden tot ongewenste verschuivingen in ecosystemen in aantal soorten waardoor de biodiversiteit af neemt. De belangrijkste eutrofiërende elementen zijn stoffen die stikstof bevatten (bijvoorbeeld NH_3 en NO_x). De NP is in SimaPro gebaseerd op een stoichiometrische procedure van Heijungs (1992), waarin NP uitgedrukt wordt als kg PO_4 -equivalenten/ kg emissie. De tijdspanne is oneindig en de geografische schaal varieert tussen lokaal en continentaal.

3.3 De LCA-stappen voor een Zonnecentrale

A.1 en A.2: vaststelling doel en reikwijdte

Een LCA-onderzoek is een gegronde keuze als instrumentarium, omdat de resultaten en conclusies van dit LCA-onderzoek gebruikt kunnen worden voor de volgende doeleinden:

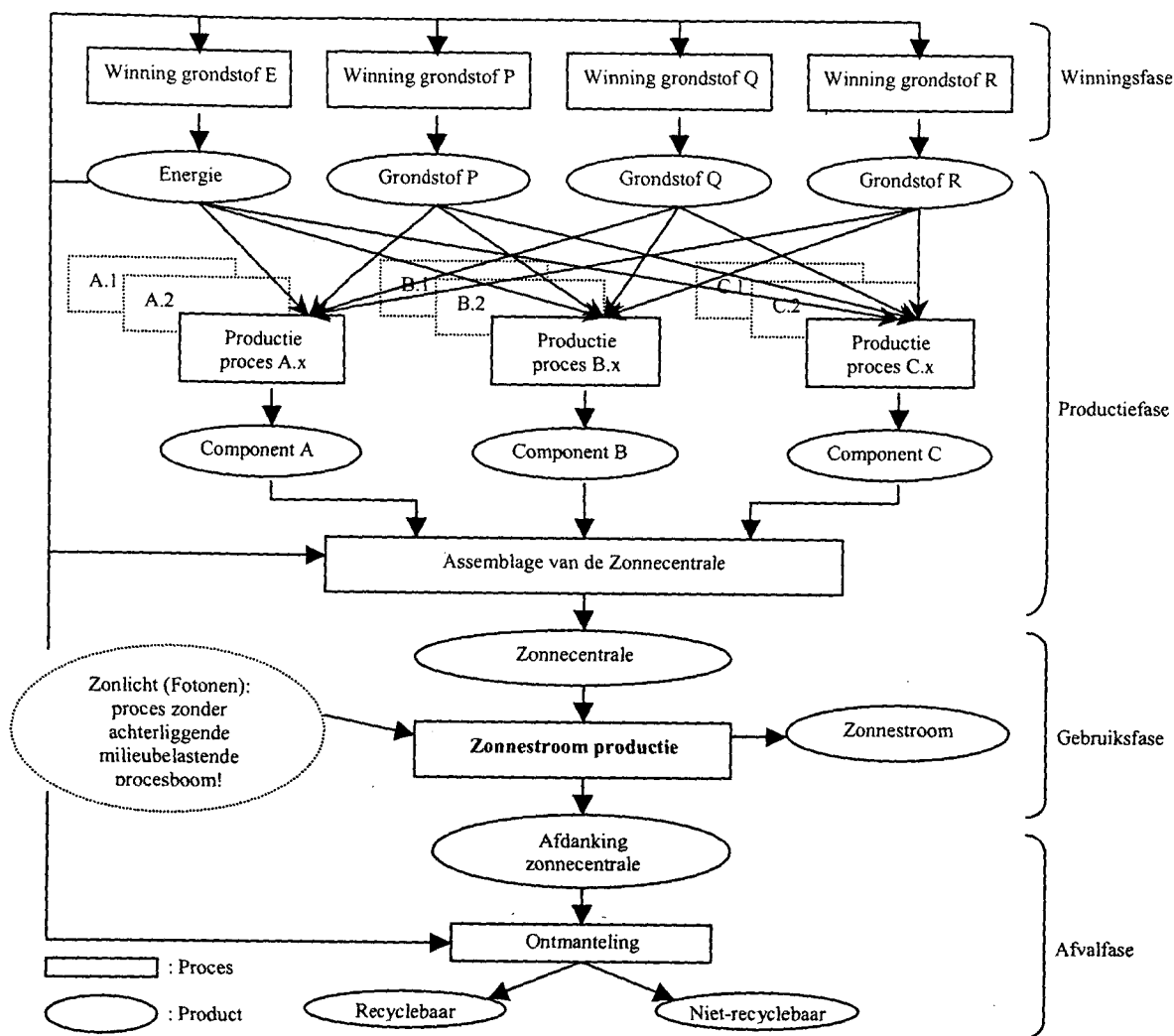
- Het vergelijken van de milieu-impact (milieubelasting) van verschillende elektrische zonnecentrale ontwerpen met een zelfde functie: het produceren van zonnestroom.
- Het maken van strategische keuzen tussen verschillende elektrische ontwerpen van een zonnecentrale.

De functie van een zonnecentrale is primair het leveren van zonnestroom. Randvoorwaarden bij deze primaire functie vervulling zijn het op de juiste plaats, in de vereiste fysieke vorm, een hoge mate van leveringsbetrouwbaarheid en levering van de zonnestroom aan het openbare elektriciteitsnet. De functionele eenheid, welke ook naast de functie, een hoeveelheid weergeven moet [35], kan men nu als volgt definiëren:

“de levering van één Terajoule ($1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ J} = 2,78 \cdot 10^5 \text{ kWh}$) zonnestroom aan het openbare elektriciteitsnet”.

B.1: opstellen van de procesboom

Met behulp van alle processen in de procesboom wordt de uiteindelijke functie vervuld. Behalve het gewenste product, produceert het proces ook nevenproducten, denk hierbij aan: afval, verscheidene (her)bruikbare stoffen, milieubelastende stoffen (emissies naar de compartimenten; lucht, water en bodem), enzovoort. Al deze nevenproducten gaan of naar een ander proces (met andere procesboom) of naar het milieu. Iedere procesboom is dus verweven met een andere procesboom [35]. Meestal komt het ook voor dat de processen gepaard gaan met de inzet van kapitaalgoederen (machines, gebouwen e.d.). Deze kapitaalgoederen moeten echter ook geproduceerd en ontmanteld worden, dit is in feite een 2e orde procesboom die schuilt achter elk proces. Deze zullen alleen meegenomen worden wanneer dit expliciet vermeld wordt. De procesboom voor een zonnecentrale zou men als volgt kunnen voorstellen:



Afbeelding 3.3: procesboom van een zonnecentrale

B.2: Gegevensverzameling

In deze stap worden alle in- en uitstromen van de processen in de procesboom in kaart gebracht. De materiaal- en energiestromen kan men respectievelijk kwantificeren met de massa en met de energie inhoud. Uiteindelijk zijn voor de LCA alleen de ontstane milieu-ingrepen van belang, dat wil zeggen de materiaal en energiestromen van en naar het milieu. De ingaande energiestromen worden gekarakteriseerd door de hoeveelheid en soort van energie van een bepaalde instroom te beschrijven. Door de ingaande energiestromen van alle processen te cumuleren kan eenvoudig het totale energiegebruik van de gehele procesboom worden bepaald. Dit totale energiegebruik kan later worden teruggerekend tot milieu-ingrepen die gepaard gaan met dit verbruik. Maar omdat niet altijd alle benodigde informatie beschikbaar is, zal het voorkomen dat bepaalde componenten en onderdelen kwalitatief beoordeeld moeten worden. Hierdoor geeft de uiteindelijk verkregen waarde voor een bepaald zonnecentrale ontwerp niet de theoretisch juiste milieubelastingwaarde maar meer een vergelijkingswaarde (doel van het LCA basismodel). Het niet beschikbaar zijn van kwantitatieve informatie betreffende onderdelen en materialen heeft zijn oorzaak in verschillende onderliggende redenen, namelijk: doordat het gevoelige R&D informatie betreft of omdat de fabrikant van een bepaalde component een aantal onderdelen inkoop en dus geen materiaal en/of proces informatie heeft met betrekking tot deze onderdelen.

B.3 en B.4: Systeemgrenzen, allocatieregels en gegevensverwerking

In een transformatieproces kunnen meerdere nuttige uitstromen ontstaan. Deze uitstromen van meervoudige processen voorzien verschillende processen van een instroom. Voor de juiste bepaling van de milieueffecten moet alleen het gedeelte van het proces dat ten dienste staat aan de procesboom van de zonnecentrale worden meegenomen. Deze allocatieregels kunnen fysische (gewicht, oppervlakte en energie) zijn, omdat gelijkwaardige producten (zonnecentrales) met elkaar vergeleken worden.

C.1: Classificatie/ karakterisatie/ normalisatie

De stof- en energiestromen worden nu gerelateerd aan de verschillende milieuthema's (milieueffecten). De milieueffecten welke in dit onderzoek meegenomen worden zijn de milieueffecten beschreven in paragraaf 3.2.3 afkomstig uit de CML 2 Baseline 2000 methode. Deze milieueffecten geven de bijdrage weer die per functionele eenheid aan de milieuproblemen wordt geleverd. Daarna zal normalisatie plaatsvinden door de effectscores van de functionele eenheid te relateren aan de wereld bijdrage aan het betreffende milieueffect. De mondiale (in 1990 en 1995) en de nationale bijdrage aan de verschillende milieueffecten worden in tabel 3.1 weergegeven [⁴⁰].

Tabel 3.1: de mondiale en nationale bijdrage aan de verschillende milieueffecten [⁴⁰].

Milieueffect	Dimensie	Wereld bijdrage 1990	Wereld bijdrage 1995	Nederlandse bijdrage 1997
<i>Abiotisch uitputtingspotentieel</i> (Abiotic Depletion Potential, ADP)	kg antimony (Sb) eq. / yr	1,58E+11	1,57E+11	1,71E+09
<i>Klimaatverandering door broeikaseffect</i> (Greenhouse effect, GWP)	kg CO ₂ eq. / yr	4,64E+13	4,45E+13	2,51E+11
<i>Ozon uitputtingspotentieel</i> (Stratospheric Ozone Depletion, ODP)	kg CFC-11 eq. / yr	1,14E+09	5,15E+08	9,77E+05
<i>Humane toxiciteit</i> (Human Toxicity, HT)	kg 1,4-dichlorobenzene eq. / yr	5,99E+13	4,98E+13	1,88E+11
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) FRESH W., FAETP	kg 1,4-dichlorobenzene eq. / yr	2,07E+12	2,03E+12	7,54E+09
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) MARINE, MAETP	kg 1,4-dichlorobenzene eq. / yr	7,55E+14	5,12E+14	4,26E+12
<i>Ecotoxiciteit Terrestisch</i> (Eco-toxicity Terrestrial, ECT)	kg 1,4-dichlorobenzene eq. / yr	2,64E+11	2,68E+11	9,59E+08
<i>Fotochemische Oxidantvorming</i> (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP)	kg ethylene (C ₂ H ₂) eq. / yr	1,08E+11	4,55E+10	1,82E+08
<i>Verzuringspotentieel</i> (Acidification Potential, AP)	kg SO ₂ eq. / yr	3,13E+11	2,99E+11	6,69E+08
<i>Eutrofiëring; vermesting</i> (Eutrophication or Nutrification Potential, NP)	kg PO ₄ eq. / yr	1,32E+11	1,29E+11	5,02E+08

C.2: Evaluatie

Het ontstane milieuprofiel (uit fase C1, gegenereerd door SimaPro) wordt in één milieu-index omgezet (milieubelasting van de functionele eenheid). Dit zal plaatsvinden door evaluatiefactoren (een reeks weegfactoren) te gebruiken. Deze evaluatiefactoren zijn slechts in zeer beperkte mate gebaseerd op wetenschappelijke overwegingen en vaak ingegeven door internationale overeenkomsten en compromissen [¹]. Daarom wordt gebruikt gemaakt van 3 verschillende sets van evaluatiefactoren om de verschillende milieueffecten te wegen vanuit 3 verschillende perspectieven (3 verschillende doelgroepen). Hierdoor wordt voor verschillende partijen

⁴⁰ <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/index.html> 'Database impact assessment september 2001', van internetsite van CML, november 2001.

duidelijk, welk ontwerp vanuit hun standpunten en doelstellingen de voorkeur verdient (dit is deels een gevoeligheidsanalyse). Gekozen is voor de onderstaande reeksen van weegfactoren (A, B en C), die respectievelijk de volgende doelgroepen vertegenwoordigen:

- A = Opdrachtgever perspectief
- B = Bevolking perspectief
- C = Overheid perspectief

De weegfactoren reeksen zijn weergegeven in tabel 3.2 (de redeneringen achter de weegfactoren reeksen zijn in bijlage 5 aangegeven).

Tabel 3.2: gekozen set van weegfactoren.

Milieueffect	Weegfactoren (totaal 100)		
	A. Opdrachtgever	B. Bevolking	C. Overheid
<i>Abiotisch uitputtingspotentieel</i> (Abiotic Depletion Potential, ADP)	19	8	18
<i>Klimaatverandering door broeikas-effect</i> (Greenhouse effect, GWP)	9	8	18
<i>Ozon uitputtingspotentieel</i> (Stratospheric Ozone Depletion, ODP)	9	8	15
<i>Humane toxiciteit</i> (Human Toxicity, HT)	9	18	7
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) FRESH WATER (FAETP)	9	8	7
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) MARINE (MAETP)	9	8	7
<i>Ecotoxiciteit Terrestisch</i> (Eco-toxicity Terrestrial, ECT)	9	8	7
<i>Fotochemische Oxidantvorming</i> (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP)	9	18	7
<i>Verzuringspotentieel</i> (Acidification Potential, AP)	9	8	7
<i>Eutrofiëring; vermessing</i> (Eutrophication or Nitrification Potential, NP)	9	8	7

Vereenvoudiging tot één enkele milieu-index heeft als risico dat het inzicht verloren gaat op de onderliggende aannames en informatie. Daarom is het belangrijk om de (veronderstelde) inputs welke een grote invloed hebben op de milieueffecten en de milieubelasting te vermelden en de mogelijke alternatieve input aan te geven waardoor de resultaten zouden kunnen variëren.

D: Conclusie en opstellen van een verbeteranalyse

De milieu-indices van verschillende zonnecentrale ontwerpen zouden nu theoretisch gezien bepaald kunnen worden aan de hand van bovenstaande opzet. Groot obstakel is echter het verkrijgen van de zeer veelzijdige en proces specifieke kwantitatieve informatie betreffende de materiaal- en energiestromen van alle onderdelen. Om toch beslissingen te kunnen onderbouwen bij de keuze voor een bepaald zonnecentrale ontwerp, zullen de mee te nemen onderdelen beperkt moeten worden en materiaal en energiestromen kwalitatief beoordeeld moeten worden. Een algemeen geldend basismodel voor zonnecentrales ten behoeve van LCA om verschillende zonnecentrale ontwerpen onderling te vergelijken wordt daarom opgesteld (paragraaf 3.7). Daarvoor zal eerst aangegeven worden waaruit een zonnecentrale bestaat (paragraaf 3.4), daarna wordt in paragraaf 3.5 de levenscyclus van een zonnecentrale verdeeld in ecologische kosten en baten. Paragraaf 3.6 geeft een overzicht van de gehanteerde afbakening waarmee het uiteindelijke algemene basismodel voor zonnecentrales ten behoeve van LCA kan worden opgesteld (paragraaf 3.7).

3.4 Een zonnecentrale en zijn bouwstenen

In deze paragraaf zal worden aangegeven welke componenten en bouwstenen voor kunnen komen in een fotovoltaïsche zonnecentrale. Aan de hand van reeds gerealiseerde zonnecentrales elders in de wereld, wordt een overzicht gegeven van de componenten en benodigdheden welke onderdeel zijn van een zonnecentrale. In onderstaande tabel 3.3 staan al deze onderdelen weergegeven, de daaronder geplaatste afbeelding 3.4 geeft weer hoe de elektrische configuratie van een zonnecentrale voorgesteld kan worden.

Tabel 3.3: componenten en bouwstenen van een fotovoltaïsche zonnecentrale [21, 22, 24, 41, 42, 43, 44].

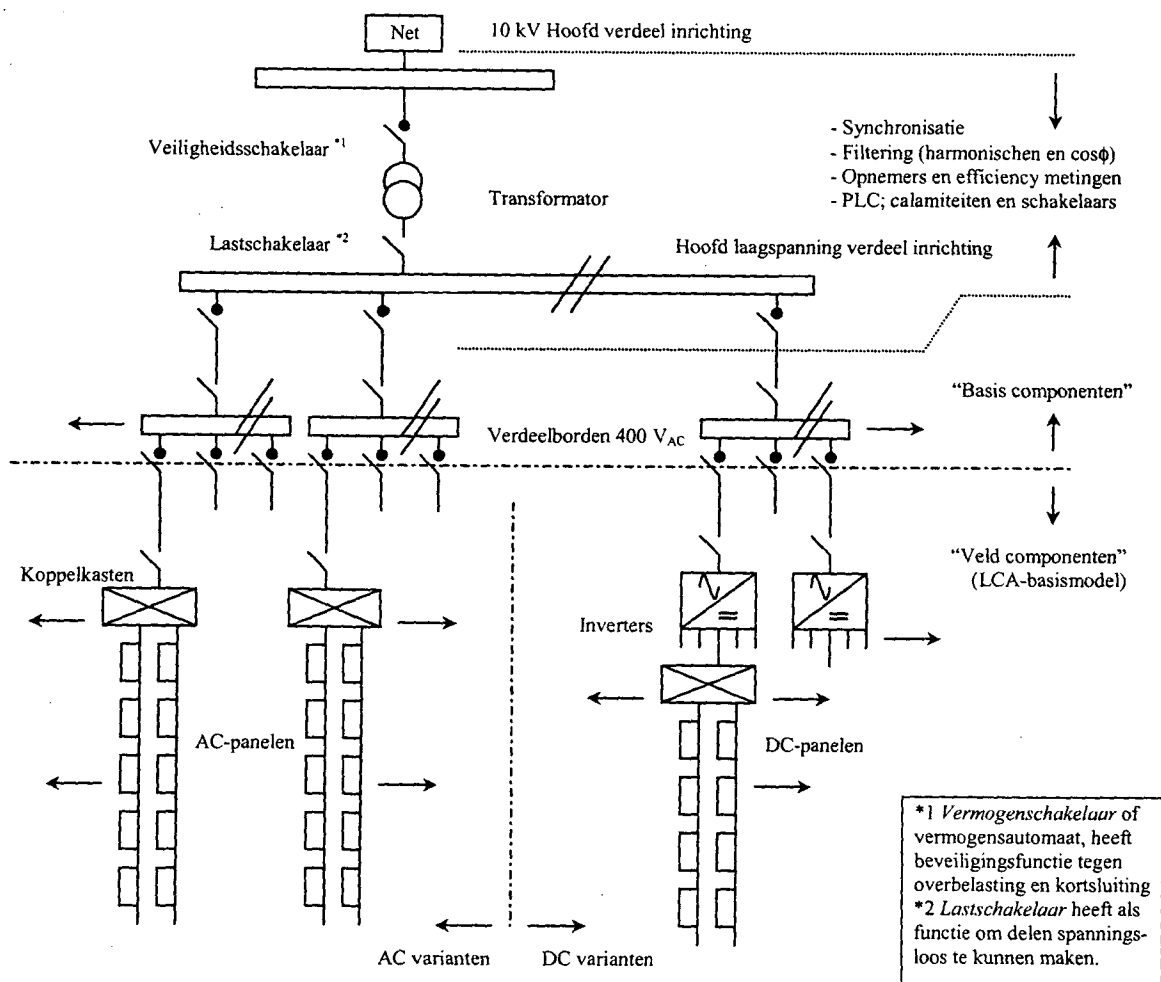
Fotovoltaïsche Zonnecentrale				
Hoofddelen	Componenten	Deel componenten	Onderdelen / materialen	
• Strings en / of Array's	• Zonnepanelen [22, 24]	- Zonnecellen (type) [24] {c-Si, Mc-Si, a-Si, CIS, CISG, CuInSe ₂ , Cd/CuInSe ₂ , CdTe, CdS}	- metaalcontacten - N-type materiaal - P-type materiaal - anti reflectie coating	
		- Encapsulatie [24]	- Glas: low Fe ₂ O ₃ : voorkant - EVA film (Ethyleen vinyl acetaat): vulling als tussenlaag - PVF film (Polyvinyl fluoride): achterkant - Aluminium frame	
		- Verbinding zonnecellen (intra module verbindingen) [24]	- soldering thin or solder-plated copper	
		- Bypass diode	- Silicium en isolerend materiaal	
	• Dioden (string) [22]	- Blokkeer dioden - Isolatie dioden	- Silicium en isolerend materiaal - Silicium en isolerend materiaal	
	• Ondersteunings-constructie	Losse draagconstructie of een dakgeïntegreerde constructie (kan veel lichter worden uitgevoerd)	- Een aantal constructiematerialen (afhankelijk van de keuze en specifieke toepassing)	
• Transport / bekabeling en connecties in het veld	• Koppelkasten (units)	- Bevelingsautomaten - Voedings- en connectierails - Schakelaars en transformator - Behuizing, scheiding en verwarming voor elektronica - PLC voor elektronica	- Schakelaars en kabels - Koperen rails en klemmen - Isolierend en geleidend materiaal - Bouw en verwarming materialen - PLC onderdelen en spanningsloze schakelaars	
		• Bekabeling AC en / of DC	- Stringkabels - Arraykabels - DC-hoofdkabels	- isolierend en geleidend materiaal - isolierend en geleidend materiaal - isolierend en geleidend materiaal
		• Inverters [41]	- Bruggen (IGBT's, Thyristoren e.d.)	- isolierend en geleidend materiaal
			- MPPT - Interne bekabeling (DC en AC) - R, L en C componenten - Behuizing, scheiding en verwarming	- mppt-controller onderdelen - isolierend en geleidend materiaal - Silicium en isolerend materiaal - Bouw en verwarming materialen
• Power Conditioning Unit (PCU) [42]	• Transformator	- Windingen - Bekabeling AC - Isolatiematerialen	- geleidende materialen - isolierend en geleidend materiaal - isolerende materialen	
		• Filtering (harmoonischen) [43]	- R, L en C componenten	- Silicium en isolerend materiaal
	• Power factor (cosφ) correction system	- R, L en C componenten	- Silicium en isolerend materiaal	

⁴¹ Visiers Guixot M., Yordi B. 'Static converter design for the 1 MW "Toledo PV-project"', Enertron and Union Fenosa, Madrid, Spain, 1994.

⁴² Apicella F., Geurra M., Iannone F., et al. 'ENEA Experience on large grid connected PV plants the delphos project', ENEA, Italy, 1995.

⁴³ Kempe A., Schonwandt U., Gottmann B., Hauk R. 'EMC of PV-Plants with line-commutated inverters', Germany, 1995.

	<ul style="list-style-type: none"> Besturing, (PLC) (calamiteiten schakelaars, bijv. tegen eiland-bedrijf) 	<ul style="list-style-type: none"> - PLC (Programmable Logic Control)-onderdelen - Synchronisatie unit (om netspanning en frequentie te meten) - Interne bekabeling DC 	<ul style="list-style-type: none"> - PLC onderdelen - Synchronisatie unit onderdelen - isolerend en geleidend materiaal
<ul style="list-style-type: none"> Monitoring apparatuur 	<ul style="list-style-type: none"> Opnemers voor meteorologische data [21, 44] 	<ul style="list-style-type: none"> - Pyranometer - Thermometer voor cel en omgevingstemperatuur 	<ul style="list-style-type: none"> - Pyranometer onderdelen - Thermometer onderdelen
	<ul style="list-style-type: none"> Efficiency meetapparatuur 	<ul style="list-style-type: none"> - Vermogensmeter - kWh meter 	<ul style="list-style-type: none"> - Vermogensmeter onderdelen - kWh meter onderdelen
	<ul style="list-style-type: none"> Hard-, software en informatielijnen 	<ul style="list-style-type: none"> - Meet- en evalueer software - PC apparatuur - Data bekabeling 	<ul style="list-style-type: none"> - n.v.t. - Toetsenbord, monitor, etc. - isolerend en geleidend materiaal
	<ul style="list-style-type: none"> Statusmeting 	<ul style="list-style-type: none"> - op inverter-, array-, string-, of paneelniveau 	<ul style="list-style-type: none"> - Datakabel - Spanningsloze opnemers
<ul style="list-style-type: none"> Huisvesting van de centrale apparatuur 	<ul style="list-style-type: none"> Gebouwen 	<ul style="list-style-type: none"> - vloer, muren, deuren, ramen, dak - Verwarming van de ruimten 	<ul style="list-style-type: none"> - Constructie en bouw materialen - Verwarmingsunits



Afbeelding 3.4: overzicht van de elektrische configuratie van een zonnecentrale.

⁴⁴ Martin J.G., Julian Palero A., Metallinos S., Bodoque O. 'Building integration of a grid-connected photovoltaic system with high-quality energy supply', Iberdrola, S.A., Madrid, Spain, 1995.

3.5 Van energiebalans naar ecologische balans voor een zonnecentrale

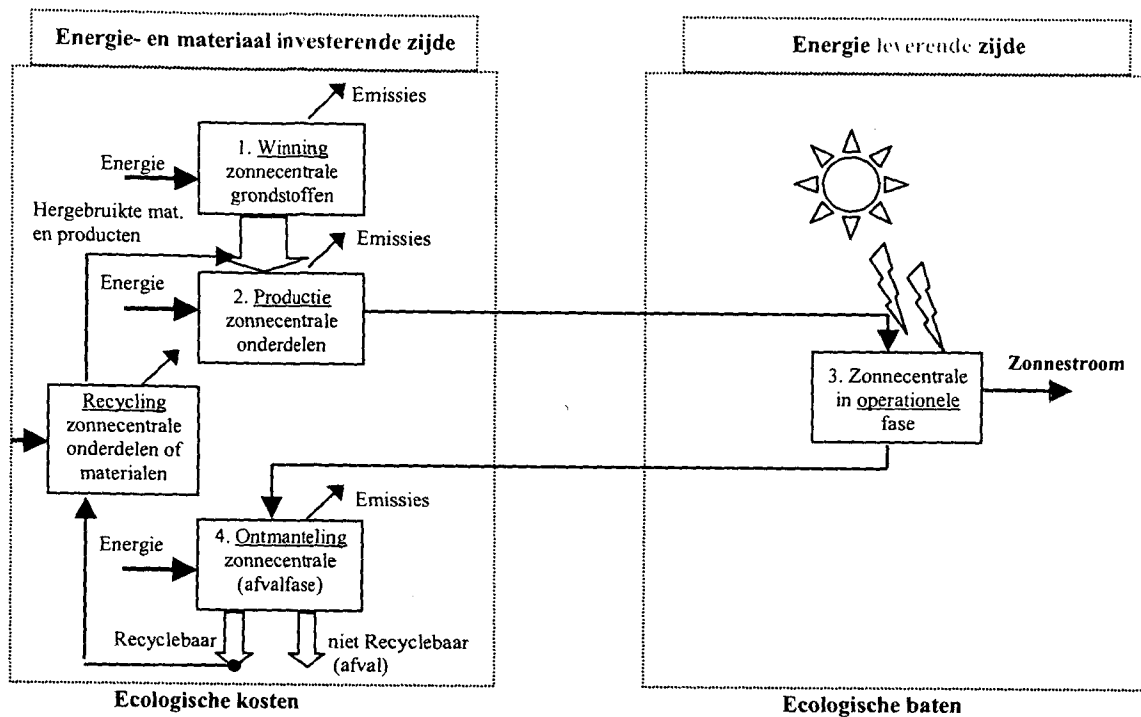
Efficiency en rendement worden vaak gebruikt als maat voor een hoeveelheid verkregen bruikbare energie (secundaire energie: bijvoorbeeld warmte en elektriciteit) uit primaire energie die nog niet meteen bruikbaar is (opgeslagen in fossiele brandstoffen). Als analyse instrument wordt de energiebalans daarvoor vaak gebruikt. Wanneer de energiebalans wordt toegepast op een zonnecentrale blijkt dat er sprake is van een duidelijk te onderscheiden energie investerende en energie leverende zijde [⁴⁵]. Bij een zonnecentrale is deze scheiding zeer gemakkelijk te definiëren, omdat de levenscyclusfasen van een zonnecentrale verdeeld kunnen worden over de twee zijden van de energiebalans, namelijk: winning-, productie- en afvalfase aan de energie investerende zijde (EIZ), en de gebruiksfase aan de energie leverende zijde (ELZ). Hiermee wordt dus impliciet aangenomen, zo ook in dit onderzoek, dat in de operationele fase van een zonnecentrale geen energie investeringen plaatsvinden.

De energiebalans van PV-systemen wordt vaak uitgedrukt in de zogenaamde Energie-Terug-Verdien-Tijd (ETVT) [^{45, 46}]. In bijlage 6 is een overzicht opgenomen met, uit ander onderzoek afkomstige, onderbouwde schattingen en redeneringen van de productiekosten, de efficiencies en de ETVT's (en energie inputs) voor verschillende typen zonnecellen [⁴⁶]. Met de ETVT wordt getracht aan te geven hoe lang een PV-systeem operationeel moet zijn voordat het zijn eigen geïnvesteerde energie opgewekt heeft. Deze ETVT is vooral afhankelijk van de toegepaste technologie en de zonne-instraling, en varieert op dit moment van circa 6 maanden voor de dunne film cellen (CdTe) tot 3 à 4 jaar voor de silicium zonnecellen [^{45, 46}].

Maar bij deze vereenvoudigde vergelijking van de verschillende zonnecellen op basis van ETVT (alleen het milieu effect: abiotisch uitputtingspotentieel, wordt in beschouwing genomen), schuilt een adder onder het gras. De overige milieueffecten worden namelijk helemaal niet meegenomen in ETVT en de energiebalans. Daarom wordt nu een overstap van de energiebalans naar een ecologische balans gemaakt, waardoor alle milieu-ingrepen en de daaropvolgende milieueffecten meegenomen worden, tijdens alle levensfasen (behalve de gebruiksfase). De verdeling in een investerende en leverende zijde wordt wel in dit onderzoek overgenomen van de energiebalans, zodat de ecologische balans voor een zonnecentrale als volgt kan worden voorgesteld (zie afbeelding 3.5):

⁴⁵ Aulich H.A., Schulze F.W. 'Impact of PV Power generation on the environment', Munich, Germany, 1994.

⁴⁶ Bossert R.H., Tool C.J.J., Roosmalen van J.A.M., Wentink C.H.M., Vaan de M.J.M. 'Thin-film solar cells - Technology Evaluation and Perspectives', Berenschot and ECN, can be ordered at NOVEM, report number DV 1.1.170, Sittard, Netherlands, May 2000.



Afbeelding 3.5: de ecologische balans van een zonnecentrale.

De ecologische balans zoals hier nu gepresenteerd, bestaat dus uit een kosten en baten kant. De kosten vinden plaats in fasen voor en na de operationele fase, de baten tijdens de operationele fase. Recycling is in principe ook een baat, maar kan hier nu ook opgevat worden als niet of minder gemaakte kosten. Het stuk recycling wordt dus in vermindering gebracht bij de ecologische kosten. In dit onderzoek wordt gezocht naar een model waarin de milieueffecten van een zonnecentrale, dit zijn alleen de ecologische kosten, vergeleken kunnen worden. Er wordt dus in feite gezocht naar een model waarin de ecologische kosten voor verschillende ontwerpen, welke elk bestaan uit verschillende bouwstenen, met elkaar vergeleken kunnen worden. De baten kant van de zonnecentrale is door deze benaderingswijze natuurlijk niet overbodig of onbelangrijk geworden, omdat de kosten van een ontwerp altijd gerelateerd moeten worden aan de baten, om een gedegen afweging te kunnen maken. De baten kant van de zonnecentrale is op deze wijze van benadering wel eenvoudig te bepalen, namelijk de opbrengst aan zonnestroom, in bijvoorbeeld TJ per jaar (men kan deze baten ook zien als niet gemaakte ecologische kosten van elektriciteitsopwekking op de conventionele manier).

De kosten kant van de ecologische balans is een stuk moeilijker te bepalen, dit alleen al door de vele verschillende componenten waaruit een zonnecentrale bestaat en de nog grotere hoeveelheid aan materialen en processen welke daarin verwerkt of vooraf gegaan zijn. Afbakening van de verschillende componenten en processen is een vereiste om vergelijking van de ecologische kosten van de verschillende zonnecentrale ontwerpen, middels een algemeen basismodel, te kunnen verwezenlijken. Deze afbakening zal aan de hand van afbeelding 3.4 (de veldcomponenten), koppeling van SimaPro 5.0 en zijn "libraries" aan het LCA basismodel, en aan de hand van de milieubelastende relevantie van de gebruikte materialen en processen, plaatsvinden in paragraaf 3.6. Hierdoor wordt de in eerste instantie te complexe en te veelzijdige kosten kant van de ecologische balans, eenduidiger en overzichtelijker, waardoor modellering in een algemeen geldend basismodel mogelijk wordt.

3.6 Afbakening van Zonnecentrale componenten en processen

3.6.1 Component afbakening door verdeling in basis- en veldcomponenten

Een eerste afbakening van de componenten vindt plaats door onderscheid te maken tussen de basis- en veldcomponenten van een zonnecentrale. Deze opsplitsing, welke aangegeven is in afbeelding 3.4, is gebaseerd op het feit dat de basiscomponenten voor alle mogelijk realiseerbare zonnecentrale ontwerpen (elektrische configuraties) op gelijke wijze aanwezig zullen zijn. Hierdoor zal bij vergelijking van verschillende zonnecentrale ontwerpen (het doel van het algemeen geldende LCA basismodel voor zonnecentrale ontwerpen) dus geen verschil in milieubelasting kunnen ontstaan (ze zijn immers in alle realiseerbare zonnecentrale ontwerpen aanwezig!). De verschillende keuzen in de samenstelling en typen veldcomponenten hebben wél verschillende milieubelastingen tot gevolg in de uiteindelijke zonnecentrale ontwerpen, waardoor deze dus wel moeten worden opgenomen in het LCA basismodel. De volgende veldcomponenten (afkomstig uit tabel 3.3, kolom: "componenten" en afbeelding 3.4) kan men onderscheiden:

- Zonnepanelen
- Dioden
- Ondersteuningsconstructie
- Koppelkasten
- Bekabeling DC en/ of AC
- Inverters

3.6.2 Afbakening per veldcomponent: de relevante milieubelastende materialen en processen

In onderstaande tabel 3.4 worden voor elke veldcomponent de belangrijkste milieubelastende materialen en processen aangegeven welke kunnen voorkomen, afhankelijk van de keuze van die component. Als men bijvoorbeeld kiest voor dunne film zonnepanelen (laminaten), zullen de processen en materialen welke behoren bij de encapsulatie niet of op een andere wijze tot stand komen dan wanneer men kiest voor monokristallijne (c-Si) zonnepanelen. Tabel 3.4 geeft dus een globaal overzicht van processen en materialen die plaats kunnen vinden of aanwezig kunnen zijn. Voor de afbakening van de zonnepanelen component, is gebruik gemaakt van de "Technology maps" zoals die door Bossert et al. in hun onderzoek gepresenteerd zijn [46]. Deze Technology maps zijn voor de relevante typen zonnepanelen (zonnepanelen met productieproces op industriële of op pilot schaal en welke commercieel verkrijgbaar zijn) opgenomen in bijlage 7.

De uiteindelijke component keuze bepaalt de processen en materialen die daadwerkelijk voorkomen. De gebruiker van het algemene basismodel zal dus zelf moeten beoordelen welke processen en materialen in de door hem gekozen componenten voorkomen. Het ecologische kostenaspect; transport, is een onderdeel van elk proces en is zelfs aanwezig tussen de verschillende processen in. Maar omdat het in alle mogelijke zonnecentrale ontwerpen voor zal komen, wordt het niet opgenomen in het algemene LCA basismodel (SimaPro neemt transport wel mee bij sommige materialen en deelprocessen!).

Volgend onderdeel van de afbakening van het algemene basismodel ter vergelijking van zonnecentrale ontwerpen is SimaPro, omdat alleen de materiaal- en energiegegevens die hierin zijn opgeslagen, zullen worden gebruikt voor de bepaling van de milieubelasting. Wanneer een bepaald materiaal aangewend is in een van de veldcomponenten, waarvan geen gegevens bekend zijn in SimaPro, dan zullen deze niet meegenomen worden in de berekening van de milieubelasting. Wel is het mogelijk om optredende milieuproblemen (bijvoorbeeld uitputting, omdat het materiaal zeer schaars is) van deze voor SimaPro onbekende materialen, kwalitatief aan te geven. Hierdoor kan deze informatie bij de uiteindelijke vergelijking van zonnecentrale ontwerpen, toch in overweging worden genomen. Koppeling van SimaPro aan het algemene LCA basismodel, zorgt voor een betere hanteerbaarheid (door de databases en rekenkracht van

SimaPro) en beperkt de langdurige en veelzijdige onderzoeken naar milieueffecten van materialen en componenten.

Tabel 3.4: indicatie van relevante milieubelastende materialen en processen van de veldcomponenten [24, 25, 41, 46].

Veld-componenten	Deel componenten	Onderdelen	Processen welke op kunnen treden	Materialen welke voor kunnen komen
Zonnepanelen [46] (zie ook bijlage 7)	Zonnecellen [24, 46]	Halfgeleider materialen (p en n type materiaal)	- Productie van halfgeleider materialen: mg-Si, eg-Si, sg-Si, a-Si, c-Si, Cd, In, Te, Se	- Silicium, cadmium, Indium, Telluur en Seleen
			- Zagen van schijven tot wafers	- halfgeleider mat. Verliezen
		Metaalcontacten en verbindingen.	- Etsen en textureren (structuur aanbrengen)	- NaOH of KOH (kaliloog) (etsen) en stoppen met HF. - Isopropanol of C ₂ H ₆ O ₂ (texturing)
			- Aanbrengen van een isolerend laagje waarop de verbindingen geprint worden	- POCL ₃ of Pbr ₃ of P ₃ O ₅ of fosfor doped oxiden
	Encapsulatie [24]	Anti reflectie coating	- Printen van de contacten (verhitting tot boven 700°C en drogen met lucht van 350-400°C aan beide zijden)	- Voor contacten: Ag poeder gecombineerd met frit (laag smeltpunt glas composieten) - Achtercontacten: Al, maar Ag is wat beter voor de geleiding
			- Chemische of spray depositie	- TiO ₂ of soms Silicium nitride.
		Verschillende lagen: Glas, tussenlaag met verbindingen, zonnecellen en harde achterlaag (PVF)	- Productieproces: Onder hoge druk en temperatuur worden de verschillende lagen verbonden	- Glas (vaak Fe ₂ O ₃) - EVA film (Ethyleen vinyl acetaat): vulling als tussenlaag - verbindingen: Tin, Al of Cu - PVF film (Polyvinyl fluoride): achterkant
	Framing	- Monteren frame rondom paneel	- Aluminium	
	Bypass diode	Diode	- productieproces diode	- Plastic en metaal
Dioden	Blokkeer diode	Diode	- productieproces diode	- Plastic en metaal
	Isolatie diode	Diode	- productieproces diode	- Plastic en metaal
Ondersteunings-constructie	Fundering (bij losse constructie)	Bekistingen	- Bekistingen maken	- Hout en spijkers
		Betonblokken	- Beton storten	- Beton
	Stellage	Draag profielen	- Bewerken en monteren van stalen of ijzeren profielen	- Staal en ijzer soorten (RVS of Aluminium)
		Bevestigingen	- Bouten en moeren	- Staal en ijzer soorten (RVS)
	Kabelgoten	Plaatmateriaal	- productie van staal of ijzeren plaatmateriaal en buigen ervan.	- Staal en ijzer soorten (RVS)
Koppelkasten	Beveligings-automaten	Schakelaars	- Productieproces schakelaars	- Isolerend (thermoharder) en geleidend materiaal
		DC of AC bekabeling	- Productieproces kabels	- Isolerende mantel (thermo-plasten) en geleidende kern
	Voedings- en connectierails	Rails en Klemmen	- Productie van rails - Productie van klemmen	- Koper (rails) - Staal en ijzer soorten
		Transformator	Windingen	- Productieproces van windingen
	DC of AC Bekabeling		- Productieproces kabels	- Isolerende mantel (thermo-plasten) en geleidende kern
	Isolatiematerialen		- Productie van isolatiemateriaal	- Thermoharders en -plasten
	Behuizing, scheiding en verwarming	Plaatmateriaal	- productie van staal of ijzeren plaatmateriaal.	- Staal en ijzer soorten
		Isolatiematerialen	- Productie van isolatiemateriaal	- Thermoharders en -plasten
		Verwarmingsunit	- Productieproces van verwarmingsunit	- Koper, isolatiemateriaal, elektronica, printplaten
	PLC voor elektronica en schakelaars	PLC onderdelen en spanningsloze schakelaars	- Productieproces van PLC - Productieproces van spanningsloze schakelaars	- PLC onderdelen - Isolerend (thermoharder) en geleidend materiaal

Bekabeling DC en/ of AC (eisen betreffende de minimale kemdoorsnede zie [25], kern bepaald de hoeveelheid Cu)	Stringkabels	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces stringkabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern	
	Arraykabels	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces arraykabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern	
	DC hoofdkabels (alleen bij DC-panels)	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces DC-hoofdkabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern	
	PV-voedingskabel (altijd AC)	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces PV-voedingskabel	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern	
Inverters [41]	Bruggen (IGBT's, Thyristoren)	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces van bruggen (transistor achtigen)	- Isolerend en geleidend materiaal	
	MPPT	MPPT onderdelen	- Productieproces van MPPT	- MPPT onderdelen en materialen	
	Interne bekabeling	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces van de intern toegepaste bekabeling	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern	
	R, L en C componenten	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces van R, L en C componenten	- Isolerend en geleidend materiaal	
	Behuizing, scheiding en verwarming (indien buiten opgesteld worden)	Plaatmateriaal		- Productie van staal of ijzeren plaatmateriaal.	- Staal en ijzer soorten
		Isolatiematerialen		- Productie van isolatiemateriaal	- Thermoharders en thermoplasten
	Verwarmingsunit		- Productieproces van verwarmingsunit	- Koper, isolatiemateriaal, elektronica, printplaten	

3.7 Het algemene LCA-basismodel voor zonnecentrale ontwerpen

In deze paragraaf wordt het algemene LCA-basismodel voor zonnecentrales (ofwel: "milieubeoordelingstool voor zonnecentrales") gepresenteerd, en de toepassing, het nut en de knelpunten ervan toegelicht.

3.7.1 De milieubeoordelingstool voor zonnecentrales en het toepassingsgebied

De milieubeoordelingstool voor zonnecentrales zal bestaan uit vier onderdelen, namelijk: randvoorwaarden, rekenwijze, afbakingswijze en een schematisch model. Gestart wordt met een opsomming van de criteria waaraan de milieubeoordelingstool voor zonnecentrales moet voldoen, om de doelstelling te kunnen verwezenlijken. De milieubeoordelingstool voor zonnecentrales (het algemene LCA-basismodel voor zonnecentrale ontwerpen) moet:

1. een kwalitatieve *vergelijking* van verschillende elektrische configuraties van zonnecentrales op basis van de milieubelasting mogelijk maken;
2. een (*praktisch hanteerbare*) *afbakingswijze* bevatten waardoor dit model in combinatie met SimaPro 5.0 leidt tot een bruikbare (*praktisch hanteerbare*) beoordelingstool voor de vergelijking van milieubelastingen van verschillende zonnecentrales, reeds in de ontwerpfase;
3. modulair van opzet zijn zodat wisseling van componenten in het ontwerp mogelijk is en tot uitdrukking komt in de milieubelasting van het zonnecentrale ontwerp (*modulariteit*);
4. *de levenscyclus stappen* duidelijk opnemen waardoor toerekening van een bepaald milieueffect van een component of het ontwerp aan een bepaalde levenscyclus stap mogelijk is;
5. *randvoorwaarden* (en basis uitgangspunten) geven wanneer het model als instrument, tijdens het ontwerp van een zonnecentrale, gebruikt mag worden;
6. een bepaalde *rekenwijze* (classificatie, normalisatie en weegfactoren) aangeven om objectieve vergelijking van verschillende zonnecentrale ontwerpen te waarborgen.

Aan enkele van deze criteria is al voldaan door deze te beschrijven in voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk, namelijk aan criteria afbakening (paragraaf 3.6) en rekenwijze (paragraaf 3.3). Omdat vergelijking (criterium 1) van zonnecentrale ontwerpen op basis van de milieubelasting het uitgangspunt is voor het opstellen van het LCA-basismodel, is een opsplitsing gemaakt in basis- en veldcomponenten (afbeelding 3.4). Deze opsplitsing is ook terug te vinden in afbeelding

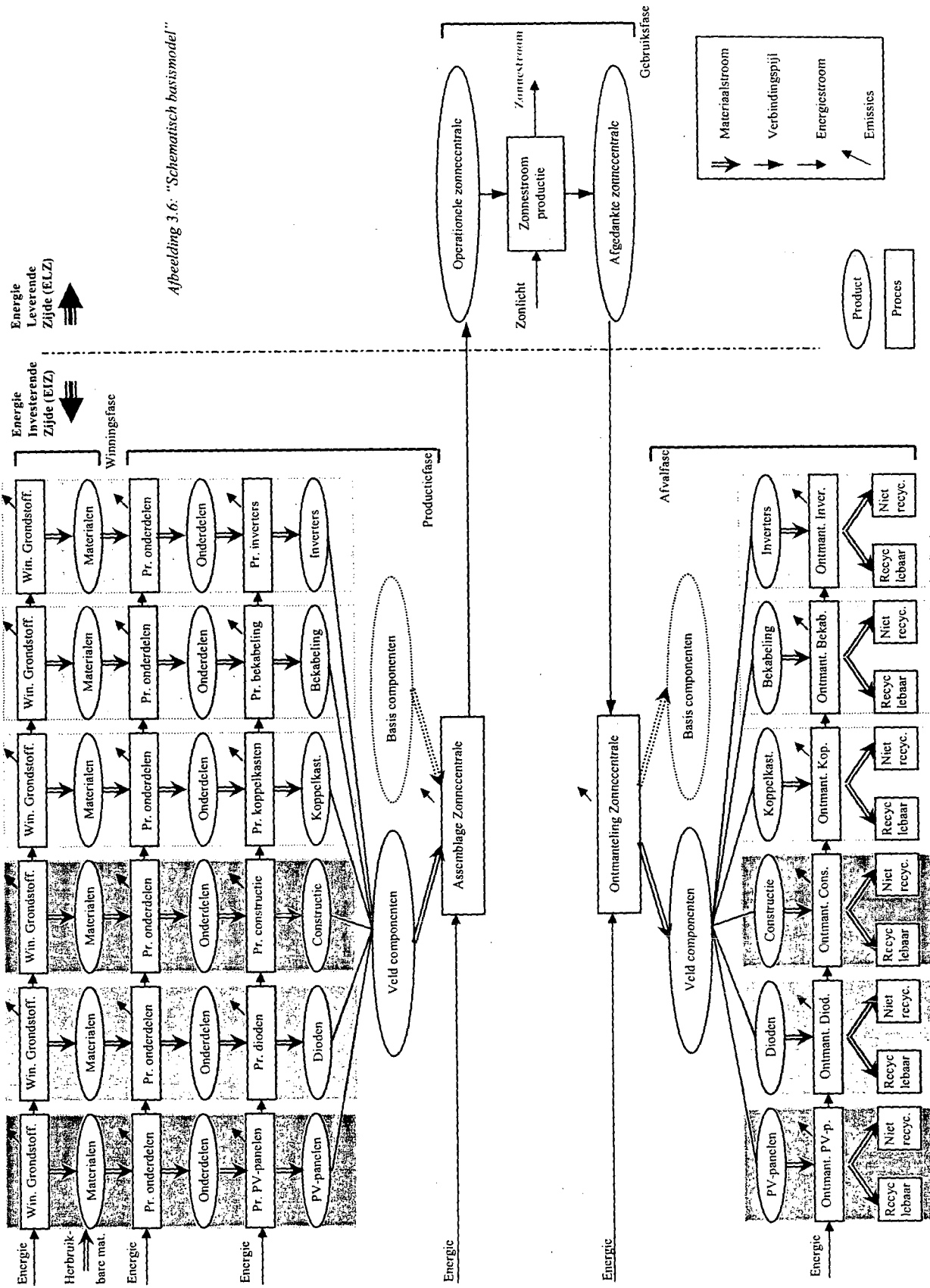
3.6 welke het schematische model, onderdeel 4 van de milieubeoordelingstool voor zonnecentrales, weergeeft. De basis componenten zijn wel aangegeven in het model maar worden niet meegenomen in de berekening van de milieubelasting. Daarom zijn ze met een gestippelde ovaal en pijl aangegeven.

Het modulariteit criterium is opgenomen in het schematische model door de levenscyclus stappen (aan de EIZ) van dezelfde veldcomponenten een gelijke kleur te geven. Duidelijk zal zijn dat bij vervanging van bijvoorbeeld een ander soort PV-panelen de gehele levenscyclus (m.u.v. de gebruiksfase) van deze veldcomponent opnieuw bepaald zal moeten worden. De verschillende levenscyclus stappen zijn ook in het schematische model opgenomen en zoals in paragraaf 3.5 verantwoord is, verdeeld over een EIZ en een ELZ.

Dan rest alleen nog het criterium: randvoorwaarden (heeft overlap met het criterium afbakening), dat hieronder uiteen gezet is:

- Het model is van toepassing op een Fotovoltaïsche Zonnecentrale.
- Het model is bedoeld als instrument in de ontwerpfase van een zonnecentrale voor de kwalitatieve *vergelijking* van de *modelmatig bepaalde milieubelasting* van verschillende elektrische configuraties. Hierbij worden in één zonnecentrale LCA, de diverse levenscycli van de verschillende zonnecentrale componenten los van elkaar bepaald en ingevoerd in SimaPro. In SimaPro worden door de assemblage en afval stages de uiteindelijke milieueffecten van de gehele zonnecentrale berekend. Dit model is dus niet bedoeld voor de afzonderlijke evaluatie van milieuaspecten van de zonnecentrale componenten, niet voor product/proces analyse ter verbetering (milieugerichte verbetering) van producten en processen van een zonnecentrale en niet voor een bepaalde soort van eco-labelling van de zonnecentrale of een zonnecentrale ontwerp.

Samenvattend is het LCA-basismodel voor zonnecentrales een analyse instrument waarmee in de ontwerpfase van een zonnecentrale de milieubelastingen van de verschillende elektrische configuraties vergeleken kunnen worden. Dit is dus net zo voor te stellen als een kosten baten analyse (KBA) welke een financieel analyse instrument is voor de vergelijking van de financiële haalbaarheid van verschillende projecten. Het model kan dus als "beoordelingstool" worden toegevoegd bij de bestaande tools (bijvoorbeeld een KBA) ter beoordeling van zonnecentrale projecten. In bijlage 8 is het LCA-basismodel voor zonnecentrale ontwerpen (milieubeoordelingstool) in zijn geheel (randvoorwaarden, rekenwijze (normalisatie, set weegfactoren en de gevoeligheidsanalyse methode), afbakeningswijze en het schematische model) opgenomen.

