

# Een Life Cycle Costing analyse voor de gistinginstallatie van de rioolwaterzuiveringsinstallatie Venray van het Waterschapsbedrijf Limburg

Bachelor afstudeeropdracht Technische Bedrijfskunde  
Universiteit Twente



Naam: Joël Bosch  
Studentnummer: 0068802

Examinator: dr. ir. S.B.H. Morssinkhof  
Meelezer: dr. ir. L.L.M van der Wegen  
Externe begeleider: ing. W.F. Verkuijlen

Publieke eindverslag (27 juli 2009)



## Management summary

In dit verslag wordt de Life Cycle Costing (LCC) methodiek geïllustreerd op basis van een casestudy naar de Life Cycle Costs van verschillende gistingsmethodes voor de gistinginstallatie Venray. Het doel van deze LCC analyse is om alle kosten in de levensduur van de gistinginstallatie te bepalen. Aan de hand van deze casestudy wordt inzichtelijk gemaakt hoe in de toekomst een Life Cycle Costing analyse kan worden uitgevoerd voor andere (sub)installaties van het WBL. De probleemstelling van dit onderzoek is daarom als volgt:

*Op welke manier kunnen de Life Cycle Costs van (sub)installaties bij het Waterschapsbedrijf Limburg worden bepaald?*

Bij het uitvoeren van de casestudy wordt er allereerst op basis van de literatuur onderzocht hoe een LCC analyse in het algemeen uitgevoerd dient te worden. Vervolgens beschrijven we het gistingproces en de gistingsmethodes. Deze gistingsmethodes zijn gebaseerd op de huidige methode (gasinblazing) en een innovatief concept dat is voorgesteld door Royal Haskoning: de Columbus.

De LCC analyse wordt uitgevoerd door eerst alle activiteiten en kostenelementen in de levensduur van de gistinginstallatie te identificeren. Vervolgens worden de kosten voor elke activiteit en kostenelement geschat en samengevoegd om de totale kosten in de levensduur van de installatie te bepalen. Ook worden kwalitatieve criteria zoals milieuvriendelijkheid, technische innovatie en veiligheid formeel in de analyse behandeld door gebruik te maken van een multi-criteria-analyse (MCA). In de gevoeligheidsanalyse wordt de robuustheid van de oplossing onderzocht door te kijken onder welke verandering van de kosten de optimale gistingsmethode optimaal blijft.

Op basis van de LCC literatuur en de inzichten die tijdens de casestudy zijn verworven, wordt er een LCC raamwerk voorgesteld die is toegespitst op het WBL. Verder worden er conclusies en aanbevelingen gedaan met betrekking tot de gistinginstallatie Venray en de implementatie van de LCC methodiek in de organisatie.

### **De gistinginstallatie Venray**

Uit de analyses blijkt dat een volledige implementatie van het Columbus concept resulteert in de laagste netto contante kosten en in de hoogste score op basis van kwalitatieve criteria (MCA). De gevoeligheidsanalyse toont echter aan dat het vooral van belang is dat de mate van vergisting / afbraak van de Columbus zeker niet minder is dan de huidige gistingsmethode, omdat de Columbus anders niet optimaal is. Royal Haskoning heeft daarentegen juist sterke indicaties dat de mate van slib vergisting / afbraak bij de Columbus juist zal toenemen, maar is er tot nu toe nog niet in geslaagd dit te bewijzen. Het Columbus concept heeft wel genoeg financiële buffer om optimaal te blijven bij incidentele kosten zoals bij de bouw of onderhoud.

Verder past een investering in de Columbus beter in de doelstelling om een duurzame en innovatieve organisatie te zijn. Het energieverbruik van de huidige gistingsmethode is namelijk 2,3x zo hoog als van de Columbus. Met een investering in de Columbus illustreert het WBL voor buitenstaanders zijn proactieve houding met betrekking tot de duurzame en innovatieve doelstellingen.

Het uitstellen van een beslissing om de Columbus te implementeren zal leiden tot extra hoge kosten omdat er feitelijk een dubbele investering wordt gedaan (nu investeren in de huidige mengmethode; over 5 jaar investeren in de Columbus).

Een ander voordeel is dat capaciteit van de Columbus gemakkelijker vergroot kan worden omdat de Columbus slib met een droge stof percentage tot 10% kan verwerken (in tegenstelling tot 6% van de huidige gistingmethode). Dit gegeven is vooral relevant omdat er momenteel overwogen wordt om het slib van de rwzi Gennep in Venray te vergisten. De Columbus is er beter op voorbereidt om deze extra aanvoer van slib te kunnen verwerken.

### **De LCC implementatie voor het WBL**

Aangezien het WBL nog aan het begin staat van het gebruik van de LCC methodiek, is er geprobeerd om het LCC raamwerk zoveel mogelijk aan te laten sluiten bij de huidige organisatiestructuur. Op die manier kan het WBL ervaringen opdoen en op basis van deze kennis de LCC methodiek later verder implementeren.

Het belangrijkste punt in de LCC analyse is dat de modellen voor het bepalen van activiteiten, kostenelementen en kostenschattingen zoveel mogelijk geschikt worden gemaakt voor hergebruik (standaardiseren) om volgende LCC analyses snel en nauwkeurig uit te kunnen voeren. Om deze modellen te kunnen updaten, evalueren en beheren, zullen ze expliciet gemaakt moeten worden zodat ze (statistisch) onderbouwd en controleerbaar zijn. Wel moet er een balans worden gevonden tussen de kosten van het modelleren en de nauwkeurigheid.

Verder kan een LCC analyse het beste door een multidisciplinair team worden uitgevoerd omdat er voor het bepalen van de kosten in de levensduur van een installatie expertise vanuit verschillende disciplines nodig is.

Ook de basis principes van de LCC methodiek zullen aan de medewerkers (intern of extern) bijgebracht moeten worden zodat de medewerkers in staat zijn om een LCC analyse uit te voeren en om resultaten op de juiste manier te interpreteren.

Ten slotte valt het aan te raden om gebruik te maken van een gespecialiseerd softwarepakket (zoals LCC-lite van S&G en partners) om de LCC informatie op een eenduidige manier in te voeren en te presenteren. Dit is in de eerste plaats bevorderlijk voor de communicatie binnen het LCC team, maar ook voor de communicatie met het management en andere betrokkenen.

