

OPTIMALISATIE WASPROCES EURO POOL SYSTEM

MET BETREKKING TOT HET ENERGIEBELEID



Joris Heijndijk

MANAGEMENT & BESTUUR
TECHNISCHE BEDRIJFSKUNDE

EXAMENCOMMISSIE
PETER SCHUUR



UNIVERSITEIT TWENTE.

Voorwoord

In het kader van het afstuderen voor mijn bachelor Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente heb ik gekozen voor een stageopdracht bij het logistieke bedrijf Euro Pool System (EPS). In samenwerking met het bedrijf is gekozen om een verkenningstudie op het gebied van duurzame energie uit te voeren. We hebben voor deze studie gekozen voor de energiehuishouding van het wasproces.

Ik heb gekozen voor deze opdracht omdat ik het onderwerp van duurzame energie, naast dat het een actueel onderwerp is, ook een erg interessant onderwerp vind. Daarnaast was het een duidelijke opdracht, die goed aansluit op mijn vooropleiding. Hoewel ik al eerdere opdrachten in samenwerking met bedrijven heb uitgevoerd, was dit voor mij de eerste echte langdurige samenwerking met een bedrijf. En ondanks enkele vertragingen en moeilijkheden bij het vinden van bruikbare informatie kan ik zeggen dat deze opdracht, naast een leerzame ervaring, ook een erg aangename ervaring is geweest.

Hiervoor wil ik iedereen bij EPS die met mij samengewerkt heeft bedanken en in het bijzonder Niels de Goede voor het verschaffen van de opdracht, Tom Delfos voor zijn begeleiding en enthousiasme, en Ron Eeuwijk voor zijn inzichten en informatieverschaffing. Daarnaast wil ik ook mijn begeleider van de kant van de Universiteit Twente, Peter Schuur, bedanken voor zijn inzichten en het opzetten van interessante ontmoetingen met experts op het gebied van duurzame energie. Dit brengt mij tot het bedanken van Tinus Hammink van de Hogeschool Arnhem en Nijmegen voor zijn hartelijke ontvangst op de dag van de duurzaamheid en zijn inzichten in de mogelijkheden op het gebied van duurzame energie. Tenslotte zou ik graag mijn ouders willen bedanken voor de support en de nodige aansporingen.

Allen hartstikke bedankt voor jullie bijdrage, zonder jullie was het niet gelukt!

Joris Heijndijk

Enschede

December, 2012

Managementsamenvatting

In dit rapport wordt een energieplan beschreven voor de wasinstallatie van het logistieke bedrijf Euro Pool System. De wasmachine is één van de grootste kostenposten op het gebied van energie, reden waarom men op zoek is naar verbeteringen om deze kostenpost verder te verkleinen. Het bijbehorende onderzoek is vooral gericht op duurzame energiebronnen. Daarnaast wordt kort aangegeven wat de sterke punten van het huidige proces zijn en waar nog bepaalde mogelijkheden voor verbetering liggen. Het onderzoek is dan ook gebaseerd op de volgende onderzoeksvraag:

Hoe kan de energiehuishouding van het wasproces bij Euro Pool System geoptimaliseerd worden?

Hierbij zijn elke (hoofd)deelvragen opgesteld. Op het gebied van duurzame bronnen, ofwel de input:

1. *Welke energiebronnen zijn het meest kostenefficiënt?*
2. *Welke energiebronnen zijn het gunstigst voor EPS?*
3. *Zijn er combinaties mogelijk?*

Op het gebied van het analyseren van het proces en eventuele stappen richting optimalisatie zijn de volgende (hoofd)deelvragen opgesteld:

4. *Hoe kan het huidige wasproces verbeterd worden op basis van energieverbruik?*
5. *Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van hergebruik?*
6. *Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van omgevingsfactoren?*

Na een studie op het gebied van duurzame energiebronnen is gekozen om de volgende bronnen uit te werken:

- 3.1 Blue-energy
- 3.2 Getijde-energie
- 3.3 Zonne-energie
- 3.4 Wind energie
- 3.5 Biomassa
- 3.6 Warmtepomp
- 3.7 Algenproductie

Hierbij is in overleg met EPS besloten om vooral bronnen 3.3 en 3.4 volledig uit te werken. De rest van de bronnen zijn wel steeds volledig toegelicht, alleen zullen de resultaten minder exact uitgewerkt zijn. Voor het beantwoorden van de deelvragen voor de input is, naast het opstellen van een NPV-analyse per bron en een korte studie over mogelijke combinaties, een AHP-analyse opgesteld om de meest geschikte bron voor EPS te selecteren.

Voor het beantwoorden van deelvragen 4-6 is een analyse gemaakt van het huidige proces en de aangebrachte verbeteringen. Vervolgens worden de mogelijkheden van hergebruik kort aangekaart. Tenslotte eindig ik met een analyse van de mogelijkheden van omgevingsfactoren.

Voor het beantwoorden van het input-vraagstuk wordt het resultaat van de AHP-analyse gegeven. De scores voor de criteria binnen deze analyse zijn gebaseerd op de besprekingen met de projectmanager en mijzelf. Deze informatie heb ik vervolgens vertaald in wegingsfactoren voor de criteria. De scores op de verschillende criteria, per energiebron, zijn door mijzelf bepaald. Deze scores leiden tot de volgende eindscores per bron. Hoe hoger de score hoe beter de bron is bevonden voor het wasproces van EPS. Voor meer informatie over de AHP-analyse verwijs ik naar gedeelte 3.8 en voor een overzicht van de verschillende scores verwijs ik naar appendix F.

Blue-energy	Getijde-energie	PV-panelen	Micro-wind	3MW-wind	Biomassa	Warmtepomp	Algen	Totaal
0,038	0,029	0,207	0,180	0,209	0,093	0,087	0,164	1,000

Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat de beste bron voor EPS op dit moment het alternatief 3MW-windmolen is, omdat deze de hoogste uitkomst levert. We kunnen zien dat de PV-panelen erg dicht in de buurt komen van de score van de 3MW-windmolen. Dit komt door een hoge wegingsfactor van de toegankelijkheid. Aangezien de zonnepanelen overal toegankelijk zijn, komt deze score zo hoog uit. Als er gekeken wordt naar de terugverdientijd is de 3MW-windmolen echter duidelijk de beste.

Het vraagstuk over procesoptimalisatie laat nog enkele vragen open. Wel kan geconcludeerd worden dat het huidige wasproces al grotendeels geoptimaliseerd is op het gebied van duurzaamheid. Wat betreft energieopslag zijn er verschillende mogelijkheden benoemd die op dit moment beschikbaar zijn:

- Pumped hydro storage (PHS)
- Thermal energy storage (TES)
- Compressed air energy storage (CAES)
- Small-scale compressed air energy storage (SSCAES)
- Energy storage coupled with natural gas storage (NGS)
- Energy storage using flow batteries (FBES)
- Fuel cells – Hydrogen energy storage (FC-HES)
- Chemical Storage
- Flywheel energy storage (FES)
- Superconducting magnetic energy storage (SMES)
- Energy storage in supercapacitors

In verband met de beperkte beschikbare tijd en omvang van het onderzoek zijn deze mogelijkheden slechts kort benoemd en niet verder uitgewerkt. Voor een daadwerkelijke keuze op het gebied van energieopslag zal een vervolgonderzoek moeten volgen.

Er liggen mogelijkheden voor het hergebruik van afvalstromen. Zo kan het afval afkomstig van de klant door middel van biomassa omgezet worden in energie en kan afvalwater gebruikt worden om bio-olie op te wekken door middel van algenproductie. Zoals in het eerste gedeelte is toegelicht, zijn beide technologieën duur en voornamelijk goede opties voor de toekomst als de kosten verder dalen.

Het gedeelte over omgevingsfactoren geeft aan dat er verschillende mogelijkheden liggen voor samenwerkingsverbanden op het gebied van duurzame energie. De meest voorname voor EPS zijn:

- het verkrijgen van afvalwarmte van een bedrijf dat werkzame processen heeft met een veel hogere temperatuur dan 60 °C;
- het gezamenlijk aanschaffen van een grote windturbine met een aantal andere bedrijven om zo, naast het gebruik van energie ook de kosten van de windturbine te delen.

Inhoudsopgave

Voorwoord	
Managementsamenvatting	
Inleiding	1
Deel I	1
1. Introductie	1
1.1 Introductie bedrijf	1
1.2 Situatieschets	2
2. Onderzoek	7
2.1 Onderzoeksvraag	7
2.2 Deelvragen	7
2.2.1 Input	7
2.2.2 Procesoptimalisatie	7
2.3 Plan van aanpak	8
2.4 Deliverables	9
2.5 Overzicht rapport	9
Deel II	10
3 Duurzame energiebronnen	10
3.1 Blue-energy	11
3.1.1 Pressure-retarded osmosis (PRO)	12
3.1.2 Reverse Electro Dialysis (RED)	13
3.1.3 Blue energy potentieel en kosten in Nederland (Afsluitdijk)	15
3.2 Getijde/Golf-energie	17
3.2.1 Getijde/golf-energie potentieel en kosten in Nederland (Afsluitdijk)	18
3.3 Zonne-energie	19
3.3.1 PV-panelen	19
3.3.2 Zonneboiler-systeem	25
3.4 Windenergie	28
3.5 Biomassa	33
3.6 Warmtepomp	38
3.7 Algenproductie	43
3.8 AHP analyse (Welke bron is de beste?)	48
3.9 Combinaties	49

Conclusie deel II.....	49
Deel III.....	51
4. Procesoptimalisatie	51
4.1 Analyse huidige wasproces	51
4.2 Energieopslag	51
4.2.1 Pumped hydro storage (PHS)	52
4.2.2 Thermal energy storage (TES)	54
4.2.3 Compressed air energy storage (CAES)	54
4.2.4 Small-scale compressed air energy storage (SSCAES)	55
4.2.5 Energy storage coupled with natural gas storage (NGS).....	55
4.2.6 Energy storage using flow batteries	55
4.2.7 Fuel cells – Hydrogen energy storage	55
4.2.8 Chemical storage	56
4.2.9 Flywheel energy storage (FES).....	57
4.2.10 Superconducting magnetic energy storage (SMES)	58
4.2.11 Energy storage in supercapacitors	58
4.2.12 Overzicht en conclusie.....	58
4.3 Afvalverwerking.....	59
4.4 Omgevingsfactoren	59
4.5 Conclusie deel III.....	61
5. Conclusie	62
Appendix.....	65
Appendix A	65
Instraling per locatie (Europa)	65
Subsidies per locatie.....	66
Elektriciteitsprijs per locatie (Europa)	66
Terugverdiertijden per locatie.....	66
Appendix B	68
Overzicht onderzoek micro windturbines	68
Subsidies per locatie.....	68
Elektriciteitsprijs per locatie (Europa)	69
Terugverdiertijden per locatie.....	69
Appendix C.....	71
Coëfficiënt of performance (COP) (Duratech warmtepompen).....	71

Appendix D	72
Overzicht totale Agri cluster voor het Transitie Alternatief	72
Appendix E	72
NPV-analyse	72
Weighted average cost of capital (WACC)	73
Appendix F	73
Appendix G	76
Appendix H	78
Bibliografie	79

Inleiding

Met het dreigende opraken van de traditionele energiebronnen gas en olie, gaat een stijging van de kosten voor deze energie gepaard. Dit heeft tot gevolg dat men op zoek gaat naar manieren om energieverbruik te verkleinen en alternatieve energiebronnen gaat verkennen. Hetzelfde proces vindt plaats bij logistieke grootmacht Euro Pool System. Men denkt vooral bij het huidige wasproces veel te kunnen winnen op het gebied van energieverbruik. Dit rapport gaat in op de mogelijkheden die Euro Pool System heeft binnen hun energiebeleid rondom het wasproces.

In deel I zal een introductie gegeven worden van het bedrijf en het huidige wasproces.

In deel II zal een overzicht gegeven worden van de mogelijkheden die Euro Pool System heeft op het gebied van duurzame energiebronnen.

In deel III zal een overzicht gegeven worden op welke manier Euro Pool System (EPS) het wasproces zou kunnen optimaliseren en welke mogelijkheden men heeft om deelprocessen, die momenteel niet optimaal benut worden, te combineren met het optimaliseren van het wasproces. De deelprocessen die in dit rapport onderscheiden worden zijn de afvalverwerking en samenwerkingsverbanden (in dit rapport breder aangeduid als omgevingsfactoren).

Deel I

1. Introductie

In dit gedeelte zal een introductie gegeven worden van het bedrijf en de bijbehorende situatie die de aanleiding is voor dit onderzoek. Dit is vooral bedoeld om inzicht te geven met wat voor soort bedrijf gewerkt is en hoe de situatie, waarvoor de verschillende analyses gemaakt worden, er daadwerkelijk uitziet.

1.1 Introductie bedrijf

Euro Pool System is Europa's grootste logistieke service leverancier op het gebied van te retourneren en recyclebare materialen. Anders gezegd, de grootste distributeur op het gebied van kratten in Europa. Het gaat hierbij vooral om het vervoeren van levensmiddelen, denk aan groente en fruit. Het bedrijf draait om de zogenaamde 'pool'. Deze pool bestaat uit de volgende onderdelen (The system, 2012):

- Levering aan de huurder
- Oogsten en packaging bij de huurder
- Order picking bij de retailer
- Winkel van retailer
- Return logistics (sorting/waste management)
- Transport terug naar EPS
- Wassen van kratten en opslag, klaar voor nieuwe huurder

EPS heeft de volgende missie geformuleerd (Mission and values, 2012):

‘Euro Pool System is your reliable supply chain partner, providing Material Handling and Packaging Solutions and value-added Reverse Logistics services to the European retail market.’

Daarbij heeft EPS de volgende waarden benoemd: betrouwbaarheid, integriteit, klantgericht, gepassioneerd, innovatief.

Deze waarden hebben in de afgelopen tijd geleid tot de volgende initiatieven:

- Quality management: Strikte hygiëne voorwaarden voor het wasproces (zie situatieschets); het wasmiddel, water temperatuur en spoelwater worden constant gecontroleerd.
- Innovatie: RFID en 2D-barcodes, stock management, cost management en international automation.
- Sustainability: Door het gebruik van het zogenaamde High Density Polyethylene (HDPE) zijn de kratten minimaal tien jaar bruikbaar. Dit betekent dat er per jaar 300 miljoen kilo minder afval wordt geproduceerd. Daarnaast zijn zowel alle kratten als alle pallets 100% recyclebaar.

Om een beeld te geven van de omvang van het bedrijf worden hier enkele kerncijfers over 2011 gegeven:

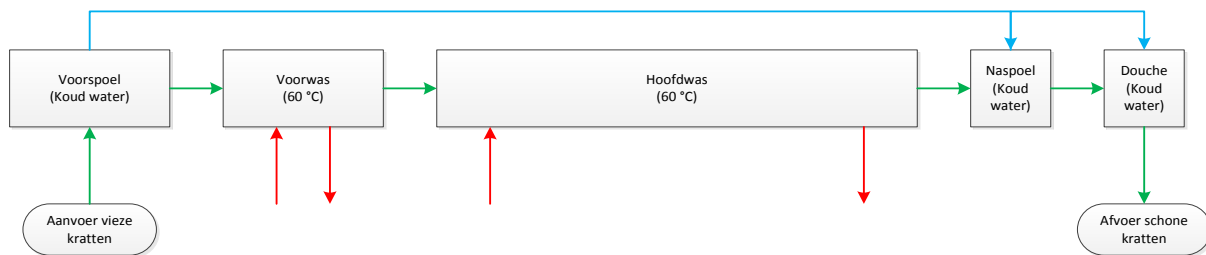
Euro Pool System in 2011	
Number of rotations:	656 million
Revenues:	€ 224 million
Number of locations:	45
Staff:	278
Offices in:	13 countries
Operational in:	20 countries

Figuur 1. Enkele jaargetallen Euro Pool System (Facts and figures, 2012).

1.2 Situatieschets

Zoals al eerder aangegeven, is EPS altijd op zoek naar mogelijkheden om hun energieverbruik te verminderen. Na een analyse van de verschillende processen heeft men geconcludeerd dat er waarschijnlijk op het gebied van het wasproces van de kratten winst te behalen valt. Dit hoofdstuk zal een overzicht geven van de huidige situatie en wat men zoal heeft geprobeerd om het energieverbruik te verminderen.

Om de hoge kwaliteit die EPS op het gebied van hygiëne wil en moet bieden te waarborgen, maakt men alleen gebruik van zelf geselecteerde wasmachines voor de kratten. Deze machines zijn aanwezig op een vestiging van EPS zelf of worden geïnstalleerd op een vestiging van vaste klanten. Allereerst zal er een schets gegeven worden van het huidige wasproces met de verschillende deelprocessen, vervolgens volgt een overzicht van de verschillende energiestromen en tenslotte wordt een overzicht van de verschillende mogelijkheden binnen het onderzoek gegeven.



Figuur 2. Grafische weergave van de processen binnen het wasproces van EPS (Venlo).

Groen: Het pad wat de krat aflegt binnen het proces.

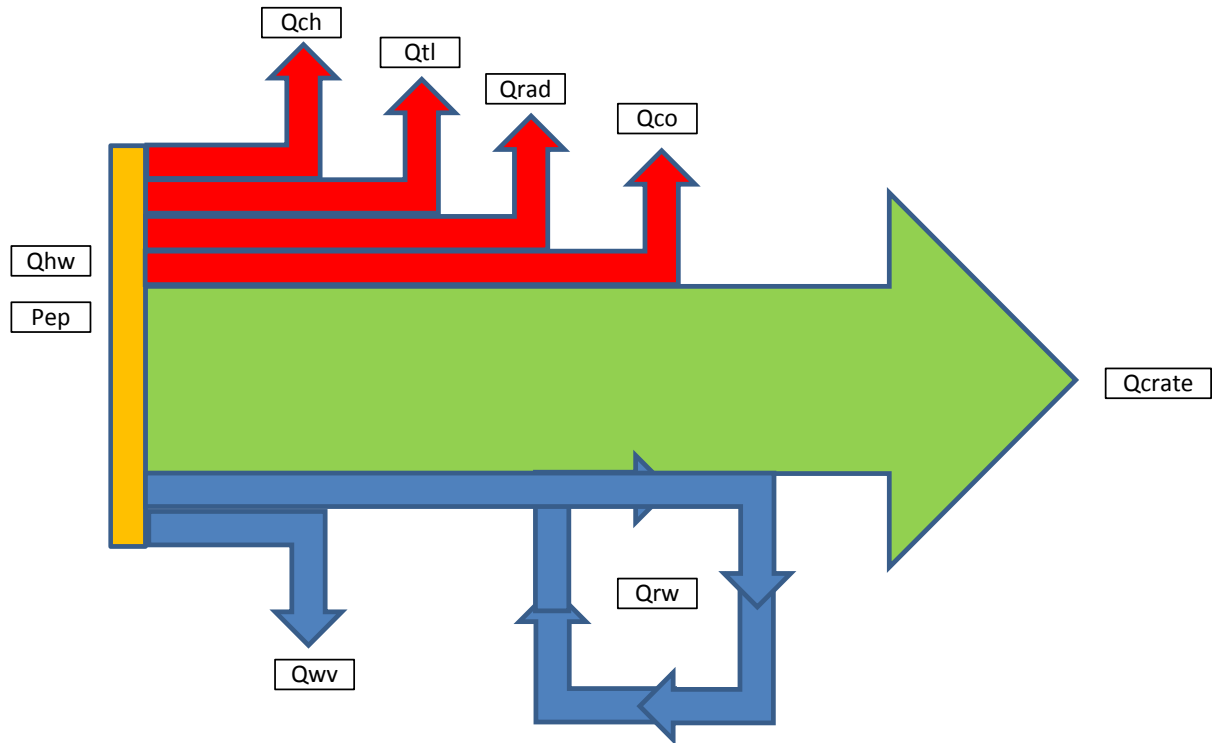
Blauw: de uitwisseling van water tussen voor en naspoel/douche.

Rood: De uitwisseling van warmte tussen water en bron (Delfos & Eeuwijk, Kennismaking, 2012).

Kijken we naar de wasmachine, dan zijn de volgende deelprocessen te onderscheiden:

- (Aanvoer): Pallets met kratten worden vanuit de opslagruimte naar de wasmachine vervoerd.
- Voorspoel: In dit proces worden de kratten door middel van koelwater voorgespoeld. Hier is één ventilator aanwezig.
- Voorwas: In dit proces worden de kratten door verwarmd water (60 °C) gehaald. Hier is één ventilator aanwezig.
- Hoofdwass: Hier worden kratten één voor één door een hoofdwasser (60 °C) gehaald. Hier zijn twee ventilatoren aanwezig.
- Naspoel/douche: Aan het eind van de machine worden de kratten door koud water nagespoeld en zijn schoon genoeg voor gebruik (Hier wordt water teruggevoerd naar het voorspoelproces).
- (Packaging en storage): Kratten worden in standaard hoeveelheden op de pallets geplaatst en vastgezet. Vervolgens worden de pallets naar de opslagruimte verplaatst.

Dit proces gaat gepaard met verschillende energiestromen. Er wordt aangenomen dat op al deze stromen winst te behalen is. Om een overzicht te krijgen van de mogelijkheden wordt hieronder een indicatie gegeven van de energiebalans.



Figuur 3. Grafische weergave van de energiebalans rondom het wasproces van EPS (Delfos & Eeuwijk, Kennismaking, 2012).

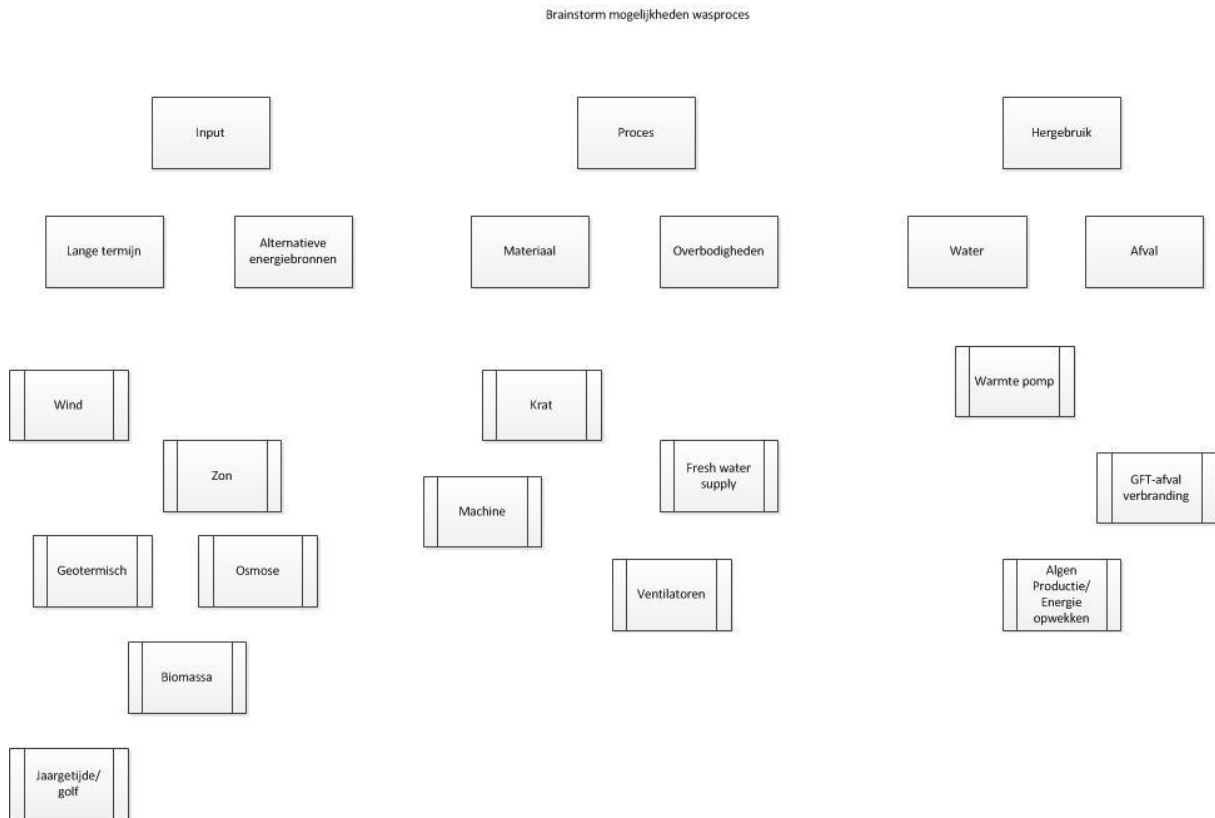
Als we kijken naar de energiebalans van de wasmachine, dan zijn er 9 energiestromen uit te filteren:

- Inkomende energie
 - Pep: Elektrische energie input van de pompen (1400 MWh)
 - Qhw: Warmte aangevoerd naar de wasmachine (3000 MWh)
- Warmteverlies
 - Qtl: Warmteverlies aan de transportpijpen
 - Qrad: Warmteverlies door radiatie
 - Qco: Warmteverlies door warmteoverdracht van het water aan de krat
 - Qcrate: Achtergebleven warmte in krat na wasproces
 - Qwv: Warmte in waterdamp onttrokken aan de wasmachine
 - Qrw: Warmte geabsorbeerd door koud spoelwater
 - Qch: Warmte geabsorbeerd door transportband

Gezien de omvang van het onderzoek is er voor gekozen om de verbetering van het wasproces op te delen in twee onderdelen:

- Het optimaliseren van de input (voornamelijk gebaseerd op opbrengst/kosten, maar hier kunnen factoren als imago ook in meewegen), en
- Het optimaliseren van het wasproces zelf (denk hierbij bijvoorbeeld aan het minimaliseren van spoelwater).

Op basis van deze keuze zijn er door middel van een brainstormsessie de volgende mogelijkheden duidelijk geworden:



Figuur 4. Overzicht brainstormsessie

In overleg met EPS is er voor gekozen om de volgende energiebronnen verder uit te werken:

- 3.3 Zon
- 3.4 Wind
- 3.5 Biomassa
- 3.6 Warmtepomp (geothermisch)
- 3.7 Algenproductie

De bronnen die verder besproken worden zijn de recentelijk opkomende energiebronnen:

- 3.1 Blue-energy
- 3.2 Getijde-energie

Dit heeft ten eerste te maken met de hoge opbrengst die deze bronnen op de kortere termijn hebben ten opzichte van de andere genoemde bronnen en ten tweede met de toegankelijkheid van deze bronnen. Verduidelijking van de toegankelijkheid en de opbrengsten komen in het volgende hoofdstuk terug.

Daarnaast is er voor gekozen om de standaard processen niet radicaal te veranderen aangezien een dergelijke verandering, naast een grote investering, ook zorgt voor grote verwarring en misschien zelfs tegenstand (Delfos & Eeuwijk, Kennismaking, 2012). Dit betekent dat er niet gekeken wordt naar materialen/onderdelen van het proces, maar dat er geconcentreerd wordt op het optimaliseren van het huidige proces. Hierbij kan gedacht worden aan:

- 4.1 Analyseren huidige proces
- 4.2 Energieopslag
- 4.3 Hergebruik
 - 4.3.1 Afvalverwerking van afvalwater
 - 4.3.2 Afvalverwerking van inhoud kratten (afkomstig van huurder)
- 4.4 Omgevingsfactoren

Voor een duidelijk overzicht hoe deze verschillende punten behandeld zullen worden en de beoordeling van de energiebronnen, zal in het volgende onderdeel een overzicht gegeven worden van het onderzoek met bijbehorende onderzoeksvragen en de verwachte opbrengsten.

2. Onderzoek

In dit gedeelte zal een overzicht gegeven worden van de scope van het onderzoek door middel van de onderzoeksvraag en de daar bijbehorende deelvragen, een overzicht van het plan van aanpak, de uiteindelijke functie van deze studie voor EPS en een overzicht van deze studie binnen het rapport.

2.1 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag van dit onderzoek is:

Hoe kan de energiehuishouding van het wasproces bij Euro Pool System geoptimaliseerd worden?

Gezien de brede scope van deze vraag zijn de volgende deelvragen opgesteld.

2.2 Deelvragen

De deelvragen zijn opgesteld om het hoofdonderzoek op te splitsen in deelonderzoeken die al eerder toegelicht zijn. De categorie en de bijbehorende deelvragen worden hieronder gegeven

2.2.1 Input

1. *Welke energiebronnen zijn het meest kostenefficiënt?*
 - 1.1 *Wat zijn de kosten?*
 - 1.2 *Wat zijn de opbrengsten?*
 - 1.3 *Waar ligt het break-even point? (Hoelang duurt het voor de investering zich terugverdient?)*
2. *Welke energiebronnen zijn het gunstigst voor EPS?*
 - 2.1 *Wat is de toegankelijkheid van elke bron?*
 - 2.2 *Wat is de uitstraling van elke bron?*
 - 2.3 *Hoe goed sluit elke bron aan op het huidige wasproces?*
 - 2.4 *Wat zijn bijkomende voordelen?*
3. *Zijn er combinaties mogelijk?*
 - 3.1 *Welke combinaties zijn er?*
 - 3.2 *Wat zijn de voordelen van combinaties?*

2.2.2 Procesoptimalisatie

4. *Hoe kan het huidige wasproces verbeterd worden op basis van energieverbruik?*
 - 4.1 *Hoe ziet het huidige proces eruit en waar liggen verbeterpunten?*
 - 4.2 *Hoe kan energie het beste opgeslagen worden?*
5. *Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van hergebruik?*
 - 5.1 *Hoe kan door de huurder afgeleverd afval voordelig gebruikt worden?*
 - 5.2 *Hoe kan afvalwater voordelig gebruikt worden?*
6. *Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van omgevingsfactoren?*
 - 6.1 *Wat zijn voorbeelden van dergelijke factoren?*
 - 6.2 *Wat zijn de huidige mogelijkheden voor EPS op het gebied van omgevingsfactoren?*
 - 6.3 *Hoe kan EPS rekening houden met omgevingsfactoren bij het bepalen van een nieuwe locatie?*

2.3 Plan van aanpak

Om een antwoord te verkrijgen op de eerder besproken deelvragen en uiteindelijk een conclusie te verkrijgen met betrekking tot de onderzoeksvraag, is het volgende plan van aanpak opgesteld. Er zal eerst een studie worden gedaan naar de mogelijkheden binnen duurzame energie op dit moment. Vervolgens zullen de gevonden mogelijkheden uitgewerkt worden:

- Welke technologie(en) bestaan er binnen de bron?
- Wat is de geschiedenis en de ontwikkeling van de bron?
- Welke factoren spelen een rol bij de prestaties van de bron?

Als dit duidelijk is zal daarna een antwoord gegeven worden op deelvraag 1:

Welke energiebronnen zijn het meest kostenefficiënt? En de daarbij behorende deelvragen:

- 1.1 Wat zijn de kosten?
- 1.2 Wat zijn de opbrengsten?
- 1.3 Waar ligt het break-even point?

Dit zal gedaan worden door middel van een analyse van de producten die op dit moment aangeboden worden voor elke bron en een NPV-analyse van elke bron op basis van gemiddelde/optimale waarden met bijbehorend break-even point.

Als deze vragen beantwoord zijn kan er gekeken worden naar een antwoord op deelvraag 2:

Welke energiebronnen zijn het gunstigst voor EPS? Het beantwoorden van deze vraag en bijbehorende deelvragen:

- 2.1 Wat is de toegankelijkheid van elke bron?
- 2.2 Wat is de uitstraling van elke bron?
- 2.3 Hoe goed sluit elke bron aan op het huidige wasproces?
- 2.4 Wat zijn bijkomende voordelen?