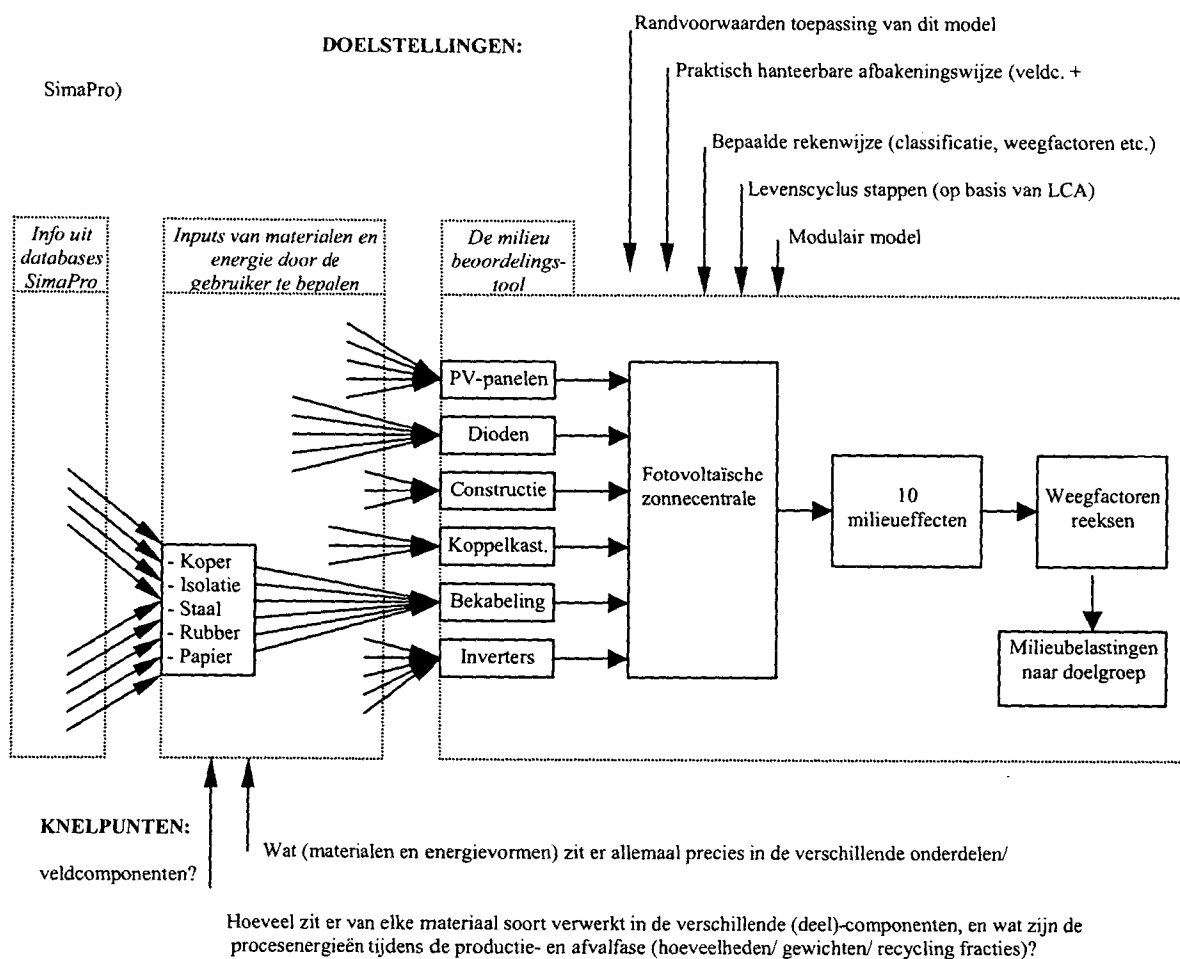


Afbeelding 3.6: "Schematisch basismodel"

3.7.2 Conclusies, overzicht en knelpunten van de milieubeoordelingstool

Tijdens het onderzoek is duidelijk naar voren gekomen dat het onmogelijk is om alle materiaal- en energiestromen van alle componenten en onderdelen van een zonnecentrale te kunnen kwantificeren. Daarom is in de milieubeoordelingstool een forse afbakening opgenomen. Ondanks deze praktisch hanteerbare afbakening zijn nog niet alle knelpunten en openstaande vragen verdwenen.

Om de bedoeling, het praktische nut en de nog overgebleven knelpunten van de milieubeoordelingstool aan te geven is onderstaand model (afbeelding 3.7) opgesteld, waarin getracht is deze facetten te verduidelijken.



Afbeelding 3.7: toepassing, overzicht en knelpunten van het model

In afbeelding 3.7 is een opsplitsing in drie delen gemaakt.

Eerste deel (vanaf links gezien) is het SimaPro deel (databases en libraries) waaruit de milieu-informatie van vele verschillende materialen en processen afkomstig is. Door gebruik te maken van SimaPro wordt voor een belangrijk deel de praktische hanteerbaarheid gerealiseerd omdat alleen selectie van de juiste materialen en processen nodig is. De milieu-informatie van deze materialen en processen is namelijk in databases en libraries van SimaPro opgenomen. Wanneer

een bepaald materiaal aangewend is in een van de veldcomponenten, waarvan geen gegevens bekend zijn in SimaPro, dan zullen deze niet meegenomen worden in de berekening van de milieubelasting. Wel is het mogelijk om optredende milieuproblemen (bijvoorbeeld uitputting, omdat het materiaal zeer schaars is) van deze, voor SimaPro onbekende materialen, kwalitatief aan te geven. De optredende milieueffecten van de voor SimaPro onbekende materialen zouden door middel van een Expert-analyse of Educated Guess kunnen worden geschat (bij beide methoden vindt overleg plaats door meerdere personen met de juiste expertise). Hierdoor kan deze informatie bij de uiteindelijke vergelijking van zonnecentrale ontwerpen, toch in overweging worden genomen.

Tweede deel is het gebruikersdeel. In dit gebruikersdeel moeten keuzen gemaakt worden welke componenten, materialen en energieën geselecteerd dienen te worden in SimaPro, om een bepaald zonnecentrale ontwerp van de gebruiker zo representatief mogelijk in te voeren. Hiermee wordt voor een groot deel de modulariteit gediend. Dit omdat de gebruiker bijvoorbeeld de keuze heeft uit vele soorten inverters waardoor bij elke inverter soort andere materialen, hoeveelheden en processen inbegrepen zijn. Door de grote variëteit en mogelijkheden in dit gebruikersdeel is het, zoals al eerder aangegeven, onmogelijk dit deel verder dan reeds gedaan, uit te werken (dit resulteert dus ook bij de afbakeningstabel 3.4 in een kolom met "materialen welke voor kunnen komen"!)). Dit gebruikersdeel introduceert nu wel een aantal knelpunten (aangegeven onderaan in afbeelding 3.6), omdat de eenduidigheid (doelstelling van de milieubeoordelingstool) door verschillende gebruikers onder druk kan komen te staan. Eenvoudiger gesteld: wie bepaalt nu hoe diep ingegaan wordt op de herkomst en veelheid van alle materialen en onderdelen van een bepaalde veldcomponent? Antwoord: de gebruiker! Advies is dan ook, wanneer zonnecentrale ontwerpen vergeleken worden op basis van de milieubelasting via deze milieubeoordelingstool welke beoordeeld zijn door verschillende gebruikers, om dan de verschillende gebruikers onderling te laten communiceren welke nauwkeurigheidsgraad gehanteerd wordt om op die manier de eenduidigheid en dus de vergelijkbaarheid te waarborgen. Beter (vooral gemakkelijker) is het natuurlijk om de verschillende zonnecentrale ontwerpen te laten beoordelen (met behulp van de milieubeoordelingstool) door één gebruiker.

Derde deel is in feite de opgestelde milieubeoordelingstool, die opgenomen is in bijlage 8. In dit deel zijn de belangrijkste doelstellingen opgenomen, zoals: afbakening, de LCA-methodiek, de classificatie en de weegfactoren, om tot een model te komen waarmee een objectieve vergelijking van zonnecentrale ontwerpen op basis van milieueffecten mogelijk is. Met behulp van de CML 2 baseline 2000 methode (LCA-methodiek) in SimaPro vindt classificatie en normalisatie van de milieu ingrepen plaats naar 10 milieueffecten. De voor dit model opgestelde weegfactoren reeksen dienen voor de berekening van de 10 milieueffecten naar de uiteindelijke milieubelasting van een zonnecentrale ontwerp. Door middel van drie reeksen weegfactoren wordt de milieubelasting beoordeeld vanuit 3 verschillende perspectieven, namelijk: opdrachtgever, bevolking en overheid.

Als sluitende opmerking van dit hoofdstuk ter opstelling van een algemeen geldend LCA-basismodel voor de vergelijking van zonnecentrale ontwerpen (milieubeoordelingstool voor zonnecentrales), kan nog een open deur worden ingetrapt, namelijk dat bij elk LCA onderzoek een (onbekende) onnauwkeurigheid zal worden aangetroffen in de uitkomsten ervan. Dit is namelijk onvermijdelijk door de grote hoeveelheid en diepgang van alle processen en materialen, en de juistheid van de gebruikte informatie betreffende deze materialen en processen. Dit als LCA uitgangspunt kennende, geeft de (praktische en theoretische) relevantie van de opgestelde milieubeoordelingstool voor zonnecentrales weer.

4. Technisch en financieel ontwerp van een zonnecentrale

Dit hoofdstuk beschrijft de relevante zaken, afwegingen en dilemma's welke zich voordoen bij het ontwerpen van een zonnecentrale, rekening houdend met technische mogelijkheden en criteria, als ook met financiële haalbaarheid en juridische overwegingen in de vorm van subsidieregelingen. In eerste instantie worden de uitgangspunten en criteria voor het ontwerp van de zonnecentrale weergegeven (paragraaf 4.1). Daarna wordt de invloed van componentkeuze op kosten, rendement en leveringsbetrouwbaarheid verwoord (paragraaf 4.2). In paragraaf 4.3 worden een aantal ontwerpvarianten voorgesteld en uitgewerkt, namelijk: het DC-principe, het string-inverter-principe en het AC-principe. Na bespreking van de mogelijk aan te wenden subsidiëringen (paragraaf 4.4) wordt in paragraaf 4.5 een financiële haalbaarheidsstudie opgesteld voor de drie zonnecentrale ontwerpvarianten. De concluderende paragraaf 4.6 beoordeelt de gemaakte technische en financiële overwegingen en geeft de overgebleven hiaten aan.

4.1. Uitgangspunten en criteria voor het zonnecentrale ontwerp

Omvang van de zonnecentrale:

- Opgestelde vermogen (in wattpiek): 5 MW_p
- (Max.) array oppervlak: 50.000 m²
- Beschikbare oppervlak ('green field') 100.000 m² (10 hectare)

Eisen aan het technische ontwerp:

- Conform de regelgeving voor decentrale opwekkers [29]
- Het MLVP (Main Low Voltage Panel, dit is de hoofd laagspanning verdeel inrichting; 400V_{AC}) moet geschikt zijn voor een continue belasting die gelijk is aan de nominale stroomsterkte van de hoofdbeveiliging van de MLVP vermeerderd met de maximale stroomsterkte die gegenereerd zal worden door de complete zonnecentrale [25].
- De zonnecentrale moet zijn zonnestroom voeden in het 10kV-distributienet van een elektriciteitsleverancier.
- In het geval van loskoppeling van de zonnecentrale van het elektriciteitsnet, uitval van de zonnecentrale of het niet beschikbaar zijn van het elektriciteitsnet door onderhoudswerkzaamheden, moet de verbinding van de zonnecentrale met het elektriciteitsnet verbroken kunnen worden zonder elektrische problemen te veroorzaken.
- Het rendement van de zonnecentrale moet zodanig zijn dat een gemiddelde jaarlijkse elektriciteitslevering van minimaal 3,5 GWh aan het elektriciteitsnet, over een periode van 25 jaar, gegarandeerd kan worden.

Vaststelling van het beschikbare budget:

- In principe wordt uitgegaan van een onbeperkt budget, maar in het ontwerp moet alles in werking gesteld worden om de kosten zo laag mogelijk te houden. Daarom zal bij keuzes in de hoogste kostenposten van de zonnecentrale, waarin keuzemogelijkheden zijn: PV-panelen en inverters, het kostenaspect zwaar mee wegen. Voor PV-panelen en inverters zijn verschillende mogelijkheden en opties geëvalueerd in paragraaf 4.2.

4.2. Invloed component keuze op kosten, rendement en betrouwbaarheid

Beoordeling van verschillende projecten door het management van een bedrijf of bedrijfsonderdeel vindt vaak plaats door vergelijking van 'interne rentevoet (IRV)' van deze projecten. In paragraaf 4.5 zullen de rentabiliteiten van de verschillende ontwerpvarianten mede daarom met elkaar vergeleken worden. Er spelen echter tijdens de ontwerpfase een aantal overwegingen, waarbij keuzes gemaakt worden door ontwerpers in plaats van managers. Door deze keuzes (bepaalde componenten of configuraties) worden een aantal variabelen, zoals betrouwbaarheid, rendement en kosten beïnvloed, waardoor de interne rentevoet (maar ook de gehele aantrekkelijkheid) van een bepaald project en dus de uiteindelijke haalbaarheid en uitvoerbaarheid van het project veranderen kan. De invloed van de configuratiekeuze op de variabelen: kosten, rendement en betrouwbaarheid wordt uiteengezet in paragraaf 4.3 en 4.5 waar 3 verschillende zonnecentrale ontwerpen (configuraties) met elkaar vergeleken worden. De invloed van componentkeuze op de variabelen: kosten, rendement en betrouwbaarheid wordt in deze paragraaf besproken voor de componenten met de verwachte hoogste kosten in een zonnecentrale project: inverters en PV-panelen.

4.2.1 Invloed inverter keuze

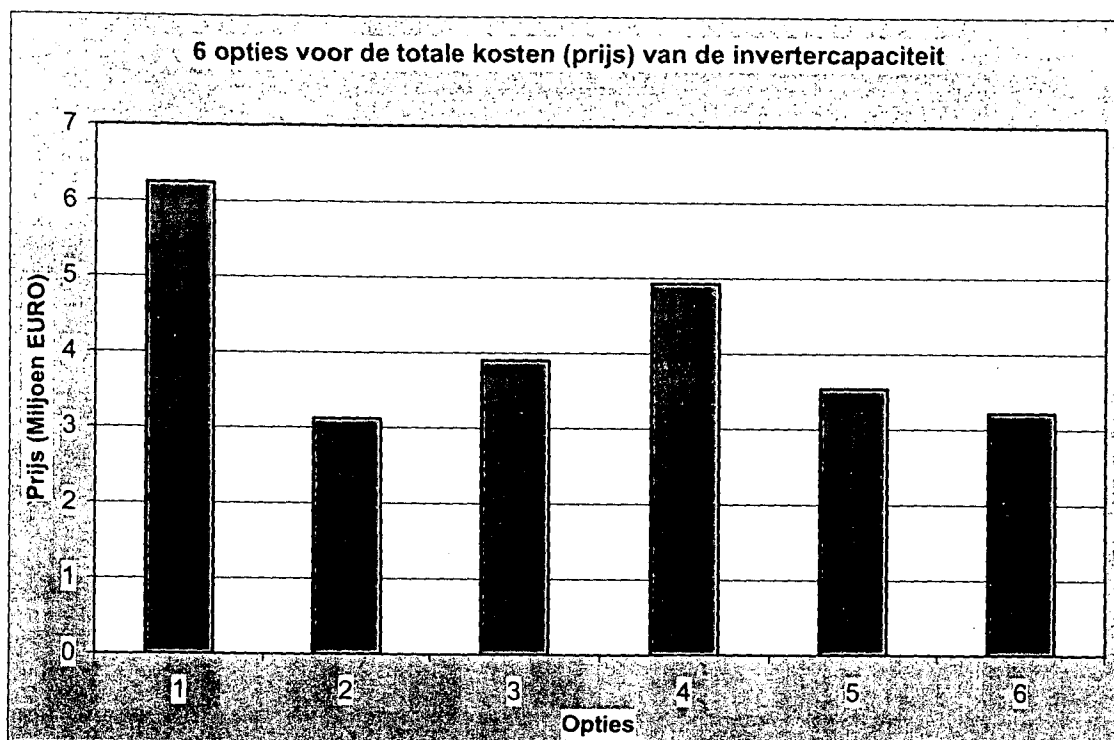
Uitgangspunt van onderzoek is in deze paragraaf de kostenvariabiliteit van het op te stellen inverter vermogen. Wanneer uitgegaan wordt van een zonnecentrale met een opgesteld vermogen van 5MW_p , betekent dat circa 5500kVA aan benodigd inverter vermogen opgesteld moet worden om voldoende redundantie (t.b.v. de leveringsbetrouwbaarheid) te waarborgen [²¹, ⁴⁴, ⁴⁷]. Men kan kiezen om dit inverter vermogen te verdelen over elk afzonderlijk zonnepaneel, waardoor de inverters circa 100VA van omvang zullen zijn (AC-principe), of men kan kiezen voor het andere uiterste: het inverter vermogen als zijnde één inverter van 5500kVA op te stellen (dit laatste uiterste wordt niet meegenomen in deze beschouwing omdat het uitvoeringstechnisch onmogelijk is en bovendien niet wenselijk is vanwege de lage leveringsbetrouwbaarheid van slechts één inverter). Elke andere verhouding tussen inverter grootte en aantal is in principe mogelijk, maar heeft andere elektrische configuraties en totale kosten van het inverter vermogen ten gevolge. Deze kostenvariabiliteit van de inverter keuze is onderzocht door van verschillende inverter afmetingen de prijzen van fabrikanten en/of leveranciers te verzamelen. De prijzen van deze inverters zijn gebaseerd op consumentenprijzen (folder prijzen) en tevens op afname per stuk, mits anders vermeld. Een overzicht van deze inverter prijzen staat in bijlage 9. In afbeelding 4.1 staat een samenvattende grafiek weergegeven waarin een zestal mogelijkheden (tabel 4.1) te zien zijn.

Tabel 4.1: zes verschillende mogelijkheden voor de totale invertercapaciteit

Mogelijkheid	Merk en type inverter	inverter vermogen (Max. AC-power in W)	Aantal inverters (#)	Prijs per inverter (€)	totale kosten inv. cap. (miljoen €)
1	OK4 van NKF kabel B.V.	100	55000	113,45	6,24
2	OK5 van NKF kabel B.V.	400	13750	226,89	3,12
3	SMA Sunnyboy SWR 2500	2800	1965	1982,8	3,90
4	PV5 van Trace engineering	5000	1100	4480,58	4,93

⁴⁷ Mukadam K., Chenlo F., Alonso M.C., Alonso-Abella M. 'Analytical monitoring results of the 1MWp Toledo PV plant', Madrid, Spain, 1995.

5	PV50 van Trace engineering	50000	110	32148,46	3,54
6	PV100 van Trace engineering	100000	55	58456,35	3,22



Afbeelding 4.1: de totale prijzen voor de zes verschillende inverter mogelijkheden

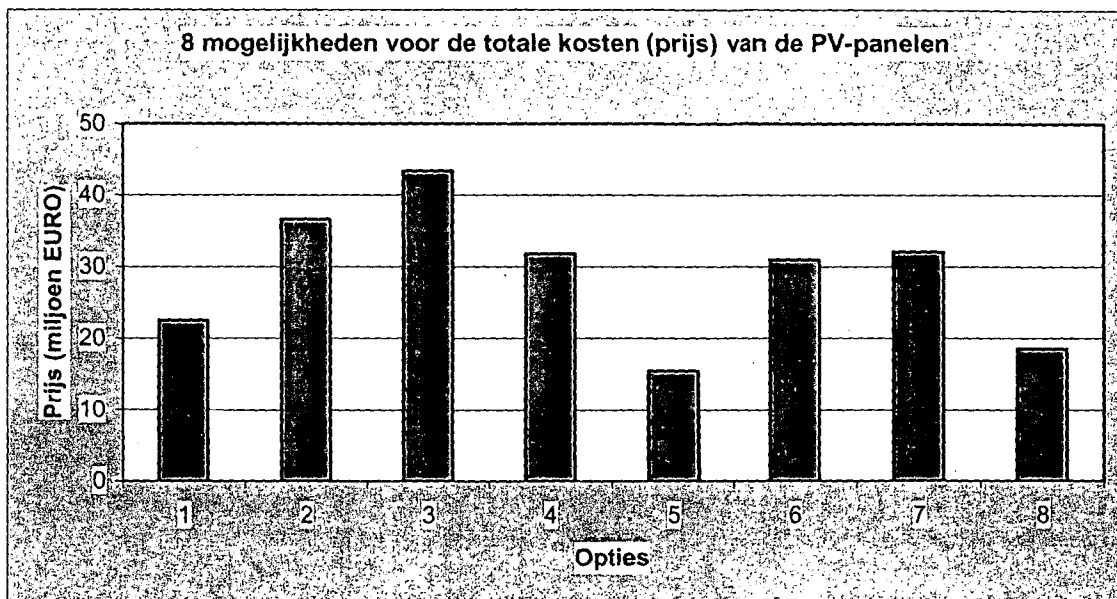
Nu de kostenvariabiliteit voor deze zes invertercapaciteit mogelijkheden bekend is, kunnen de meest kosteneffectieve mogelijkheden nog beoordeeld worden op de variabelen rendement en leveringsbetrouwbaarheid. De meest kosteneffectieve inverter mogelijkheden zijn volgens afbeelding 4.1 de opties 2 en 6. Optie 2 benadert het AC-principe terwijl optie 6 het DC-principe volgt. De afweging ligt dus wederom (zie ook paragraaf 2.3.1) tussen de keuze AC- of DC-principe. De voor- en nadelen, in verschillende situaties, zijn voor beide principes al uiteengezet in paragraaf 2.3.1. Omdat de voor- en nadelen (betreffende rendement, energieverliezen en leveringsbetrouwbaarheid) van deze principes elkaar weinig ontlopen, is besloten op basis van beide principes een ontwerp op te stellen (paragraaf 4.3). De keuze tussen het ontwerp op basis van AC-principe, string-inverter-principe of het DC-principe zal uiteindelijk afhangen van de kosten van het gehele ontwerp (door andere inverters toe te passen, zullen ook andere systeem componenten, denk aan bekabeling of behuizing, gebruikt worden welke weer andere kosten met zich meebrengen) en de specifieke wensen van de opdrachtgever.

4.2.2. Invloed PV-paneel keuze

Om de variabiliteit van de hoogste kostenpost van een zonnecentrale: PV-panelen, te kunnen beoordelen is technische en financiële informatie onderzocht van verschillende fabrikanten en leveranciers. Met deze gegevens zijn 8 PV-paneel mogelijkheden opgesteld, met verschillende soorten PV-panelen en/of verschillende fabrikanten. Zoals ook bij de inverter prijzen het geval is, zijn de prijs specificaties van de PV-panelen op basis van consumenten prijzen bij een afname per stuk. Een overzicht van deze prijsinformatie is weergegeven in bijlage 10. De 8 PV-paneel mogelijkheden zijn samengevat in tabel 4.2 en weergegeven in afbeelding 4.2.

Tabel 4.2: acht PV-paneel mogelijkheden voor de totale zonnecentrale

Mogelijkheid	Merk en type PV-panelen	totale kosten PV-panelen (miljoen €)
1	RSM 110 Shell Solar (Mc-Si)	22,50
2	SP150 Siemensolar (c-Si)	36,63
3	ST40 Siemensolar (CIS)	43,40
4	AP120 Astropower (c-Si)	31,83
5	ASE-300-DG-FT (RWE) (Mc-Si)	15,47
6	KC120-1 (Kyocerasolar) (Mc-Si)	30,99
7	US-64 Unisolar (Tr-j-cells)	32,09
8	PW1250 Photowatt (Mc-Si)	18,50



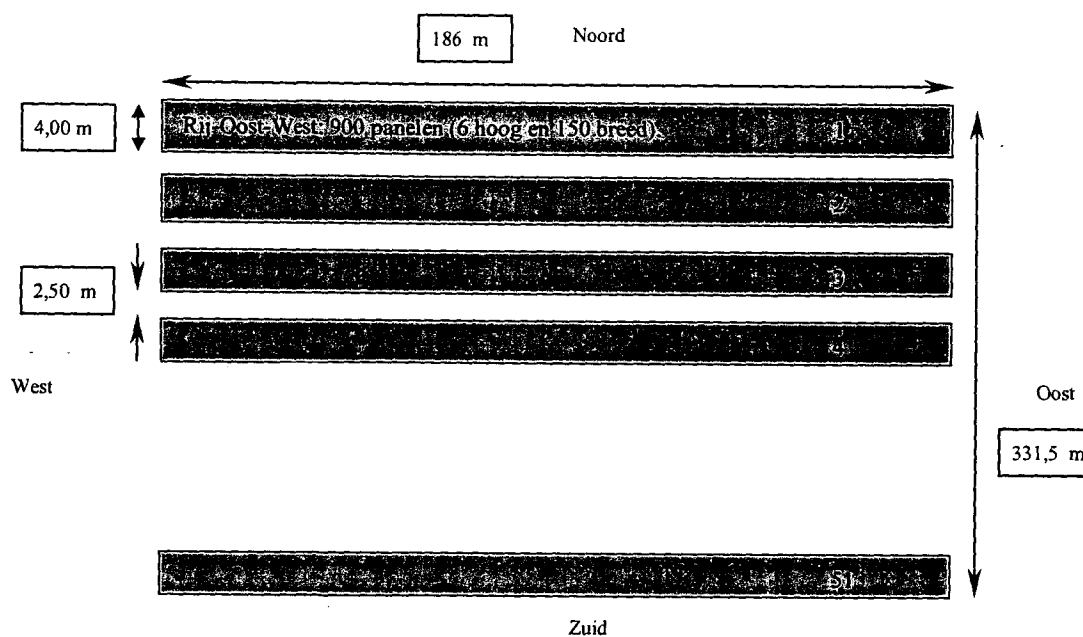
Afbeelding 4.2: prijzen van de acht PV-paneel mogelijkheden voor de zonnecentrale.

De opties 1, 5 en 8 zijn wat betreft kosten de meest voor de hand liggende keuze, maar zoals in bijlage 10 aangegeven is, zijn de kosten van optie 1 en 8 als enige gebaseerd op een grotere afname in plaats van afname per stuk. Optie 5 is, wanneer men alleen vergelijkt op basis van prijzen per PV-paneel, dus zeer duidelijk de voordeligste optie. Dit (grote prijsverschil) heeft zeer waarschijnlijk te maken met de afmetingen (zowel in m^2 als in W_p) van deze panelen welke een stuk groter zijn dan de afmetingen van de panelen van de andere 7 opties. Omdat de keuze van PV-panelen een te verwaarlozen invloed zal hebben op de leveringsbetrouwbaarheid van de zonnecentrale, wordt het kostenaspect als doorslaggevend beschouwd. Dit is tevens te verantwoorden doordat de PV-panelen kostenpost veruit de grootste is, waardoor bij de keuze van optie 5, de financiële haalbaarheid van de zonnecentrale ontwerpen het minst in gevaar komt. Echter door de omvang ($W_p = 300W$, $V_{OC} = 60,0V$ en $I_{SC} = 6,4A$) van de PV-panelen van optie 5, is het niet mogelijk om deze panelen bij de inverters van het AC-principe (inverter optie 2) toe te passen. Dit omdat de OK5 inverter daarvoor te klein ($I_{max} = 5A$) is. Hierdoor kan vergelijking van de drie verschillende principes (AC-, string-inverter- en DC-principe) niet objectief plaats vinden, omdat verschillende zonnepanelen in de ontwerpen gekozen zouden moeten worden. Daarom is in dit onderzoek gekozen voor PV-paneel optie 1, die betreffende de omvang ($W_p = 109W$, $V_{OC} = 32,3V$ en $I_{SC} = 4,6A$), wel geschikt is voor implementatie in de drie ontwerpvarianten.

4.3. Realiseerbare zonnecentrale ontwerpen

In deze paragraaf worden drie verschillende ontwerpen gepresenteerd, namelijk een op basis van het DC-principe, een op basis van het string-inverter-principe en een op basis van het AC-principe. Uitgangspunten voor deze drie technische zonnecentrale ontwerpen zijn alle gelijk en deels al aangegeven in paragraaf 4.1. De overige uitgangspunten en aannamen zijn:

- PV-panelen volgens optie 1: RSM 110 Shell Solar Mc-Si. De belangrijkste technische specificaties van deze PV-panelen voor het ontwerp van de verschillende zonnecentrale configuraties, staan samengevat in bijlage 11.
- 150 rijen (totale lengte komt hierdoor op $150 \cdot 1,22$ (lengte van het paneel) + $151 \cdot 0,017$ (afmeting van het verbindingsstuk) = 186 meter), bestaande uit 6 panelen boven elkaar (hoogte is dus 6 maal de breedte van het paneel plus 7 maal de afmeting van het verbindingsstuk: $6 \cdot 0,85 + 7 \cdot 0,017 = 5,22$ m), worden naast elkaar geplaatst, waardoor 900 panelen per rij (rij_oost_west) opgesteld worden (zie afbeelding 4.3).



Afbeelding 4.3: weergave van de green-field en de situering van de array's.

- Per rij_oost_west staat daardoor $900 \cdot 109 \text{ Wp} = 98,1 \text{ kWp}$ opgesteld. Met een totaal opgesteld piekvermogen van 5000 kWp , betekent dit dat 51 rijen achter elkaar worden geplaatst in de richting noord-zuid (zie afbeelding 4.3).
- De panelen worden onder een hellingshoek van 40 graden geplaatst ten opzichte van het platte vlak (aardbodem). Samen met een paneelhoogte van 5,22 meter zorgt dit voor een diepte van een rij_oost_west van 4,00 meter ($5,22 \cdot \cos 40^\circ = 3,99$ m). Tussen iedere rij_oost_west wordt 2,50 meter vrij gehouden om enerzijds schaduwvorming van de voorgaande rij_oost_west te vermijden en anderzijds om onderhoud en transport tussen de rijen mogelijk te maken. In totaliteit is dus voor een rij_oost_west 6,50 m gereserveerd in de richting noord-zuid. De totaal benodigde lengte in de richting noord-zuid komt dan op $331,5 \text{ m}$ ($51 \cdot 6,50$).
- Het totaal benodigde landoppervlak voor plaatsing van alle array's komt, rekening houdend met een meter uitloop aan beide zijden, uit op $187 \cdot 332,5 = 62177,5 \text{ m}^2$ (dit is 6,218 ha).

- Bij ontwerp van de bekabeling wordt als uitgangspunt een maximaal spanningsverlies ($dU_{max.}$) van 2% bij DC-bekabeling en 3% bij AC-bekabeling aangenomen. Vanuit deze maximale spanningsverlies aanname, de ontwerpstroom ($I_{ontw.}$), de opwarming door meerdere stroomketens, de lengte van de kabels en de kabelsoort, zullen de ontwerpkeuzen voor bepaalde kabels gemaakt worden voor de verschillende kabels in de verschillende zonnecentrale ontwerpen (geheel volgens de norm van laagspanningsinstallaties de NEN 1010 en de handleiding van NOVEM [^{30, 25}]).

4.3.1 Zonnecentrale ontwerp op basis van het DC-principe

Het ontwerp op basis van het DC-principe is weergegeven in bijlage 12. Hieronder is in tabel 4.3 voor de verschillende onderdelen de afmetingen, de eigenschappen, de eisen, de onderdeelkeuze, het aantal stuks per rij en het aantal benodigd voor het gehele ontwerp, weergegeven. Ontwerp van de bekabelingstructuur van het DC-principe ontwerp is weergegeven in bijlage 13, hierin zijn alle van belang zijnde elektrische parameters terug te vinden.

Tabel 4.3: onderdelen van het DC-principe zonnecentrale ontwerp

Onderdelen DC-principe	Afmetingen (l*b*h) in cm's	Eigenschappen	Eisen	Keuze	Aantal per rij O W	Aantal per Centrale
PV-panelen (RSM 110 Shell Solar)	122*85*2	Mc-Si (109Wp, 25,3Vmp, 4,3Amp, 4,6Aontw., 32,3 Voc.	IEC 61215	RSM 110 van Shell Solar B.V.	900	45900
Kabelgoot	Circa: 18600* 8*20	Roestvrij plaatstaal	n.v.t.	n.v.t.	1	51
1 String (= 18 panelen)	371,1*461,9*0,07	455,5Vdc, 4,3A, P=1962W	n.v.t.	n.v.t.	50	2550
Dioden (2 per string)	10*4,5*4	500V _{DC} en 5A	n.v.t.	Niet specifiek	100	5100
koppelkast (TCB-PV)	Circa: 39*32*27	10 strings input, 1 DC output	NEC (National Electric Code)	TCB-PV (10 inputs) van Trace engineering	5	255
Inverter 100kW	172*79*69	5 Arraykabels input, 1 AC-kabel output	NEC, IEEE, UL1741	PV100 (100kW) van Trace engineering	1	51
Stringkabel (DC)	Verschillende lengten. Doorsnede: 1*1,5 mm ²	Zie bekabeling DC-principe (bijlage 13)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VDS (zie bekabeling DC-principe)	50	2550
PV arraykabel (AC)	Verschillende lengten. Doorsnede: 1*6, 1*10 en 1*16 mm ²	Zie bekabeling DC-principe (bijlage 13)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VULT mb (zie bekabeling DC-principe)	5	255
AC-kabel (3-fasig)	Verschillende lengten. Doorsnede: 3*185 mm ²	Zie bekabeling DC-principe (bijlage 13)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VULTA mb (zie bekabeling DC-principe)	1	51

Bij het ontwerp op basis van het DC-principe is de ingangsspanning van de inverter (PV100 van Trace Engineering, $V_{OC,DC} = 330-600V_{DC}$ [48]) het uitgangspunt voor de string grootte en het vermogen van de inverter (100kW) uitgangspunt voor het aantal strings dat op een inverter aangesloten kan worden. Met strings van 18 panelen komt men op een spanning van $456V_{DC}$, een kortsluitstroomsterkte (I_{SC}) van 4,6A (I_{SC} van de gekozen panelen, zie bijlage 11) en een vermogen van 1962W (circa 2kW). De maximale I_{DC} input van de PV100 inverter bedraagt 300A [48] waardoor het mogelijk is om 50 strings aan de ingang van de inverter te koppelen. Per 10 strings worden deze via een koppelkast (TCB-PV combiner box [48]) verbonden met de inverter. De stroomsterkte aan de uitgang van de koppelkast bedraagt dus $I_{SC} = 46A$ (bepalend voor het ontwerp) en $I_{mpp} = 43A$ bij belasting van de PV-panelen in hun maximale vermogenspunt (de werkelijke optredende stroomsterkte). De totale stroomsterkte aan de ingang van de inverter bedraagt dus vijf maal 46A is 230A ($I_{mpp} = 215A$). Het totale vermogen aan de ingang van de inverter is 98,1 kW ($900 \cdot 109W$), hiervan blijft aan de uitgang een vermogen van 92,2kW over, omdat het rendement van deze inverter 94% bedraagt [48]. Met behulp van dit vermogen aan de uitgang, de netspanning 230/400VAC (dus: 3-fasig!) en een $\cos\phi$ van 0,95 komt men uit op een stroomsterkte van 140A (namelijk: $P_{out} = P_{fase1} + P_{fase2} + P_{fase3} = 1,73 \cdot U \cdot I \cdot \cos\phi = 1,73 \cdot 400 \cdot I \cdot 0,95 = 92,2$ dus $I = 140A$). Met behulp van deze getallen, de NEN1010 en de NOVEM richtlijnen voor netgekoppelde PV-systemen, zijn de kabels berekend welke nodig zijn voor de verschillende trajecten (zie bijlage 13), hetgeen het elektrische ontwerp op basis van het DC-principe compleet maakt. In de volgende paragrafen (4.3.2 en 4.3.3) worden respectievelijk de zonnecentrale ontwerpen op basis van het string-inverter-principe en op basis van het AC-principe besproken. In paragraaf 4.3.4 worden de ontwerpen op basis van technische eigenschappen met elkaar vergeleken en conclusies getrokken.

4.3.2 Zonnecentrale ontwerp op basis van het string-inverter-principe

Het ontwerp op basis van het string-inverter-principe is weergegeven in bijlage 14. In de tabel 4.4 hieronder zijn de verschillende benodigde onderdelen en een aantal eigenschappen van deze onderdelen, voor dit string-inverter-principe ontwerp weergegeven. De ontworpen bekabelingstructuur het string-inverter-principe ontwerp staat in bijlage 15, hierin staan tevens alle van belang zijnde elektrische parameters weergegeven.

Tabel 4.4: onderdelen van het string-inverter-principe zonnecentrale ontwerp

Onderdelen String-inverter- principe	Afmetingen (l*b*h) in cm's	Eigenschappen	Eisen	Keuze	Aantal per rij O_W	Aantal per Centrale
PV-panelen (RSM 110 Shell Solar)	122*85*2	Mc-Si (109Wp, 25,3Vmpp, 4,3Ampp, 4,6Aontw., 32,3 Voc.	IEC 61215	RSM 110 van Shell Solar B.V.	900	45900
Kabelgoot	18600*20*20	Roestvrij plaatstaal	n.v.t.	n.v.t.	1	51
1 String (=15 panelen)	15 maal 122*85*2	379,5Vdc, 4,3A, P=1635W	n.v.t.	n.v.t.	60	3060
Dioden (2 per string)	10*4,5*4	500V _{DC} en 5A	n.v.t.	Niet specifiek	120	6120

⁴⁸ Xantrex Technology Inc. (Trace Engineering) 'Grid Tie Specifications List / PV Series', P/N 970-0051-01-01 REV A, www.xantrex.com.

koppelkast (AC)	160*80*60	15 maal 13,3A ingang (1f) en 1 maal 74A (3f)	NEN1010, NEN-EN 60-204-1, NEN 3410, NEN-EN IEC 60-439-1, NEN 3140.	Scholten Panelen B.V.	2	102
Inverter 2500W	43,4*29,5*21,4	2 Stringkabels input, 1 AC-kabel (1-f.) output	UL Listed	SMA Sunnyboy 2500 (2,5kW) van SMA	30	1530
Stringkabel (DC)	Lengte 26 meter Doorsnede: 1*1,5 mm ²	Zie bekabeling (bijlage 15)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VDS (zie bekabeling)	60	3060
AC kabel van inverter naar koppelkast (1-fasig)	Verschillende lengten en verschillende Doorsneden	Zie bekabeling (bijlage 15)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VULTA mb (zie bekabeling)	30	1530
AC-kabel (3-fasig)	Verschillende lengten en verschillende Doorsneden	Zie bekabeling (bijlage 15)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VULTA mb (zie bekabeling)	2	102

Uitgangspunt voor ontwerp van het string-inverter-principe is nu de string-inverter van SMA, de Sunnyboy 2500 [49]. Op gelijke wijze als bij het DC-principe is via de ingangsspanning van de inverter ($250-600V_{DC}$), het aantal panelen per string bepaald. Strings van 15 panelen, zorgen voor een stringspanning van $379,5 V_{DC}$ en een vermogen van $1635W$ per string. Per inverter zijn 2 strings aangesloten. Het rendement van de Sunnyboy 2500 string-inverter is $93,2\%$. De uitgang van deze inverter is een éénfasige wisselspanning welke per 15 AC-kabels (inverter uitgangen) gekoppeld worden aan een koppelkast. Per rij_oost_west zijn 60 strings opgesteld (900 panelen per rij), wat overeenkomt met 30 string-inverters en 2 AC-koppelkasten per rij. In elke koppelkast zal de energie ($230V_{AC}$) afkomstig van de PV-paneel middels een omzetter worden omgezet in driefase $400 V_{AC}$. Vanuit de AC koppelkasten wordt de stroom (driefasig op $400V_{AC}$) niveau getransporteerd (door in totaal 102 drie-aderige kabels, met aardscherm, van 95 mm^2) naar de hoofdverdeelinrichting van de zonnecentrale. In bijlage 15 zijn alle elektrische gegevens van de verschillende kabels weergegeven.

4.3.3 Zonnecentrale ontwerp op basis van het AC-principe

Het laatste van de drie zonnecentrale ontwerpen van dit onderzoek is het ontwerp op basis van het AC-principe. Dit ontwerp staat weergegeven in bijlage 16. In bijlage 17 staat het overzicht van de bekabelingstructuur van dit ontwerp. Hieronder zijn in tabel 4.5 de verschillende onderdelen aangegeven welke in dit AC-principe ontwerp voorkomen.

Tabel 4.5: onderdelen van het AC-principe zonnecentrale ontwerp

Onderdelen AC-principe	Afmetingen (l*b*h) in cm's	Eigenschappen	Eisen	Keuze	Aantal per rij O W	Aantal per Centrale
PV-panelen (RSM 110 Shell Solar)	122*85*2	Mc-Si (109Wp, 25,3Vmpp, 4,3Ampp, 4,6Aontw., 32,3 Voc.	IEC 61215	RSM 110 van Shell Solar B.V.	900	45900
Kabelgoot met 300 OK5-inverters	18600*30*20	Roestvrij plaatstaal	n.v.t.	n.v.t.	1	51
1 String (=3 panelen)	3 maal 122*85*2	75,9Vdc, 4,3A, P=327W	n.v.t.	n.v.t.	300	15300

⁴⁹ SMA Regelsysteme GmbH 'Sunny Family, advanced system technology for the succesful PV future', Brochure via www.sma.de

Dioden (1 per string)	8*2,5*4	100V _{DC} en 5A	n.v.t.	Niet specifiek	300	15300
Inverters 400W	51,0*8,0*3,0	1 Stringkabel input, 1 AC-kabel (1-f.) output	IEC/EN 60950, UL 1741, IEC 60364-7-712	NKF Electronics, de OK 5 inverter (400W)	300	15300
Koppelkast (AC) klein	6,0*4,0*3,0	10 inverter uitgangen aan de ingang van een koppelkast	n.v.t.	Niet specifiek	30	1530
koppelkast (AC) groot	160*80*60	15 kleine koppelkast uitgangen (13,1A) als ingangen op deze grote koppelkasten (uitgang 69A 3f)	NEN1010, NEN-EN 60-204-1, NEN 3410, NEN-EN-IEC 60-439-1, NEN 3140.	Scholten Panelen B.V.	2	102
Stringkabel (DC)	Lengte 6,5 meter Doorsnede: 1*1,5 mm ²	Zie bekabeling (bijlage 17)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VDS (zie bekabeling)	300	15300
AC kabel van inverter naar koppelkast (1-fasig)	Verschillende lengten en verschillende Doorsneden	Zie bekabeling (bijlage 17)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VULT mb (zie bekabeling)	30	1530
AC-kabel (3-fasig)	Verschillende lengten en verschillende Doorsneden	Zie bekabeling (bijlage 17)	NEN1010, Stroomlijn jaargang 19 nr.3 (1998)	Draka VULTA mb (zie bekabeling)	2	102

In het AC-principe ontwerp is het uitgangspunt de OK5 inverter (400W) van NKF Electronics. Het rendement van deze inverter is bepaald via de volgende formule die gebaseerd is op de formule voor de 'European efficiency', namelijk: $0,2*0,90+0,5*0,94+0,3*0,93 = 0,929$ (92,9%). Dit omdat in de specificaties van de OK5 inverter slechts de rendementen bij 10%, 50% en 100% belasting vermeld staan, respectievelijk 90%, 94% en 93%. Dit type inverter is een vervolg op de OK4 inverter (100W) welke bedoeld was voor slechts één PV-paneel (het AC-principe). De OK5 inverter (de MV-versie) is ontworpen voor ministring, van 3 à 4 PV-panelen. In dit AC-principe ontwerp is gekozen voor strings van 3 PV-panelen omdat bij 4 PV-panelen net teveel vermogen per inverter opgesteld zou worden waardoor het rendement lager uit zou vallen^[50]. Een string in dit ontwerp bestaat dus uit 3 PV-panelen, waardoor de stringspanning 75,9V_{DC}, de stroomsterkte 4,3A en het stringvermogen 327W bedraagt. De inverters zetten dus met een rendement van 92,9% de gelijkstroom en -spanning om naar wisselstroom en -spanning, van respectievelijk 1,31A en 230V. De 10 inverter uitgangen (AC, 1-fasig) worden met behulp van een prikkabel doorverbonden naar een koppelkastje (koppelstuk) van waaruit de AC-kabel (1-fasig) doorgaat naar de grote koppelkasten op de uiteinden van een rij_oost_west (zie bijlage 16). Op de koppelkasten aan de uiteinden van de rijen_oost_west worden 15 kabels aangesloten, elk belast met 13,1 A, totaal komt dit op 196,5A (1-fasig!). Dit betekent na omzetting in de koppelkast dat aan de uitgang van deze grote koppelkasten een stroomsterkte van 69A, 3-fasig zal zijn (namelijk $P=1,73*U*I*\cos\phi$, dus: $I=45,2kW/(1,73*400*0,95) = 68,67A$.). Met behulp van deze getallen, NEN1010 en de NOVEM richtlijnen voor netgekoppelde PV-systemen zijn de kabels berekend en het ontwerp gemaakt (zie bijlage 17 voor de berekende kabels).

⁵⁰ NKF Electronics 'Product Specifications' van de OK5 inverter, via dhr. Luijckx van NKF Kabel B.V. te Gouda, december 2001.

4.3.4. Concluderende technische opmerkingen betreffende de drie ontwerpvarianten

Nu de drie ontwerpen doorgerekend zijn, kan men de vermogensverliezen bepalen die optreden ten gevolge van de bekabeling en de inverters. De berekende vermogensverliezen voor de drie ontwerpen zijn hieronder samengevat in tabel 4.6 (voor de berekeningen zie bijlage 18).

Tabel 4.6: vergelijking van de vermogensverliezen van de drie ontwerpvarianten

Ontwerp	Vermogensverliezen (kW)				Totale vermogensverlies	Percentage vermogensverlies
	Stringkabels	Arraykabels	Hoofdkabels	Inverters		
DC-principe	27,64	22,15	84,34	297,23	431,4	8,62
Str.-inv.-principe	19,74	208,39	23,16	318,95	570,2	11,40
AC-principe	52,63	214,81	112,26	351,49	731,2	14,61

Duidelijk komt uit tabel 4.6 naar voren dat de inverters van het DC-principe ontwerp, het minste vermogensverlies ten gevolge hebben. Maar dit is eigenlijk al vanzelfsprekend wanneer men de rendementen van de verschillende inverter typen in ogenschouw neemt. Belangrijkere conclusies zijn de verschillen in de individuele vermogensverliezen van de kabelsoorten. Bij het DC-principe ontwerp blijkt het vermogensverlies geringer te zijn, waardoor uiteindelijk meer elektriciteit kan worden opgewekt, in ieder geval op basis van het beschikbare vermogen op de hoofd-laagspanning-verdeelinrichting (de hoeveelheid opgewekte elektriciteit is natuurlijk ook afhankelijk van de mate van uitval!).

4.4. Subsidiëringmogelijkheden en investeringspremieregelingen

In deze paragraaf worden de subsidiëringmogelijkheden en investeringspremieregelingen besproken, die voor een zonnecentrale project kunnen worden angewend. In eerste instantie worden de verschillende afzonderlijke regelingen besproken welke mogelijk aanwendbaar zijn. Daarna is aangegeven welke mix van subsidiëringen en regelingen toegepast wordt in de berekening van de financiële haalbaarheid (paragraaf 4.4.5).

4.4.1 Besluit CO₂-reductieplan

Doel van het besluit [⁵¹] is een impuls te geven aan investeringen die gericht zijn op het substantieel terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen. Ten behoeve van dit beleid is in totaal € 681 miljoen gereserveerd, waarvan € 425 miljoen voor investeringen met aanzienlijke emissie reducties gedurende de exploitatie [⁵²]. De uitvoering van deze regelingen en begeleiding van deze projecten is in handen van het Projectbureau CO₂-reductieplan, een speciaal opgericht samenwerkingsverband van Novem en Senter. De uitvoering van de eerste drie regelingen (tenders) besparen in totaal ongeveer 2,6 Mton CO₂, het hiermee gemoeide bedrag is ongeveer € 176 miljoen [⁵²].

Sinds de dertiende september 2001 is echter de "oude" uitvoeringsregeling: uitvoeringsregeling subsidies CO₂-reductieplan, ingetrokken en is een nieuwe uitvoeringsregeling, op basis van het vernieuwde besluit (Besluit van 27 augustus 2001 tot wijziging van het Besluit subsidies CO₂-

⁵¹ De Minister van Economische Zaken, G.J. Wijers, 'Besluit subsidies CO₂-reductieplan', 7 juli 1998

⁵² [Http://www.senter.nl](http://www.senter.nl) internetsite van Senter (een agentschap van het ministerie van economische zaken), december 2001.

reductieplan inhoudende de uitbreiding naar andere broeikasgassen [⁵³]), tot stand gekomen namelijk:

“Uitvoeringsregeling subsidies CO₂-reductieplan 2001 [⁵⁴]”. De criteria en eisen waaraan een project moet voldoen om in aanmerking te komen voor het besluit CO₂-reductieplan, zoals die in de nieuwe uitvoeringsregeling zijn opgenomen en gelden voor de lopende tender (17 september 2001 tot en met 14 februari 2002, totaalbudget: € 68,1 miljoen), zijn hiernavolgend aangegeven.

- Het CO₂-reductieplan is er voor alle projecten die de uitstoot van CO₂ en andere broeikasgassen; CH₄, N₂O, HFK's, PFK's en SF₆, (bepaling via CO₂-equivalenten, zie ook bijlage 4) reduceren [⁵⁴].
- In aanmerking voor subsidie komen projecten die tenminste 1 kton CO₂ of CO₂-equivalenten per jaar besparen [⁵⁴].
- De waarde van de 'kosteneffectiviteit' mag niet hoger zijn dan € 9 per ton CO₂ of CO₂-equivalent reductie. Voor bepaling van de kosteneffectiviteit wordt gerekend met een aannemelijke technische levensduur (n) van de voorziening van ten hoogste 25 jaar en een annuïteit met een rente (i) van 6% [⁵⁴].
- De interne rentevoet van de investering mag niet hoger zijn dan 15% na belasting [⁵⁴].
- Het subsidiebedrag mag niet meer bedragen dan 30% van de extra investeringskosten (rechtstreeks toe te rekenen aan het CO₂-reductieproject). De subsidie kan echter voor projecten waarbij hernieuwbare energiebronnen worden ingezet of voor het MKB oplopen tot 40% van de extra investeringskosten (artikel 3 lid 1 t/m 4) [⁵⁴].
- Als CO₂-emissiefactor voor energiegebruik (in dit project: elektriciteit) geldt de volgende waarde uitgedrukt in kilogram CO₂ per kWh: 0,37 [⁵⁴].
- Voor eventuele combinaties tussen belastingverminderingen en het besluit CO₂-reductieplan geldt de volgende regeling: “indien aangewezen belastingvermindering ten behoeve van het milieu is verstrekt, wordt slechts een zodanig bedrag aan subsidie verstrekt, dat het totale bedrag aan subsidies en belastingverminderingen niet meer bedraagt dan het bedrag ingevolge lid 1 t/m 4 van artikel 3 (dit is voor dit project 40%). [⁵³]” Echter in de uitvoeringsregeling [⁵⁴] staan in artikel 14 de als belastingvermindering bedoelde regelingen aangegeven. In dit artikel is de EIA niet genoemd waardoor deze dus vrij is van deze regeling.

Met onderstaande berekening is aangegeven hoe het maximale subsidiebedrag voor dit project berekend kan worden:

- Het project moet minimaal 1 kton CO₂ of CO₂-equivalenten per jaar reduceren. Dit gegeven gecombineerd met de CO₂-emissiefactor voor elektriciteitsgebruik (0,37kg CO₂/kWh), geeft als minimale, gemiddelde jaarlijkse elektriciteitsproductie (zonnestroom): 2,7·10⁶ kWh per jaar (1000·10³kg CO₂ gedeeld door 0,37kg CO₂/kWh). Deze 2,7·10⁶ kWh gemiddelde jaarlijkse zonnestroom productie zal dus minimaal plaats moeten vinden om voor het besluit CO₂-reductie plan in aanmerking te komen.
- Met behulp van de kosteneffectiviteit, welke maximaal € 9,-/per vermeden ton CO₂ mag bedragen, kan nu het maximaal aan te vragen subsidiebedrag (Q) berekend worden. Voor de kosteneffectiviteit geldt de volgende berekeningsmethode:

⁵³ De Minister van Economische Zaken, A. Jorritsma-Lebbink, 'Besluit van 27 augustus 2001 tot wijziging van het Besluit subsidies CO₂-reductieplan inhoudende de uitbreiding naar andere broeikasgassen', uitgifte 11 september 2001 in Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (staatsblad 2001, 405).

⁵⁴ Staatscourant 10 september 2001, nr. 174 / pag. 9 'Uitvoeringsregeling subsidies CO₂-reductieplan 2001', 10 september 2001

Kosteneffectiviteit: = annuïteit van de subsidie / gemiddelde jaarlijkse CO₂-reductie [⁵⁴].