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b><u>INLEIDING</u></b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b><u>ONDERZOEKSOPZET</u></b>	<b>9</b>
2.1	ONDERZOEKSDOEL	9
2.2	PROBLEEMSTELLING	9
2.3	ONDERZOEKSVRAGEN	9
2.4	PLAN VAN AANPAK	11
2.5	TE LEVEREN RESULTATEN	11
<b>3</b>	<b><u>LIFE CYCLE COSTING</u></b>	<b>13</b>
3.1	VOORDELEN VAN LCC	13
3.2	BARRIÈRES VOOR HET TOEPASSEN VAN LCC	14
3.3	TOEPASSING VAN LCC IN DE PRAKTIJK	14
3.4	ALGEMENE LCC MODELLERING	15
3.5	CONCLUSIE	18
<b>4</b>	<b><u>BESCHRIJVING VAN DE GISTINGINSTALLATIE EN DE ALTERNATIEVEN</u></b>	<b>19</b>
4.1	HET GISTINGSPROCES	19
4.2	GISTINGINSTALLATIE ALTERNATIEVEN	22
4.3	CONCLUSIE	25
<b>5</b>	<b><u>IDENTIFICATIE VAN RELEVANTE KOSTENELEMENTEN</u></b>	<b>27</b>
5.1	BEPALEN VAN ACTIVITEITEN	27
5.2	BEPALEN VAN KOSTENELEMENTEN	30
5.3	BEPALEN VAN RELEVANTIE	32
5.4	CONCLUSIE	33
<b>6</b>	<b><u>BEPALING VAN DE VERWACHTE KOSTEN</u></b>	<b>35</b>
6.1	PROJECTAANVANG	35
6.2	PROJECTUITVOERING	35
6.3	EXPLOITATIE	38
6.4	CONCLUSIE	45
<b>7</b>	<b><u>BEPALING VAN LIFE CYCLE COSTS PER ALTERNATIEF</u></b>	<b>47</b>
7.1	NETTO CONTANTE WAARDE	47
7.2	KWALITATIEVE CRITERIA	49
7.3	CONCLUSIE	51
<b>8</b>	<b><u>GEVOELIGHEIDSANALYSE</u></b>	<b>53</b>

<b>8.1</b>	<b>ONZEKERE FACTOREN</b>	<b>53</b>
<b>8.2</b>	<b>VERANDERING IN KOSTENELEMENTEN</b>	<b>54</b>
<b>8.3</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b><u>LCC RAAMWERK VOOR HET WBL</u></b>	<b>59</b>
<b>10</b>	<b><u>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</u></b>	<b>63</b>
<b>10.1</b>	<b>DE GISTINGSINSTALLATIE VENRAY</b>	<b>63</b>
<b>10.2</b>	<b>LCC IMPLEMENTATIE BIJ HET WBL</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b><u>LITERATUUR</u></b>	<b>69</b>
	<b><u>BIJLAGE A : BESCHRIJVING VAN HET WBL EN DE RWZI VENRAY</u></b>	<b>71</b>
<b>A.1</b>	<b>HET WATERSCHAPSBEDRIJF LIMBURG</b>	<b>71</b>
<b>A.2</b>	<b>BESCHRIJVING VAN DE ORGANISATIE</b>	<b>71</b>
<b>A.3</b>	<b>DE RIOOLWATERZUIVERINGSINSTALLATIE VENRAY</b>	<b>72</b>
	<b><u>BIJLAGE B : LEEGZETTEN VAN DE GISTINGSTANK BEREKENING</u></b>	<b>75</b>
<b>B.1</b>	<b>UIT BEDRIJF NAME</b>	<b>75</b>
<b>B.2</b>	<b>UIT BEDRIJF ZIJN</b>	<b>77</b>
<b>B.3</b>	<b>IN BEDRIJF NAME</b>	<b>78</b>
	<b><u>BIJLAGE C : BIOGASOPBRENGST BEREKENING</u></b>	<b>81</b>
<b>C.1</b>	<b>ENERGIE EQUIVALENTEN</b>	<b>82</b>
<b>C.2</b>	<b>BIOGAS BUFFERING</b>	<b>83</b>
<b>C.3</b>	<b>WARMTEBEHOEFTE</b>	<b>84</b>
<b>C.4</b>	<b>KOSTENBESPARING</b>	<b>85</b>
<b>C.5</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>86</b>
	<b><u>BIJLAGE D : ONDERHOUDSKOSTEN BEREKENING</u></b>	<b>89</b>
<b>D.1</b>	<b>ONDERHOUD GASINBLAZING</b>	<b>89</b>
<b>D.2</b>	<b>ONDERHOUD COLUMBUS</b>	<b>90</b>
	<b><u>BIJLAGE E : LIFE CYCLE COSTS BEREKENING</u></b>	<b>91</b>
	<b><u>BIJLAGE F : REFLECTIEVERSLAG</u></b>	<b>95</b>
<b>F.1</b>	<b>VERLOOP VAN HET ONDERZOEK</b>	<b>95</b>
<b>F.2</b>	<b>HET WBL ALS AFSTUDEERPLEK</b>	<b>95</b>
<b>F.3</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>96</b>

# 1 Inleiding

Dit afstudeeronderzoek is het laatste onderdeel van mijn bachelor studie Technische Bedrijfskunde aan de Universiteit Twente. Via het bemiddelingsbureau Integrand<sup>1</sup> ben ik in contact gekomen met het Waterschapsbedrijf Limburg om deze afstudeeropdracht uit te voeren.

Het Waterschapsbedrijf Limburg (WBL) is verantwoordelijk voor het zuiveren van huishoudelijk en industrieel afvalwater en heeft als overheidsinstantie de verplichting het geld van de belastingbetaler zo efficiënt mogelijk te gebruiken. Door de strengere wet- en regelgeving moeten de zuiveringsinstallaties aan steeds strengere eisen voldoen waardoor de investeringen over een aantal jaren flink zullen oplopen.

Onder andere om die reden bestaat er bij het WBL de behoefte om methodieken te gaan toepassen waarmee geïnvesteerd geld zo efficiënt mogelijk besteed wordt.

Vanuit het WBL ziet men (het meest) potentieel in het Life Cycle Costing (Total Cost of Ownership) concept. Met deze methodiek worden alle kosten van de levenscyclus van producten in kaart gebracht. Deze kosteninformatie kan worden gebruikt om beslissingen op het gebied van investeringen en onderhoud te ondersteunen.

Als eerste aanzet voor de implementatie van Life Cycle Costing (LCC) is er vanuit het WBL besloten om een pilot-project uit te voeren dat het onderwerp van dit afstudeerverslag zal zijn. In deze pilot zullen de Life Cycle Costs van gistinginstallatie alternatieven van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) Venray worden bepaald.

Deze zuiveringsinstallatie wordt momenteel gerenoveerd en uitgebreid. Tijdens het ontwerpproces zijn er door het adviesbureau Royal Haskoning verschillende gistinginstallatie alternatieven voorgesteld. Deze alternatieven zullen de input van de LCC-analyse vormen.

Er is gekozen om het onderzoek te richten op de gistinginstallatie van de rwzi Venray omdat het WBL verwacht dat een LCC-analyse een grote kostenbesparing kan aantonen en de werking van de LCC-methodiek duidelijk illustreert. Verder is er gestreefd om de afstudeeropdracht zo concreet mogelijk gestalte te geven omdat er maar 3 maanden beschikbaar zijn om de analyse uit te voeren.