Dit zal gedaan worden door middel van een AHP-analyse met criteria die aansluiten op bovenstaande deelvragen. Hieruit kan vervolgens de beste energiebron voor EPS bepaald worden. Het input gedeelte wordt afgesloten met een gedeelte waarin deelvragen 3.1-3.2 worden beantwoord:

- 3.1 Welke combinaties zijn er?
- 3.2 Wat zijn de voordelen van combinaties?

Wat betreft de procesoptimalisatie zal er een beeld gegeven worden van het huidige proces om een antwoord te verkrijgen op deelvraag 4.1: Hoe ziet het huidige proces eruit en waar liggen de verbeterpunten? Daarnaast wordt een studie gedaan op het gebied van energieopslag en gezocht naar een antwoord op deelvraag 4.2: Hoe kan energie het beste opgeslagen worden?

Om vragen:

- 5.1 Hoe kan door huurder geleverd afval voordelig gebruikt worden?
- 5.2 Hoe kan afvalwater voordelig gebruikt worden?

te beantwoorden wordt een koppeling gezocht tussen het al eerder besproken inputgedeelte en eventueel hergebruik. In andere woorden: zou er energie gewonnen kunnen worden uit hergebruik? Deze vraag zal beantwoord worden door een studie op het gebied van afvalverwerking en energieopwekking.

Tenslotte zal er een antwoord gegeven worden op deelvraag 6: Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van omgevingsfactoren? Met bijbehorende deelvragen:

- 6.1 Wat zijn voorbeelden van dergelijke factoren?
- 6.2 Wat zijn de huidige mogelijkheden van EPS op het gebied van omgevingsfactoren?
- 6.3 Hoe kan EPS rekening houden met omgevingsfactoren bij het kiezen van een nieuwe locatie?

Dit zal gedaan worden door een studie van voorkomende of geplande samenwerkingsverbanden op het gebied van energie. Hoe zou EPS kunnen profiteren van dergelijke samenwerkingsverbanden en een eventuele terugkoppeling naar het inputgedeelte: zijn er mogelijkheden voor samenwerkingsverbanden op het gebied van energiebronnen?

2.4 Deliverables

Met de gevonden resultaten geeft dit rapport een overzicht van de mogelijkheden die er op dit moment zijn op het gebied van duurzame energie, maar nog belangrijker, het geeft aan welke bron het beste is voor EPS en welke investering men hiervoor moet doen. Daarnaast geeft dit rapport een overzicht van mogelijkheden die er zijn voor procesoptimalisatie op het gebied van energie. Voor daadwerkelijke opbrengsten van dergelijke projecten zal echter een vervolgstudie noodzakelijk zijn.

2.5 Overzicht rapport

Met dit gedeelte wordt deel I afgesloten. In aansluitende delen deel II en deel III zullen respectievelijk het input gedeelte en het procesoptimalisatie gedeelte worden behandeld. Deel II bestaat uit de introducties en NPV-analyses van de verschillende energiebronnen: Hoofdstuk 3.1 Blue energy, Hoofdstuk 3.2 Getijde/Golf-energie, Hoofdstuk 3.3 Zonne-energie, Hoofdstuk 3.4 Wind energie, Hoofdstuk 3.5 Warmtepomp (Geothermisch), Hoofdstuk 3.6 Biomassa. Daarop aansluitend zal in hoofdstuk 3.7 de AHP-analyse gegeven worden om te concluderen welke energiebron het beste bevonden kan worden voor EPS. Hiermee wordt deel II afgesloten.

Deel III is opgenomen in hoofdstuk 4:

- 4.1 Een overzicht van het huidige proces met verbeterpunten en geoptimaliseerde punten,
- 4.2 Een overzicht van de mogelijkheden op het gebied van energieopslag,
- 4.3 Een overzicht van de mogelijkheden op het gebied van afvalwerking, en
- 4.4 een overzicht van mogelijkheden op het gebied van omgevingsfactoren.

Het rapport zal worden afgesloten met hoofdstuk 5. Dit bevat de conclusie waarin een antwoord gegeven wordt op de onderzoeksvraag: Hoe kan de energiehuishouding van het wasproces bij Euro Pool System geoptimaliseerd worden?

Deel II

3 Duurzame energiebronnen

In dit gedeelte zal het input-vraagstuk, door middel van de deelvragen:

1. *Welke energiebronnen zijn het meest kostenefficiënt?*
2. *Welke energiebronnen zijn het gunstigst voor EPS?*

behandeld worden: *Welke energiebronnen zijn het meest kostenefficiënt?* Om hier een antwoord op te vinden zal na een korte introductie van de verschillende energiebronnen een NPV-analyse¹ gedaan worden. Hierin zullen de volgende vraagstukken duidelijk worden:

- 1.1 *Wat zijn de kosten?* Hoeveel moet er in de technologie geïnvesteerd worden in Euro's, hoeveel moet er aan installatiekosten betaald worden in Euro's en wat zijn de jaarlijkse onderhoudskosten in Euro's.
- 1.2 *Wat zijn de opbrengsten?* Hoewel deze allereerst bepaald worden in kWh zal dit door middel van het vergelijken met ofwel de gas- ofwel de elektriciteitsprijs omgezet worden in een opbrengst in Euro's.
- 1.3 *Waar ligt het break-even point?* Met de bovenstaande twee factoren kan een break-even point² bepaald worden; deze zal gegeven worden in een fractie van jaren.

Voor een voorbeeld van deze NPV-analyse wordt verwezen naar Appendix G.

In deze studie is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van alternatieve (duurzame) energiebronnen. In dit gedeelte zullen de verschillende bronnen en hun potentie gegeven worden. Op basis van een studie over de beschikbare duurzame bronnen op dit moment en hun potentie is de keuze gevallen op de volgende energiebronnen (Varun, Prakash, & Bhat, 2010) (Resch, et al., 2006) (Gross, Leach, & Bauen, 2003) (Dincer, 2000) (de Vries, van Vuuren, & Hoogwijk, 2007) (Delfos & Eeuwijk, Kennismaking, 2012)

- 3.1 Blue-energy
- 3.2 Getijde-energie/Golf energie
- 3.3 Zonne energie
- 3.4 Wind energie
- 3.5 Geothermisch/Warmtepomp
- 3.6 Biomassa
- 3.7 Algenproductie

¹ NPV-analyse staat voor Net Present Value-analyse: In een dergelijke analyse worden de totale kosten: investering, onderhoud etc. afgezet tegen de totale opbrengsten. Dit wordt gedisconteerd tegen een bepaalde factor: geld nu heeft niet dezelfde waarde als geld over 10 jaar (denk aan bijvoorbeeld inflatie). Het resultaat van een dergelijke analyse geeft de waarde van een project/investering aan gedurende een bepaalde periode. Met gebruik hiervan kan een break-even point van een investering bepaald worden (zie voetnoot 2). Voor meer informatie over NPV wordt verwezen naar Appendix E.

² Break-even point staat voor de periode tot een bepaald project of een bepaalde investering winstgevend wordt. Anders gezegd, pas nadat het break-even point bereikt is wordt er aan een investering geld verdiend.

In overleg met EPS is gekozen voor een volledige uitwerking van de mogelijkheden van zonne-energie en wind energie. De andere bronnen zullen nog steeds volledig worden toegelicht, alleen is de studie die voor deze bronnen is gedaan minder omvangrijk en vooral bedoeld om een algemeen beeld te geven van desbetreffende bron en het potentieel van deze bron op dit moment. Als al deze bronnen individueel behandeld zijn zal door middel van een AHP-analyse bepaald worden welke energiebron het beste is voor EPS, waarmee een antwoord wordt gegeven op deelvraag 2: Welke energiebronnen zijn het gunstigst voor EPS. Deze AHP-analyse is opgebouwd uit criteria gebaseerd op deelvragen 2.1-2.4:

- 2.1 *Wat is de toegankelijkheid van elke bron?*
- 2.2 *Wat is de uitstraling van elke bron?*
- 2.3 *Hoe goed sluit elke bron aan op het huidige wasproces?*
- 2.4 *Wat zijn bijkomstige voordelen?*

Deze vragen leiden tot de volgende criteria:

- Toegankelijkheid
- Terugverdientijd (bestaande uit kosten en opbrengsten)
- Imago
- Positieve samenwerkingsverbanden
- Groeipotentie van energiebron

Dit gedeelte zal afgesloten worden met een klein stukje over de mogelijkheden binnen het combineren van de verschillende energiebronnen. Hierbij wordt antwoord gegeven op de volgende deelvragen:

- 3.1 *Welke combinaties zijn er?*
- 3.2 *Wat zijn de voordelen van combinaties?*

3.1 Blue-energy

Voor er in wordt gegaan op het concept van Blue-Energy (de benutting van het potentiaalverschil tussen zoet en zout water) is het van belang dat het principe van osmose eerst toegelicht wordt. Osmose is een natuurkundige proces op basis van diffusie: een vloeistof waarin stoffen zijn opgelost stroomt door een halfdoorlatend (semi-permeabel) membraan, dat wel vloeistof doorlaat maar niet de opgeloste stoffen. Het proces is op concentratie van de opgeloste stoffen gebaseerd: de vloeistof stroomt van de zijde waar de concentratie van de opgeloste stoffen hoger is, naar de zijde waar de concentratie van de opgeloste stoffen lager is. Dit leidt uiteindelijk tot een natuurkundig evenwicht waarin de concentraties aan beide kanten van het membraan gelijkwaardig zijn (Osmose, 2012).

Waarom zou blue-energy een goed alternatief zijn als energiebron? Er zijn verschillende redenen aan te dragen maar de meest duidelijke zijn:

- Het levert geen vervuiling op voor het milieu (geen CO₂-uitstoot, geen uitstoot van andere schadelijke stoffen).
- Het is een constant proces, het proces kan 24 uur per dag 7 dagen in de week blijven draaien (defecten van materiaal buiten beschouwing gelaten).

- Er is een enorme hoeveelheid aan grondstoffen, de aarde bestaat voor ruim 70% uit zeewater.

Maar hoe wordt er energie opgewekt door middel van osmose? (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010). Er zijn op dit moment twee varianten van 'osmose energie' en deze bevinden zich in verschillende onderzoeksstadia:

- Pressure-Retarded Osmosis, afgekort PRO, ontwikkeld door het Noorse Statkraft.
- Reverse Electro Dialysis, afgekort R.E.D., ontwikkeld door het Nederlandse REDstack.

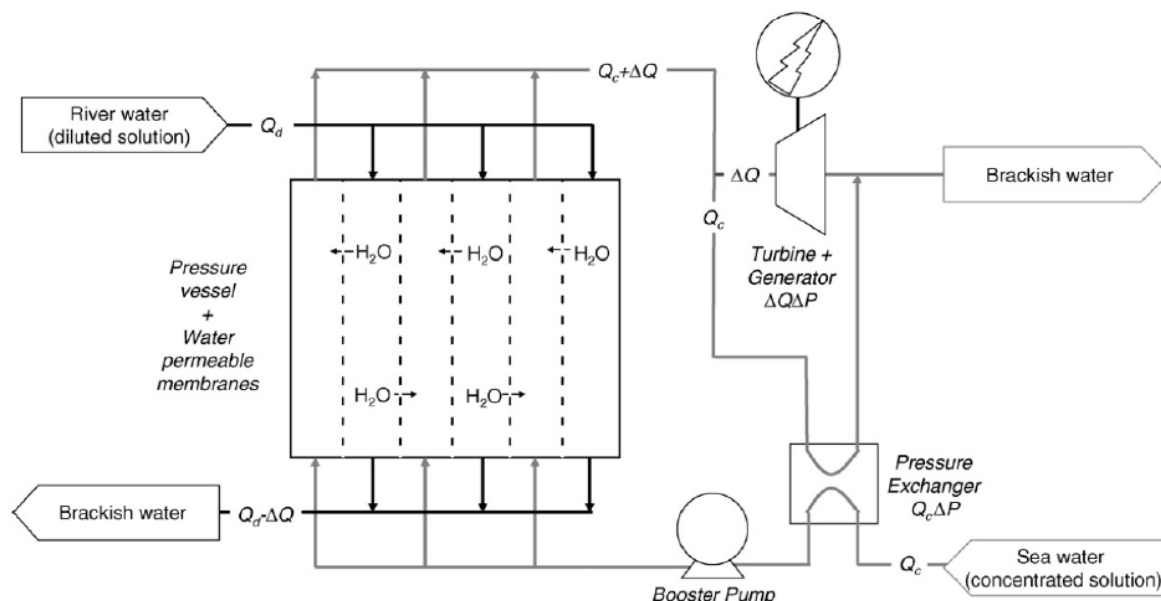
Hoewel de theorie van het opwekken van energie door middel van osmose al bekend is sinds de jaren 70, is het Noorse Statkraft de eerste geweest die dit principe in de praktijk heeft gebracht. Dit bedrijf is vanaf 1997 bezig met het ontwikkelen van een cost-efficiënte osmotische methode om energie op te wekken. Na ruim 10 jaar van ontwikkeling van de technologie is men plannen gaan maken voor het implementeren van deze technologie in de praktijk. In 2009 is dit gerealiseerd aan de oostkust van Noorwegen.

RED is ontwikkeld door het Nederlandse REDstack. In 2006 is deze toepassing in Harlingen als eerste toegepast en vervolgens is in 2007, in samenwerking met eneco, de toepassing op de Afsluitdijk geplaatst (zie ook 3.1.2).

In het komende gedeelte zal allereerst een korte uitleg gegeven worden over beide soorten om vervolgens de kosten en het potentieel van beide bronnen in het geval van de Afsluitdijk (Nederland) te geven.

3.1.1 Pressure-retarded osmosis (PRO)

Het proces van energie opwekken door middel van PRO is gebaseerd op het osmotische drukverschil dat ontstaat rondom een semipermeabel membraam. In tegenstelling tot RES, wat een puur natuurkundig verschijnsel is, kan PRO beschouwd worden als een mechanisch proces. Er wordt hierbij gebruik gemaakt van een water-permeabel membraam (dit betekent dat het wel water doorlaat maar geen zout). Door de osmotische druk wordt er water in de zoute oplossing gedrukt. Hierdoor wordt er een druk opgebouwd totdat het drukverschil op het membraam gelijk is aan de osmotische waarde. De opgebouwde druk in de zout watercompartementen wordt vervolgens gebruikt om een generator aan te drijven. De osmotische druk tussen zout- en zoet water ligt tussen de 20-25 bar. Deze druk wordt door de generator omgezet in elektrische energie (Haijer & Reus).



Figuur 5. Schematische representatie van een PRO setup bestaande uit 3 cellen (Haijer & De Reus). Q is de stroom van de oplossing (m^3/s) (Q_c zout/ Q_d zoet), ΔQ is het aantal water dat door de membranen getransporteerd is in tijd (m^3/s), ΔP is de toegepaste hydrostatische druk tussen de twee oplossingen (Pa) opgewekte energie door turbine en generator $\Delta Q \Delta P$ (W).

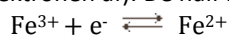
Zoals in figuur 5 te zien is, worden aan weerszijden van de de cellen de twee verschillende soorten water gepompt: zout water in de linkerzijde en zoet water in de rechterzijde van de cellen. Ook wordt de verplaatsing van water van de zoete naar de zoute cel aangegeven. Als er hydrostatische druk staat op de zoute oplossing zorgt dit transport ervoor dat het getransporteerde water onder druk komt te staan. Deze druk wordt vervolgens gebruikt om een generator aan te drijven (Post, et al., 2007).

3.1.2 Reverse Electro Dialysis (RED)

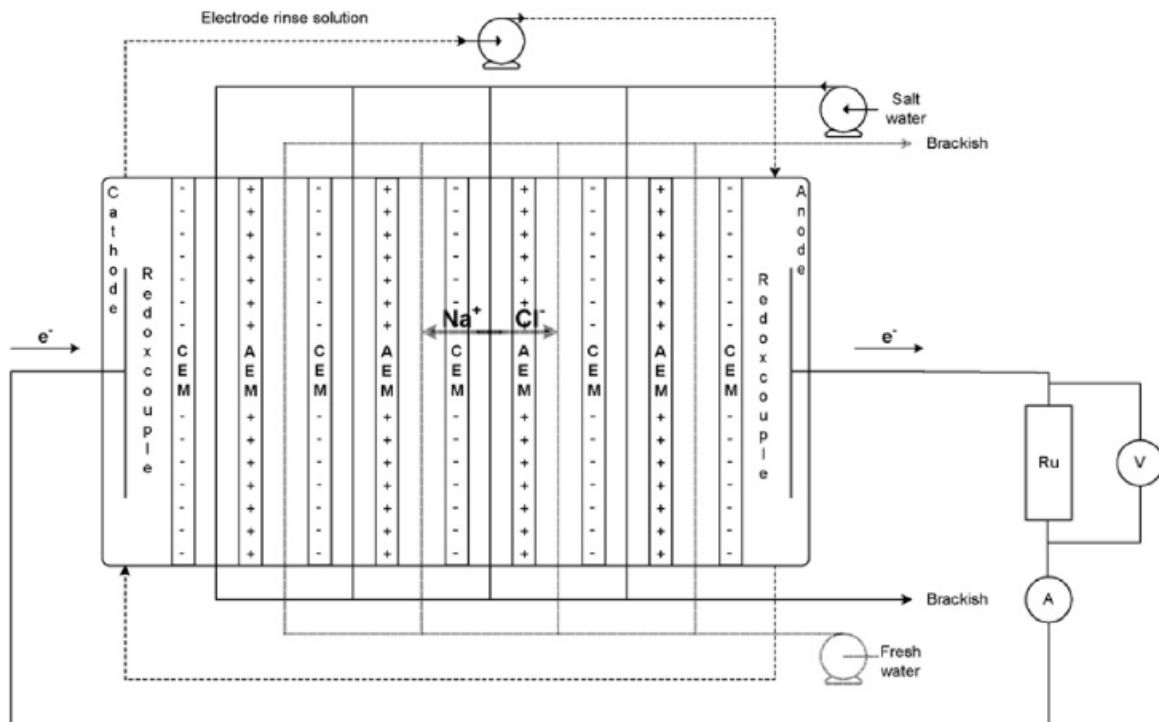
Het proces rondom opwekken van energie door middel van RED maakt gebruik van twee verschillende soorten ion uitwisselingsmembranen. Zee- en rivierwater worden bij elkaar gebracht in contact met, aan de ene kant een 'anion exchange membrane' (AEM), en aan de andere kant 'cation exchange membrane' (CEM). Chloorionen (Cl^-) verplaatsen zich door het AEM terwijl Natriumionen (Na^+) zich door het CEM verplaatsen. Hierdoor ontstaat er een potentiaal verschil. Het opwekken van elektrische energie gebeurt hier door middel van een elektrolyse. De kleinste mogelijke RED setup bestaat uit 4 cellen verbonden door 2 CEMs en 1 AEM (of andersom). Van de middelste twee cellen, is er één gevuld met zeewater en de andere gevuld met zoet water. De buitenste twee cellen bestaan uit een elektrolytoplossing³ met een redoxkoppel⁴ (bijvoorbeeld Fe^{2+} , Fe^{3+}). Deze zijn aanwezig om te compenseren voor de nettolast die ontstaat wanneer de ionen het membraan passeren. Het potentiaalverschil tussen de elektrodes is gelijk aan de opgewekte elektriciteit (Haijer & Reus).

³ In dit geval gaat het om de chemische betekenis van een elektrolyt: Deze oplossing bestaat uit chemische verbindingen die in vloeibare toestand gesplitst worden in vrije ionen. Dit zorgt ervoor dat desbetreffende oplossing elektrische stroom kan geleiden.

⁴ Een redoxkoppel is een combinatie van een oxidator en een reductor die door een overdracht van elektronen in elkaar overgaan. In het geval van het gegeven voorbeeld van Fe^{2+} en Fe^{3+} is Fe^{2+} een oxidator (neemt elektronen op) en Fe^{3+} een reductor (staat elektronen af). De half reactie van deze twee stoffen is als volgt:



Hierbij staat e^- voor een elektron die tussen de twee verschillende ionen, Fe^{2+} en Fe^{3+} , wordt uitgewisseld.



Figuur 6. Schematisch weergave van een minimale RED setup (Haijer & Reus).

Zoals in figuur 6 gezien kan worden is de basis van deze techniek hetzelfde als bij de PRO. Aan beide zijden van de cellen wordt er zout en zoet water naar binnen gepompt. De stroom van Cl^- in de richting van de anode en de stroom van Na^+ in de richting van de cathode. Door middel van reductie bij de cathode en oxidatie bij de anode wordt de oplossing electro-neutraal gehouden. Dit betekent dat er een elektron van de anode naar de cathode verplaatst kan worden via een extern elektrisch circuit. Deze elektronenstroom en het potentiaalverschil tussen deze elektronen kan vervolgens gebruikt worden voor het opwekken van elektriciteit (Post, et al., 2007).

Het grootste verschil tussen de twee technieken is de ontwikkeling. PRO is verder ontwikkeld dan de RED technologie. Hierdoor is er meer ervaring met de verschillende soorten membranen. Hier staat tegenover dat de PRO technologie een groot aantal mechanische onderdelen nodig heeft:

- Vloeistof turbine
- Generator
- Drukitwisselaar

Dit betekent naast een hogere investering en hogere onderhoudskosten ook een grotere kans op defecten. Een ander nadeel van PRO ten opzichte van RED is dat de membranen gebruikt bij PRO sneller vervuild raken dan de membranen die werkzaam zijn bij RED.

In het geval van zee- en zoetwater uitwisseling is bewezen dat RED effectiever is dan PRO (Post, et al., 2007).

3.1.3 Blue energy potentieel en kosten in Nederland (Afsluitdijk)

Zoals eerder aangegeven is gekozen voor het Afsluitdijk project in Nederland aangezien hier een grote hoeveelheid is van zowel zout als zoet water. Er is door verschillende instanties onderzoek gedaan naar de potentie en de kosten van het project bij de Afsluitdijk. Er zal hier gebruik gemaakt worden van de resultaten gepresenteerd door ECN (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010).

Het totale potentieel van Nederland op het gebied van Blue-energy wordt geschat op 650-3000 MW. Hiervan is een groot gedeelte te verkrijgen bij de Afsluitdijk. Het potentieel hiervan, met een spuisroom van minimaal 200 m³/s, is ca. 200 MW (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010).

Een dergelijke installatie realiseren brengt natuurlijk kosten met zich mee. In onderstaande tabel zijn de kosten voor beide technologieën uitgewerkt. De uitwerking is gedaan voor het jaar 2020 omdat verwacht wordt dat deze technologieën zo ver ontwikkeld zijn dat ze winstgevend worden.

Tabel 3.3 *Karakteristieke parameters Blue Energy (zoet-zout gradiënt) Afsluitdijk (2020)*

Parameter	Eenheid	PRO	RED	Eenheid	PRO	RED
Jaar		2020	2020			
Vermogen	[MW]	10	10			
<i>Investering/Jaarlijkse kapitaalskosten</i>	[M€]	71,1	51,6	[M€/jaar]		
Waarvan membraanmodules	[M€]	13,5	11,5	[M€/jaar]	3,56	1,87
Waarvan voorzuivering	[M€]	29,3	23,0	[M€/jaar]	4,77	3,74
Waarvan turbine en drukwisselaar	[M€]	10,0	-	[M€/jaar]	1,63	-
Waarvan omvormer	[M€]	-	3,2	[M€/jaar]	-	0,52
Waarvan behuizing / infrastructuur	[M€]	9,7	7,0	[M€/jaar]	1,03	0,74
Waarvan opslag engineering (20%)	[M€]	8,6	6,9	[M€/jaar]	1,39	1,12
<i>Onderhouds- en bedieningskosten</i>				[M€/jaar]		
Vaste O&B kosten				[M€/jaar]	1,3	1,0
<i>Energieopwekking</i>						
Aantal vollasturen	[uur/jaar]	8000	8000			
Capaciteitsfactor	[-]	0,91	0,91			
Elektriciteitsopwekking	[GWh/jr]	80	80			
Indicatieve opwekkingskosten	[€ct/kWh]	17,1	11,3			
Gemiddelde opwekkingskosten	[€ct/kWh]		14,2			

Noten: In afwijking van (Molenbroek, 2007), rentevoet 10% (i.p.v. 4%) en 8000 vollasturen (i.p.v. 8760).

Bronnen: Molenbroek, 2007; Jones en Finley, 2003.

Tabel 1. Karakteristieke parameters Blue Energy Afsluitdijk (2020) (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010)

Hieronder wordt ook een tabel gegeven om aan te geven dat na 2020 deze methode winstgevend zal worden. Dit heeft tot gevolg dat men hierin gaat investeren en dat de techniek verbeterd wordt. Dit laatste heeft als positief gevolg dat de investeringskosten en de opwekkingskosten zullen dalen.

Tabel 3.4 *Karakteristieke parameters Blue Energy in de periode 2020-2030*

	Eenheid	2010	2020	2030
Typische eenheidsgrootte	[MW]		~ 10	~ 100 ^a
Cumulatief wereldwijd vermogen	[MW]		10-20	1280-2560
Progress Ratio	[-]		0,95	0,95
Investeringskosten	[€/kWe]		5160-7110	3600-5000
Onderhouds- en bedieningskosten	[€/kWe/jaar]		100-130	100-130
Aantal vollasturen	[uur/jaar]		8000	8000
Capaciteitsfactor	[-]		0,91	0,91
Indicatieve opwekkingskosten	[€/kWh]		11,3-17,1	8,3-12,4
Gemiddelde opwekkingskosten	[€/kWh]		14,2	10,3

a Het maximale vermogen bij de Afsluitdijk wordt geschat op 200 MW, in Nederland op 600-3000 MW.

Bronnen: Molenbroek, 2007; Jones en Finley, 2003.

Tabel 2. Karakteristieke parameters Blue Energy in de periode 2020-2030 (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010).

In het algemeen kan geconcludeerd worden dat Blue Energy een technologie is die op dit moment nog niet als winstgevend beschouwd kan worden, maar dat het potentieel op langere termijn groot is (600-3000 MW). De investeringskosten worden geschat op 5150-7100 €/kW in 2020 en 600-5000 €/kW in 2030. Indicatieve (optimistische) kostenschattingen zijn 11-17 €/kWh in 2020 en 8-12 €/kWh in 2030. Deze getallen zijn echter gebaseerd op een groot aantal schattingen. De daadwerkelijke getallen kunnen naar beide kanten afwijken, afhankelijk van de ontwikkeling die de technologie doormaakt. Een conclusie die zeker getrokken kan worden is dat de toepassing voor een bedrijf als EPS op dit moment nog geen goede optie is en dit op de korte termijn ook waarschijnlijk niet gaat worden. Deze toepassing kan, na verloop van tijd, echter wel een interessante optie zijn voor energieleveranciers. Dit wil zeggen, het kan voordelig zijn om te investeren in een samenwerkingsverband met een energieleverancier op dit gebied, maar zoals te zien is zal deze samenwerking pas rond 2030 gaan renderen.

3.2 Getijde/Golf-energie

Zoals in het vorige gedeelte al aangegeven is, bestaat het aardoppervlak voor ruim 70% uit zeewater. Het zou dus zeer voordelig kunnen zijn om een techniek te ontwikkelen die ervoor zorgt dat deze watermassa gebruikt kan worden als energiebron. Men is al tijden bezig met te onderzoeken hoe de energie, die golven met zich meebrengen, benut kan worden als duurzame energiebron.

Tegenwoordig is er ook meer onderzoek naar het potentieel van getijde energie (het benutten van het natuurlijke verschil tussen eb en vloed).

Waarom zou deze toepassing een goed alternatief zijn als duurzame energiebron?

- Het levert geen vervuiling op voor het milieu (geen CO₂-uitstoot, komen geen schadelijke stoffen bij vrij).
- Noodzakelijke techniek is niet zeer geavanceerd, kan makkelijk ontwikkeld worden.
- Enorme hoeveelheid aan oppervlakte waar deze techniek toegepast kan worden (70% van de aarde).

Dit brengt echter ook enkele nadelen met zich mee:

- Hoe verder de opwekmechanismen van het vaste land weg liggen, des te langer de kabels die de energie over moeten brengen. Dit brengt extra kosten en extra risico's met zich mee.
- Defecten zijn niet makkelijk te herstellen omdat de apparatuur zich in de zee bevindt.
- De politieke discussie over nationale wateren kan een hindernis vormen in het optimaal profiteren van deze technologie.

In feite zijn er drie soorten golfenergie:

- 'Coastline'
- 'Near-shore'
- 'Off-shore'

Maar wat is golf energie nou eigenlijk? Golf energie ontstaat door de wind die over de oceaan blaast, het is dus eigenlijk het winnen van windenergie door middel van golven. De energie die een golf opwekt is afhankelijk van twee factoren: de amplitude⁵ en de periode⁶. Golven met een lange periode en een hoge amplitude kunnen een energiestroom van tussen de 40-70 kW per meter bevatten. Naarmate de golf dichterbij de kust komt neemt deze energie af door de interactie die de golf heeft met de ondergrond (Clément, et al., 2002).

Als we kijken naar het potentieel van golfenergie is er één factor van groot belang. De lengte van de kustlijn. Hoe langer deze is hoe groter de mogelijkheden van het desbetreffende land zijn. Dit leidt ertoe dat er in landen als Engeland en Zweden al veel onderzoek is gedaan, terwijl in landen als Nederland en België dit niet als een interessant initiatief wordt beschouwd (Clément, et al., 2002).

⁵ Net als bij elke andere golf binnen de natuurkunde is de amplitude van een watergolf de hoogte van een golf (uitwijking van normaal zeeniveau).

⁶ Net als bij elke andere golf binnen de natuurkunde is de periode van een watergolf de afstand die de golf aflegt tot het nulpunt weer bereikt is. Anders gezegd, de afstand tussen amplitudes met een waarde van 0.

3.2.1 Getijde/golf-energie potentieel en kosten in Nederland (Afsluitdijk)

Zoalshiervoor aangegeven, is er, door de korte kustlijn, niet veel onderzoek gedaan naar de potentie van golfenergie in Nederland. Er is echter wel onderzoek gedaan bij de Afsluitdijk. Hiervan is wel een overzicht gegeven. Dit brengt eveneens de potentie van golfenergie ten opzichte van Blue-energy in kaart.

Het potentieel bij de Afsluitdijk ligt zo rond de 0,9 MW. Ondanks dat dit veel lager ligt dan het potentieel van Blue-Energy is dit toch nog genoeg voor ruim 300 huishoudens (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010).

Tabel 3.1 *Karakteristieke parameters getijdenstroming energie Afsluitdijk 2010-2030*

	Eenheid	2010	2020	2030
Investeringskosten	[€/kWe]	3650-4750	3150-3650	2650-3150
Onderhouds- en bedieningskosten	[€/kWe/jaar]	100	85	75
Aantal vollasturen	[uur/jaar]	1250	1250	1250
Capaciteitsfactor	[-]	0,14	0,14	0,14
Indicatieve opwekkingskosten	[€ct/kWh]	37	30-33	27-30

Tabel 3. Karakteristieke paramaters getijdenstroming energie Afsluitdijk 2010-2030 (Lako, Luxembourg, & Beurskens, 2010)

Geconcludeerd kan worden dat golf-energie een technologie is die op dit moment nog niet als winstgevend beschouwd kan worden en dat het in het geval van de Afsluitdijk ook niet gaat worden. De investeringskosten worden geschat 3150-3650 €/kW in 2020 en 2650-3150 €/kW in 2030. Indicatieve (optimistische) kostenschattingen zijn 30-33 €ct/kWh in 2020 en 27-30 €ct/kWh in 2030. Deze getallen zijn echter gebaseerd op een groot aantal schattingen. De daadwerkelijke getallen kunnen naar beide kanten afwijken, afhankelijk van de ontwikkeling die de technologie doormaakt. Een conclusie die zeker getrokken kan worden is dat de toepassing voor een bedrijf als EPS op dit moment nog geen goede optie is en dit in de toekomst ook waarschijnlijk niet gaat worden. Als deze optie vergeleken wordt met de voorgaande Blue-energy kan geconcludeerd worden dat, ondanks dat de investeringskosten lager liggen, door het significant kleinere aantal vollasturen en de hogere opwekkingskosten golfenergie een minder aantrekkelijke optie is. Gezien de huidige capaciteit (300 huishoudens per jaar) denk ik ook niet dat dit een aantrekkelijke optie is voor energieleveranciers.