Met:

Annuïteit van de subsidie: gevraagde subsidiebedrag, Q (maximaal 40% van de projectkosten) maal de disconteringsvoet (maximale levensduur mag 25 jaar zijn) [⁵⁵]. De disconteringsvoet voor een levensduur van 25 jaar is 0,07823 [⁵⁵]. Er ontstaat dus de volgende vergelijking, waaruit Q opgelost kan worden:

$$\text{Kosteneffectiviteit: } \{(Q \cdot 0,07823) / 1000\} \leq \text{€ } 9,-$$

$$Q \leq \text{€ } 115.045,- \quad (\text{dit is het maximaal aan te vragen subsidie bedrag, zodat de kosteneffectiviteit nog net € } 9,- \text{ bedraagt, per kton CO}_2\text{-reductie)}$$

- Dit berekende maximaal aan te vragen subsidiebedrag kan alleen aangevraagd worden wanneer de zonnecentrale daadwerkelijk voldoende vermogen opgesteld heeft om gemiddeld per jaar $2,7 \cdot 10^6$ kWh aan zonnestroom op te wekken, omdat dan pas voldaan wordt aan de gestelde eis (minimale CO₂-reductie van een project moet 1 kton zijn) van het besluit CO₂-reductieplan. Om tot een gemiddelde jaarlijkse productie van $2,7 \cdot 10^6$ kWh aan zonnestroom te komen zal een PV-paneel vermogen van circa 3375 kW_p benodigd zijn. Bij deze schatting is uitgegaan van de veronderstelling dat 1kW_p geïnstalleerd PV-paneel vermogen gemiddeld 800 kWh per jaar levert.
- Uitgangspunt in dit onderzoek is een zonnecentrale van 5MW_p. Dit betekent een PV-paneel oppervlak van circa 45.000 m² (110 à 120 W_p/m²-paneeloppervlak) en gemiddelde jaarlijkse zonnestroom productie van circa $4,0 \cdot 10^6$ kWh (800 kWh per kW_p geïnstalleerd). De bewerkstelligde CO₂-reductie zal dan ongeveer 1,480 kton bedragen ($4,0 \cdot 10^6$ kWh maal 0,37kg CO₂/kWh). Uitgaande van de maximaal toegestane kosteneffectiviteit van € 9,- wordt het maximaal aan te vragen subsidie bedrag (Q) voor dit 5MW_p PV-project, nu:

$$\begin{aligned} \text{Kosteneffectiviteit: } \{(Q \cdot 0,07823) / 1480\} &\leq \text{€ } 9,- \\ Q &\leq (1480 \cdot \text{€ } 9,-) / 0,07823 = \text{€ } 170.267,- \\ &(\text{dit is } 115.045 \cdot 1,48 = 170.267) \end{aligned}$$

- Q is dus het maximaal aan te vragen subsidie bedrag via het besluit CO₂-reductieplan voor een zonnecentrale van 5MW_p, waarbij de kosteneffectiviteit nog net € 9,- bedraagt. Om zekerder te zijn van toekenning van subsidie via het besluit CO₂-reductieplan, kan minder subsidie aangevraagd worden waardoor de kosteneffectiviteit dalen zal. Omdat op basis van de kosteneffectiviteit van een project, door de adviescommissie CO₂-reductieplan selectie plaatsvindt, wordt de kans op toekenning van subsidie groter bij een lagere kosteneffectiviteit.

Het bedrag van € 170.267,- is erg marginaal wanneer men dit vergelijkt met de totaal geschatte projectkosten van circa € 30 miljoen voor een zonnecentrale van 5MW_p (0,68%). Dit onderschrijft het beeld dat grootschalige CO₂-reductie (doelstelling van de overheid en deze subsidiëringmaatregel) niet zo snel gerealiseerd wordt met fotovoltaïsche zonne-energie als bijvoorbeeld wel het geval is bij andere vormen van duurzame energie, zoals biomassa.

⁵⁵ Projectbureau CO₂-reductieplan, 'Aanvraagformulier besluit CO₂-reductieplan, bijlage 6', via <http://www.co2-reductie.nl>

4.4.2 ENERGIE: onderdeel van het vijfde kaderprogramma van de EU

ENERGIE is onderdeel van het thematische programma: "Energy, Environment and Sustainable Development (EESD, budget: € 2125 miljoen) welke zelf een van de vier thematische programma's is van het vijfde kaderprogramma (Fifth RTD Framework Programme (1998-2002) [⁵⁶, ⁵⁷, ⁵⁸]. Het ENERGIE programma (budget: € 1042 miljoen) richt zich op een betrouwbare, schone, efficiënte, veilige en rendabele energievoorziening en dienstverlening ten behoeve van alle Europeanen. Belangrijke drijfveren van dit EU programma zijn [⁵⁶]:

- Kyoto doelstelling: broeikasreductie van 8% tussen 2008 en 2012 ten opzichte van het niveau van 1990.
- Resolutie van de Europese Raad: verdubbeling hernieuwbare energiebronnen van 6% naar 12% in 2010.
- Betrouwbaarheid van de Europese energievoorziening.

ENERGIE bestaat uit zes niet technologische programma's, namelijk: Save (energie efficiëntie), Altener (hernieuwbare energie), Synergy (samenwerking met landen buiten de EU), Etap (toekomstig energiebeleid in Europa), Sure (nucleaire energie) en Carnot (vaste brandstoffen) [⁵⁶]. Het programma onderdeel, Altener richt zich op het versnellen van de marktpenetratie van hernieuwbare energie. Een overzicht van alle werkgebieden van Altener (en Save, omdat deze gezamenlijk opgesteld zijn) is in bijlage 19 van dit rapport opgenomen [⁵⁶]. Hieruit komt naar voren dat ook de promotie van hernieuwbare energiebronnen een werkgebied van het Altener deelprogramma is. Activiteiten omtrent promotie en kennisoverdracht die de marktpenetratie van zonnecentrales bevorderen, kunnen dus op subsidie rekenen via dit Altener deelprogramma. De investeringen ter realisering van een zonnecentrale kunnen niet opgedragen worden als kosten ten behoeve van bevordering van de marktpenetratie van zonnecentrales, waardoor dus geen subsidiëring voor deze kosten ontvangen kan worden. In feite is dit Altener deelprogramma dus pas (subsidie technisch) interessant wanneer promotie en kennisoverdracht van de gerealiseerde zonnecentrale zal plaatsvinden. De sluitingstermijn voor indiening van aanvragen voor dit Altener deelprogramma is vastgesteld op 3 april 2002 [⁵⁶].

4.4.3 De Energie Investeringsaftrek (EIA)

De EIA (opdrachtgever: Ministerie van Economische Zaken en totale budget: € 186,05 miljoen) biedt de ondernemer een fiscaal voordeel wanneer deze investeert in energiebesparende bedrijfsmiddelen en duurzame energie. Het fiscale voordeel bestaat uit de mogelijkheid om 55% van de investeringskosten (aanschaf- of voortbrengingskosten) te verminderen op de winst van de onderneming. Bij de belastingaanslag levert de EIA 2001 dan uiteindelijk een netto voordeel op van ongeveer 19% van de investeringskosten (55% maal 35%, waarbij 35% de aanname is voor de vennootschapsbelasting). In een kalenderjaar wordt per fiscale eenheid over ten hoogste € 96 miljoen aan energie investeringen EIA 2001 verleend. Om in aanmerking te komen moet het bedrijfsmiddel (de zonnecentrale) voorkomen op de Energielijst [⁵²], beschreven zijn in de uitvoeringsregeling EIA [⁵⁹] of als voorbeeld beschreven zijn in de EIA-brochure 2001 [⁵²]. In artikel 2 van de uitvoeringsregeling energie-investeringsaftrek 2001 staat verwoord wat in deze uitvoeringsregeling bedoeld wordt met energie-investeringen. In bijlage 1 van deze uitvoeringsregeling staan de energie-investeringen beschreven, zo ook fotovoltaïsche zonne-energie systemen, waaronder de zonnecentrale valt. Het fotovoltaïsche zonne-energie systeem is als volgt omschreven (in bijlage 1 van de uitvoeringsregeling onder E.1.1.B): "een fotovoltaïsch zonne-energie systeem voor het opwekken van elektrische energie uit zonlicht met behulp van

⁵⁶ [Http://www.egl.nl](http://www.egl.nl), internetsite van de EG liaison (onderdeel van Senter, voor Europese subsidies), december 2001.

⁵⁷ [Http://www.cordis.lu/eesd/home.html](http://www.cordis.lu/eesd/home.html), internetsite van EESD; Energy, Environment and Sustainable Development (onderdeel vierde kaderprogramma), december 2001.

⁵⁸ [Http://www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int), de Europese Unie online, december 2001.

⁵⁹ Staatscourant 22 december 2000, nr 249/pag. 30 'Uitvoeringsregeling energie-investeringsaftrek 2001', 20 december 2000.

zonnecellen, en bestaande uit: panelen met fotovoltaïsche zonnecellen met een gezamenlijk piekvermogen van ten minste 90 Watt, (eventueel) stroomspanning omvormer, (eventueel) accumulator" [59]. De energie investering van dit project komt dus in aanmerking voor de EIA 2001. De EIA wordt elk jaar aangepast (de energielijst is vernieuwd voor het jaar 2002), maar ook op de energielijst van 2002 komt fotovoltaïsche zonne-energie systemen voor onder het nummer 151102. Het energieadvies wat aangevraagd moet worden, om voor de EIA in aanmerking te komen is niet kosteloos, maar kan meegenomen worden bij de kosten van aanschaf of voortbrenging van het bedrijfsmiddel. Aanmelding voor EIA moet geschieden, binnen maximaal 3 maanden nadat de investering plaats heeft gehad, via het Bureau Investeringsregelingen en Willekeurige Afschrijving te Breda. De verdere afhandeling verloopt via Senter en de eenheid van de Belastingdienst waaronder de fiscale eenheid valt [52]. De onderstaande voorbeeld berekening geeft aan hoe het voordeel van de EIA zich uit:

Aannames voor het voorbeeld:

Levensduur van de investering:	n = 25 jaar
Rentepercentage:	i = 6%
Vennootschapsbelasting:	35%
Investeringskosten bedragen:	€ 5.000.000,-
EIA bedraagt 55%:	€ 2.750.000,-
Winst voor belasting van de onderneming in 2002:	€ 8.000.000,-

Investeren zonder subsidiëringen:

Vennootschapsbelasting (35%):	€ 2.800.000,-
Winst na belasting van de onderneming in 2002:	€ 5.200.000,-

Investeren met EIA:

Vennootschapsbelasting (35%): $(8.000.000 - 2.750.000) \cdot 0,35 =$	€ 1.837.500,-
Winst na belasting van de onderneming in 2002:	€ 6.162.500,-

Verschil tussen de situaties (voordeel EIA): $(6.162.500 - 5.200.000) =$ € 962.500,-
 Door gebruik te maken van de EIA ontstaat er dus een voordeel van: 19,25% $(962.500 / 5.000.000)$ op de investeringskosten.

4.4.4 Milieu investeringsaftrek (MIA) en Willekeurige afschrijving Milieu-investeringen (VAMIL)

De MIA is net zoals de EIA een fiscale aftrekregeling. De MIA biedt ondernemers die investeren in milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen de mogelijkheid tot 40% van het investeringsbedrag in mindering te brengen op de fiscale winst [52]. De VAMIL is een fiscale regeling, die ondernemers die investeren in milieuvriendelijke bedrijfsmiddelen een liquiditeit- en rentevoordeel biedt [52]. Als ondernemers VAMIL toepassen op een bedrijfsmiddel mogen zij dit willekeurig ofwel vrij afschrijven. Net zoals de EIA moeten de MIA en VAMIL worden aangemeld bij het bureau Investeringsregelingen en Willekeurige Afschrijving te Breda en tevens is er een gelijksoortige lijst opgesteld waarop de bedrijfsmiddelen die in aanmerking komen staan vermeld; de Milieulijst [60].

Voor sommige technieken die voor de VAMIL in aanmerking komen is ook de EIA van toepassing. Dit is het geval voor; fotovoltaïsche zonne-energie systemen, welke als VAMIL nummer: 6053 heeft, dit correspondeert met het nummer 151102 van de EIA-energielijst [60]. Dit duidt er dus op dat zowel de VAMIL als de EIA tegelijk toegepast mogen worden voor PV-zonne-energie systemen (dit is zo voor alle bedrijfsmiddelen waarvan de code begint met een 1

⁶⁰ [Http://www.vamil.nl](http://www.vamil.nl), de internetsite van de VAMIL-regeling, december 2001.

[⁶¹]). Cumulatie van EIA en MIA voor een bepaald bedrijfsmiddel is in geen enkel geval mogelijk [⁵²]. Onderstaande voorbeeld berekening geeft aan wat het extra voordeel is van de EIA gecombineerd met VAMIL in plaats van enkel de EIA (zie paragraaf 4.4.3):

Uitgaande van gelijke aannames als het voorbeeld in paragraaf 4.4.3:

Levensduur van de investering:	n = 25 jaar
Rentepercentage:	i = 6%
Vennootschapsbelasting:	35%
Investeringskosten bedragen:	€ 5.000.000,-
EIA bedraagt 55%:	€ 2.750.000,-
Winst voor belasting van de onderneming in 2002:	€ 8.000.000,-

Investeren met EIA en zonder VAMIL:

Vennootschapsbelasting (35%):	€ 1.837.500,-
Winst na belasting van de onderneming in 2002:	€ 6.162.500,-
Voordeel door gebruikmaking EIA is (paragraaf 4.4.3)	€ 962.500,-

Investeren met EIA en VAMIL:

Nu VAMIL toegepast wordt, kan gekozen worden wanneer afschrijving plaatsvindt. In deze berekening wordt gekozen om de investeringskosten ineens in het eerste jaar af te schrijven, hierdoor wordt namelijk het grootste rentevoordeel behaald.

Om het rentevoordeel van de VAMIL regeling aan te duiden moet men bedenken dat afschrijving van de investeringskosten normaliter (zonder VAMIL) plaats zou vinden door 25 jaar lang een bedrag van € 200.000,- af te schrijven. Hierdoor is het jaarlijks terugkerende fiscale voordeel : $35\% * 200.000,- = € 70.000,-$. De contante waarde van deze toekomstige afschrijvingskosten bedraagt dus normaliter: $70.000,- * 12,783355$ (dit is de vermenigvuldigingsfactor berekend met de gestelde n en i) = € 894.835,-.

Gebruikmakend van de VAMIL regeling kunnen de investeringskosten geheel afgeschreven worden in het eerste jaar. Het belastingvoordeel bedraagt in dit geval:

$35\% * 5.000.000,- = € 1.750.000,-$. Het rentevoordeel van de VAMIL regeling bedraagt dus (boven op het voordeel van de EIA, wat € 962.500,- is): $1.750.000,-$ minus $894.835,- = € 855.165,-$

4.4.5 De set van subsidiëringen voor de PV- zonnecentrale

Subsidieregelingen zijn dynamische regelingen welke dikwijls aan verandering onderhevig zijn in de tijd. Dit komt meestal door vernieuwde inzichten, veranderende doelstellingen of afloop van een bepaalde steunmaatregel omdat men denkt dat het gesubsidieerde onderwerp op eigen benen verder zou moeten kunnen. Daarom worden in deze paragraaf de subsidiëringen aangeduid welke op het moment van schrijven van dit rapport actueel zijn voor een PV zonnecentrale project. De subsidiëringen die meegenomen worden bij berekening van de financiële haalbaarheid (paragraaf 4.5) zijn: de EIA, de VAMIL en het besluit CO₂-reductieplan. Deze zullen op de hieronder beschreven manier verwerkt worden bij de bepaling van de financiële haalbaarheid van de zonnecentrale ontwerpen:

- Voor het besluit CO₂-reductieplan geldt dat bij het gestelde criterium (5 MW_p), een maximum aan te vragen subsidie bedrag van € 170.267,- (berekend in paragraaf 4.4.1). Dit bedrag wordt als annuïteit uitgekeerd over de economische levensduur van het project [⁵⁵]. Dit betekent met de gestelde rentevoet van 6% en een levensduur van 25 jaar, een annuïteit van € 13.320,-.

⁶¹ Brochure EIA 2001, pdf-bestand via de internetsite van Senter, december 2001.

- Voor de EIA geldt dat 55% van de investeringskosten aftrekbaar zijn van de winst van de onderneming. Als uitgangspunt wordt aangenomen dat door de onderneming (de opdrachtgever) voldoende winst gemaakt is waardoor de EIA geheel aftrekbaar is in jaar 1. Tevens wordt één vast belastingtarief gehanteerd voor de vennootschapsbelasting, namelijk 35%. Hierdoor bedraagt de EIA $0,55 * 0,35 = 0,1925$ (19,25%) van de investeringskosten.
- Ook toepassing van de VAMIL regeling is bij de berekening van de financiële haalbaarheid opgenomen. Het grootste rentevoordeel wordt behaald door het gehele investeringsbedrag in één keer af te schrijven in het eerste jaar van het project, dit is daarom ook op deze wijze opgenomen in het financiële haalbaarheidsoverzicht. Ook nu wordt aangenomen dat de winst van de onderneming van voldoende omvang is zodat dit gehele bedrag in eenmaal afgeschreven en dus afgetrokken kan worden (Wanneer dit niet het geval zou zijn, bestaan er fiscale regelingen (onder de naam "fiscale compensatie voorwaarden") die het mogelijk maken om dit voordeel pas te benutten wanneer de bedrijfswinst wel hoog genoeg is).

4.5. Financiële haalbaarheid van de drie zonnecentrale ontwerpen

Om de financiële haalbaarheid van de drie verschillende ontwerpen te kunnen bepalen en objectief te kunnen vergelijken is een standaard cash flow schema opgesteld waarin de kosten en baten posten van een zonnecentrale zijn opgenomen (bijlage 20). De veronderstelde aannames in dit standaard cash flow schema zijn:

- Dit standaard cash flow schema is bedoeld voor zonnecentrales met een opgesteld vermogen van $5MW_p$ en de beschreven greenfield opstelling in paragraaf 4.3.
- Omrekening van dollar naar euro met de verhouding: 1 dollar komt overeen met 1,128 euro.
- De kosten van de ondersteuningsconstructie zullen voor de drie ontwerpen geen verschillen vertonen, omdat gelijke opstelling in de vorm van het greenfield, zoals in afbeelding 4.3 plaats zal vinden. De constructie van een segment van 7,5m bij 5,2m (36 panelen) is door een constructeur van DHV AIB berekend op draagkracht en materiaaldikten, hiermee is het totaal aan materiaalbehoefte berekend. Voor het segment komt dit neer op € 5095,-, dit is inclusief uitgraven en aanbrengen van fundatie, verzinken van het staal en het installeren van de constructie. Voor de gehele zonnecentrale komt dit neer op een kostenpost van € 6.496.125,- (zie bijlage 21).
- De 10kV, alsmede de 400V hoofdlaagspanning verdeelinrichting is eveneens gelijk voor de drie zonnecentrale ontwerpen. Ontwerp en kosten hiervan zijn weergegeven in bijlage 22. De totale kosten voor deze installatie bedragen € 115.000,-.
- De transformatorunit welke de verbinding zal zijn tussen hoofd laagspanningsinrichting en het 10kV distributienet van de elektriciteitsleverancier, heeft een gelijke omvang voor zonnecentrale ontwerpen gebaseerd op een opgesteld vermogen van $5MW_p$ (zie bijlage 22) De kosten voor deze transformatorunit zijn geschat op € 84.000,-, dit is 2 maal de prijs van een 2500kVA normtransformator voor buiten opstelling, inclusief aftakschakelaar en kabel aansluitkasten ^[62].
- Omdat monitoring op velerlei manieren mogelijk is en het te ver voert om alle mogelijkheden in zijn geheel te onderzoeken, is voor de kostenpost monitoring een bedrag van € 459.000,- gereserveerd. Dit bedrag is gebaseerd op een vuistregel van de System Engineering (SE) afdeling van DHV AIB, die luidt dat wanneer de meetpunten niet verschillen (gelijke metingen op de verschillende punten in het veld), € 900,- per meetpunt gerekend kan worden voor de totale kosten van monitoring (ontwerp-, materiaal-, installatiekosten, etc.). Uitgaande van 10 meetpunten per rij_oost_west, komt men op een totaal van 510 meetpunten.
- Het gebouw dat geplaatst wordt bij de zonnecentrale is weergegeven in bijlage 23. De totale kosten voor de realisering van dit gebouw zijn geraamd op € 517.275,-.

⁶² NAP DACE (Dutch Association of Cost Engineers) 'Prijzenboekje 21e editie', December 2000.

- Voor installatie van de gehele zonnecentrale (in de realiseringsfase) zijn installatiekosten opgevoerd in dit cash flow schema, namelijk € 1.000.000,-. In sommige kostenposten zijn de installatiekosten al verwerkt, zoals bij de kosten voor het gebouw. Deze installatiekostenpost heeft dus betrekking op de installatiewerkzaamheden waarvan niet expliciet vermeld is dat deze kosten al bij de afzonderlijke componenten kostenpost opgenomen zijn.
- De kostenpost onderhoud is bedoeld voor vervanging en/ of reparatie van defecte onderdelen. Hiervoor is € 5.000,- per termijn van 5 jaren gereserveerd.
- Salariëring van personeel voor onderhoud van het terrein, schoonmaak en wacht is gebaseerd op een weektaak van circa 10 uren, waarvoor een gemiddelde salariëring van € 10.000,- per jaar is gereserveerd.
- Investeringspremies (EIA en VAMIL) en subsidiëring (CO₂-reductieplan) zijn opgevoerd zoals aangegeven in paragraaf 4.4.5.
- De (financiële) opbrengst van dit project is de levering van zonnestroom aan het openbare elektriciteitsnet. Uitgaande van een gemiddelde jaarlijkse zonnestroom productie van $4 \cdot 10^6$ kWh en een gemiddelde consumenten prijs van groene stroom voor de komende 25 jaar van € 0,30 komt dit neer op 1,20 miljoen euro per jaar.
- Voor het reële rentepercentage (r) is 2,91% aangenomen. Dit is gebaseerd op een nominale rente (i) van 6% en een inflatie (p) van 3%, volgens de formule: $r = (1+i) / (1+p) - 1$ [⁶³].
- In dit cashflow schema wordt geen rekening gehouden met de wijze van financiering, waardoor in deze analyse geen rentekosten van een financiering zijn meegenomen. Hiervoor is gekozen omdat een advies (ontwerpkeuze) uitgebracht wordt aan een opdrachtgever, waardoor het voor de adviserende partij om de rentabiliteit van het project (de verschillende ontwerpen) gaat. De wijze van financiering blijft dus een taak van de opdracht gevende partij zelf, dit mede omdat inzicht in de financiële bedrijfsvoering van de opdracht gevende partij ontbreekt en dikwijls niet wenselijk is.

De invulling van deze kostenposten is voor de drie verschillende zonnecentrale ontwerpen onderzocht en berekend. De netto contante waarde (NCW) en interne rentevoet (IRV) van de drie zonnecentrale ontwerpen zijn verschillend, waardoor een keuze gemaakt kan worden voor een bepaald zonnecentrale ontwerp, op basis van het kostenaspect (de financiële haalbaarheid). De invullingen van de verschillende kostenposten van de drie zonnecentrale ontwerpen en de kostenverklaringen zijn weergegeven in bijlage 24 t/m 29. Om nu een vergelijking van de financiële parameters mogelijk te maken zijn deze in tabel 4.7 weergegeven.

Tabel 4.7: vergelijking van de financiële parameters van de drie zonnecentrale ontwerpen

Ontwerp	Interne rentevoet (IRV)	Netto Contante Waarde (NCW)
DC-principe	-0,89%	-€ 1.633.604
String-inverter-principe	-1,16%	-€ 2.137.361
AC-principe	-0,98%	-€ 1.839.641

Uit tabel 4.7 blijkt dat het DC-principe ontwerp in deze berekening het minst verliesgevend is, waardoor het DC-principe ontwerp dus de voorkeur verdient wanneer het financiële aspect in ogenschouw genomen wordt. De negatieve netto contante waarde van - € 1.6 miljoen geeft aan dat bij de gemaakte keuzen en componenten in dit ontwerp een tekort van 1,6 miljoen na 25 jaar zal ontstaan. Maar onzekerheid bestaat er in ieder geval over de ontwikkeling van elektriciteitsprijs in de komende 25 jaar, waardoor de hier berekende NCW nog behoorlijk afwijkend zou kunnen gaan uitpakken.

⁶³ Oerlemans L.A.G., Romijn H. 'Dictaat ET1 4, deel II: Cost-Benefit Analysis of Projects', September 2000, TU/e.

4.6 Conclusies; technische en financiële aspecten van de ontwerpvarianten

Uit hoofdstuk 4 is gebleken dat zowel technisch als financieel gezien het DC-principe ontwerp de voorkeur verdient. De andere twee ontwerpen zijn hoger in de kosten en hebben een hoger vermogensverlies tot aan de hoofdverdeelinrichting. De kostenverschillen ten opzichte van de investeringssom zijn echter klein, dit gegeven gecombineerd met het feit dat de prijzen per stuk zijn ingevoerd voor een aantal componenten, geeft aan dat afweging enkel op het kostenaspect in principe niet gemaakt mag worden. Het verschil in vermogensverlies en dus het verschil in elektriciteitsopbrengst is wel duidelijk significant, waardoor afweging op het technische aspect verantwoord lijkt.

Verbetering van de vermogensverliezen door de bekabeling zijn overigens goed realiseerbaar door te kiezen voor ruimere kabels (dikkere kabels die minder vermogensverlies ten gevolge hebben). Dit brengt op zijn beurt wel hogere kosten mee, waardoor de kostenpost bekabeling flink zal stijgen en dus de financiële haalbaarheid ongunstiger zal worden. Bepaling van een samenhang (causaal verband) tussen de variabele; kabeldikte (en dus minder vermogensverlies) en de meerprijs voor de kostenpost bekabeling (en dus meerprijs voor een zonnecentrale ontwerp) geeft nieuwe stof voor eventueel toekomstig onderzoek ter optimalisering van zonnecentrale ontwerpen.

Opmerking betreffende het technische ontwerp, waardoor het ontwerp efficiënter (hogere elektriciteitslevering) en ook financieel een stuk aantrekkelijker zou kunnen worden, betreft de omvang van de invertercapaciteit. De invertercapaciteit omvang kan namelijk slinken tot 80% van het opgestelde PV-vermogen, in plaats van de circa 105% die toegepast is in de ontwerpen in dit rapport [64]. De reden hiervoor is tweeledig, namelijk:

- Ten eerste zal slechts enkele uren (in de lente; helder weer en paneeltemperatuur slechts 25°C) per jaar het PV-vermogen volledig belast worden, waardoor de invertercapaciteit best wat kleiner mag zijn dan het maximale PV-vermogen. De inverters beschikken in het uiterste noodgeval over een beveiliging die overbelasting niet toe laat.
- Ten tweede zorgt een kleinere verhouding tussen inverter vermogen en PV-vermogen voor een gemiddeld hogere belasting van de inverters, waardoor het inverter rendement een klein beetje stijgen zal.

Technische zal het rendement dus door de tweede reden toenemen en financieel zal de kostenpost inverters afnemen door de eerst genoemde reden. Deze opmerking geldt voor alle drie de ontwerpvarianten waardoor de verschillen onderling niet zullen wijzigen. Wel worden ze alle drie wat minder verliesgevend en zullen ze alle drie iets meer elektriciteit opwekken. Voor het DC-principe ontwerp betekent dit dat men van 51 inverter terug zou kunnen naar circa 42 inverters.

Betreffende de financiële haalbaarheid, de parameters NCW en IRV, kan men nog een algemene opmerking maken welke geldt voor duurzame energie projecten. Deze milieuvriendelijkere projecten worden namelijk beoordeeld zoals men de conventionele projecten beoordeelt. Hierdoor worden de milieukosten, welke wel geïnternaliseerd zijn in de milieuvriendelijke projecten, maar niet in de conventionele projecten, dus enerzijds wel en anderzijds niet meegenomen. Dit veroorzaakt in feite een oneerlijke vergelijking waarbij de milieuvriendelijke projecten in een benadeelde positie beland zijn. Oplossing hiervoor zou enerzijds kunnen zijn om bij berekening van de conventionele projecten een extra kostenpost; milieukosten op te nemen, of bij de berekening van de milieuvriendelijke projecten een maatschappelijke baat (milieuwinst) op te nemen.

⁶⁴ Schlangen, J.J.M., sales manager at Shell Solar Energy B.V., Helmond, The Netherlands

5. Toepassing LCA-basismodel: vergelijking van drie zonnecentrale ontwerpen

In dit hoofdstuk worden de drie zonnecentrale ontwerpvarianten (DC, String-inverter en AC), welke in hoofdstuk 4 technisch en financieel beoordeeld zijn, vergeleken op basis van de milieueffecten (milieubelasting) welke zij ten gevolge hebben. Hierbij wordt gebruik gemaakt van SimaPro 5.0 en het LCA-basismodel voor zonnecentrales, zoals dit opgesteld is in hoofdstuk 3 van dit rapport. Dit hoofdstuk heeft dus een tweedelige relevantie. Enerzijds wordt het LCA-basismodel voor zonnecentrales toegepast op drie realistische ontwerpen, waardoor het LCA-basismodel kan worden beoordeeld. Anderzijds worden de drie ontwerpvarianten vergeleken op basis van hun milieubelasting, hierdoor kunnen keuzes voor een bepaalde ontwerpvariant op basis van het milieuaspect, onderbouwd worden. In de eerste paragraaf zullen de aannamen in SimaPro besproken worden, deze gelden voor alle drie de ontwerpvarianten. Paragraaf 5.2 bespreekt de verschillende ontwerpen zoals die ingevoerd zijn in SimaPro. De uiteindelijke milieu ingrepen van de drie ontwerpvarianten worden duidelijk in paragraaf 5.3. Paragraaf 5.4 geeft in eerste instantie de verschillende milieubelastingen aan die berekend zijn voor de drie ontwerpvarianten, daarna worden deze uitkomsten geëvalueerd en worden conclusies met betrekking tot het milieuaspect, het LCA-basismodel en de vergelijkbaarheid van de ontwerpvarianten op basis van het milieuaspect, beschreven.

5.1 Centrale aannamen in SimaPro en de gehanteerde rekenwijze

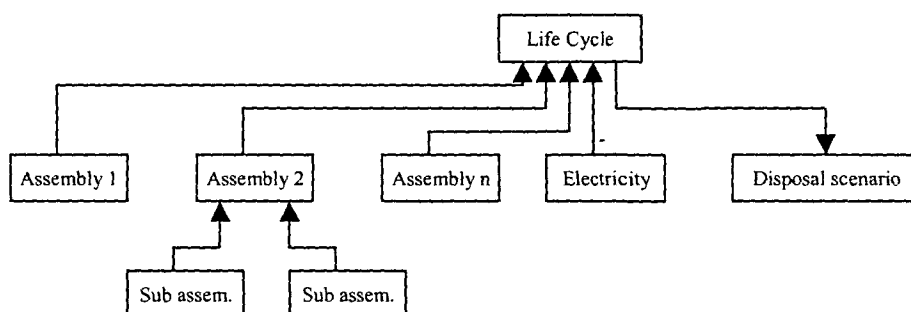
De naam van het project, zoals het aangegeven is in SimaPro, is: PV-zonnecentrale. Hierin zijn alle verschillende LCA-stappen en productfasen opgenomen. Eerste stap: doel en reikwijdte, bevat de zogenaamde "DQI (Data Quality Indicator) requirements". Hierin wordt voor de variabelen: tijd, geografie, type, allocatie en systeemgrenzen, de aannamen gedefinieerd die belangrijk zijn voor de representativiteit van de geselecteerde materialen en processen (in file zichtbaar). Deze aannamen hebben dus alleen betrekking op de materiaal- en procesgegevens die geselecteerd worden voor dit PV-zonnecentrale project.

De gehanteerde functionele eenheid is overeenkomstig met het LCA-basismodel, hiervoor geldt dus: de levering van 1 TJ zonnestroom aan het openbare elektriciteitsnet. Om hier telkens naar toe te kunnen rekenen wordt de volgende procedure toegepast:

Voor elke veldcomponent worden de materiaal- en procesgegevens bepaald, daarna worden die vermenigvuldigd met het aantal veldcomponenten dat verwerkt is in een bepaald zonnecentrale ontwerp. Dit zijn dus de materiaal- en procesgegevens die nodig zijn om de gehele zonnecentrale van $5MW_p$, met een levensduur van 25 jaar te realiseren. De zonnecentrale zal dan in 25 jaar, 125 GWh leveren ($5MW_p * 25\text{jaar} * 1GWh/MW_p * jr = 125\text{ GWh}$). Met de omrekenfactor, $1TJ=2,78 \cdot 10^5 kWh$ ($\Rightarrow 1GWh = 3,6TJ$), komt dit neer op 450TJ in de gehele levensduur. Om de omrekening naar de functionele eenheid van 1TJ te verwezenlijken, moeten de materiaal- en procesgegevens van de gehele zonnecentrale dus gedeeld worden door 450.

Op deze manier worden de verschillende materiaal en proces bijdragen bepaald voor de functionele eenheid. Deze materiaal en proces bijdragen worden ingevoerd in zogenaamde 'assemblies' (winning- en productiefase), waarmee de verschillende zonnecentrale ontwerpen

opgebouwd kunnen worden [65]. De assemblies worden geleid naar de life cycle (de gehele levenscyclus van een zonnecentrale ontwerpvariant) van een bepaalde ontwerpvariant. Vanuit de life cycle gaat een uitgaande stroom naar het 'disposal scenario' (afvalfase van een zonnecentrale variant). Deze verschillende fasen van het product (assemblies, life cycle en disposal scenario) worden in SimaPro product stages genoemd. Tijdens de gebruiksfase kunnen normaliter ook materialen gebruikt worden en processen plaatsvinden welke milieueffecten ten gevolge hebben, maar zoals al eerder aangegeven staat in hoofdstuk 3, wordt voor de zonnecentrale aangenomen (bij benadering is dit ook zo) dat alleen zonnestroom geleverd wordt. Dit wordt door middel van een negatieve elektriciteitstoevoer in de life cycle aangegeven, waardoor dit als elektriciteitslevering aangemerkt wordt door SimaPro. Opbouw van een procesboom voor een zonnecentrale ontwerp kan nu als volgt voorgesteld worden (afbeelding 5.1):



Afbeelding 5.1: voorstelling van de opbouw van procesbomen in SimaPro.

In dit rapport is al een aantal keer gerekend met de aanname dat 1kW_p geïnstalleerd PV-vermogen in Nederland 858kWh per jaar opbrengt, waardoor 5003kW_p dus $4,3\text{GWh}$ per jaar opbrengt. Dit is een goede aanname, maar er wordt hier nu gekozen om eerst het vermogen te bepalen dat op de hoofd laagspanning verdeelinrichting overblijft (zie paragraaf 4.3.4), dit is namelijk ontwerp specifiek waardoor het rendement van de ontwerpvariant als milieuaspect meegenomen wordt. Daarna wordt aangenomen dat dit vermogen op de hoofd laagspanning verdeelinrichting via de omrekenregel 1kW_p (op de H.V.inr.) = 1000kWh , naar elektriciteitslevering verrekend kan worden. Door dit op deze manier toe te passen wordt een verschillende elektriciteitslevering verkregen voor de verschillende ontwerpvarianten, namelijk zoals in tabel 5.1 aangegeven is:

Tabel 5.1: berekening ontwerp specifieke elektriciteitslevering.

Ontwerp-variant	Vermogen op hoofd verdeelinrichting (kW_p)	Elektriciteitslevering per jaar (GWh)	Elektriciteitslevering in 25 jaar (levensduur) (GWh)	Per functionele eenheid (GWh)	Per functionele eenheid (TJ)
DC-principe	4571	4,571	114,275	0,2539	0,9133
Str.-inv.-prin.	4433	4,433	110,825	0,2463	0,8860
AC-principe	4272	4,272	106,80	0,2373	0,8536

⁶⁵ Goedkoop, M., Oele, M. 'User Manual; introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5.0', Pré consultants, Gouda, Nederland, juni 2001.

5.2 Invoer en de procesbomen van de drie ontwerpvarianten in SimaPro

Invoer in SimaPro geschiedt voor een bepaalde ontwerpvariant via een aantal assemblies, één life cycle en één disposal scenario. Een aantal van de product stages komen in alle drie de ontwerpvarianten voor en worden hieronder kort uiteengezet:

- *Zonnepanelen met subassemblies:*
 - *Productie van sg-Si.* Hierin staan de materialen en energieën die gebruikt worden tijdens de productie van solar grade Silicium, de grondstof voor de zonnecellen en modules [gegevens uit ⁶⁶].
 - *Productie van Mc-Si modules.* De benodigdheden en processen welke plaatsvinden tijdens de productie van multikristallijne Silicium modules [gegevens uit ⁶⁶].
- *Ondersteuningsconstructie.* Materialen benodigd voor de realisering van de ondersteuningsconstructie van de zonnecentrale [gegevens via B-afdeling DHV en ⁶⁷].
- *De bekabeling assemblies (15 stuks).* Voor alle kabelsoorten is een assembly opgesteld, met de exacte gewichten per meter kabel [gegevens van Draka B.V. zie bijlage 30]. Met behulp van deze 15 (sub)assemblies worden drie assemblies samengesteld, voor iedere ontwerpvariant een bekabeling assembly.
- *Disposal scenario.* Hierin worden de verschillende afvalscenario's aangegeven. Gekozen is voor een verdeling van de afvalstroom in 40% stortterrein, 40% vuilverbranding en 20% recycling. De relatief kleine fractie recycling is zo gekozen omdat over de mate van recycling van zonnepanelen nog niet veel bekend is. Metalen (bijvoorbeeld Staal en Aluminium) afkomstig van de ondersteuningsconstructie en inverters kunnen wel gerecycled worden.

De andere product stages, zoals bijvoorbeeld de inverters (DC, Str.-inv. en AC) en de koppelkasten, maar ook de drie life cycles zijn allen ontwerp specifiek. Deze worden behandeld in de volgende paragrafen (5.2.1 t/m 5.2.3) waar de procesbomen van de drie ontwerpvarianten worden gepresenteerd.

5.2.1 DC-principe zonnecentrale ontwerp

In bijlage 31 staan alle product stages beschreven die opgesteld zijn voor de opbouw van het DC-principe zonnecentrale ontwerp in SimaPro. De ontwerp specifieke product stages worden hieronder kort toegelicht, dit zijn:

- *Blokkeer en isolatie dioden (DC-principe).* De hierin opgenomen materialen zijn gelijk voor de drie verschillende ontwerpen, alleen de gewichten per functionele eenheid zijn verschillend omdat de ontwerpen een verschillend aantal diodes bezitten.
- *Inverters DC-principe.* De meest relevante materialen zijn in deze assembly opgenomen, de gewichten zijn tot stand gekomen door bestudering van productspecificaties (PV Series van Trace engineering) en een aantal foto's en dus niet exact bepaald.
- *Koppelkast TCB10 (DC-principe).* De materialen voor de productie van de TCB10-koppelkasten (Trace engineering) zijn in deze assembly opgenomen. De informatie betreffende gewichten is net zoals bij de inverters afkomstig via productspecificaties en tekeningen en dus niet exact bekend.
- *Bekabeling DC-principe.* Deze is samengesteld met behulp van 5 van de 15 subassemblies: kabelsoorten.
- *Assemblage zonnecentrale DC-principe.* Hierin zijn de verschillende veldcomponenten opgenomen die in het DC-principe aanwezig zijn.

⁶⁶ Hagedorn, G., Hellreigel, E. 'Umweltrelevante Stoffströme bei der Herstellung verschiedener Solarzellen' Berichte der Forschungszentrums Jülich GmbH, Förderkennzeichen 426-3590-PLI 14120, Jülich 1992, Germany.

⁶⁷ PBNA 'Polytechnisch zakboekje', 48^e druk, ISBN 90-6228-266-0.

- *Zonnecentrale DC-principe*. Dit is de life cycle van het DC-principe ontwerp, hierin worden alle product stages met elkaar gekoppeld. Als proces wordt opgenomen een negatieve invoer van elektriciteit, dit om aan te geven dat elektriciteit opgewekt wordt. Deze opwekking van zonnestroom bedraagt bij het DC-principe ontwerp 0,9133TJ (zie tabel 5.1).

De ontstane procesboom van het DC-principe ontwerp is afgebeeld in bijlage 32. Hierin zijn alleen de product stages en top processen weergegeven omdat de procesboom anders veel te groot zou zijn voor een duidelijke weergave.

5.2.2 String-inverter zonnecentrale ontwerp

Voor de opbouw van het string-inverter-principe ontwerp, zijn een aantal ontwerp specifieke product stages in SimaPro opgesteld. Deze staan beschreven in bijlage 33 en worden hieronder kort toegelicht.

- *Blokkeer en isolatie dioden str.-inv.-principe*. Gelijke materialen als bij het DC-principe ontwerp, alleen wat hogere gewichten (17%) doordat meerdere dioden in dit ontwerp opgenomen zijn.
- *Inverters str.-inv.-principe*. De meest relevante materialen zijn hierin opgenomen, de gewichten zijn schattingen aan de hand van de productspecificaties (SMA sunnyboy 2500⁴⁹) en een aantal foto's.
- *Koppelkast AC*. Hierin zijn opgenomen de meest relevante materialen welke aanwezig zijn in dit soort koppelkast. In deze koppelkast zit speciale vermogenslektronica die een éénfasige spanning omzetten in een driefasige spanning, hierdoor zullen deze koppelkasten een relatief grote omvang hebben.
- *Bekabeling str.-inv.-principe*. Deze assembly is samengesteld door 6 van de 15 subassemblies: kabelsoorten, te selecteren.
- *Assemblage zonnecentrale str.-inv.-principe*. Opgenomen hierin zijn alle veldcomponenten die in het string-inverter-principe ontwerp voorkomen.
- *Zonnecentrale str.-inv.-principe*. Dit is de life cycle van het string-inverter-principe ontwerp, hierin zijn alle losse product stages opgenomen en verbonden met elkaar. De groene stroom productie is hierin opgenomen door middel van een negatieve invoer (-0,8860TJ) van elektriciteit.

Met deze ontwerp specifieke product stages en de basis product stages tezamen is de procesboom voor het string-inverter-principe opgesteld. Deze procesboom is weergegeven in bijlage 32.

5.2.3 AC-principe zonnecentrale ontwerp

De ontwerp specifieke product stages die in SimaPro zijn opgesteld voor het AC-principe ontwerp, zijn in bijlage 34 weergegeven en hieronder kort toegelicht.

- *Blokkeer en isolatie dioden AC-principe*. Wederom zijn gelijke materialen in SimaPro ingevoerd maar nu zijn de gewichten per functionele eenheid een stuk hoger (300%) dan bij het DC-principe ontwerp. Dit omdat het aantal strings bij het AC-principe ontwerp veel hoger is dan bij het DC-principe ontwerp.
- *Inverters AC-principe*. De meest relevante materialen zijn hierin opgenomen, door middel van de productspecificaties (OK5 van NKF B.V.⁵⁰) en afbeeldingen zijn de gewichten geschat.
- *Koppelkast AC*. Exact gelijke koppelkast als bij het string-inverter-principe ontwerp.
- *Bekabeling AC-principe*. Hierin zijn alle kabels opgenomen die voorkomen in het AC-principe ontwerp, dit door middel van selectie van 6 van de 15 subassemblies: kabelsoorten.
- *Assemblage zonnecentrale AC-principe*. Dit is de assembly die de afzonderlijke assemblies van de veldcomponenten welke voorkomen in het AC-principe ontwerp met elkaar verbind.

- *Zonnecentrale AC-principe*. De levenscyclus (life cycle) van het AC-principe ontwerp waarin alle product stages van het ontwerp aan elkaar gekoppeld zijn. Als negatieve elektriciteit invoer, om de groene stroom productie mee aan te geven, is $-0,8536\text{TJ}$ opgenomen.

Met behulp van de product stages is een procesboom opgesteld voor het AC-principe zonnecentrale ontwerp, deze procesboom staat weergegeven in bijlage 32.

5.3 De milieueffecten van de drie verschillende ontwerpvarianten

Voorgaande paragrafen in dit hoofdstuk zijn bedoeld voor de aannamen en invoer van de verzamelde gegevens van de zonnecentrale ontwerpen. In deze paragraaf worden deze stof- en energiestromen gerelateerd aan de verschillende milieueffecten (10 stuks, zie paragraaf 3.3 (tabel 3.1)). De milieueffecten die bepaald worden met SimaPro, geven de fracties weer die per functionele eenheid aan de milieuproblemen worden bijgedragen. In eerste instantie worden nu de milieu effecten van de winning- en productiefase (assemblies) van de verschillende ontwerpvarianten onderling vergeleken. De milieueffecten (karakteristiek en genormaliseerd aan de wereldbijdrage in 1995) van de drie zonnecentrale assemblies zijn tekstueel en grafisch weergegeven in bijlage 35 van dit rapport. In de assemblies: ondersteuningsconstructie en zonnepanelen vindt men geen verschillen in milieueffecten, dit omdat deze assemblies voor alle drie de ontwerpvarianten gebruikt zijn. De verschillen in milieueffecten zijn het meest duidelijk waar te nemen in de assemblies van de veldcomponenten: koppelkasten en inverters.

In het DC-principe ontwerp heeft de veldcomponent: koppelkasten alleen een zichtbare invloed op het milieu effect: ETA fresh water, terwijl de veldcomponent koppelkasten, wel bij alle milieu effecten in de string-inverter- en AC-principe ontwerpen, zichtbaar is. Voor de inverters geldt dat deze veel sterkere milieu effecten vertonen bij het string-inverter-principe ontwerp dan bij de andere twee ontwerpen. Dit is waarschijnlijk vooral het gevolg van de veel grotere totaal massa van de invertercapaciteit bij het string-inverter-principe ontwerp, namelijk $1530 \cdot 30\text{kg} = 45.990\text{ kg}$ in plaats van 23.052 kg voor DC-principe ontwerp ($51 \cdot 452\text{kg}$).

Men kan nu ook de milieueffecten van de drie life cycles met elkaar vergelijken, deze zijn weergegeven in bijlage 36. Relevante informatie welke deze life cycles tonen is de verhouding tussen de assemblage (winning- en productiefase) en de gebruiksfase (elektriciteitslevering) van de zonnecentrale ontwerpen. Per milieueffect kan hieruit namelijk, een in dit rapport nieuw gedefinieerde parameter: 'alternatieve terugverdientijd' bepaald worden. Neem bijvoorbeeld in het DC-principe ontwerp het milieueffect: global warming. In de assemblage fase kost dit 6,75% en in de gebruiksfase is dit een 100% baat. De alternatieve terugverdientijd kan voor dit milieu effect dus gesteld worden op: $6,75/100 \cdot 25\text{jr} = 1,69\text{ jaar}$. Het milieueffect: eutrofiering (DC-principe), wat het meeste aangesproken wordt door het zonnecentrale ontwerp, komt hiermee op een alternatieve terugverdientijd van 12,6 jaar uit. Dit is nog steeds maar de helft van de gehele levensduur.

Het blijkt dus dat de ecologische kosten van een zonnecentrale project gemaakt worden in de assemblage fase, dit is namelijk de enige fase die aan de kosten zijde van de nullijn ligt (zie bijlage 36). Dit is een reden om bij bepaling van de milieubelastingen (in paragraaf 5.4) van de zonnecentrale ontwerpvarianten, uit te gaan van de assemblage fase in plaats van de gehele levensduur.

5.4 Milieu belastingen van de verschillende ontwerpvarianten

Om tot één milieubelasting per zonnecentrale ontwerp te komen, worden de milieueffecten gewogen door middel van weegfactoren. Zoals in het LCA-basismodel aangegeven is, worden er drie weegfactoren reeksen toegepast, namelijk voor het opdrachtgeverperspectief, voor het bevolkingsperspectief en voor het overheidsperspectief. Per ontwerpvariant zijn dus 3 milieubelastingen berekend en wel op de volgende wijze:

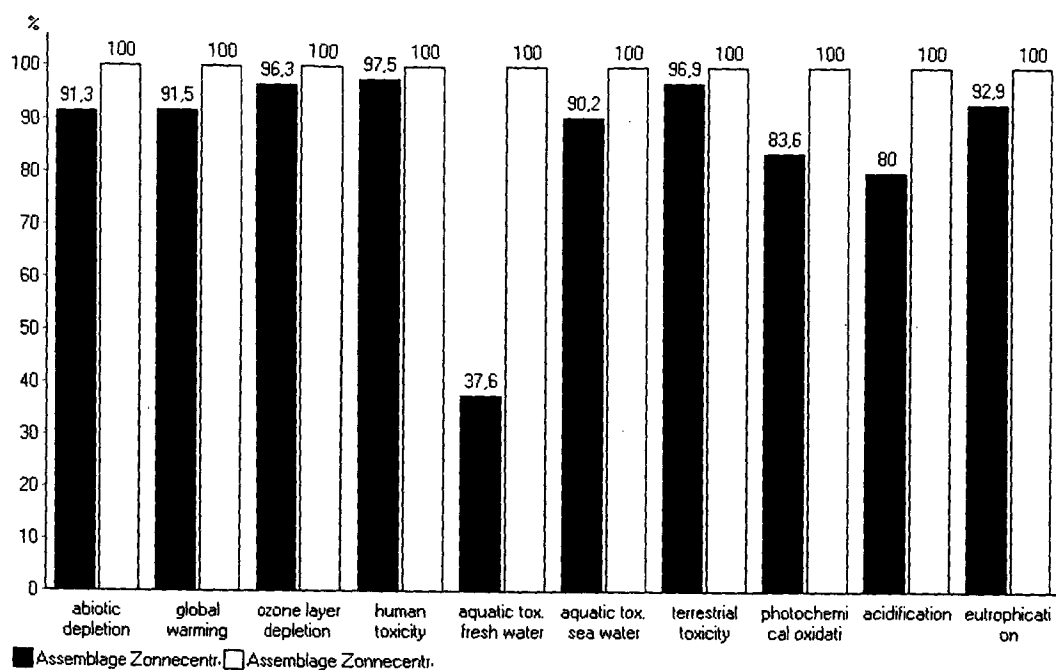
Omdat voor de CML 2 baseline 2000 methode in SimaPro geen weegfunctie aanwezig is, wordt de volgende "second-best"-oplossing opgesteld en toegepast:

De ecologische kosten van de gehele levenscyclus vinden in de assemblage fase plaats en de ecologische baten vinden nagenoeg allemaal plaats in de gebruiksfase. Door de percentages (zie bijlage 36) van ecologische kosten te delen door de percentages van ecologische baten, en het geheel te vermenigvuldigen met 100 (bij benadering komt men dan weer op het percentage ecologische kosten uit, omdat de ecologische baten op 100% staan in de grafieken!) zijn waarden verkregen die representatief zijn voor het betreffende milieueffect. Deze waarden zijn tevens bruikbaar voor de berekening (vermenigvuldiging met de weegfactoren, optelling daarvan en deling door 100) van de milieubelastingen (3) per ontwerpvariant. Op deze manier zijn de milieubelastingen voor alle drie de ontwerpvarianten berekend (zie bijlage 37) en hieronder in tabel 5.2 samengevat.

Tabel 5.2: de milieubelastingen van de zonnecentrale ontwerpen

Ontwerpvariant	Milieubelasting		
	Opdrachtgeverperspectief	Bevolkingsperspectief	Overheidsperspectief
DC-principe	17,36	18,50	17,10
String-inv. principe	20,00	21,26	19,45
AC-principe	18,75	19,98	18,42

Duidelijk, maar niet overdreven groot, is het verschil tussen de drie ontwerpvarianten zichtbaar. Het DC-principe ontwerp scoort op basis van de berekende milieubelasting vanuit alle drie de perspectieven het beste (minst milieubelastend). De relatief kleine verschillen zijn het gevolg van de gelijk gehouden assemblies; ondersteuningsconstructie en zonnepanelen, welke duidelijk de grootste milieueffecten tot gevolg hebben. De verschillen in de milieubelastingen van de drie ontwerpen zijn dus afkomstig van de product stages welke ontwerp specifiek zijn. Om de mate van verschillen tussen milieubelastingen (ecologische kosten; de assemblage fasen) van de zonnecentrale ontwerpen weer te geven is hieronder een grafische vergelijking van het meest milieubelastende ontwerp (string-inverter-principe) en minst milieubelastende ontwerp (DC-principe) afgebeeld in afbeelding 5.2.