Op basis van deze LCC-analyse kan de organisatie bekend worden met de LCC-methodiek en kan men ervaren wat de toegevoegde waarde voor het WBL is. LCC zal in de toekomst vaker een bijdrage gaan leveren in de te maken investering- en onderhoudskeuzes. Frank Verkuijlen (externe begeleider van deze afstudeeropdracht) is sinds februari begonnen aan de nieuwe functie van maintenance engineer die aan de hand van dit onderzoek LCC verder gaat implementeren binnen het WBL.

Voor de lezer die niet bekend is met het WBL, wordt in Bijlage A een beschrijving gegeven van het WBL, de organisatiestructuur en het waterzuiveringproces van de rwzi Venray.

In Bijlage F is een reflectieverslag te vinden over mijn afstudeeronderzoek.

---

<sup>1</sup> [www.integrand.nl](http://www.integrand.nl)





## 2 Onderzoeksopzet

De probleemstelling en alle onderzoeksvragen die hieronder zullen volgen, zijn kennisproblemen volgens de definitie van de Algemeen Bedrijfskundige Probleemaanpak en de Methodische Checklist (Heerkens, 1998). De onderzoeksopzet zal daarom een onderzoekscyclus voor kennisproblemen volgen zoals die in de literatuur beschreven is.

### 2.1 Onderzoeksdoel

Het doel van dit onderzoek is om de organisatie bekend te laten worden met de LCC methodiek en laten ervaren welke toegevoegde waarde deze methode voor het WBL heeft. Dit wordt gedaan op basis van een casestudy waarbij de Life Cycle Costs van gistinginstallatie alternatieven van de rwzi Venray bepaald worden. Dit pilot-project zal de basis vormen voor een bredere LCC implementatie. De LCC analyse zal daarom zo gestructureerd en transparant mogelijk worden uitgevoerd zodat het opgestelde LCC raamwerk in de toekomst ook andere investering- en onderhoudskeuzes kan ondersteunen.

### 2.2 Probleemstelling

*Op welke manier kunnen de Life Cycle Costs van (sub)installaties bij het Waterschapsbedrijf Limburg worden bepaald?*

### 2.3 Onderzoeksvragen

Bij het opstellen van de onderzoeksvragen is gebruik gemaakt het LCC modellering raamwerk zoals in het volgende hoofdstuk (3.4) zal worden besproken (Ellram 1993b, Coorens 2001). Aan elke onderzoeksvraag zal een apart hoofdstuk worden besteed. Achter de onderzoeksvragen zal er tussen haakjes het hoofdstuk of de paragraaf worden genoemd waar de onderzoeksvraag wordt besproken.

1. Wat is Life Cycle Costing? (3)
  - a. Wat zijn de voor- en nadelen van een LCC analyse? (3.1 – 3.3)
  - b. Hoe kunnen Life Cycle Costs gemodelleerd worden? (3.4)
2. Hoe functioneert de gistinginstallatie en wat zijn de gistinginstallatie alternatieven? (4)
  - a. Hoe functioneert de gistinginstallatie van de rwzi Venray? (4.1)
  - b. Welke gistinginstallatie alternatieven zijn er? (4.2)
3. Welke kostenelementen kunnen er met betrekking tot de gistinginstallatie alternatieven gedefinieerd worden? (5)
  - a. Welke activiteiten kunnen er in de levensduur van de gistinginstallatie worden onderscheiden? (5.1)
  - b. Welke kostenelementen zijn er? (5.2)
  - c. Welke kostenelementen zijn relevant? (5.3)
4. Welke kosten zijn er te verwachten per kostenelement per jaar per alternatief? (6)
5. Welk vergistinginstallatie alternatief heeft de laagste Life Cycle Costs? (7)
  - a. Hoe kan de huidige waarde van de kasstromen van alle jaren in de levensduur per vergistinginstallatie alternatief worden bepaald (tijds waarde van geld)? (7.1)
6. Hoe gevoelig is de keuze van een gistinginstallatie alternatief voor een verandering in de kostenelementen? (8)
  - a. Welke factoren beïnvloeden de onzekerheid van de kostenschattingen? (8.1)
  - b. Bij welke afwijkingen in geschatte en werkelijke kosten van de kostenelementen blijft de keuze voor een alternatief optimaal? (8.2)

7. Op welke manier kan het opgestelde LCC raamwerk in de toekomst worden gebruikt bij investering- en onderhoudkeuzes van het WBL? (9)
8. Wat is de toegevoegde waarde van de LCC methode voor investering- en onderhoud keuzes bij het WBL ten opzichte van de huidige besluitvorming? (10.2)

De onderzoeksvragen 1 en 2 zijn opgesteld om de LCC filosofie, de installatie en de alternatieven te beschrijven. Deze informatie vormt respectievelijk het theoretische kader, de context en input van de analyse en maakt dus geen deel uit van de feitelijke LCC modellering.

De resterende onderzoeksvragen (3 t/m 8) zijn gebaseerd op het LCC raamwerk van Ellram (1993b) dat in paragraaf 3.4 besproken wordt. Dit raamwerk voorziet in een stappenplan om een LCC analyse uit te voeren.

De stappen 1 en 2 van het raamwerk zijn al in de inleiding en het onderzoeksdoel beschreven en vormen de kader van deze afstudeeropdracht. Ik vorm voor dit pilot-project het LCC 'team' (stap 3) in nauwe samenwerking met Frank Verkuijlen die onder andere op basis van de uitkomsten van deze opdracht de LCC methodiek op bredere schaal gaat implementeren bij het WBL in zijn functie als maintenance engineer. Verder is er vanuit het management de bereidheid om vanuit alle betrokken afdelingen mensen en middelen beschikbaar te stellen om de informatie te verzamelen die nodig is voor de LCC analyse.

Onderzoeksvraag 3 en 4 zijn gerelateerd aan de 4<sup>e</sup> stap het LCC raamwerk zoals dat in hoofdstuk 3.4 besproken wordt. Stap 4a is gerelateerd aan onderzoeksvraag 3a en 3b, stap 4b aan vraag 3c en stap 4c aan onderzoeksvraag 4. De documentatie (stap 4d) is een stap die tijdens de gehele beantwoording van onderzoeksvraag 3 en 4 uitgevoerd zal worden.

Stap 5 en 6 (verificatie en validatie) zijn terugkoppelingstappen die niet expliciet in de onderzoeksvragen genoemd worden. Deze stappen zullen wel worden uitgevoerd en de resultaten zullen door middel van voorschrijdend inzicht in het verslag worden verwerkt.

Het raamwerk van Ellram (1993b) voorziet niet in een methode om de verkregen kosteninformatie per alternatief met elkaar te vergelijken. Coorens (2001) stelt dat de kasstromen per jaar verdisconteerd moeten worden om rekening te houden met de tijdswaarde van geld. Om die reden zal er bij onderzoeksvraag 5a naar een geschikte methode worden gezocht om de Life Cycle Costs per alternatief met elkaar te kunnen vergelijken.