3.3 Zonne-energie

Zonne energie wordt al lange tijd als één van de grootste energiebronnen op het gebied van duurzame energie beschouwd. Deze energie is opgebouwd uit twee hoofddelen: de warmte geproduceerd door de zon en daarnaast de straling van fotonen oftewel lichtenergie. Deze twee delen leiden ook tot de twee grootste toepassingen op het gebied van zonne-energie: Zonnepanelen en zonneboilers. Zoals in de introductie van dit stuk is aangegeven, is in het geval van EPS gekozen voor beide toepassingen. Respectievelijk zullen hieronder PV-panelen en zonneboilers behandeld worden.

3.3.1 PV-panelen

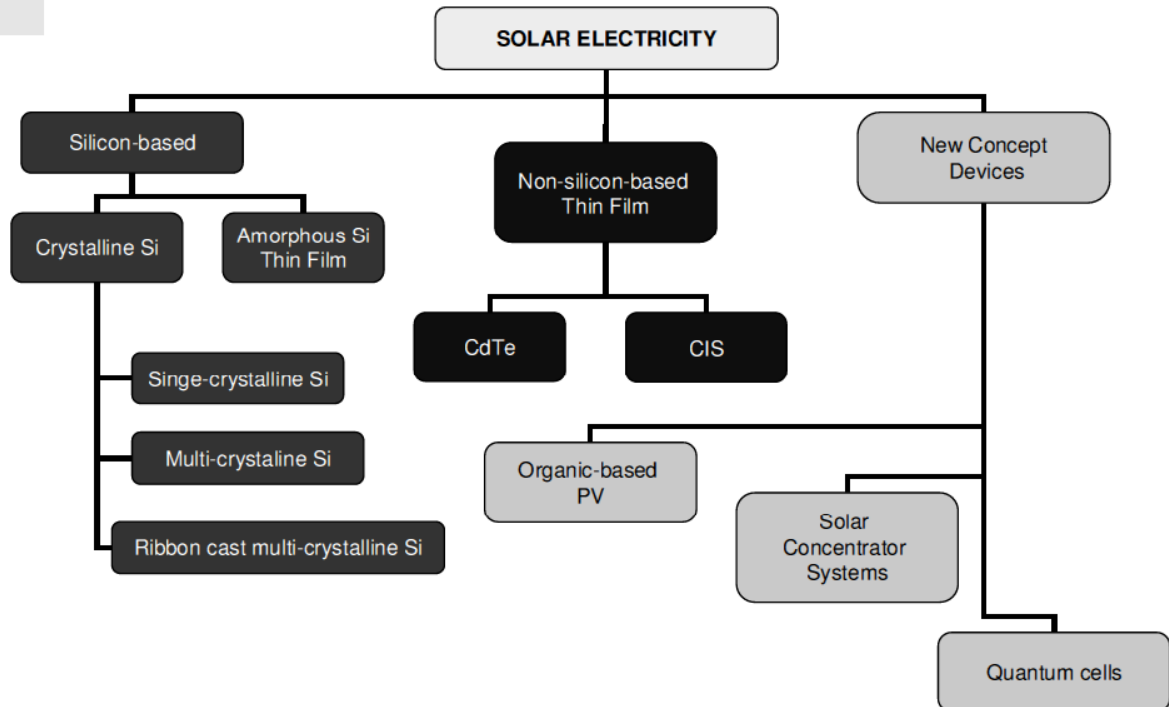
Voor er dieper op deze panelen in wordt gegaan, wordt eerst aangegeven waarom deze optie een mogelijke optie voor EPS zou kunnen zijn. Aangezien PV-panelen elektrisch vermogen leveren wordt er naar het elektrisch verbruik van de wasinstallatie gekeken. De volgende gegevens zijn gebaseerd op een wasinstallatie met een capaciteit van ca. 4000 kratten/uur (Venlo). Zoals eerder aangegeven moet de temperatuur van de wasbaden 60 °C worden. Om dit punt te kunnen bereiken is het elektrische verbruik 1400 MWh. Gezien de stijgende prijs van elektriciteit wordt het dus interessant om alternatieve bronnen te gebruiken. Omdat de depots een groot oppervlak op het dak beschikbaar hebben kunnen zonnepanelen zorgen voor een opbrengst van 510,10 MWh oftewel 36,4% van de totale energiebehoefte (dit is gebaseerd op een oppervlak van 3850 m², zie NPV berekening). Gezien de mogelijkheid tot subsidies en de dalende prijs van zonnepanelen zou deze optie aantrekkelijk kunnen zijn.

Zonne-panelen zijn er in vele soorten en maten. Deze diversiteit maakt dat het vraagstuk over wat de best mogelijke panelen zijn naast interessant ook zeer complex is. In het komende gedeelte zal eerst een indicatie gegeven worden van de geschiedenis en de ontwikkeling die de techniek rondom deze panelen doorgemaakt heeft. Vervolgens zullen de verschillende invloeden op het rendement van een paneel besproken en geanalyseerd worden. Tenslotte zal een algemene benadering gegeven worden voor de terugverdientijd van een gemiddeld zonnepaneel-systeem. Dit zal gedaan worden door middel van een NPV-calculatie met gestaafe voorwaarden.

Ondanks dat, met het oog op het dreigende opraken van fossiele brandstoffen, zonne-energie pas recent populair is geworden als bruikbare energiebron, is al veel langer bekend dat er materialen zijn die licht in energie om zetten. In 1839 werden deze bevindingen gepubliceerd door Edmund Becquerel, deze bevindingen staan tegenwoordig bekend als het 'photovoltaic effect'. Als in 1860, door Auguste Mouchout, het idee voor de eerste motor die op door zonne energie ontwikkelde stoom werkt wordt ontwikkeld, begint het tijdperk van onderzoek naar geschikte materialen voor het omzetten van de energie van de zon in bruikbare energie. Het daadwerkelijke ontwikkelen van de PV-cellen die we kennen in de zonnepanelen van nu begint in het jaar 1954 door de heren Daryl Chapin, Calvin Fuller en Gerald Pearson, werkzaam in Bell Labs (U.S. Department of Energy, 2012). Deze zonnecellen zijn nog steeds de basis voor de huidige zonnepanelen waarbij er wel verschillende nieuwe materialen ontdekt zijn, die ofwel goedkoper dan wel efficiënter zijn. En met de kennis van nu, over het opraken van fossiele brandstoffen, zetten deze beide ontwikkelingen zich nog steeds voort.

Het volgende figuur zal een indicatie geven van de huidige materialen en welke mogelijkheden er nog steeds zijn op dit gebied.

PV Technologies



Figuur 7. Gebruikte materialen voor zonnecellen en mogelijke nieuwe materialen (Raugei, Frankl, Alsema, de Wild-Scholten, Fthenakis, & Kim, 2007) .

Als er gedacht wordt aan de verschillende factoren die invloed hebben op de prestaties van een zonnepaneel denkt men hoogstwaarschijnlijk eerst aan de efficiëntie van het materiaal en de hoeveelheid zon die op de panelen 'valt'. En hoewel deze factoren een rol spelen bij het beoordelen van de prestaties, zijn er ook nog een groot aantal andere te benoemen. Namelijk, alles bij elkaar (hoe-koop-ik.nl, 2012) (Plug into the sun):

- **Paneelrichting**
De opbrengst van zonnepanelen is het beste op een zuidwaarts gericht dak (van zuidwest tot zuidoost). Hoe verder het paneel van het zuiden af georiënteerd is hoe lager de opbrengst. Een indicatie hiervan is te zien in figuur 3.
- **Paneelhelling**
Een optimale opbrengst hebben zonnepanelen op een schuin dak met hellingshoek van 36 graden. Dit kan op een plat dak ook worden bereikt door de zonnepanelen in bakken (consoles) te plaatsen. Bij andere hellingshoeken tussen 20° en 60° is de jaarlijkse opbrengst van de zonnepanelen slechts 5% lager. Voor een indicatie van de invloed van de richting en hoek op de prestatiecoëfficiënt, zie tabel hieronder. Deze performance ratio komt terug in de formule (pagina 24).

	Oriëntatie ten opzichte van zuid		
Hellingshoek	0° (Zuid)	90° (West/Oost)	180° (Noord)
20°	1,08	1,01	0,94
30°	1,09	1,00	0,91
40°	1,08	0,98	0,87

Tabel 4. Invloed van richting en helling op prestatiecoëfficiënt (Siderea, 2012)

- *Oppervlakte*
De oppervlakte van de zonnepanelen (lengte * breedte) bepaalt mede de opbrengst. Hoe groter het oppervlak des te hoger de opbrengst.
- *Wijze van schakeling*
De manier waarop ze aan elkaar zijn geschakeld (parallel of serieel) is van invloed op de opbrengst van de zonnepanelen. In het geval van een seriële schakeling kan het zijn dat één ongelukkig gelegen paneel de prestatie van het hele systeem onderuit haalt. Dit is het gevolg omdat serieel geschakelde zonnecellen op de stroomsterkte van de laagste cel werken.
- *Rendement*
Het percentage zonlicht dat wordt omgezet in elektriciteit heet het rendement van het zonnepaneel. Verschillende typen zonnecellen hebben een verschillend rendement.
- *Soort zonnepanelen-systeem*
Bij een netgekoppeld zonnepanelen systeem kun je de stroom opbrengst van de zonnepanelen terugleveren aan het net. Dit zorgt ervoor dat de elektriciteitsmeter terugloopt.
- *Plaats omvormer*
De omvormer moet dichtbij het zonnepanelen-systeem worden geplaatst, vlak onder het dak. Op deze manier verlies je zo min mogelijk van de opbrengst.
- *Zon instraling*
De hoeveelheid opvallend zonlicht bepaalt in belangrijke mate de opbrengst van de zonnepanelen. Bedenk hierbij dat straling ook aanwezig is als het bewolkt is. Deze is echter wel verschillend per locatie. Hoe meer instraling, hoe hoger de opbrengst.
- *Zonuren*
De hoeveelheid uren per jaar zonder bewolking is medebepalend voor het rendement van de zonnepanelen. Hoe hoger het aantal zonuren, hoe hoger de opbrengst.
- *Temperatuur*
Van alles kan teveel zijn. Zo ook als de zon een te hoge temperatuur produceert. Hoge temperaturen leiden tot lager rendement. Zonnepanelen hebben minder opbrengst naarmate de temperatuur van de zonnepanelen stijgt. Dit kan opgelost worden door een goede isolatie. Dit betekent echter niet dat hoe lager de temperatuur, hoe hoger het rendement. Er is een temperatuur waarop het zonnepaneel optimaal rendeert. De temperatuur van het paneel ligt dan zo rond de 42 graden Celcius. Dit staat gelijk aan een

omgevingstemperatuur van 33 graden (Omubo-Pepple, Israel-Cookey, & Alaminokuma, 2009).

- *Schaduw*

Het rendement van zonnepanelen hangt in de praktijk ook af van schaduwwerking. Bomen, gebouwen of een dakkapel kunnen een negatieve invloed hebben op de opbrengst van de zonnepanelen. Hoe groter het oppervlak zonnepaneel dat in de schaduw ligt, hoe lager de opbrengst.

Deze invloeden in acht nemend, kan er gekeken worden naar hoe we dit toe kunnen passen om voor de huidige situatie van EPS. Hierbij wordt, om overbodige complexiteit te voorkomen, gebruik gemaakt van gemiddeldes die op dit moment gebruikelijk zijn. Daarnaast wordt slechts gekeken naar beïnvloedbare factoren en worden de andere als optimaal beschouwd. Deze twee aannames leiden tot de volgende formule:

$$P = PR * R * PVP$$

Waarbij:

P = Opbrengst van het totale PV-systeem in kWh (Som van opbrengst individuele panelen óf aantal m^2 *PV-vermogen per m^2).

PR = Performance ratio, in deze ratio zijn de verschillende factoren die hierboven zijn besproken verwerkt. Dit leidt tot een ratio van 0,85 voor de huidige panelen (Energie Adviesbureau Trefpunt, 2012), (Zonne-energie weetjes, 2012), (Siderea, 2012).

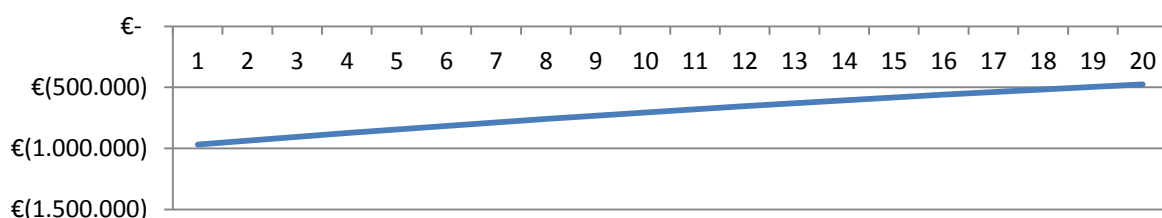
R = Instraling op het paneelvlak in kWh/ m^2 . Deze is per locatie verschillend. Voor een overzicht hiervan wordt verwezen naar Appendix A.

PVP = PV-vermogen van totale systeem in kWp (kWp staat gelijk aan wat het paneel op 100% zou opleveren. Dit wordt gecompenseerd door de eerder genoemde performance ratio). Hierbij wordt gebruik gemaakt van een Wp/ m^2 van 130 (0,13 kWp/ m^2) (op basis van gemiddelde vermogen zonnepanelen) (Werknemer Eneco, 2012).

Bij het beoordelen van de waarde van een bron voor EPS spelen naast de opbrengst natuurlijk ook de kosten een grote rol. Er wordt rekening gehouden met de volgende kostenposten:

- Investering per m², som van de kosten van de individuele panelen.
 - €260 per m² (gebaseerd op kosten per wattpiek en gemiddelde vermogens van huidige PV-panelen)
 - Er is gekozen voor investering per m² in plaats van investering per kWp door een meerderheid aan bronnen
- Onderhoud
 - Aannee van 1% van de investering per jaar. Gezien het grote aantal factoren dat invloed kan hebben op de prestatie van de panelen wordt aangenomen dat jaarlijks onderhoud noodzakelijk is
- Subsidie
 - In Nederland is op het moment geen subsidieregeling voor de industrie. In Duitsland is dit echter wel het geval. Dit zorgt voor een vermindering van de kosten. Voor een indicatie van de impact van dergelijke subsidie wordt verwezen naar Appendix A .
- Installatiekosten
 - Afhankelijk van het aantal panelen en de soort panelen. Deze kosten zijn echter relatief laag vergeleken met de totale investering.
- Elektriciteitsprijs
 - Locatiegebonden (in het geval van Nederland €0,10 per kWh) (Delfos, NPV bespreking, 2012).
 - Voor een indicatie van de verschillen per locatie wordt verwezen naar Appendix A.
- Waardevermindering (WACC):
 - Tijd kost geld, dit betekent dat opbrengst die op dit moment gemaakt wordt in de toekomst in waarde zal dalen.
 - In het geval van EPS wordt gebruikt gemaakt van een WACC waarde van 8,5%, dit is een door het bedrijf vastgestelde waarde (Delfos, NPV bespreking, 2012).

Hieronder zaleen uitwerking van een NPV-berekening gegeven worden gebaseerd op de eerder aangegeven feiten en aannames. Er is voor een dergelijke berekening gekozen om de terugverdientijd van de investering in kaart te brengen. *De relevantie van de terugverdientijd zal terugkomen in de AHP-analyse.* Dit voorbeeld is gebaseerd op de situatie in Nederland. Er is voor Nederland gekozen omdat dit het land is waar het onderzoek heeft plaatsgevonden. De NPV-berekeningen zijn echter ook voor andere landen uitgewerkt. Voor een overzicht van alle getallen voor de NPV-berekeningen en bijbehorende bronnen van Nederland en de andere geanalyseerde landen (Duitsland, Spanje, Italië, België) wordt verwezen naar Appendix A. Hier wordt ook een voorbeeld gegeven van de ideale situatie (hoogste elektriciteitsprijs en hoogste stralingsintensiteit).



Tabel 5. Grafische weergave van terugverdien tijd voor PV-panelen in Nederland. Op de x-as staan het aantal jaren en op de y-as staat de NPV-waarde.

Zoals gezien kan worden in de NPV berekening is de investering na 20 jaar nog lang niet terugverdiend. Dit heeft te maken met de lage elektriciteitskosten die in Nederland gehanteerd worden en de relatief lage installatieintensiteit.

Daarnaast zijn subsidies voor industriële zonnepanelen afgeschaft. Al deze factoren zorgen ervoor dat er een enorme terugverdientijd gegenereerd wordt. Graag wil ik verwijzen naar de terugverdientijd in het geval van een ideale situatie. Deze zal zo rond de 5 ¼ jaar plaats vinden. Voor de analyse hiervan wordt verwezen naar Appendix A.

Er kan geconcludeerd worden dat PV-panelen in Nederland een terugverdientijd van ruim boven de 20 jaar hebben. Als gekeken wordt naar de analyse van de verschillende andere landen kan geconcludeerd worden dat de minimale terugverdientijd op dit moment rond de 12 jaar ligt. In het geval van een ideale situatie (hoge elektriciteitskosten/hoge installatie) zal er een terugverdientijd van 5 ¼ jaar zijn. Hierbij moet wel rekening gehouden worden met het feit dat de techniek rondom deze panelen een enorme groei doormaakt en dat de prijs van de panelen gestaag daalt. Concreet betekent dit dat in de komende jaren een vermindering zal plaatsvinden in de prijs per m² en daarnaast dat zowel de performance ratio (op dit moment 0,85) als het vermogen van de panelen (Wp) zal stijgen. Deze ontwikkelingen zijn van zoveel verschillende factoren afhankelijk dat deze niet in de NPV-berekening zijn meegenomen. Dit betekent echter wel dat in de toekomst een dergelijke investering een stuk aantrekkelijker zou kunnen zijn.

3.3.2 Zonneboiler-systeem

Voor er dieper op dit systeem in wordt gegaan, wordt eerst aangegeven waarom deze mogelijkheid een optie voor EPS zou kunnen zijn. Aangezien een zonne-boiler systeem gas oplevert, wordt er naar het gas verbruik van de wasinstallatie gekeken. De volgende gegevens zijn gebaseerd op een wasinstallatie met een capaciteit van ca. 4000 kratten/uur (Venlo). Zoals eerder aangegeven moet de temperatuur van de wasbaden 60 °C worden. Om dit punt te kunnen bereiken is het gasverbruik 3000 MWh. Gezien de stijgende prijs van gas wordt het dus interessant om alternatieve bronnen te gebruiken. In het geval van de wasinstallatie bij EPS zijn er 2 voorwaarden waaraan de zonneboiler moet voldoen.

- Het water moet binnen 48 uur tot een temperatuur van minimaal 60 °C opgewarmd worden.
- Er moet een enorme boiler gekoppeld worden. In het geval van de situatie in Venlo een boiler met een inhoud 15 m³ (15000 liter).

Dit brengt verschillende complicaties met zich mee. Er kan niet gebruik worden gemaakt van zonneboilers die gebruikelijk zijn voor particulieren aangezien deze een boiler hebben met een inhoud van 100 liter. De techniek is echter wel beschikbaar voor een dergelijke operatie. Zo kan bijvoorbeeld verwezen worden naar '*Solar Powered Air Conditioning System for a Road Traffic Control Center in Carcavelos, Portugal.*' (International Energy Agency Solar Heating & Cooling Programme). Voor meer over de opbrengsten van een dergelijk systeem en de kosten verwijs ik naar de conclusie van dit gedeelte.

Ondanks dat de zowel de zonneboiler als zonnepanelen van de zon gebruik maken, zijn de technieken toch zeer verschillend. In dit gedeelte zal de zonneboiler besproken worden. Dit gedeelte is als volgt opgedeeld: hoe werkt een zonneboiler, wat zijn de invloeden op de prestaties van een zonneboiler en wat is haar geschiedenis, hoe kan een zonneboiler toegepast worden op de huidige situatie van EPS en hoe ziet de NPV-analyse eruit?

Om een duidelijk beeld te geven van de ontwikkeling van de zonneboiler is het noodzakelijk om eerst aan te geven waar een zonneboiler-systeem uit bestaat. Het systeem bestaat uit vier hoofddelen (Smartsun):

- De collector
 - Lucht-Vloeistof: De warmte wordt opgevangen door lucht en overgegeven aan een vloeistof
 - Vloeistof-Lucht: De warmte wordt opgevangen door een vloeistof en overgegeven aan lucht
 - Vloeistof-Vloeistof: De warmte wordt opgevangen door een vloeistof en overgegeven aan een vloeistof
- Het voorraadvat (de boiler)
- Pomp en leidingen
- Besturingsunit

Maar hoe gaat dit geheel nou precies in werking?

Wanneer er zonlicht op de collector schijnt, wordt het licht (fotonen) door de absorber in de collector omgezet in warmte. Deze warmte wordt vervolgens overgedragen aan een warmtetransporterende vloeistof die zich in de leidingen onder het oppervlak van de absorber in de collector bevindt. Door middel van een pomp wordt de vloeistof vervolgens door een warmtewisselaar gepompt die zich in het voorraadvat bevindt. Hierdoor wordt het water in het voorraadvat opgewarmd. Vervolgens kan het opgewarmde water vanuit de boiler getransporteerd worden naar de plaats waar het gebruikt moet worden. Net als bij de zonnepanelen zijn er verschillende factoren te benoemen die invloed hebben op de prestaties van het zonneboiler systeem (Smartsun).

Zoals eerder aangegeven moet niet alleen naar de ontwikkeling van de zonneboiler gekeken worden, maar naar die van het hele systeem. Het eerste onderdeel dat ontdekt werd is de collector; deze ontdekking werd gedaan door Horace-Bénédict de Saussure. Toendertijd (1760) was de collector een rechthoekige doos van 1 cm hout, geïsoleerd aan de binnenkant en een bedekte bovenzijde van glas. Hierin plaatste hij twee kleinere dozen. Deze doos is later uitgegroeid tot de collector zoals we die nu kennen. Het tweede hoofddeel van het systeem, de zonneboiler, komt pas veel later. Het eerste echte ontwerp van de boiler komt van Clarence Kemp, in 1891. Dit was een combinatie van de 'doos' van de Saussure en metalen tanks. Het was bedoeld om niet alleen warmte te verzamelen maar ook om die vast te houden. Deze eerste commerciële zonneboiler werd de Climax genoemd. Deze uitvinding zette aan tot vele pogingen om de Climax te verbeteren. De klaarblijkelijk beste poging werd gedaan door William J. Bailey, in 1911. Zijn scheiding van een zonneboiler in twee delen, het verwarmingselement en een geïsoleerde opslagruimte betekende een revolutie toendertijd en leidde tot het model waar de moderne zonneboiler systemen op gebaseerd zijn. Zijn verwarmingselement bestond uit buizen, niet uit één geheel, wat ervoor dat het water sneller verwarmd werd. De interesse voor zonneboilers daalde enorm toen men grote hoeveelheden aardgas ontdekte. Met het opraken van de huidige aardgas voorziening zijn zonneboilers echter weer in populariteit gestegen. Vooral in zwembaden is deze toepassing een veelgebruikte (Smartsun).

Voor het gedeelte van de invloeden op de zonnecollectoren kan verwezen worden naar de invloeden op de PV-panelen (zie 3.2.1.1), aangezien deze op dezelfde manier zon-energie 'opvangen'. Belangrijk om weer te geven zijn wel de verschillende categorieën zonnecollectoren op dit moment, gebaseerd op het verschil in temperatuur rondom de collector en de temperatuur binnen de collector:

- Categorie A: -5 °C
- Categorie B: 5 °C
- Categorie C: 20 °C
- Categorie D: 50 °C
- Categorie E: 80 °C

(Solar rating & certification corporation)

Het echte verschil met PV-panelen zit echter in het materiaal en de schakeling. De factoren die hierbij een rol spelen zijn als volgt (Werknemer Eneco, 2012):

- Soort vloeistof
 - Geleiding van de vloeistof, hoe snel kan het overgegeven worden aan het tweede medium
 - Opname, hoe snel kan de vloeistof warmte opnemen van de zon of van het andere medium
- Isolatie
 - Isolatie van leidingen naar boiler, hoe beter de isolatie, hoe warmer het water dat in de boiler aankomt
 - Isolatie boiler, hoe beter de isolatie, hoe langer de warmte in het water voor het uiteindelijke proces op hoog niveau (gewenste niveau) blijft.
- Afstand tussen collector/boiler
 - Hoe langer de deze afstand is, hoe meer warmte er verloren gaat binnen het verplaatsingsproces

Voor de situatie bij EPS is er gekeken naar een zonneboiler die perfect aansluit op het wasproces. Dit systeem moet aan de volgende specificaties voldoen:

- 15.000 liter,
- Opwarming van volume van 10 naar 60 graden in 48 uur.

Hierbij wordt aangenomen dat dezelfde hoeveelheid beschikbaar is voor panelen als bij de PV-panelen en dat de boiler binnen geplaatst kan worden.

Om een beeld te krijgen van de kosten en mogelijkheden van een dergelijk systeem is contact opgenomen met een bedrijf gespecialiseerd in dergelijke applicaties.

Gezien de speciale specificaties die een dergelijk systeem met zich mee brengt zijn de resultaten erg afhankelijk van de gegevens die het bedrijf levert. Het bedrijf is echter niet in staat geweest deze cijfers binnen het tijdsbestek van dit onderzoek te leveren. Zonder de essentiële waarden van de opbrengsten en kosten van een dergelijk systeem is dus ook besloten deze optie niet mee te nemen in de analyse aan het eind van dit gedeelte.

3.4 Windenergie

Voor er dieper op de mogelijkheden van windturbines wordt ingegaan, wordt eerst aangegeven waarom deze optie een mogelijke optie voor EPS zou kunnen zijn. Aangezien windturbines elektrisch vermogen leveren, wordt er naar het elektrisch verbruik van de wasinstallatie gekeken. De volgende gegevens zijn gebaseerd op een wasinstallatie met een capaciteit van ca. 4000 kratten/uur (Venlo). Zoals eerder aangegeven moet de temperatuur van de wasbaden 60 °C worden. Om dit punt te kunnen bereiken is het elektrische verbruik 1400 MWh. Gezien de stijgende prijs van elektriciteit wordt het dus interessant om alternatieve bronnen te gebruiken. Omdat de depots een groot oppervlak op het dak beschikbaar hebben kunnen microturbines zorgen voor een opbrengst van 2109 kWh per turbine oftewel een zeer kleine fractie van de totale energiebehoefte (dit is gebaseerd op een oppervlak van 3850 m², zie NPV berekening).

Windturbines zijn er in vele soorten en maten. Hierbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen de zo genaamde micro-windturbines en de grote windturbines die we kennen van langs de weg. In het komende gedeelte zal eerst een indicatie gegeven worden van de geschiedenis en de ontwikkeling die de techniek rondom deze turbines doorgemaakt heeft. Vervolgens zullen de verschillende invloeden op het rendement van een turbine besproken en geanalyseerd worden. Tenslotte zal een algemene benadering gegeven worden voor de terugverdientijd van een gemiddeld micro-windturbine systeem en een grote windturbine. Dit zal gedaan worden door middel van een NPV-calculatie met gestaafe voorwaarden.

Als gekeken wordt naar de geschiedenis van windenergie kan teruggedaan worden naar de tijd voor Christus. Het eerste geschreven bewijs hiervan kan gevonden worden bij Hero van Alexandria, die in 200-300 BC een windmolen met een horizontale as beschreef. In de 11^e eeuw werden windmolens veelvuldig gebruikt voor de voedselproductie in het midden-oosten. Reizigers brachten dit principe terug naar Europa. In deze tijd kwamen er windmolens in Engeland. Net als de zonneboiler (Zie 3.2.2) , beleefde de windmolen een daling in populariteit.

Er spelen 5 verschillende factoren een rol bij de opbrengst die een windturbine levert (Windenergie.nl, 2010):

Het ontwerp van de turbine, denk hierbij aan het ontwerp van de rotorbladen:

- De hoogte van de rotorbladen
- De lengte van de rotorbladen (straal van de draaicirkel)
- De windsnelheid (in m/s)
- De locatie van de windturbine (omgevingsfactoren)

Deze invloeden in acht nemend, kan er gekeken worden naar hoe we dit toe kunnen passen voor de huidige situatie van EPS. Hierbij wordt, om overbodige complexiteit te voorkomen, gebruik gemaakt van gemiddeldes die op dit moment gebruikelijk zijn. Daarnaast wordt slechts gekeken naar beïnvloedbare factoren en wordt de rest als optimaal beschouwd. Om tot een uiteindelijke formule voor de opbrengst te komen is enige achtergrond informatie over het vermogen van wind noodzakelijk (Duurzame energie thuis, 2008-2009).

Het vermogen van de wind kan worden uitgedrukt met de volgende formule (Duurzame energie thuis, 2008-2009):

$$P = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * A$$

Waarbij:

P = het vermogen van de wind, uitgedrukt in Watt

ρ = de dichtheid van de lucht, uitgedrukt in kg/m^3

v = de snelheid, uitgedrukt in m/s

A = het doorstroomde oppervlak, uitgedrukt in m^2

Voor een windmolen met een diameter D en een dichtheid van de lucht van $1,225 \text{ kg/m}^3$ (op zeeniveau bij 15 graden Celsius) is het vermogen van de wind (Duurzame energie thuis, 2008-2009):

$$P(\text{wind}) = 0,48 * v^3 * D^2$$

Volgens de wet van Betz kan een windturbine maximaal $\frac{16}{27}$ van het vermogen, oftewel ongeveer 60%, aan de wind onttrekken:

$$P(\text{Betz}) = \frac{16}{27} * P(\text{wind})$$

De geschatte jaaropbrengst in kWh wordt in dit rekenmodel berekend volgens de formule (Duurzame energie thuis, 2008-2009):

$$E(\text{kWh}) = 0,48 * \frac{8760}{1000} * C_p * v^3 * D^2$$

Waarbij:

$E(\text{kWh})$ = jaaropbrengst in kWh

C_p = het totale rendement van de windturbine

v = de windsnelheid in m/s

D = de diameter van de windturbine in meters

Er wordt voor deze berekening een rendement C_p van 0,6. De term, $8760/1000$, is het aantal uren per jaar (8760) gedeeld door 1000 gehanteerd, om een uitkomst in kWh te krijgen.

Met behulp van een windkaart is af te lezen wat de gemiddelde windsnelheid is op een bepaalde plaats in Nederland. De gemiddelde windsnelheid in ons land loopt uiteen van 3,5-4,0 m/s in het Oosten tot 7,0-7,5 m/s aan de kust.

Een andere ashoogte en terreingesteldheid geven een andere gemiddelde windsnelheid te zien. Hoe hoger de windturbine wordt geplaatst, hoe meer wind. En hoe ruwer het terrein (bijvoorbeeld door bebouwing) hoe minder wind. De windsnelheid vertoont daarbij een toename met de hoogte volgens de formule (Duurzame energie thuis, 2008-2009):

$$v_h = v_{10} * \log(h/z) / \log(10/z)$$

Hierbij is:

v_h = windsnelheid op hoogte h in m/s

v_{10} = windsnelheid op een hoogte van 10 meter in m/s

z = ruwheidshoogte van het terrein in meter

De waarde van de ruwheidshoogte wordt bepaald door de volgende tabel:

Ruwheidshoogte (meter), omschrijving:

0,001: ijs, open zee, meer

0,03: Grasland, vliegvelden

0,2: Bomen, heggen, weinig bebouwing

0,25: Ruw

0,5: Dorpskern, sterk begroeid gebied

1: Steden, wouden

2: Stadscentrum met veel hoge gebouwen

Als er naar deze formules wordt gekeken, kan al gauw geconcludeerd worden dat hoe groter de turbine is hoe hoger de opbrengst is. Hier staat tegenover dat er van de micro-windturbine een groter aantal geplaatst kan worden en dat de individuele kosten veel lager liggen.