Comparing 1 p assembly 'Assemblage Zonnecentrale DC-principe' with 1 p assembly 'Assemblage Zonnecentrale Str.-inv.-principe'; Method: CML 2

Afbeelding 5.2: vergelijking meest en minst milieubelastende zonnecentrale ontwerp

In het geel zijn de milieueffecten van het string-inverter-principe ontwerp aangegeven, deze zijn op 100% milieubelastend gesteld. De milieueffecten van het DC-principe ontwerp zijn in het blauw weergegeven. Uit afbeelding 5.2 blijkt dat het DC-principe ontwerp op elk milieueffect beter scoort dan het string-inverter-principe ontwerp. De verschillen hierin zijn de winsten per milieueffect die gerealiseerd zouden kunnen worden wanneer gekozen wordt voor het DC-principe ontwerp in plaats van het string-inverter-principe ontwerp.

5.5 concluderende opmerkingen betreffende het milieuaspect

De resultaten van de milieuanalyse van de drie zonnecentrale ontwerpvarianten in SimaPro, volgens de opzet van het LCA-basismodel voor zonnecentrales, tonen verschillen in de afzonderlijke milieueffecten en in de milieubelastingen. Deze verschillen worden zelfs door drie verschillende weegfactoren reeksen in gelijke richting beoordeeld, waardoor het verschil in milieubelasting van de drie zonnecentrale ontwerpvarianten als aannemelijk en plausibel mag worden beschouwd. Toch blijft er in deze case study, als toepassingsstudie van het LCA-basismodel, de nodige ruimte over, voor discussie. Op de gebieden van representativiteit van de stof- en energiestromen en op de keuze van invoer in SimaPro zijn namelijk veel generaliserende aannamen en geschatte waarden gehanteerd, wat ten koste van de nauwkeurigheid gaat. Ook zijn er voor een aantal product stages geen procesenergieën ingevoerd omdat hierover geen informatie ter beschikking stond. Echter bij de doelstelling: *het vergelijken van zonnecentrale ontwerpen op basis van de milieubelasting*, staan deze onvolkomenheden niet in de weg. Het is hier dus mogelijk gebleken om via het LCA-basismodel en SimaPro, zonnecentrale ontwerpen te vergelijken op basis van de milieubelasting. De milieubeoordelingstool voor zonnecentrales (LCA-basismodel) kan dus als beslissingsinstrument ingezet worden om op basis van het milieuaspect (deel van de overall-afweging) keuzen te maken en tevens te onderbouwen.

Op basis van de resultaten van deze case study zou men ervoor kunnen kiezen om de veldcomponent dioden te verwijderen uit het LCA-basismodel voor zonnecentrales. Dit omdat deze veldcomponent geen enkele rol van betekenis speelt in de uitkomsten van de milieubelastingen en dus als niet significant mag worden beschouwd. Wanneer op basis van meerdere toepassingen van het LCA-basismodel voor zonnecentrales een gelijke conclusie gevonden wordt, is verwijdering van de veldcomponent dioden een verbetering van de praktische hanteerbaarheid van het LCA-basismodel en dus een verbetering van het LCA-basismodel.

Conclusie betreffende het milieuaspect van de drie verschillende ontwerpvarianten welke in deze case study vergeleken zijn, is min of meer al gemaakt in paragraaf 5.4 door middel van de vergelijkingen in tabel 5.2 en afbeelding 5.2. Hieruit blijkt dat het DC-principe ontwerp de laagste milieubelasting ten gevolge heeft, waardoor het als milieuvriendelijkste zonnecentrale ontwerp kan worden betiteld.

6. Resultaten, conclusies en aanbevelingen

In dit resumerende hoofdstuk worden de resultaten van de verschillende bevindingen geëvalueerd, deze resultaten in de gehele breedte beoordeeld en wordt een integrale conclusie geformuleerd (paragraaf 6.1). Daarna worden in paragraaf 6.2 een aantal kanttekeningen en algemene conclusies verwoord die onherroepelijk verbonden zijn bij de uitvoering van een dergelijk zonnecentrale project. Eindigen zal dit hoofdstuk en eveneens dit onderzoeksrapport, met aanbevelingen met betrekking tot het ontwerpen van zonnecentrales en een aantal mogelijkheden voor vervolgonderzoek in de toekomst (paragraaf 6.3).

6.1 Onderzoeksresultaten en -conclusies

In dit rapport zijn resultaten gegenereerd met betrekking tot drie verschillende aspecten namelijk: technisch, financieel en milieu. In tabel 6.1 zijn deze resultaten weergegeven waardoor een overzichtelijke blik op de resultaten mogelijk wordt.

Tabel 6.1: overzicht van de resultaten van het onderzoek

Resultaten per ontwerp	Technische resultaten			Financiële resultaten			Milieu resultaat	Punten	Totaal
	Procentuele Vermogensverlies (%)	Elektriciteitslevering (zonder uitval) per jaar (GWh)	Punten	NCW	IRV	Punten	Milieubelasting		
				(€)	(%)		(-)		
DC-principe	8,62	4,571	3	-1.633.604,-	-0,89	3	17,65	3	9
String-inverter-principe	11,40	4,433	2	-2.137.361,-	-1,16	1	20,24	1	4
AC-principe	14,61	4,272	1	-1.839.641,-	-0,98	2	19,05	2	5

Bij het milieu resultaat is de gemiddelde milieubelasting per ontwerp in de tabel ingevoerd (opdrachtgeverperspectief + bevolkingsperspectief + overheidsperspectief / 3). Voor de drie verschillende aspecten zijn punten (3,2 of 1) toegekend per ontwerpvariant. Hierdoor is een totaal verkregen aan het einde van de tabel. Dit totaal geeft het ontwerp weer dat volgens de resultaten het meest optimale zonnecentrale ontwerp zou moeten zijn. Maar hierbij moet men steeds in gedachte houden dat bij de uitvoering van een dergelijk zonnecentrale project, vooral de wensen van de opdrachtgever zeer belangrijk zullen zijn. Op basis van de uitgangspunten en de daarmee verkregen bevindingen van dit onderzoek, wordt toch goed duidelijk dat het DC-principe ontwerp het meest optimale zonnecentrale ontwerp is. Dit kan men zo stellen omdat voor alle onderzochte aspecten, het DC-principe ontwerp het beste resultaat geeft. Ter indicatie van de omvang en het maatschappelijk belang van een zonnecentrale project wordt aangegeven wat de bijdrage van de DC-principe zonnecentrale zou kunnen zijn wanneer het daadwerkelijk gerealiseerd zou worden. De elektriciteitslevering zal namelijk ruim voldoende zijn om circa 1300 Nederlandse huishoudens van elektriciteit te kunnen voorzien.

6.2 Kanttekeningen

Nu de keus gevallen is voor het DC-principe ontwerp, verdient het de aandacht om de kanttekeningen hierbij aan te geven en algemeen geldende opmerkingen met betrekking tot een dergelijke zonnecentrale te beschrijven. Hieronder worden een aantal kanttekeningen en algemene conclusies met betrekking tot de uitvoering van dit zonnecentrale project weergegeven:

- De onderzochte en berekende resultaten (zie tabel 6.1) zijn niet altijd even specifiek bepaald of verkregen. De redenen hiervoor waren vooral onbetrouwbare en onvolledige informatie van toeleveranciers en onbekendheid van die informatie bij de verschillende partijen in de bedrijfskolom. Hierdoor is de financiële informatie bijvoorbeeld in consumentenprijs per afname per stuk gebruikt, in plaats van prijzen per zonnecentrale afname en op basis van specifieke offertes. Op gelijke wijze geldt dit ook voor de milieu informatie die zelfs nog vertrouwelijker (confidentieel voor buitenstaanders) is gebleken dan de financiële informatie.
- De praktische toepasbaarheid van het LCA-basismodel voor zonnecentrales is goed gebleken in de case study van dit project, ondanks dat niet alle veldcomponenten (bekabeling bijvoorbeeld wel, maar inverters niet) tot in detail ingevoerd zijn. Dit is een goed gegeven voor de praktische toepasbaarheid van het LCA-basismodel als beslissingsinstrument, maar voor een exactere bepaling van de milieubelasting van zonnecentrales zal dit LCA-basismodel niet uitgebreid genoeg zijn. De reden hiervoor is dat de toeleveranciers de zeer gedetailleerde informatie, nodig voor een dergelijk onderzoek, niet kunnen leveren en de fabrikanten willen vaak deze gedetailleerde informatie niet leveren vanwege de vertrouwelijkheid van deze informatie.
- Bij de berekening van de financiële haalbaarheid van de ontwerpvarianten zijn in het standaard cash flow schema een aantal aannamen gedaan welke voor een periode van 25 jaar, zeer moeilijk te voorspellen zijn. Hiermee wordt vooral bedoeld op de opbrengsten die gegeneerd worden door de verkoop van zonnestroom. Het kan namelijk best mogelijk zijn dat de elektriciteitskosten de komende jaren flink gaan stijgen, waardoor de kWh-verkoopprijs ook toeneemt. De elektriciteitscrisis welke momenteel in Californië heerst zou een voorbeeld kunnen zijn, mede omdat de Verenigde Staten vaak een voorloper blijken te zijn van het Europese continent. Ook de gevolgen van de eenwording en liberalisering van de Europese elektriciteitsmarkt op de prijsontwikkeling van groene stroom zijn nog zeer onduidelijk.
- Het is belangrijk te overdenken dat de huidige grijze elektriciteitsprijzen op bijna geen enkele wijze iets reflecteren van kosten van gebruik van het milieu door de conventionele technologieën (als milieuverbruik kosten, slechts de recent ingevoerde Eco-tax (REB)). Wanneer dit namelijk wel in zijn geheel meegenomen zou worden in de grijze elektriciteitsprijzen dan zouden deze hoger uitvallen. Bij een PV-zonnecentrale zijn deze kosten wel in zijn geheel geïnternaliseerd in de elektriciteitsprijzen, wat een van de redenen is van de minder rooskleurige economische rentabiliteit van PV-zonnecentrales. De ecologische winst (alleen al 1480 ton CO₂ en 5 ton NO_x ten opzichte van conventionele elektriciteit opwekkingsmethoden per jaar) van zonnestroom is dus een externiteit (milieukosten) welke nog steeds niet economisch gehonoreerd wordt.
- Door toepassing van meerdere decentrale opwekkers in het elektriciteitsnetwerk worden problemen als transmissieverliezen en leveringsbetrouwbaarheid van de gehele elektriciteitsvoorziening verminderd. In feite kan men hierin twee oorzaken onderscheiden, ten eerste het decentrale karakter waardoor de transportafstanden zullen afnemen en ten tweede het diverse karakter (meerdere vormen zoals: biomassa, wind, zon en conventionele opwekkers) waardoor de leveringsbetrouwbaarheid beter gegarandeerd kan worden. Dit zijn ook externe effecten (technische niet uitgedrukte winsten) welke geïncorporeerd zijn in de toepassing van PV-zonnecentrales (en andere decentrale opwekkers) maar welke niet als zodanig beschouwd worden.

- Ook kan men nog een marketinggericht extern effect aangeven wat niet meegenomen is in de financiële haalbaarheid van het zonnecentrale project, namelijk de marketing en communicatie activiteiten die gelden zullen opleveren als gevolg van een dermate attractief project.
- In dit project is de keuze gemaakt om de PV-panelen van optie 1 (zie paragraaf 4.2) te nemen als zonnepanelen voor alle drie de ontwerpvarianten. Dit omdat deze PV-panelen daadwerkelijk in alle drie de configuraties konden worden toegepast. In paragraaf 4.2 is echter gebleken, dat de ASE-300-DG-FT-panelen (RWE) aanmerkelijk goedkoper zijn, waardoor in totaal zo'n 3,3 miljoen Euro kan worden gespaard. Wanneer deze panelen dus toegepast zouden worden in het DC-principe ontwerp, zou de IRV positief worden, namelijk 0,41% (zie bijlage 38).
- Het maatschappelijk krachtenveld aanschouwend kan men opmerken dat interesse voor PV-systemen vanuit de aanbieders (producenten en leveranciers) en afnemers (zakelijke en particulieren) van elektriciteit toeneemt, maar dat de financiële gevolgen van elektriciteit uit PV-panelen nog vaak een knelpunt vormen. De overheid komt dan wel met verschillende subsidiëringmogelijkheden en investeringsaftrekregelingen om de adoptie van PV-systemen te bevorderen, maar de dynamiek van deze maatregelen blijkt veel te groot te zijn. Zo is de recente aanpassing van het besluit CO₂-reductieplan (Staatscourant 14 september 2001, nr. 178/pag 6) een belangrijke oorzaak van het stop zetten van het verschillende zonne-energieprojecten. Deze dynamiek van overheidsregulering heeft weinig invloed op de kleinere schaal projecten, maar uit zich vooral in de grotere projecten waarvoor langere aanlooptrajecten gelden. De doelstelling van de overheid sinds september 2001 kennende: het nemen van grote reductiestappen en subsidiëren daarvan, om tot een snellere reductie van het CO₂-uitstoot niveau te komen, kan men constateren dat deze doelstelling niet overeenkomt met de overmatige dynamica in het subsidiëringbeleid. Nu dus de behoefte van de maatschappij gericht is op groene stroom (in Nederland moeten de leveranciers groene stroom gaan importeren om aan de vraag te kunnen voldoen!) is het noodzaak om ook de overheidsregulering (de andere dynamische variabele, zie paragraaf 2.1.2) voor de grootschalige PV-projecten te verbeteren in de vorm van duidelijke en blijvende steun voor PV-projecten. De laatst genoemde dynamische variabele in paragraaf 2.1.2; marktcondities, zal zich zonder moeite kunnen aanpassen aan de toename van behoefte van uit de maatschappij en de verbetering van het subsidiëringbeleid, het is immers een geliberaliseerde markt!

6.3 Aanbevelingen

In deze paragraaf worden in eerste instantie een aantal ontwerp-aanbevelingen verwoord. Daarna worden een aantal mogelijkheden gegeven voor vervolgonderzoek in de toekomst naar de verdere optimalisatie van zonnecentrales op basis van de technische, financiële en milieugerelateerde aspecten en voor de verbetering van het LCA-basismodel.

- In de technische ontwerpen van de drie ontwerpvarianten is gebruik gemaakt van een hellingshoek van 40° als uitgangspunt. Een vlakkere hellingshoek tot 30° is echter een betere keuze omdat het zeer kleine verschil in elektriciteitsopbrengst nauwelijks merkbaar zal zijn, maar waardoor wel een behoorlijke winst geboekt kan worden op het totaal benodigde landoppervlak. (De optimale hellingshoek, puur wat elektriciteitsopbrengst betreft, bedraagt overigens 36°)

- Het in de conclusie van hoofdstuk 4 genoemde technische en financiële voordeel dat gerealiseerd kan worden door toepassing van een kleinere verhouding tussen inverter vermogen en PV-vermogen is fors en daarom aanbevelingswaardig. Om dit toe te passen zal een nieuw technisch ontwerp gemaakt moeten worden, omdat de gehele elektrische configuratie hierdoor veranderen zal.
- Onderzoek naar de verbetering van de vermogensverliezen door de bekabelingstructuur en de invloed daarvan op de kosten van de zonnecentrale ontwerpvarianten. Hierbij valt te denken aan de bepaling van een optimum tussen de variabelen kabelvermogensverlies en kosten van de bekabeling (anders gezegd: tot welk punt zijn de meerkosten van verruiming van de bekabeling lager dan de opbrengsten van de elektriciteitswinst die daarmee gepaard gaan?).
- Onderzoek naar de mogelijkheid tot het bepalen van de omvang van de milieukosten welke geïnternaliseerd zijn in een zonnecentrale. Hierdoor zou het in de toekomst beter mogelijk worden om een economische haalbaarheidsanalyse op te stellen in plaats van de in dit onderzoek opgestelde financiële haalbaarheidsanalyse. Voordeel hiervan is dat een zonnecentrale project beter vergeleken kan worden met een conventioneel elektriciteit opwekkingsproject, dit doordat de gemaakte milieubaten in een zonnecentrale project inzichtelijk worden gemaakt. Het maken van milieukosten is namelijk een extra bijkomend maatschappelijk belang (milieubaten) naast het al bestaande private belang van een elektriciteit opwekkingsproject.
- Onderzoek naar meer kwantitatieve waarden van de materialen en processen die plaatsvinden in de verschillende fasen van de zwaarwegende veldcomponenten (de componenten met een aanzienlijk aandeel in de totale milieubelasting van een zonnecentrale ontwerp) van een zonnecentrale ontwerp. Hiermee zou in de toekomst de milieubelasting van een zonnecentrale ontwerp exacter en nauwkeuriger bepaald kunnen worden, waardoor inzicht in het duurzame karakter van zonnecentrales verbeterd zou kunnen worden. Om kwantitatieve gegevens van veldcomponenten te kunnen verkrijgen voor dit soort onderzoek, is het aan te raden om zo'n onderzoek uit te voeren voor of bij een fabrikant (of leverancier) van de bepaalde veldcomponent.
- Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse bij het milieuaspect, kan duidelijkheid verschaffen omtrent de aannames en waarden die in SimaPro zijn ingevoerd. Hiermee kan het effect van een bepaalde materiaal invoer in SimaPro op de uiteindelijke uitkomsten van de milieubelasting worden bepaald. Het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse is eigenlijk alleen zinvol voor de veldcomponenten inverters en koppelkasten, ten minste zolang de doelstelling blijft: het vergelijken van de milieubelasting van de drie ontwerpvarianten. Dit omdat deze veldcomponenten verschillend zijn voor de drie ontwerpvarianten en omdat de materiaal- en energiestromen hiervan het minst representatief en bekend waren. Een gevoeligheidsanalyse naar de aannames bij de inverters is wenselijker dan naar de aannames bij de koppelkasten, omdat de inverters meer invloed hebben op de totale milieubelasting dan de koppelkasten (zie bijlage 35).

Literatuurlijst

Wanneer voor de eerste maal in de tekst naar een bepaald literatuurstuk verwezen wordt, staat de literatuurverwijzing in de voetnoot van de betreffende pagina. Wanneer verderop nogmaals naar hetzelfde literatuurstuk verwezen wordt, is dit niet meer opnieuw geplaatst in de voetnoot, maar terug te vinden in de hieronder staande literatuurlijst op volgorde van nummering.

- [01] **Centrum Technologie voor Duurzame Ontwikkeling**
'Technologie en Duurzaamheid', TU/e, 2000.
- [02] **[Http://www.pde.nl/de](http://www.pde.nl/de)**
Duurzame energie internetsite van projectbureau duurzame energie, oktober 2001.
- [03] **Zolingen van R.J.Ch.**
'Hoofdstuk 6 van collegedictaat Blijvende Energie Bronnen (4P510)', TU/e, 2001.
- [04] **[Http://www.novem.nl](http://www.novem.nl)**
Internetsite van de Nederlandse Onderneming Voor Energie en Milieu, oktober 2001.
- [05] **[Http://www.cbs.nl/nl/statline](http://www.cbs.nl/nl/statline)**
Internetsite van Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), oktober 2001.
- [06] **DHV Plaza**
DHV's intranet, oktober 2001.
- [07] **DHV**
'Jaarverslag DHV 2000'
- [08] **[Http://www.dhv.nl](http://www.dhv.nl)**
Internetsite van DHV, oktober 2001.
- [09] **DHV AIB**
'Startpagina DHV AIB', oktober 2001.
- [10] **[Http://www.clubofrome.org](http://www.clubofrome.org)**
Internetsite van de Club van Rome, oktober 2001.
- [11] **Meadows D. L. et al.**
'THE LIMITS TO GROWTH', Universe Books, New York, 1972.
- [12] **UN FCCC**
'Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change',
FCCC/CP/1997/L.7/Add.1, 10 december 1997.
- [13] **[Http://www.vrom.nl](http://www.vrom.nl)**
Internetsite van het Ministerie van Volkhuysvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu,
oktober 2001.

- [14] **Dorf R.C.**
'Technology, Humans, and Society; Towards a Sustainable World', University of California, Academic Press, United States of America, 2001.
- [15] **Jansen, L.**
'Towards a sustainable future, en route with technology!' Hoofdstuk 19 in *The Environment Towards a Sustainable Future* edited by Dutch Committee for Long-Term Environmental Policy, Den Haag, Nederland, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [16] **Lapperre P.E.**
'Sociologie en Techniek; Lange termijn wisselwerking tussen technologie en maatschappij', Dictaat TU/e, TM, TeMa, Eindhoven, 1997.
- [17] **Janssen H., Leroy P., Bouwer K.**
'Waarover zal het gaan: naar een beschrijvingsmodel van milieuvraagstukken', Hoofdstuk 3 in *Het Milieu: denkbeelden voor de 21ste eeuw*, Commissie Lange Termijn Milieubeleid, Kerckebosch BV, Zeist, 1990.
- [18] **Markvart, T.**
'Solar electricity', University of Southampton, UK, 2nd edition march, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2000.
- [19] **[Http://www.zon-pv.nl](http://www.zon-pv.nl)**
'Fotovoltaïsche systemen (H1 t/m 3)', oktober 2001.
- [20] **Gabler H. en Wiemken E.**
'How much energy will a specific PV-system produce?', Fraunhofer institute for solar energy systems, Freiburg, Germany, 1995.
- [21] **Haberlin, H. & Beutler, C.**
'Highest Grid Connected PV Plant in the world at Jungfraujoeh (3454m): Excellent performance in the first two years of operation', Ingenieurschule Burgsdorf (ISB), Switzerland, 1995.
- [22] **Solar Energy International (SEI)**
'Photovoltaic Design & Installation Manual', 1998.
- [23] **[Http://www.zon-pv.nl/techniek/home.html](http://www.zon-pv.nl/techniek/home.html)**
Oktober 2001.
- [24] **Partain, L. D.**
'Solar Cells and Their Applications', 1995, J. Wiley & Sons, Inc., New York.
- [25] **EnergieNed en NOVEM**
'Handleiding voor de elektrische installatie van netgekoppelde fotovoltaïsche (PV) systemen', December 1998.
- [26] **Oldenkamp H., de Haan S.W.H., de Jong I.J., Baltus C.W.A., Frumau C.F.A. en Verhoeven S.A.M.**
'Competitive implementation of multi-kilowatts grid connected PV-systems with OKE4 AC modules', 1995, Nederland.

- [27] **Kiefer, K. et al**
'Measurements and analysis programme within the thousand roofs programme', 12th European Photovoltaic Solar Energy Conference, volume I, pp.461-464, 1994.
- [28] **NEN 10038 (IEC 38)**
'Elektrische energiesystemen en toestellen; nominale spanning', NNI Delft, 1995.
- [29] **EnergieNed**
'Model aanvullende voorwaarden decentrale opwekkers laagspanningsniveau 1997', Juni 1997.
- [30] **NEN 1010**
'Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties', NNI Delft, 1996.
- [31] **Haeberlin H., Kaeser F., Liebi Ch., Beutler Ch.**
'Results of Recent Performance and Reliability Tests of the Most Popular Inverters for Grid Connected PV Systems in Switzerland', ISB, Burgdorf, Switzerland, 1995.
- [32] **NEN 10555, 1 en 2**
'Netvervuiling veroorzaakt door huishoudelijke en soortgelijke elektrische apparatuur' deel 1: Termen en definities, deel 2 Harmonischen, NNI Delft, 1988. Deel 3 is vervangen door de NEN 11000-3-2.
- [33] **EnergieNed**
'Richtlijnen voor toelaatbare harmonischen stromen, geproduceerd door apparatuur met een vermogen groter dan 11 kVA', januari 1996.
- [34] **NEN 11000-3-3**
'Elektromagnetische Compatibiliteit'; limietwaarden voor spanningsschommelingen en lichtflikkeringen in laagspanningsnetten voor apparatuur met een ingangsstroom tot en met 16A per fase, NNI Delft, 1995.
- [35] **Heijungs et al.**
'Milieugerichte levenscyclusanalyses van produkten', CML, Leiden, 1992.
- [36] **NEN-EN-ISO 14040**
'Milieumanagement-Levenscyclusanalyse-Principes en raamwerk', NNI, 1998.
- [37] **Berg van den N.W., Dutilh C.E., Huppes G.**
'LCA voor beginners; handleiding milieugerichte levenscyclusanalyse', CML, Leiden, juni 1995.
- [38] **Pré Consultants**
'SimaPro 5 Coffee machine demo', Amersfoort, januari 2001.
- [39] **Pré Consultants**
'SimaPro 5.0 Database Manual, methods library', Goedkoop M., Oele M., Effting S., Amersfoort, juni 2001.
- [40] **[Http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/index.html](http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/index.html)**
'Database impact assessment september2001', van internetsite van CML, november 2001.

- [41] **Visiers Guixot M., Yordi B.**
'*Static converter design for the 1 MW "Toledo PV-project"*', Enertron and Union Fenosa, Madrid, Spain, 1994.
- [42] **Apicella F., Geurra M., Iannone F., et al.**
'*ENEA Experience on large grid connected PV plants the delphos project*', ENEA, Italy, 1995.
- [43] **Kempe A., Schonwandt U., Gottmann B., Hauk R.**
'*EMC of PV-Plants with line-commutated inverters*', Germany, 1995.
- [44] **Martin J.G., Julian Palero A., Metallinos S., Bodoque O.**
'*Building integration of a grid-connected photovoltaic system with high-quality energy supply*', Iberdrola, S.A., Madrid, Spain, 1995.
- [45] **Aulich H.A., Schulze F.W.**
'*Impact of PV Power generation on the environment*', Munich, Germany, 1994.
- [46] **Bossert R.H., Tool C.J.J., Roosmalen van J.A.M., Wentink C.H.M., Vaan de M.J.M.**
'*Thin-film solar cells – Technology Evaluation and Perspectives*', Berenschot and ECN, can be ordered at NOVEM, report number DV 1.1.170, Sittard, Netherlands, May 2000.
- [47] **Mukadam K., Chenlo F., Alonso M.C., Alonso-Abella M.**
'*Analytical monitoring results of the 1MWp Toledo PV plant*', Madrid, Spain, 1995.
- [48] **Xantrex Technology Inc. (Trace Engineering)**
'*Grid Tie Specifications List / PV Series*', P/N 970-0051-01-01 REV A, www.xantrex.com.
- [49] **SMA Regelsysteme GmbH**
'*Sunny Family, advanced system technology for the succesful PV future*', Brochure via www.sma.de
- [50] **NKF Electronics**
'*Product Specifications*' van de OK5 inverter, via dhr. Luijcks van NKF Kabel B.V. te Gouda, december 2001.
- [51] **De Minister van Economische Zaken, G.J. Wijers,**
'*Besluit subsidies CO₂-reductieplan*', 7 juli 1998
- [52] **[Http://www.senter.nl](http://www.senter.nl)**
internetsite van Senter (een agentschap van het ministerie van economische zaken), december 2001.
- [53] **De Minister van Economische Zaken, A. Jorritsma-Lebbink,**
'*Besluit van 27 augustus 2001 tot wijziging van het Besluit subsidies CO₂-reductieplan inhoudende de uitbreiding naar andere broeikasgassen*', uitgifte 11 september 2001 in Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (staatsblad 2001, 405).
- [54] **Staatscourant 10 september 2001,**
nr. 174 / pag. 9 '*Uitvoeringsregeling subsidies CO₂-reductieplan 2001*', 10 september 2001

- [55] **Projectbureau CO₂-reductieplan,**
'Aanvraagformulier besluit CO₂-reductieplan, bijlage 6', via <http://www.co2-reductie.nl>
- [56] **[Http://www.egl.nl](http://www.egl.nl),**
internetsite van de EG liasion (onderdeel van Senter, voor Europese subsidies), december 2001.
- [57] **[Http://www.cordis.lu/eesd/home.html](http://www.cordis.lu/eesd/home.html),**
internetsite van EESD; Energy, Environment and Sustainable Development (onderdeel vierde kaderprogramma), december 2001.
- [58] **[Http://www.europa.eu.int](http://www.europa.eu.int),**
de Europese Unie online, december 2001.
- [59] **Staatscourant 22 december 2000,**
nr 249/pag. 30 *'Uitvoeringsregeling energie-investeringsaftrek 2001'*, 20 december 2000.
- [60] **[Http://www.vamil.nl](http://www.vamil.nl),**
de internetsite van de VAMIL-regeling, december 2001.
- [61] **Brochure EIA 2001,**
pdf-bestand via de internetsite van Senter, december 2001.
- [62] **NAP DACE (Dutch Association of Cost Engineers)**
'Prijzenboekje 21e editie', December 2000.
- [63] **Schlangen, J.J.M.**
sales manager at Shell Solar Energy B.V., Helmond, The Netherlands
- [64] **Oerlemans L.A.G., Romijn H.**
'Dictaat ETI 4, deel II: Cost-Benefit Analysis of Projects', September 2000, TU/e.
- [65] **Goedkoop, M., Oele, M.**
'User Manual; introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5.0', Pré consultants, Gouda, Nederland, juni 2001.
- [66] **Hagedorn, G., Hellreigel, E.**
'Umweltrelevante Stoffströme bei der Herstellung verschiedener Solarzellen' Berichte der Forschungszentrums Jülich GmbH, Forderkennzeichen 426-3590-PLI 14120, Jülich 1992, Germany.
- [67] **PBNA**
'Polytechnisch zakboekje', 48^e druk, ISBN 90-6228-266-0.

Begrippenlijst

De begrippen welke in de tekst aangegeven zijn middels '.....' zijn in deze begrippenlijst terug te vinden. De begrippenlijst is op alfabetische volgorde gerangschikt. Voor een aantal begrippen is een ervoor gekozen om ze te voorzien van een wat ruimere toelichting, om het begrip en (in)directe gevolgen ervan beter te kunnen verwoorden.

Alternatieve terugverdiëntijd:

Hiermee wordt in dit rapport bedoeld de terugverdiëntijd per milieu effect, en dus niet de algemeen gebruikte definitie van energierugverdiëntijd (ETVT), welke aangeeft wanneer in de gebruiksfase de hoeveelheid energie die de productie gekost heeft, bereikt is. Anders gezegd: de alternatieve terugverdiëntijd geeft aan na hoeveel tijd de ecologische kosten per milieu effect gedekt zijn door middel van ecologische baten.

Array ^[25]:

Een parallel schakeling van verschillende strings.

Arraykabel ^[25]:

Verbindingskabel tussen twee DC-koppelkasten wanneer er sprake is van meer dan één array.

Assemblies ^[65]:

Een assembly is een lijst van materialen, subassemblies en processen in SimaPro, waarmee de productie en inherent de winningfase van een product kan worden aangegeven.

Blokkeer diode ^[22]:

Een in serie met een string geschakelde diode, om te voorkomen dat de stroom (bijvoorbeeld 's nachts) terugwaarts lopen kan.

Broeikasewfect ^[1]:

Naast het natuurlijke broeikasewfect, waardoor de temperatuur op aarde gemiddeld 15°C is in plaats van -18°C, bestaat er het versterkte broeikasewfect. Dit is het effect waar de wereld zich zorgen om maakt. Door de toegenomen menselijke activiteit is de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer de laatste twee eeuwen sterk toegenomen. Belangrijkste veroorzakende broeikasgassen zijn: CO₂, CH₄, N₂O, CFK-11 en CFK-12 (en de CFK's, HFK's en PFK's). Omdat deze gassen extra warmte vasthouden, heeft dit een versturende werking op de warmtebalans van de aarde (natuurlijke broeikasewfect). De verwachting is dat de temperatuur op aarde hierdoor stijgt.

Bypass diode ^[22]:

Een diode anti-parallel geschakeld aan een deel van de zonnecellen van een zonnemodule, dit ter voorkoming van verliezen bij schaduwvorming of wanneer een deel minder goed functioneert.

Cultuur ^[16]:

Sociale cultuur is het min of meer zelfstandige geheel van waarden, doelen, normen, verwachtingen, kennis en wetenschap, kunde en techniek die men collectief deelt en als legitiem ervaart binnen een bepaalde maatschappij en die overgedragen kunnen worden op anderen.

Czochralski-groeitechniek (CZ) [24]:

Een veel toegepaste methode om Si-kristallijn substraat te verkrijgen is de CZ-methode. Hoog pure "fijnkorrelige" polysilicium wordt gesmolten in een kwarts smeltkroes. Langzaam wordt de smelt opgetrokken waardoor een groeiende kristal ontstaat. Zuurstof van de smeltkroes wordt deels opgenomen, welke onzuiverheid veroorzaakt in de groeiende kristal. Koolstof (C) wordt ook opgenomen afkomstig van de verwarmende elementen evenals Borium dat als p-type doping dient. Terwijl zuurstof zeer precies gecontroleerd wordt voor micro elektronica elementen (eg-Si en mg-Si), tolereren zonnecellen (sg-Si) een iets lagere puurheidsgraad.

DC-hoofdkabel [25]:

Verbindingskabel tussen DC-koppelkast van een enkele array naar de PV-inverter of wanneer er sprake is van meer dan één array, een verbindingskabel tussen de algemene DC-koppelkast en de inverter.

Disposal scenario [65]:

Hiermee kan de afvalfase van een product of productsysteem worden aangegeven in SimaPro. In een disposal scenario worden eerste de productflows gescheiden en daarna vindt pas scheiding plaats op materiaalflow niveau. De mogelijkheden in een disposal scenario zijn: disassembly en gedeeltelijke reuse (hergebruik).

Duurzame energie [2]:

Energie die gewonnen wordt uit natuurlijke bronnen die in onuitputtelijke hoeveelheden beschikbaar zijn, zoals zon, wind, water, biomassa, aard- en omgevingswarmte, en waarbij geen schadelijke milieu effecten optreden bij winning en omzetting.

Duurzame ontwikkeling [1]:

Een proces van verandering waarin het gebruik van hulpbronnen, de richting van investeringen, de oriëntatie van technologische ontwikkeling en institutionele verandering alle met elkaar in harmonie zijn en (alle) zowel de huidige als toekomstige mogelijkheid vergroten om aan menselijke behoeften en wensen tegemoet te komen.

Ecosysteem [1]:

De atmosfeer, het oppervlakte water, de bodem en alle organismen welke leven op of in deze compartimenten.

Effectbeoordeling (ingrepenanalyse, impact assessment) [36]

Het leggen van relaties tussen inventarisatie gegevens en specifieke milieu effecten (milieuthema's).

Efficiency (zonnecentrale rendement) [20]:

Het rendement van de zonnecentrale, ofwel de Performance ratio (PR) van de zonnecentrale. Wanneer het rendement van een individuele zonnecel, -paneel, -array bedoeld wordt zal dit expliciet vermeld worden. Bijbehorende definiëringen zijn:

$$\text{Performance ratio (PR)} = \frac{\text{photovoltaic produced energy supplied to the grid}}{\text{nominal energy}}$$

$$\text{Nominal energy} = \text{irradiation sum} * \text{module efficiency at STC-conditions}$$

Energie instraling [18]:

De gemiddelde jaarlijkse instraling op een horizontaal vlak op een bepaalde locatie op de aarde [W/m^2].

European efficiency [³¹]:

Een maat om het DC-AC-conversie rendement van een inverter te bepalen. Deze maat houdt rekening met de verschillende DC-AC-conversie rendementen welke optreden bij verschillende percentages van de maximale belasting.

Financial capital [¹⁴]:

Financieringsstromen en budgetteringen voor bepaalde projecten of doelen welke het sociale en economische systeem dienen.

Functionele eenheid [³⁵]:

De specificatie van de (niet-materiële) functie van een product(systeem), als basis voor de selectie van één of meer producten die deze functie kunnen vervullen.

Geosysteem [¹]:

De aardkorst, de aardmantel en aardkern van de planeet aarde.

Gevoeligheidsanalyse [³⁵]:

Een analyse waarbij het resultaat van een berekening geanalyseerd wordt op zijn gevoeligheid voor kleine veranderingen in de aannames, of voor variatie binnen het verondersteld geldigheidsbereik van de aannames. Hieronder vallen ook wijzigingen in de procesgegevens.

Global Warming Potential (GWP) [¹]:

Broeikaspotentieel: broeikasgassen hebben hun eigen karakteristieke eigenschappen. Zo is CH₄ een veel sterker broeikasgas dan CO₂, maar blijft CH₄ veel minder lang in de atmosfeer aanwezig (hoe langer de verblijfstijd hoe groter het naijleffect van de huidige uitstoot). Om deze karakteristieke van de verschillende gassen te kunnen vergelijken worden de broeikasgassen vaak per eenheid teruggerekend naar CO₂-equivalenten, het zogenaamde GWP [¹].

Green-field:

Een landgoed bestemd voor landbouw activiteiten, waar zich geen bebouwing en hinderlijke begroeiing bevindt en wat dus vrijelijk ingedeeld kan worden naar de meest optimale situatie voor een zonnecentrale.

Integraalketenbeheer [¹]:

Het zoveel mogelijk sluiten van materiaal en energie kringlopen waardoor emissies, afvalstromen en energieverlies tot een minimum beperkt kunnen worden.

Intellectual capital [¹⁴]:

Kennis die geformaliseerd is en die een product of services significante toegevoegde waarde geeft.

Interne Rentevoet (IR) [⁶³]:

Drukt de rentabiliteit van een project uit in een percentage. Met dit percentage kunnen projecten onderling vergeleken worden. De berekening wordt uitgevoerd door de investeringsuitgave(n), verminderd met de (mogelijk) verleende subsidies, te vergelijken met de cash flows die het project genereert in de exploitatie periode. De cash flows worden contant gemaakt naar de periode waarin de investering plaatsvindt (meestal het preproductie jaar genoemd). De IR is dan dat percentage waarbij de investering en de contant gemaakte cash flows op nul uitkomen.

Inventarisatie [³⁵]:

De tweede component van de LCA waarin, een zo veel mogelijk geobjectiveerde en verantwoorde analyse plaatsvindt van de milieu-ingrepen die behoren bij de voor de functionele eenheid van een product benodigde processen.

Inverter [¹⁹]:

Een elektronische component welke een gelijkspanning converteert tot een wisselspanning zodanig dat deze wisselspanning aan het openbare elektriciteitsnet toegevoerd kan worden.

Isolatie diode [²²]:

Een diode welke parallel geschakeld is met een string, ter voorkoming van stroom verlies wanneer andere modules of strings minder goed functioneren.

Iteratief proces [³⁷]:

Een proces waarin het nodig kan zijn om verscheidene fasen opnieuw te doorlopen.

Klimaatverandering [¹]:

Door het versterkte broeikaseffect neemt de temperatuur op aarde toe. Volgens het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is een temperatuurstijging tussen 1°C en 3,5°C waarschijnlijk voor het jaar 2100. Mogelijke gevolgen volgens het IPCC zijn:

- Stijging van de zeespiegels als gevolg van smeltwater van de noordpool, wat als gevolg heeft een toename van het aantal overstromingen en omvang daarvan.
- Verandering van de hydrologische cyclus op regionale schaal waardoor de aanvoer van zoet water aanzienlijk kan wijzigen. Plaatsen met toenemende droogte en toenemende wateroverlast zullen het gevolg zijn.
- Veranderingen zullen optreden in de geschiktheid van gebieden voor bepaalde gewassen, met gevolgen voor de landbouw en ecosystemen.

Koppelkast [³]:

Een elektronische component welke middels scheidings-, zekeringen en overspanningsbeveiligingen ervoor zorgt draagt dat meerdere ingaande leidingen gekoppeld worden tot een uitgaande leiding.

Kosteneffectiviteit [⁵³]:

De annuïteit van de subsidie, gedeeld door de gemiddelde jaarlijkse vermindering van de uitstoot van een broeikasgas berekend over de technische levensduur van de voorziening, overeenkomstig de bij ministeriële regeling gestelde regels, uitgedrukt in een bedrag in euro per vermeden ton CO₂ of CO₂-equivalent.

Levenscyclusanalyse [³⁷]:

Is een systematische manier om met behulp van een 'wieg-tot-graf'-benadering, de milieu-impact van producten of activiteiten te evalueren. Deze benadering bestaat uit het identificeren en kwantificeren van emissies en van materiaal- en energiegebruik, gedurende alle fasen van de gehele levenscyclus van producten.

Line-commutated inverter [¹⁸]:

Dit houdt in dat het elektriciteitsnet alleen gevoed wordt wanneer de netfrequentie gedefinieerd is door andere parallelle bronnen (bijvoorbeeld conventionele elektriciteitscentrales) welke aan het netgekoppeld zijn. De inverter zal dus niet functioneren wanneer de externe referentie frequentie ontbreekt of zal zich aanpassen aan de door andere parallelle bronnen gedefinieerde frequentie.

Maatschappelijk kader [^{15, 16}]:

Socioloog Giddens [Giddens, A., Sociology, Cambridge: Blackwell Publishers, 1992, p 32] definieert maatschappij als zijnde het systeem van interrelaties dat individuen van eenzelfde cultuur verbindt. Het maatschappelijk kader kan als gevolg van deze definitie verdeeld worden in de dimensies structuur (systeem van interrelaties) en cultuur (eenzelfde set van verwachtingen, normen en waarden). Maar in de context van een socio-technisch-systeem (TeMa-problematiek) moet de dimensie technologie (te operationaliseren in kennis, kunde en wetenschap) toegevoegd worden, of als onderdeel van cultuur beschouwd worden, omdat dit de regulator is ter bevrediging van de maatschappelijke behoeften.

Maximale vermogenspunt [³]:

Dit is het punt waar het door de zonnecel geleverde vermogen maximaal is en wordt gekarakteriseerd door V_{mp} en I_{mp} .

Milieudruk [¹⁵]:

Milieudruk $\Rightarrow D = M * W * B$, met D de milieudruk, M als beslag op het milieu per eenheid welvaart, W is welstand per hoofd van de bevolking en B is de bevolkingsomvang. Hiermee is het bijvoorbeeld mogelijk om te verifiëren hoeveel keer beter een nieuwe technologie (M) zou moeten zijn wanneer de bevolkingsomvang (B) toeneemt.

MPPT (Maximum Power Point Tracker) [¹⁸]:

Dit is een vermogensregelaar welke bij verschillende belastingen zoekt naar het maximale vermogenspunt (P_{max}) om het zonnepaneel daarin te belasten.

Natural capital [¹⁴]:

De producten van de natuur, zoals: mineralen, brandstoffen, energie of vervuiling absorberende werking, die direct of potentieel bruikbaar zijn voor het menselijke sociale en economische systeem.

Natuur-uitbater:

Een persoon die maximaal gebruik (misbruik) maakt van de natuurlijke hulpbronnen, zonder daarbij de effecten ervan op het milieu in acht te nemen en daarbij geen enkel schuldgevoel heeft ten opzichte van navolgende generaties en dus geen rechtvaardigheidsgevoel kent.

Peer review [³⁷]:

Een aantal personen met ervaring en kennis de gemaakte aannames en conclusies van het LCA-onderzoek opnieuw laten bezien om te kijken of ze helder genoeg zijn en of dat deze personen het eens zijn met de gebruikte aanpak.

Piekvermogen [¹⁹]:

Het vermogen dat gegenereerd wordt onder standaard licht (AM1,5 (=standaard spectrum) en 1000 W/m^2) bij een zonnecel temperatuur van 25°C , weergegeven middels Watt-piek [W_p].

Procesboom [³⁷]:

Deel van de inventarisatieanalyse: grafische presentatie van de onderling verbonden economische processen die samen de levenscyclus van een product uitmaken.

Radical innovation:

Een innovatie die geheel afwijkt van een voorgaande technologie en/ of artefact en waarmee impliciet nieuwe markten en toepassingen mee verbonden zijn. Dit in tegenstelling van een "incremental innovation" welke slechts een kleine nieuwigheid biedt op een vorige uitgave of technologie (bijvoorbeeld een vernieuwd model).

Recombineren [³]:

Het terugvallen van een losgemaakt elektron naar zijn oude energietoestand (terugval van de geleidingsband naar de valentieband).

Standaard Test Conditie (STC) [²⁴]:

De omgevingswaarden waaronder een zonnecel (of module) getest wordt en welke gelden als referentie waarden. Deze condities zijn: 1000 W/m², AM1.5 en zonneceltemperatuur van 25°C.

String [²²]:

Een seriële aaneenschakeling van meerdere zonnepanelen, waardoor de spanning opgebouwd wordt.

Stringkabel [²⁵]:

Verbindingskabel tussen de modules in een string of de verbindingskabel tussen een string en een DC-koppelkast of de DC-klemmen van een inverter.

Structuur [¹⁶]:

Sociale structuur is het betrekkelijk duurzame stelsel van sociale posities welke door een netwerk van min of meer gestandaardiseerde en collectief aanvaarde interacties en communicaties in de sociale ruimte met elkaar verbonden zijn.

Tandem-constructie [³]:

Meerdere cellen worden gestapeld (2 cellen: tandemcel, 3 cellen: triplecel) met elk een verschillende band afstand (kleurgevoeligheid) waardoor met behulp van dichromatische spiegels een hoger rendement verkregen wordt.

Technologie [¹⁶]:

Het gesystematiseerde, geformaliseerde, gestandaardiseerde en min of meer algemeen geaccepteerde en samenhangend geheel van manieren en middelen, inclusief materiële artefacten, waarmee een doel kan worden bereikt of een beroep of ambacht kan worden uitgeoefend en waarmee de omgeving van de mens dienstbaar kan worden gemaakt aan zijn behoeften.

Trendbreuk [¹]:

Het radicaal veranderen van een gaande trend, naar een andere (vernieuwde) trend. In de context van dit rapport kunnen trendbreuken slechts bereikt worden door nieuw te ontwikkelen duurzame technologie, zodat van de oude (huidige technologie) energiewinning trend afgestapt kan worden.

Voedingskabel [²⁵]:

Kabel die de inverter verbindt met de elektrische installatie of het net (AC-kabel).

Zonnepaneel (module) [²²]:

Meerdere zonnecellen zijn aaneengeschakeld om praktische spanningen en stroomsterkten te bereiken. Vaak worden 33 tot 36 cellen in serie geschakeld om een V_{max} van 16V te bereiken, wat voldoende is om ook bij hogere celtemperaturen een nominale spanning van 12V te garanderen.



Bijlagen

- Bijlage 1: Vermeden uitstoot door reeds gerealiseerde duurzame energie projecten in Nederland
- Bijlage 2: Organogram DHV groep
- Bijlage 3: Organisatiestructuur DHV AIB
- Bijlage 4: De GWP₁₀₀ factoren van het IPCC model
- Bijlage 5: Redenering achter de weegfactoren reeksen
- Bijlage 6: De productiekosten, efficiency en ETVT van verschillende zonnecel typen
- Bijlage 7: De 'Technology Maps' van de productieprocessen van verschillende typen zonnepanelen
- Bijlage 8: De milieubeoordelingstool voor zonnecentrales
- Bijlage 9: Kostenvariabiliteit van de inverter keuze
- Bijlage 10: Kostenvariabiliteit van de PV-paneel keuze
- Bijlage 11: Technische specificaties van de Shell Solar RSM 110 PV-panelen
- Bijlage 12: Het DC-principe zonnecentrale ontwerp
- Bijlage 13: Bekabelingsstructuur van het DC-principe ontwerp
- Bijlage 14: Het string-inverter-principe zonnecentrale ontwerp
- Bijlage 15: Bekabelingsstructuur van het string-inverter-principe ontwerp
- Bijlage 16: Het AC-principe zonnecentrale ontwerp
- Bijlage 17: Bekabelingsstructuur van het AC-principe ontwerp
- Bijlage 18: Berekeningen van de vermogensverliezen
- Bijlage 19: De werkgebieden van het ALTENER programma
- Bijlage 20: Het standaard cash flow schema
- Bijlage 21: Ontwerp en kosten van de ondersteuningsconstructie
- Bijlage 22: Ontwerp en kosten van de hoofd laag/hogspanning verdeelinrichting inclusief de transformatorunit
- Bijlage 23: Ontwerp van het gebouw van de zonnecentrale

- Bijlage 24: Cash flow schema voor het DC-principe ontwerp
- Bijlage 25: Kostenverklaring en bronspecificaties van het DC-principe ontwerp
- Bijlage 26: Cash flow schema voor het string-inverter-principe ontwerp
- Bijlage 27: Kostenverklaring en bronspecificaties van het string-inverter-principe ontwerp
- Bijlage 28: Cash flow schema voor het AC-principe ontwerp
- Bijlage 29: Kostenverklaring en bronspecificaties van het AC-principe ontwerp
- Bijlage 30: Materialen en gewichten per kabelsoort
- Bijlage 31: Opbouw in SimaPro van het DC-principe zonnecentrale ontwerp
- Bijlage 32: Procesbomen van de drie ontwerpvarianten
- Bijlage 33: Opbouw in SimaPro van het string-inverter-principe zonnecentrale ontwerp
- Bijlage 34: Opbouw in SimaPro van het AC-principe zonnecentrale ontwerp
- Bijlage 35: Milieueffecten van de drie ontwerpvarianten assemblies
- Bijlage 36: Milieueffecten van de drie ontwerpvarianten life cycles
- Bijlage 37: Weging van de milieueffecten tot milieubelastingen
- Bijlage 38: Cash flow schema van DC-principe ontwerp met ASE300-DG-FT-panelen

Bijlage 1 Vermeden uitstoot door reeds gerealiseerde duurzame energie projecten in Nederland

Duurzame energie	Realisatie in PJ vermeden fossiele brandstoffen					
	1990	1995	1996	1997	1998	1999
Windenergie	0,5	2,6	3,6	3,9	5,3	5,3
Zon-pv	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Zon-thermisch	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
Aardwarmte	-	-	-	-	-	-
Warmte/koude-opslag	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5
Warmtepompen	p.m.	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
Waterkracht	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7
Bio-energie	17,5	18,7	21,5	26,0	26,4	28,1
-Afvalverbranding	6,4	5,6	7,8	11,5	11,4	12,1
-Biomassa verbranding	8,2	8,2	8,5	9,2	9,8	10,6
-Stortgas	0,6	2,0	2,1	2,0	1,9	1,8
-Overige vergisting	2,3	2,9	3,1	3,3	3,3	3,6
Totaal	18,8	22,4	26,2	31,3	33,5	35,3

Bron: www.pde.nl/de

Omrekening voor opwekking van elektriciteit:

* 1 PJ komt overeen met $2,78 \cdot 10^5$ MWh.