Bij onderzoeksvraag 6 wordt vervolgens onderzocht hoe robuust de uitkomsten zijn. Veel kostengegevens zullen gebaseerd zijn op onzekere gegevens waardoor de oplossing uit de analyse achteraf gezien niet optimaal blijkt te zijn. Om die reden zal er worden onderzocht welke factoren deze onzekerheid veroorzaken (6a) en onder welke omstandigheden (afwijking van geschatte en werkelijke kosten) de aanbevolen keuze optimaal blijft (6b).

Stap 7 en 8 zijn van belang bij het beantwoorden van onderzoeksvraag 7 waarin het LCC raamwerk wordt toegespitst op het WBL.

In de laatste onderzoeksvraag (8) zullen de conclusies van dit onderzoek uiteen worden gezet door de voordelen van het LCC raamwerk voor het WBL te vergelijken met de huidige besluitvorming procedures. Op basis van deze vergelijking zal de toegevoegde waarde van de LCC methodiek voor het WBL worden beschreven.

## **2.4 Plan van aanpak**

Per onderzoeksvraag zal hieronder worden besproken op welke manier de informatie verzameld zal worden om de vraag te beantwoorden.

1. Een beschrijving van de LCC filosofie en modellering wordt gebaseerd op een literatuurstudie.
2. De werking van de gistinginstallatie kan worden beschreven door informatie in te winnen bij interne specialisten zoals de (voormalige) managers en operators van zuiveringsgebied Roermond-Venlo, de projectleider van de renovatie van de rwzi Venray en proces technologen. Voor de gistingalternatieven zal er gesprek plaatsvinden bij het adviesbureau Royal Haskoning, die de gistinginstallatie alternatieven voor het WBL heeft opgesteld.
3. Allereerst zal er een literatuurstudie plaatsvinden om een methode te vinden waarmee de activiteiten, kostenelementen en relevantie bepaald kunnen worden. De activiteiten en kostenelementen bij de aanschaf van de gistinginstallatie kunnen verkregen worden bij de senior projectleider van het Venray-project. Voor de exploitatie activiteiten en kostenelementen zullen de (voormalig) manager en operators van het zuiveringsgebied en proces technologen worden geraadpleegd. Om inzicht te krijgen in de onderhoud activiteiten zal er een gesprek plaatsvinden met een lid van kernteam dat zich bezig houdt met het vernieuwen van de onderhoudsorganisatie.  
Verder kan er informatie worden verkregen vanuit de kennis van het personeel van Planning & Control, het adviesbureau Royal Haskoning en vanuit historische data uit jaarrekeningen, (technische) jaarverslagen en (meerjaren) begrotingen.
4. Om inzicht te krijgen in de kostenschattingen worden dezelfde specialisten geraadpleegd als bij de vorige onderzoeksvraag.
5. Een literatuurstudie moet inzicht geven op welke manier de kosten in de levensduur van de vergistinginstallatie geaggregeerd kunnen worden zodat de alternatieven met elkaar vergeleken kunnen worden.
6. Om in te schatten welke kostenelementen het meest onzeker zijn, zal de kennis van interne specialisten geraadpleegd worden.
7. Op basis van de literatuur die is bestudeerd voor de beantwoording van onderzoeksvraag 1 en het inzicht dat is verkregen tijdens het onderzoek, zal er in deze concluderende onderzoeksvraag een LCC raamwerk voor het WBL worden opgesteld.
8. Aan de hand van de theoretische kader van vraag 1, zullen de voordelen van het opgestelde LCC raamwerk worden beschreven.

## **2.5 Te leveren resultaten**

Dit onderzoek zal de volgende zaken opleveren:

- Een keus voor de meest kostenefficiënte gistinginstallatie alternatief voor de rwzi Venray op basis van Life Cycle Costing.
- Een raamwerk voor het toepassen van de Life Cycle Costing methodiek voor investering- en onderhoudkeuzes bij het WBL.



### 3 Life Cycle Costing

In dit hoofdstuk zal de 1<sup>e</sup> onderzoeksvraag worden beantwoord: *Wat is Life Cycle Costing?* Allereerst zullen de voor- en nadelen van LCC analyse worden besproken in de paragrafen 3.1 en 3.2. In 3.3 wordt de toepassing van LCC in de praktijk behandeld. Vervolgens wordt in 3.4 een algemene LCC modellering beschreven.

Life Cycle Costing (LCC) wordt door Ellram en Siferd (1998) als volgt omschreven: *'Het doel is om verder te kijken dan de aankoopprijs van een productiemiddel, door vast te stellen wat het de organisatie werkelijk kost om een productiemiddel tijdens de gehele levenscyclus te gebruiken, te onderhouden en af te breken.'*

In de literatuur worden er verschillende benamingen gebruikt die nauw samenhangen met Life Cycle Costing (LCC) zoals Total Cost of Ownership (TCO), zero-base pricing, all-in-costs, cost-based supplier performance evaluation en de cost-ratio methode (Ellram en Siferd 1998). Afgezien van LCC en TCO kijken alle genoemde methodes alleen naar de acquisitie van goederen. De acquisitieactiviteiten omvatten onder andere de kosten voor het plaatsen van een order, de kosten van het verwerken van een factuur, de transportkosten en de handelingkosten in het magazijn. De focus van deze methodes ligt dus vooral op inkoop van (bulk)goederen voor gebruik in een productieproces of retail omgeving. De methodes (bovengenoemde behalve LCC en TCO) zijn vooral bedoeld voor leverancierselectie en daarom minder goed bruikbaar voor het ondersteunen van investering- en onderhoudskeuze met betrekking tot kapitaalgoederen (productiemiddelen) zoals bij het WBL.

Volgens Ellram en Siferd (1998) hangen Life Cycle Costing en Total Cost of Ownership sterk samen, maar richt LCC zich strikt genomen op kapitaalgoederen terwijl TCO is toe te passen op alle soorten van inkoop. In dit onderzoek zal er echter geen onderscheid gemaakt worden tussen de term Life Cycle Costing en Total Cost of Ownership omdat de basis methodiek hetzelfde is. Voor de consistentie in het verslag zal alleen de term Life Cycle Costing worden gebruikt.

#### 3.1 Voordelen van LCC

Ellram (1993a, 1993b, 1994) noemt voordelen van Life Cycle Costing. Hieronder zullen de meest relevante voordelen voor het Waterschapsbedrijf Limburg worden genoemd.

- *Beslissingen nemen*  
Door de netto contante waarde van alle kosten in de gehele levensduur van een object te bepalen, kunnen verschillende alternatieven met elkaar worden vergeleken. Op die manier kan het alternatief met de laagste totale levensduurkosten worden gekozen.
- *Prestatie meting (benchmarking)*  
Het maken van een kostenberekening voor alle activiteiten in de levenscyclus van een installatie, maken het mogelijk om de werkelijk gemaakte kosten tijdens het gebruik van een object te beoordelen ten opzichte van de vooraf bepaalde kosten. Op basis van deze informatie kunnen de prestaties van het object worden geëvalueerd.
- *Inzicht / begrip*  
Zonder een structurele analyse zouden veel kosten als indirect of als overhead kosten worden beschouwd waardoor veel kosten niet worden toegerekend aan een kostobject. Een LCC-analyse geeft inzicht in alle factoren die invloed uitoefenen op de kosten voor

een kostobject. Op deze manier wordt de impact van aankopen op langere termijn beter duidelijk.