Voor een algemeen beeld van de opbrengst van deze turbines is onderzoek gedaan naar zowel de micro-windturbines als de grote windturbine. Producenten van micro-windturbines bieden hun product vaak aan met een opbrengst die ligt rond de 3500 kWh/jaar. Onderzoek heeft echter uitgewezen dat dit in het geval van Nederland veel te optimistisch is. Een onderzoek, gelocaliseerd in Zeeland, wijst uit dat de opbrengsten een stuk lager liggen. Voor een overzicht van deze resultaten wordt verwezen naar Appendix B.

Gezien deze resultaten is in de NPV-analyse gekozen voor de meest kostefficiënte micro-windturbine: de Skystream.

In het geval van de grote windturbine is gekozen voor een gemiddelde (Windenergie.nl, 2011). Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de opbrengst die deze turbine levert, 6571 MWh, veel hoger ligt dan de behoefte die EPS heeft (1400 MWh). Dit 'probleem' kan op twee manieren opgelost worden:

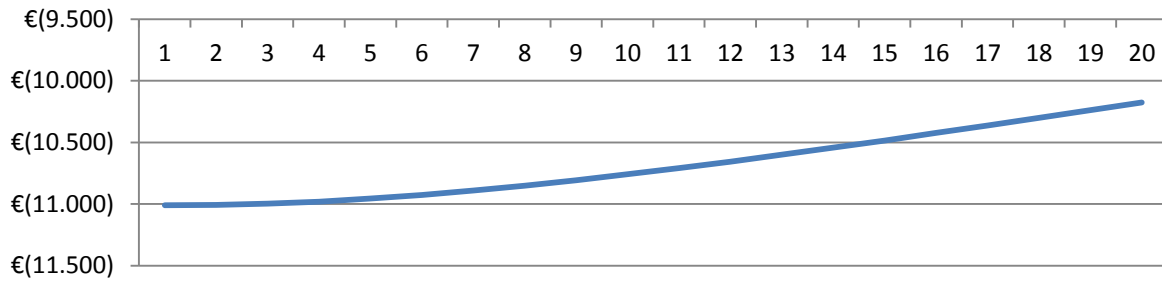
- Samenwerkingsverband: Zoals al eerder aangegeven is de interesse in duurzame energie in de industriële sector sterk aan het groeien. Dit betekent dat een mogelijk samenwerkingsverband voor een grote windturbine een goede optie zou kunnen zijn. Hiermee zal naast een lagere investering ook een band met omgelegen bedrijven opgebouwd worden. Hier wordt in het gedeelte 'omgevingsfactoren' nog op teruggekomen.
- Teruggeven aan het net: Hoewel deze optie verder van huis is dan de eerst genoemde optie, is dit zeker een mogelijkheid. De werking van dit principe is eigenlijk vrij gemakkelijk. Het overschot aan energie wat de windturbine opwekt kan weer 'teruggegeven' worden aan het net. Dit betekent in feite dat EPS zelf een energievoorzijger wordt. En op deze manier niet alleen verdient aan de verminderde energiekosten, maar ook aan de bijkomende opbrengsten van verkochte energie.

Bij het beoordelen van de waarde van een bron voor EPS spelen naast de opbrengst natuurlijk ook de kosten een grote rol. Er wordt rekening gehouden met de volgende kostenposten:

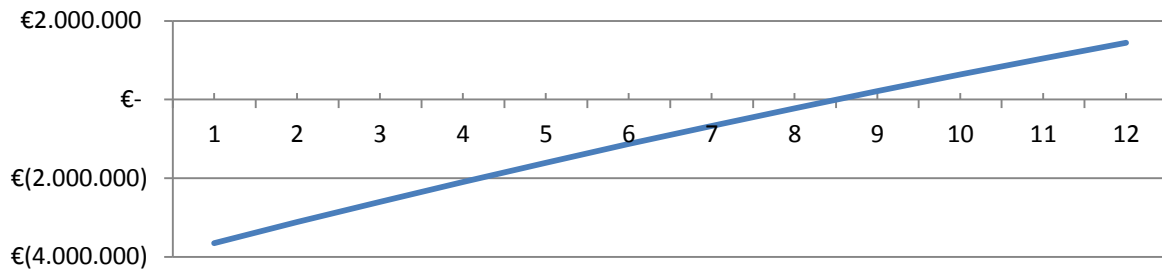
- Investering van systeem, som van de kosten van de individuele turbines.
 - €11.000,- per micro-windturbine (Skystream).
 - €4.200.000,- voor 3MW turbine (Windenergie.nl, 2011).
- Onderhoud
 - Aanneem van 1,5% van de investering per jaar. Windturbines hebben over het algemeen gezien meer onderhoud nodig dan zonnepanelen vandaar dat er gekozen is voor een verhoging met 50% per jaar.
- Subsidie
 - In Nederland is op dit moment geen subsidieregeling voor de industrie.
- Installatiekosten
 - In het geval van micro-windturbines is dit sterk afhankelijk van het aantal. Deze kosten zijn echter te verwaarlozen ten opzichte van de totale investering.
 - De installatiekosten voor de 3MW turbine zijn al verwerkt in het genoemde getal bij de investering van het systeem.
- Elektriciteitsprijs
 - Locatiegebonden (in het geval van Nederland €0,10 per kWh)
 - Voor een indicatie van de verschillen per locatie wordt verwezen naar Appendix B.
- Waardevermindering (WACC)⁷
 - Tijd kost geld, dit betekent dat opbrengst die op dit moment gemaakt wordt in de toekomst in waarde zal dalen.
 - In het geval van EPS wordt gebruikt gemaakt van een WACC waarde van 8,5%, dit is een door het bedrijf vastgestelde waarde.

Op de volgende pagina zullen respectievelijk de NPV-analyses van de Skystream en de 3MW windturbine in Nederland gegeven worden, met bijbehorende terugverdientijd.

⁷ WACC staat voor Weighted average cost of capital. De assets van een bedrijf zijn gefinancierd door ofwel equity ofwel debt. WACC geeft het gemiddelde van de kosten voor deze twee soorten van financiering weer. Een verhoging in WACC geeft een daling in waarde en een verhoging van risico aan. Hierdoor is het gebruikelijk de WACC te gebruiken bij cashflows met hetzelfde risico als het bedrijf. Voor meer over WACC wordt verwezen naar Appendix E.



Tabel 6. Grafische weergave van terugverdien tijd voor de Skystream micro windturbine in Nederland. Op de x-as staan het aantal jaren en op de y-as staat de NPV-waarde.



Tabel 7. Grafische weergave van terugverdien tijd voor de 3MW windturbine. Op de x-as staan het aantal jaren en op de y-as staat de NPV-waarde.

Er kan geconcludeerd worden dat de beste micro-windturbine (Skystream) in Nederland een terugverdientijd van ruim boven de 20 jaar heeft. Als gekeken wordt naar de analyse van de verschillende andere landen wordt aangenomen dat de binnenlandse windsnelheden gemiddeld hetzelfde zijn. Het enige verschil zijn de elektriciteitsprijzen. Deze hebben in dit geval een dergelijk kleine invloed dat het voor het eindresultaat weinig uitmaakt. Er kan dus in het algemeen geconcludeerd worden dat de minimale terugverdientijd op dit moment ver boven de 20 jaar ligt. Als er gekeken wordt naar het geval van de grote windturbine kan geconcludeerd worden dat deze in Nederland een terugverdientijd heeft van $8\frac{1}{2}$ jaar. Het verschil in elektriciteitsprijzen speelt bij deze investering wel een grote rol. Voor een indicatie van deze verschillen wordt verwezen naar Appendix B. Hieruit kunnen we concluderen dat in het geval van de hoogste elektriciteitsprijs deze investering een terugverdientijd heeft van $4\frac{2}{5}$ jaar.

3.5 Biomassa

In dit gedeelte zal een bron besproken worden die recentelijk aan populariteit aan het winnen is: het principe van biomassa. Hierbij wordt, door middel van een proces, energie onttrokken uit organische grondstoffen. Welke processen er zijn en de wat de mogelijkheden van de verschillende grondstoffen worden gegeven na een indicatie van de mogelijke waarde voor EPS en een gedeelte ontwikkeling van de technologie. Tenslotte zal een indicatie gegeven worden van de kosten en de opbrengsten die een investering in biomassa voor EPS te weeg zouden brengen.

Voor er dieper op de verschillende technieken op dit gebied in wordt gegaan, wordt eerst aangegeven waarom deze optie een mogelijke optie voor EPS zou kunnen zijn. Er zijn twee hoofdredenen hiervoor die hieronder beide kort toegelicht zullen worden:

- Afvalverwerking van retourstromen
- Door middel van samenwerkingsverband met klant

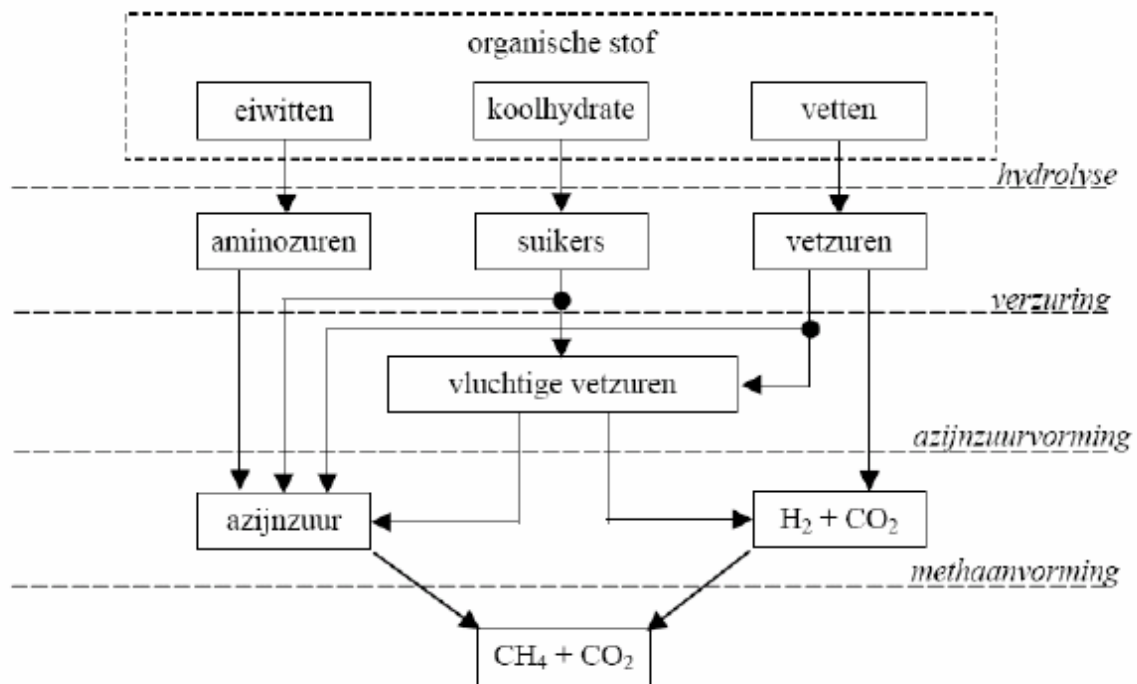
Een deel van de service die EPS biedt, bestaat uit het aannemen en verwerken van afval wat de klant achterlaat in de kratten. Op dit moment wordt er niet veel aandacht aan de verwerking besteed. Door middel van een biomassa installatie kan het afval, wat nu als een last gezien wordt, gebruikt worden als energiebron. Over de mogelijke opbrengsten en kosten van een dergelijke operatie wordt in het gedeelte met gelijke naam terugkomen.

Als gekeken wordt naar de branche waarin EPS werkzaam is, kan geconstateerd worden dat de groente en fruit industrie een groot deel van de klanten omvat. Door middel van een samenwerkingsverband met deze klanten, kan het afval van het product (GFT-afval) overgenomen worden en door middel van biomassa als energiebron gebruikt worden. Dit zou een win-win situatie vormen; de klant raakt zijn afval kwijt en EPS komt op deze manier, goedkoop (misschien wel gratis) aan een duurzame energiebron. Een dergelijke samenwerking zou niet alleen positief uit kunnen pakken op het energiegebied maar daarnaast ook kunnen zorgen voor het winnen van een langdurige klant.

Het principe biomassa bestaat eigenlijk al sinds men begon met het verbranden van organische producten om warmte te creëren. Het echte idee om deze techniek te benutten voor energieopwekking is er pas sinds de jaren 70, toen men op zoek was naar een meer betrouwbare en goedkopere bron dan de fossiele brandstoffen. Door de populariteit van fossiele brandstoffen is de technologie nooit echt aangeslagen tot sinds kort. Met het oprakenn van de fossiele brandstoffen is men genoodzaakt naar andere mogelijkheden te zoeken en zo komt biomassa ook weer als mogelijkheid tevoorschijn.

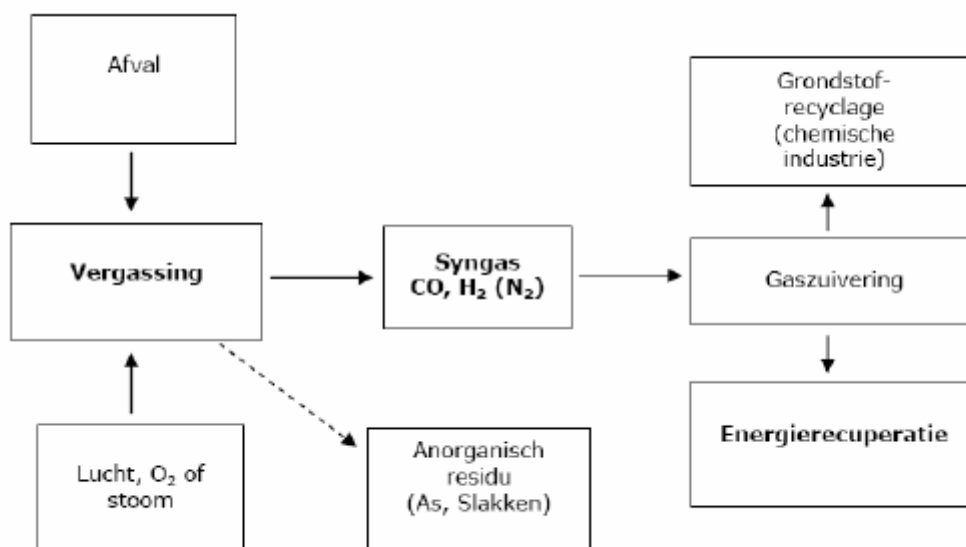
Maar wat is biomassa nou eigenlijk? Als naar biomassa gekeken worden kunnen er drie verschillende processen benoemd worden (van Heeswijk, Schild, de Wit, Kennis, Wilke, & van Osch, 2007):

- Vergisting: in dit proces worden alleen makkelijk afbreekbare componenten afgebroken. Het is een proces dat zonder zuurstof plaatsvindt, maar gebaseerd is het proces waarbij bacteriën de grondstof afbreken en ethanol, maar in dit geval belangrijker, methaan (biogas) produceren. Dit kan vervolgens gebruikt worden voor het aandrijven van een warmtekrachtkoppeling (WKK). Voor een overzicht van dit proces, zie onderstaand figuur 8.



Figuur 8. Schematische weergave van een vergistingsproces (van Heeswijk, Schild, de Wit, Kennis, Wilke, & van Osch, 2007)

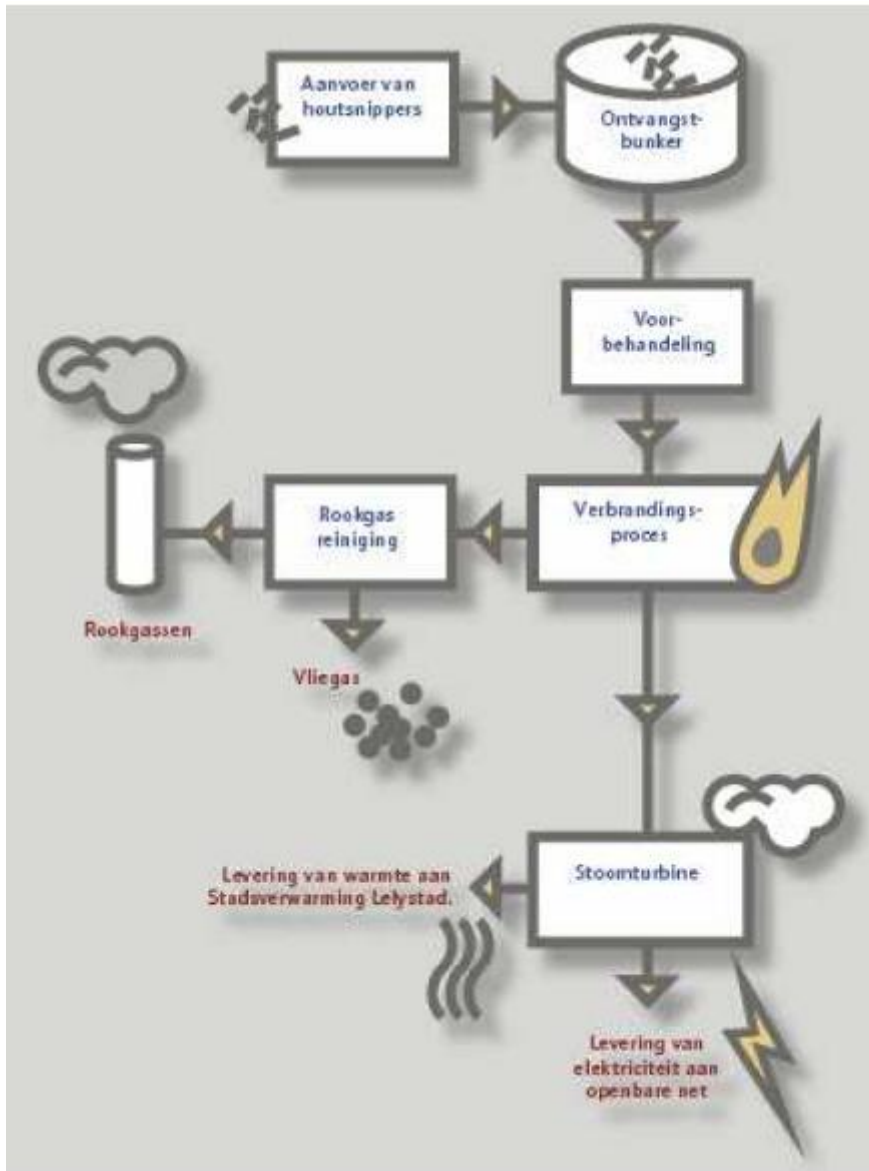
- Vergassing: in dit proces kunnen alle soorten afval gebruikt worden. Dit proces ligt tussen de andere twee processen, vergisting en verbranding, in. Het is een thermisch proces waarbij door middel van zuurstoftoevoer er een gedeeltelijke oxidatie met de aanwezige grondstof plaats kan vinden. Door deze verbranding wordt het organische materiaal omgezet in de gasvormige fase, syngas. Na zuivering, kan dit gas als energiebron gebruikt worden. Voor een overzicht van dit proces zie onderstaand figuur 9.



Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Figuur 9. Schematische weergave van een vergassingsproces (van Heeswijk, Schild, de Wit, Kennis, Wilke, & van Osch, 2007).

- Verbranding: dit is het meest voor de hand liggende proces. Hierbij wordt biologisch materiaal verbrand om energie op te wekken. Denk hierbij vooral aan op hout gebaseerde materialen. Voor een overzicht van dit proces zie onderstaand figuur 10.



Figuur 10. Schematisch weergave van een verbrandingsproces in een biomassa centrale (van Heeswijk, Schild, de Wit, Kennis, Wilke, & van Osch, 2007).

Nu deze technieken verduidelijkt zijn, kan gekeken worden naar de verschillende grondstoffen en hun mogelijkheden. In feite kunnen alle niet-fossiele, biologische materialen als grondstof gezien worden. Maar realistisch gezien zijn de belangrijkste grondstoffen: hout, houtafval, landbouwgewassen en hun afval/bijproducten (GFT-afval), vast stedelijk afval, afval van de levensmiddelenindustrie, en waterplanten en algen (Fatih Demirbas, Balat, & Balat, 2009). Het potentieel van de verschillende grondstoffen over de hele wereld wordt in onderstaande tabel 8 weergegeven.

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Biomass potential and use distribution between regions, 10³ PJ/year.

Biomass potential	North America	Latin America	Asia	Africa	Europe	Middle East	Former USSR	World
Woody biomass	12.8	5.9	7.7	5.4	4.0	0.4	5.4	41.6
Energy crops	4.1	12.1	1.1	13.9	2.6	0.0	3.6	37.4
Straw	2.2	1.7	9.9	0.9	1.6	0.2	0.7	17.2
Other	0.8	1.8	2.9	1.2	0.7	0.1	0.3	7.6
Total potential	19.9	21.5	21.6	21.4	8.9	0.7	10.0	103.8
Use	3.1	2.6	23.2	8.3	2.0	0.0	0.5	39.7
Use/potential (%)	16	12	107	39	22	7	5	38

Tabel 8. Globaal overzicht van het potentieel van de verschillende biomassa grondstoffen (Fatih Demirbas, Balat, & Balat, 2009)

Zoals al eerder aangegeven is vooral de optie van GFT-afval een interessante optie voor EPS. Als gekeken wordt naar de energieproductie uit GFT kan geconcludeerd worden dat hier een grote stijging plaatsvindt. Dit potentieel wordt aangegeven in onderstaande tabel 9.

kWh per ton gft	2004	2010	2015	Potentieel
Energieverbruik door het proces	-32,0	-32,0	-32,0	-55,0
Energielevering (gas, elektriciteit en warmte)	3,3	42,8	269,4	644,4
Netto levering energie	-28,7	10,8	237,4	589,4

Tabel 9. ontwikkeling energieproductie uit gft 2004-2015 (GFT-afval.nl)

Deze cijfers zijn uiteraard gebaseerd op schattingen maar zijn desalniettemin erg interessant en hoopgevend. Zoals eerder aangegeven wordt GFT-afval omgezet in energie door middel van een vergistingsproces. Dit proces produceert vervolgens biogas wat gebruikt kan worden om elektriciteit op te wekken door middel van een WKK.

Er is uitgegaan van een biomassa/WKK combinatie met de volgende eigenschappen:

- Vermogen: 350 KW thermisch
- Voorbehandeling: Vergisting
- Input: GFT-afval

Voor een indicatie van de opbrengsten en de kosten van een dergelijke combinatie is contact opgenomen met een Belgische fabrikant, gespecialiseerd op het gebied van WKK's die draaien op biogas. Deze opbrengsten en kosten zijn als volgt benoemd (Werknemer van Wingen, 2012):

- Kosten: €370.000,-
- Biogasverbruik: 100 Nm³ (per 100 Nm³ biogas wordt 350 kWh opgewekt)

Om een totaaloverzicht te krijgen, moeten nu ook de kosten en opbrengsten van een vergistingsproces op het gebied van GFT-afval betrokken worden (Projecten LTO Noord, 2009):

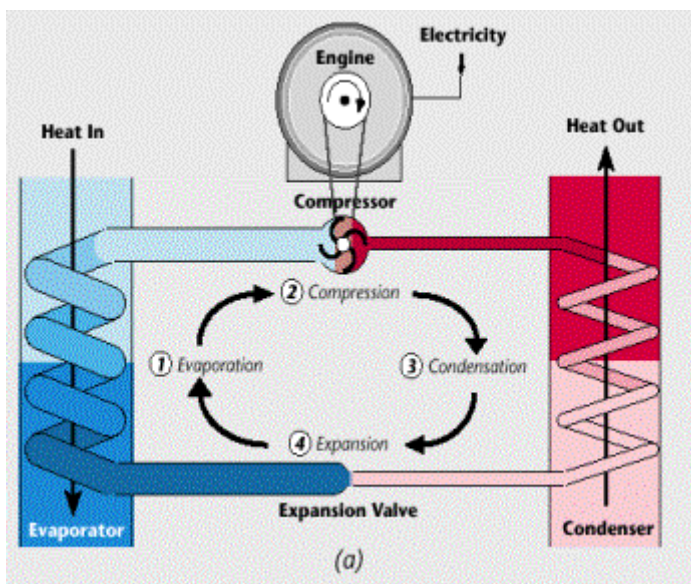
- Kosten biogas uit GFT-vergisting: 46,5 € cent per Nm³ (voor het volledig benutten van het vermogen van 350 kWh is dit dus gelijk aan €162,75)
- Kosten GFT-vergister: 4285 €/kWe (in dit geval dus gelijk aan ongeveer €1.500.000)

Dit brengt ons tot een totale investering van €1.870.000 voor de installatie en voor de opwekkingskosten van 13,3 € cent/kWh.

Als we vluchtig over deze cijfers kijken kunnen we concluderen dat een dergelijke installatie op sommige locaties een hogere kosten/kWh heeft dan de aangeboden elektriciteits prijs (bijvoorbeeld Nederland). Hier zal deze installatie op dit moment dan ook niet winstgevend zijn. Landen als Duitsland en Spanje hebben hogere kosten dan de eerder bepaalde 13,3 € cent/kWh. Maar ook in deze landen zal EPS haar investering niet snel terugverdienen. Dit is natuurlijk ook sterk afhankelijk van de hoeveelheid GFT-afval dat EPS tot haar beschikking heeft. Nemen we de kosten mee voor het vervoer van het verkregen afval naar een vestiging met een dergelijke biomassa/wkk installatie, dan zal deze installatie op dit moment niet winstgevend zijn. We kunnen echter zien dat het potentieel van de energie dat GFT-afval zou kunnen leveren sterk stijgt (tabel 9). Als we deze factor meenemen en daaraan de verwachte stijging in de normale elektriciteitsprijs koppelen, kunnen we concluderen dat deze optie in de toekomst zeker winstgevend zou kunnen worden. Daarbij komt dat met het verder ontwikkelen van de vraag naar dit soort technieken de kosten van een dergelijke installatie zullen dalen. Maar zoals gezegd is deze installatie, net als met vele andere duurzame energiebronnen, op dit moment niet winstgevend voor een bedrijf als EPS.

3.6 Warmtepomp

In dit gedeelte zal de laatste energiebron besproken worden: de warmtepomp. De warmtepomp is eigenlijk niet zo zeer een energiebron, maar een mechanisme dat inkomende warmte overbrengt op een gewenst medium voor het benodigde proces. Er zijn verschillende soorten warmtepompen, maar deze zijn allemaal gebaseerd op hetzelfde principe: warmtetransport. Hierbij wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke verschijnsel dat warmte geneigd is te dalen. Dit betekent in andere woorden dat het de neiging heeft van een locatie met een hoge temperatuur naar een locatie met een lage temperatuur te verplaatsen. Een warmtepomp maakt gebruik van dit gedrag door dit proces om te keren: pompen van een warmte uit een relatief lage temperatuur in een hoge temperatuur. Let op: om energie te winnen is het ook noodzakelijk dat er energie in wordt gestopt. Om dit proces te verduidelijken wordt hieronder een figuur gegeven.



Figuur 11. Schematisch overzicht van warmtepomp (Darling)

Als naar de bovenstaande figuur wordt gekeken ligt de linkerzijde aan de kant van de energiebron. Hier wordt dus warmte onttrokken in het blauwe gedeelte. Dit wordt vervolgens door middel van de compressor in het rode gedeelte gepompt waarna de warmte naar het benodigde proces wordt getransporteerd. Als we kijken naar het gebied van het medium, bestaan er 3 verschillende soorten warmtepompen:

- Lucht-Lucht, dit betekent dat de pomp warmte onttrekt uit lucht en warmte af staat aan lucht.
- Lucht-Water, dit betekent dat de pomp warmte onttrekt uit lucht en warmte af staat aan water.
- Water-Water, dit betekent dat de pomp warmte onttrekt uit water en warmte afstaat aan water.

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

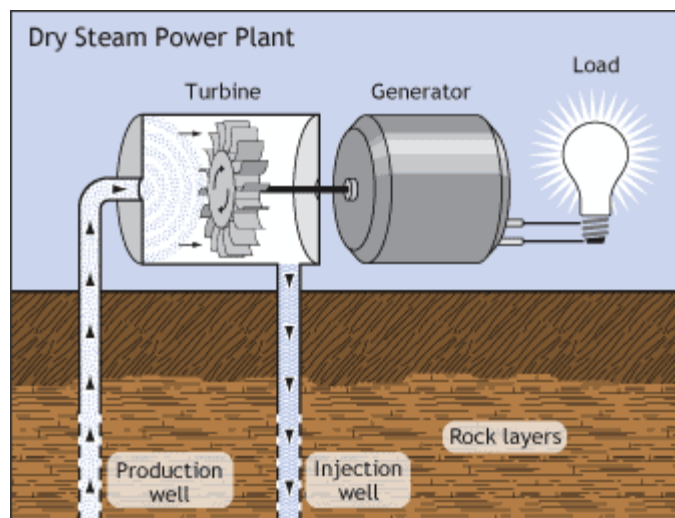
Nu dit duidelijk is, kan gekeken worden naar de verschillende soorten bronnen die gebruikt kunnen worden als initiële warmtebron. Er kunnen drie verschillende soorten benoemd worden:

- Lucht
- Grond (Geothermisch)
- Absorptie

Met het oog op de duurzaamheid wordt alleen ingegaan op de tweede vorm: geothermische energie.

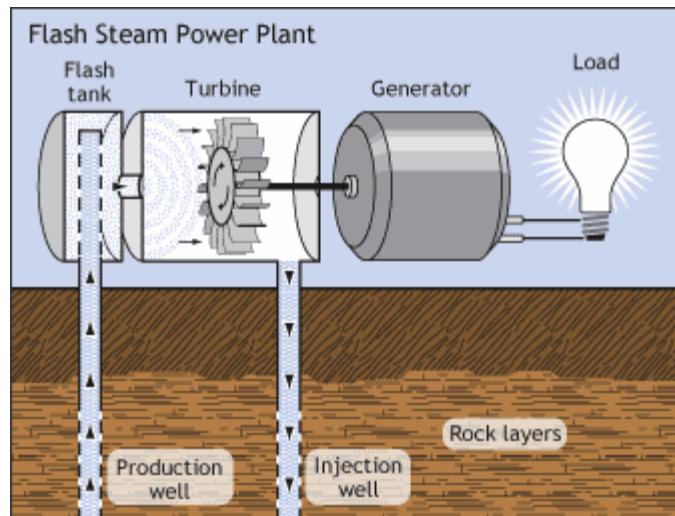
Hoe gaat dit proces in zijn werking? Het principe achter geothermische energie is het uitnutten van de energie die verkrijgbaar is in het centrum van de aarde. Dit gebeurt door warm water of stoom uit de grond te onttrekken, het te gebruiken en vervolgens weer retourneren als warm water. Hiervoor zijn drie benaderingen te benoemen (Union of concerned scientists, 2009):

- 'Dry steam', stoom gaat direct door de turbine, vervolgens in condensator waar de stoom in water wordt omgezet.