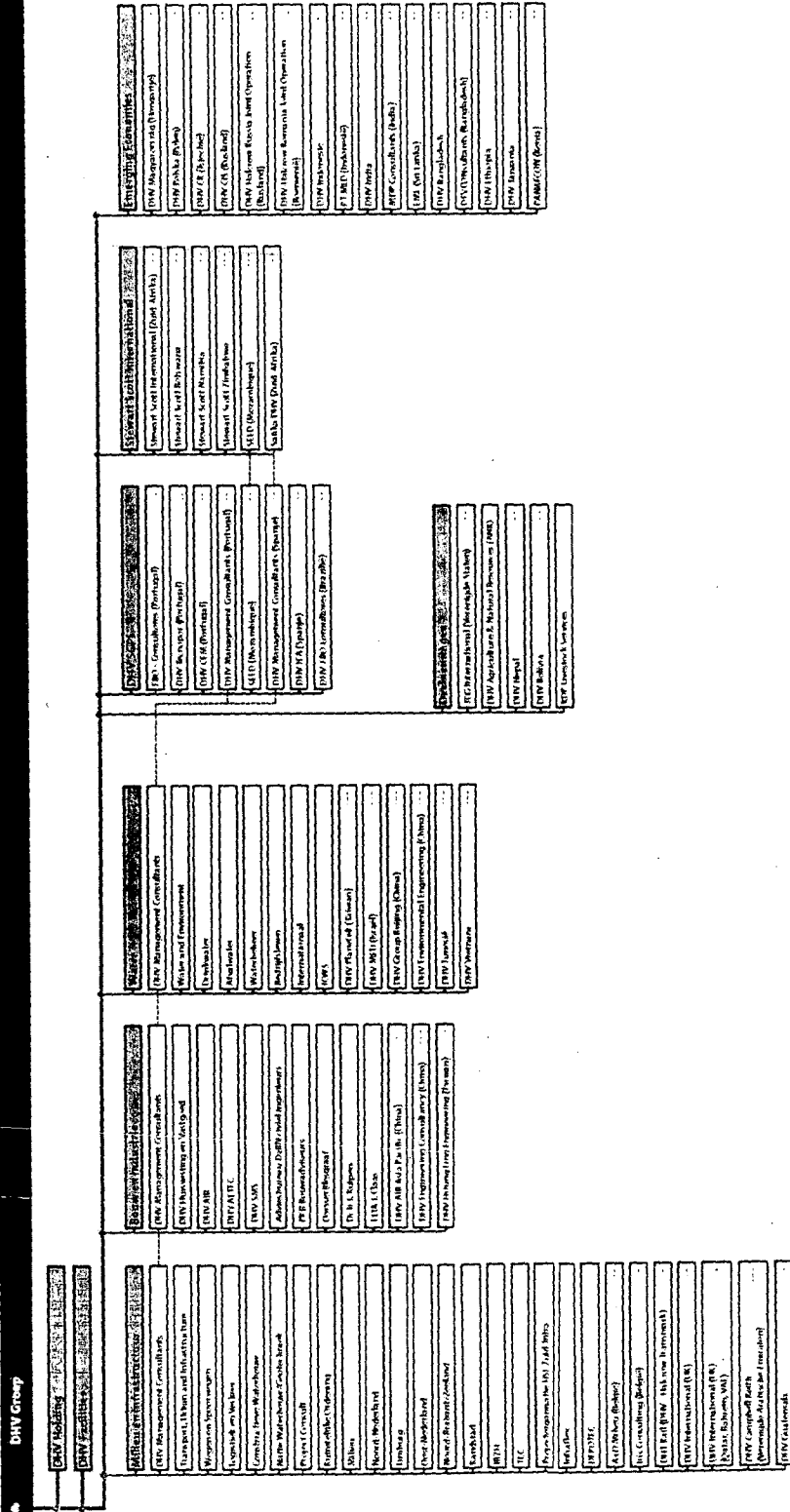
* CO₂-reductie per MWh gespaarde (conventionele) elektriciteitsopwekking is 0,37 ton CO₂.

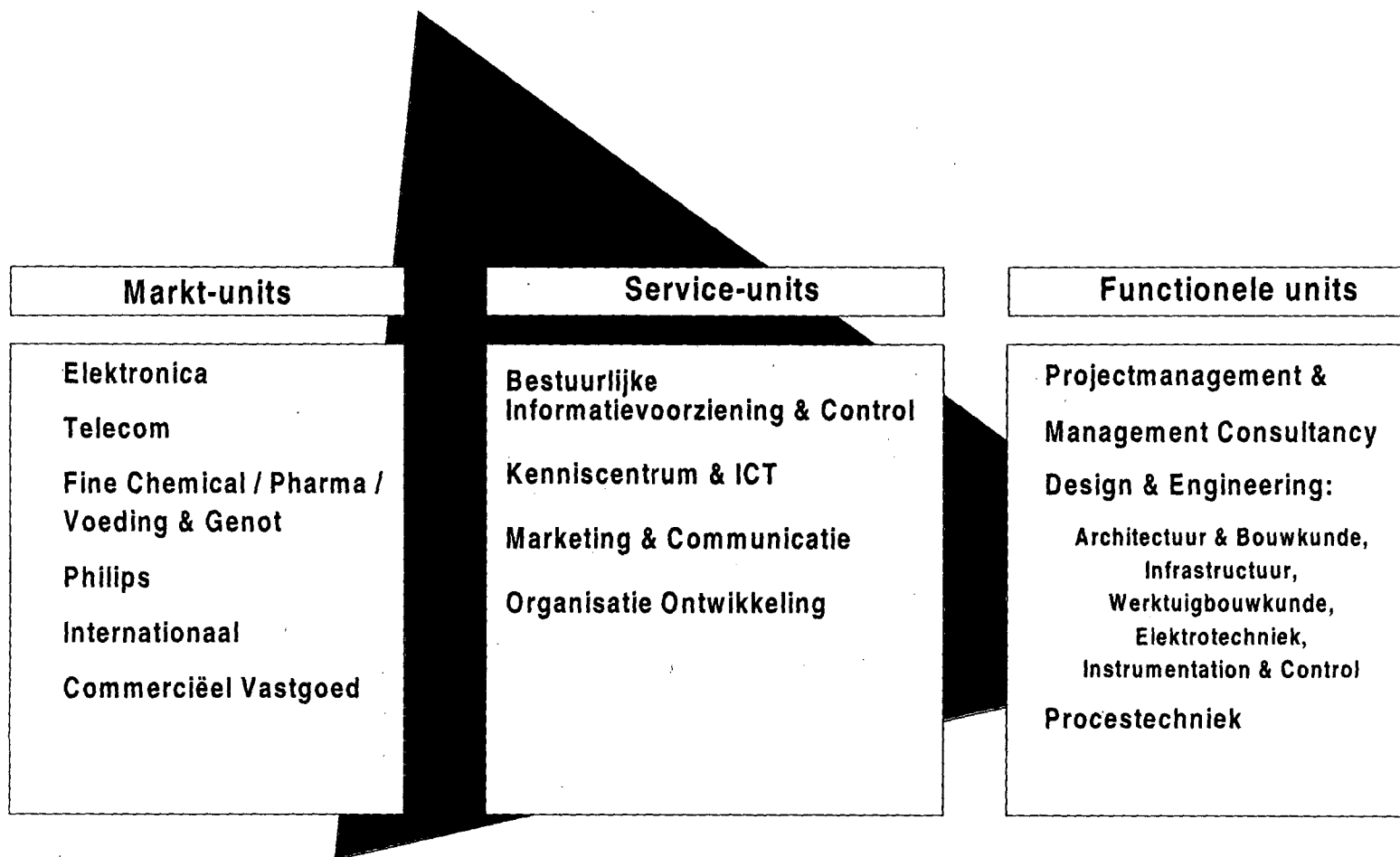
Het resultaat van de uitsparing van 1 PJ (conventioneel) opgewekte elektriciteit komt dus overeen met 102,9 kton CO₂ (= $102,9 \cdot 10^6$ kg CO₂).

Bijlage 2 Organogram DHV Groep

Structuur en management Operationeel organisatie-overzicht per april 2001

Vestigingsplaats: Nederland
Europa
Buiten Europa



Bijlage 3 Organisatiestructuur DHV AIB

Bijlage 4 De GWP₁₀₀ factoren van het IPCC model

In deze bijlage is een overzicht van de GWP₁₀₀ factoren van het IPCC is opgenomen.

Broeikasgas	Chemische formule	GWP factor
Kooldioxide	CO ₂	1
Methaan	CH ₄	21
Distikstofoxide	N ₂ O	310
Zwavelhexafluoride	SF ₆	23 900
HFK's		
HFK-23	CHF ₃	11 700
HFK-32	CH ₂ F ₂	650
HFK-41	CH ₃ F	150
HFK-43-10mee	C ₃ H ₂ F ₁₀	1 300
HFK-125	C ₂ HF ₅	2 800
HFK-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1 000
HFK-134a	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1 300
HFK-152a	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	140
HFK-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CHF ₂ CH ₂ F)	300
HFK-143a	C ₂ H ₃ F ₃ (CF ₃ CH ₃)	3 800
HFK-227ea	C ₃ HF ₇	2 900
HFK-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6 300
HFK-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560
PFK's		
Perfluormethaan	CF ₄	6 500
Perfluorethaan	C ₂ F ₆	9 200
Perfluorpropan	C ₃ F ₈	7 000
Perfluorbutaan	C ₄ F ₁₀	7 000
Perfluorcyclobutaan	c-C ₄ F ₈	8 700
Perfluorpentaan	C ₅ F ₁₂	7 500
Perfluorhexaan	C ₆ F ₁₄	7 400

Bron: <http://www.co2-reductie.nl/>

(Gegevens zijn gebaseerd op het effect van broeikasgassen over een tijdsperiode van 100 jaar en vermeld in het "1995 IPCC Second Assessment Report".)

Bijlage 5 Redenering achter de weegfactoren reeksen

Er wordt in dit rapport gebruik gemaakt van 3 weegfactoren reeksen, namelijk: opdrachtgever, bevolking en overheid perspectief. Bij elk van deze drie worden de meest relevante milieueffecten aangegeven voor die bepaalde doelgroep. De meest relevante milieueffecten worden dan zwaarder meegeteld dan de andere waardoor bij een gelijk totaal van 100, er verschillende weegfactoren reeksen ontstaan.

- **A = Opdrachtgever perspectief**

ADP: dit milieu effect is voor de opdrachtgever belangrijk omdat deze door het niet opraken van grondstoffen en brandstofvoorraden zijn economische activiteiten kan voortzetten in de toekomst (voor een elektriciteitsleverancier is dit nog belangrijker).

- **B = Bevolking perspectief**

HT: de Humane toxiciteit kan verantwoordelijk zijn voor vele ziektes, daarom is dit een milieu effect wat zeker door de bevolking als belangrijk kan worden aangemerkt.

POCP: fotochemische oxidantvorming leidt tot zomer smog. Omdat dit snel merkbaar is voor de bevolking (staat dicht bij hun waarneming) is dit een belangrijk milieuthema voor de bevolking.

- **C = Overheid perspectief**

GWP: is een zeer belangrijk milieuthema voor de overheid, omdat de Nederlandse overheid het Kyoto verdrag ondertekend heeft en zich daarmee een reductie norm (CO₂-equivalenten) van 6% in 2012 ten opzichte van het niveau 1990 opgelegd heeft.

ODP: sinds de ontdekking van de verdunning van de ozonlaag boven de noordpool en op verscheidene andere plaatsen, is het beleid van de overheid erop gericht om de uitstoot van ozonaantastende gassen (vooral CFK's) te verminderen en alternatieve (vaak: koel-) stoffen daarvoor in de plaats te gebruiken (zeer belangrijk milieuthema).

ADP: is ook voor de overheid een belangrijk thema omdat, de nationale economie niet zonder grondstoffen, maar vooral brandstoffen kan functioneren.

Tabel B.1: Overzicht van de 3 verschillende reeksen weegfactoren vanuit 3 perspectieven

Milieu effect	Weegfactoren (totaal 100)		
	A. Opdrachtgever	B. Bevolking	C. Overheid
<i>Abiotisch uitputtingspotentieel</i> (Abiotic Depletion Potential, ADP)	19	8	18
<i>Klimaatverandering door broeikaseffect</i> (Greenhouse effect, GWP)	9	8	18
<i>Ozon uitputtingspotentieel</i> (Stratospheric Ozone Depletion, ODP)	9	8	15
<i>Humane toxiciteit</i> (Human Toxicity, HT)	9	18	7
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) FRESH WATER (FAETP)	9	8	7
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) MARINE (MAETP)	9	8	7
<i>Ecotoxiciteit Terrestisch</i> (Eco-toxicity Terrestrial, ECT)	9	8	7
<i>Fotochemische Oxidantvorming</i> (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP)	9	18	7
<i>Verzuringspotentieel</i> (Acidification Potential, AP)	9	8	7
<i>Eutrofiëring: vermesting</i> (Eutrophication or Nutrifcation Potential, NP)	9	8	7

Bijlage 6 De productiekosten, efficiency en ETVT van verschillende zonnecel typen

In deze bijlage is een overzicht opgenomen met, uit ander onderzoek afkomstige, onderbouwde schattingen en redeneringen van de productiekosten, de efficiencies en de Energie Terug Verdien Tijden (en energie input) voor een aantal verschillende typen zonnecellen [46]:

Tabel B.2: Productiekosten, efficiency, energie input en ETVT van verschillende zonnecel typen [46]

Zonnecel type → ↓ kengetallen	mc-Si		a-Si		HT-f-Si	CIGS		CdTe	
	Min	Max	Min	Max		Min	Max	Min	Max
Bron:	Alsema (2000) ^{*1}	Phylipsen (1995) ^{*2}	Alsema (2000)	Engelburg (1993) ^{*3}	Tool (1999) ^{*4}	Alsema (1992) ^{*5}		Alsema (1992)	
Productiekosten (€/Wp)	0,91	1,22	0,69	0,75	0,76	0,70	0,96	0,72	0,95
Efficiency (%)	16		10		14	12		10	
Energie input (MJ/m ²)	1440	2600	800	1200	2600	255	360	85	150
ETVT (jaar)	2,3	4,1	1,9	3,0	4,7	1,3	1,8	0,5	0,9

*5 Alsema, E.A.; Engelenburg, B.C.W., 'Risiko's en milieu-effecten van polykristallijne dunne-laag zonnecellen'. Utrecht, Vakgroep Natuurwetenschap en samenleving Universiteit Utrecht, 1992.

*1 Alsema, E.A., 'Energy pay-back time and CO₂ emissions of PV systems'. In: Progress in photovoltaics: research and applications. John Wiley & Sons, 2000.

*3 Engelenburg, B.C.W. van; Alsema, E.A., 'Environmental aspects and risks of amorphous silicon solar cells'. Utrecht, Department of Science, Technology and Society of University of Utrecht, 1993.

*2 Phylipsen, G.J.M.; Alsema, E.A., 'Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules'. Utrecht, Department of Science, Technology and Society of Utrecht University, 1995.

*4 Tool, C.J.J.; Roosmalen, J.A.M. van; Daey Ouwens, J., 'CISZO: the potential of CIS solar cells'. ECN-report. ECN-C-99-046, 1999.

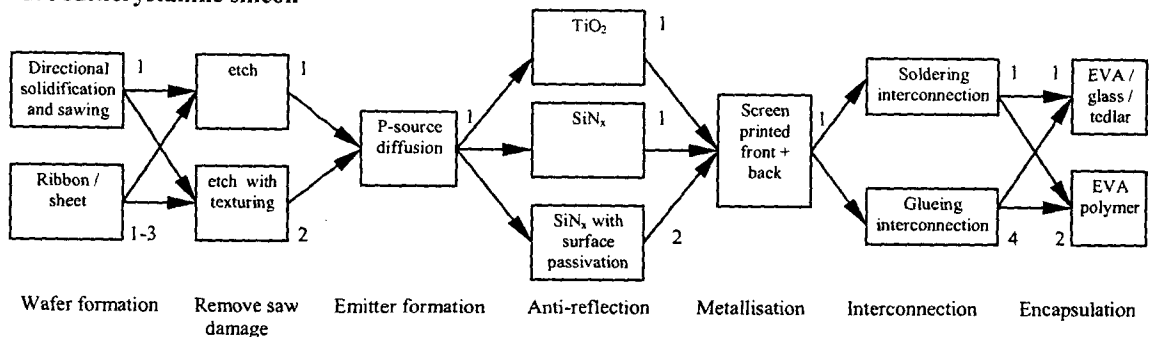
Bijlage 7 De 'Technology Maps' van de productieprocessen van verschillende typen zonnepanelen

Deze bijlage bevat informatie betreffende de productieprocessen van verschillende typen zonnepanelen en is gebaseerd op het onderzoek van Bossert in opdracht van NOVEM [46]. De technology maps van de volgende typen zonnepanelen worden in deze bijlage weergegeven:

- | | | |
|---|---------------|-------------------------------------|
| 1. Multikristallijne silicium | (Mc-Si) | (Multi) Crystalline silicon |
| 2. Amorf silicium (triple junction) | (a-(Si,Ge):H) | Amorphous silicon (triple junction) |
| 3. Dunne film kristallijn silicium (HT en LT) | f-Si | Thin-film crystalline silicon |
| 4. Cu(In,Ga)(Se,S) ₂ | CISG | Cu(In,Ga)(Se,S) ₂ |
| 5. Cadmium Telluride cellen | CdTe | Cadmium Telluride cells |

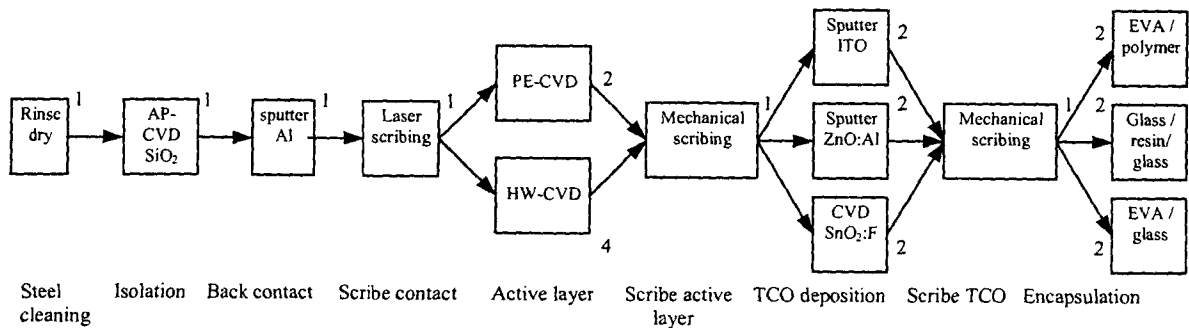
In deze technology maps wordt per proces aangegeven of het proces een industrieel (1), pilot (2), pre-pilot (3) of laboratorium (4) proces is (majority of the technique).

1. Multicrystalline silicon



Step	Method	Maturity of technique
Wafer formation	Directional solidification + sawing	1
	Ribbon / sheet e.g.:	
	EFG (Edge Fed Growth)	1
	RGS (Ribbon Grown on Substrate)	3
Remove saw damage	String ribbon	2
	Etch	1
	Etch with texturing	2
Emitter formation	P-source + diffusion	1
Anti reflection coating	TiO ₂ SiN _x without surface passivation	1
	SiN _x with surface passivation	2
Metallisation	Screen printing	1
Interconnection	Soldering / ultrasonic welding	1
	Glueing	4
Encapsulation	EVA / glass / tedlar	1
	EVA / polymer	2

2. Amorf silicium (triple junction) a-(Si,Ge):H

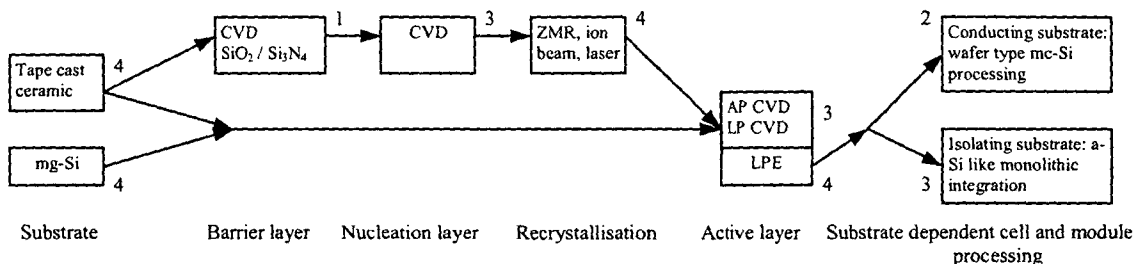


Step	Method	Maturity of technique
Steel cleaning	Rinse and dry	1
Isolate steel	AP-CVD SiO ₂ barrier	1
Back contact	Al sputtering	1
Scribe back contact	Laser scribing	1
Active layer deposition	Triple junction, Plasma Enhanced CVD (PE-CVD)	2
	Triple junction, Hot Wire CVD (HW-CVD)	4
Scribe	Mechanical scribing	1
TCO deposition	Sputter (ZnO), Atmospheric Pressure CVD (AP-CVD) (ITO)	2
	Mechanical scribing	1
Encapsulation	EVA / polymer	2
	EVA / glass	2
	Glass / resin / glass	2

3. Thin-film crystalline silicon

There are two principally different approaches in f-Si. Because they lead to completely different devices, they are treated here separately. HT-f-Si and LT-f-Si will be used to abbreviate thin-film crystalline silicon made by the high-temperature en low-temperature routes.

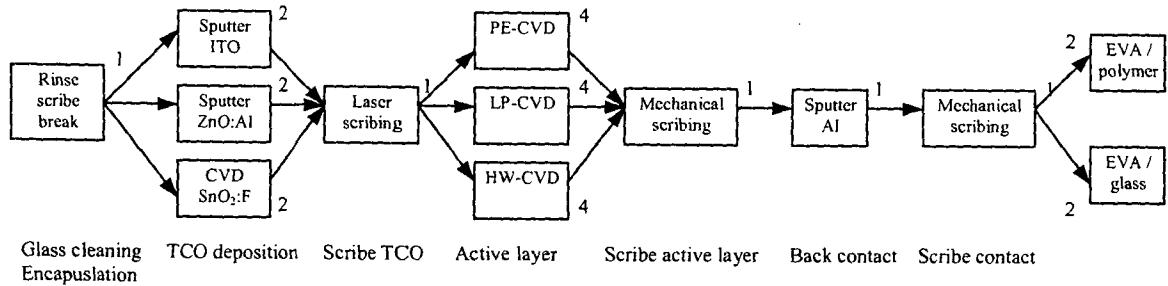
3.1 HT-f-Si (High-temperature deposition route)



Step	Method	Maturity of technique
Substrate	Ceramic tape casting	4
	Metallurgical grade Si	4
Barrier layer	Optional in some routes; CVD of SiO ₂ , Si ₃ N ₄	1
Nucleation layer	Optional in some routes; Si CVD	3
Recrystallisation	Optional in some routes; Zone Melting	4
	Recrystallisation (ZMR), laser recrystallisation, ion beam recrystallisation	
Active layer deposition	AP-CVD or Low Pressure CVD (LP-CVD)	3
	LPE (liquid Phase Epitaxy)	4
Cell processing	Depends on device design. for conducting substrate: Emitter formation (diffusion) ARC (TiO ₂ , SiN _x) Metallisation (screen printing)	2
Interconnection	Depends on device design. Monolithic integration or soldering	2 / 3
Encapsulation	EVA / glass	1
	EVA / polymer	4

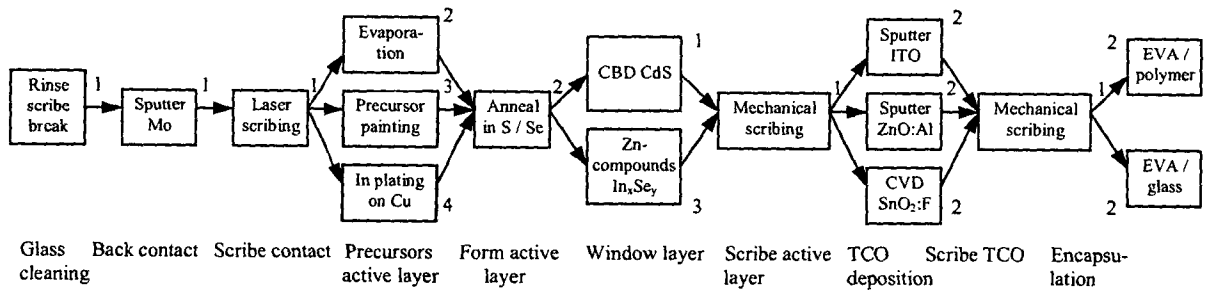
3.2 LT-f-Si (Low-temperature deposition route)

A possible production scheme is given below. A glass substrate is assumed.



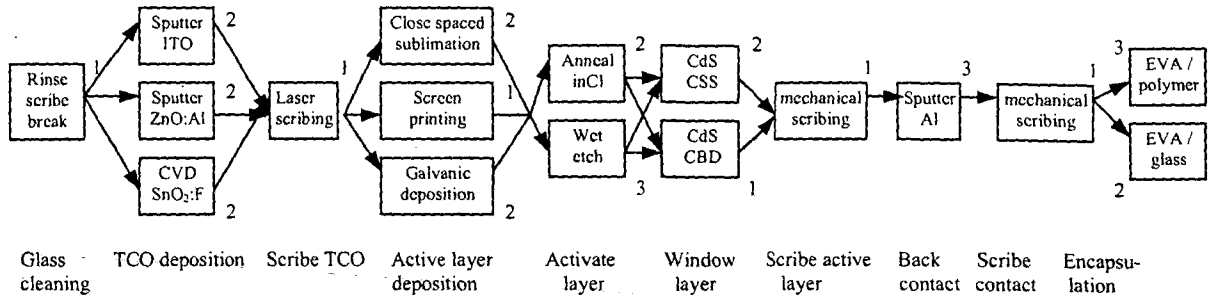
Step	Method	Maturity of technique
Glass cutting and cleaning	Rinse, scribe and break	1
TCO deposition	Sputter, SP-CVD	2
Scribing	Laser scribing	1
Active layer deposition	Si CVD (PE-CVD, LP-CVD, HW-CVD)	4
Scribing	Mechanical scribing	1
Back contact	Metal sputtering	1
Scribing	Mechanical scribing	1
Encapsulation	EVA / glass	2
	EVA / polymer	2

4. Cu(in,Ga)(Se,S)₂



Step	Method	Maturity of technique
Glass cutting and cleaning	Rinse, scribe and break	1
Mo back contact	Sputtering	1
Scribing back contact	Laser scribing	1
Deposit Cl(G)S precursors	Evaporation (sequential or co-)	2
	Precursor painting	3
	In plating on Cu	4
Form active layer	Anneal in Se or S atmosphere	2
Window layer	Chemical bath deposition	1
Scribe active layer	Mechanical (or laser) scribing	1
TCO deposition	Sputter, AP-CVD	2
Scribe TCO	Mechanical (or laser) scribing	1
Encapsulation	EVA / glass, spray encapsulation	2

5. CdTe



Step	Method	Maturity of technique
Glass cutting and cleaning	Rinse, scribe and break	1
TCO deposition	Sputter, AP-CVD	2
Scribing TCO	Laser scribing	1
Active layer deposition	Close Spaced Sublimation (CSS)	2
	Screen printing	1
	Galvanic deposition	2
Activate layer	Anneal in Cl-containing atmosphere	2
	Wet etching	3
Deposit window layer	CdS Chemical Bath Deposition (CBD)	1
	CdS close spaced sublimation (CSS)	2
Scribe active layer	Mechanical scribing	1
Back contact	Sputter metal layer	3
Scribe back contact	Mechanical scribing	1
Encapsulation	EVA / glass	2
	EVA / polymer	3

Bijlage 8 De milieubeoordelingstool voor zonnecentrales

In deze bijlage is het algemene LCA-basismodel voor zonnecentrales (de milieubeoordelingstool voor zonnecentrales) in zijn geheel (vier onderdelen, namelijk: randvoorwaarden, rekenwijze, afbakeningswijze en het schematische model) opgenomen, zoals het als beoordelingstool gebruikt kan worden voor de milieubelasting van zonnecentrales te beoordelen (vergelijken van de milieubelasting van verschillende elektrische configuraties van zonnecentrale ontwerpen).

1. Randvoorwaarden:

- Het model is van toepassing op een Fotovoltaïsche Zonnecentrale.
- Het model is bedoeld als instrument in de ontwerpfase van een zonnecentrale voor de kwalitatieve *vergelijking* van de *modelmatig bepaalde milieubelasting* van verschillende elektrische configuraties. Hierbij worden in één zonnecentrale LCA, de diverse levenscycli van de verschillende zonnecentrale componenten los van elkaar bepaald en ingevoerd in SimaPro. In SimaPro worden door de assemblage en afval stages de uiteindelijke milieueffecten van de gehele zonnecentrale berekend. Dit model is dus niet bedoeld voor de afzonderlijk evaluatie van milieuaspecten van de zonnecentrale componenten, niet voor product/proces analyse ter verbetering (milieugerichte verbetering) van producten en processen van een zonnecentrale en niet voor een bepaalde soort van eco-labelling van de zonnecentrale of een zonnecentrale ontwerp.

2. Rekenwijze:

In deze milieubeoordelingstool voor zonnecentrales wordt gebruik gemaakt van het software programma SimaPro 5.0 en de CML 2 baseline 2000 methode met in de onderstaande tabel B.2 opgesomde milieueffecten (milieuthema's). Vastgestelde doelstelling van dit model is de mogelijkheid tot vergelijking van elektrische zonnecentrale ontwerpen in de ontwerpfase van een zonnecentrale. De reikwijdte van dit model is weergegeven middels een gekozen afbakening welke hierna verwoord is. Inventarisatie is in dit model opgenomen door een schematisch basismodel (algemeen geldend voor zonnecentrales, afbeelding 3.6) op te stellen welke de afsluiting vormt van deze milieubeoordelingstool voor zonnecentrales.

Gegevens verzameling zal deels traditioneel (via de instrumenten: interview, enquête of literatuuronderzoek) en deels via de databases van SimaPro plaats vinden. Voor de verwerking van de verzamelde gegevens is eveneens gekozen voor SimaPro. Voor de normalisatie van de optredende milieueffecten is gekozen om de effectscores van elke optredend milieueffect van de functionele eenheid (de levering van een Terajoule zonnestroom aan het openbare elektriciteitsnet) te relateren aan de mondiale bijdrage (in 1995) aan het betreffende milieueffect. Deze mondiale bijdragen van 1995 staan eveneens in onderstaande tabel B.2. Om de verschillende optredende milieueffecten tot één milieu-index (de milieubelasting) om te zetten zijn een drietal weegfactoren reeksen opgesteld, welke ieder vanuit een ander perspectief het geheel beoordelen (zie hiervoor tabel B.2). Omdat deze vereenvoudiging tot één enkele milieu-index een bepaalde subjectiviteit met zich mee brengt, is het belangrijk om de (veronderstelde) inputs welke een grote invloed hebben op de milieubelasting te vermelden en de mogelijke alternatieve input aan te geven.

Wanneer de in dit model gepresenteerde rekenwijze gehanteerd wordt voor verschillende elektrische configuraties van zonnecentrales waar tussen gekozen moet worden, zal vergelijking van de milieubelastingen daarvan reeds in de ontwerpfase mogelijk zijn en de keuze voor een bepaalde configuratie gemakkelijker (en onderbouwd) gemaakt kunnen worden.

Tabel B.3: normalisatie waarden, weegfactoren en gevoeligheidsanalyse van de milieubelasting beoordelingstool

Milieueffecten	Mondiale bijdrage (1995)	Weegfactoren (totaal 100)		
		Reeks A: Opdrachtgever	Reeks B: Bevolking	Reeks C: Overheid
<i>Abiotisch uitputtingspotentieel</i> (Abiotic Depletion Potential, ADP)	1,57E+11	19	8	18
<i>Klimaatverandering door broeikaseffect</i> (Greenhouse effect, GWP)	4,45E+13	9	8	18
<i>Ozon uitputtingspotentieel</i> (Stratospheric Ozone Depletion, ODP)	5,15E+08	9	8	15
<i>Humane toxiciteit</i> (Human Toxicity, HT)	4,98E+13	9	18	7
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic, ECA) FRESH WATER (FAETP)	2,03E+12	9	8	7
<i>Ecotoxiciteit Aquatisch</i> (Eco-toxicity Aquatic ECA) MARINE (MAETP)	5,12E+14	9	8	7
<i>Ecotoxiciteit Terrestisch</i> (Eco-toxicity Terrestrial, ECT)	2,68E+11	9	8	7
<i>Fotochemische Oxidantvorming</i> (Photochemical Oxidant Creation Potential, POCP)	4,55E+10	9	18	7
<i>Verzuringspotentieel</i> (Acidification Potential, AP)	2,99E+11	9	8	7
<i>Eutrofiëring: vermesting</i> (Eutrophication or Nutrification Potential, NP)	1,29E+11	9	8	7

3. Afbakening:

Component afbakening door verdeling in basis- en veldcomponenten

Alleen de componenten welke in het veld aanwezig zullen zijn worden meegenomen in deze milieubelasting beoordelingstool omdat deze verschillend kunnen optreden in de verschillende elektrische ontwerpen van een zonnecentrale. De volgende veldcomponenten kan men onderscheiden:

- Zonnepanelen
- Dioden
- Ondersteuningsconstructie
- Koppelkasten
- Bekabeling DC en/ of AC
- Inverters

Afbakening per veldcomponent: de relevante milieubelastende materialen en processen

In onderstaande tabel B.3 (in verslag tabel 3.4) worden voor elke veldcomponent de belangrijkste milieubelastende materialen en processen aangegeven welke kunnen voorkomen, afhankelijk van de keuze van die component. Als men bijvoorbeeld kiest voor dunne film zonnepanelen (laminaten), zullen de processen en materialen welke behoren bij de encapsulatie niet of op een

andere wijze plaatsvinden dan wanneer men kiest voor monokristallijne (c-Si) zonnepanelen. Tabel B.3 geeft dus een globaal overzicht van processen en materialen welke plaats kunnen vinden of aanwezig kunnen zijn. Voor de afbakening van de zonnepanelen component, is gebruik gemaakt van de "Technology maps" zoals die door Bossert et al. in hun onderzoek gepresenteerd zijn [46]. Deze Technology maps zijn voor de relevante typen zonnepanelen (zonnepanelen met productieproces op industriële of op pilot schaal en welke commercieel verkrijgbaar zijn) opgenomen in bijlage 6 van het onderzoeksrapport: "Ontwerp optimalisatie van een fotovoltaïsche zonnecentrale". De uiteindelijke component keuze bepaald welke processen en materialen daadwerkelijk voorkomen. De gebruiker van deze milieubeoordelingstool zal dus zelf moeten beoordelen welke processen en materialen in de door hem gekozen componenten voorkomen.

Het ecologische kostenaspect; transport, is een onderdeel van elk proces en is zelfs aanwezig tussen de verschillende processen in. Maar omdat het in alle mogelijke zonnecentrale ontwerpen voor zal komen, wordt het niet opgenomen in dit algemene LCA basismodel (SimaPro neemt transport wel mee bij sommige materialen en deelprocessen!). Belangrijk onderdeel van de afbakening van dit algemene LCA basismodel ter vergelijking van zonnecentrale ontwerpen is SimaPro, omdat enkel de materiaal- en energiegegevens die hierin zijn opgeslagen, zullen worden gebruikt. Wanneer een bepaald materiaal aangewend is in een van de veldcomponenten, waarvan geen gegevens bekend zijn in SimaPro, dan zullen deze niet meegenomen worden in de berekening van de milieubelasting. Wel is het mogelijk om optredende milieuproblemen (bijvoorbeeld uitputting, omdat het materiaal zeer schaars is) van deze, voor SimaPro onbekende, materialen kwalitatief aan te geven, waardoor deze informatie bij de uiteindelijke vergelijking van zonnecentrale ontwerpen in overweging kan worden genomen. Koppeling van SimaPro aan de het algemene LCA basismodel, zorgt voor een betere hanteerbaarheid (door de databases en rekenkracht van SimaPro) en beperkt de langdurige en veelzijdige onderzoeken naar milieu effecten van materialen en componenten.

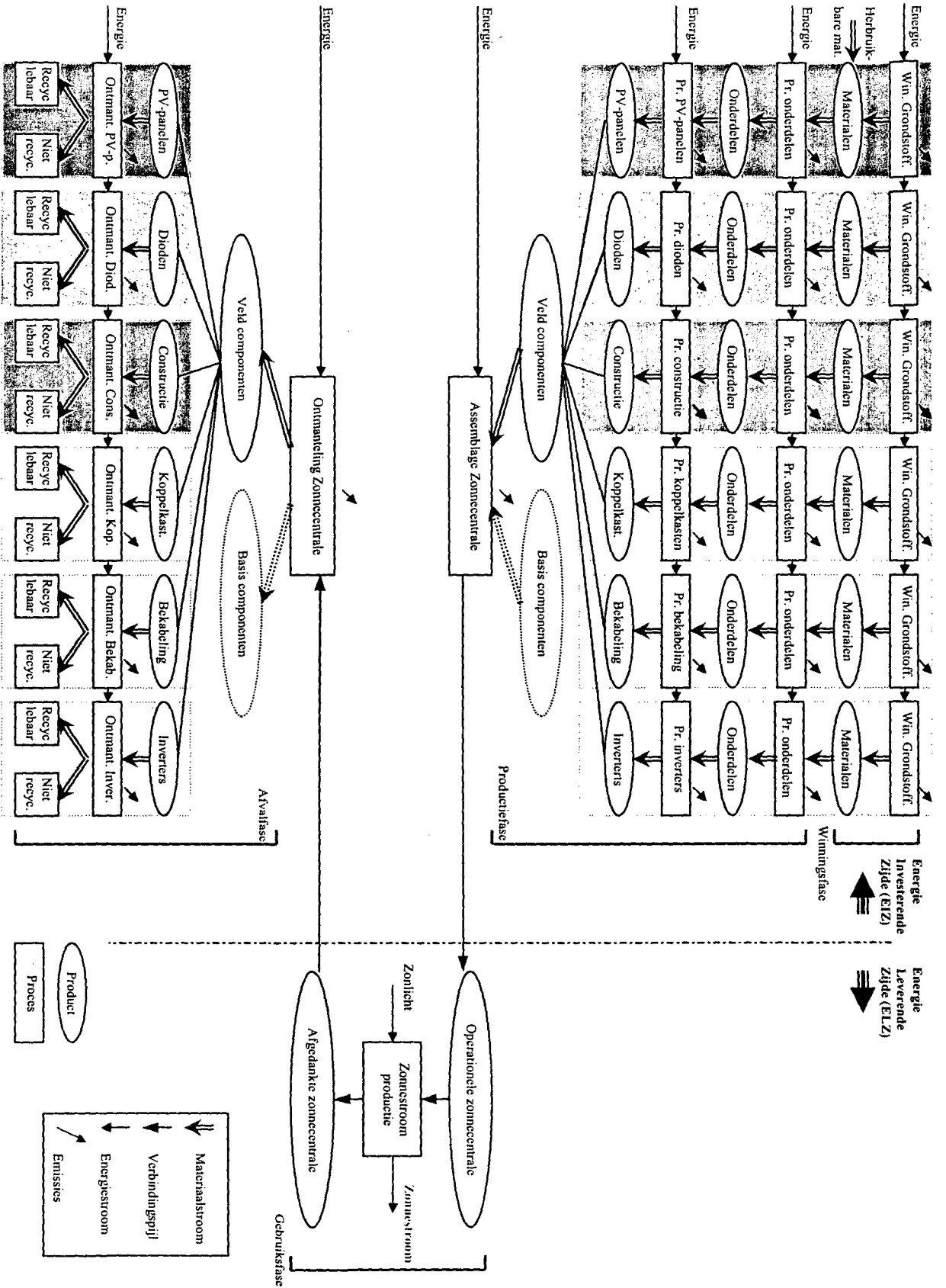
Tabel B.4: indicatie van relevante milieubelastende materialen en processen van de veld componenten

Veld-componenten	Deel componenten	Onderdelen	Processen welke op kunnen treden	Materialen welke voor kunnen komen
Zonnepanelen [46] (zie ook bijlage 6)	Zonnecellen [24, 46]	Halfgeleider materialen (p en n type materiaal)	- Productie van halfgeleider materialen: mg-Si, eg-Si, sg-Si, a-Si, c-Si, Cd, In, Te, Se	- Silicium, cadmium, Indium, Telluur en Seleen
			- Zagen van schijven tot wafers	- halfgeleider mat. Verliezen
		Metaalcontacten en verbindingen.	- Etsen en textureren (structuur aanbrengen)	- NaOH of KOH (kaliloog) (etsen) en stoppen met HF. - Isopropanol of C ₂ H ₆ O ₂ (texturing)
			- Aanbrengen van een isolerend laagje waarop de verbindingen geprint worden	- POCL ₃ of Pbr ₃ of P ₃ O ₅ of fosfor doped oxiden
	Encapsulatie [24]	Verschillende lagen: Glas, tussenlaag met verbindingen, zonnecellen en harde achterlaag (PVF)	- Printen van de contacten (verhitting tot boven 700°C en drogen met lucht van 350-400°C aan beide zijden)	- Voor contacten: Ag poeder gecombineerd met frit (laag smeltpunt glas composieten) - Achtercontacten: Al, maar Ag is wat beter voor de geleiding
			- Chemische of spray depositie	- TiO ₂ of soms Silicium nitride.
		Framing	- Productieproces: Onder hoge druk en temperatuur worden de verschillende lagen verbonden	- Glas (vaak Fe ₂ O ₃) - EVA film (Ethyleen vinyl acetaat): vulling als tussenlaag - verbindingen: Tin, Al of Cu - PVF film (Polyvinyl fluoride): achterkant
Bypass diode	Diode	- Monteren frame rondom paneel	- Aluminium	
		- productieproces diode	- Plastic en metaal	

Dioden	Blokkeer diode	Diode	- productieproces diode	- Plastic en metaal
	Isolatie diode	Diode	- productieproces diode	- Plastic en metaal
Ondersteunings-constructie	Fundering (bij losse constructie)	Bekistingen	- Bekistingen maken	- Hout en spijkers
		Betonblokken	- Beton storten	- Beton
	Stellage	Draag profielen	- Bewerken en monteren van stalen of ijzeren profielen	- Staal en ijzer soorten (RVS of Aluminium)
		Bevestigingen	- Bouten en moeren	- Staal en ijzer soorten (RVS)
Kabelgoten	Plaatmateriaal	- productie van staal of ijzeren plaatmateriaal en buigen ervan.	- Staal en ijzer soorten (RVS)	
Koppelkasten	Beveiligings-automaten	Schakelaars	- Productieproces schakelaars	- Isolerend (thermoharder) en geleidend materiaal
		DC of AC bekabeling	- Productieproces kabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
	Voedings- en connectierails	Rails en Klemmen	- Productie van rails - Productie van klemmen	- Koper (rails) - Staal en ijzer soorten
		Transformator	Windingen	- Productieproces van windingen
	DC of AC Bekabeling		- Productieproces kabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
	Isolatiematerialen		- Productie van isolatiemateriaal	- Thermoharders en -platen
	Behuizing, scheiding en verwarming	Plaatmateriaal	- productie van staal of ijzeren plaatmateriaal.	- Staal en ijzer soorten
		Isolatiematerialen	- Productie van isolatiemateriaal	- Thermoharders en -platen
		Verwarmingsunit	- Productieproces van verwarmingsunit	- Koper, isolatiemateriaal, elektronica, printplaten
	PLC voor elektronica en schakelaars	PLC onderdelen en spanningsloze schakelaars	- Productieproces van PLC - Productieproces van spanningsloze schakelaars	- PLC onderdelen - Isolerend (thermoharder) en geleidend materiaal
Bekabeling DC en/ of AC (eisen betreffende de minimale kerndoorsnede zie [23], kern bepaald de hoeveelheid Cu)	Stringkabels	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces stringkabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
	Arraykabels	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces arraykabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
	DC hoofdkabels (alleen bij DC-panels)	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces DC-hoofdkabels	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
	PV-voedingskabel (altijd AC)	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces PV-voedingskabel	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
Inverters [41]	Bruggen (IGBT's, Thyristoren)	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces van bruggen (transistor achtigen)	- Isolerend en geleidend materiaal
	MPPT	MPPT onderdelen	- Productieproces van MPPT	- MPPT onderdelen en materialen
	Interne bekabeling	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces van de intern toegepaste bekabeling	- Isolerende mantel (thermoplasten) en geleidende kern
	R, L en C componenten	Isolatiematerialen en geleidende materialen	- Productieproces van R, L en C componenten	- Isolerend en geleidend materiaal
	Behuizing, scheiding en verwarming (indien buiten opgesteld worden)	Plaatmateriaal	- Productie van staal of ijzeren plaatmateriaal.	- Staal en ijzer soorten
		Isolatiematerialen	- Productie van isolatiemateriaal	- Thermoharders en thermoplasten
Verwarmingsunit	- Productieproces van verwarmingsunit	- Koper, isolatiemateriaal, elektronica, printplaten		

4. Het schematische model:

Het schematische model geeft in feite de procesboom weer van de veldcomponenten van een zonnecentrale, maar in het ontwerp van dit schematische model zijn meerdere functies geïnternaliseerd, namelijk: de afbakening van mee te nemen componenten, de modulariteit van deze veldcomponenten, de levenscyclus stappen en de verdeling in ecologische kosten en baten van een zonnecentrale. Het schematische model is hieronder afgebeeld:



Bijlage 9 Kostenvariabiliteit van de inverter keuze

In deze bijlage staan gegevens met betrekking tot prijzen van verschillende inverters. Deze prijzen zijn gebaseerd op folder prijzen (adviesprijzen bij afname per stuk). Aan de hand van gevoerde gesprekken en overige correspondentie is duidelijk geworden dat, in ieder geval bij enkele fabrikanten/ leveranciers, kortingen mogelijk zijn bij afname van grotere aantallen. Omdat de afmetingen van inverters erg verschillen en een veelheid van inverter afmetingen verkrijgbaar zijn, is er voor gekozen om categoriserend te werken. De volgende categorieën zijn hierbij gehanteerd:

Grootte inverter (kVA)	Inverter categorie
<0,1	1
0,2-0,45	2
0,5-4,9	3
5,0-10,0	4
10,5-30,0	5
30,5-59,5	6
>60,0	7

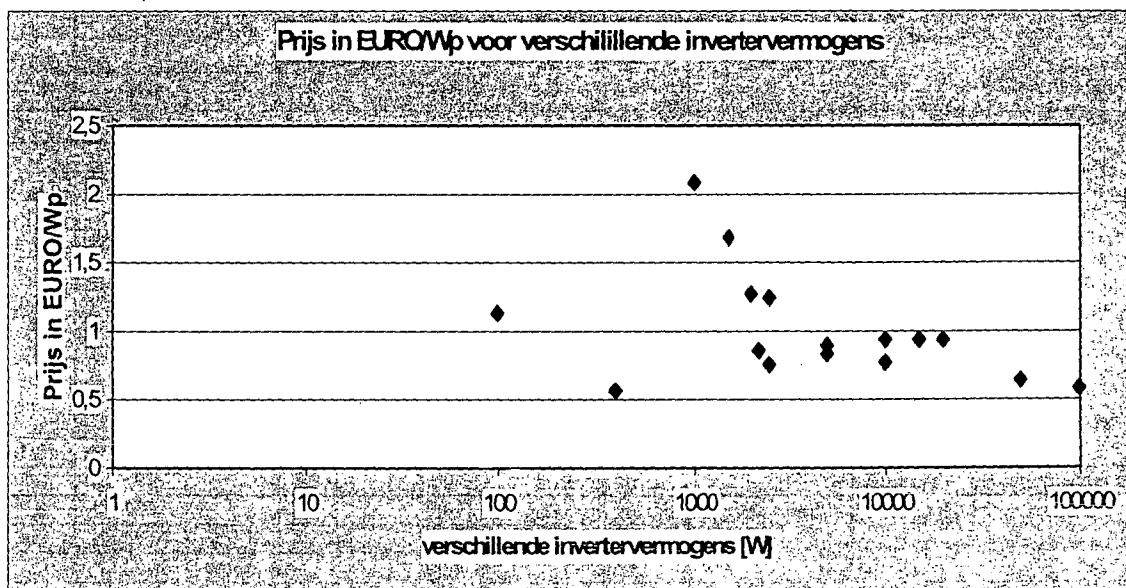
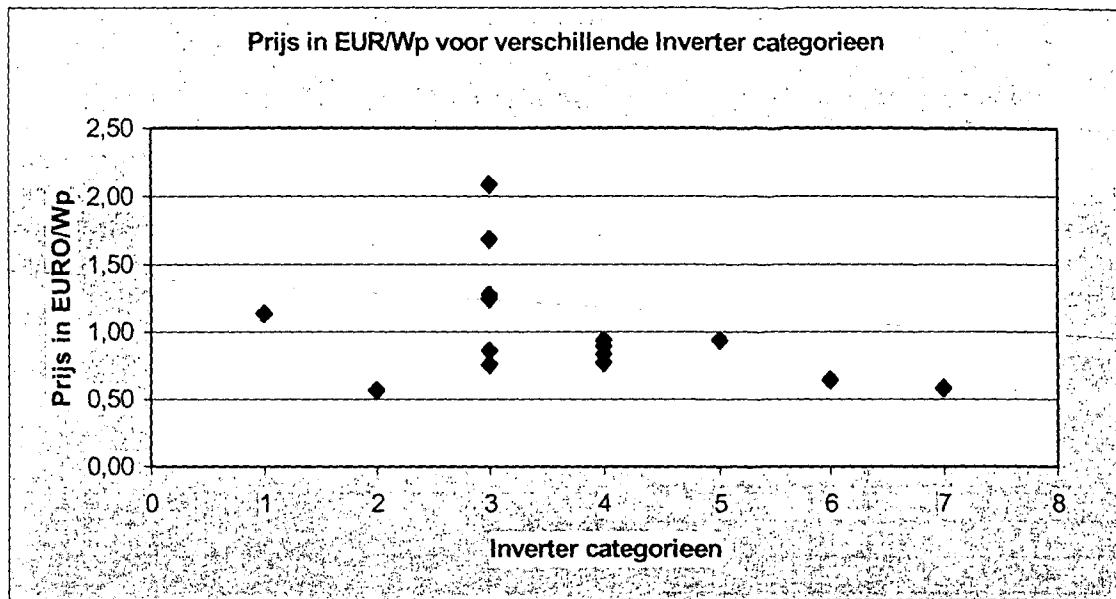
Een overzicht van de verkregen prijs gegevens van inverters is weergegeven in tabel B.5:

Tabel B.5: Inverter prijzen overzicht

Fabrikant/ leverancier	Model	Type	Vermogen	Inverter Categorie	Prijs	Prijs	Prijs in € per Wp (€/Wp)
			(Watt)		(\$)	(€)	
Trace engineering	Sun Tie XR	XR 1000	1000	3	1849	2086,80	2,087
		XR 1500	1500	3	2239	2526,96	1,685
		XR 2000	2000	3	2259	2549,53	1,275
		XR 2500	2500	3	2759	3113,83	1,246
	PV Series	PV5	5000	4	3970	4480,58	0,896
		PV10	10000	4	8313	9382,13	0,938
		PV15	15000	5	12468	14071,51	0,938
		PV20	20000	5	16624	18762,01	0,938
NKF kabel B.V Gouda	OK	OK4	100	1		113,45	1,135
		OK5	400	2		226,89	0,567
Sunset energietechnik GmbH	SUNstring 2200	String inverter	2200	3		1891,72	0,860
SMA america Inc.	Sunny Boy	String inverter	2500	3		1892,80	0,757
		EZacv-8	5000	4	3700	4175,86	0,835
		EZacv-9	10000	4	6850	7730,98	0,773

(Dollar naar Euro: 1,128)

Hieronder zijn de inverter prijzen (€/W_p) van de verschillende fabrikanten, gebaseerd op folder prijzen (per stuk afname), weergegeven in grafieken.



Bijlage 10 Kostenvariabiliteit van de PV-paneel keuze

In deze bijlage staan gegevens met betrekking tot prijzen van verschillende soorten PV-panelen en/of van verschillende fabrikanten/leveranciers. De prijzen zijn gebaseerd op folder prijzen (adviesprijzen bij afname per stuk), mits dit anders aangegeven is. Dit omdat voor de aanvraag van prijzen voor specifiekere doeleinden, concretere offertes verstuurd zouden moeten worden (dit was niet wenselijk in het kader van dit onderzoek). Wanneer daadwerkelijk overgegaan wordt richting concrete realisering van zonnecentrales en specifiek gerichte offertes, mag men rekening houden met mogelijkheden tot kwantumkorting. In de tabel hieronder zijn de opgevraagde technische en financiële specificaties weergegeven (scenario 1 t/m 8).