- *Ondersteuning van continue verbetering van de organisatie*  
Met een verbeterde inzicht en begrip van alle kosten in de levensduur van een object, kunnen de gebieden worden geïdentificeerd die de grootste invloed hebben op deze kosten. Door organisatorische inspanningen vooral op deze gebieden te richten, kan de organisatie de hoogst mogelijke besparingen realiseren. Deze gebieden geven de focus voor continue verbetering van de organisatie.

### **3.2 Barrières voor het toepassen van LCC**

Uit onderzoek is gebleken dat veel bedrijven de voordelen van LCC wel erkennen, maar het concept niet of maar gedeeltelijk doorvoeren.

Ellram (1994) noemt verschillende barrières voor het toepassen van LCC, te weten:

- *Cultuur*  
Het gebruik van de LCC methodiek vereist een andere manier van werken van de werknemers die beslissingen nemen over de aanschaf van (kapitaal)goederen. Wanneer een organisatie ook op de langere termijn consequent gebruik wil maken van LCC, zal ook het administratieve systeem moeten worden aangepast om alle data te verzamelen die nodig zijn voor een LCC-analyse. Zolang dit niet gebeurt zal een LCC-analyse een zeer arbeidsintensieve activiteit blijven (Ellram 1993b). Dit vergt dus ook een andere manier van werken van werknemers in ondersteunende en uitvoerende functies.  
Mensen hebben van nature een weerstand tegen veranderingen. Hun huidige werkwijze biedt zekerheid en stabiliteit en staan daarom meestal sceptisch tegenover nieuwe manieren van werken. Empirisch onderzoek heeft volgens Ellram (1993b) aangetoond dat deze weerstand wordt weggenomen door LCC educatie aan de werknemers.
- *Kennis*  
Mensen in een organisatie kunnen het (onterechte) idee hebben dat LCC methodiek inflexibel en te theoretisch is. Verder ontbreekt het vaak aan kennis en expertise op het gebied van LCC. Ook kunnen de uitvoerders van een LCC methodiek problemen ondervinden met het identificeren van alle relevante 'cost drivers' (Ferrin en Plank 2002).
- *Beschikbaarheid van informatie en tijd*  
Het kan lastig zijn om alle relevante informatie voor een LCC aan het licht te krijgen omdat informatiesystemen er niet voor gemaakt zijn om relevante LCC gegevens te registreren. Dit kan er voor zorgen dat een LCC-analyse erg arbeidsintensief is. Dit is voor de meeste bedrijven dan ook de reden om LCC niet of maar gedeeltelijk toe te passen omdat men denkt dat de kosten van een dergelijke analyse en gegevensregistratie niet opwegen tegen de besparingen die ermee gerealiseerd worden.

### **3.3 Toepassing van LCC in de praktijk**

In de literatuur is er relatief veel onderzoek gepleegd naar de manier waarop bedrijven LCC toepassen (Ellram 1993a, 1993b, Ellram en Siferd 1993, 1998, Ferrin 2002).

Ellram en Siferd (1998) concluderen dat LCC vooral wordt toegepast bij aankopen met een relatief hoge geldwaarde en Ferrin (2002) concludeert onder andere dat bedrijven als eerst LCC toepassen op kapitaalgoederen. Bedrijven doen dit, omdat ze verwachten dat er met de toepassing van LCC op deze aankopen een hoge kostenreductie behaald kan worden.

Veel bedrijven maken op een informele manier gebruik van LCC. Zo wordt er bijvoorbeeld bij een leverancierskeuze rekening gehouden met de kwaliteit of levertijd van een leverancier, maar deze factoren worden niet kwantitatief gemaakt. Ellram (1993a) definieert een LCC model als een formele methode wanneer alle kostenfactoren expliciet worden gemaakt en in euro's worden uitgedrukt. In het genoemde voorbeeld zou er onder andere bepaald moeten worden wat het de organisatie kost wanneer een product te laat geleverd wordt. Op basis van een schatting van het verwachte aantal late leveringen van een leverancier, kan er uitdrukking worden gegeven aan de kosten voor te laat leveren.

### **3.4 Algemene LCC modellering**

Veel bedrijven uit het onderzoek van Ellram (1993a) begonnen de implementatie van LCC door een pilot-project uit te voeren. De resultaten van dit project zullen er volgens haar voor zorgen dat de organisatie zich bewust wordt van de voordelen die een LCC aanpak kan bieden. Om een LCC analyse zo optimaal mogelijk uit te voeren, is breed draagvlak binnen de organisatie van groot belang. Vooral de betrokkenheid van het top-management kan met een pilot-project worden vergroot om zo de LCC methodiek breder te implementeren en middelen beschikbaar te stellen om deze implementatie mogelijk te maken (Ellram 1993a).

#### **3.4.1 LCC raamwerk**

Voor het uitvoeren van de LCC analyse voor dit onderzoek, wordt er gebruik gemaakt van het raamwerk dat Ellram (1993b) in haar artikel omschrijft. Andere stappenplannen zoals die van Coorens (2001) komen hier in grote lijnen mee overeen. Toch is er voor gekozen om het raamwerk van Ellram te beschrijven omdat de stappen intuïtiever (logischer) zijn opgebouwd dan bij Coorens. Ellram onderscheidt bij de uitvoering van een LCC analyse 8 stappen die hieronder beschreven worden (figuur 1):

- *Stap 1: Identificeer de context van de analyse*  
Waarom wil de organisatie LCC gaan gebruiken? Het bepalen van de context van de analyse is van belang om te bepalen welke resultaten de analyse moet opleveren.
- *Stap 2: Bepaal de aankopen waarvoor de analyse wordt uitgevoerd*  
Aangezien een LCC analyse erg arbeidsintensief is, zou de analyse alleen toegepast moeten worden op objecten waar het kostenreductie potentieel groter is dan de kosten van het modelleren.
- *Stap 3: Stel een LCC team samen*  
Voor een LCC analyse moet er veelal handmatig gegevens worden verzameld vanuit alle afdelingen binnen een organisatie. Een LCC team zou om die reden bij voorkeur uit leden moeten bestaan uit verschillende disciplines. Bijkomend voordeel is dat op deze manier alle afdelingen bij de LCC implementatie worden betrokken.  
Verder is het van belang om een projectleider aan te stellen die de eindverantwoording neemt om het project in goede banen te leiden. Ook is hij degene die de aannames en onderliggende formules in de toekomst op hun houdbaarheid blijft toetsen.

- *Stap 4: Identificeer relevante kosten*

- a. *Kosten identificatie*

Om alle kosten te identificeren, stelt Ellram (1993a) voor om allereerst alle activiteiten in de gehele levensduur van een object te beschrijven. De methode om deze activiteiten te bepalen wordt besproken in 3.4.2. Per activiteit kan er vervolgens bepaald worden uit welke kostenelementen deze activiteiten bestaan (3.4.3).