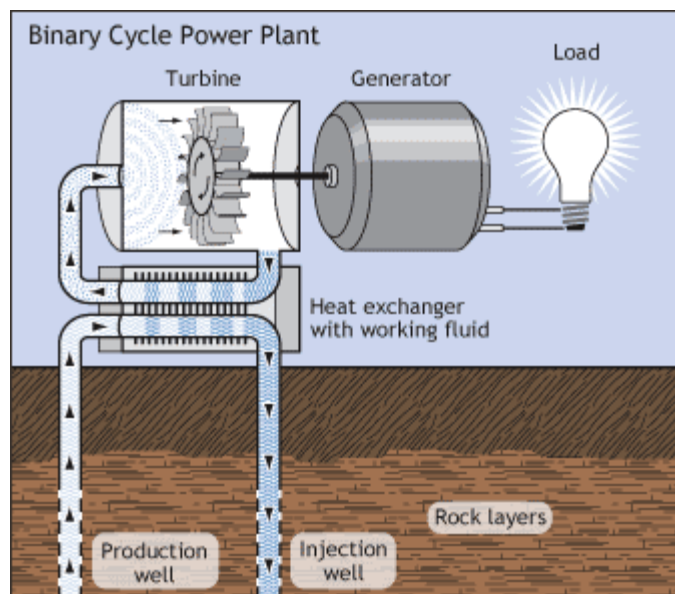
Figuur 12. Grafische weergave van 'Dry steam' power plant (Union of concerned scientists, 2009)

- 'Flash steam', warm water wordt drukloos gemaakt, of 'geflashed', en zo in stoom omgezet dat de generator aandrijft.



Figuur 13. Grafische weergave van 'Flash steam' power plant (Union of concerned scientists, 2009)

- 'Binary cycle', het warme water wordt door een warmtewisselaar geleid. Hier wordt een tweede vloeistof, als isobutaan⁸, opgewarmd. Deze vloeistof moet een lager kookpunt hebben dan water, waardoor het makkelijker in stoom wordt omgezet dat de generator kan aandrijven.



Figuur 14 Grafische weergave van 'Binary cycle' power plant (Union of concerned scientists, 2009)

⁸ Andere naam voor het scheikundige Methylpropan (C₄H₁₀). Kookpunt van deze stof ligt laag (-11,7 °C) en kan dus daarom goed gebruikt worden binnen de warmtewisselaar (Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung).

In het geval van een bron kan dit warme water direct gebruikt worden voor warmteprocessen. Deze optie is echter sterk afhankelijk van de aanwezigheid van dergelijke bronnen.

Voor er gekeken wordt naar de verschillende factoren die invloed hebben op de prestaties van de geothermische hittepomp, wordt eerst een gedeelte ontwikkeling gegeven van, respectievelijk, de theorie achter de warmte pomp en de productiegeschiedenis van het apparaat. Als gekeken wordt naar de theorie achter de warmtepomp zijn er twee zaken die gelijk in het oog springen: '1st and 2nd law of thermodynamics'⁹. De man verantwoordelijk voor de eerste wet was Hermann von Helmholtz, 1847. Degene die verantwoordelijk was voor de tweede wet, Rudolf Julius Emanuel Clausius, was tevens degene die het concept van entropie¹⁰ uitwerkte.

De eerste naam die genoemd moet worden, als gekeken wordt naar de productiegeschiedenis, is die van Jakob Perkins. Hij was degene die de eerste compressie cooling machine bouwde met ether als koelstof (1834). Deze ontdekking was de basis voor een groot aantal die daarop volgden. A. C. Twining was degene die de eerste commerciële 'ice making plant' presenteerde (1855). Vanaf hier begint de zoektocht naar de verschillende koelmiddelen: Ammonia (F. Carré/J. Beath, 1868), methyl ether (Ch. Tellier, 1863), carbon dioxide (Thaddeus S.C. Lowe, 1866), sulphur dioxide (R. Pictet, 1874). In 1851 werd het eerste cooling systeem gebaseerd op ammonia absorptie geïntroduceerd door F. Carré. Vanaf het jaar 1919 wordt de markt voor de warmtepomp competitief. Dit leidt tot een zoektocht voor een vervanger van, de eerder altijd gebruikte koelstof, ammonia. De koelstof die in 1930 geïntroduceerd werd, freon (R-12)¹¹, werd later verboden aangezien het mede oorzaak was voor het gat in de ozonlaag. Zoals met alle duurzame oplossingen van die tijd leidde de daling in olieprijs in het midden van de 20^e eeuw tot een daling van de vraag naar de warmtepomp. Deze vraag is met het opraken van de fossiele brandstoffen echter weer aangewakkerd (Zogg, 2008).

Met het oog op toepassingsmogelijkheid voor EPS wordt ook nog een gedeelte van de ontwikkeling van geothermische energie gegeven. Gedurende de 1960's werd de eerste geothermische energie centrale gevestigd in San Fransisco. Deze produceerde 11 MW. Zoals aangegeven steeg met het opraken van de fossiele brandstoffen de vraag naar de warmtepomp, zo ook de geothermische. Verwacht wordt dat deze bron, in 2050, 10-20% van de energiebehoefte van de wereld kan verwezenlijken (Clean Energy Ideas) (Conserve energy future, 2009-2012). Als gekeken wordt naar de prestaties van de verschillende warmtepompen keert één belangrijke term telkens terug: Coëfficiënt of performance (COP). Deze is aangeduid als:

$$COP = Q/W$$

⁹ De eerste wet van thermodynamica staat ook wel bekend als "de wet van het behoud van energie". Deze stelt dat energie zowel niet gecreëerd kan worden als vernietigd kan worden: alle energie opwekkingsprocessen zijn afhankelijk van uitwisseling van energie. Dus warmte en werk zijn vormen van energietransport.

De tweede wet van thermodynamica is gebaseerd op ervaring en niet zozeer gebaseerd op een achterliggende theorie. Als deze toch benoemd moet worden is het als volgt: Energie zal zich spontaan verspreiden vanuit een gelokaliseerde positie als het niet verhinderd wordt (Encyclo) (Entropysite, 2006).

¹⁰ Entropie is een belangrijk begrip in de thermodynamica. Het is op het fundamenteelste niveau een maat voor de *wanorde* of de *ontaarding* in een systeem. In dit geval wordt het ook wel gedefinieerd als de reversibele warmte gedeeld door de temperatuur (Entropysite, 2006)

¹¹ Een andere naam voor het scheikundig Difluorodichloromethane (CCl₂F₂) (International Chemical Safety Cards, 2002).

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Waarbij,

COP = Constantie die de verhouding tussen gewonnen energie en benodigde energie (prestatie coëfficiënt)

Q = De benodigde thermische energie afgegeven voor verwarming in kWh

W = De benodigde energie voor de werking van de warmte pomp in kWh

Een COP van 3 betekent dus dat voor 1 kWh elektrische input, er aan 3 kWh aan gratis, duurzame energie uitkomt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat hoe hoger de COP, hoe effectiever de warmtepomp. Voor een verdere uitleg over deze coëfficiënt wordt verwezen naar Appendix C.

Als we kijken naar geothermische warmte pompen in vergelijking met andere warmtesystemen, wordt het duidelijk dat deze hoge COP waarden hebben (3-5) in vergelijking met anderen: lucht-bron warmtepompen (2.3-3.5), elektronische plinten verwarmers (1), mid-efficiënte natuurlijk gas oven (0.78-0.82), hoog-efficiënte natuurlijk gas oven (0.88-0.97). De initiële kosten van een geothermische warmtepomp liggen echter hoger, voornamelijk vanwege de kosten van de warmtepomp unit en de connector met de grond. De werkingskosten liggen echter lager door de hoge efficiëntie (Self, Reddy, & Rosen, 2012). Onderstaande tabel geeft deze verschillen weer:

Comparison of economic parameters for various heating systems in several locations.

Heating system	Capital cost (\$)	Alberta		Ontario		Nova Scotia	
		Annual heating cost (\$)	Present worth (\$)	Annual heating cost (\$)	Present worth (\$)	Annual heating cost (\$)	Present worth (\$)
Geothermal HP	9000	601	21,020	328	15,560	649	27,230
Air source HP	4900	813	21,160	444	13,780	877	27,940
Electric baseboard	1550	2257	46,690	1231	26,170	2432	50,190
Natural gas furnace ^a	1500	1276	27,020	2344	48,380	1885	44,750
Natural gas furnace ^b	1900	1109	24,080	1049	22,880	1653	40,460

Monetary units are in 2009 Canadian dollars.

Present worth values are for a 20 year period.

^a Represents mid efficiency.

^b Represents high efficiency.

Tabel 10. Economische parameters voor de verschillende warmte systemen op verschillende locaties in Canada (Self, Reddy, & Rosen, 2012).

Om de duurzaamheid van de verschillende warmteapplicaties weer te geven wordt ook een tabel gegeven van de CO₂-uitstoot.

Table 3

Comparison of CO₂ emissions for various heating systems in several locations.

Heating system	Annual fuel use (kWh)	Alberta		Ontario		Nova Scotia	
		Emission intensity (kgCO ₂ /kWh)	CO ₂ emission (kg)	Emission intensity (kgCO ₂ /kWh)	CO ₂ emission (kg)	Emission intensity (kgCO ₂ /kWh)	CO ₂ emission (kg)
Geothermal HP	6080	1.12	6826	0.188	1143	1.04	6346
Air source HP	8214	1.12	9222	0.188	1544	1.04	8573
Electric baseboard	22,280	1.12	25,015	0.188	4188	1.04	23,255
Natural gas furnace ^a	28,475	0.190	5410	0.190	5410	0.190	5410
Natural gas furnace ^b	24,655	0.190	4684	0.190	4684	0.190	4684

^a Represents mid efficiency.

^b Represents high efficiency.

Tabel 11. Overzicht van CO₂ uitstoot van de verschillende warmte systemen op verschillende locaties in Canada (Self, Reddy, & Rosen, 2012).

Als gekeken wordt naar de mogelijkheden voor EPS is het vooral van belang of de installatie zoveel kan leveren dat er onmiddellijk 60 °C water naar boven kan worden gepompt. Als dit het geval is, kan de installatie zich gelijk terug gaan verdienen. Hoogstwaarschijnlijk is dit echter niet het geval en moet men gaan bij-verwarmen. In dit geval zal de installatie zich in lange tijd nog niet terug verdienen. Bovendien zitten er ook bepaalde beperkingen aan deze bron: het zal niet overal toepasbaar zijn (warmte zit te diep), het zal niet overal toegestaan zijn (overheden).

Dit betekent dat men het geluk moet hebben om op de ideale locatie te zitten. En zelfs dan zal het, gezien de grote investering, aanzienlijke tijd duren voor de investering zich terug verdient. Een normale warmtepomp zou gebruikt kunnen worden in combinatie met één van de andere duurzame bronnen om de opbrengst te vergroten (zie 3.9).

3.7 Algenproductie

Het volgende gedeelte heeft eigenlijk betrekking op zowel de afvalverwerking als het vinden van een duurzame energiebron. Welke aspecten van dit concept zijn te benoemen? Als gekeken wordt naar de afvalverwerking kunnen we het aspect afvalwater benoemen. Dit is water wat van het wasproces afkomt en wat niet hergebruikt kan worden voor een nieuwe wasbatch. Hoe komt hier vervolgens het energieverhaal in terug? In dit afvalwater kunnen algen gekweekt worden. Waarom zou dit gedaan worden, is dit niet alleen maar meer afval? De reden voor het kweken van algen is dat deze als energiebron kunnen gaan fungeren. Voor verder in wordt gegaan op het energieproces, wordt er eerst een algemeen beeld gegeven van wat deze algen eigenlijk zijn.

Algen zijn één van de oudste levensvormen. Het zijn primitieve planten, die geen steriele wand hebben rondom hun cellen enchlorofyl a als hun eerste fotosynthetische pigment¹² hebben. Algen structuren zijn voornamelijk voordelig door energie uitwisseling zonder enige ontwikkeling naast de cellen, en hun ontwikkeling maakt dat zij zich makkelijk aanpassen aan heersende omstandigheden en langdurig voort kunnen bestaan (Brennan & Owende, 2010).

Als gekeken wordt naar de algen die gebruikt worden voor het energieproces, is er één bepaalde subgroep te benoemen: de microalgen. Deze organismen komen voor in zee- of zoet water en hebben de capaciteit om fotosynthese¹³ uit te voeren. Waarom zou deze energiebron zo interessant zijn als duurzaam alternatief? Deze vorm heeft een hoge utilisatie van CO₂ en daarnaast heeft het een hogere biomassa opbrengst dan aardplanten. De CO₂ utilisatie is een logische gevolg van de al eerder genoemde fotosynthese. De hoge opbrengst is een gevolg van twee eigenschappen: een efficiëntere omzetting van zonne-energie en daarnaast een meer efficiënte utilisatie van water, koolstof en voedingsstoffen (dit is weer een gevolg van de vochtige omgeving) (Kovacevic & Wesseler, 2010).

Als gekeken wordt naar het gehele proces kunnen er twee subprocessen onderscheiden worden: de algenproductie en de energieproductie uit algen. Voor het produceren van de algen zijn drie hoofdvormen te benoemen:

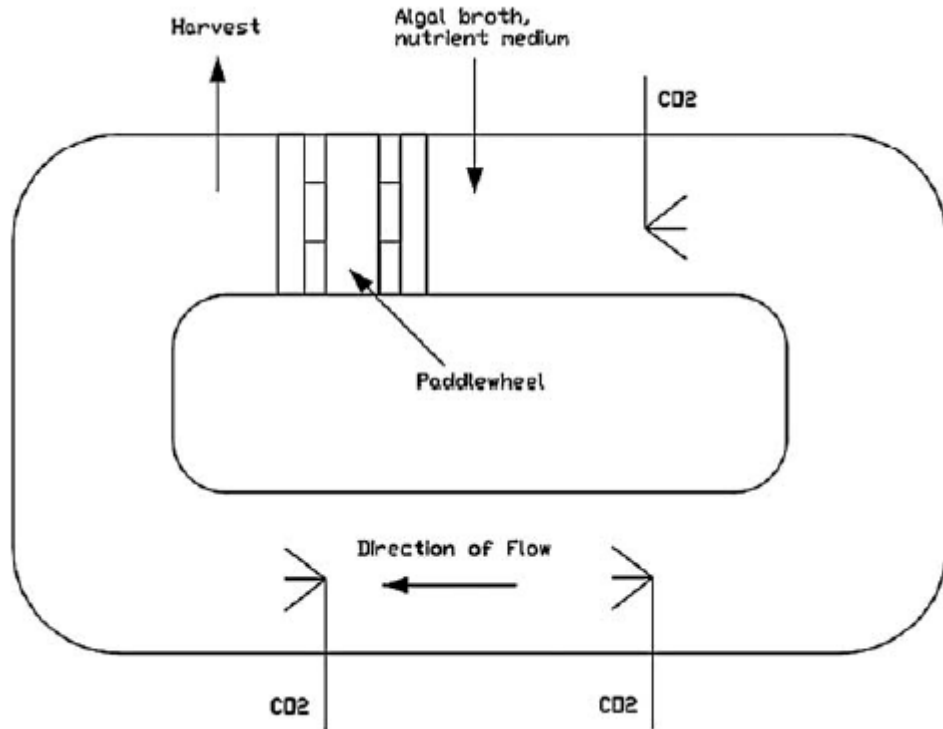
- Fototrofe¹⁴ teelt in open loopbanen (er zijn andere open productiesystemen maar dit is de meest voorkomende)

Aangesloten loopbaan met een ovaalvorm van 0,2-0,5m diepte. Gedurende het continue productieproces worden algen bouillon en voedingsstoffen binnengebracht voor het scheppad en door de loopbaan gecirculeerd tot het extractiepoint. De omgevingslucht biedt normaal gesproken voldoende CO₂, maar in sommige gevallen moeten onderwater beluchters geïnstalleerd worden om de CO₂-productie te bevorderen.

¹² Het pigment dat aanwezig is in chloroplasten. Dit pigment vangt de lichtenergie op die nodig is voor fotosynthese. Verschillende pigmenten vangen verschillende soorten licht.

¹³ De vorming van koolhydraten en zuurstof uit water en koolstofdioxide door planten en algen onder invloed van zonlicht (COGEM).

¹⁴ Organisme leeft van lichtenergie (Encyclo)

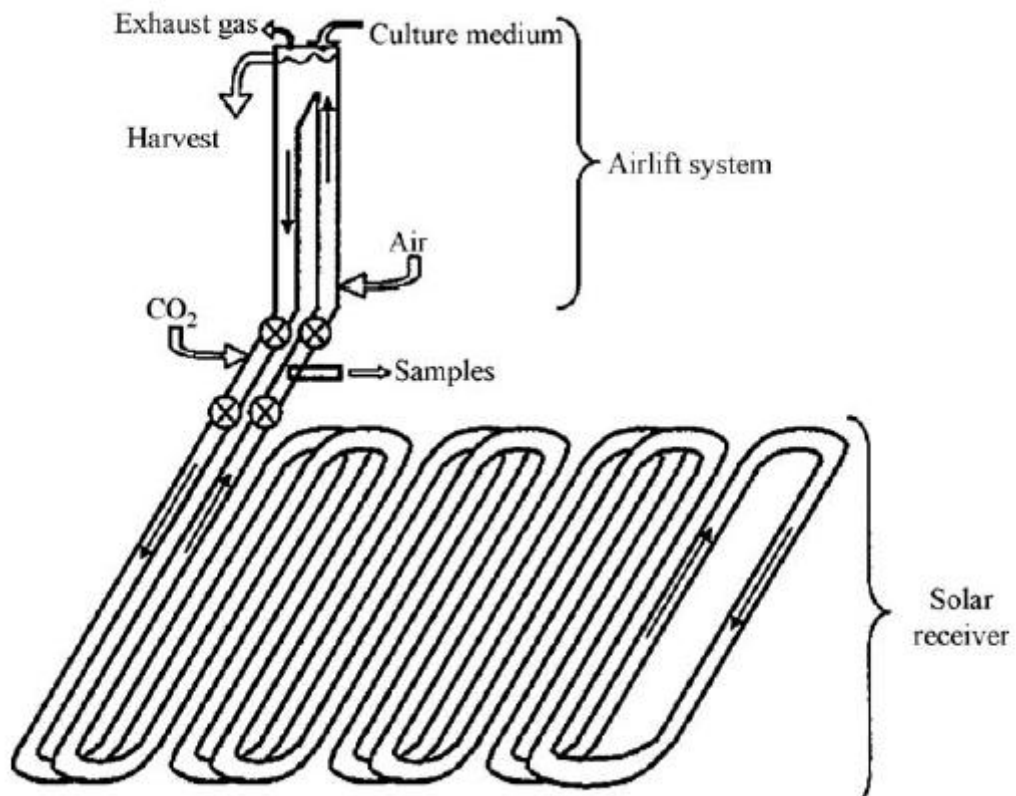


Figuur 15. Grafische weergave van een fototrofe teelt in open loopbanen (Brennan & Owende, 2010).

Voordelen van een dergelijk systeem bestaan voornamelijk uit lage kosten en makkelijk onderhoud. Hier staat tegenover dat het veel ruimte nodig heeft en de opbrengsten relatief laag liggen.

- Fototrofe teelt in gesloten fotobioreactoren

Deze systemen bestaan voor een groot gedeelte uit een reeks van rechte buizen. Dit gedeelte vangt zonlicht op en kan horizontaal, verticaal, met een helling of als een spiraal uitgelijnd worden. De buizen hebben doorgaans een diameter kleiner dan 0,1m. Algen worden rondgepompt door middel van ofwel een mechanische pomp of een luchtpomp systeem (zie figuur). Er wordt doorgaans voor de gekozen om de uitwisseling van CO₂ en O₂ tussen de vloeistof en de gassen geproduceerd door de algen te bevorderen.



Figuur 16. Grafische weergave van een fototrofe teelt in een gesloten fotobioreactor (Brennan & Owende, 2010).

De opbrengsten van deze techniek liggen hoger dan de open loopbanen techniek, maar daar tegenover staan dan ook hogere kosten.

- Heterotrofe¹⁵ teelt in gesloten fermentoren

Microalgen worden gekweekt op organische koolstofsubstraten in 'stirred tank' bioreactoren of fermentoren. Deze techniek is dus onafhankelijk van zonne-energie en kan veel gemakkelijker vergroot worden dan de vorige twee technieken. Er is dus veel controle over de groei en lage kosten voor het oogsten vanwege de hoge celdichtheden die verkregen worden.

Als gekeken wordt naar de resultaten van de verschillende technieken kunnen drie factoren benoemd worden: Opbrengst, kosten, CO₂-uitstoot. Op basis van een rapport in British Columbia zijn de volgende getallen bepaald (Alabi, Tampier, & Bibeau, 2009):

¹⁵ Heeft organische bestanddelen nodig om te leven (Encyclo)

Technology	Base Case	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Raceway	Unheated raceway (run year round)	Heated raceway (run year round)	Unheated raceway (run April to September)	Unheated raceway (run April to September with half the capital costs of Scenario 3)
	Location: Prince George	Location: Prince George	Location: Vancouver Island	Location: Vancouver Island
	9.38 g.m ⁻² yr ⁻¹	15.47 g.m ⁻² yr ⁻¹	22.89 g.m ⁻² yr ⁻¹	22.89 g.m ⁻² yr ⁻¹
	15% oil	15% oil	15% oil	30% oil
PBR	15.3 g.m ⁻² yr ⁻¹ 25% oil	15.3 g.m ⁻² yr ⁻¹ ; 35% oil	6,000 gal.ac ⁻¹ yr ⁻¹ Ethanol secretion	n/a
Fermenter	50 g.L ⁻¹ ;	100 g.L ⁻¹ ;	n/a	n/a
	50% oil	60% oil		

Tabel 12. Opbrengsten verschillende technologieën onder verschillende scenario's (PBR staat voor de Engelse variant van fotobioreactoren) (Alabi, Tampier, & Bibeau, 2009).

Zoals in tabel 12 gezien kan worden heeft de Fermenter technologie duidelijk de meeste opbrengst. Namelijk in het beste geval 50 gram per liter, waarvan 50% bio-olie.

	Raceway		Photobioreactor		Fermenter	
Initial Investment (\$L ⁻¹)	52		111		2	
Production Cost	(\$ per liter of oil produced)					
Labour cost	\$4.03	26.69%	\$2.96	11.90%	\$0.29	10.88%
Other production cost	\$3.71	24.59%	\$6.37	25.59%	\$2.06	78.45%
Capital cost	\$7.35	48.71%	\$15.56	62.50%	\$0.28	10.66%
Total Cost	\$15.09		\$24.89		\$2.63	
Credit from the sale of algae cake*	\$0.65		\$0.29		\$0.05	
Net total cost	\$14.44		\$24.60		\$2.58	
Lipid content	15%		25%		50%	
Cost per kg of algae	\$2.66		\$7.32		\$1.54	

Tabel 13. Kosten verschillende technologieën per liter bio-olie (Alabi, Tampier, & Bibeau, 2009).

Zoals in tabel 13 gezien kan worden is de Fermenter technologie duidelijk de goedkoopste. Namelijk netto totale kosten van \$2,58 per liter. Dit is ten opzichte van beide andere technologieën een enorm verschil. Zo liggen de kosten ongeveer 82% lager dan de raceway en ongeveer 89% lager dan de fotobioreactor. Dit grote kosten verschil zit vooral in het grote verschil in capital costs. Dit komt door, zoals in de omschrijving gelezen kan worden door de kleine hoeveelheid materiaal die deze laatste methode gebruikt en daarnaast dat het volledig onafhankelijk is van zonne-energie en dus overal geplaatst kan worden.

	Raceway	Photobioreactor	Fermenters
<i>CO₂ Balance (Grams per liter)</i>			
CO ₂ Balance (g.L ⁻¹)	6,097	4,108	3,117
<i>Energy Balance (MJ per liter)</i>			
Energy balance (MJ.L ⁻¹)	-39.7	-11.5	-21.9
Energy ratio	1.76	1.23	1.93

 Tabel 14. CO₂-uitstoot verschillende technologieën per liter bio-olie (Alabi, Tampier, & Bibeau, 2009). Energie ratio:

$$ER = E_o / E_i$$

ER = Energieratio

E_o = Uitgaande energie in MJ (Opbrengst)

E_i = Ingaande energie in MJ (Input)

Uit tabel 14 kan geconcludeerd worden dat de Fermenter technologie de minste CO₂-uitstoot (vervuiling) heeft.

Uit deze resultaten kan geconcludeerd worden dat de derde optie, Heterotrofe teelt in gesloten fermentoren, de beste optie is om bio brandstof uit algen te produceren. Wel moet opgemerkt worden dat deze optie desondanks op dit moment nog niet kan concurreren tegen fossiele brandstoffen. Om deze bio-olie in energie om te zetten moet namelijk ook nog een WKK aangeschaft worden. Deze ligt rond dezelfde prijs als de al eerder genoemde WKK bij biomassa (3.5). Hierdoor liggen de kosten nog te hoog. Naarmate er meer aandacht aan ontwikkeling van de productiviteit en verlaging van de kosten komt, kan deze technologie pas een interessante worden.

3.8 AHP analyse (Welke bron is de beste?)

In dit gedeelte wordt een AHP-analyse uitgevoerd worden op alle energie bronnen die hierboven voorbij zijn gekomen, om daarmee tot een antwoord te komen op de vraag welke bron het geschikt is voor EPS. AHP staat voor Analytic Hierachy Process, is een analyse methode geïntroduceerd door Thomas Saaty en wordt wereldwijd gebruikt voor het oplossen van beslissingsproblemen in gebieden als economie en planning, energie beleid, 'material handling' en inkoop, project selectie etc. (Goodwin & Wright, 2009).

Voor een goede AHP-analyse moeten er enkele criteria opgesteld worden die vervolgens paarsgewijs tegen elkaar worden afgewogen. Deze afweging leidt tot een overall score per criterium die vervolgens tegen elke energiebron wordt afgewogen. Dit leidt weer tot een eindscore per bron; de bron met de beste score is de meest geschikte optie. In deze studie is gekozen voor de volgende criteria:

- Toegankelijkheid
- Terugverdientijd (bestaande uit kosten en opbrengsten)
- Imago
- Positieve samenwerkingsverbanden
- Groeipotentie

Zoals al eerder aangegeven (3.3.2) zal het zonneboiler-systeem niet meegenomen worden in de analyse, aangezien er op dit moment niet voldoende gegevens beschikbaar zijn om een reëel cijfer te koppelen aan de kosten en de opbrengst van het systeem.

De AHP-analyse is gebaseerd op een scoringssysteem waarbij eerst het relatieve belang van de criteria wordt bepaald en vervolgens wordt bepaald hoe goed elke bron scoort op elk criterium. Hierbij zijn de scores subjectief en aardig breed, namelijk als volgt:

Een beetje meer belangrijk (3)
 Veel belangrijker (5)
 Erg veel belangrijker (7)
 Extreem veel belangrijker (9)

Uit de analyse komen de volgende wegingsfactoren naar voren:

Toegankelijkheid	Terugverdientijd	Imago	Groeipotentieel energiebron	Positieve samenwerkingsverbanden
0,545	0,251	0,101	0,067	0,036

Tabel 15. Wegingsfactoren AHP-analyse

Deze wegingsfactoren zijn gebaseerd op scores die ik opgesteld heb aan de hand van de bijeenkomsten tussen mij en de projectmanager. Voor het totaal overzicht van deze scores verwijs ik naar Appendix F, bladzijde 72. Deze wegingsfactoren vermenigvuldigen we met de scores van de verschillende bronnen op de verschillende criteria. Deze scores zijn door mij bepaald en zijn gebaseerd op het de bevindingen waar ik in het voorgaande een weergave van geef. Voor een totaal overzicht van deze scores verwijs ik naar Appendix F, bladzijde 73. Wanneer we de wegingsfactoren met de scores van de verschillende energiebronnen op de verschillende criteria vermenigvuldigen krijgen het volgende resultaat:

Blue-energy	Getijde-energie	PV-panelen	Micro-wind	3MW-wind	Biomassa	Warmtepomp	Algen	Totaal
0,038	0,029	0,207	0,180	0,209	0,093	0,087	0,164	1,000

Tabel 16. Resultaten AHP-analyse

Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat de 3MW-windmolen de beste optie is voor EPS op dit moment. We kunnen zien dat PV-panelen en micro-windmolens ook erg hoog scoren. Dit komt echter door de hoge wegingsfactor die gevonden is voor de toegankelijkheid. Als gekeken wordt naar de terugverdientijd, wordt duidelijk dat de 3MW-windmolen duidelijk beter scoort. Kijken we naar de relatief nieuwere bronnen, dan kunnen we uit de analyse opmaken dat algenproductie hoog scoort. Dit heeft weer te maken met de hoge wegingsfactor die gekoppeld is aan toegankelijkheid. Algenproductie kan overal plaatsvinden, terwijl de andere nieuwe bronnen locatiegekoppeld zijn (in het geval van Blue- en getijde energie aan zee en in het geval van de geothermische warmtepomp in de buurt van een gunstige grondbron). Voor een overzicht van de gehele AHP-analyse verwijs ik naar Appendix F.

3.9 Combinaties

Nu alle bronnen zelfstandig zijn besproken is het goed om kort naar eventuele combinaties te kijken. Zoals in de voorgaande delen (3.1-3.7) gelezen kan worden zijn de meeste van de besproken bronnen niet interessant te noemen voor EPS. Het zou echter kunnen dat door combinaties van verschillende bronnen er wel een interessante uitkomst tevoorschijn kan komen. Hierbij kan een lucht-warmtepomp bijvoorbeeld wel genoemd worden. Zoals al eerder aangegeven (3.5) is het voor deze techniek noodzakelijk om er energie in te stoppen voordat er daadwerkelijk energie geproduceerd kan worden. Dit wil zeggen dat een toepassing die niet voldoende energie produceert voor het proces door middel van een combinatie met een warmtepomp, ineens wel voldoende warmte produceert. Gezien de beperkte tijd voor dit rapport is hier echter geen volledige analyse voor gedaan. Wel is het noodzakelijk om deze mogelijkheid aan te benoemen. Het zou bijvoorbeeld kunnen dat micro windturbines in combinatie met een warmtepomp een veel gunstiger beeld geven dan de resultaten die voortkwamen uit de eerdere analyse (3.3). Zo zijn er nog andere combinaties te benoemen. Gezien deze mogelijkheden ligt hier dus nog een duidelijke mogelijkheid tot vervolgonderzoek met mogelijk aantrekkelijke uitkomsten voor EPS.

Conclusie deel II

Nu alle energiebronnen behandeld en geanalyseerd zijn, kunnen we een duidelijke conclusie trekken. Op dit moment zijn duurzame energiebronnen over het algemeen niet winstgevend voor EPS. Uit de resultaten van de AHP-analyse kunnen we tevens concluderen dat op dit moment de optie van een grote windmolen(3MW-windmolen) de beste zou zijn. Deze heeft een terugverdientijd van 8,5 jaar in Nederland en een minimale terugverdientijd van 4,4 jaar. Deze optie is echter niet volledig toegankelijk, omdat het niet toegestaan is om deze molen overal te plaatsen (in verband met overlast) met als beste optie om dit in samenwerking met andere bedrijven in te richten, waardoor de investering ook kleiner zal zijn.

Als gekeken wordt naar de opkomende energiebronnen kan geconcludeerd worden dat algenproductie hier het beste scoort. Dit komt als gezegd door de hoge wegingsfactor die hangt aan

de toegankelijkheid. Een algenproductie kan overal gestart worden, terwijl al de andere bronnen afhankelijk zijn van een locatie (in het geval van Blue- en getijde energie aan zee en in het geval van de geothermische warmtepomp in de buurt van een gunstige grondbron). Als er gekeken wordt naar combinaties binnen deze energiebronnen is de belangrijkste optie die van de normale warmtepomp. Deze kan gebruikt worden om een output van een andere bron te verdrievoudigen. Hierdoor kan een gebruikte bron toch winstgevend worden. Gezien de omvang van dit onderzoek is hier echter een vervolg onderzoek voor nodig.