Tabel B.6: PV-panelen prijzen overzicht

Scenario	Merk en type PV-panelen	Zonnecellen	PV-paneel vermogen	PV-paneel opp.
		per paneel	(Nom.piekverm. (P_{mp}))	(m^2)
1	RSM 110 Shell Solar (Mc-Si)	54	109	1,039
2	SP150 Siemens solar (c-Si)	72	150	1,318
3	ST40 Siemens solar (CIS)	multiple layer cells	40	0,425
4	AP120 Astropower (c-Si)	36	120	0,974
5	ASE-300-DG-FT (RWE) (Mc-Si)*	216	300	2,420
6	KC120-1 (Kyocera solar) (Mc-Si)	36	120	0,929
7	US-64 Unisolar (Tr-j-cells)	Triple junction cells	64	1,013
8	PW1250 Photowatt (Mc-Si)	54	115	1,028

Scenario (vervolg)	aantal PV-panelen	Prijs per W_p	Prijs per paneel	Prijs per PV-paneel	totale kosten PV-panelen
	nodig (#)	(€)	(dollar)	(€)	(miljoen €)
1	45872	4,00 ^A			20,00
2	33334			1098,77 ^B	36,63
3	125000			347,17 ^B	43,40
4	41667			763,87 ^B	31,83
5	16667		822,50 ^C	928,28	15,47
6	41667		659,00 ^C	743,75	30,99
7	78125		364 ^C	410,81	32,09
8	43478	3,70 ^D			18,50

(Dollar naar Euro: 1,128)

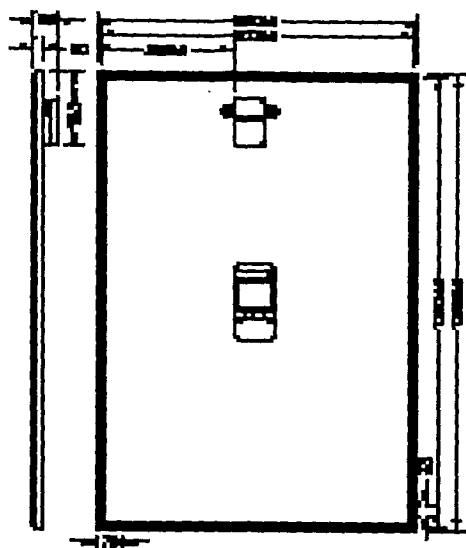
^A Prijs per W_p van scenario 1 is gebaseerd op basis van een grotere afname dan een consumenten afname.

^B Prijzen van scenario's 2 t/m 4 zijn afkomstig van de leverancier: Sunset Energietechnik GmbH.

^C Prijzen van scenario's 5 t/m 7 zijn afkomstig van de internetsite: <http://www.solarsense.com>.

^D Prijs per W_p van scenario 8 is gebaseerd op basis van een totaal afname van 1MW_p en is verkregen middels correspondentie.

* Nu voortaan RWE Solar GmbH, was tot voor kort ASE.



Mechanical specifications

The drawing above shows the side and back views of the RSM 110 solar module.

The aluminum frame is provided with a set of six slots on each side of the frame in which the bolts can be inserted. The six bolts (with square heads) are also located over almost the entire length of the frame. This provides a simple and easy-to-use mounting method for fixing the solar module to mechanical constructions.

For mounting purposes a set of 6 hex bolts M6 x 25 mm (with hex M6 and hex M6 is supplied together with each solar module).

Outside dimensions	1220 x 650 mm
Thickness (including back cover)	50 mm
Thickness (aluminum frame)	20 mm
Weight	14 kg

Electrical characteristics

Typical data at Standard Test Conditions (STC):
 (1000 W/m² irradiance level, AM 1.5 spectrum and 25 °C cell temperature)

Nominal peak power (P_{max})	109 W
Peak power voltage (V_{mp})	26.0 V
Peak power current (I_{mp})	4.2 A
Short circuit current (I_{sc})	4.5 A
Open circuit voltage (V_{oc})	32.3 V

The tolerance on the peak power is ± 3 %.

The calibration of the measurements at STC is traceable to the standard of the European Solar Test Institute (EST), dated however 1/1987.

The acceptance tolerance for Maximum Power Point

Typical data at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) conditions:
 (800 W/m² irradiance level, AM 1.5 spectrum and velocity 1 m/s, T_{amb} 20 °C)

T_{max}	44 °C
P_{max}	50 W
V_{mp}	23.3 V
I_{mp}	2.1 A
V_{oc}	28.3 V

Temperature coefficients

αP_{max}	-0.4 %/°C
αV_{mp}	-1.00 mV/°C
αI_{sc}	+0.2 mV/°C
αV_{oc}	-1.00 mV/°C

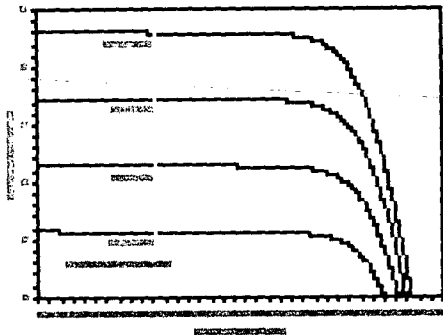
The relative reduction of module efficiency is 3% at an irradiance of 200 W/m² in relation to 1000 W/m² 25 °C AM 1.5.

Maximum system voltage 600 V

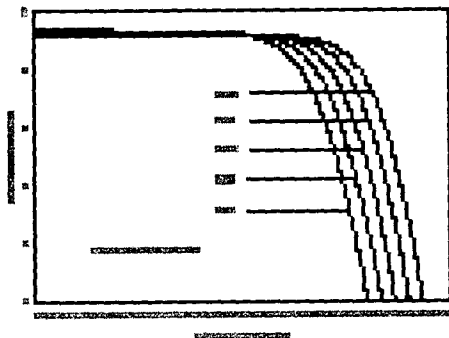
The data in this document conforms to the IEC 60904 standard.



Typical IV characteristics



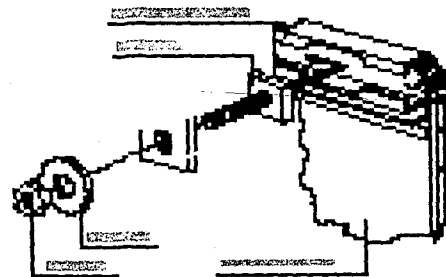
The IV characteristic above shows the typical performance of the solar module at various levels of irradiance.



The IV characteristic above shows the typical performance of the solar module at various cell temperatures.

Authorized Distributor:

Mounting example of solar module



The drawing above shows how the fasteners are to be inserted inside the module frame. The maximum torque for the fasteners is 3.0 Nm.

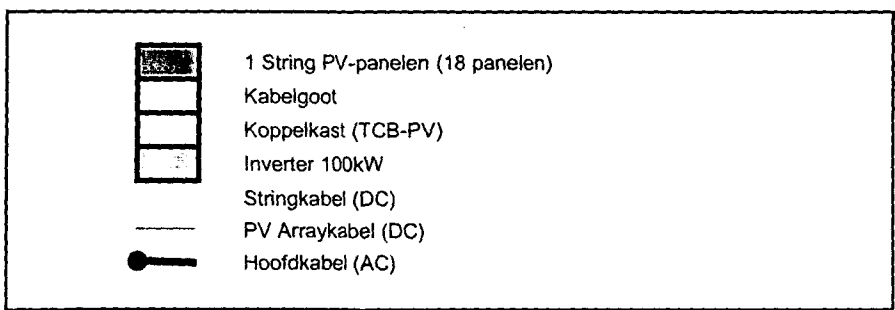
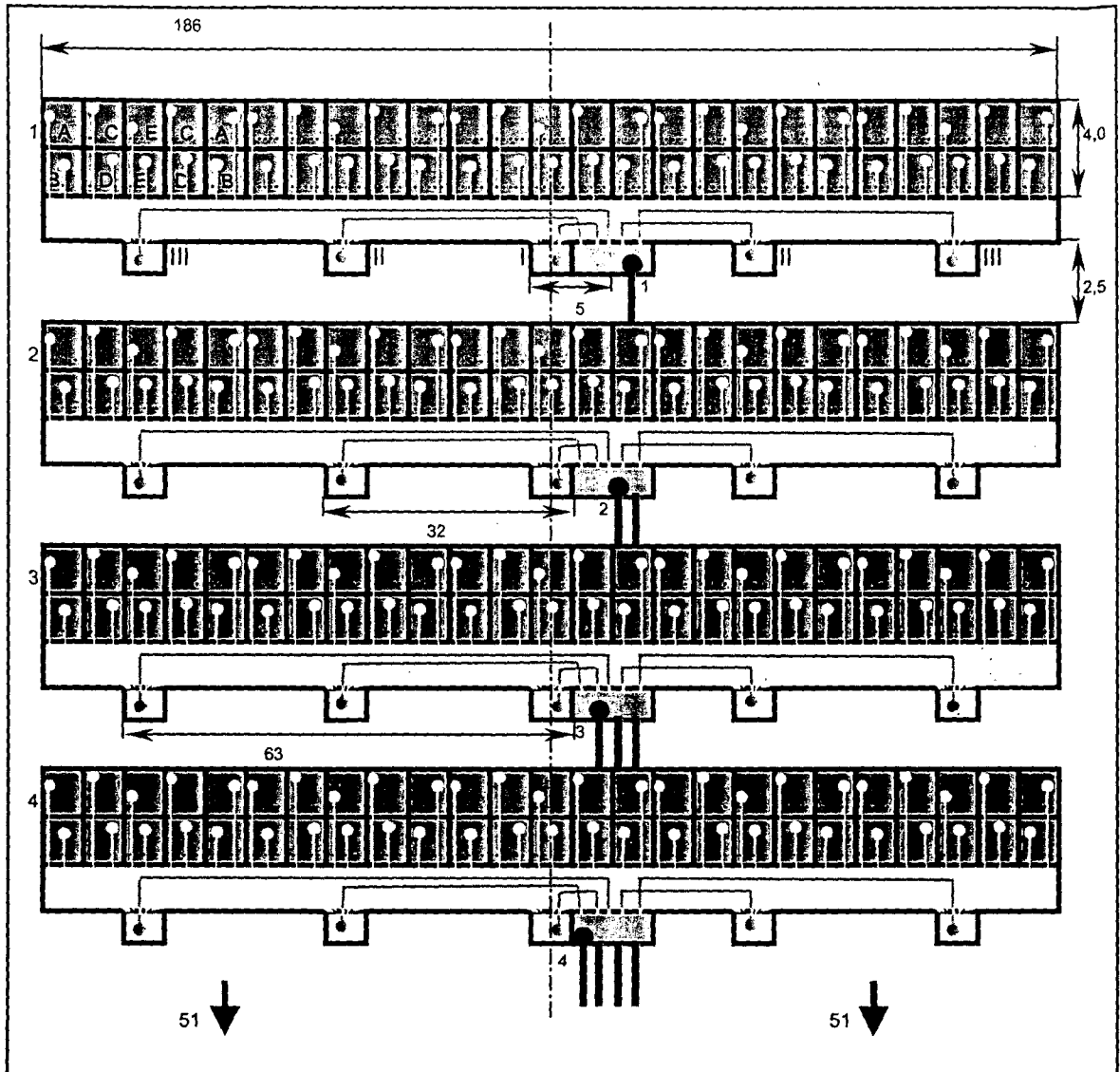
For detailed information about installation and wiring refer to the general installation manual EG 037.



**ELECTRICAL EQUIPMENT,
CHECK WITH YOUR INSTALLER.**

Copyright © 2010 Shell Solar Energy. All rights reserved. Shell, the Shell logo and other marks contained herein are trademarks of Shell International Chemical Company Limited. All other marks contained herein are the property of their respective owners. The information in this document is for general information only and does not constitute an offer or a contract. The information is subject to change without notice. The information is not intended to be used as a substitute for professional advice. The information is not intended to be used as a substitute for professional advice. The information is not intended to be used as a substitute for professional advice.

Bijlage 12 Het DC-principe zonnecentrale ontwerp



Bijlage 13 Bekabelingstructuur van het DC-principe ontwerp

Bekabeling DC-principe

Plaats	Omschr.	Kabelsoort	L (m)	Iont. (A)	Imp (A)	Uont. (V)	Kabel (naam)	Kabel (n*mm ²)	Imax. (A)	Imax. Bij # str.k.	R (Ω/km)	dU (V)	dU (%)	# p.rij o w (stuk)	# Centr. (Stuks)	# Centr. (m)	# Centr. (m) per soort	k.p.m. (Euro)	T.K.p.K. (Euro)
K.G.	Stringk. A	Stringk. (DC)	56	4,6	4,3	455,5	VDS	1*1,5	15,5	13,3 bij 10k.	13,3	3,43	0,75	10	510	28560			
K.G.	Stringk. B	Stringk. (DC)	49	4,6	4,3	455,5	VDS	1*1,5	15,5	13,3 bij 10k.	13,3	3,00	0,66	10	510	24990			
K.G.	Stringk. C	Stringk. (DC)	41	4,6	4,3	455,5	VDS	1*1,5	15,5	13,3 bij 10k.	13,3	2,51	0,55	10	510	20910			
K.G.	Stringk. D	Stringk. (DC)	34	4,6	4,3	455,5	VDS	1*1,5	15,5	13,3 bij 10k.	13,3	2,08	0,45	10	510	17340			
K.G.	Stringk. E	Stringk. (DC)	26	4,6	4,3	455,5	VDS	1*1,5	15,5	13,3 bij 10k.	13,3	1,59	0,35	10	510	13260	105060	0,230	24163,8
K.G.	Arrayk. I	Arrayk. (DC)	10	46	43	451	VULT mb	1*6	71	52,5 bij 4k.	3,08	1,42	0,32	1	51	510	510	1,080	550,8
K.G.	Arrayk. II	Arrayk. (DC)	64	46	43	451	VULT mb	1*10	98	72,5 bij 4k.	1,83	5,40	1,18	2	102	6528	6528	1,850	12076,8
K.G.	Arrayk. III	Arrayk. (DC)	126	46	43	451	VULT mb	1*16	131	96,9 bij 4k.	1,15	6,67	1,48	2	102	12852	12852	2,710	34828,92
Gr. (k1)	Hoofdk. 1	Hoofdk. (AC)	336	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	7,7	1,92	1	1	336			
Gr. (k1)	Hoofdk. 2	Hoofdk. (AC)	329	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	7,5	1,88	1	1	329			
Gr. (k1)	Hoofdk. 3	Hoofdk. (AC)	323	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	7,4	1,84	1	1	323			
Gr. (k1)	Hoofdk. 4	Hoofdk. (AC)	316	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	7,2	1,80	1	1	316			
Gr. (k1)	Hoofdk. 5	Hoofdk. (AC)	310	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	7,1	1,77	1	1	310			
Gr. (k1)	Hoofdk. 6	Hoofdk. (AC)	303	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,9	1,73	1	1	303			
Gr. (k2)	Hoofdk. 7	Hoofdk. (AC)	297	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,8	1,70	1	1	297			
Gr. (k2)	Hoofdk. 8	Hoofdk. (AC)	290	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,6	1,66	1	1	290			
Gr. (k2)	Hoofdk. 9	Hoofdk. (AC)	284	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,5	1,62	1	1	284			
Gr. (k2)	Hoofdk. 10	Hoofdk. (AC)	277	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,3	1,58	1	1	277			
Gr. (k2)	Hoofdk. 11	Hoofdk. (AC)	271	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,2	1,55	1	1	271			
Gr. (k2)	Hoofdk. 12	Hoofdk. (AC)	264	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	6,0	1,51	1	1	264			
Gr. (k3)	Hoofdk. 13	Hoofdk. (AC)	258	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,9	1,47	1	1	258			
Gr. (k3)	Hoofdk. 14	Hoofdk. (AC)	251	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,7	1,43	1	1	251			
Gr. (k3)	Hoofdk. 15	Hoofdk. (AC)	245	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,6	1,40	1	1	245			
Gr. (k3)	Hoofdk. 16	Hoofdk. (AC)	238	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,4	1,36	1	1	238			
Gr. (k3)	Hoofdk. 17	Hoofdk. (AC)	232	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,3	1,32	1	1	232			
Gr. (k3)	Hoofdk. 18	Hoofdk. (AC)	225	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,1	1,28	1	1	225			
Gr. (k4)	Hoofdk. 19	Hoofdk. (AC)	219	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	5,0	1,25	1	1	219			
Gr. (k4)	Hoofdk. 20	Hoofdk. (AC)	212	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,8	1,21	1	1	212			
Gr. (k4)	Hoofdk. 21	Hoofdk. (AC)	206	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,7	1,18	1	1	206			
Gr. (k4)	Hoofdk. 22	Hoofdk. (AC)	199	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,5	1,14	1	1	199			
Gr. (k4)	Hoofdk. 23	Hoofdk. (AC)	193	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,4	1,10	1	1	193			
Gr. (k4)	Hoofdk. 24	Hoofdk. (AC)	186	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,2	1,06	1	1	186			
Gr. (k5)	Hoofdk. 25	Hoofdk. (AC)	180	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,1	1,03	1	1	180			
Gr. (k5)	Hoofdk. 26	Hoofdk. (AC)	173	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	4,0	0,99	1	1	173			
Gr. (k5)	Hoofdk. 27	Hoofdk. (AC)	167	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	3,8	0,95	1	1	167			
Gr. (k5)	Hoofdk. 28	Hoofdk. (AC)	160	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	3,7	0,91	1	1	160			
Gr. (k5)	Hoofdk. 29	Hoofdk. (AC)	154	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	3,5	0,88	1	1	154			
Gr. (k5)	Hoofdk. 30	Hoofdk. (AC)	147	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	146 bij 6k.	0,0991	3,4	0,84	1	1	147			
Gr. (k6)	Hoofdk. 31	Hoofdk. (AC)	141	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	3,2	0,80	1	1	141			
Gr. (k6)	Hoofdk. 32	Hoofdk. (AC)	134	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	3,1	0,76	1	1	134			
Gr. (k6)	Hoofdk. 33	Hoofdk. (AC)	128	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,9	0,73	1	1	128			
Gr. (k6)	Hoofdk. 34	Hoofdk. (AC)	121	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,8	0,69	1	1	121			
Gr. (k6)	Hoofdk. 35	Hoofdk. (AC)	115	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,6	0,66	1	1	115			

Gr. (k6)	Hoofdk. 36	Hoofdk. (AC)	108	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,5	0,62	1	1	108			
Gr. (k6)	Hoofdk. 37	Hoofdk. (AC)	102	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,3	0,58	1	1	102			
Gr. (k7)	Hoofdk. 38	Hoofdk. (AC)	95	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,2	0,54	1	1	95			
Gr. (k7)	Hoofdk. 39	Hoofdk. (AC)	89	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	2,0	0,51	1	1	89			
Gr. (k7)	Hoofdk. 40	Hoofdk. (AC)	82	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,9	0,47	1	1	82			
Gr. (k7)	Hoofdk. 41	Hoofdk. (AC)	76	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,7	0,43	1	1	76			
Gr. (k7)	Hoofdk. 42	Hoofdk. (AC)	69	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,6	0,39	1	1	69			
Gr. (k7)	Hoofdk. 43	Hoofdk. (AC)	63	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,4	0,36	1	1	63			
Gr. (k7)	Hoofdk. 44	Hoofdk. (AC)	56	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,3	0,32	1	1	56			
Gr. (k8)	Hoofdk. 45	Hoofdk. (AC)	50	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,1	0,29	1	1	50			
Gr. (k8)	Hoofdk. 46	Hoofdk. (AC)	43	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	1,0	0,25	1	1	43			
Gr. (k8)	Hoofdk. 47	Hoofdk. (AC)	37	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	0,8	0,21	1	1	37			
Gr. (k8)	Hoofdk. 48	Hoofdk. (AC)	30	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	0,7	0,17	1	1	30			
Gr. (k8)	Hoofdk. 49	Hoofdk. (AC)	24	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	0,5	0,14	1	1	24			
Gr. (k8)	Hoofdk. 50	Hoofdk. (AC)	17	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	0,4	0,10	1	1	17			
Gr. (k8)	Hoofdk. 51	Hoofdk. (AC)	11	140	139,3	230	VULTA mb	3*185	304	137 bij 7k.	0,0991	0,3	0,06	1	1	11	8836	99,100	875647,6

Totale kosten bekabeling: 947268

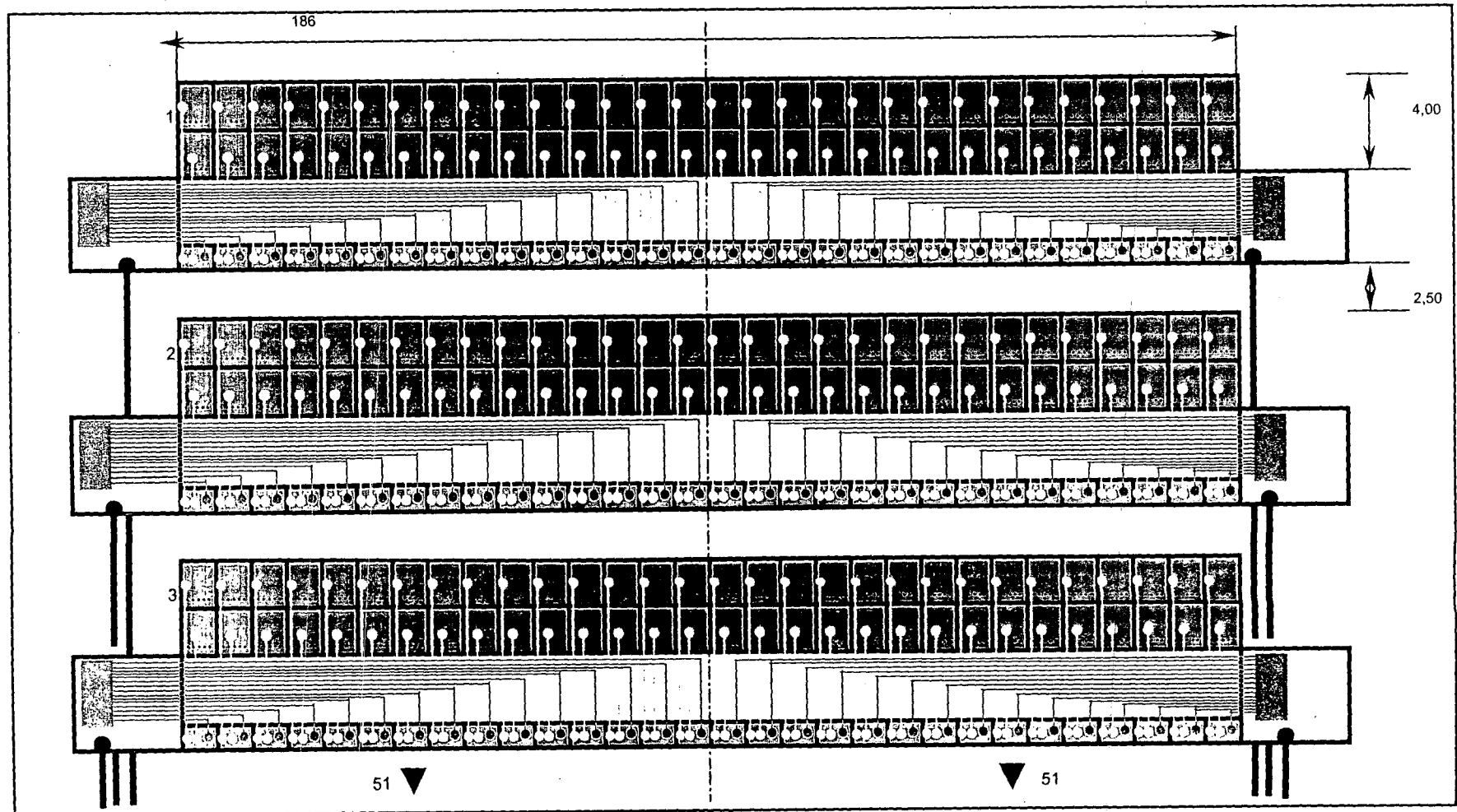
K.G.	Kabelgoot
Gr. (kX)	Grond (keten X)
L:	Kabellengte
Imp:	Stroomsterkte welke aanwezig zal zijn, wanneer de PV-panelen allemaal in het maximale vermogenspunt belast worden
Uont.:	Ontwerp spanning
Iont.:	Ontwerp stroomsterkte
I _{max.} :	Maximale stroombelasting kabel
I _{max} bij # str.k.:	Maximale stroombelasting kabel bij bepaald aantal stroomketens naast elkaar
R:	Geliderweerstand bij T= 20 C
dU:	Spanningsverlies
# p.rij_o_w	Aantal stuks benodigd per rij_Oost_west
# Centr.	Aantal stuks/meter benodigd voor gehele zonnecentrale
k.p.m.	Kosten per meter
T.K.p.K.	Totale kosten per kabelsoort

$$dU: (L * I_{ont.} * R * n) / 1000 \quad n = \# \text{ stroomketens (hier 1 of 2)} \quad \text{DC-bekabeling en AC-1-fasig}$$

$$dU: (1,73 * I_{ont.} * L * R * \cos\phi) / 1000 \quad \text{AC-3-fasig}$$

Op basis van NEN1010-5, Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties, 5e druk, november 1996.
Prijzen uit catalogus Draka Kabel B.V. van 4 februari 2002: Standaardprijslijst in Euro's (Bruto adviesprijzen)

Bijlage 14 Het string-inverter-principe zonnecentrale ontwerp





1 String PV-panelen (15 panelen)

Kabelgoot

AC Koppelkast

Inverter 2500W (SMA Sunnyboy)



Stringkabel (DC)



AC-kabel van inverter naar koppelkast (1-fasig)



AC kabel (3-fasig)

Bijlage 15 Bekabelingstructuur van het string-inverter-principe ontwerp

String-inverter-principe

Plaats	Omschr.	Kabelsoort	L (m)	Iont. (A)	Iimp (A)	Uont. (V)	Kabel (naam)	Kabel (n*mm ²)	I _{max} . (A)	I _{max} . Bij # str.k.	R (Ω/km)	dU (V)	dU (%)	# p.rij o w (stukks)	# Centr. (Stuks)	# Centr. (m)	# Centr. (m per soort)	k.p.m. (Euro)	T.K.p.K. (Euro)
K.G.	Stringk.	Stringk. (DC)	26	4,6	4,3	379,5	VDS	1*1,5	15,5	14,7A bij 2k.	13,3	1,5	0,38	60	3060	79560	79560	0,23	18298,8
K.G.	Arrayk. A	Arrayk. (AC)	98	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*10	92	56,2A bij 15k.	1,83	5,1	2,20	2	102	9996			
K.G.	Arrayk. B	Arrayk. (AC)	92	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*10	92	56,2A bij 15k.	1,83	4,7	2,10	2	102	9384			
K.G.	Arrayk. C	Arrayk. (AC)	86	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*10	92	56,2A bij 15k.	1,83	4,4	1,90	2	102	8772	28152	7,57	213110,64
K.G.	Arrayk. D	Arrayk. (AC)	79	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*6	58	35,4A bij 15k.	3,08	6,9	2,98	2	102	8058			
K.G.	Arrayk. E	Arrayk. (AC)	73	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*6	58	35,4A bij 15k.	3,08	6,3	2,60	2	102	7446			
K.G.	Arrayk. F	Arrayk. (AC)	67	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*6	58	35,4A bij 15k.	3,08	5,8	2,50	2	102	6834			
K.G.	Arrayk. G	Arrayk. (AC)	61	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*6	58	35,4A bij 15k.	3,08	5,3	2,30	2	102	6222			
K.G.	Arrayk. H	Arrayk. (AC)	55	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*6	58	35,4A bij 15k.	3,08	4,8	2,10	2	102	5610	34170	5,05	172558,5
K.G.	Arrayk. I	Arrayk. (AC)	48	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*4	45	27,5A bij 15k.	4,61	6,2	2,71	2	102	4896			
K.G.	Arrayk. J	Arrayk. (AC)	42	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*4	45	27,5A bij 15k.	4,61	5,5	2,40	2	102	4284			
K.G.	Arrayk. K	Arrayk. (AC)	36	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*4	45	27,5A bij 15k.	4,61	4,7	2,00	2	102	3672	12852	3,84	49351,68
K.G.	Arrayk. L	Arrayk. (AC)	30	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*2,5	33	20,4A bij 15k.	7,41	6,3	2,70	2	102	3060			
K.G.	Arrayk. M	Arrayk. (AC)	24	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*2,5	33	20,4A bij 15k.	7,41	5,0	2,20	2	102	2448			
K.G.	Arrayk. N	Arrayk. (AC)	17	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*2,5	33	20,4A bij 15k.	7,41	3,6	1,50	2	102	1734			
K.G.	Arrayk. O	Arrayk. (AC)	11	14,1	13,3	230	VULTO mb	2*2,5	33	20,4A bij 15k.	7,41	2,3	0,99	2	102	1122	8364	2,83	23670,12
Gr. (k1)	Hoofdk.1	Hoofdk. (AC)	336	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,9	1,98	2	2	672			
Gr. (k1)	Hoofdk.2	Hoofdk. (AC)	329	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,7	1,94	2	2	658			
Gr. (k1)	Hoofdk.3	Hoofdk. (AC)	323	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,6	1,90	2	2	646			
Gr. (k1)	Hoofdk.4	Hoofdk. (AC)	316	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,4	1,86	2	2	632			
Gr. (k1)	Hoofdk.5	Hoofdk. (AC)	310	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,3	1,82	2	2	620			
Gr. (k1)	Hoofdk.6	Hoofdk. (AC)	303	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,1	1,78	2	2	606			
Gr. (k1)	Hoofdk.7	Hoofdk. (AC)	297	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	7,0	1,75	2	2	594			
Gr. (k1)	Hoofdk.8	Hoofdk. (AC)	290	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	6,8	1,71	2	2	580			
Gr. (k1)	Hoofdk.9	Hoofdk. (AC)	284	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	6,7	1,67	2	2	568			
Gr. (k1)	Hoofdk.10	Hoofdk. (AC)	277	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	6,5	1,63	2	2	554			
Gr. (k2)	Hoofdk.11	Hoofdk. (AC)	271	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	6,4	1,59	2	2	542			
Gr. (k2)	Hoofdk.12	Hoofdk. (AC)	264	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	6,2	1,55	2	2	528			
Gr. (k2)	Hoofdk.13	Hoofdk. (AC)	258	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	6,1	1,52	2	2	516			
Gr. (k2)	Hoofdk.14	Hoofdk. (AC)	251	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,9	1,48	2	2	502			
Gr. (k2)	Hoofdk.15	Hoofdk. (AC)	245	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,8	1,44	2	2	490			
Gr. (k2)	Hoofdk.16	Hoofdk. (AC)	238	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,6	1,40	2	2	476			
Gr. (k2)	Hoofdk.17	Hoofdk. (AC)	232	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,5	1,37	2	2	464			
Gr. (k2)	Hoofdk.18	Hoofdk. (AC)	225	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,3	1,32	2	2	450			
Gr. (k2)	Hoofdk.19	Hoofdk. (AC)	219	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,2	1,29	2	2	438			
Gr. (k2)	Hoofdk.20	Hoofdk. (AC)	212	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	5,0	1,25	2	2	424			
Gr. (k3)	Hoofdk.21	Hoofdk. (AC)	206	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	4,8	1,21	2	2	412			
Gr. (k3)	Hoofdk.22	Hoofdk. (AC)	199	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	4,7	1,17	2	2	398			
Gr. (k3)	Hoofdk.23	Hoofdk. (AC)	193	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	4,5	1,14	2	2	386			
Gr. (k3)	Hoofdk.24	Hoofdk. (AC)	186	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	4,4	1,09	2	2	372			
Gr. (k3)	Hoofdk.25	Hoofdk. (AC)	180	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	4,2	1,06	2	2	360			
Gr. (k3)	Hoofdk.26	Hoofdk. (AC)	173	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	4,1	1,02	2	2	346			
Gr. (k3)	Hoofdk.27	Hoofdk. (AC)	167	75	74,2	230	VULTA mb	3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,9	0,98	2	2	334			

Gr. (k3)	Hoofdk.28	Hoofdk. (AC)	160	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,8	0,94	2	2	320			
Gr. (k3)	Hoofdk.29	Hoofdk. (AC)	154	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,6	0,91	2	2	308			
Gr. (k3)	Hoofdk.30	Hoofdk. (AC)	147	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,5	0,86	2	2	294			
Gr. (k4)	Hoofdk.31	Hoofdk. (AC)	141	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,3	0,83	2	2	282			
Gr. (k4)	Hoofdk.32	Hoofdk. (AC)	134	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,2	0,79	2	2	268			
Gr. (k4)	Hoofdk.33	Hoofdk. (AC)	128	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	3,0	0,75	2	2	256			
Gr. (k4)	Hoofdk.34	Hoofdk. (AC)	121	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	2,8	0,71	2	2	242			
Gr. (k4)	Hoofdk.35	Hoofdk. (AC)	115	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	2,7	0,68	2	2	230			
Gr. (k4)	Hoofdk.36	Hoofdk. (AC)	108	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	2,5	0,64	2	2	216			
Gr. (k4)	Hoofdk.37	Hoofdk. (AC)	102	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	2,4	0,60	2	2	204			
Gr. (k4)	Hoofdk.38	Hoofdk. (AC)	95	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	2,2	0,56	2	2	190			
Gr. (k4)	Hoofdk.39	Hoofdk. (AC)	89	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	2,1	0,52	2	2	178			
Gr. (k4)	Hoofdk.40	Hoofdk. (AC)	82	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,9	0,48	2	2	164			
Gr. (k5)	Hoofdk.41	Hoofdk. (AC)	76	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,8	0,45	2	2	152			
Gr. (k5)	Hoofdk.42	Hoofdk. (AC)	69	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,6	0,41	2	2	138			
Gr. (k5)	Hoofdk.43	Hoofdk. (AC)	63	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,5	0,37	2	2	126			
Gr. (k5)	Hoofdk.44	Hoofdk. (AC)	56	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,3	0,33	2	2	112			
Gr. (k5)	Hoofdk.45	Hoofdk. (AC)	50	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,2	0,29	2	2	100			
Gr. (k5)	Hoofdk.46	Hoofdk. (AC)	43	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	1,0	0,25	2	2	86			
Gr. (k5)	Hoofdk.47	Hoofdk. (AC)	37	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	0,9	0,22	2	2	74			
Gr. (k5)	Hoofdk.48	Hoofdk. (AC)	30	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	0,7	0,18	2	2	60			
Gr. (k5)	Hoofdk.49	Hoofdk. (AC)	24	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	0,6	0,14	2	2	48			
Gr. (k5)	Hoofdk.50	Hoofdk. (AC)	17	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	0,4	0,10	2	2	34			
Gr. (k5)	Hoofdk.51	Hoofdk. (AC)	11	75	74,2	230	VULTA mb 3*95	211	86,5A bij 10k.	0,193	0,3	0,06	2	2	22	17672	53,70	948986,4

Totale kosten bekabeling: 1425976

K.G.	Kabelgoot
Gr. (kX)	Grond (keten X)
L:	Kabellengte
Impp:	Stroomsterkte welke aanwezig zal zijn, wanneer de PV-panelen allemaal in het maximale vermogenspunt belast worden
Uont:	Ontwerp spanning
Iont:	Ontwerp stroomsterkte
Imax.:	Maximale stroombelasting kabel
Imax bij # str.k.:	Maximale stroombelasting kabel bij bepaald aantal stroomketens naast elkaar
R:	Geleiderweerstand bij T= 20 C
dU:	Spanningsverlies
# p.rij_o_w	Aantal stuks benodigd per rij_Oost_west
# Centr.	Aantal stuks/meter benodigd voor gehele zonnecentrale
k.p.m.	Kosten per meter
T.K.p.K.	Totale kosten per kabelsoort

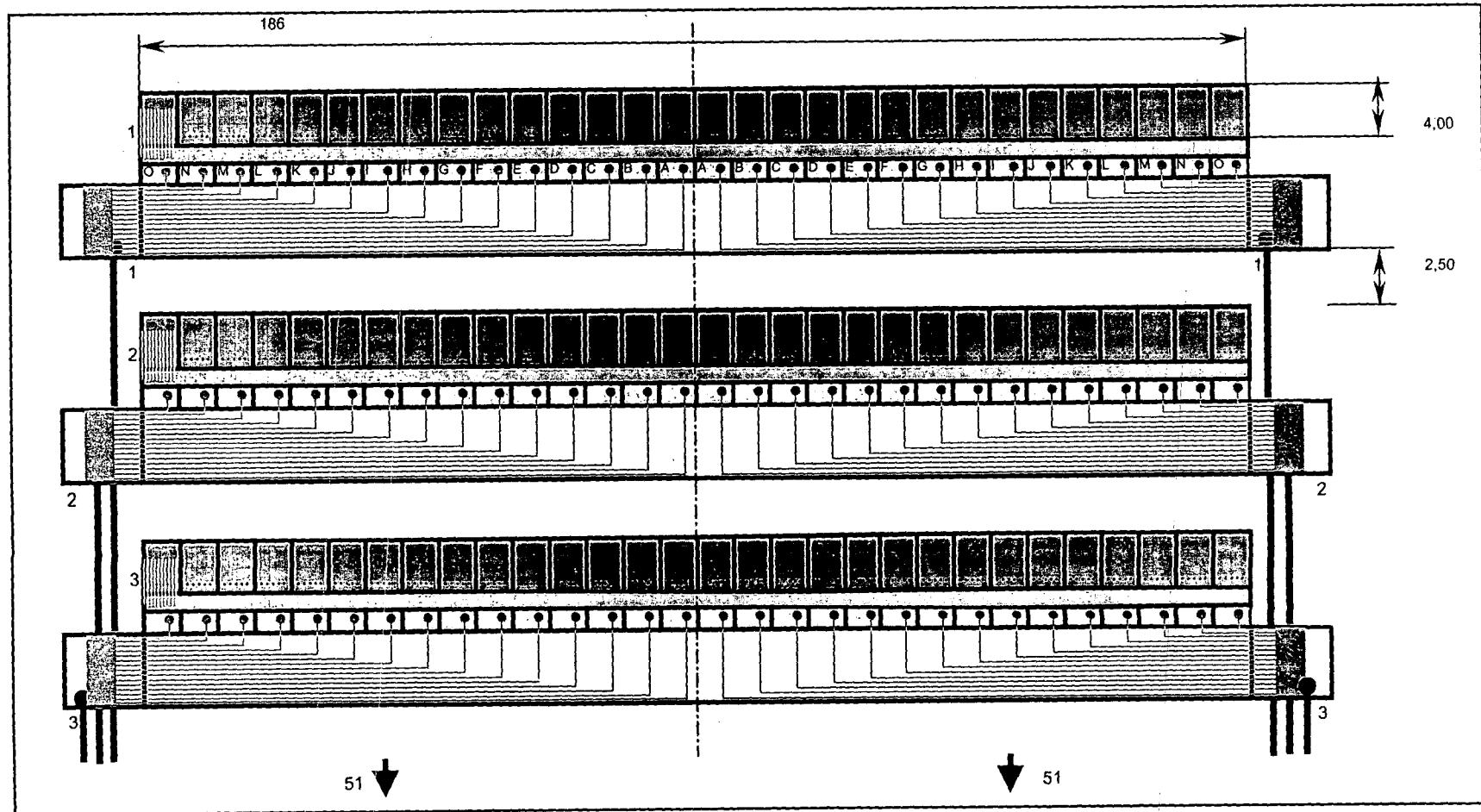
$$dU: (L * Iont * R * n) / 1000 \quad n = \# \text{ stroomketens (hier 1 of 2)} \quad \text{DC-bekabeling en AC-1-fasig}$$

$$dU: (1,73 * Iont * L * R * \cos\phi) / 1000 \quad \text{AC-3-fasig}$$

Op basis van NEN1010-5, Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties, 5e druk, november 1996.

Prijzen uit catalogus Draka Kabel B.V. van 4 februari 2002: Standaardprijslijst in Euro's (Bruto adviesprijzen), en
Prijzen uit catalogus Technische Unie/ Elektrotechniek/ Installatietechniek (Brutoprijzen, exclusief installateurskosten, in Euro's)

Bijlage 16 Het AC-principe zonnecentrale ontwerp





10 Strings van ieder 3 PV-panelen

Kabelgoot met daarin liggende de inverters

AC Koppelkasten (kleine koppelingen en grote kasten)

Inverter 400W (OK5 van NKF kabel B.V.)



Stringkabels (DC), 10 per paars hokje



AC-kabel van inverter naar grote koppelkast (1-fasig)



AC kabel (3-fasig)

Bijlage 17 Bekabelingstructuur van het AC-principe ontwerp

Bekabeling AC-principe

Plaats	Omschr.	Kabelsoort	L (m)	lont. (A)	Imp (A)	Uont. (V)	Kabel (naam)	Kabel (n*mm ²)	Imax. (A)	Imax. Bij # str.k.	R (O/km)	dU (V)	dU (%)	# p.rij o w (stukks)	# Centr. (Stuks)	# Centr. (m)	# Centr. (m per soort)	k.p.m. (Euro)	T.K.p.K. (Euro)
K.G.	Stringk.	Stringk. (DC)	6,5	4,6	4,3	75,9	VDS	1*1,5	15,5	15,5A bij 1k.	13,3	0,80	1,05	300	15300	99450	99450	0,230	22873,5
K.G.	Arrayk. A	Arrayk. (AC)	105	14	13,1	230	VULT mb	2*10	81,0	49,4A bij 15k.	1,83	5,00	2,20	2	51	5355			
K.G.	Arrayk. B	Arrayk. (AC)	99	14	13,1	230	VULT mb	2*10	81,0	49,4A bij 15k.	1,83	4,75	2,10	2	51	5049			
K.G.	Arrayk. C	Arrayk. (AC)	93	14	13,1	230	VULT mb	2*10	81,0	49,4A bij 15k.	1,83	4,46	1,94	2	51	4743	15147	4,320	65435,0
K.G.	Arrayk. D	Arrayk. (AC)	86	14	13,1	230	VULT mb	2*6	58,0	35,4A bij 15k.	3,08	6,93	3,00	2	51	4386			
K.G.	Arrayk. E	Arrayk. (AC)	80	14	13,1	230	VULT mb	2*6	58,0	35,4A bij 15k.	3,08	6,45	2,80	2	51	4080			
K.G.	Arrayk. F	Arrayk. (AC)	74	14	13,1	230	VULT mb	2*6	58,0	35,4A bij 15k.	3,08	5,97	2,60	2	51	3774			
K.G.	Arrayk. G	Arrayk. (AC)	68	14	13,1	230	VULT mb	2*6	58,0	35,4A bij 15k.	3,08	5,49	2,38	2	51	3468			
K.G.	Arrayk. H	Arrayk. (AC)	62	14	13,1	230	VULT mb	2*6	58,0	35,4A bij 15k.	3,08	5,00	2,20	2	51	3162	18870	2,200	41514,0
K.G.	Arrayk. I	Arrayk. (AC)	55	14	13,1	230	VULT mb	2*4	45,0	27,5A bij 15k.	4,61	6,64	2,90	2	51	2805			
K.G.	Arrayk. J	Arrayk. (AC)	49	14	13,1	230	VULT mb	2*4	45,0	27,5A bij 15k.	4,61	5,92	2,57	2	51	2499			
K.G.	Arrayk. K	Arrayk. (AC)	43	14	13,1	230	VULT mb	2*4	45,0	27,5A bij 15k.	4,61	5,19	2,26	2	51	2193			
K.G.	Arrayk. L	Arrayk. (AC)	37	14	13,1	230	VULT mb	2*4	45,0	27,5A bij 15k.	4,61	4,47	1,94	2	51	1887	9384	1,570	14732,9
K.G.	Arrayk. M	Arrayk. (AC)	31	14	13,1	230	VULT mb	2*2,5	33,0	20,1A bij 15k.	7,41	6,01	2,60	2	51	1581			
K.G.	Arrayk. N	Arrayk. (AC)	24	14	13,1	230	VULT mb	2*2,5	33,0	20,1A bij 15k.	7,41	4,66	2,00	2	51	1224			
K.G.	Arrayk. O	Arrayk. (AC)	18	14	13,1	230	VULT mb	2*2,5	33,0	20,1A bij 15k.	7,41	3,50	1,50	2	51	918	3723	1,000	3723,0
Gr. (k1)	Hoofdk.1	Hoofdk. (AC)	336	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	10,36	2,59	2	2	672			
Gr. (k1)	Hoofdk.2	Hoofdk. (AC)	329	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	10,14	2,54	2	2	658			
Gr. (k1)	Hoofdk.3	Hoofdk. (AC)	323	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	9,96	2,49	2	2	646			
Gr. (k1)	Hoofdk.4	Hoofdk. (AC)	316	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	9,74	2,44	2	2	632			
Gr. (k1)	Hoofdk.5	Hoofdk. (AC)	310	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	9,56	2,39	2	2	620			
Gr. (k1)	Hoofdk.6	Hoofdk. (AC)	303	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	9,34	2,34	2	2	606			
Gr. (k1)	Hoofdk.7	Hoofdk. (AC)	297	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	9,16	2,29	2	2	594			
Gr. (k1)	Hoofdk.8	Hoofdk. (AC)	290	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	8,94	2,24	2	2	580			
Gr. (k1)	Hoofdk.9	Hoofdk. (AC)	284	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	8,76	2,19	2	2	568			
Gr. (k1)	Hoofdk.10	Hoofdk. (AC)	277	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	8,54	2,14	2	2	554			
Gr. (k2)	Hoofdk.11	Hoofdk. (AC)	271	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	8,36	2,09	2	2	542			
Gr. (k2)	Hoofdk.12	Hoofdk. (AC)	264	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	8,14	2,03	2	2	528			
Gr. (k2)	Hoofdk.13	Hoofdk. (AC)	258	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	7,95	1,99	2	2	516			
Gr. (k2)	Hoofdk.14	Hoofdk. (AC)	251	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	7,74	1,93	2	2	502			
Gr. (k2)	Hoofdk.15	Hoofdk. (AC)	245	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	7,55	1,89	2	2	490			
Gr. (k2)	Hoofdk.16	Hoofdk. (AC)	238	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	7,34	1,83	2	2	476			
Gr. (k2)	Hoofdk.17	Hoofdk. (AC)	232	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	7,15	1,79	2	2	464			
Gr. (k2)	Hoofdk.18	Hoofdk. (AC)	225	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	6,94	1,73	2	2	450			
Gr. (k2)	Hoofdk.19	Hoofdk. (AC)	219	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	6,75	1,69	2	2	438			
Gr. (k2)	Hoofdk.20	Hoofdk. (AC)	212	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	6,54	1,63	2	2	424			
Gr. (k3)	Hoofdk.21	Hoofdk. (AC)	206	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	6,35	1,59	2	2	412			
Gr. (k3)	Hoofdk.22	Hoofdk. (AC)	199	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	6,14	1,53	2	2	398			
Gr. (k3)	Hoofdk.23	Hoofdk. (AC)	193	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	5,95	1,49	2	2	386			
Gr. (k3)	Hoofdk.24	Hoofdk. (AC)	186	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	5,73	1,43	2	2	372			
Gr. (k3)	Hoofdk.25	Hoofdk. (AC)	180	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	5,55	1,39	2	2	360			
Gr. (k3)	Hoofdk.26	Hoofdk. (AC)	173	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	5,33	1,33	2	2	346			
Gr. (k3)	Hoofdk.27	Hoofdk. (AC)	167	70	68,7	230	VULTA mb	3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	5,15	1,29	2	2	334			

Gr. (k3)	Hoofdk.28	Hoofdk. (AC)	160	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	4,93	1,23	2	2	320			
Gr. (k3)	Hoofdk.29	Hoofdk. (AC)	154	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	4,75	1,19	2	2	308			
Gr. (k3)	Hoofdk.30	Hoofdk. (AC)	147	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	4,53	1,13	2	2	294			
Gr. (k4)	Hoofdk.31	Hoofdk. (AC)	141	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	4,35	1,09	2	2	282			
Gr. (k4)	Hoofdk.32	Hoofdk. (AC)	134	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	4,13	1,03	2	2	268			
Gr. (k4)	Hoofdk.33	Hoofdk. (AC)	128	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	3,95	0,99	2	2	256			
Gr. (k4)	Hoofdk.34	Hoofdk. (AC)	121	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	3,73	0,93	2	2	242			
Gr. (k4)	Hoofdk.35	Hoofdk. (AC)	115	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	3,55	0,89	2	2	230			
Gr. (k4)	Hoofdk.36	Hoofdk. (AC)	108	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	3,33	0,83	2	2	216			
Gr. (k4)	Hoofdk.37	Hoofdk. (AC)	102	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	3,14	0,79	2	2	204			
Gr. (k4)	Hoofdk.38	Hoofdk. (AC)	95	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	2,93	0,73	2	2	190			
Gr. (k4)	Hoofdk.39	Hoofdk. (AC)	89	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	2,74	0,69	2	2	178			
Gr. (k4)	Hoofdk.40	Hoofdk. (AC)	82	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	73,0A bij 10k.	0,268	2,53	0,63	2	2	164			
Gr. (k5)	Hoofdk.41	Hoofdk. (AC)	76	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	2,34	0,59	2	2	152			
Gr. (k5)	Hoofdk.42	Hoofdk. (AC)	69	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	2,13	0,53	2	2	138			
Gr. (k5)	Hoofdk.43	Hoofdk. (AC)	63	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	1,94	0,49	2	2	126			
Gr. (k5)	Hoofdk.44	Hoofdk. (AC)	56	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	1,73	0,43	2	2	112			
Gr. (k5)	Hoofdk.45	Hoofdk. (AC)	50	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	1,54	0,39	2	2	100			
Gr. (k5)	Hoofdk.46	Hoofdk. (AC)	43	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	1,33	0,33	2	2	86			
Gr. (k5)	Hoofdk.47	Hoofdk. (AC)	37	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	1,14	0,29	2	2	74			
Gr. (k5)	Hoofdk.48	Hoofdk. (AC)	30	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	0,92	0,23	2	2	60			
Gr. (k5)	Hoofdk.49	Hoofdk. (AC)	24	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	0,74	0,18	2	2	48			
Gr. (k5)	Hoofdk.50	Hoofdk. (AC)	17	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	0,52	0,13	2	2	34			
Gr. (k5)	Hoofdk.51	Hoofdk. (AC)	11	70	68,7	230	VULTA mb 3*70	178	71,2A bij 11k.	0,268	0,34	0,08	2	2	22	17672	40,70	719250,4

Totale kosten bekabeling: **867529**

K.G.	Kabelgoot
Gr. (kX)	Grond (keten X)
L:	Kabellengte
Impp:	Stroomsterkte welke aanwezig zal zijn, wanneer de PV-panelen allemaal in het maximale vermogenspunt belast worden
Uont.:	Ontwerp spanning
Iont.:	Ontwerp stroomsterkte
Imax.:	Maximale stroombelasting kabel
Imax bij # str.k.:	Maximale stroombelasting kabel bij bepaald aantal stroomketens naast elkaar
R:	Geleiderweerstand bij T= 20 C
dU:	Spanningsverlies
# p.rij_o_w	Aantal stuks benodigd per rij_Oost_west
# Centr.	Aantal stuks/meter benodigd voor gehele zonnecentrale
k.p.m.	Kosten per meter
T.K.p.K.	Totale kosten per kabelsoort

$$dU: (L * Iont. * R * n) / 1000 \quad n = \# \text{ stroomketens (hier 1 of 2)} \quad \text{DC-bekabeling en AC-1-fasig}$$

$$dU: (1,73 * Iont. * L * R * \cos\phi) / 1000 \quad \text{AC-3-fasig}$$

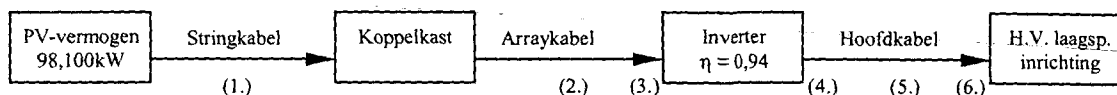
Op basis van NEN1010-5, Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties, 5e druk, november 1996.

Prijzen uit catalogus Draka Kabel B.V. van 4 februari 2002: Standaardprijslijst in Euro's (Bruto adviesprijzen)

Bijlage 18 Berekeningen van de vermogensverliezen

Om aan te geven hoe de vermogensverlies berekeningen hebben plaatsgevonden, worden in deze bijlage de verschillende vermogensverliezen berekend voor het DC-principe ontwerp (het string-inverter-principe en AC-principe ontwerp zijn op analoge wijze berekend).

DC-principe:



(1.)

Gemiddelde spanningsverlies (dU) in de stringkabels (DC): 2,52V (uit bijlage 13)

Gemiddelde vermogensverlies (dP) in de stringkabels: $dP = 1 * dU * I_{mpp} = 1 * 2,52 * 4,3 = 10,84W$ per stringkabel. Per rij_oost_west (50 stringkabels) is dit dus: 542W. Voor de gehele zonnecentrale (51 rijen_oost_west) komt dit op: 27,64kW.