- b. *Selecteren van relevante kosten*

In de LCC analyse moet er een afweging worden gemaakt welke kosten de moeite van het onderzoeken waard zijn omdat tijd en middelen beperkt zijn. Er zal een balans gevonden moeten worden tussen de exactheid en bruikbaarheid van het model tegenover de kosten van het modelleren. Sommige bedrijven maken daarbij gebruik van de ‘pareto’ principe (Ellram 1993b) die aanneemt dat 20% van de kostenelementen, 80% van de kosten bepalen.

- c. *Verzamelen van kosten gegevens*

In deze fase moeten de feitelijke kosten gegevens worden bepaald. Afhankelijk van het bestaande administratieve systeem, zal veel informatie handmatig moeten worden verkregen vanuit verschillende functies in de organisatie.

- d. *Documenteren*

Om de LCC analyse ook in de toekomst toe te kunnen passen, moet er gedocumenteerd worden van waaruit alle kosteninformatie is verkregen. Verder moeten alle aannames en onderliggende formules en algoritmes worden vastgelegd zodat de analyse zo transparant mogelijk wordt weergegeven. Op deze manier kan er van tijd tot tijd door de LCC projectleider (zie stap 3) worden getoetst of deze aannames nog steeds houdbaar zijn (zoals salarissen, energieprijzen e.d.).

- *Stap 5: Verificatie van het model*

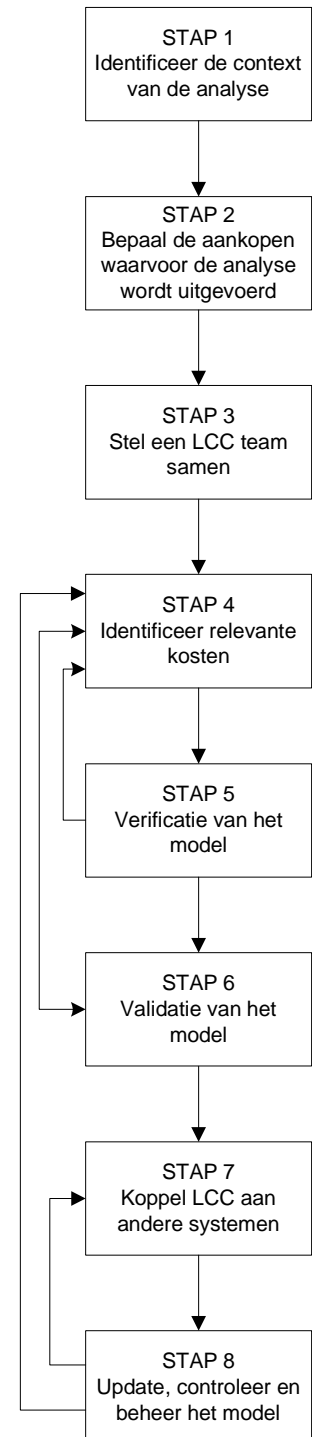
In deze fase wordt de LCC analyse geverifieerd. Alle data worden in het model gezet en er wordt gekeken of uitkomsten logisch volgen uit de gedocumenteerde informatie (herkomst van de data, aannames, formules en algoritmes). Indien nodig kan er worden teruggekeerd naar stap 4.

- *Stap 6: Validatie van het model*

Bij de validatie van het model wordt er gekeken of de uitkomsten van het model hout snijden en bruikbaar zijn voor het doel waarvoor het model is opgesteld. Net als bij de verificatie (stap 5) kan het tijdens de validatie van het model noodzakelijk zijn om terug te keren naar stap 4.

Merk op dat het verschil tussen verificatie en validatie: verificatie is het model controleren in zichzelf terwijl bij validatie de uitkomsten van het model vergeleken worden met de realiteit. De uitkomsten in de realiteit kunnen onbekend zijn wanneer ze in de toekomst liggen. De validatie van het model zal daarom gebaseerd moeten worden op historische gegevens (indien aanwezig).

In de validatie fase kan er ook een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd om te kijken hoe een verandering in een van de kostenelementen de uitkomst beïnvloedt.



**figuur 1: Raamwerk voor LCC modellering (Ellram 1993b)**



- Stap 7: Koppel LCC aan andere systemen*

Volgens Ellram (1993b) zijn er drie systemen waaraan LCC gekoppeld kan worden: evaluatie-, educatie- en computer systemen.

*Evaluatie systemen:* Tijdens het gebruik van een object kunnen de werkelijke kosten vergeleken worden met de vooraf bepaalde kosten in de LCC analyse om op die manier de prestaties van systemen en personeel te evalueren. Deze informatie kan door het management worden gebruikt om de onderhoudstrategie en procesbeheersing aan te passen.

*Educatie systemen:* Het personeel van verschillende disciplines zal bekend moeten worden met de LCC methode om relevante informatie voor een LCC analyse te kunnen leveren en resultaten op de juiste manier te interpreteren.

*Computer systemen:* Voor een brede implementatie van LCC bieden computersystemen een goede ondersteuning om relevante LCC gegevens te verzamelen. Zolang de registratie van noodzakelijke LCC data niet geautomatiseerd is, zal een LCC analyse een arbeidsintensief proces blijven omdat alle informatie handmatig verkregen moet worden. Bovendien zal de nauwkeurigheid van een LCC analyse niet optimaal zijn omdat kostenschattingen niet gebaseerd kunnen worden op historische gegevens, maar op schattingen van experts.
- Stap 8: Update, controleer en beheer het model*

Bij het LCC model moet regelmatig worden gecontroleerd of de herkomst van de data, aannames, formules en algoritmes nog steeds houdbaar zijn. Bovendien zal er gecontroleerd moeten worden of het LCC model nog steeds zijn doelstellingen haalt.

### 3.4.2 Bepaling van activiteiten

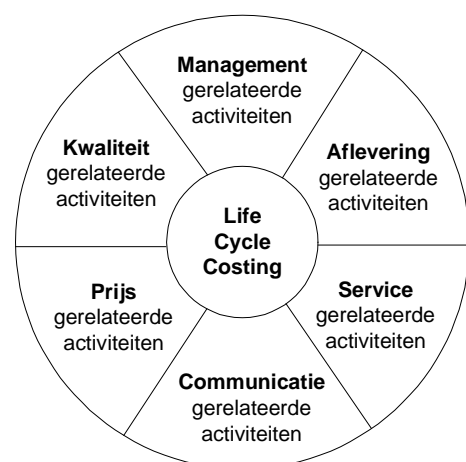
Om alle activiteiten gedurende de gehele levensduur van een object te beschrijven, stelt Ellram (1993a) voor om een flowchart op te stellen. Deze flowchart valt op het hoogste niveau onder te verdelen in vier fasen: ontwerp en ontwikkeling, productie, exploitatie, afstoting (figuur 2). Andere auteurs maken een soortgelijke onderverdeling in de levensduur van een installatie (Coorens 2001, Rebitzer 2003).