Deel III

4. Procesoptimalisatie

In dit gedeelte zal procesoptimalisatie besproken worden. In deze context gaat het vooral over het optimaliseren van de energiestromen binnen het proces. Er zal allereerst een overzicht gegeven worden van het huidige proces en welke verbeteringen al doorgevoerd zijn door EPS.

4.1 Analyse huidige wasproces

Als er teruggekeken wordt naar hoe het proces eruit ziet (1.2), dan kan gezien worden dat het een duidelijk in 3 delen opgesplitst proces is:

- Voorwas
- Hoofdwas
- Naspoelen

Wordt gekeken naar verbeteringen binnen het proces, dan kan geconcludeerd worden dat EPS al ver gevorderd is op het gebied van energiebesparing:

- Overbodige ventilatoren zijn afgesloten voor zowel voorwas als nawas als naspoeling.
- Water van de voorwas wordt hergebruikt voor de nawas.
- Door middel van een WKK motor wordt afvalwater tevens hergebruikt voor het opwekken van energie. Dit is op dit moment, op dit gebied, een vergevorderde vorm van duurzame energie opwekking (Werknemer ECN, 2012).
- EPS heeft al veel werk verricht om dit proces te optimaliseren: groot aantal metingen geanalyseerd en ook daarop geanticipeerd (bijvoorbeeld ventilatoren afgesloten).
- De enige mogelijkheid tot aanzienlijke verbetering ligt waarschijnlijk bij de afvalstromen. Denk hierbij aan het waterverlies bij de verschillende onderdelen van het wasproces. En het stoomverlies bij het droogproces. Voor verder onderzoek kan hierbij gedacht worden aan betere isolatie, danwel opvangen en hergebruiken van deze stromen.

Kijken we verder dan alleen het proces zelf naar factoren die invloed kunnen hebben op optimalisatie van het proces, dan zijn de volgende punten te benoemen: energieopslag, afvalverwerking, hergebruik van afvalwater (in dit geval door middel van algenproductie) en het gebruik maken van omgevingsfactoren.

4.2 Energieopslag

In dit gedeelte zal ook gebruik wordengemaakt van onderdelen uit deel II: 3.1-3.9. Om een optimaal energieproces te hebben is het van belang dat de verkregen input ook optimaal benut wordt. Hierbij kan het zo zijn dat een energiebron op bepaalde momenten meer oplevert dan op andere. Dit leidt ertoe dat, hoewel een totaal productie voldoende kan zijn voor het gehele proces, er op sommige momenten een overschot is en op andere momenten een tekort aan energie. Denk hierbij bijvoorbeeld aan zonne-energie, waarbij het grootste deel van de energie opgenomen wordt in de zomerperiode. Daarentegen staat dat er in de winterperiode bijna geen energie geproduceerd wordt. Dit verschil komt voor bij wind-, maar vooral bij zonne-energie en deze twee soorten zullen dan ook vooral belicht worden.

Welke voordelen brengt energieopslag nou daadwerkelijk met zich mee (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008)?

- 'Energy transfer': Grote hoeveelheden kunnen gebruik worden op 'peak hours' als het echt nodig is.
- 'Network savings': Door het compenseren van eventuele ladingsvariaties binnen het netwerk, door een energieopslag, wordt het mogelijk gemaakt om betere, lichtere designs te implementeren op het gebied van transmissie, subtransmissie en distributie netwerken.
- 'The kinetic advantage': Doordat deze energie beschikbaar is kan er onmiddellijk gereageerd worden op een vraagstijging. Met andere woorden, energieopslag geeft flexibiliteit aan het systeem: er is energie wanneer het nodig is.

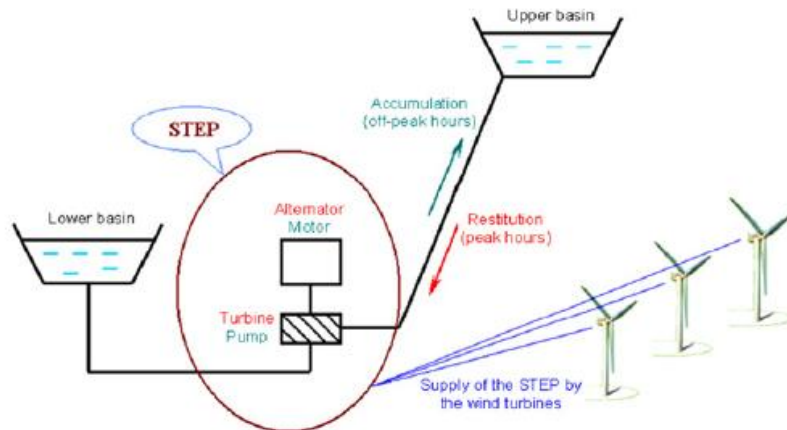
Voor we beginnen aan de mogelijkheden, zullen we eerst aangeven om welke soorten energie het daadwerkelijk gaat. Zowel wind als zonne-energie geven een elektrische energiebron (windgenerator en zonnepanelen). Zonne-energie geeft daarnaast ook een warmtebron (zonneboiler). We zijn dus op zoek naar opslagmogelijkheden voor elektrische energie en thermische energie. Te beginnen met de mogelijkheden op het gebied van elektrische energieopslag, aangezien deze het grootste deel beslaat. Hoe gaat elektrische energieopslag in zijn werk? Allereerst wordt het omgezet in een energiesoort die geschikt is voor opslag, om deze vervolgens weer terug om te zetten in elektriciteit. De mogelijkheden op het gebied van energieopslag zijn op dit moment als volgt (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008):

- Pumped hydro storage (PHS)
- Thermal energy storage (TES)
- Compressed air energy storage (CAES)
- Small-scale compressed air energy storage (SSCAES)
- Energy storage coupled with natural gas storage (NGS)
- Energy storage using flow batteries (FBES)
- Fuel cells – Hydrogen energy storage (FC-HES)
- Chemical Storage
- Flywheel energy storage (FES)
- Superconducting magnetic energy storage (SMES)
- Energy storage in supercapacitors

Al deze bronnen zullen hieronder kort toegelicht worden met daarop aansluitend een korte vergelijking tussen de bronnen.

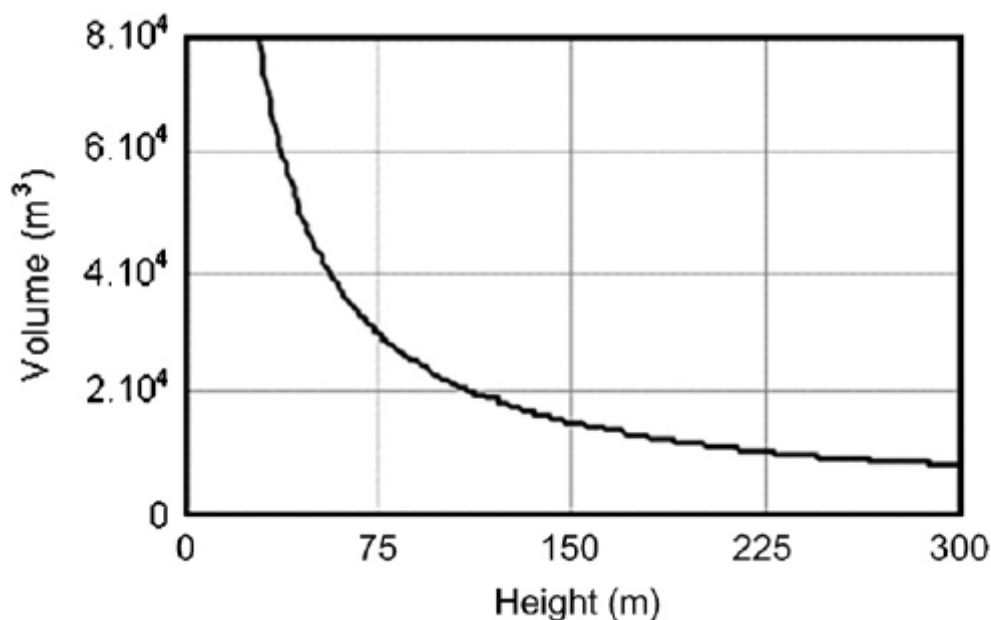
4.2.1 Pumped hydro storage (PHS)

Deze technologie maakt gebruik van waterkracht. Essentieel hiervoor is dat er een subtransmissie station aanwezig is om het water van het lage reservoir naar het hoge reservoir te pompen wanneer de energievraag laag is. Wanneer de vraag hoog is laat men het water van het hoge reservoir wegvloeden om zo een turbine aan te drijven. Om dit proces te verduidelijken wordt verwezen naar figuur 17 op de volgende pagina.



Figuur 17. Grafische weergave van PHS met energie die wordt aangevoerd door windturbines (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

Deze technologie heeft een efficiency van ongeveer 65-80%. Dat betekent dat er 4 kWh nodig is om 3 kWh te produceren. De capaciteit is afhankelijk van twee factoren: hoogte van de waterval en volume water. Hoe hoger de waterval hoe lager het volume kan zijn. Onderstaande figuur 18 zal dit verduidelijken (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).



Figuur 18. Volume (m³) benodigde bij een gegeven hoogte (m) (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008)

De energie gerelateerde kosten van een dergelijk systeem zijn ~ 10 \$/kWh, en de ontladingsefficiency is $\sim 87\%$. Hierbij moet aangekaart worden dat 10\$/kWh incrementele kosten zijn (kosten om een extra kWh te produceren). De totale kosten van een dergelijk systeem liggen binnen een range van 1100\$/kWh tot zo hoog als 2000\$/kWh (Hou, Vidu, & Stroeve, 2011).

4.2.2 Thermal energy storage (TES)

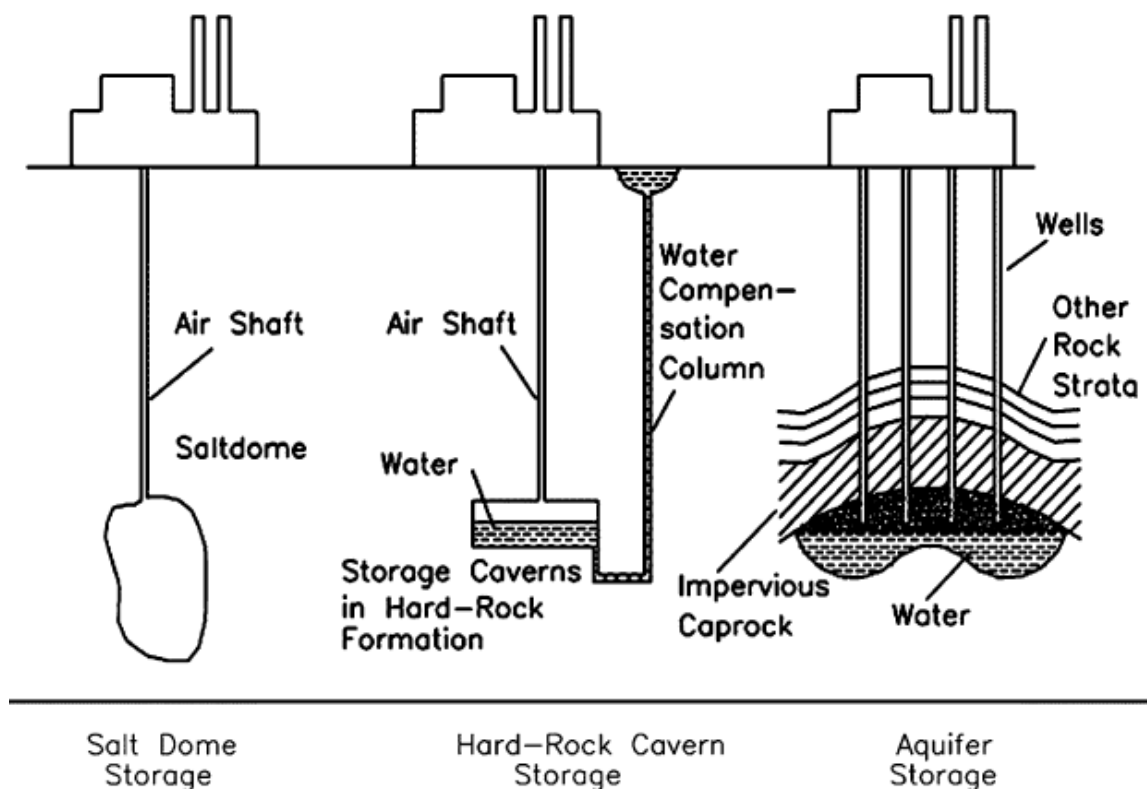
Binnen deze opslag methode zijn twee systemen te benoemen, gebaseerd op latente warmte of 'sensible' warmte. Van eerstgenoemde is sprake wanneer de hoeveelheid uitgewisselde warmte zonder een verandering in temperatuur plaats heeft (komt vooral voor bij faseveranderingen zoals het smelten ijs). 'Sensible' warmte is de tegenhanger hiervan; de warmte uitgewisseld om een verandering in temperatuur te verkrijgen (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

In het geval van latente warmte energie opslag wordt gebruik gemaakt van een vloeistof-vaste stof overgang. Het warmtetransport van het thermische opslagmedium naar het externe milieu vindt plaats door middel van een warmte-overdrachts vloeistof. De energie is opgeslagen op een gegeven temperatuur, hoe hoger de temperatuur hoe hoger de concentratie. Sodium hydroxide wordt vaak als opslag medium gebruikt. Deze stof heeft, tussen 120 en 360 °C, een opslag capaciteit van 1332 MJ/m³ (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

'Sensible' warmte opslag is door middel van het verwarmen van een materiaal, waarbij het niet van fase verandert. De warmte wordt teruggewonnen om waterdamp te produceren, die vervolgens een turbo-generator systeem aandrijft.

4.2.3 Compressed air energy storage (CAES)

CAES wordt bereikt door middel van hoge druk (40-70 bars), met omringende temperatuur. Om dit te behalen wordt lucht in een verbrandingskamer gepompt voordat het aan turbines wordt geleverd. Restwarmte van de rook wordt opgevangen en gebruikt om de lucht te verwarmen. Om de mogelijkheden die er zijn op het gebied van dergelijke opslagreservoirs te verduidelijken wordt verwezen naar onderstaand figuur 19 (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008)



Figuur 19 . Verschillende typen CAES reservoirs (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008)

De capaciteit van het systeem hangt af van de grootte van de ondergrondse holte. Zo heeft een holte van 700.000m een capaciteit van 1500 MWh. Het vermogen van een CAES systeem varieert van 50 tot 300 MW en wordt verwacht zich dagelijks te op- en ontladen. De efficiency is normaal gesproken ~70% en de incrementele kosten 3\$/kWh. De levensduur van een dergelijk systeem ligt op ~40 jaar. Het grootste nadeel van deze technologie is dat men afhankelijk is van de locatie. Zonder de ondergrondse mogelijkheden is het systeem niet mogelijk (Hou, Vidu, & Stroeve, 2011).

4.2.4 Small-scale compressed air energy storage (SSCAES)

Dit gebeurt door middel van onder hoge druk gezette cylinders (300 bars met koolstofvezel structuren). Een dergelijk systeem heeft een algehele efficiency van 50% (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.5 Energy storage coupled with natural gas storage (NGS)

Het idee is om de opslag van ondergrondse natuurlijke gasen te koppelen met elektriciteit opslag. Het drukverschil tussen hoge-druk gasen (~200 bars) in ondergrondse reservoirs (1500m) en gas daarin geïnjecteerd met een maximum druk van 60-80 bars, leidt tot het verbruik van energie voor compressie. Deze energie kan gerealiseerd worden in de vorm van elektriciteit tijdens decompressie (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.6 Energy storage using flow batteries

Flow batteries zijn een twee-elektrolyt systeem waarin chemische verbindingen gebruikt worden voor energieopslag in vloeibare fase, in een oplossing met de elektrolyt. Deze voorkomen de beperkingen van standaard elektrochemische accumulatoren, waarin vaste stof gevormd wordt op de elektrodes. Dit zou een gelimiteerd massa systeem zijn en zou dus ook de capaciteit van standaard batterijen verlagen. Flow batteries kunnen echter een enorme capaciteit bereiken. Het beste voorbeeld hiervan is de door Regenesys Technologies geproduceerde met een capaciteit van 15 MW-120 MWh. De gehele efficiency ligt rond de 75% (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.7 Fuel cells – Hydrogen energy storage

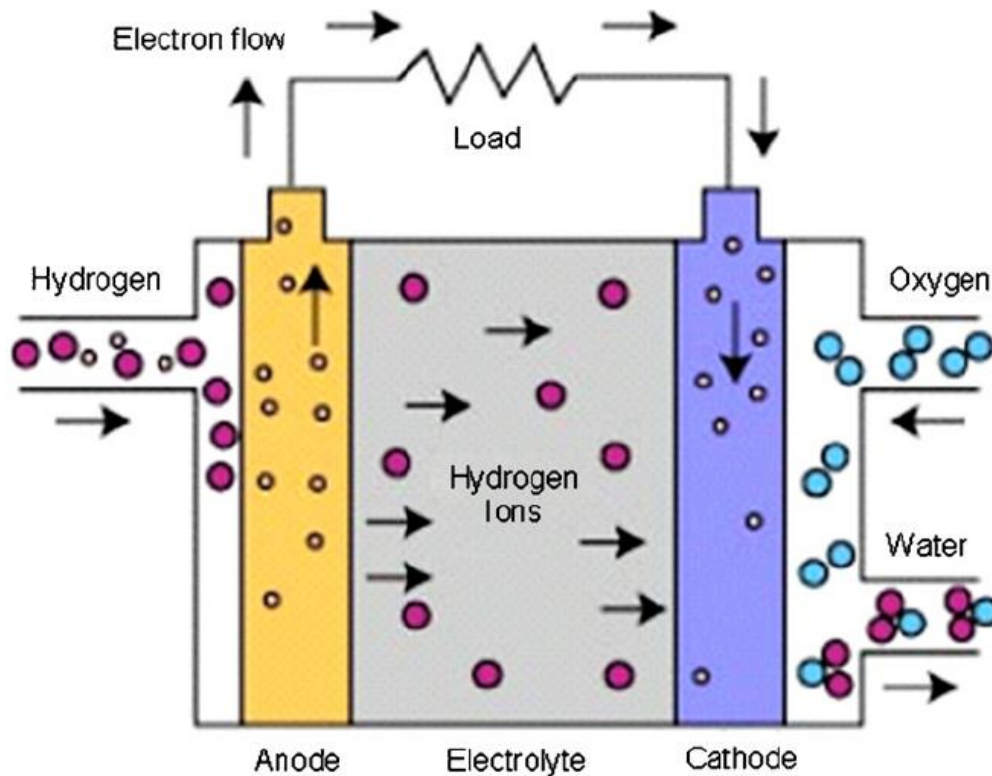
Fuel cells worden gebruikt om gegeven energie te herstellen door het produceren van waterstof uit water elektrolyse. Het opslag systeem bestaat uit drie delen (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008):

- Elektrolyse die elektriciteit gebruikt om waterstof te produceren
- Een fuel cel die waterstof en zuurstof van omgevingslucht omzet in elektriciteit
- Een waterstof buffer die ervoor zorgt dat er voldoende waterstof is wanneer het echt nodig is

Voor een schematische weergave van deze opslagmethode wordt verwezen naar figuur 20 op de volgende pagina.

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

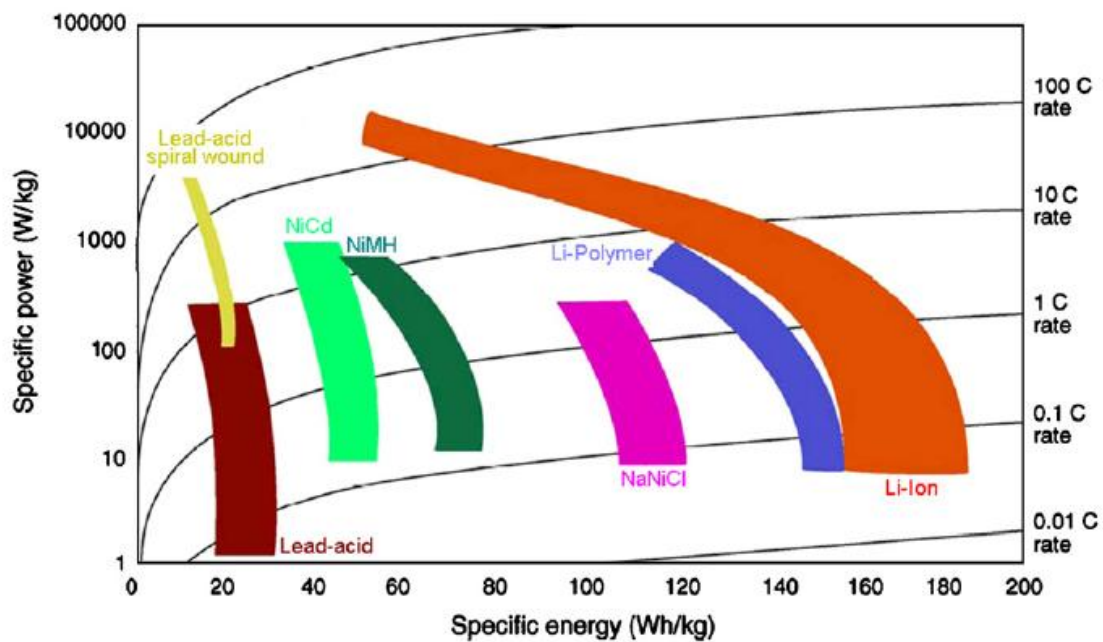
Deze oplossing is echter een zeer inefficiënte: 70% voor een electrolyzer, 50% voor een fuelcell en 35% voor de combinatie.



Figuur 20. Schematische weergave van een fuel cell (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.8 Chemical storage

Deze is gebaseerd op twee opslagmedia. Deze hebben beide de functie van het opslaan en vrijlaten van elektriciteit door het alterneren van de geladen-ongeladen fases. Deze kunnen chemische energie, door elektrochemische reacties, omzetten in elektrische energie en vice versa. Hierbij komt geen schadelijke uitstoot vrij, geen geluidsoverlast en behoeft weinig onderhoud. Er zijn veel verschillende opslagmedia geschikt voor deze technologie. Voor een overzicht hiervan en bijbehorende energiedichtheid wordt verwezen naar figuur 21 op de volgende pagina (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008)

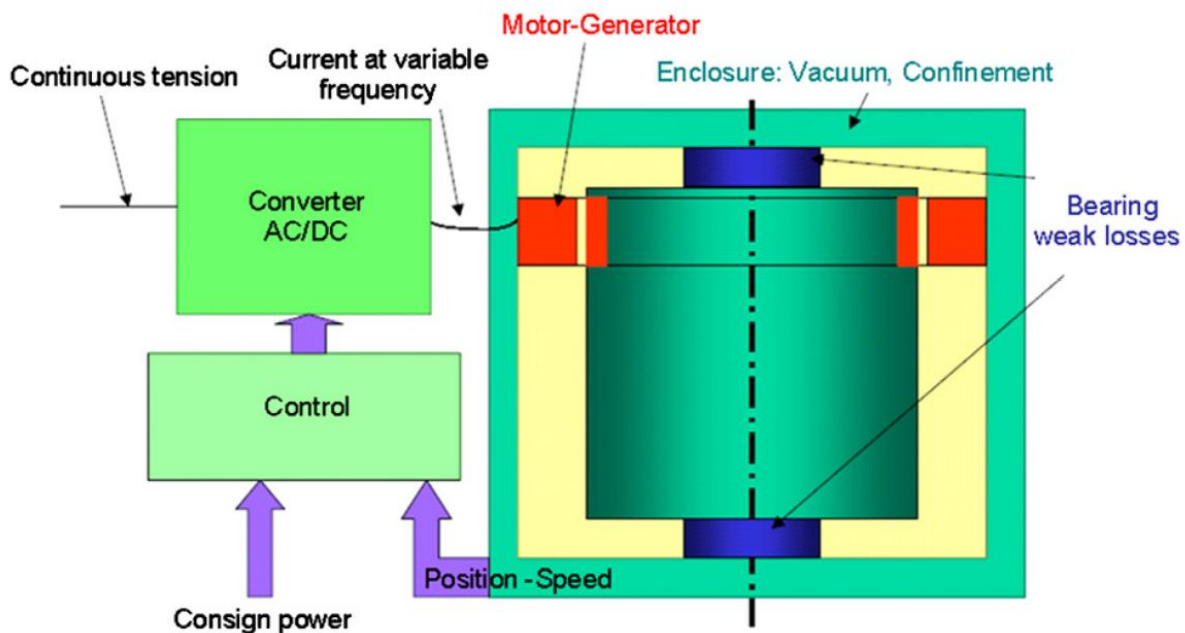


Figuur 21. Distributie van de verschillende elektrochemische accumulatoren op basis van hun energiedichtheid (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.9 Flywheel energy storage (FES)

Deze opslagmethode bestaat uit een massief of samengesteld 'flywheel' gekoppeld aan een motorgenerator en speciale beugels (meestal magnetisch) geplaatst in een behuizing met lage druk (om verlies door zelfontlading te reduceren). Voor een schematische weergave wordt verwezen naar figuur 22 op de volgende pagina. (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008). Flywheel opslag systemen kunnen onderverdeeld worden in hoge snelheid flywheels en lage snelheid flywheels. De hoge snelheids variant is voornamelijk gemaakt van sterk samengesteld materiaal en de lage snelheids variant is voornamelijk gemaakt uit metaal. Het verschil hiertussen zit naast de prijs, in de duurzaamheid. Een hoge snelheids flywheel is duurzamer dan een lage snelheids variant; dit leidt echter wel tot een veel hogere prijs. Zo kan een hoge snelheids flywheel \$25000/kWh kosten, terwijl de lage snelheid variant maar ~\$300/kWh kost (Hou, Vidu, & Stroeve, 2011).

Probleem met deze techniek is dat het energieverlies snel optreedt. Zo is het bijvoorbeeld zo dat een 200-ton flywheel een frictie verlies heeft van 200 kW. Dit gegeven hebbende betekent dat bij een onmiddellijke efficiency van 85%, de algehele efficiency valt naar 78% in 5 uur en zelfs naar 45% na een dag (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).



Figuur 22. Schematische weergave van een flywheel energy accumulator.

4.2.10 Superconducting magnetic energy storage (SMES)

Deze opslagmethode wordt verkregen door het induceren van een gelijkstroom (DC) in een van koolstof gemaakte supergeleidende kabel (hierdoor bijna geen weerstand). De stroom verhoogt tijdens het opladen en daalt tijdens het ontladen en moet omgezet worden voor ofwel AC ofwel DC applicaties. Grootste voordeel van deze methode is de enorme onmiddellijke efficiency (95%) (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.11 Energy storage in supercapacitors

Energieopslag in deze methode wordt verricht in de vorm van een elektrisch veld tussen twee elektrodes. Dit heeft hetzelfde principe als condensators met als enige verschil dat het isolerende materiaal vervangen is door een elektoryt ionengeleider, waarin ionen zich kunnen bewegen langs een geleidende electrode met een erg groot oppervlak. Deze methode is erg duurzaam, 8-10 jaar. Heeft een hoge efficiency, 95%. Wel moet de energie snel gebruikt worden, de efficiency daalt 5% per dag van zelfontlading (Ibrahim, Ilinca, & Perron, 2008).

4.2.12 Overzicht en conclusie

De informatie die in deze studie naar voren is gekomen geeft een redelijk beeld van de mogelijkheden op energieopslag gebied. Het is echter zo dat er nog een groot verschil is tussen de getallen die in de verschillende bronnen aangegeven worden. Voor een geheel overzicht van bronnen met bijbehorende technische karakteristieken wordt verwezen naar de Appendix. Hierin kan gezien worden dat niet alle cijfers overeenkomen met de al eerder genoemde getallen. We kunnen uit deze beperkte studie dan ook geen daadwerkelijke conclusie trekken over de beste methode voor EPS. Wel kan geconcludeerd worden dat de meeste van de genoemde technieken van een veel te grote capaciteit zijn om ook maar in de buurt van winstgevend te worden voor EPS. Voor een daadwerkelijke eindconclusie op dit gebied zal een vervolgonderzoek moeten volgen dat elke techniek individueel verder onderzoekt.

4.3 Afvalverwerking

Hiervoor wordt voor het gedeelte 'afval van de klant' verwezen naar het gedeelte over biomassa (3.4), aangezien dit zowel aansluit op het creëren van een energiebron als het verwerken van een afvalstroom waar EPS verantwoordelijk voor is. Voor het gedeelte 'afvalwater/hergebruik' wordt verwezen naar het gedeelte over algenproductie (3.7). Ook hiervoor geldt dat dit zowel aansluit op het creëren van een energiebron als het verwerken van een afvalstroom waar EPS verantwoordelijk voor is.

4.4 Omgevingsfactoren

In dit gedeelte zullen de mogelijke omgevingsfactoren voor EPS besproken worden. Wat wordt er verstaan onder omgevingsfactoren? In het geval van de energiehuishouding van EPS is dit één van de gekozen onderdelen. Waar moet op dit gebied aan gedacht worden? Omgevingsfactoren zijn in dit verband mogelijkheden om in de directe omgeving van het bedrijf een winstgevend samenwerkingsverband op te starten. Op de al eerder genoemde samenwerking op het gebied van windenergie (zie 3.3, blz 30) wordt later teruggekomen. Eerst wordt een voorbeeld gegeven om een beeld te geven van de mogelijkheden waar aan gedacht kan worden.

Een bedrijf A¹⁶ in de omgeving is een ijzerbewerkingsbedrijf, waarvoor warmte met een temperatuur van 60°C als te laag wordt beschouwd, eigenlijk een afvalstroom dus. Deze warmte zou door EPS gebruikt kunnen worden als bron voor het wasproces. Dit zou een win-win situatie betekenen: geen afvalstroom voor bedrijf A en een alternatieve bron voor het wasproces van EPS. Dit zou in het beste geval gratis overgenomen kunnen worden, en in het slechtste geval tegen een kleine betaling. Naast dit financiële voordeel kan een samenwerkingsverband met een bedrijf in de directe omgeving nooit kwaad, denk bijvoorbeeld aan een versterkte positie binnen een industrieterrein.

Als we kijken naar de publieke sector zijn er een aantal voorbeelden te vinden van gemeenten/staten die op zoek zijn naar een mogelijkheid tot uitwisseling van energie. Misschien wel het mooiste voorbeeld is van de staat Nevada, in de Verenigde Staten. Hierbij worden de voordelen van zowel het zuiden als het noorden uitgenut. In het noorden heeft men de beschikking over een grote geothermische bron van ruim 2000 MW en in het zuiden heeft men een overvloed aan zonne energie. Door het aanleggen van een energieleiding van Noord naar Zuid zou dit voor beide partijen een verbetering zijn (Yackira, 2011).