(2.)

Gemiddelde spanningsverlies (dU) in de arraykabels (DC): 2,02V (uit bijlage 13)

Gemiddelde vermogensverlies (dP) in de arraykabels: $dP = 1 * dU * I_{mpp} = 1 * 2,02 * 43 = 86,86W$ per arraykabel. Per rij_oost_west (5 arraykabels) is dit dus: 434,3W. Voor de gehele zonnecentrale (52 rijen_oost_west) komt dit op: 22,15kW

(3.)

Aan de ingang van de inverter is een vermogen van $98,100 - 0,542 - 0,434 = 97,124kW$ aanwezig.

(4.)

Het rendement van de inverter bedraagt 94%, waardoor aan de achterzijde van de inverter nog een vermogen van $0,94 * 97,124 = 91,296kW$ overblijft. Het verlies per inverter en in dit ontwerp dus ook per rij_oost_west, bedraagt: $97,124 - 91,296 = 5,828kW$. Voor de gehele zonnecentrale komt dit op: $51 * 5,828 = 297,23kW$.

(5.)

Gemiddelde spanningsverlies (dU) in de hoofdkabels (AC, 3-fasig): 3,96V (uit bijlage 13)

Gemiddelde vermogensverlies (dP) in de hoofdkabels: $dP = 3 * dU * I_{mpp} = 3 * 3,96 * 139,3 = 1654,9W$ (maal 3 omdat er drie geleiders zijn!). Voor de gehele zonnecentrale komt dit neer op een vermogensverlies van 84,34kW.

(6.)

Het vermogen van één rij_oost_west is op de hoofd verdeel laagspanningsinrichting nog: $91,296 - 1,6549 = 89,641kW$. Voor de gehele centrale is het vermogen op de hoofd verdeel laagspanningsinrichting: 4571,7kW (opgesteld PV-vermogen: 5003,1kW). Dit betekent een totaal vermogensverlies van: $5003,1 - 4571,7 = 431,4 kW$ (=8,62%).

Bijlage 19 De werkgebieden van het ALTENER programma

A1. Activiteiten met een relevantie voor energie efficiëntie én hernieuwbare energie:

- gebouwen met geoptimaliseerde toepassingen voor energie-efficiëntie en hernieuwbare energie;
- warmte/kracht toepassingen (inclusief stadsverwarming en koeling);
- lokale en regionale energie planning;
- brandstoffen uit hernieuwbare bronnen;
- integratie in andere gebieden, zoals industrieel beleid en ruimtelijke ordening.

Projecten moeten worden ingediend op basis van het dominerend aspect: voor energie-efficiëntie in SAVE en voor hernieuwbare energie in ALTENER.

A2. Toepassing van good practice resultaten

op het gebied 'energie efficiëntie':

- verwarming, koeling, onderhoud en architectonische aspecten van gebouwen;
- transport, met name benchmarking of emissies en brandstofverbruik;
- industriële toepassingen van WKK.

op het gebied 'hernieuwbare energie':

- groene elektriciteit;
- hybride energieopwekking;
- hernieuwbare bronnen voor warmte distributienetten;
- hernieuwbare brandstoffen;
- grootschalig gebruik van zonneboilers voor huishoudelijke toepassingen;
- netgekoppelde PV-systemen voor huishoudens en bedrijven.

A3. Specifieke acties

op het gebied 'energie-efficiëntie':

- promotie van WKK en stadsverwarming;
- audits voor MKB en sectorale netwerken;
- richtlijnen over openbare aanbestedingen.

op het gebied 'hernieuwbare energie':

- marktstimuleringen;
- gemeentes met 100% hernieuwbare energie;
- sociaal-economische studies voor windparken;
- promotie van hernieuwbare bronnen in de EU en de toetredende landen;
- meerjarenafspraken met de landbouwsector.

A4. Lokale en regionale acties

- oprichten van energie agentschappen gerelateerd aan bestaande SAVE-agentschappen;
- lokale energie agentschappen;
- projecten in één regio voor verschillende eindgebruikers.

Bijlage 20 Het standaard cash flow schema voor zonnecentrales

jaar	Componenten	Dioden	Ond. Constructie	Koppelkasten	Bekabeling	Inverters	H.L.verd.inrichting	Transformatie	Monitoring	Gebouwen
0	Zonnepanelen	-18761625	Ont. Spec.							
1			-6496125	Ont. Spec.	Ont. Spec.	Ont. Spec.	-115000	-84000	-459000	-517275
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										

Ont. Spec. : Ontwerp specifiek

afh.v.d.tot.inves. : Afhankelijk van de totale investeringen

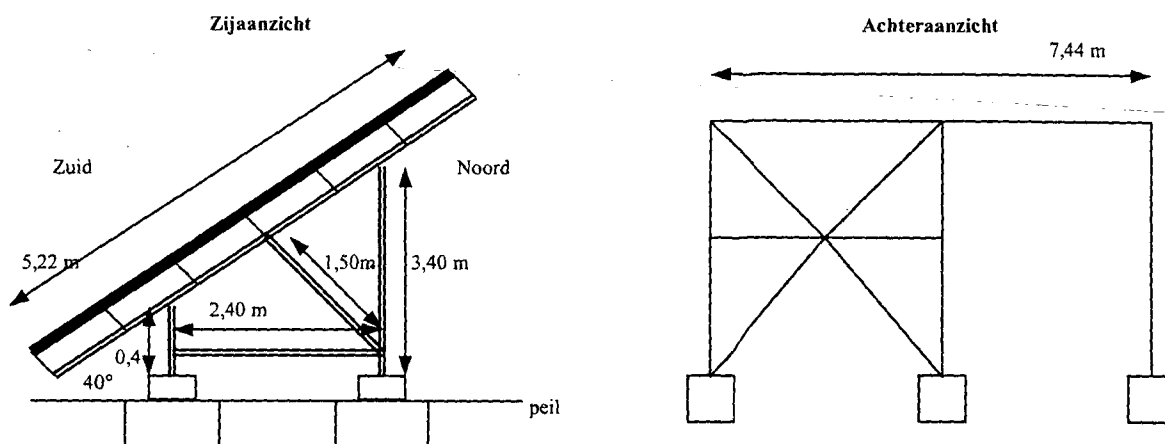
in Euro's

Instal.kost.	Onderhoud	Loon	Investeringspremies EIA	VAMIL afh.v.d.tot.inves.	Subsidie CO2-red.plan	Opbrengst	Net.NCF's	Disc. Fac.	Disc. NCF's
-1000000			afh.v.d.tot.inves.	afh.v.d.tot.inves.			-27433025	1,0000	-€27.433.025
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,9717	€1.169.264
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,9442	€1.136.171
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,9175	€1.104.016
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,8915	€1.072.770
	-5000	-10000	"	"	13320	1200000	1198320	0,8663	€1.038.077
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,8418	€1.012.906
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,8179	€984.239
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,7948	€956.383
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,7723	€929.316
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,7504	€899.262
	-5000	-10000	"	"	13320	1200000	1198320	0,7292	€877.457
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,7086	€852.624
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,6885	€828.493
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,6690	€805.045
		-10000	"	"	13320	1200000	1198320	0,6501	€779.010
	-5000	-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,6317	€760.121
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,6138	€738.608
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,5964	€717.704
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,5796	€697.392
	-5000	-10000	"	"	13320	1200000	1198320	0,5632	€674.839
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,5472	€658.476
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,5317	€639.839
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,5167	€621.731
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,5021	€604.135
		-10000	"	"	13320	1200000	1203320	0,4878	€587.037
						IRV =		NCW =	-€6.288.109

Inflation 3% Reële rente 0,029126214
 Nom. Rente 6% 2,91%

Bijlage 21 Ontwerp en kosten van de ondersteuningsconstructie

Een schets van de ondersteuningsconstructie is hieronder weergegeven.



De ondersteuningsconstructie bestaat uit de volgende componenten:

Aantal (#)	Lengte (m)	Type (profiel)	Gewicht per m (kg/m)	Totaal gewicht (kg)
7	7,44	IPE140	13	677
2 (nl.3-1)	5,22	HE140A	25	261
2 (nl.3-1)	3,40	HE140A	25	170
2 (nl.3-1)	2,40	HE140A	25	120
4	1,50	HE140A	25	150
2 (nl.3-1)	0,40	HE140A	25	20

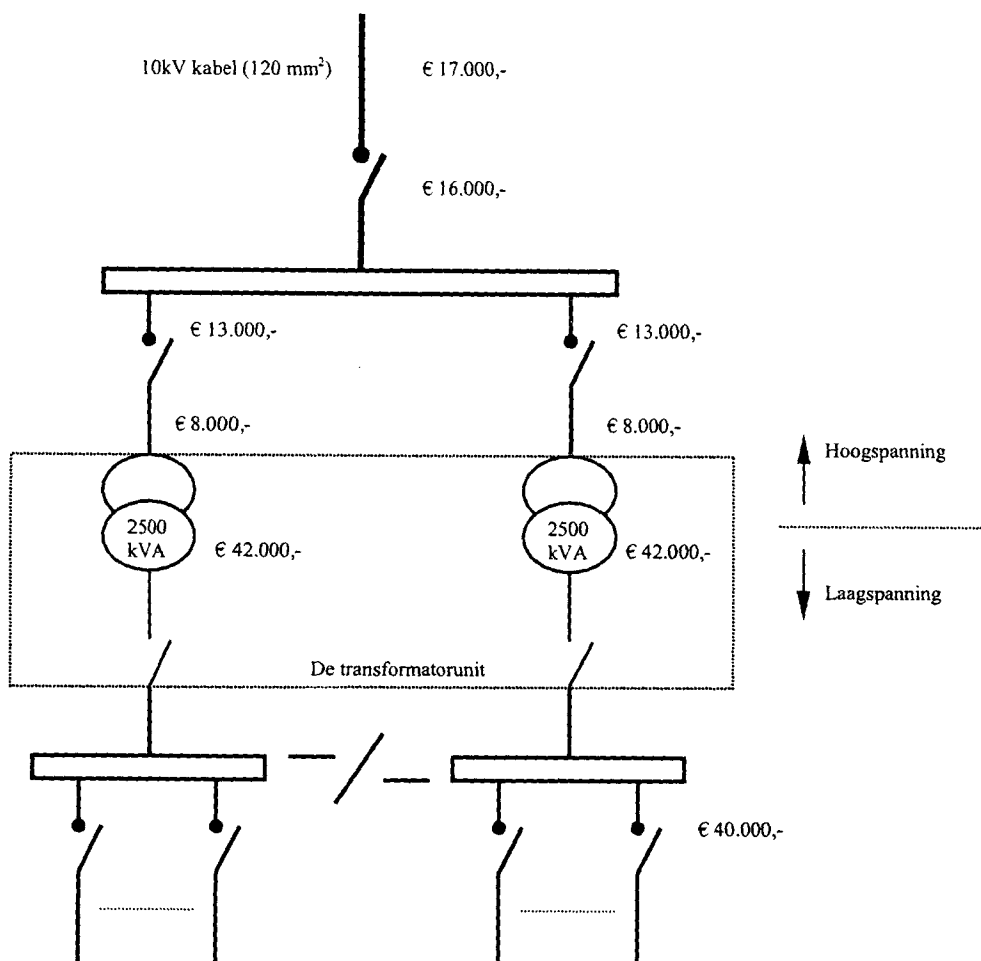
Het totaal gewicht komt nu op 1398 kg. Aangenomen wordt voor thermisch verzinken, materiaal en monteren een prijs van € 2,50 per kg. De kosten van de profielen komen dan op: € 3495,- per stuk van $5,22 \times 7,44 \text{ m}^2$ (voor 36 panelen).

Voor de fundatie is: € 400,- per voetstuk aangenomen, dus $4 \times 400 = € 1600,-$ (materiaal-, monterings- en graafkosten inbegrepen)

Totale kosten voor de ondersteuningsconstructie van 36 panelen: € 5095,-

De totale kosten voor de gehele ondersteuningsconstructie: € 6.496.125,-

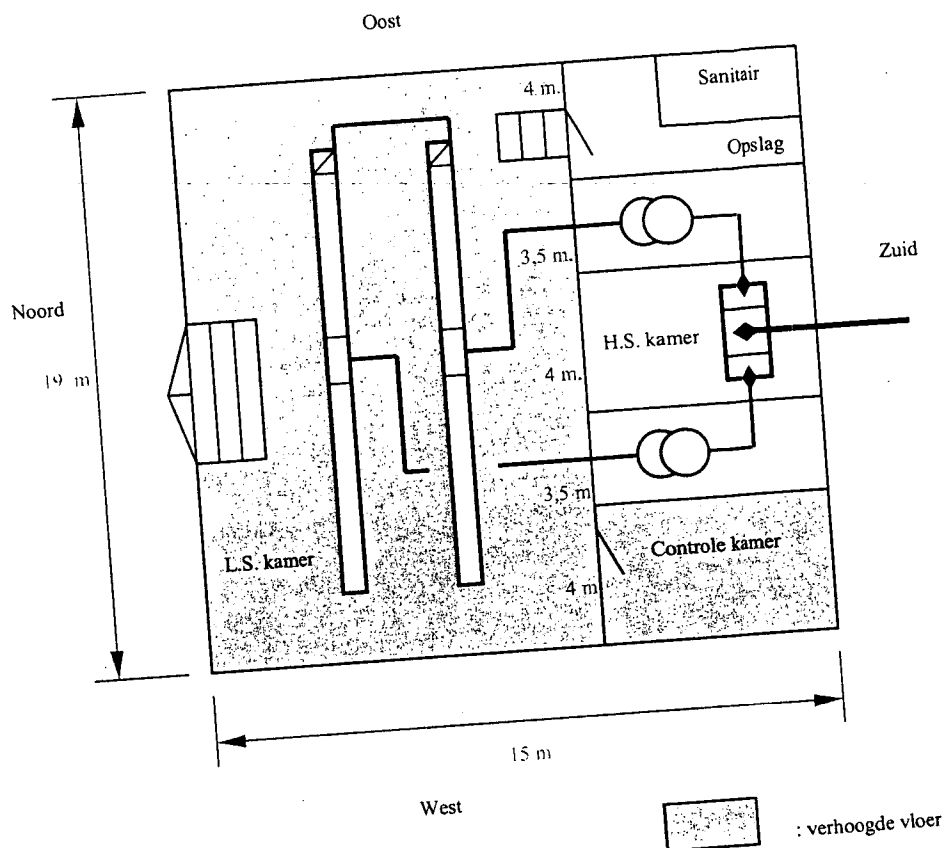
Bijlage 22 Ontwerp en kosten van de hoofd laag/hoogspanning verdeelinrichting inclusief de transformatorunit



Totale kosten van de transformatorunit: € 84.000,- ^[62]

Totale kosten van de 10kV-verdeelinrichting en de hoofdlaagspanning verdeelinrichting:
€ 17.000,- + € 16.000,- + 2* € 13.000,- + 2* € 8.000,- + € 40.000,- = € 115.000,- ^[62]

Bijlage 23 Ontwerp van het gebouw bij de zonnecentrale



Gebruikte kostenvuistregels* voor de bouw van een hoofdlaagspanning gebouw:

Bouwkundige kosten:	€ 1300,- / m ²
Werktuigbouwkundige kosten:	€ 230,- / m ²
Elektriciteitsgerelateerde kosten:	€ 285,- / m ²

Kosten voor de realisering van het gebouw bij de zonnecentrale:

Bouwkundige kosten:	285m ² * 1300	= € 370.500,-
Werktuigbouwkundige kosten:	285m ² * 230	= € 65.550,-
Elektriciteitsgerelateerde kosten:	285m ² * 285	= € 81.225,-
Totale kosten:		= € 517.275,-

* Inclusief installatiekosten.

Bijlage 24 Cash flow schema voor het DC-principe ontwerp

jaar	Componenten									
	Zonnepanelen	Dioden	Ond. Constructie	Koppelkasten	Bekabeling	Inverters	H.L.verd.inrichting	Transformatie	Monitoring	Gebouwen
0	-18761625	-9180	-6496125	-85429	-947268	-2979663	-115000	-84000	-459000	-517275
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										

in Euro's

Instal.kost.	Onderhoud	Loon	Investeringspremies		Subsidie	Opbrengst	Net.NFC's	Disc. Fac.	Disc. NCF's
			EIA	VAMIL	CO2-red.plan				
-1000000							-31454565	1,0000	-€ 31.454.565
		-10000	5862504	10659098	13320	1200000	17724922	0,9717	€ 17.223.273
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,9442	€ 716.826
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,9175	€ 696.538
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,8915	€ 676.825
	-5000	-10000		-444129	13320	1200000	754191	0,8663	€ 653.338
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,8418	€ 639.056
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,8179	€ 620.970
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,7948	€ 603.395
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,7723	€ 586.318
	-5000	-10000		-444129	13320	1200000	754191	0,7504	€ 565.972
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,7292	€ 553.600
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,7086	€ 537.932
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,6885	€ 522.707
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,6690	€ 507.914
	-5000	-10000		-444129	13320	1200000	754191	0,6501	€ 490.288
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,6317	€ 479.571
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,6138	€ 465.998
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,5964	€ 452.809
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,5796	€ 439.994
	-5000	-10000		-444129	13320	1200000	754191	0,5632	€ 424.726
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,5472	€ 415.441
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,5317	€ 403.683
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,5167	€ 392.258
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,5021	€ 381.157
		-10000		-444129	13320	1200000	759191	0,4878	€ 370.369
	inflatie		3% Reële rente				IRV =	-0,89%	NCW =
	Nom. rente		6%	0,029126214					-€ 1.633.604
				2,91%					

Bijlage 25 Kostenverklaring en bronspecificaties van het DC-principe ontwerp

Kostenverklaringen:

Component	Leverancier	Type	Eigenschappen	Aantal	Kosten per eenheid	Totale kosten	Totale kosten
					EURO/eenheid	EURO	1000 EURO
Zonnepanelen	Shell Solar B.V.	RSM 110 (Mc-Si)	109 Wp per paneel	45900 st.	3,75 / Wp	18761625	18762
Dioden	niet specifiek	niet specifiek	500Vdc en 5A	5100 st.	1,80/ stuk	9180	9
Ond. Constructie	niet specifiek	niet specifiek	veiligh. Kl. 2 en windgeb. II	51 st.	165.000,- / rij (186m)	8415000	8415
Koppelkasten	Trace engineering	TCB10 +set Fuses (TCF/100xx)	10 PV input, totaal 80A	255 st.	335,- / set	85429	85
Bekabeling	Draka Kabel B.V.	VDS, VULT mb en VULTA mb	1 en 3 aderige kabels	zie bijlage 13	zie bijlage 13	947268	947
Inverters	Trace engineering	PV-100	100 kW	51 st.	58425 / stuk	2979663	2980
H.V.laag/hoog span.inr.	niet specifiek	niet specifiek	opstelling voor 2 trafo's	1 st.	115000,- / complete install.	115000	115
Transformator	niet specifiek	niet specifiek	10kV op 400V	2 st.	42000,- / stuk	84000	84
Monitoring	niet specifiek	niet specifiek	510 meetp. in het veld	1 st.	459000,- / systeem	459000	459
Gebouwen	niet specifiek	niet specifiek	285m2, verhoogde vloer	1 st.	517275,- / gebouw	517275	517

Bron van de kosten specificaties:

Kostenpost	Fabrikant	Leverancier	Geraadpleegde personen	Bron
Zonnepanelen	Shell Solar B.V.	Shell Solar B.V.	ir. J.J.M.Schlagen (Shell Solar)	n.v.t.
Dioden	Niet specifiek	Niet specifiek	n.v.t.	Technische Unie/ Elektrotechniek/ industrietechniek, datacom.
Ond. Constructie	Niet specifiek	Niet specifiek	J. Jansen (DHV AIB)	B-afdeling DHV AIB
Koppelkasten	Trace Engineering	Trace eng. (Xantrex Techn. Inc.)	K.E. Lane (Trace eng.)	Grid Tie Price List 2001
Bekabling	Draka Kabel B.V.	Draka Kabel B.V.	n.v.t.	Draka catalogus 4 februari 2002
Inverters	Trace engineering	Trace eng. (Xantrex Techn. Inc.)	K.E. Lane (Trace eng.)	Grid Tie Price List 2001
H.V.laag/hoog span.inr.	Niet specifiek	Niet specifiek	L. Kuipers (DHV AIB)	DACE prijzenboekje, 21e editie
Transformator	Niet specifiek	Niet specifiek	L. Kuipers (DHV AIB)	DACE prijzenboekje, 21e editie
Monitoring	n.v.t.	n.v.t.	SE-afdeling DHV AIB	SE-afdeling DHV AIB
Gebouwen	Niet specifiek	Niet specifiek	E-afdeling DHV AIB	E-afdeling DHV AIB

dollar naar euro

1,128

Bijlage 26 Cash flow schema voor het string-inverter-principe ontwerp

jaar	Componenten									
	Zonnepanelen	Dioden	Ond. Constructie	Koppelkasten	Bekabeling	Inverters	H.L.verd.inrichting	Transformatie	Monitoring	Gebouwen
0	-18761625	-11016	-6496125	-255000	-1425976	-3033990	-115000	-84000	-459000	-517275
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										

in Euro's

Instal.kost.	Onderhoud	Loon	Investeringspremies		Subsidie	Opbrengst	Net.NFC's	Disc. Fac.	Disc. NCF's
			EIA	VAMIL	CO2-red.plan				
-1000000							-32159007	1,0000	-€ 32.159.007
		-10000	5998109	10905652	13320	1200000	18107081	0,9717	€ 17.594.617
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,9442	€ 707.126
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,9175	€ 687.113
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,8915	€ 667.667
	-5000	-10000		-454402	13320	1200000	743918	0,8663	€ 644.439
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,8418	€ 630.409
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,8179	€ 612.567
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,7948	€ 595.230
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,7723	€ 578.384
	-5000	-10000		-454402	13320	1200000	743918	0,7504	€ 558.263
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,7292	€ 546.109
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,7086	€ 530.653
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,6885	€ 515.634
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,6690	€ 501.041
	-5000	-10000		-454402	13320	1200000	743918	0,6501	€ 483.610
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,6317	€ 473.081
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,6138	€ 459.692
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,5964	€ 446.682
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,5796	€ 434.040
	-5000	-10000		-454402	13320	1200000	743918	0,5632	€ 418.940
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,5472	€ 409.820
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,5317	€ 398.221
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,5167	€ 386.951
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,5021	€ 375.999
		-10000		-454402	13320	1200000	748918	0,4878	€ 365.358
	inflatie		3% Reele rente		0,029126214		IRV =	-1,16%	NCW =
	Nom. rente		6%		2,91%				-€ 2.137.361

Bijlage 27 Kostenverklaring en bronspecificaties van het string-inverter-principe ontwerp

Kostenverklaringen:

Component	Leverancier	Type	Eigenschappen	Aantal	Kosten per eenheid	Totale kosten	Totale kosten
					EURO/eenheid	EURO	1000 EURO
Zonnepanelen	Shell Solar B.V.	RSM 110 (Mc-Si)	109 Wp per paneel	45900 st.	3,75/Wp	18761625	18762
Dioden	niet specifiek	niet specifiek	500 Vdc en 5A	6120	1,80 / stuk	11016	11
Ond. Constructie	niet specifiek	niet specifiek	veiligh. Kl. 2 en windgeb. II	51 st.	165.000,- / rij (186m)	8415000	8415
Koppelkasten (groot)	Scholten Pan. B.V.	AC-koppelkast (ontwerp v. DHV)	15* 13,3 A (1f.) naar 1*74A (3f.)	102 st.	2500,- / stuk	255000	255
Bekabeling	Draka Kabel B.V.	VDS en VULTA mb	1, 2 en 3 aderige kabels	zie bijlage 15	zie bijlage 15	1425976	1426
Inverters	SMA regelsysteme GmbH	Sunny Boy 2500	voor 2700-3450Wp PV	1530 st.	1983,- / stuk	3033990	3034
H.V.laag/hoog span.inr.	niet specifiek	niet specifiek	opstelling voor 2 trafo's	1 st.	115000,- / stuk	115000	115
Transformator	niet specifiek	niet specifiek	10kV op 400V	2 st.	42000,- / stuk	84000	84
Monitoring	niet specifiek	niet specifiek	510 meetp. In het veld	1 st.	459000,- / stuk	459000	459
Gebouwen	niet specifiek	niet specifiek	285m2, verhoogde vloer	1 st.	517275,- / gebouw	517275	517

Bron van de kosten specificaties:

kostenpost	fabrikant	leverancier	Geraadpleegde personen	Bron
Zonnepanelen	Shell Solar B.V.	Shell Solar B.V.	ir. J.J.M.Schlangen	n.v.t. Technische Unie/ Elektrotechniek/ Industrietechniek, datacom.
Dioden	Niet specifiek	Niet specifiek	n.v.t.	B-afdeling DHV AIB
Ond. Constructie	Niet specifiek	Niet specifiek	J. Jansen (DHV AIB)	Scholten Panelen B.V. (via offerte)
Koppelkasten (groot)	Scholten Pan. B.V.	AC-koppelkast (ontwerp v. DHV)	A.G. Garssen	Draka catalogus 4 februari 2002 en catalogus Techn. Unie
Bekabeling	Draka kabel B.V.	Draka Kabel B.V.	n.v.t.	Preisliste privat ab Mrz 2001 .pdf
Inverters	SMA reg. GmbH	Sunset energietechnik GmbH Rosendahl Industrievertretungen	dr. A.Linsenmeyer dhr. I.Klute	n.v.t.
H.V.laag/hoog span.inr.	Niet specifiek	Niet specifiek	L. Kuipers (DHV AIB)	DACE prijzenboekje, 21 editie
Transformator	Niet specifiek	Niet specifiek	L. Kuipers (DHV AIB)	DACE prijzenboekje, 21 editie
Monitoring	n.v.t.	n.v.t.	SE-afdeling DHV AIB	SE-afdeling DHV AIB
Gebouwen	Niet specifiek	Niet specifiek	E-afdeling DHV AIB	E-afdeling DHV AIB

dollar naar euro

1,128

Bijlage 28 Cash flow schema voor het AC-principe ontwerp

jaar	Componenten									
	Zonnepanelen	Dioden	Ond. Constructie	Koppelkasten	Bekabeling	Inverters	H.L.verd.inrichting	Transformatie	Monitoring	Gebouwen
0	-18761625	-22950	-6496125	-255000	-867529	-3473100	-115000	-84000	-459000	-517275
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										

in Euro's

Instal.kost.	Onderhoud	Loon	Investeringspremies		Subsidie	Opbrengst	Net.NFC's	Disc. Fac.	Disc. NCF's
			EIA	VAMIL	CO2-red.plan				
-1000000							-32051604	1,0000	-€ 32.051.604
		-10000	5977434	10868061	13320	1200000	18048815	0,9717	€ 17.538.000
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,9442	€ 708.605
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,9175	€ 688.550
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,8915	€ 669.063
	-5000	-10000		-452836	13320	1200000	745484	0,8663	€ 645.796
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,8418	€ 631.727
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,8179	€ 613.848
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,7948	€ 596.475
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,7723	€ 579.594
	-5000	-10000		-452836	13320	1200000	745484	0,7504	€ 559.438
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,7292	€ 547.251
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,7086	€ 531.763
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,6885	€ 516.713
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,6690	€ 502.089
	-5000	-10000		-452836	13320	1200000	745484	0,6501	€ 484.628
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,6317	€ 474.071
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,6138	€ 460.654
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,5964	€ 447.616
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,5796	€ 434.948
	-5000	-10000		-452836	13320	1200000	745484	0,5632	€ 419.822
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,5472	€ 410.677
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,5317	€ 399.054
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,5167	€ 387.760
		-10000		-452836	13320	1200000	750484	0,5021	€ 376.785
		-10000		0	13320	1200000	1203320	0,4878	€ 587.037
	inflatie	3% Reele rente		0,029126214		IRV =	-0,98%	NCW =	-€ 1.839.641
	Nom. rente	6%		2,91%					

Bijlage 29 Kostenverklaring en bronspecificaties van het AC-principe ontwerp

Kostenverklaringen:

Component	Leverancier	Type	Eigenschappen	Aantal	Kosten per eenheid	Totale kosten	Totale kosten
					EURO/eenheid	EURO	1000 EURO
Zonnepanelen	Shell Solar B.V.	RSM 110 (Mc-Si)	109 Wp per paneel	45900 st.	3,75 / Wp	18761625	18762
Dioden	niet specifiek	niet specifiek	100Vdc en 5A	15300	1,50/ stuk	22950	23
Ond. Constructie	niet specifiek	niet specifiek	veilig. Kl. 2 en windgeb. II	51 st.	165.000,- / rij (186m)	8415000	8415
Koppelkasten (klein)	niet specifiek	niet specifiek	overgang prikkabel, arraykabel	1530 st.	10,- / stuk	15300	15
Koppelkasten (groot)	Scholten Pan. B.V.	AC-koppelkast (ontwerp v. DHV)	15* 13,1 A (1f.) naar 1*69A (3f.)	102 st.	2500,- / stuk	255000	255
Bekabeling	Draka Kabel B.V.	VDS, VULT mb en VULTA mb	1, 2 en 3 aderige kabels	zie bijlage 17	zie bijlage 17	867529	868
Inverters	NKF Electronics	OK5-MV versie	400-500Wp	15300 st.	227,- / stuk	3473100	3473
H.V. laag/hoog span.inr.	niet specifiek	niet specifiek	opstelling voor 2 trafo's	1 st.	115000,- / complete install.	115000	115
Transformator	niet specifiek	niet specifiek	10kV op 400V	2 st.	42000,- / stuk	84000	84
Monitoring	niet specifiek	niet specifiek	510 meetp. in het veld	1 st.	459000,- / systeem	459000	459
Gebouwen	niet specifiek	niet specifiek	285m2, verhoogde vloer	1 st.	517275,- / gebouw	517275	517

Bron van de kosten specificaties:

Kostenpost	Fabrikant	Leverancier	Geraadpleegde personen	Bron
Zonnepanelen	Shell Solar B.V.	Shell Solar B.V.	ir. J.J.M.Schlangen (Shell Solar)	n.v.t.
Dioden	niet specifiek	niet specifiek	n.v.t.	Technische Unie/ Elektrotechniek/ Industrietechniek, datacom.
Ond. Constructie	Niet specifiek	Niet specifiek	J. Jansen (DHV AIB)	B-afdeling DHV AIB
Koppelkasten (klein)	niet specifiek	niet specifiek	n.v.t.	Technische Unie/Elektrotechniek/ Industrietechniek, datacom.
Koppelkasten (groot)	Scholten Pan. B.V.	AC-koppelkast (ontwerp v. DHV)	A.G. Garssen	Scholten Panelen B.V. (via offerte)
Bekabeling	Draka Kabel B.V.	Draka Kabel B.V.	n.v.t.	Draka catalogus 4 februari 2002
Inverters	NKF Electronics	NKF Electronics	dhr. Luycks (NKF Electronics)	n.v.t.
H.V. laag/hoog span.inr.	niet specifiek	niet specifiek	L. Kuipers (DHV AIB)	DACE prijzenboekje, 21 editie
Transformator	niet specifiek	niet specifiek	L. Kuipers (DHV AIB)	DACE prijzenboekje, 21 editie
Monitoring	n.v.t.	n.v.t.	SE-afdeling DHV AIB	SE-afdeling DHV AIB
Gebouwen	Niet specifiek	Niet specifiek	E-afdeling DHV AIB	E-afdeling DHV AIB

dollar naar euro

1,128

Bijlage 30 Materialen en gewichten per kabelsoort

Kabelsoort	Koper	PVC **	Polyethyleen	Plastic tape	Staal	Totaal gewicht
	gram/m	gram/m	gram /m	Gram /m	gram /m	gram/m
VDS 1*1,5mm ²	12	8	0	0	0	20
VULT mb 1*6 mm ²	51	37	7	0	0	95
VULT mb 1*10 mm ²	86	47	12	0	0	145
VULT mb 1*16 mm ²	136	53	15	0	0	204
VULT mb 2*2,5 mm ²	42	111	9	0	0	162
VULT mb 2*4 mm ²	68	129	11	0	0	208
VULT mb 2*6 mm ²	103	153	13	0	0	269
VULT mb 2*10 mm ²	173	254	24	0	0	451
VULTO mb 2*2,5 mm ²	60	173	9	0	51	293
VULTO mb 2*4 mm ²	100	199	11	0	58	368
VULTO mb 2*6 mm ²	150	227	13	0	64	454
VULTA mb 2*10 mm ²	242	344	24	0	228	838
VULTA mb 3*70 mm ²	2097	412	125	4	221	2859
VULTA mb 3*95 mm ²	2915	506	153	5	184	3763
VULTA mb 3*185 mm ²	5693	789	302	7	625	7416

** De aangeven hoeveelheid betreft hier de totale hoeveelheid PVC-mengsel.

Deze informatie is ter beschikking gesteld door Draka B.V.

Bijlage 31 Opbouw in SimaPro van het DC-principe ontwerp

Assembly:

<i>Name</i>			<i>Comment</i>
Productie van sg-Si			Benodigheden voor productie van Solar-grade Silicium (sg-Si), voor een functionele eenheid (1 TJ, dit is 0,01111 MWp aan opgesteld vermogen).
<i>Materials/Assemblies</i>			
Silicon I	836,67	kg	Productie van glasvezels
Argon ETH T	886,67	kg	Afschermen van de smelt
HCl (100%) B250	1383,33	kg	Reiniging van SiO ₂ en roet
Aluminium oxide	263,33	kg	Productie van glasvezels
Carbon black ETH T	268,89	kg	Roet voor de productie van roetbrikettes
Phenol ETH T	47,78	kg	Fenolhars voor de productie van roetbrikettes
Soda ETH T	225,56	kg	Na ₂ CO ₃ voor de productie van glasvezels
Limestone ETH T	420,00	kg	CaCO ₃ voor de productie van glasvezels
<i>Processes</i>			
Electricity Netherlands	52,00	MJ	Elektrische energie benodigd voor dit productie proces

Assembly:

<i>Name</i>			<i>Comment</i>
Productie van Mc-Si modules			Hierin staan alle materialen en processen welke nodig zijn voor de productie van de Mc-Si modules, voor een functionele unit (1 TJ).
<i>Materials/Assemblies</i>			
Argon ETH T	180	kg	Afscherming van Si-smelt
Aluminium ingots B250	2,2	kg	Voor- en achtercontact (i.p.v. Zilver)
Ethylene oxide/glycol ETH T	60,0	kg	Reinigen en etsen (hierin zit een extra fractie in, die bedoeld is in plaats van de fractie Kaliloog)
H ₂ ETH T	0,1	kg	H ₂ passivering (om metalen te reinigen)
HF ETH T	20	kg	Voor het stoppen van de ets reactie
Glass gas-fired bj	1126,7	kg	Voor- en achterzijde van de modules (Fe ₂ O ₃)
Aluminium 0% recycled ETH T	98,9	kg	Voor moduleframe
PVC I	304,4	kg	Kunststof voor tussenlagen, aansluitkastje en afdichtingen
<i>Processes</i>			
Electricity Netherlands	168,0	MJ	Inclusief de productie van electronic grade Silicium
Heat gas B250	63,8	MJ	Inclusief de productie van electronic grade Silicium

Assembly:

<i>Name</i>			<i>Comment</i>
Zonnepanelen			Samenstelling van de veldcomponent: "zonnepanelen" (winning en productie)
<i>Materials/Assemblies</i>			
Productie van sg-Si	1	p	Productie van solar grade silicium grondstof

Productie van Mc-Si modules 1 p Productie van de modules vanaf sg-Si grondstof tot eindproduct

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Blokkeer en Isolatie dioden (DC-principe) Deze dioden bestaan uit hier onderstaande relevante materialen (alleen materialen zijn hier meegenomen, geen energie of transport). Bepaling gewichten voor een functionele eenheid.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Silicon I	34,0	g	Halfgeleider materiaal in de dioden
PVC P	11,3	g	Isolatiemateriaal (thermoharder)
Copper ETH T	11,3	g	Geleidende verbindingen in de dioden

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Inverters DC-principe De relevante materialen die hierin verwerkt zijn staan hierin verwerkt. Energie benodigd bij de productie processen is niet meegenomen.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Steel sheet 20% rec. bj	10,98	kg	Plaatstaal voor de omkasting
Printed board I	0,26	kg	Printplaten waarop de onderdelen bevestigd zijn
Aluminium 50% rec. B250	11,9	kg	Compartimenten, DIN-rails, rekken en scheidingen
Copper ETH T	17	kg	Alle koper voor de connectierails, bekabeling, klemmen, etc.
PVC P	2,27	kg	Isolatiemateriaal (thermoharder) van alle onderdelen
PVC suspension A	1,36	kg	Isolatiemateriaal (thermoplast) van alle onderdelen
Steel ETH T	7,71	kg	Frame, versteviging en voetstuk van de gehele inverter

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Koppelkast TCB10 (DC-principe) Materialen benodigd voor de productie van koppelkasten (TCB 10, Trace Engineering), voor een functionele eenheid.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Steel sheet 20% rec. bj	5,575	kg	Plaatstaal voor de omkasting
PVC P	0,057	kg	Isolatiemateriaal (thermoharder) van alle onderdelen
Copper ETH T	0,204	kg	Koper voor de klemmen, rails, verbindingen etc.

PVC suspension A	0,012	kg	Isolatiemateriaal (thermoplast) voor bekabelingsisolatie etc.
Printed board I	0,044	kg	Centrale printplaat waarop de onderdelen bevestigd zijn.

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Ondersteuningsconstructie	Materialen benodigd voor de realisering van de ondersteuningsconstructie van de zonnecentrale, voor een functionele eenheid (1TJ zonnestroom).

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Concrete I	7162,8	kg	Fundering in de vorm van poeren (voetstukken)
Steel I	3961,1	kg	Stalen constructie (gemaakt van HE140A en IPE140 profielen)
Zinc for plating ETH T	79,2	kg	Voor de verzinking van de stalen profielen

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Bekabeling DC-principe	Alle bekabeling voor het DC zonnecentrale ontwerp, voor een functionele eenheid

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
VDS 1*1,5mm2	233,47	p	
VULT mb 1*6mm2	1,13	p	
VULT mb 1*10mm2	14,51	p	
VULT mb 1*16mm2	28,56	p	
VULTA mb 3*185mm2	19,64	p	

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale DC-principe	Opgenomen hierin is elk onderdeel van het zonnecentrale ontwerp op basis van het DC-principe. Elk onderdeel is berekend voor een functionele eenheid van 1TJ, dus ook deze assemblage zonnecentrale DC is voor 1TJ. Energie voor de assemblage is niet meegenomen omdat dit zeer moeilijk te bepalen is.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Inverters DC-principe	1	p	
Blokkeer en Isolatie dioden (DC-principe)	1	p	
Ondersteuningsconstructie	1	p	
Zonnepanelen	1	p	
Koppelkast TCB10 (DC-principe)	1	p	
Bekabeling DC-principe	1	p	

Processes Amount Unit Comment

Life cycle:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Zonnecentrale DC-principe	De gebruiksfase van de zonnecentrale op basis van het DC-principe. Hierin treden geen milieueffecten op. Wel wordt de elektriciteitsopbrengst voor de functionele eenheid hierin meegenomen (deze bedraagt bij benadering het rendement van het ontwerp maal 1 TJ).

<i>Assembly</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale DC-principe	1	p	Het assemblage scenario van het DC-principe zonnecentrale ontwerp, dit is impliciet de winnings- en productiefase van de DC-principe zonnecentrale.

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	-0,9133	TJ	De gemiddelde elektriciteits (zonnestroom) levering van dit zonnecentrale DC-ontwerp op basis van het berekende gemiddelde vermogen op de hoofdverdeelinrichting, voor een functionele eenheid van 1TJ.

<i>Waste/Disposal scenario</i>	<i>Comment</i>
Zonnecentrale afvalfase	Het afvalscenario dat voor alle drie de ontwerpen wordt gehanteerd

<i>Additional life cycles</i>	<i>Number</i>	<i>Comment</i>
-------------------------------	---------------	----------------

Disposal scenario:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Zonnecentrale afvalfase	Hierin worden de verschillende afval scenario's aangegeven.

<i>Assembly</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale DC-principe	1	p	

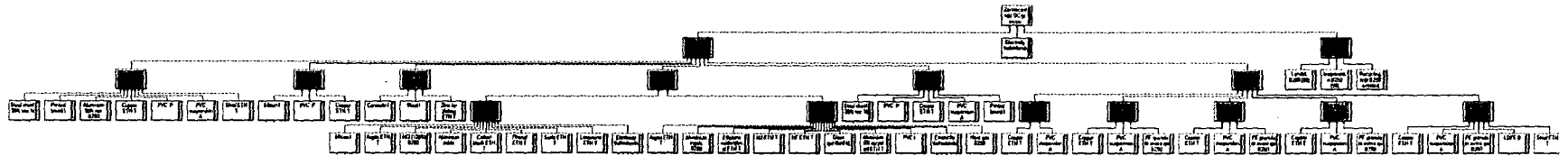
Processes Amount Unit Comment

<i>Waste scenarios</i>	<i>Perc.</i>	<i>Comment</i>
Landfill B250 (98)	40 %	Fractie die naar stortterrein zal gaan
Incineration B250 (98)	40 %	Fractie die naar verbrandingsinstallatie zal gaan
Recycling only B250 avoided	20 %	Fractie die gerecycled wordt (met name onderdelen van de draagconstructie)

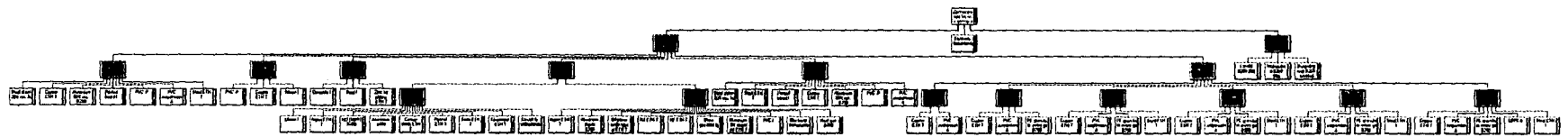
<i>Disassemblies</i>	<i>Perc.</i>	<i>Comment</i>
----------------------	--------------	----------------

Bijlage 32 Procesbomen van de zonnecentrale ontwerpvarianten

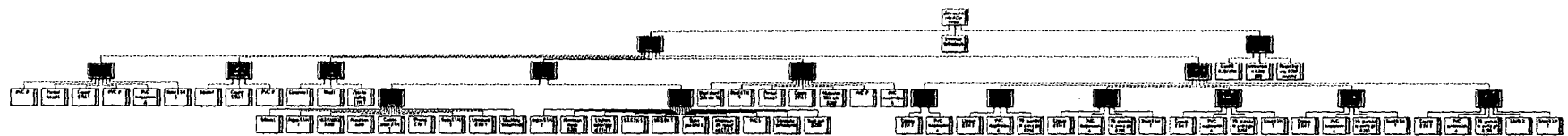
DC-principe ontwerp:



String-inverter-principe ontwerp:



AC-principe ontwerp:



Bijlage 33 Opbouw in SimaPro van het string-inverter-principe ontwerp

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Productie van sg-Si	Benodigheden voor productie van Solar-grade Silicium (sg-Si), voor een functionele eenheid (1 TJ, dit is 0,01111 MWp aan opgesteld vermogen)

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Silicon I	836,67	kg	Productie van glasvezels
Argon ETH T	886,67	kg	Afschermen van de smelt
HCl (100%) B250	1383,33	kg	Reiniging van SiO ₂ en roet
Aluminium oxide	263,33	kg	Productie van glasvezels
Carbon black ETH T	268,89	kg	Roet voor de productie van roetbrikettes
Phenol ETH T	47,78	kg	Fenolhars voor de productie van roetbrikettes
Soda ETH T	225,56	kg	Na ₂ CO ₃ voor de productie van glasvezels
Limestone ETH T	420,00	kg	CaCO ₃ voor de productie van glasvezels

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	52,00	MJ	Elektrische energie benodigd voor dit productie proces

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Productie van Mc-Si modules	Hierin staan alle materialen en processen welke nodig zijn voor de productie van de Mc-Si modules, voor een functionele unit (1 TJ).

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Argon ETH T	180	kg	Afscherming van Si-smelt
Aluminium ingots B250	2,2	kg	Voor- en achtercontact (i.p.v. Zilver)
Ethylene oxide/glycol ETH T	60,0	kg	Reinigen en etsen (hierin zit een extra fractie in, die bedoeld is in plaats van de fractie Kaliloog)
H ₂ ETH T	0,1	kg	H ₂ passivering (om metalen te reinigen)
HF ETH T	20	kg	Voor het stoppen van de ets reactie
Glass gas-fired bj	1126,7	kg	Voor- en achterzijde van de modules (Fe ₂ O ₃)
Aluminium 0% recycled ETH T	98,9	kg	Voor moduleframe
PVC I	304,4	kg	Kunststof voor tussenlagen, aansluitkastje en afdichtingen

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	168,0	MJ	Inclusief de productie van electronic grade Silicium
Heat gas B250	63,8	MJ	Inclusief de productie van electronic grade Silicium

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Zonnepanelen	Samenstelling van de veldcomponent: "zonnepanelen" (winning en productie)

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Productie van sg-Si	1	p	Productie van solar grade silicium grondstof
Productie van Mc-Si modules	1	p	Productie van de modules vanaf sg-Si grondstof tot eindproduct

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Blokkeer en Isolatie dioden (String_inv.-principe) Deze dioden bestaan uit hieronderstaande relevante materialen (alleen materialen zijn hier meegenomen, geen energie of transport). Bepaling gewichten voor een functionele eenheid.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
PVC P	13,6	g	Isolatiemateriaal (thermoharder)
Copper ETH T	13,6	g	Geleidende verbindingen in de dioden
Silicon I	40,8	g	Halfgeleider materiaal in de dioden

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Inverters String-inv.-principe De relevante materialen die hierin verwerkt zijn staan hierin verwerkt. Energie benodigd bij de productie processen is niet meegenomen.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Steel sheet 20% rec. bj	22,74	kg	Plaatstaal voor de omkasting
Copper ETH T	17,0	kg	Alle koper voor de connectierails, bekabeling, klemmen, etc.
Aluminium 50% rec. B250	6,8	kg	Compartimenten, rekken en scheidingen
Printed board I	6,6	kg	Printplaten waarop de onderdelen bevestigd zijn + onderdelen
PVC P	19,72	kg	Isolatiemateriaal (thermoharder) voor alle onderdelen
PVC suspension A	11,9	kg	Isolatiemateriaal (thermoplast) voor alle onderdelen
Steel ETH T	6,8	kg	Verstevinging, framing, schroeven en bouten.

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Ondersteuningsconstructie Materialen benodigd voor de realisering van de ondersteuningsconstructie van de zonnecentrale, voor een functionele eenheid (1TJ zonnestroom).

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Concrete I	7162,8	kg	Fundering in de vorm van poeren (voetstukken)
Steel I	3961,1	kg	Stalen constructie (gemaakt van HE140A en IPE140 profielen)
Zinc for plating ETH T	79,2	kg	Voor de verzinking van de stalen profielen

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Bekabeling Str.-inv.-principe	Alle bekabeling voor het string-inverter zonnecentrale ontwerp, voor een functionele eenheid

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
VDS 1*1,5mm2	176,8	p	
VULT mb 2*10mm2	62,56	p	
VULTO mb 2*6mm2	75,93	p	
VULTO mb 2*4mm2	28,56	p	
VULTO mb 2*2,5mm2	18,59	p	
VULTA mb 3*95mm2	39,27	p	

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Koppelkast AC (1fasig-3fasig)	Materialen benodigd voor de productie van deze koppelkasten (AC), voor een functionele eenheid.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Steel sheet 20% rec. bj	24,45	kg	Plaatstaal voor de omkasting
Steel ETH T	2,45	kg	Frame, voetstuk en verstevigingen
Printed board I	0,122	kg	Printplaten waarop alle onderdelen zijn bevestigd
Copper ETH T	14,67	kg	Geleidende delen: connectierails, klemmen, schakelaars, etc.
Aluminium 50% rec. B250	4,89	kg	DIN-rails, scheidingsen en compartimenten
PVC P	3,67	kg	Kabelgootjes, isolatiestukken, omkastingen van onderdelen
PVC suspension A	1,71	kg	Isolatiemantels van bekabeling en zachte isolatie onderdelen

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale Str.-inv.-principe	Opgenomen hierin is elk onderdeel van het zonnecentrale ontwerp op basis van het str.-inv.-principe. Elk onderdeel is berekend voor een functionele eenheid van 1TJ, dus ook deze assemblage zonnecentrale str.-inv. is voor 1TJ. Energie voor de assemblage is niet meegenomen omdat dit zeer moeilijk te bepalen is.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Inverters String-inv.-principe	1	p	
Blokkeer en Isolatie dioden (String_inv.-principe)	1	p	
Ondersteuningsconstructie	1	p	
Zonnepanelen	1	p	
Bekabeling Str.-inv.-principe	1	p	
Koppelkast AC	1	p	

Processes Amount Unit Comment

Life cycle:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Zonnecentrale Str.-inv.-principe	De gebruiksfase van de zonnecentrale op basis van het str-inv.-principe. Hierin treden geen milieueffecten op. Wel wordt de elektriciteits opbrengst voor de functionele eenheid hierin meegenomen (deze bedraagt het rendement van het str-inv.-ontwerp maal 1 TJ).

<i>Assembly</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale Str.-inv.-principe	1	p	Het assemblage scenario van het str-inv.-principe zonnecentrale ontwerp, dit is impliciet de winnings- en productiefase van de str-inv.-principe zonnecentrale

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	-0,8860	TJ	De gemiddelde elektriciteits (zonnestroom) levering van dit zonnecentrale str-inv.-ontwerp op basis van het berekende gemiddelde vermogen op de hoofdverdeelinrichting, voor een functionele eenheid van 1TJ.

<i>Waste/Disposal scenario</i>	<i>Comment</i>
Zonnecentrale afvalfase	Het afvalscenario dat voor alle drie de ontwerpen wordt gehanteerd

<i>Additional life cycles</i>	<i>Number</i>	<i>Comment</i>
-------------------------------	---------------	----------------

Disposal scenario:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Zonnecentrale afvalfase	Hierin worden de verschillende afval scenario's aangegeven.

<i>Assembly</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale str-inv.-principe	1	p	

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

<i>Waste scenarios</i>	<i>Perc.</i>	<i>Comment</i>
Landfill B250 (98)	40 %	Fractie die naar stortterrein zal gaan
Incineration B250 (98)	40 %	Fractie die naar verbrandingsinstallatie zal gaan
Recycling only B250 avoided	20 %	Fractie die gerecycled wordt (met name onderdelen van de draagconstructie)

<i>Disassemblies</i>	<i>Perc.</i>	<i>Comment</i>
----------------------	--------------	----------------

Bijlage 34 Opbouw in SimaPro van het AC-principe ontwerp

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Productie van sg-Si	Benodigheden voor productie van Solar-grade Silicium (sg-Si), voor een functionele eenheid (1 TJ, dit is 0,01111 MWp aan opgesteld vermogen)

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Silicon I	836,67	kg	Productie van glasvezels
Argon ETH T	886,67	kg	Afschermen van de smelt
HCl (100%) B250	1383,33	kg	Reiniging van SiO ₂ en roet
Aluminium oxide	263,33	kg	Productie van glasvezels
Carbon black ETH T	268,89	kg	Roet voor de productie van roetbrikettes
Phenol ETH T	47,78	kg	Fenolhars voor de productie van roetbrikettes
Soda ETH T	225,56	kg	Na ₂ CO ₃ voor de productie van glasvezels
Limestone ETH T	420,00	kg	CaCO ₃ voor de productie van glasvezels

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	52,00	MJ	Elektrische energie benodigd voor dit productie proces

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Productie van Mc-Si modules	Hierin staan alle materialen en processen welke nodig zijn voor de productie van de Mc-Si modules, voor een functionele unit (1 TJ).

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Argon ETH T	180	kg	Afscherming van Si-smelt
Aluminium ingots B250	2,2	kg	Voor- en achtercontact (i.p.v. Zilver)
Ethylene oxide/glycol ETH T	60,0	kg	Reinigen en etsen (hierin zit een extra fractie in, die bedoeld is in plaats van de fractie Kaliloog)
H ₂ ETH T	0,1	kg	H ₂ passivering (om metalen te reinigen)
HF ETH T	20	kg	Voor het stoppen van de ets reactie
Glass gas-fired bj	1126,7	kg	Voor- en achterzijde van de modules (Fe ₂ O ₃)
Aluminium 0% recycled ETH T	98,9	kg	Voor moduleframe
PVC I	304,4	kg	Kunststof voor tussenlagen, aansluitkastje en afdichtingen

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	168,0	MJ	Inclusief de productie van electronic grade Silicium
Heat gas B250	63,8	MJ	Inclusief de productie van electronic grade Silicium

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Zonnepanelen	Samenstelling van de veldcomponent: "zonnepanelen" (winning en productie)

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Productie van sg-Si	1	p	Productie van solar grade silicium grondstof

Productie van Mc-Si modules	1	p	Productie van de modules vanaf sg-Si grondstof tot eindproduct
-----------------------------	---	---	--

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Blokkeer en Isolatie dioden (AC-principe)	Deze dioden bestaan uit hieronderstaande relevante materialen (alleen materialen zijn hier meegenomen, geen energie of transport). Bepaling gewichten voor een functionele eenheid.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Silicon I	102,0	g	Halfgeleider materialen in de dioden
Copper ETH T	34,0	g	Geleidende verbindingen in de dioden
PVC P	34,0	g	Isolatiemateriaal (thermoharder)

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Inverters AC-principe	De relevante materialen die hierin verwerkt zijn staan hierin verwerkt. Energie benodigd bij de productie processen is niet meegenomen.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
PVC P	5,53	kg	Hard plastic voor de omkasting van deze inverters
Printed board I	1,19	kg	Printplaten en elektrisch onderdelen in de inverters
Copper ETH T	13,6	kg	Alle koper voor de connectierails, bekabeling, klemmen, etc.
PVC P	6,8	kg	Isolatiemateriaal (thermoharder) van alle onderdelen
PVC suspension A	6,8	kg	Isolatiemateriaal (thermoplast) van alle onderdelen
Steel ETH T	3,4	kg	Versteving, schroefjes en boutjes

<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
------------------	---------------	-------------	----------------

Assembly:

<i>Name</i>	<i>Comment</i>
Koppelkast AC (1fasig-3fasig)	Materialen benodigd voor de productie van deze koppelkasten (AC), voor een functionele eenheid.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Steel sheet 20% rec. bj	24,45	kg	Plaatstaal voor de omkasting
Steel ETH T	2,45	kg	Frame, voetstuk en verstevingen
Printed board I	0,122	kg	Printplaten waarop alle onderdelen zijn bevestigd
Copper ETH T	14,67	kg	Geleidende delen: connectierails, klemmen, schakelaars, etc.
Aluminium 50% rec. B250	4,89	kg	DIN-rails, scheidingen en compartimenten
PVC P	3,67	kg	Kabelgootjes, isolatiestukken, omkastingen van onderdelen
PVC suspension A	1,71	kg	Isolatiemantels van bekabeling en zachte isolatie onderdelen

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Ondersteuningsconstructie Materialen benodigd voor de realisering van de ondersteunings-constructie van de zonnecentrale, voor een functionele eenheid (1TJ zonnestroom).

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Concrete I	7162,8	kg	Fundering in de vorm van poeren (voetstukken)
Steel I	3961,1	kg	Stalen constructie (gemaakt van HE140A en IPE140 profielen)
Zinc for plating ETH T	79,2	kg	Voor de verzinking van de stalen profielen

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Bekabeling AC-principe Alle bekabeling voor het AC zonnecentrale ontwerp, voor een functionele eenheid

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
VDS 1*1,5mm2	221,00	p	
VULT mb 2*10mm2	33,66	p	
VULTO mb 2*6mm2	41,93	p	
VULTO mb 2*4mm2	20,85	p	
VULTO mb 2*2,5mm2	8,27	p	
VULTA mb 3*70mm2	39,27	p	

Processes Amount Unit Comment

Assembly:

Name Comment
Assemblage Zonnecentrale AC-principe Opgenomen hierin is elk onderdeel van het zonnecentrale ontwerp op basis van het AC-principe. Elk onderdeel is berekend voor een functionele eenheid van 1TJ, dus ook deze assemblage zonnecentrale AC is voor 1TJ. Energie voor de assemblage is niet meegenomen omdat dit zeer moeilijk te bepalen is.

<i>Materials/Assemblies</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Inverters AC-principe	1	p	
Blokkeer en Isolatie dioden (AC-principe)	1	p	
Ondersteuningsconstructie	1	p	
Zonnepanelen	1	p	
Bekabeling AC-principe	1	p	

Processes Amount Unit Comment

Life cycle:

<i>Name</i>			<i>Comment</i>
Zonnecentrale AC-principe			De gebruiksfase van de zonnecentrale op basis van het AC-principe. Hierin treden geen milieueffecten op. Wel wordt de elektriciteits opbrengst voor de functionele eenheid hierin meegenomen (deze bedraagt het rendement van het AC-ontwerp maal 1 TJ).
<i>Assembly</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale AC-principe	1	p	Het assemblage scenario van het AC-principe zonnecentrale ontwerp, dit is impliciet de winnings- en productiefase van de AC-principe zonnecentrale
<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Electricity Netherlands	-0,8536	TJ	De gemiddelde elektriciteits (zonnestroom) levering van dit zonnecentrale AC-ontwerp op basis van het berekende gemiddelde vermogen op de hoofdverdeelinrichting, voor een functionele eenheid van 1TJ.
<i>Waste/Disposal scenario</i>			<i>Comment</i>
Zonnecentrale afvalfase			Het afvalscenario dat voor alle drie de ontwerpen wordt gehanteerd
<i>Additional life cycles</i>	<i>Number</i>	<i>Comment</i>	

Disposal scenario:

<i>Name</i>			<i>Comment</i>
Zonnecentrale afvalfase			Hierin worden de verschillende afval scenario's aangegeven.
<i>Assembly</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
Assemblage Zonnecentrale AC-principe	1	p	
<i>Processes</i>	<i>Amount</i>	<i>Unit</i>	<i>Comment</i>
<i>Waste scenarios</i>	<i>Perc.</i>	<i>Comment</i>	
Landfill B250 (98)	40 %	Fractie die naar stortterrein zal gaan	
Incineration B250 (98)	40 %	Fractie die naar verbrandingsinstallatie zal gaan	
Recycling only B250 avoided	20 %	Fractie die gerecycled wordt (met name onderdelen van de draagconstructie)	
<i>Disassemblies</i>	<i>Perc.</i>	<i>Comment</i>	

Bijlage 35 Milieu effecten van de drie ontwerpvarianten assemblies

DC-principe:

Karakterisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 27/02/2002 Time: 13:38:28
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Impact indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

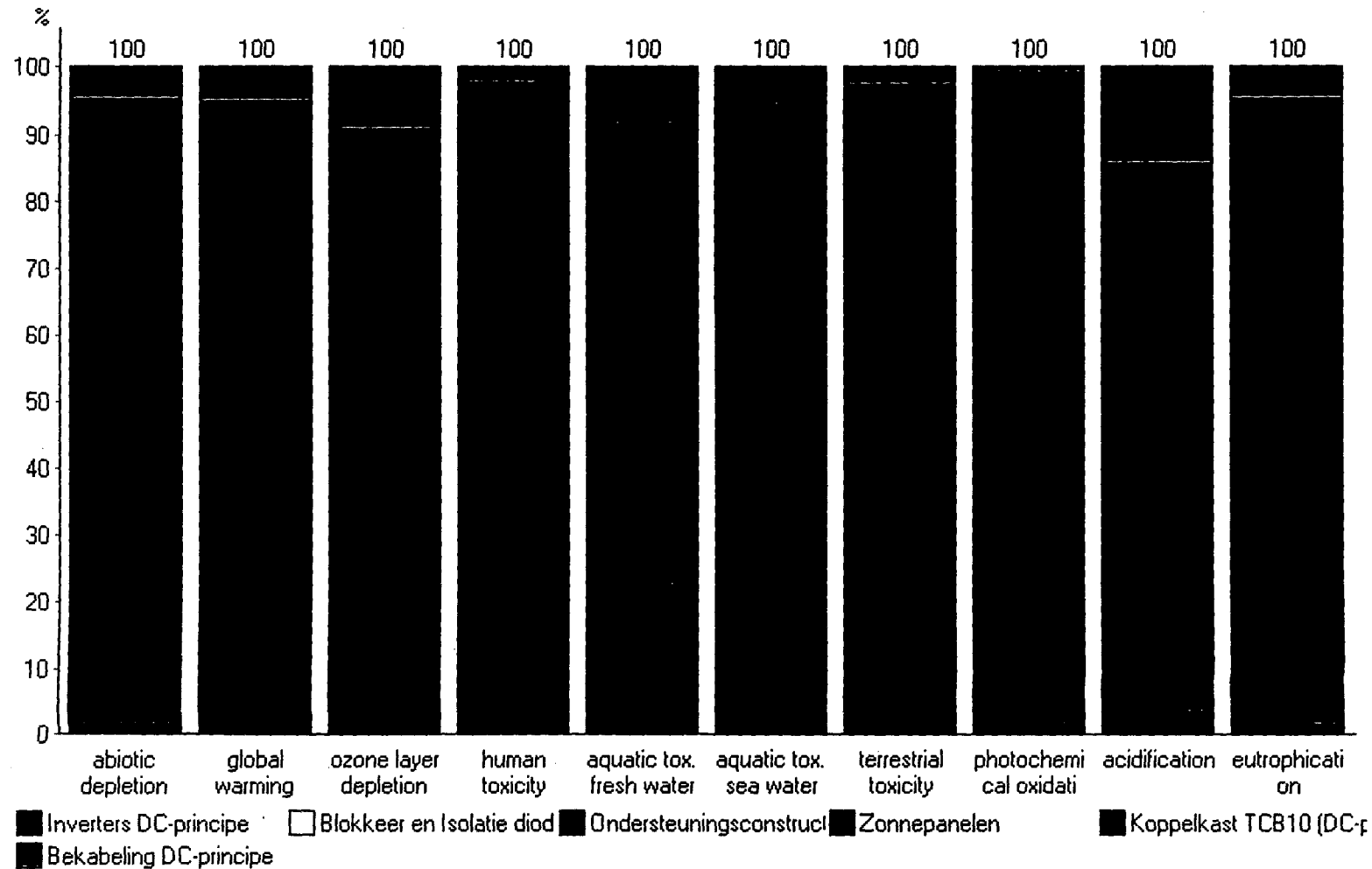
Impact category	Unit	Total	Inverters(DC)	Bl.Is.dioden (DC)	Ondersteuningsconst. Zonnepanelen	Koppelkast TCB10 (DC)		
Bekabeling(DC)								
abiotic depletion	kg Sb eq.	121	1,89	0,00201	45,4	67,5	0,229	5,91
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	1,47E4	237	0,268	4,9E3	8,79E3	17,7	734
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,00455	8,74E-5	3,93E-8	0,000153	0,00388	1,69E-6	0,000428
human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,34E4	241	0,0293	4,86E3	7,96E3	3,72	323
aquatic tox. fresh water	kg 1,4-DB eq	353	32,9	0,00225	67,2	222	4,23	26,6
aquatic tox. sea water	kg 1,4-DB eq	6,44E6	1,15E5	32,3	6,74E5	5,28E6	9,94E3	3,6E5
terrestrial toxicity	kg 1,4-DB eq	71,2	0,462	0,000157	54	14,8	0,0255	1,92
photochemical oxidation	kg C2H2	5,9	0,0804	2,2E-5	4,89	0,865	0,0141	0,0512
acidification	kg SO2 eq.	141	4,62	0,00309	34,4	81	0,272	20,5
eutrophication	kg PO4 eq	3,38	0,0468	5,99E-5	0,859	2,32	0,00192	0,159

Normalisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 27/02/2002 Time: 13:42:28
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Normalized indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category	Unit	Total	Inverters(DC)	Bl. Is.dioden (DC)	Ondersteuningsconst. Zonnepanelen	Koppelkast TCB10 (DC)	Bekabeling(DC)	
abiotic depletion		7,73E-10	1,21E-11	1,28E-14	2,9E-10	4,32E-10	1,47E-12	3,78E-11
global warming (GWP100)		3,8E-10	6,15E-12	6,95E-15	1,27E-10	2,28E-10	4,58E-13	1,9E-11
ozone layer depletion (ODP)		8,83E-12	1,7E-13	7,62E-17	2,97E-13	7,53E-12	3,27E-15	8,3E-13
human toxicity		2,69E-10	4,84E-12	5,88E-16	9,77E-11	1,6E-10	7,48E-14	6,5E-12
aquatic tox. fresh water		1,74E-10	1,62E-11	1,11E-15	3,3E-11	1,09E-10	2,08E-12	1,31E-11
aquatic tox. sea water		1,26E-8	2,25E-10	6,29E-14	1,31E-9	1,03E-8	1,94E-11	7,03E-10
terrestrial toxicity		2,66E-10	1,72E-12	5,87E-16	2,01E-10	5,52E-11	9,5E-14	7,17E-12
photochemical oxidation		1,3E-10	1,77E-12	4,83E-16	1,08E-10	1,9E-11	3,11E-13	1,13E-12
acidification		4,7E-10	1,54E-11	1,03E-14	1,15E-10	2,71E-10	9,08E-13	6,84E-11
eutrophication		2,62E-11	3,63E-13	4,64E-16	6,65E-12	1,79E-11	1,49E-14	1,23E-12

Grafische weergave: Assembly van het DC-principe zonnecentrale ontwerp



Analyzing 1 p assembly 'Assemblage Zonnecentrale DC-principe'; Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995 / characterization

String-inverter-principe:**Karakterisatie**

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:42:47
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Impact indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

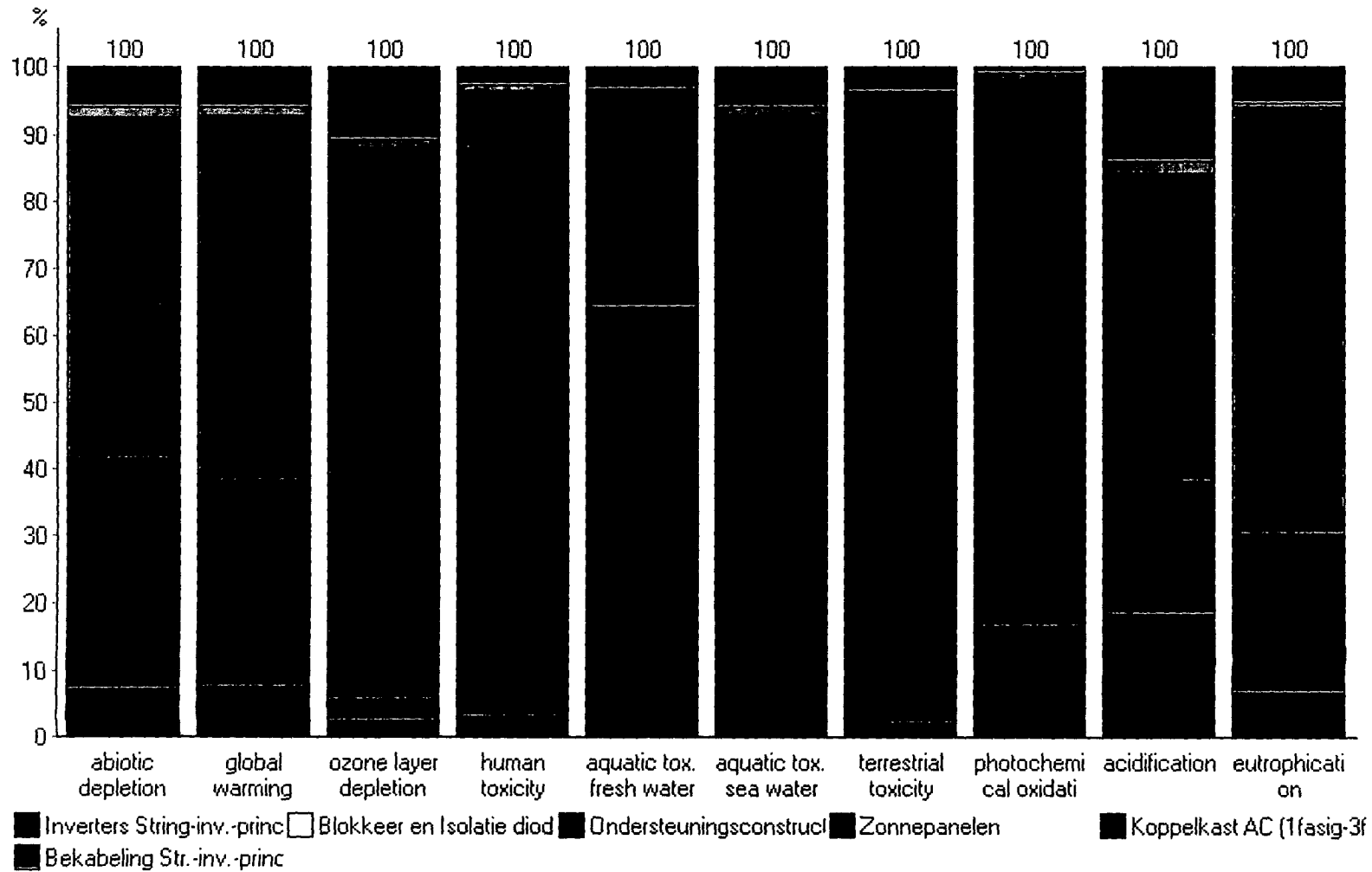
Impact category	Unit	Total	Inverters (str.-inv.)	B_I-dioden (Str_inv)	Ond.const.	Zonnepanelen	Kop.kast AC (1f.-3f.)	Bekabeling (str.-inv.)
abiotic depletion	kg Sb eq.	132	9,59	0,00241	45,4	67,5	1,82	8,12
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	1,61E4	1,21E3	0,322	4,9E3	8,79E3	184	962
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,00473	0,000117	4,73E-8	0,000153	0,00388	6,49E-5	0,000511
human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,37E4	406	0,0352	4,86E3	7,96E3	123	387
aquatic tox. fresh water	kg 1,4-DB eq	940	602	0,00271	67,2	222	17,1	32
aquatic tox. sea water	kg 1,4-DB eq	7,14E6	6,58E5	38,8	6,74E5	5,28E6	8,97E4	4,36E5
terrestrial toxicity	kg 1,4-DB eq	73,5	1,59	0,000189	54	14,8	0,359	2,74
photochemical oxidation	kg C2H2	7,06	1,17	2,64E-5	4,89	0,865	0,0611	0,0654
acidification	kg SO2 eq.	176	32,3	0,00371	34,4	81	3,47	24,8
eutrophication	kg PO4--- eq	3,64	0,242	7,19E-5	0,859	2,32	0,0297	0,193

Normalisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:43:14
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Normalized indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category (str.-inv.)	Unit	Total	Inverters (str.-inv.)	B_I-dioden (Str_inv)	Ond.const.	Zonnepanelen	Kop.kast AC (1f.-3f.)	Bekabeling
abiotic depletion		8,46E-10	6,13E-11	1,54E-14	2,9E-10	4,32E-10	1,17E-11	5,19E-11
global warming (GWP100)		4,16E-10	3,14E-11	8,35E-15	1,27E-10	2,28E-10	4,77E-12	2,49E-11
ozone layer depletion (ODP)		9,17E-12	2,26E-13	9,17E-17	2,97E-13	7,53E-12	1,26E-13	9,91E-13
human toxicity		2,76E-10	8,17E-12	7,08E-16	9,77E-11	1,6E-10	2,48E-12	7,78E-12
aquatic tox. fresh water		4,63E-10	2,96E-10	1,33E-15	3,3E-11	1,09E-10	8,4E-12	1,57E-11
aquatic tox. sea water		1,39E-8	1,28E-9	7,57E-14	1,31E-9	1,03E-8	1,75E-10	8,51E-10
terrestrial toxicity		2,74E-10	5,95E-12	7,06E-16	2,01E-10	5,52E-11	1,34E-12	1,02E-11
photochemical oxidation		1,55E-10	2,58E-11	5,8E-16	1,08E-10	1,9E-11	1,34E-12	1,44E-12
acidification		5,88E-10	1,08E-10	1,24E-14	1,15E-10	2,71E-10	1,16E-11	8,29E-11
eutrophication		2,82E-11	1,87E-12	5,57E-16	6,65E-12	1,79E-11	2,3E-13	1,49E-12

Grafische weergave: Assembly van het String-inverter-principe zonnecentrale ontwerp



Analyzing 1 p assembly 'Assemblage Zonnecentrale Str.-inv.-principe'; Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995 / characterization

AC-principe:**Karakterisatie**

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:45:23
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Impact indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

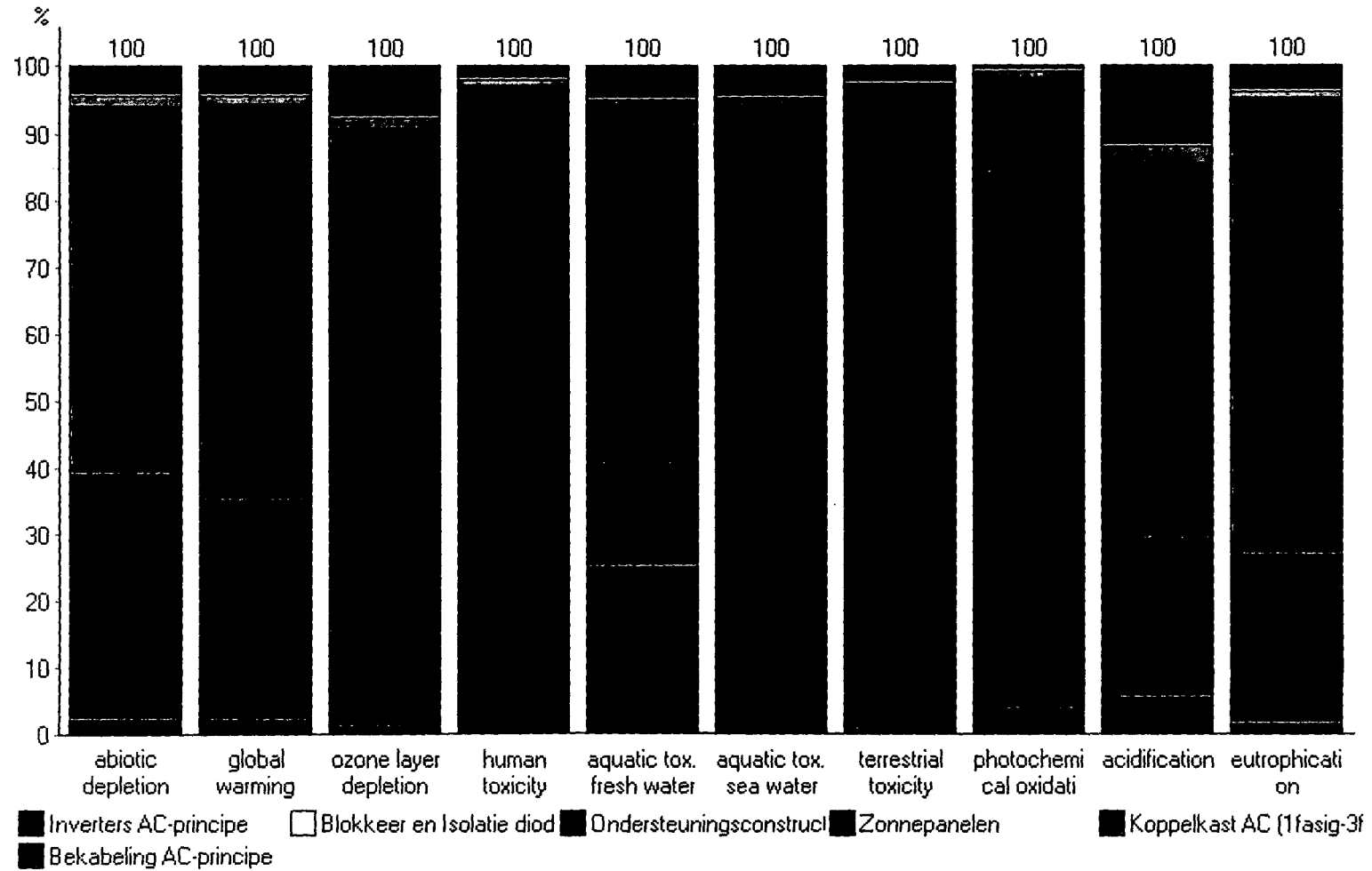
Impact category (AC)	Unit	Total	Inverters (AC)	B_J_dioden (AC)	Onderst.constr.	Zonnepanelen	Koppelkast AC (1f-3f)	Bekabeling
abiotic depletion	kg Sb eq.	123	2,42	0,00603	45,4	67,5	1,82	5,66
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	1,48E4	293	0,806	4,9E3	8,79E3	184	672
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0,00452	5,58E-5	1,18E-7	0,000153	0,00388	6,49E-5	0,000358
human toxicity	kg 1,4-DB eq	1,33E4	84,5	0,088	4,86E3	7,96E3	123	275
aquatic tox. fresh water	kg 1,4-DB eq	440	111	0,00676	67,2	222	17,1	22,9
aquatic tox. sea water	kg 1,4-DB eq	6,5E6	1,46E5	97	6,74E5	5,28E6	8,97E4	3,08E5
terrestrial toxicity	kg 1,4-DB eq	71,5	0,477	0,000473	54	14,8	0,359	1,9
photochemical oxidation	kg C2H2	6,08	0,212	6,59E-5	4,89	0,865	0,0611	0,0479
acidification	kg SO2 eq.	144	7,72	0,00928	34,4	81	3,47	17,3
eutrophication	kg PO4--- eq	3,4	0,0559	0,00018	0,859	2,32	0,0297	0,136

Normalisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:45:39
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Normalized indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category	Unit	Total	Inverters (AC)	B_J_dioden (AC)	Onderst.constr.	Zonnepanelen	Koppelkast AC (1f-3f)	Bekabeling (AC)
abiotic depletion		7,85E-10	1,54E-11	3,85E-14	2,9E-10	4,32E-10	1,17E-11	3,62E-11
global warming (GWP100)		3,84E-10	7,58E-12	2,09E-14	1,27E-10	2,28E-10	4,77E-12	1,74E-11
ozone layer depletion (ODP)		8,76E-12	1,08E-13	2,29E-16	2,97E-13	7,53E-12	1,26E-13	6,95E-13
human toxicity		2,67E-10	1,7E-12	1,77E-15	9,77E-11	1,6E-10	2,48E-12	5,52E-12
aquatic tox. fresh water		2,16E-10	5,44E-11	3,33E-15	3,3E-11	1,09E-10	8,4E-12	1,13E-11
aquatic tox. sea water		1,27E-8	2,84E-10	1,89E-13	1,31E-9	1,03E-8	1,75E-10	6E-10
terrestrial toxicity		2,67E-10	1,78E-12	1,77E-15	2,01E-10	5,52E-11	1,34E-12	7,1E-12
photochemical oxidation		1,34E-10	4,67E-12	1,45E-15	1,08E-10	1,9E-11	1,34E-12	1,05E-12
acidification		4,81E-10	2,58E-11	3,1E-14	1,15E-10	2,71E-10	1,16E-11	5,79E-11
eutrophication		2,63E-11	4,32E-13	1,39E-15	6,65E-12	1,79E-11	2,3E-13	1,05E-12

Grafische weergave: Assembly van het AC-principe zonnecentrale ontwerp



Analyzing 1 p assembly 'Assemblage Zonnecentrale AC-principe'; Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995 / characterization

Bijlage 36 Milieu effecten van de drie ontwerpvarianten life cycles

DC-principe:

Karakterisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 27/02/2002 Time: 14:00:08
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Impact indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

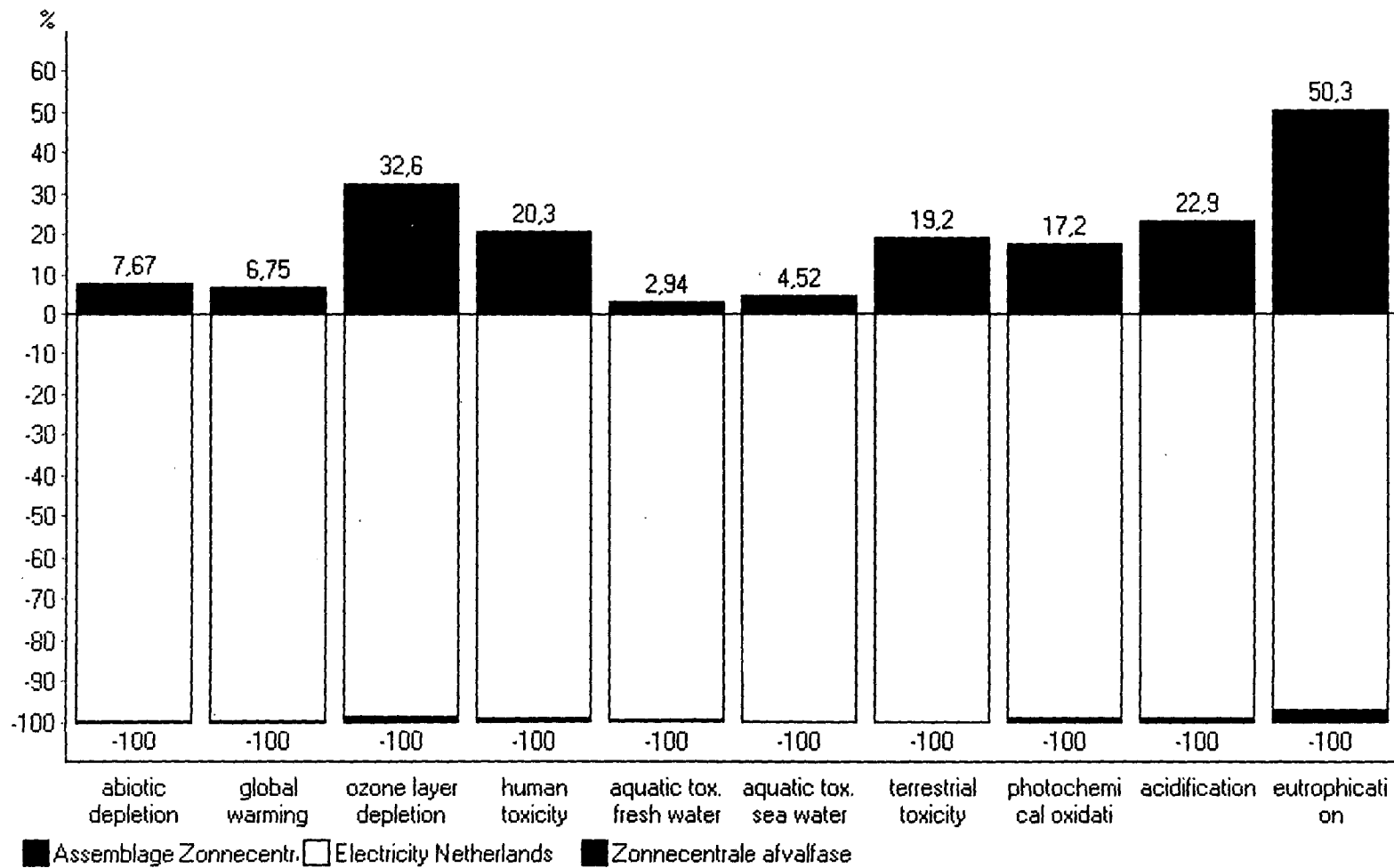
Impact category	Unit	Total	Assemblage Zonnecentrale (DC)	Electricity Netherlands	Zonnecentrale afvalfase
abiotic depletion	kg Sb eq.	-1,46E3	121	-1,57E3	-11,2
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	-2,03E5	1,47E4	-2,16E5	-1,28E3
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-0,00943	0,00455	-0,0138	-0,0002
human toxicity	kg 1,4-DB eq	-5,26E4	1,34E4	-6,53E4	-681
aquatic tox. fresh water	kg 1,4-DB eq	-1,17E4	353	-1,19E4	-64,3
aquatic tox. sea water	kg 1,4-DB eq	-1,42E8	6,44E6	-1,48E8	2,61E5
terrestrial toxicity	kg 1,4-DB eq	-305	71,2	-377	1,01
photochemical oxidation	kg C2H2	-28,4	5,9	-34	-0,33
acidification	kg SO2 eq.	-473	141	-608	-5,7
eutrophication	kg PO4 eq	-3,34	3,38	-6,52	-0,199

Normalisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 27/02/2002 Time: 14:00:32
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Normalized indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category	Unit	Total	Assemblage Zonnecentrale (DC)	Electricity Netherlands	Zonnecentrale afvalfase
abiotic depletion		-9,3E-9	7,73E-10	-1E-8	-7,13E-11
global warming (GWP100)		-5,25E-9	3,8E-10	-5,6E-9	-3,3E-11
ozone layer depletion (ODP)		-1,83E-11	8,83E-12	-2,67E-11	-3,88E-13
human toxicity		-1,06E-9	2,69E-10	-1,31E-9	-1,37E-11
aquatic tox. fresh water		-5,74E-9	1,74E-10	-5,88E-9	-3,16E-11
aquatic tox. sea water		-2,76E-7	1,26E-8	-2,89E-7	5,08E-10
terrestrial toxicity		-1,14E-9	2,66E-10	-1,41E-9	3,78E-12
photochemical oxidation		-6,24E-10	1,3E-10	-7,47E-10	-7,26E-12
acidification		-1,58E-9	4,7E-10	-2,03E-9	-1,9E-11
eutrophication		-2,58E-11	2,62E-11	-5,05E-11	-1,54E-12

Grafische weergave: Life Cycle van het DC-principe zonnecentrale ontwerp



Analyzing 1 p life cycle 'Zonnecentrale DC-principe'; Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995 / characterization

String-inverter-principe:**Karakterisatie:**

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:44:11
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Impact indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category	Unit	Total	Assemblage Zonnecentrale (Str-inv)	Electricity Netherlands	Zonnecentrale afvalfase
abiotic depletion	kg Sb eq.	-1,4E3	132	-1,52E3	-11,2
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	-1,95E5	1,61E4	-2,1E5	-1,28E3
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-0,00885	0,00473	-0,0134	-0,0002
human toxicity	kg 1,4-DB eq	-5,03E4	1,37E4	-6,34E4	-681
aquatic tox. fresh water	kg 1,4-DB eq	-1,07E4	940	-1,16E4	-64,3
aquatic tox. sea water	kg 1,4-DB eq	-1,37E8	7,14E6	-1,44E8	2,61E5
terrestrial toxicity	kg 1,4-DB eq	-291	73,5	-366	1,01
photochemical oxidation	kg C2H2	-26,2	7,06	-32,9	-0,33
acidification	kg SO2 eq.	-419	176	-590	-5,7
eutrophication	kg PO4--- eq	-2,89	3,64	-6,33	-0,199

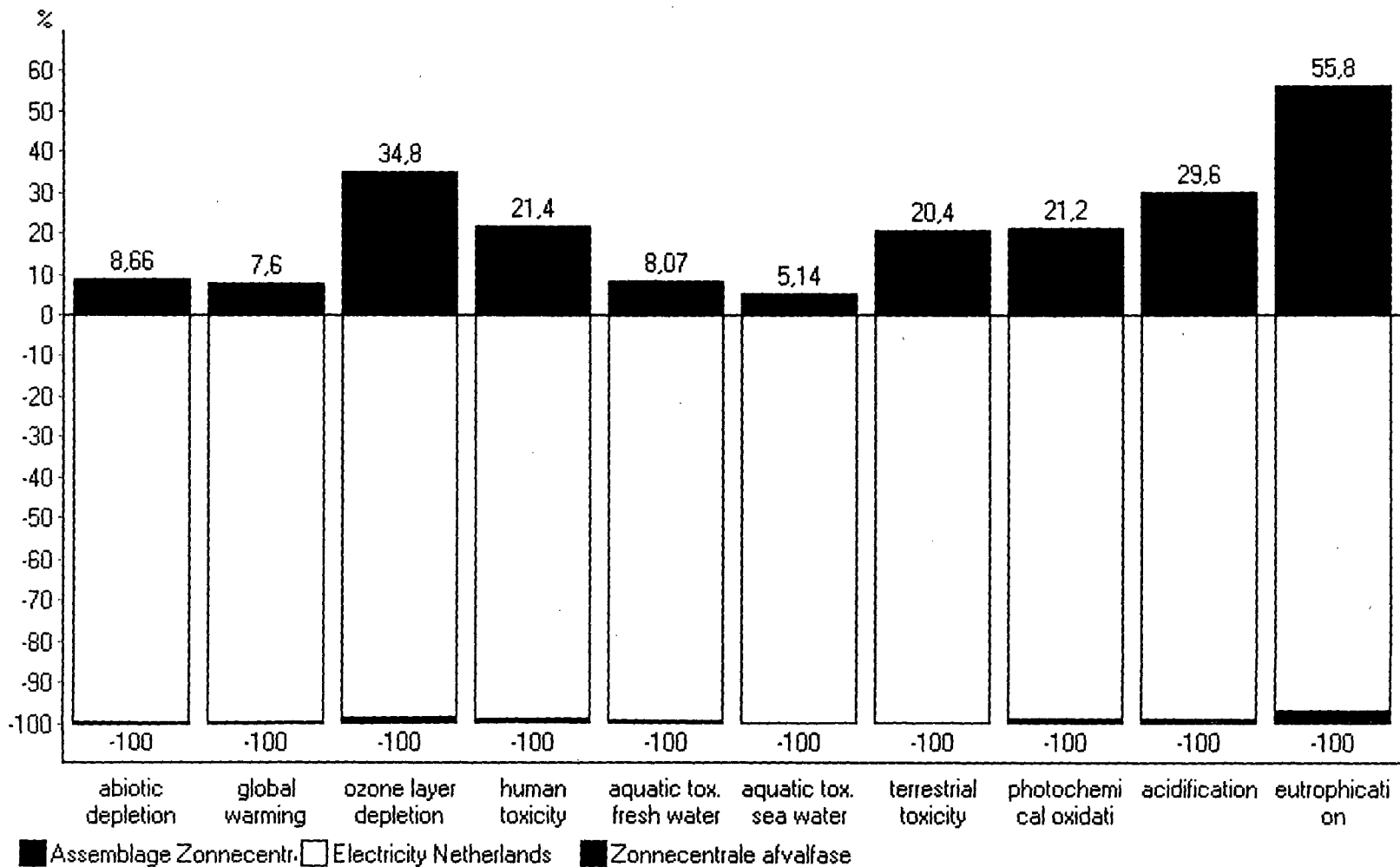
Normalisatie:

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:44:38
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Normalized indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category	Unit	Total	Assemblage Zonnecentrale (Str-inv.)	Electricity Netherlands	Zonnecentrale afvalfase
abiotic depletion		-8,93E-9	8,46E-10	-9,71E-9	-7,13E-11
global warming (GWP100)		-5,05E-9	4,16E-10	-5,43E-9	-3,3E-11
ozone layer depletion (ODP)		-1,72E-11	9,17E-12	-2,59E-11	-3,88E-13
human toxicity		-1,01E-9	2,76E-10	-1,27E-9	-1,37E-11
aquatic tox. fresh water		-5,27E-9	4,63E-10	-5,7E-9	-3,16E-11
aquatic tox. sea water		-2,66E-7	1,39E-8	-2,81E-7	5,08E-10
terrestrial toxicity		-1,09E-9	2,74E-10	-1,36E-9	3,78E-12
photochemical oxidation		-5,77E-10	1,55E-10	-7,25E-10	-7,26E-12
acidification		-1,4E-9	5,88E-10	-1,97E-9	-1,9E-11
eutrophication		-2,23E-11	2,82E-11	-4,9E-11	-1,54E-12

Grafische weergave:

Life Cycle van het String-inverter-principe zonnecentrale ontwerp



Analyzing 1 p life cycle Zonnecentrale Str.-inv.-principe'; Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995 / characterization

AC-principe:**Karakterisatie**

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:46:20
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Impact indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

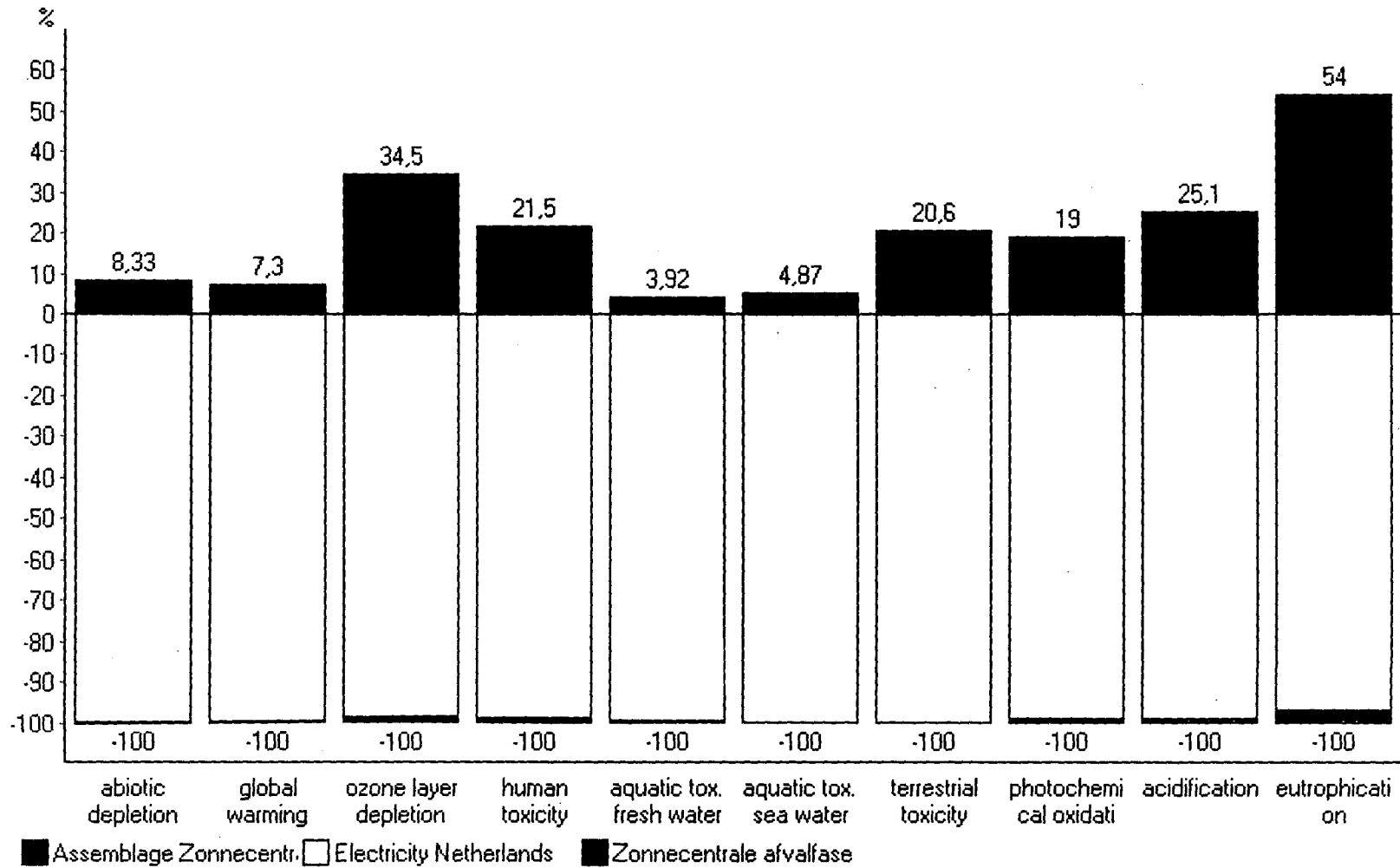
Impact category	Unit	Total	Assemblage Zonnecentrale AC-principe	Electricity Netherlands	Zonnecentrale afvalfase
abiotic depletion	kg Sb eq.	-1,35E3	123	-1,46E3	-11,2
global warming (GWP100)	kg CO2 eq.	-1,89E5	1,48E4	-2,02E5	-1,28E3
ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	-0,00857	0,00452	-0,0129	-0,0002
human toxicity	kg 1,4-DB eq	-4,84E4	1,33E4	-6,11E4	-681
aquatic tox. fresh water	kg 1,4-DB eq	-1,08E4	440	-1,12E4	-64,3
aquatic tox. sea water	kg 1,4-DB eq	-1,32E3	6,5E6	-1,39E3	2,61E5
terrestrial toxicity	kg 1,4-DB eq	-280	71,5	-353	1,01
photochemical oxidation	kg C2H2	-26	6,08	-31,7	-0,33
acidification	kg SO2 eq.	-430	144	-568	-5,7
eutrophication	kg PO4--- eq	-2,9	3,4	-6,1	-0,199

Normalisatie

SimaPro 5.0 LCIA Profile Date: 01/03/2002 Time: 12:46:38
 Project: PV-Zonnecentrale
 Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995
 Value: Normalized indicator
 Per impact category: Yes
 Skip unused: Never
 Relative mode: Non

Impact category	Unit	Total	Assemblage Zonnecentrale AC-principe	Electricity Netherlands	Zonnecentrale afvalfase
abiotic depletion		-8,64E-9	7,85E-10	-9,35E-9	-7,13E-11
global warming (GWP100)		-4,88E-9	3,84E-10	-5,23E-9	-3,3E-11
ozone layer depletion (ODP)		-1,66E-11	8,76E-12	-2,5E-11	-3,88E-13
human toxicity		-9,74E-10	2,67E-10	-1,23E-9	-1,37E-11
aquatic tox. fresh water		-5,31E-9	2,16E-10	-5,49E-9	-3,16E-11
aquatic tox. sea water		-2,57E-7	1,27E-8	-2,71E-7	5,08E-10
terrestrial toxicity		-1,04E-9	2,67E-10	-1,31E-9	3,78E-12
photochemical oxidation		-5,72E-10	1,34E-10	-6,98E-10	-7,26E-12
acidification		-1,44E-9	4,81E-10	-1,9E-9	-1,9E-11
eutrophication		-2,24E-11	2,63E-11	-4,72E-11	-1,54E-12

Grafische weergave: Life cycle van het AC-principe zonnecentrale ontwerp



Analyzing 1 p life cycle Zonnecentrale AC-principe': Method: CML 2 baseline 2000 (preliminary) / World, 1995 / characterization

Bijlage 37 Weging van de milieueffecten tot milieubelastingen

DC-principe:

Milieueffect	Perc. Eco. Kosten	A	Gew. M.E.	B	Gew. M.E.	C	Gew. M.E.
Abiotische uitputtingspotentieel	7,67	19	145,73	8	61,36	18	138,06
Klimaatverandering (GWP)	6,75	9	60,75	8	54,00	18	121,50
Ozonuitputtingspotentieel	32,6	9	293,40	8	260,80	15	489,00
Humane toxiciteit	20,3	9	182,70	18	365,40	7	142,10
Ecotoxiciteit Aquatisch Fresh W.	2,94	9	26,46	8	23,52	7	20,58
Ecotoxiciteit Aquatisch Sea W.	4,52	9	40,68	8	36,16	7	31,64
Ecotoxiciteit Terrestisch	19,2	9	172,80	8	153,60	7	134,40
Fotochemische Oxidantvorming	17,2	9	154,80	18	309,60	7	120,40
Verzuringspotentieel	22,9	9	206,10	8	183,20	7	160,30
Eutrofiering	50,3	9	452,70	8	402,40	7	352,10
Totaal:	100	1736,12	100	1850,04	100	1710,08	
Milieubelasting:		A: 17,36		B: 18,50		C: 17,10	

Str-inv.-principe:

Milieueffect	Perc. Eco. Kosten	A	Gew. M.E.	B	Gew. M.E.	C	Gew. M.E.
Abiotische uitputtingspotentieel	8,66	19	164,54	8	69,28	18	155,88
Klimaatverandering (GWP)	7,6	9	68,40	8	60,80	18	136,80
Ozonuitputtingspotentieel	34,8	9	313,20	8	278,40	15	522,00
Humane toxiciteit	21,4	9	192,60	18	385,20	7	149,80
Ecotoxiciteit Aquatisch Fresh W.	8,07	9	72,63	8	64,56	7	56,49
Ecotoxiciteit Aquatisch Sea W.	5,14	9	46,26	8	41,12	7	35,98
Ecotoxiciteit Terrestisch	20,4	9	183,60	8	163,20	7	142,80
Fotochemische Oxidantvorming	21,1	9	189,90	18	379,80	7	147,70
Verzuringspotentieel	29,6	9	266,40	8	236,80	7	207,20
Eutrofiering	55,8	9	502,20	8	446,40	7	390,60
Totaal:	100	1999,73	100	2125,56	100	1945,25	
Milieubelasting:		A: 20,00		B: 21,26		C: 19,45	

AC-principe:

Milieueffect	Perc. Eco. Kosten	A	Gew. M.E.	B	Gew. M.E.	C	Gew. M.E.
Abiotische uitputtingspotentieel	8,33	19	158,27	8	66,64	18	149,94
Klimaatverandering (GWP)	7,3	9	65,70	8	58,40	18	131,40
Ozonuitputtingspotentieel	34,5	9	310,50	8	276,00	15	517,50
Humane toxiciteit	21,5	9	193,50	18	387,00	7	150,50
Ecotoxiciteit Aquatisch Fresh W.	3,92	9	35,28	8	31,36	7	27,44
Ecotoxiciteit Aquatisch Sea W.	4,87	9	43,83	8	38,96	7	34,09
Ecotoxiciteit Terrestisch	20,6	9	185,40	8	164,80	7	144,20
Fotochemische Oxidantvorming	19	9	171,00	18	342,00	7	133,00
Verzuringspotentieel	25,1	9	225,90	8	200,80	7	175,70
Eutrofiering	54	9	486,00	8	432,00	7	378,00
Totaal:	100	1875,38	100	1997,96	100	1841,77	
Milieubelasting:		A: 18,75		B: 19,98		C: 18,42	

Verklaring:

- Gew. M.E. : Gewicht van het milieueffect.
 A : Opdrachtgeversperspectief
 B : Bevolkingsperspectief
 C : Overheidsperspectief

Bijlage 38 Cash flow schema van DC-principe ontwerp met ASE300-DG-FT-panelen

Jaar	Componenten									
	Zonnepanelen	Dioden	Ond. Constructie	Koppelkasten	Bekabeling	Inverters	H.L.verd.inrichting	Transformatie	Monitoring	Gebouwen
0	-15480926	-9180	-6496125	-85429	-947268	-2979663	-115000	-84000	-459000	-517275
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										

in Euro's

Instal.kost.	Onderhoud	Loon	Investeringspremies		Subsidie	Opbrengst	Net.NFC's	Disc. Fac.	Disc. NCF's
			EIA	VAMIL					
-1000000							-28173866	1,0000	-€ 28.173.866
		-10000	5230969	9510853	13320	1200000	15945142	0,9717	€ 15.493.865
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,9442	€ 762.000
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,9175	€ 740.434
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,8915	€ 719.478
	-5000	-10000		-396286	13320	1200000	802034	0,8663	€ 694.784
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,8418	€ 679.329
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,8179	€ 660.103
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,7948	€ 641.421
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,7723	€ 623.267
	-5000	-10000		-396286	13320	1200000	802034	0,7504	€ 601.875
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,7292	€ 588.487
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,7086	€ 571.832
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,6885	€ 555.648
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,6690	€ 539.922
	-5000	-10000		-396286	13320	1200000	802034	0,6501	€ 521.391
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,6317	€ 509.793
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,6138	€ 495.365
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,5964	€ 481.345
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,5796	€ 467.722
	-5000	-10000		-396286	13320	1200000	802034	0,5632	€ 451.669
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,5472	€ 441.622
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,5317	€ 429.123
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,5167	€ 416.978
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,5021	€ 405.177
		-10000		-396286	13320	1200000	807034	0,4878	€ 393.710
	inflatie		3% Reele rente				IRV =	0,41%	NCW =
	Nom. rente		6%	0,029126214					€ 712.473
				2,91%					