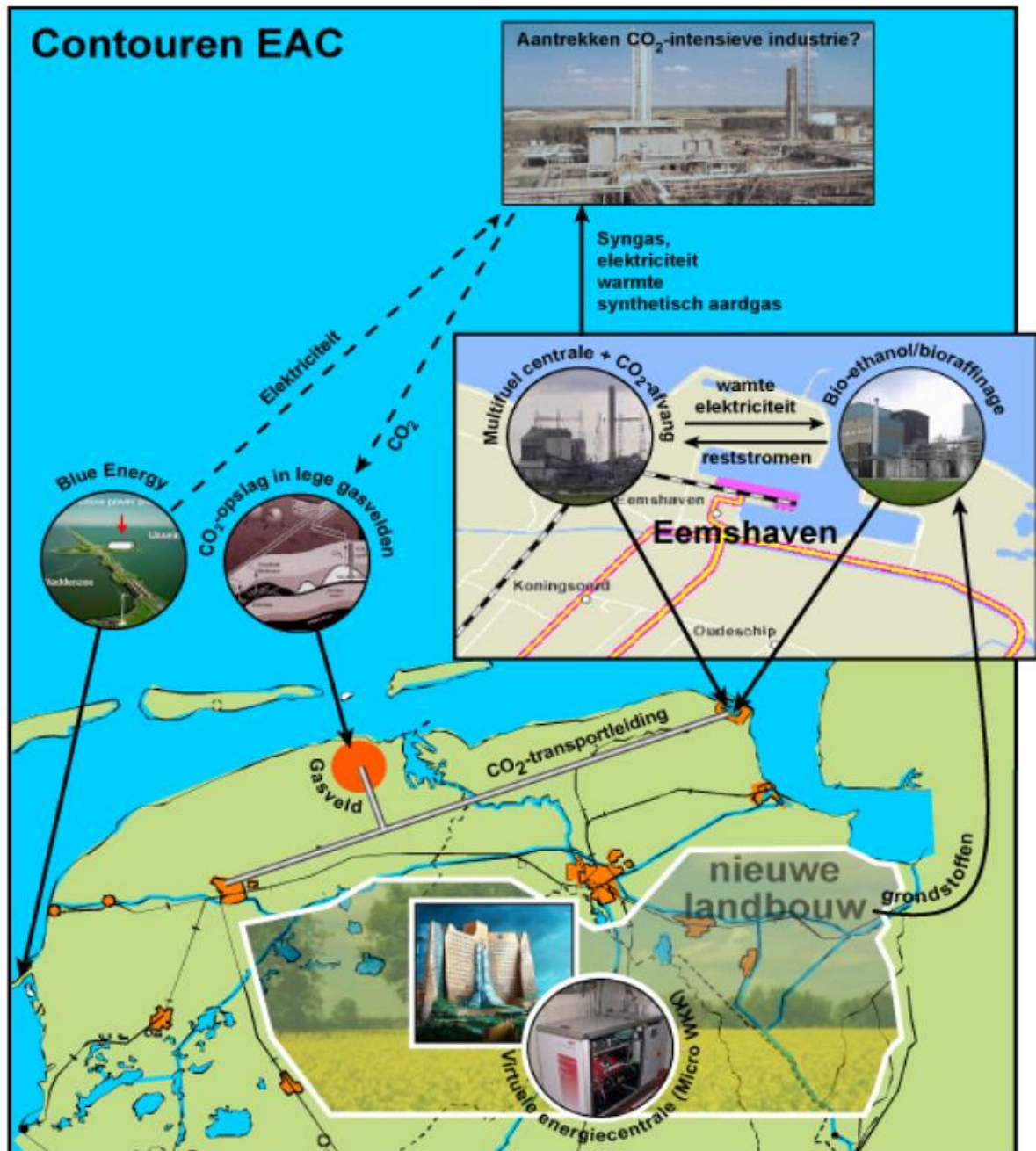
Als wat dichterbij huis gekeken wordt en meer richting de industriële sector, dan is het een stuk moeilijker om goede voorbeelden te vinden. De vorm die het dichtst in de buurt komt zijn de zogenaamde clusters. Het mooiste voorbeeld hiervan in Nederland is het zogenaamde Energie Agri Cluster voor het Transitie Alternatief. In onderstaande afbeelding worden de verschillende energiestromen weergegeven. Naast de overduidelijke uitwisseling van elektriciteit en CO₂, kunnen ook grondstof- en gasstromen gezien worden. Maar in het geval van EPS zijn de warmte-stromen misschien wel de belangrijkste. Zoals in het voorbeeld aan het begin van dit hoofdstuk aangegeven is, zal overbodige warmte van een andere partij erg bruikbaar zijn voor het wasproces.

Hierbij moet wel opgemerkt worden dat dit slechts mogelijke alternatieven zijn en er nog geen daadwerkelijk samenwerkingsverband in werking is. Het rapport dat als bron gebruikt is, schetst

¹⁶ Benaming voor een fictief bedrijf: dit bedrijf is naar beschikbare informatie niet in de buurt van een van de vestigingen van EPS aanwezig.

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

slechts een mogelijkheid voor een aanvullend energiecluster dat goed aansluit op de bestaande kwaliteiten van Noord-Holland en het nationale energiebeleid (Bergsma, Croezen, M.J., & Rooijers, 2006).



Figuur 23. Globale weergave van Energie Agri Cluster voor het Transitie Alternatief (Bergsma, Croezen, M.J., & Rooijers, 2006).

Voor een totale weergave van dit energiecluster wordt verwezen naar Appendix D.

Voor dit gedeelte afgesloten wordt, is er nog een samenwerkingsverband te bespreken dat al eerder genoemd is (zie 3.3). In het geval van een industrieterrein waar veel depots aanwezig zijn met een grote energievraag, is deze optie behalve een realistische ook een aantrekkelijke optie. Door de

investering van 4,5 miljoen te verdelen over een aantal partijen kan de volledige energievraag ingevuld worden door middel van duurzame energie. Naast dit voordeel in imago en kosten kan een samenwerkingsverband alleen maar positief zijn. Hier moeten wel duidelijke afspraken gemaakt worden: welk gedeelte van de energie is beschikbaar voor wie? Is het percentage dat men bijdraagt aan de investering gelijk aan het percentage dat men ontvangt van de gewonnen energie? Wat wordt gedaan met een eventueel overschot aan energie?

Naast deze duidelijke optie voor samenwerking op het gebied van een grote windturbine, zijn de interessantste opties diegene waarbij EPS de afvalwarmte van een externe partij over kan nemen. Zoals eerder genoemd komt dit vooral voor bij bedrijven met processen die hoge temperaturen vereisen. Naast de financiële voordelen van deze samenwerking komen er ook andere voordelen bij naar voren: meer informatie, sterkere positie, mogelijkheid tot uitbreiding samenwerkingsverband. Hierbij moet echter wel gelet worden op duidelijkheid binnen de samenwerking om misverstanden dan wel vermindering van de machtspositie, te voorkomen.

4.5 Conclusie deel III

Kijken we naar hoe het huidige wasproces van EPS ingericht is, dan kunnen we concluderen dat er al vergaande verbeteringen door zijn gevoerd en dat het systeem op dit moment op het gebied van duurzaamheid al zeer ver gevorderd is. De mogelijkheden op het gebied van energieopslag zijn enorm maar ook zeer complex. De meeste van de besproken methoden zijn veel te grootschalig voor het wasproces van EPS en daarnaast zijn vele van deze opties ook helemaal niet praktisch. Bovendien verschillen de gevonden resultaten over de prestaties van de verschillende systemen significant van elkaar. Dit betekent dat er voordat er een conclusie getrokken kan worden op dit gebied er eerst een vervolgonderzoek zal moeten volgen om de uitkomsten te ijken. Kijken we naar de mogelijkheden voor hergebruik zien we dat de gevonden mogelijkheden, biomassa en algenproductie, op dit moment zeker nog niet winstgevend zijn maar dit in de toekomst zeker wel kunnen worden. De omgevingsfactoren die op dit moment voor EPS het aantrekkelijkst zijn liggen op het gebied van, aan de ene kant, warmteuitwissling met een bedrijf dat over veel afvalwarmte beschikt en, aan de andere kant, een grote windmolen waarbij niet alleen de het overschot aan opbrengst verdeeld kan worden maar ook de investering.

5. Conclusie

In dit gedeelte zullen de conclusies die getrokken zijn in bovenstaande hoofdstukken opgesomd worden om uiteindelijk te komen tot een antwoord op de onderzoeksvraag zoals deze in hoofdstuk 2 is opgesteld: **Hoe kan de energiehuishouding van het wasproces bij Euro Pool System geoptimaliseerd worden?** Dit zal gebeuren aan de hand van het weergeven van de gevonden resultaten in hoofdstukken 3 en 4 en het beantwoorden van de deelvragen zoals die in hoofdstuk 2 zijn opgesteld (zie bladzijde 7):

1. Welke energiebronnen zijn het meest kostenefficiënt?

Kostenefficiëntie is gebaseerd op de balans van de kosten en de opbrengsten. Anders gezegd, we moeten kijken naar de terugverdientijd van de verschillende bronnen en de beste vaststellen. Uit de verschillende NPV-analyses in deel II kunnen we concluderen dat de **MW3-windmolen** de meest kostenefficiënte duurzame bron op dit moment is voor EPS. Deze optie is op dit moment ook verreweg de beste met een maximale terugverdientijd van 8,5 jaar en een minimale terugverdientijd van 4,4 jaar.

2. Welke energiebronnen zijn het gunstigst voor EPS?

Voor het beantwoorden van deze vraag is het noodzakelijk de resultaten van de AHP-analyse te gebruiken:

Blue-energy	Getijde-energie	PV-panelen	Micro-wind	3MW-wind	Biomassa	Warmtepomp	Algen	Totaal
0,038	0,029	0,207	0,173	0,209	0,093	0,087	0,164	1,000

Met de resultaten van deze tabel kunnen we concluderen dat op dit moment de gunstigste bron voor EPS de **3MW-windmolen** is. Door de redelijke toegankelijkheid en de relatief lage terugverdientijd scoort deze bron zo goed. Als gekeken wordt naar de toekomst is de optie van **algenproductie** te noemen. Door de goede toegankelijkheid van deze bron valt de score goed uit. Door de ruime scoringsmethode binnen de AHP-analyse valt **biomassa** in dit voorbeeld laag uit, maar als de mogelijkheid van opbrengsten voor GFT-afval mee wordt genomen (potentieel ligt 55x hoger dan wat het nu oplevert) wil ik toch biomassa ook als een aantrekkelijke optie voor de toekomst benoemen.

3. Zijn er combinaties mogelijk?

Er zijn combinaties van energiebronnen mogelijk. De meest voor de hand liggende is **de combinatie van een normale warmtepomp met één van de andere bronnen**. Hierdoor zal de output van desbetreffende bron verdrievoudigd kunnen worden waardoor deze winstgevend kan worden. Voor een verder inzicht van de mogelijkheden op het gebied van combinaties zal echter een vervolgstudie noodzakelijk zijn.

4. Hoe kan het huidige wasproces verbeterd worden op basis van energieverbruik?

Kijken we naar hoe het huidige wasproces ingericht is op basis van duurzame energiebronnen, dan kan geconcludeerd worden dat EPS al zeer ver gevorderd is op het gebied van duurzame oplossingen. De punten waar verbetering mogelijk zijn, liggen op het gebied van waterverlies in het wasproces en

stoomverlies in het droogproces. Om deze problemen te beperken kan men denken aan **betere isolatie dan wel het opvangen van de afvalstromen en deze hergebruiken**. Hiervoor is echter een vervolgonderzoek noodzakelijk.

5. Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van hergebruik?

De mogelijkheden op het gebied van hergebruik zijn die van biomassa en algenproductie. Na het analyseren van beide bronnen kan geconcludeerd worden dat **beide op dit moment nog niet winstgevend zijn voor een organisatie als EPS**. Als gekeken wordt naar de ontwikkelpotentie van beide bronnen kan echter geconcludeerd worden dat deze situatie niet altijd zo zal blijven. Zo staat algenproductie pas in haar kinderschoenen en heeft GFT-afval een potentieel dat ongeveer 55x hoger ligt dan wat er op dit moment verkregen kan worden uit GFT-afval. **Voor de toekomst zouden beide hergebruikmethoden dus interessant kunnen zijn.**

6. Welke mogelijkheden heeft EPS op het gebied van omgevingsfactoren?

De mogelijkheden die EPS heeft op het gebied van omgevingsfactoren liggen op twee hoofdpunten: **Het verkrijgen van afvalwarmte van een bedrijf dat hoge temperaturen gebruikt voor haar processen en een samenwerkingsverband voor een 3MW-windmolen**. Voor het eerste punt kan het dus van belang zijn om bij het bepalen van een nieuwe locatie te zoeken naar bedrijven in de buurt die werken met hoge temperaturen binnen hun processen en dus met veel afvalwarmte te maken hebben. Dit zorgt behalve voor het verkrijgen van gratis/goedkope warmte ook voor het opbouwen van een positieve zakenrelatie. Voor het tweede punt is het van belang in goed contact te staan met buurbedrijven. Elke organisatie is tegenwoordig bezig met het zoeken van opties op het gebied van duurzame energie en de kans is dan ook groot dat er organisaties zijn die geïnteresseerd zijn in een samenwerkingsverband voor een 3MW-windmolen. Hierdoor zal de investering verkleind worden en is er daarnaast ook weer ruimte voor een positieve samenwerking met een buurbedrijf.

Hoe kan de energiehuishouding van het wasproces bij Euro Pool System geoptimaliseerd worden?

Hoewel deze onderzoeksvraag op dit moment nog maar gedeeltelijk beantwoord kan worden, zijn er toch een aantal duidelijke punten te benoemen. Op dit moment zijn duurzame energiebronnen nog niet echt aantrekkelijk voor EPS. Door het aanschaffen van een 3MW-windmolen zou echter de huidige situatie verbeterd worden tegen een relatief lage terugverdientijd. Kijken we naar de energiestromen binnen het proces, dan kunnen we concluderen dat EPS al ver gevorderd is op het gebied van duurzaamheid. Voor de mogelijke verbeteringen van het waterverlies dan wel stoomverlies kan men denken aan betere isolatie dan wel het opvangen en hergebruiken van deze afvalstromen. Hiervoor zal echter een vervolgonderzoek plaats moeten vinden. Kijken we naar de energieopslag die gepaard gaat met duurzame bronnen als wind- en zonne-energie, dan kunnen we concluderen dat deze vaak te grootschallig zijn voor een dergelijk proces en daarnaast dat de bevindingen te significant van elkaar verschillen om op dit moment een conclusie te kunnen trekken. In het geval dat dit wenselijk wordt zal een vervolgstudie noodzakelijk zijn. Op het gebied van omgevingsfactoren moet men op zoek naar buurorganisaties die veel afvalwarmte tot hun beschikking hebben die EPS voor niets, dan wel weinig, over wil nemen. Ook zou het aantrekkelijk zijn om een samenwerkingsverband af te kunnen sluiten voor de al eerder genoemde 3MW-

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

windmolen, waardoor er naast een postief samenwerkingsverband ook een verkleining in de investering plaatsvindt.

Appendix

In dit gedeelte worden enkele onderdelen die in de tekst niet in zijn geheel zijn besproken kort toegelicht. Deze zijn als volgt ingedeeld:

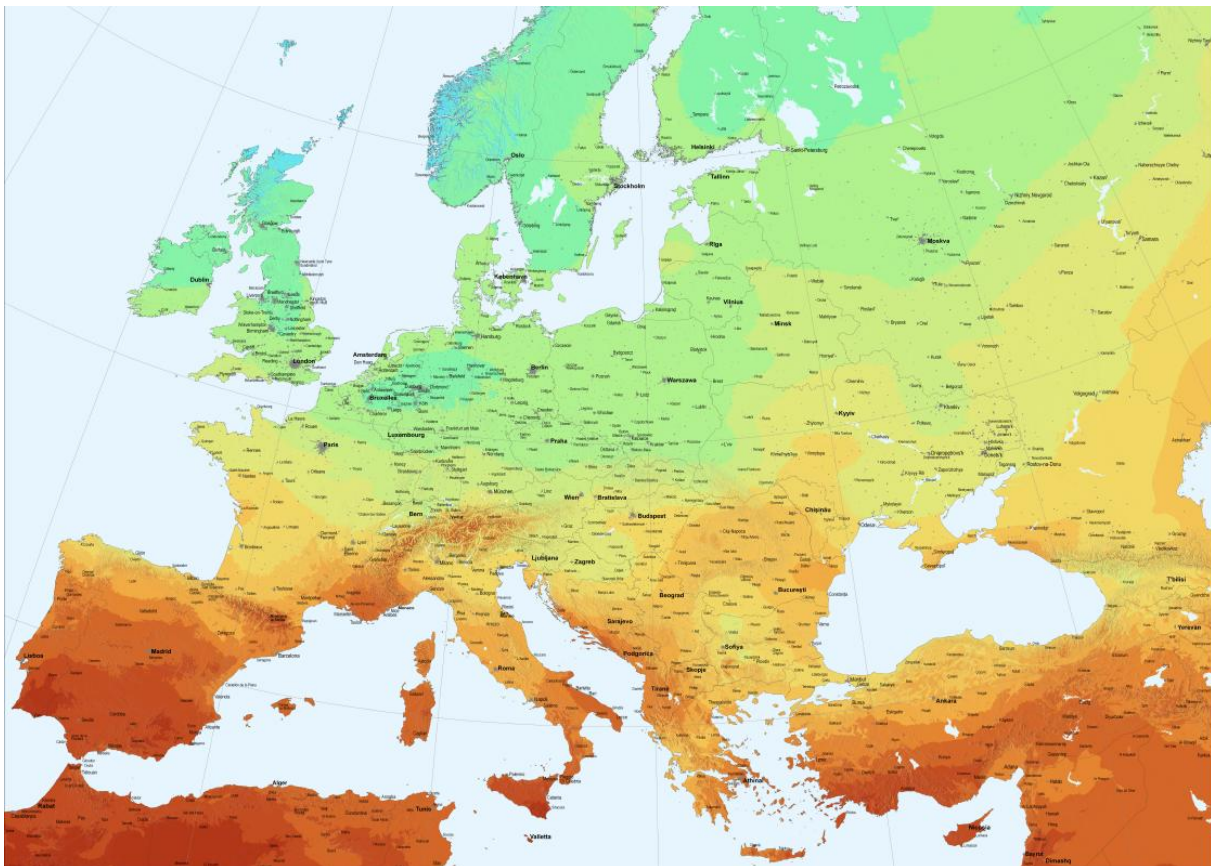
- Appendix A: Toelichting zonne-energie
- Appendix B: Toelichting wind energie
- Appendix C: Toelichting warmtepomp
- Appendix D: Toelichting omgevingsfactoren
- Appendix E: Toelichting economische termen
- Appendix F: Overzicht van de uitgevoerde AHP-analyse
- Appendix G: Voorbeeld van de gebruikte NPV-analyse
- Appendix H: Voorbeeld van andere waarden binnen het energieopslag vraagstuk waarbij significante verschillen gevonden kunnen worden

Appendix A

In dit gedeelte worden bepaalde punten binnen het gedeelte zonne-energie (3.2) verder toegelicht

Instraling per locatie (Europa)

De waarden die hierbij gebruikt zijn, zijn gebaseerd op de volgende instrallingskaart. Hierbij is groen 1100-1200 kWh/m² (Nederland/België/Duitsland), geel 1400-1600 kWh/m² (Frankrijk/Italië), rood 1800-2200+ kWh/m² (Spanje) (Šúri, Huld, Dunlop, & Ossenbrink, 2007).



Figuur 24. Instralingskaart van Europa voor zonne-energie (kWh/m²) (Šúri, Huld, Dunlop, & Ossenbrink, 2007)

Uit figuur 18 zijn de volgende waarden genomen:

- Nederland: 1100 kWh/m²
- Duitsland: 1200 kWh/m²
- Italië: 1500 kWh/m²
- Spanje: 2200 kWh/m²

Subsidies per locatie

De waardes die hierbij gebruikt zijn, zijn gebaseerd op waardes op de landelijke websites.

- Nederland: -
- Duitsland: 0,1550 €/kWh met een daling van 12% per jaar
- Italië: -
- Spanje: -

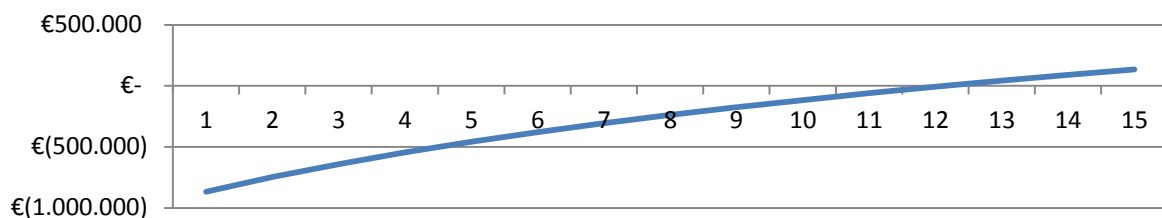
Elektriciteitsprijs per locatie (Europa)

De waardes die hierbij gebruikt zijn, zijn gebaseerd op de vraagprijs die EPS heeft in gevestigde landen. Deze zijn als volgt: (Delfos, NPV bespreking, 2012)

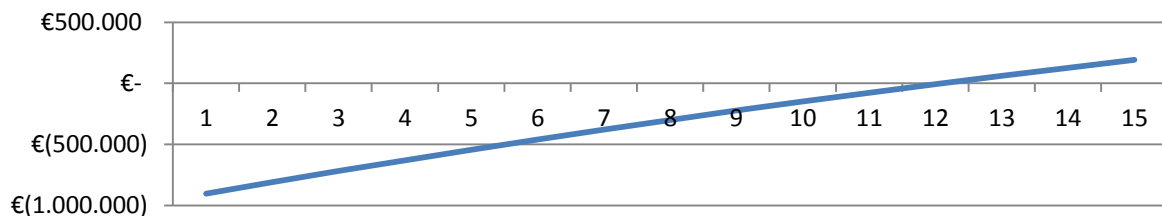
- Nederland: 0,10 €/kWh
- Duitsland: 0,15 €/kWh
- Italië: 0,18 €/kWh
- Spanje: 0,12 €/kWh

Terugverdientijden per locatie

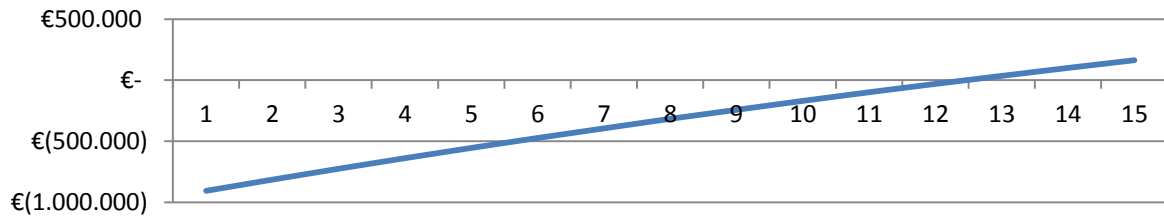
Hierin worden de verschillende terugverdientijden weergegeven voor: Duitsland, Italië, Spanje en de ideale situatie op dit moment (hoogste instraling, laagste electriciteitsprijs).



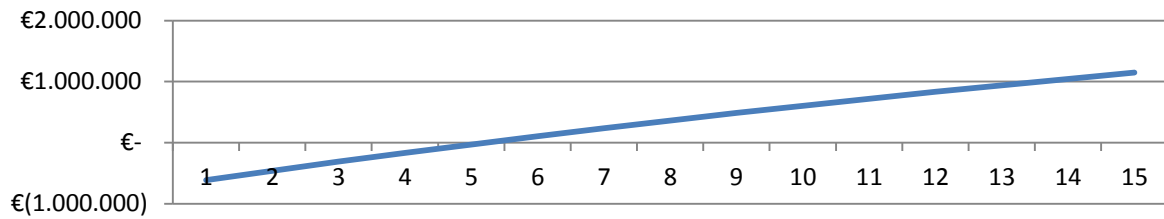
Tabel 15. Grafische weergave van de terugverdientijd voor PV-panelen in Duitsland



Tabel 16. Grafische weergave van de terugverdientijd voor PV-panelen in Italië



Tabel 17. Grafische weergave van de terugverdientijd voor PV-panelen in Spanje



Tabel 18. Grafische weergave van de terugverdientijd voor PV-panelen in ideale situatie

Uit tabellen 15-18 kunnen de volgende terugverdientijden gefilterd worden:

- Duitsland: ongeveer 12 ½ jaar
- Italië: Ongeveer 12 ½ jaar
- Spanje: Ongeveer 12 ½ jaar
- Ideale situatie: ongeveer 5 ½ jaar

Appendix B

In dit gedeelte worden bepaalde punten binnen het gedeelte zonne-energie (3.3) verder toegelicht

Overzicht onderzoek micro windturbines

De gevonden getallen zijn gebaseerd op een onderzoek verricht in Zeeland (Provincie Zeeland), (Duurzame energiebronnen.nl)

- Airdolphin
 - Productie bij 3,7 m/s: 400 kWh
 - Kosten: €17.548,-
- Ampair
 - Productie bij 3,7 m/s: 325 kWh
 - Kosten: €8.925,-
- DonQi
 - Productie bij 3,7 m/s: 400 kWh
 - Kosten: €6.500,-
- Energy Ball
 - Productie bij 3,7 m/s: 75 kWh
 - Kosten: €4.324,-
- Fortis Montana
 - Productie bij 3,7 m/s: 2700 kWh
 - Kosten: €18.508,-
- Fortis Pasaat
 - Productie bij 3,7 m/s: 600 kWh
 - Kosten: €9.239,-
- Skystream
 - Productie bij 3,7 m/s: 2100 kWh
 - Kosten: €10.742,-
- Turby
 - Productie bij 3,7 m/s: 225 kWh
 - Kosten: €21.350,-
- WRE 030
 - Productie bij 3,7 m/s: 600 kWh
 - Kosten: €30.862,-
- WRE 060
 - Productie bij 3,7 m/s: 500 kWh
 - Kosten: €39.162,-

Subsidies per locatie

De waardes die hierbij gebruikt zijn, zijn gebaseerd op waardes op de landelijke websites.

- Nederland: -
- Duitsland: -
- Italië: -
- Spanje: -

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

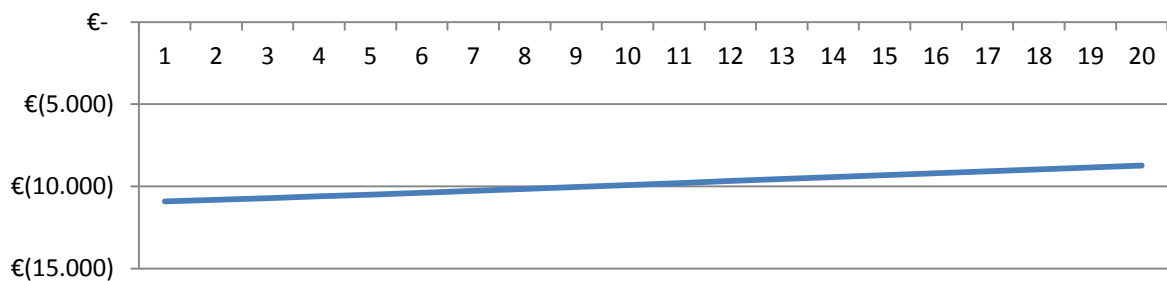
Elektriciteitsprijs per locatie (Europa)

De waardes die hierbij gebruikt zijn, zijn gebaseerd op de vraagprijs die EPS heeft in gevestigde landen. Deze zijn als volgt: (Delfos, NPV bespreking, 2012)

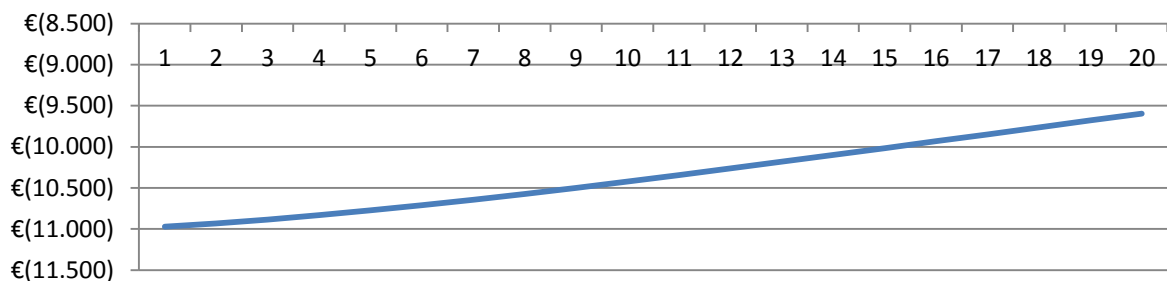
- Nederland: 0,10 €/kWh
- Duitsland: 0,15 €/kWh
- Italië: 0,18 €/kWh
- Spanje: 0,12 €/kWh

Terugverdiertijden per locatie

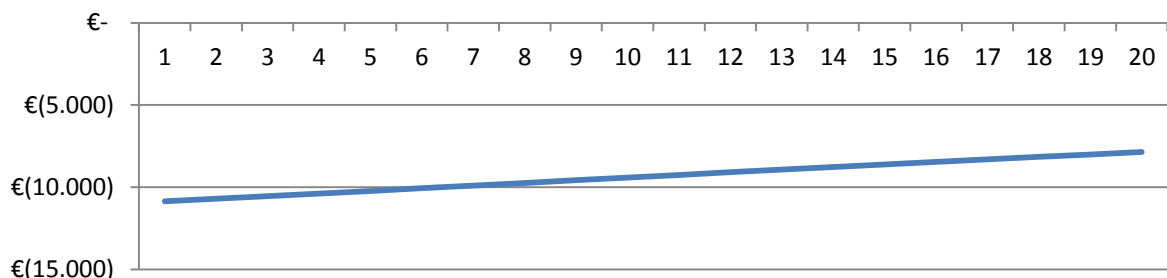
Hierin worden de verschillende terugverdiertijden weergegeven voor: Duitsland, Italië, Spanje. Voor zowel de micro als de grote generator (Hierbij zijn de opbrengsten gelijk voor alle locaties aangezien binnenlandse locaties binnen Europa niet veel verschillen op windsnelheid).



Tabel 19. Grafische weergave van de terugverdiertijd voor Skystream in Duitsland



Tabel 20. Grafische weergave van de terugverdiertijd voor Skystream in Italië

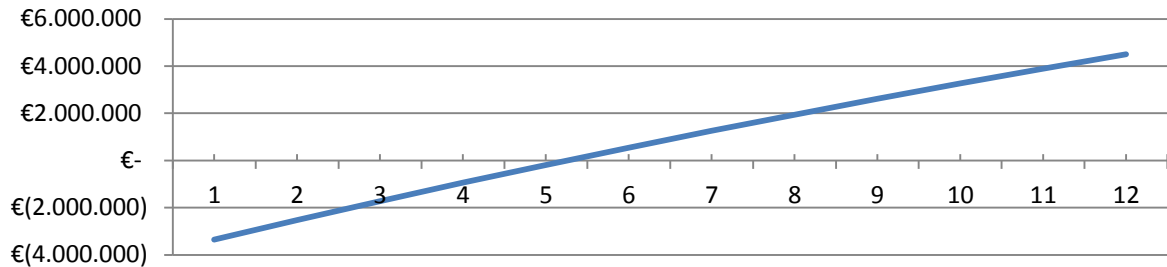


Tabel 21. Grafische weergave van de terugverdiertijd voor Skystream in Spanje

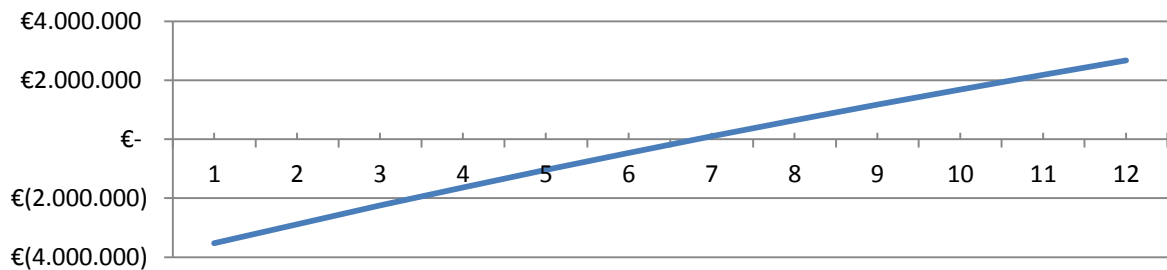
Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Uit tabellen 19-21 kunnen de volgende terugverdientijden gefilterd worden:

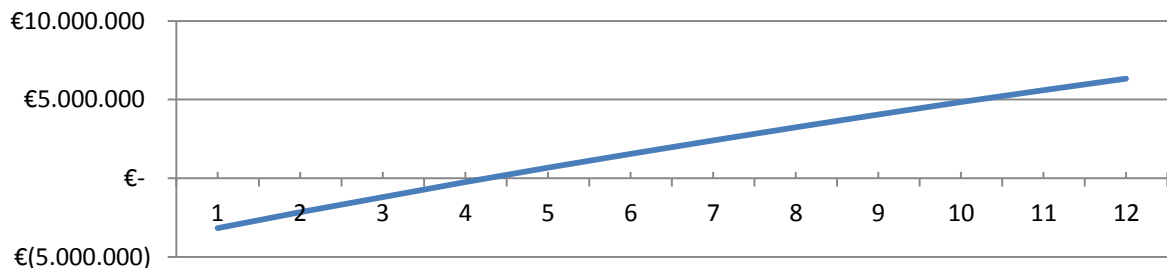
- Duitsland: ruim +20 jaar
- Italië: ruim +20 jaar
- Spanje: ruim +20 jaar



Tabel 22. Grafische weergave van de terugverdientijd voor 3MW windgenerator in Duitsland



Tabel 23. Grafische weergave van de terugverdientijd voor 3MW windgenerator in Italië



Tabel 24. Grafische weergave van de terugverdientijd voor 3MW windgenerator in Spanje

Uit tabellen 22-24 kunnen de volgende terugverdientijden gefilterd worden:

- Duitsland: ongeveer 5 ½ jaar
- Italië: ongeveer 7 jaar
- Spanje: ongeveer 4 ½ jaar

Appendix C

In dit gedeelte worden bepaalde punten binnen het gedeelte warmtepomp (3.5) verder toegelicht

Coëfficiënt of performance (COP) (Duratech warmtepompen)

COP is de afkorting voor coëfficiënt of performance. Het geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid afgegeven warmte tegenover de hoeveelheid verbruikte energie.

Deze energie wordt bij de warmtepomp gebruikt door de compressor.

$$COP = \frac{|Q|}{W}$$

Hierbij is Q de bruikbare hoeveelheid warmte geleverd door de condensor van de warmtepomp en W de hoeveelheid energie die verbruikt is door de compressor.

Volgens de eerste wet van de thermodynamica geldt:

$$Q_{warm} = Q_{koud} + W$$

En dus ook

$$W = Q_{warm} - Q_{koud}$$

Hierbij is Q_{warm} de warmte die door het warme reservoir is afgegeven en Q_{koud} de warmte die is opgeslagen in het koude reservoir.

Als men nu W vervangt vindt men:

$$COP_{verwarming} = \frac{Q_{warm}}{Q_{warm} - Q_{koud}}$$

Het kan aangetoond worden dat,

$$\frac{Q_{warm}}{T_{warm}} = \frac{Q_{koud}}{T_{koud}}$$

En dus,

$$Q_{koud} = \frac{Q_{warm} T_{koud}}{T_{warm}}$$

Hierbij zijn T_{warm} en T_{koud} de temperaturen van het warme en het koude reservoir.

Daaruit volgt:

$$COP_{verwarming} = \frac{T_{warm}}{T_{warm} - T_{koud}}$$

Appendix D

In dit gedeelte worden bepaalde punten binnen het gedeelte omgevingsfactoren (4.4) verder toegelicht.

Overzicht totale Agri cluster voor het Transitie Alternatief

Hier wordt een overzicht gegeven van hoe het men het cluster voor ogen heeft (Bergsma, Croezen, M.J., & Rooijers, 2006)

Optie	A Multifuel bio/kolen vergasser 1.000 MWe met CO ₂ - afvang en SNG unit	B CO ₂ -opslag en CO ₂ -net	C 2 ^e generatie ethanolfabriek	D Bio raffi- nage en nieuwe landbouw	E Kennis ont- wikkeling	F Blue Energy	G Smart decentrale warmte/e productie	Totaal
Aansluiting noorden	Haven Elektriciteitsvraag	Lege gasvel- den	Haven en land- bouw	Haven en landbouw	Reeds be- staande centra	Zoet en zout water	Micro WWK Apparatenbouw	
Aansluiting klimaat- beleid	++	++	++	+		++	+	++
Aansluiting voorzienings- zekerheidsbeleid	++ Minder afhanke- lijk van aardgas	++	++	+		++		++
Private belangstelling	Nuon, Eon, Electra- bel, Shell, etc	NAM, Gasunie	Nedalco, Iogen, Shell	Cosun, Avebe	Div.	KEMA, VWS	Gasunie e.a.	++
Investerings	1.835 (incl. SNG)	30 à 40	200	100		200-300	35	Ca. 2455
Directe structurele werkgelegenheid (inschatting CE)	30-130 bij conv. ko- len als referentie 130-230 bij import als referentie	21-25	60-100	Minimaal 350 à 380	170-200	40-80	Minimaal 300	Ca. 971-1.315 excl. nieuw industrie door lage CO ₂ -prijs
Bijdrage Bestaande regelingen	ETS ?UKR 4 mln	?UKR 4 mln	?UKR ?accijns	?UKR				
Overheidsbijdrage ZZL	300 (0 - 600)	60	50 à 100	45 mln	30 mln	25 mln	15	Ca. 550
CO ₂ -effect Mton	-3,5 (100% kolen) -7 (50% kolen/biomassa [#]) -10 (100% biomassa [#])		- 0,4 (200 mln liter ethanol)			Max -0,8 (200 MW)		-4,7 à -11,2
NO _x -effect (Kton)	-1,4 à +0,5							
SO ₂ -effect (Kton)	-2,4 à +1,5							
PM ₁₀ -effect (ton)	-100 à +10							
Export mogelijk- heden	Grote markt aan kolencentrales in China, India, VS en Rusland		Wereldwijd	Groot		Naar del- ta's		

CO₂-effect berekend volgens Protocol monitoring duurzame energie (SN, 2004) (600 gr CO₂/kWh) met biomassa zonder noemenswaardige CO₂-emissie in de keten als hout uit Scandinavië met herplant, agrarische reststroom zonder andere toepassingen en reststromen van bioraffinage Bij andere biomassastromen is een goede netto CO₂-berekening nodig.

Tabel 25. Optie in het Energy Valley plus pakket met hun kenmerken (bedragen in miljoenen) (Bergsma, Croezen, M.J., & Rooijers, 2006).

Appendix E

In dit gedeelte worden bepaalde economische termen verder toegelicht

NPV-analyse

NPV staat voor het verschil tussen de huidige waarde van cash inflows en de huidige waarde van cash outflows. Deze analyse wordt gebruikt om de winstgevendheid van een project of investering te bepalen. De formule is als volgt: (Investopedia, 2012)

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0$$

Waarbij,

t = Tijdstip in jaren

T = Einde van project in jaren

C_t = Opbrengst op tijdstip t (kan negatief zijn)

r = Discount rate, waarde vermindering, deze rate is meestal gebaseerd op WACC (zie volgende deel)

C_0 = Investering op tijdstip 0

Weighted average cost of capital (WACC)

Een berekening van een bedrijfskapitaal waarin elke categorie proportioneel meeweegt. De formule voor WACC is als volgt: (Investopedia, 2012)

$$WACC = \frac{E}{V} \times Re + \frac{D}{V} \times Rd \times (1 - Tc)$$

Waarbij,

Re = Cost of equity (wat moet betaald worden aan aandeelhouders)

Rd = Cost of debt (wat moet betaald worden aan leningen)

E = Marktw waarde van equity

D = Marktw waarde van schuld

$V = E + D$

$\frac{E}{V}$ = Financieringspercentage aan equity

$\frac{D}{V}$ = Financieringspercentage aan debt

Tc = Belastingratio (Let op: over debt hoeft geen belasting betaald te worden)

Koppeling met NPV

NPV = Present value (PV) van cashflows gediscoteerd met de WACC

Appendix F

In dit gedeelte zal de een overzicht van de AHP-analyse gegeven worden waarin de verschillende wegingsfactoren worden bepaald en uiteindelijk de eindscore bepaald wordt.

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Vergelijken criteria		1	5	7	7	9		
Toegankelijkheid	Terugverdiëntijd	1/5	1	5	5	7		
	Imago	1/7	1/5	1	3	3		
	Groeiopotentie energiebron	1/7	1/5	1/3	1	1		
	Positieve samenwerkingsverbanden	1/9	1/7	1/3	1/3	1		
	Som	13/5	61/2	132/3	161/3	23		
Bepalen gewicht								
Toegankelijkheid	Terugverdiëntijd	0,626	0,764	0,512	0,429	0,391		Gewicht
	Imago	0,125	0,153	0,366	0,306	0,304		0,545
	Groeiopotentie energiebron	0,089	0,031	0,073	0,184	0,130		0,251
	Positieve samenwerkingsverbanden	0,089	0,031	0,024	0,061	0,130		0,101
	Som	0,070	0,022	0,024	0,020	0,043		0,067
Toepassen gewicht op criteria vergelijking								
Toegankelijkheid	Terugverdiëntijd	0,545	1,254	0,710	0,471	0,323		Som
	Imago	0,109	0,251	0,507	0,336	0,252		3,303
	Groeiopotentie energiebron	0,078	0,050	0,101	0,202	0,108		1,455
	Positieve samenwerkingsverbanden	0,061	0,036	0,034	0,067	0,108		0,539
	Som				0,022	0,036		0,337
Resulterende ratio's per criterium								
Toegankelijkheid	Terugverdiëntijd	6,066						
	Imago	5,799						
	Groeiopotentie energiebron	5,311						
	Positieve samenwerkingsverbanden	5,011						
	Som	5,245						
Inconsistentie check								
Inconsistentie index	Inconsistentie ratio	0,121608317						
	Inconsistentie ratio	0,098071223	<0,1 en dus consistent bevonden					

Figuur 25. Overzicht van bepaling van de wegingsfactoren per criterium en de consistentietest

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Toegankelijkheid														Wegingsfactor													
Blue energy	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,021	0,021	0,029	0,029	0,010	0,006	0,007	0,030	0,019					
Geïteld	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,021	0,021	0,029	0,029	0,010	0,006	0,007	0,030	0,019					
PV-panelen	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,188	0,188	0,263	0,263	0,220	0,296	0,296	0,266	0,247					
Micro-wind	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,188	0,188	0,263	0,263	0,220	0,296	0,296	0,266	0,247					
3MW-wind	7	7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,146	0,146	0,088	0,088	0,073	0,042	0,099	0,053	0,092					
Biomassa	5	5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,104	0,104	0,038	0,038	0,073	0,042	0,099	0,038	0,077					
Warmtepomp	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,188	0,188	0,263	0,263	0,367	0,296	0,164	0,266	1,000					
Algenproductie	48	48	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5	34/5														
Terugverdiend														Wegingsfactor													
Blue energy	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0,029	0,029	0,016	0,011	0,058	0,014	0,020	0,012	0,024					
Geïteld	1	1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0,029	0,029	0,016	0,011	0,058	0,014	0,020	0,012	0,024					
PV-panelen	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,147	0,147	0,082	0,163	0,074	0,203	0,046	0,179	0,130					
Micro-wind	3	3	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0,088	0,088	0,016	0,033	0,058	0,014	0,020	0,012	0,041					
3MW-wind	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,265	0,265	0,577	0,293	0,518	0,473	0,691	0,321	0,425					
Biomassa	5	5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,147	0,147	0,027	0,163	0,074	0,068	0,046	0,179	0,106					
Warmtepomp	7	7	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,206	0,206	0,247	0,228	0,104	0,203	0,138	0,250	0,198					
Algenproductie	3	3	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0,088	0,088	0,016	0,098	0,058	0,014	0,020	0,036	1,000					
Imago														Wegingsfactor													
Blue energy	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,033	0,033	0,038	0,038	0,019	0,031	0,031	0,031	0,032					
Geïteld	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,033	0,033	0,038	0,038	0,019	0,031	0,031	0,031	0,032					
PV-panelen	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,300	0,300	0,346	0,346	0,394	0,281	0,281	0,281	0,316					
Micro-wind	9	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,300	0,300	0,346	0,346	0,394	0,281	0,281	0,281	0,316					
3MW-wind	7	7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,233	0,233	0,115	0,115	0,131	0,281	0,281	0,281	0,209					
Biomassa	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,033	0,033	0,038	0,038	0,015	0,031	0,031	0,031	0,031					
Warmtepomp	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,033	0,033	0,038	0,038	0,015	0,031	0,031	0,031	0,031					
Algenproductie	1	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,033	0,033	0,038	0,038	0,015	0,031	0,031	0,031	0,031					
Samenwerking														Wegingsfactor													
Blue energy	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,068	0,125	0,130	0,125	0,075	0,029	0,068	0,115	0,095					
Geïteld	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,023	0,042	0,043	0,042	0,059	0,021	0,029	0,038	0,037					
PV-panelen	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,023	0,042	0,043	0,042	0,059	0,021	0,029	0,038	0,037					
Micro-wind	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,023	0,042	0,043	0,042	0,059	0,021	0,029	0,038	0,037					
3MW-wind	7	9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,477	0,375	0,389	0,375	0,527	0,730	0,265	0,346	0,436					
Biomassa	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0,341	0,292	0,303	0,292	0,105	0,146	0,265	0,346	0,261					
Warmtepomp	1/3	1	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,023	0,042	0,005	0,042	0,059	0,016	0,029	0,038	0,032					
Algenproductie	1/3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,023	0,042	0,043	0,042	0,059	0,016	0,029	0,038	0,032					
Groespotentie														Wegingsfactor													
Blue energy	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0,410	0,520	0,184	0,184	0,184	0,231	0,337	0,529	0,322					
Geïteld	1/3	1	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0,137	0,173	0,184	0,184	0,184	0,231	0,337	0,529	0,322					
PV-panelen	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,059	0,025	0,026	0,026	0,026	0,009	0,007	0,020	0,025					
Micro-wind	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,059	0,025	0,026	0,026	0,026	0,009	0,007	0,020	0,025					
3MW-wind	1/7	1/7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,059	0,025	0,026	0,026	0,026	0,009	0,007	0,020	0,025					
Biomassa	1/5	1/5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0,082	0,035	0,132	0,132	0,132	0,046	0,016	0,025	0,075					
Warmtepomp	1/7	1/7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	0,059	0,025	0,184	0,184	0,184	0,139	0,048	0,035	0,107					
Algenproductie	1/3	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0,137	0,173	0,237	0,237	0,237	0,324	0,241	0,176	0,220					
	24/9	57/9	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38														

Figuur 26. Overzicht van de bepaling van de wegingsfactoren per criterium per bron

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Totaal scores	Blue energy	Getijde-energie	PV-panelen	Micro-wind	3MW-wind	Biomassa	Warmtepomp	Algen	Totaal
	0,038	0,029	0,207	0,180	0,209	0,093	0,087	0,164	1,008

Figuur 27. Resultaten AHP-analyse

Deze resultaten zijn verkregen door de wegingsfactoren van de bronnen te vermenigvuldigen met de wegingsfactoren van de criteria. Voor de 3MW-windmolen is dit bijvoorbeeld:

$$(0,545 * 0,093) + (0,251 * 0,425) + (0,101 * 0,209) + (0,067 * 0,436) + (0,036 * 0,025) = 0,209$$

Appendix G

In dit gedeelte zal een voorbeeld gegeven worden van een NPV-analyse. Desbetreffende analyse is degene voor de terugverdientijd van een 3MW-windmolen in Nederland. Alle NPV-analyses zijn op deze manier opgesteld.



Figuur 27. Voorbeeld van NPV-analyse voor 3MW-windmolen in Nederland

Appendix H

In dit gedeelte zullen de gegevens weergegeven worden die gevonden zijn in een alternatieve bron en kan tevens gezien worden dat deze getallen significant verschillen van de waardes die eerder beschreven zijn in het verslag (4.2) (Chen, Cong, Yang, Tan, Li, & Ding, 2009).

Systems	Energy and power density				Life time and cycle life		Influence on environment	
	Wh/kg	W/kg	Wh/L	W/L	Life time (years)	Cycle life (cycles)	Influence	Description
PHS	0.5–1.5		0.5–1.5		40–60		Negative	Destruction of trees and green land for building the reservoirs
CAES	30–60		3–6	0.5–2.0	20–40		Negative	Emissions from combustion of natural gas
Lead-acid	30–50	75–300	50–80	10–400	5–15	500–1000	Negative	Toxic remains
NiCd	50–75	150–300	60–150		10–20	2000–2500		
NaS	150–240	150–230	150–250		10–15	2500		
ZEBRA	100–120	150–200	150–180	220–300	10–14	2500+		
Li-ion	75–200	150–315	200–500		5–15	1000–10,000+		
Fuel cell	800–10,000	500+	500–3000	500+	5–15	1000+	Negative	Remains and/or combustion of fossil fuel
Metal-Air	150–3000		500–10,000			100–300	Small	Little amount of remains
VRB	10–30		16–33		5–10	12,000+	Negative	Toxic remains
ZnBr	30–50		30–60		5–10	2000+		
PSB	–	–	–	–	10–15			
Solar fuel	800–100,000		500–10,000		–	–	Benign	Usage and storage of solar energy
SMES	0.5–5	500–2000	0.2–2.5	1000–4000	20+	100,000+	Negative	Strong magnetic fields
Flywheel	10–30	400–1500	20–80	1000–2000	~15	20,000+	Almost none	
Capacitor Super-	0.05–5	~100,000	2–10 capacitor	100,000+ 2.5–15	~5 500–5000	50,000+ 10–30	Small	Little amount of remains 100,000+
20+		100,000+	Small	Little amount of remains				
AL-TES	80–120		80–120		10–20		Small	
CES	150–250	10–30	120–200		20–40		Positive	Removing contaminants during air liquefaction (Charge)
HT-TES	80–200		120–500		5–15		Small	

Systems	Power rating and discharge time		Storage duration		Capital cost		
	Power rating	Discharge time	Self discharge per day	Suitable storage duration	\$/kW	\$/kWh	\$/kWh-Per cycle
PHS	100–5000 MW	1–24 h+	Very small	Hours–months	600–2000	5–100	0.1–1.4
CAES	5–300 MW	1–24 h+	Small	Hours–months	400–800	2–50	2–4
Lead-acid	0–20 MW	Seconds–hours	0.1–0.3%	Minutes–days	300–600	200–400	20–100
NiCd	0–40 MW	Seconds–hours	0.2–0.6%	Minutes–days	500–1500	800–1500	20–100
NaS	50 kW–8 MW	Seconds–hours	~20%	Seconds–hours	1000–3000	300–500	8–20
ZEBRA	0–300 kW	Seconds–hours	~15%	Seconds–hours	150–300	100–200	5–10
Li-ion	0–100 kW	Minutes–hours	0.1–0.3%	Minutes–days	1200–4000	600–2500	15–100
Fuel cells	0–50 MW	Seconds–24 h+	Almost zero	Hours–months	10,000+		6000–20,000
Metal-Air	0–10 kW	Seconds–24 h+	Very small	Hours–months	100–250	10–60	
VRB	30 kW–3 MW	Seconds–10 h	Small	Hours–months	600–1500	150–1000	5–80
ZnBr	50 kW–2 MW	Seconds–10 h	Small	Hours–months	700–2500	150–1000	5–80
PSB	1–15 MW	Seconds–10 h	Small	Hours–months	700–2500	150–1000	5–80
Solar fuel	0–10 MW	1–24 h+	Almost zero	Hours–months	–	–	–
SMES	100 kW–10 MW	Milliseconds–8 s	10–15%	Minutes–hours	200–300	1000–10,000	
Flywheel	0–250 kW	Milliseconds–15 min	100%	Seconds–minutes	250–350	1000–5000	3–25
Capacitor	0–50 kW	Milliseconds–60 min	40%	Seconds–hours	200–400	500–1000	
Super-capacitor	0–300 kW	Milliseconds–60 min	20–40%	Seconds–hours	100–300	300–2000	2–20
AL-TES	0–5 MW	1–8 h	0.5%	Minutes–days		20–50	
CES	100 kW–300 MW	1–8 h	0.5–1.0%	Minutes–days	200–300	3–30	2–4
HT-TES	0–60 MW	1–24 h+	0.05–1.0%	Minutes–months		30–60	

Tabel 26. Technische karakteristieken van opslag methodes (Batteries en fuel cells zijn benoemd als de werkzame stoffen; bijvoorbeeld NiCd is een nikkel-cadium accu) (Chen, Cong, Yang, Tan, Li, & Ding, 2009).

Bibliografie

- Windenergie.nl. (2010, July 26). *Windenergie op land - Opbrengst*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Windenergie: <http://www.windenergie.nl/46/onderwerpen/techniek/opbrengst>
- Facts and figures*. (2012, October 17). Opgeroepen op October 17, 2012, van Euro pool system homepage: <http://www.europoolsystem.com/332/Facts-and-figures>
- Mission and values*. (2012, October 17). Opgeroepen op October 17, 2012, van Euro pool system homepage: <http://www.europoolsystem.com/308/Our-Mission-and-Values>
- Osmose*. (2012, October 17). Opgeroepen op October 17, 2012, van Water.nl: <http://www.water.nl/osmose.htm>
- The system*. (2012, October 17). Opgeroepen op October 17, 2012, van Euro pool system homepage: <http://www.europoolsystem.com/158/The-system>
- Alabi, A., Tampier, M., & Bibeau, E. (2009). *Microalgae technologies & processes for biofuels/bioenergy production in British Columbia: Current technology, sustainability & barriers to implementation*. SeedScience.
- Bergsma, G., Croezen, H., M.J., B., & Rooijers, F. (2006). *Het Energie Agri Cluster voor het Transitie Alternatief (EAC) In het kader van het zuiderzeelijn project*. Delft: CE.
- Brennan, L., & Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *enewable and Sustainable Energy Reviews* 14 , 557-577.
- Chen, H., Cong, T., Yang, W., Tan, C., Li, Y., & Ding, Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science* 19, 291-312.
- Clean Energy Ideas. (sd). *History of Geothermal Energy*. Opgeroepen op October 17, 2012 , van Clean energy ideas: http://www.clean-energy-ideas.com/articles/history_of_geothermal_energy.html
- Clément, A., McCullen, P., Falcão, A., Fiorentino, A., Gardner, F., Hammerlund, K., et al. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Elsevier Science Ltd.* .
- COGEM. (sd). *Fotosynthese*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Commissie genetische modificatie: <http://www.cogem.net/index.cfm/nl/qa/termen-begrippen/begrip/fotosynthese>
- Conserve energy future. (2009-2012). *History of Geothermal energy*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Conserve-energy-future.com: <http://www.conserve-energy-future.com/GeothermalEnergyHistory.php>

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Darling, D. (sd). *Heat pump*. Opgeroepen op October 17, 2012, van The Encyclopedia of Alternative Energy and Sustainable Living:
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/H/AE_heat_pump.html

de Vries, B., van Vuuren, D., & Hoogwijk, M. (2007). Renewable energy sources: Their global potential for the first-half of the 21th century at global level: an integrated approach. *Energy Policy* 35 , 2590–2610.

Delfos, T. (2012, Augustus 5). NPV bespreking. (J. Heijndijk, Interviewer)

Delfos, T., & Eeuwijk, R. (2012, June 11). Kennismaking. (J. Heijndijk, Interviewer)

Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157-175.

Duratech warmtepompen. (sd). *Uitgebreide achtergrondinformatie over warmtepompen*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Duratech warmtepompen.nl: http://www.duratech-warmtepompen.nl/zwembad_verwarming_warmtepomp_werking_details.htm

Duurzame energie thuis. (2008-2009). *Berekening opbrengst windmolens*. Opgeroepen op October 17 , 2012, van Duurzame energie thuis - Nieuwssite over oplossingen die werken:
<http://www.duurzameenergiethuis.nl/berekening-opbrengst-windmolens>

Duurzame energiebronnen.nl. (sd). *Investeren en opbrengsten kleine windturbines*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Duurzame energiebronnen.nl: <http://www.duurzame-energiebronnen.nl/subsidie-windenergie.php>

Encyclo. (sd). *Eerste wet van thermodynamica*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Encyclo:
<http://www.encyclo.nl/begrip/eerste%20wet%20van%20thermodynamica>

Encyclo. (sd). *Fotosynthese*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Fototroof:
<http://www.encyclo.nl/begrip/fototroof>

Encyclo. (sd). *Heterotroof*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Encyclo:
<http://www.encyclo.nl/begrip/heterotroof>

Energie Adviesbureau Trefpunt. (2012, Januari). *Cijfers en Kengetallen*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Energie Adviesbureau Trefpunt:
http://www.energietref.nl/index_bestanden/Page373.htm

Entropysite. (2006, Februari). *A Student's Approach to the Second Law and Entropy*. Opgeroepen op October 17 , 2012, van Entropy sites: http://entropysite.oxy.edu/students_approach.html

Fatih Demirbas, M., Balat, M., & Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to sustainable energy development. *Energy conversion and management* 50, 1746-1760.

GFT-afval.nl. (sd). *Feiten, cijfers & potentieel*. Opgeroepen op October 17, 2012, van GFT-afval.nl:
http://www.gft-afval.nl/html/feitencijfers_potentieel.html

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Goodwin, P., & Wright, G. (2009). *Decision analysis for management judgment, fourth edition.*

Padstow: John Wiley & Sons Ltd.

Gross, R., Leach, M., & Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environment International* 29, 105 – 122.

Haijer, & Reus, D. (sd). *Implementation opportunities for Blue Energy in The Netherlands.*
haijerendereus.nl.

hoe-koop-ik.nl. (2012). *Opbrengst zonnepanelen: de invloeden.* Opgeroepen op October 17, 2012, van Hoe koop ik: http://www.hoe-koop-ik.nl/zonnepanelen/alles_over/kosten/opbrengst-zonnepanelen/artikel/1402/opbrengst-zonnepanelen-de-invloeden

Hou, Y., Vidu, R., & Stroeve, P. (2011). *Solar energy storage methods.* Industrial & Engineering Chemistry Research.

Ibrahim, A., Ilinca, A., & Perron, J. (2008). Energy storage systems - Characteristics and comperisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 1221-1250.

Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. (sd). *Isobutane.*
Opgeroepen op October 17, 2012, van IFA: [http://gestis-en.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_en/025040.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis-en.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_en/025040.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0)

International Chemical Safety Cards. (2002). *DICHLORDIFLUORMETHAAN.* Opgeroepen op October 17, 2012, van International Chemical Safety Cards: <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsndut/ndut0048.html>

International Energy Agency Solar Heating & Cooling Programme. (sd). *Solar heat for industrial processes.* Opgeroepen op October 17, 2012, van International Energy Agency Solar Heating & Cooling Programme: <http://www.iea-ship.org/documents/papersofnewsletterNo1.pdf>

Investopedia. (2012). *Net present value - NPV.* Opgeroepen op October 17, 2012, van Investopedia: <http://www.investopedia.com/terms/n/npv.asp#axzz29ZAgD5j5>

Investopedia. (2012). *Weighted Average Cost Of Capital - WACC.* Opgeroepen op October 17, 2012, van Investopedia: <http://www.investopedia.com/terms/w/wacc.asp#axzz29ZAgD5j5>

Kovacevic, V., & Wesseler, J. (2010). Cost-effectiveness analysis of algae energy production in the EU. *Energy Policy* 38, 5749–5757.

Lako, P., Luxembourg, S., & Beurskens, L. (2010). *Karakteristieken van duurzame energie in relatie tot de afsluitdijk.* ECN.nl.

Omubo-Pepple, V., Israel-Cookey, C., & Alaminokuma, G. (2009). Effects of temperature, Solar flux and relative humidity on the Efficient conversion of Solar Energy to Electricity. *European Journal of Scientific Research* 35, 173-180.

Plug into the sun. (sd). *Factos affecting output.* Opgeroepen op October 17, 2012, van Plug into the sun: http://www.plugintothesun.co.uk/downloads/factors_affecting_output.pdf

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Post, J., Veerman, J., Hamelers, H., Euverink, G., Metz, S., Nymejier, K., et al. (2007). Salinity-gradient power: Evaluation of pressure-retarded osmosis and reverse electrodialysis. *Journal of Membrane Science* 288, 218-230.

Projecten LTO Noord. (2009). *Literatuuronderzoek digestaat*. Deventer.

Provincie Zeeland. (sd). *Test kleine windturbines*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Provincie Zeeland:

http://provincie.zeeland.nl/milieu_natuur/windenergie/kleine_windturbines/de_turbines

Raugei, M., Frankl, P., Alsema, E., de Wild-Scholten, M., Fthenakis, V., & Kim, H. (2007, October 11). *Life Cycle Assessment of Present and Future Photovoltaic Systems*. ECN.nl.

Resch, G., Faber, T., Haas, R., Ragwitz, M., Held, A., Fraunhofer, et al. (2006). *Potentials and cost for renewable electricity in Europe - The Green-X database on dynamic cost-resource curves*. Vienna: Intelligent Energy Europe.

Self, S., Reddy, B., & Rosen, M. (2012). Geothermal heat pump systems: Status review and comparison with other heating options. *Applied Energy*.

Siderea. (2012, September 17). *Nederlandse FAQ voor zonnepanelen*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Siderea: http://www.siderea.nl/zonne-energie/faq/faq.html#Hoeveel_electriciteit_levert_ee

Smartsun. (sd). *Het zonneboiler boek*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Smartsun: http://www.smartsun.es/download/Zonneboilerboek_v3web.pdf

Solar rating & certification corporation. (sd). *Solar facts - Collector ratings*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Solar rating & certification corporation: http://www.solar-rating.org/facts/collector_ratings.html

Šuri, M., Huld, T., Dunlop, E., & Ossenbrink, H. (2007). Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar energy* 81, 1295-1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

U.S. Department of Energy. (2012, October 17). *The history of solar*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Energy efficiency and renewable energy: http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf

Union of concerned scientists. (2009, December 16). *How geothermal energy works*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Clean energy: http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/how-geothermal-energy-works.html

van Heeswijk, T., Schild, B., de Wit, S., Kennis, N., Wilke, T., & van Osch, S. (2007). *Energieopwekking uit biomassa*. Breda: Avans hogeschool.

Varun, Prakash, R., & Bhat, I. (2010). A figure of merit for evaluating sustainability of renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1640–1643.

Bacheloropdracht Joris Heijndijk, 2012

Werknemer ECN. (2012, August). Bespreking van het huidige wasproces. (J. Heijndijk, Interviewer)

Werknemer Eneco. (2012, August). Telefoongesprek situatie zonnepanelen/zonneboilers. (J. Heijndijk, Interviewer)

Werknemer van Wingen. (2012, September). Contact kosten/opbrengsten wkk installatie. (J. Heijndijk, Interviewer)

Windenergie.nl. (2011, Augustus 23). *Windenergie op land - Kosten en baten*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Windenergie.nl:
<http://www.windenergie.nl/99/onderwerpen/financien/kosten-en-baten>

Yackira, M. (2011, Februari 8). *Transmission infrastructure and collaboration*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Renewable energy world:
<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/02/final-word-transmission-infrastructure-and-collaboration>

Zogg, M. (2008). *History of Heat Pumps Swiss Contributions and International Milestones*. Zürich: 9th international IEA Heat Pump Conference.

Zonne-energie weetjes. (2012, Augustus 7). *Gemiddelde kosten zonnepanelen*. Opgeroepen op October 17, 2012, van Zonne-energie weetjes:
<http://zonneenergieweetjes.wordpress.com/2012/08/07/gemiddelde-kosten-zonnepanelen/>