**figuur 2: Flowchart van de levensduur van een installatie**

Wanneer het onderwerp van de LCC analyse betrekking heeft op productiemiddelen (zoals in dit onderzoek), stelt Coorens (2001) dat activiteiten bepaald kunnen worden door de werking van het systeem te beschrijven en een onderverdeling te maken van de componenten waaruit de installatie bestaat (systeem definitie). Van het systeem zou vervolgens de onderhoudsorganisatie en de operationele omstandigheden waaronder het object functioneert, beschreven moeten worden.

Ellram en Siferd (1993) onderscheiden 6 activiteitscategorien bij de inkoop van goederen op basis van case-studies van bedrijven die LCC toepassen (figuur 3). Verder wordt er in hetzelfde artikel een uitgebreide opsomming gegeven van mogelijke activiteiten die voortvloeien uit deze activiteitgebieden.



**figuur 3 : Activiteitgebieden bij inkoop (Ellram en Siferd 1993)**

Dit model is voornamelijk gericht op de inkoop van productiegoederen en daarom minder goed bruikbaar voor de aanschaf van kapitaalgoederen.

### **3.4.3 Bepaling van kostenelementen**

Wanneer alle activiteiten zijn bepaald, kunnen de kostenelementen per activiteit worden opgesteld. De literatuur geeft veel opsommingen van kostenelementen die een rol kunnen spelen in de levensduur van een installatie (Ellram en Siferd 1993, Coorens 2001, Ferrin en Plank 2002). De opsomming van mogelijke kostenelementen uit de artikelen kan worden gebruikt om de kostenelementen voor een specifieke (sub)installatie te bepalen en om te verifiëren of er geen kostenelementen in de analyse ontbreken.

## **3.5 Conclusie**

Het doel van een Life Cycle Costing analyse is om verder te kijken dan de aankoop prijs van een productiemiddel, door vast te stellen wat het de organisatie werkelijk kost om een productiemiddel tijdens de gehele levenscyclus te gebruiken, te onderhouden en af te breken.

LCC kan ondersteuning bieden bij het maken van beslissingen, het meten van prestaties, inzicht en begrip geven in de impact van kosten van een object en ondersteuning bieden voor een continue verbetering van de organisatie. De barrières bij het toepassen van LCC zijn de cultuur (weerstand tegen verandering), het kennisniveau en de beschikbare informatie en tijd. In de praktijk passen bedrijven LCC meestal voor het eerst toe op goederen met een relatief hoge geldwaarde zoals kapitaalgoederen. Veel bedrijven maken op een informele manier gebruik van LCC door kostenelementen wel (kwalitatief) mee te nemen in de analyse maar deze niet expliciet (kwantitatief) te maken.

Ellram (1993b) onderscheidt bij de uitvoering van een LCC analyse 8 stappen (figuur 1):

*Stap 1: Identificeer de context van de analyse*

*Stap 2: Bepaal de aankopen waarvoor de analyse wordt uitgevoerd*

*Stap 3: Stel een LCC team samen*

*Stap 4: Identificeer relevante kosten*

*Stap 6: Validatie van het model*

*Stap 7: Koppel LCC aan andere systemen*

*Stap 8: Update, controleer en beheer het model*

Om de relevante kosten te bepalen (stap 4), moeten eerst de activiteiten in de levenscyclus van een object worden bepaald die op het hoogste niveau in 4 fases valt onder te verdelen: ontwerp en ontwikkeling, productie, exploitatie en afstoting (figuur 2).

Verder stelt Coorens (2001) dat activiteiten van productiemiddelen bepaald kunnen worden door het systeem te definiëren, de onderhoudsorganisatie en de operationele omstandigheden te beschrijven. Tenslotte kunnen de activiteiten worden bepaald op basis van de 6 activiteiten categorieën die door Ellram en Siferd (1993) worden onderscheiden (figuur 3).

Per activiteit worden vervolgens de kostenelementen bepaald op basis van de opsommingen in de literatuur (Ellram en Siferd 1993, Coorens 2001, Ferrin en Plank 2002).

## 4 Beschrijving van de gistinginstallatie en de alternatieven

In dit hoofdstuk wordt er in 4.1 een beschrijving van het gistingsproces gegeven (onderzoeksvraag 2a). Vervolgens worden in 4.2 de alternatieven voor de renovatie uitgelegd (onderzoeksvraag 2b).

### 4.1 Het gistingsproces

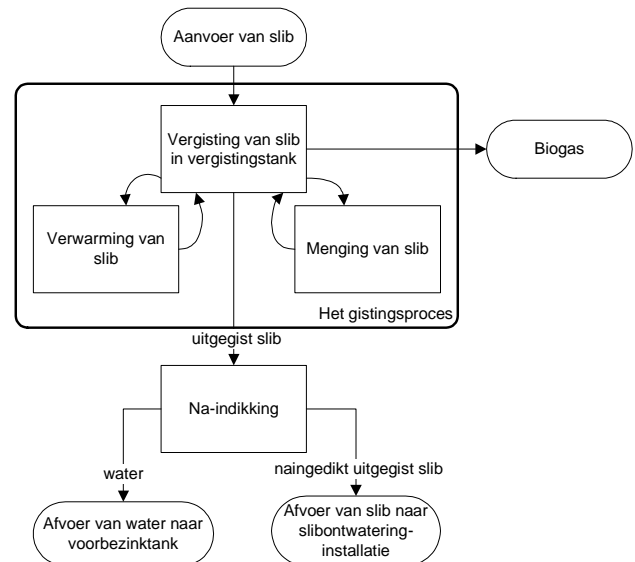
Het gistingsproces valt onder te verdelen in 2 subprocessen zoals aangegeven in figuur 4:

- *Verwarming van slib*
- *Menging van slib*

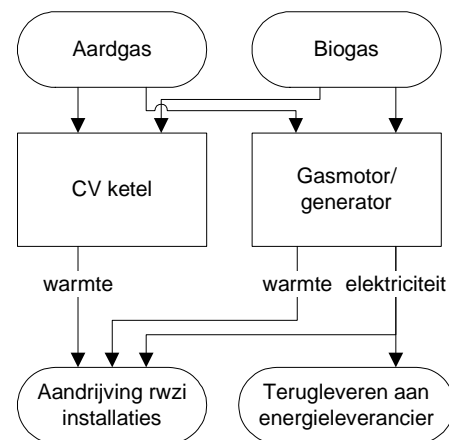
#### 4.1.1 Voordelen van vergisting

De voordelen van vergisting zijn:

- *Slibvolume reductie*  
Door vergisting neemt het slibvolume met minimaal 30 % af. Bovendien is uitgegist slib beter te ontwateren waardoor het slibvolume bij de ontwatering verder gereduceerd wordt. Door de realisatie van een hoger drogestof percentage van het ontwaterde slib wordt bespaard op de transportkosten en op de energiekosten bij het slib droogingsproces. Er hoeft immers minder water verdampt te worden tijdens het droogproces.
- *Biogas productie*  
Het gistingsproces levert biogas (methaan) dat als brandstof wordt gebruikt om elektriciteit mee op te wekken. De elektriciteitsopwekking levert bovendien warmte op die gebruikt kan worden bij rwzi processen (zoals de opwarming van slib). De opgewekte elektriciteit kan voor de eigen machines worden benut of worden teruggeleverd aan de energieleverancier. In figuur 5 wordt dit proces schematisch weergegeven zoals dit na de renovatie van de rwzi Venray zal plaatsvinden.
- *Verminderde vervuiling van de natuur*  
Wanneer het biogas niet tijdens een gistingsproces aan het slib onttrokken zou worden, zou dit methaan in de vrije natuur terecht komen. Door het gas onder gecontroleerde omstandigheden op te vangen en in te zetten voor energieopwekking, is er sprake van een reductie van vervuiling en belasting van de natuur aangezien methaangas wordt beschouwd als een broeikasgas.



figuur 4: Het gistingsproces



figuur 5: Biogas productie

#### 4.1.2 Slib samenstelling

Bij de samenstelling van slib, is er een onderscheid te maken tussen twee hoofdcomponenten:

- *Organisch materiaal*
- *Asrest*

Het organisch materiaal is het deel van het slib dat kan vergisten in de gistingstank. De asrest is het niet-organische materiaal. Tijdens de vergisting wordt een deel van het organische stof afgebroken waardoor het percentage asrest tijdens de vergisting toeneemt.

Het slibvolume wordt uitgedrukt in het aantal m<sup>3</sup>. Daarnaast is de droge stof vracht van het slib van belang. Dit is het aantal kilogram droge stof die er over blijft wanneer het slib 100 % ontwaterd zou zijn. Vooral de verwerkingskosten van slib hangen af van de droge stof vracht. De verhouding tussen de droge stof vracht en het aantal m<sup>3</sup> slib, wordt uitgedrukt als het droge stof percentage (D.S.): het aantal ton droge stof per m<sup>3</sup> slib.

$$\text{Droge stof percentage} = \frac{\text{Aantal ton droge stof}}{\text{Aantal m}^3 \text{ slib}}$$

Het droge stof percentage geeft de mate van ontwatering (dikheid) van het slib weer. Tijdens vergisting zal de droge stof vracht afnemen omdat een deel van het droge stof (in de vorm van organisch materiaal) wordt omgezet in gassen (o.a. biogas, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S).

Wanneer in dit verslag over nat slib wordt gesproken dan heeft dit slib een droge stof percentage van minder dan 20 %. Bij een droge stof percentage > 20 %, spreken we van ontwaterd slib. Ontwaterd slib is niet meer vloeibaar en wordt in containers vervoerd.

### 4.1.3 Factoren voor biogasproductie rendement

Er zijn een aantal zaken die het rendement van gisting en de biogasproductie beïnvloeden:

- *Voeding*  
De hoeveelheid en de samenstelling van het aangevoerde slib hebben invloed op de biogasproductie. Hierbij speelt het percentage organische materiaal een belangrijke rol omdat dit het gistbare (afbreekbare) deel van het slib is.
- *Temperatuur*  
Het gistingproces functioneert optimaal wanneer het slib onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden een temperatuur tussen de 32 en 37 °C heeft.
- *Verblijftijd*  
Om het slib volledig uit te laten gisten, moet het slib onder optimale omstandigheden gemiddeld minimaal 20 dagen in de gistingstank verblijven.
- *Homogeniteit van de slibmassa*  
Het is van belang dat de slibmassa in de gistingstank goed gemengd wordt om te voorkomen dat nieuw slib weer snel wordt afgevoerd. Het slib zou in dat geval niet voldoende zijn uitgegist omdat het minder dan 20 dagen in de gistingstank is verbleven. De menging gaat moeizamer wanneer het aangevoerde slib al in hogere mate ontwaterd is. In dat geval zou het slibvolume afnemen, waardoor de capaciteit van de gistingstank beter benut wordt. Daarentegen wordt het slib een dikkere massa en het mengsysteem zal daarom meer moeite moeten doen om de homogeniteit van de slibmassa op hetzelfde niveau te houden (roeren in een glas water is makkelijker dan in een pot stroop).
- *Frequentie en duur van onderhoud*  
Tijdens het plegen van onderhoud zal de gistingsinstallatie in sommige gevallen buiten bedrijf worden genomen, waardoor de biogasproductie stagneert. Wanneer zelfs de hele tank moet worden leeggemaakt, moet het gistingproces daarna opnieuw worden opgestart (nieuwe slib aanvoeren, slib verwarmen). Bovendien moet het aangevoerde slib tijdelijk worden gebufferd of ongegist worden afgevoerd.

### 4.1.4 Huidige gistingmethode

In de huidige situatie wordt de verwarming van slib door een externe warmtewisselaar verzorgd. Het slib wordt vanuit de gistingstank naar een machinegebouw gepompt waar het slib in een spiraalconstructie langs leidingen met warm water wordt geleid en op die manier

wordt opgewarmd. Het slib wordt gemengd door het gas in de tank aan de bovenkant op te vangen en door middel van 13 gaslansen in te brengen in het slib. Met behulp van een gascompressor wordt het gas op deze manier gerecirculeerd. Het slib verlaat de tank door middel van een overloop aan de bovenkant van de tank.

Het gistingproces van de huidige situatie is schematisch weergegeven in figuur 6.

#### 4.1.5 Nadelen van de huidige gistingmethode

- *Schuimvorming*

De gaslansen injecteren het gas in het slib die in een belvorm hun weg door het slib gaan. De menging vindt hoofdzakelijk in de directe omgeving van de lans plaats. De gasbellen resulteren aan de oppervlakte van het slib in een harde droge drijfslaag en bevorderen de schuimvorming. Vooral voor de afvoer van het gas is dit nadelig, omdat door deze schuimvorming de gasleidingen verstopt raken wat resulteert in meer onderhoud.

Momenteel is er in Venray nog geen sprake van schuimvorming, maar door de aanpassingen bij de renovatie van de rwzi wordt er bij de huidige mengmethode in de toekomst wel schuimvorming verwacht.

Om schuimvorming tegen te gaan worden er kostbare chemicaliën aan het slib toegevoegd.

- *Sedimentafzetting*

Sediment zet zich af op plekken waar het slib de kans krijgt om te bezinken (vooral de hoeken en de niet gemengde ruimtes tussen de gaslansen). Door deze groeiende sedimentafzetting wordt de effectieve capaciteit van de gistingtank verkleind. Bij rwzi's zonder zandvang (niet het geval in Venray) kan het zand in de gistingstank wel 20% van de capaciteit innemen. Het sediment is bovendien een hard gesteente dat moeilijk te verwijderen is tijdens onderhoud.

- *Energieverbruik*

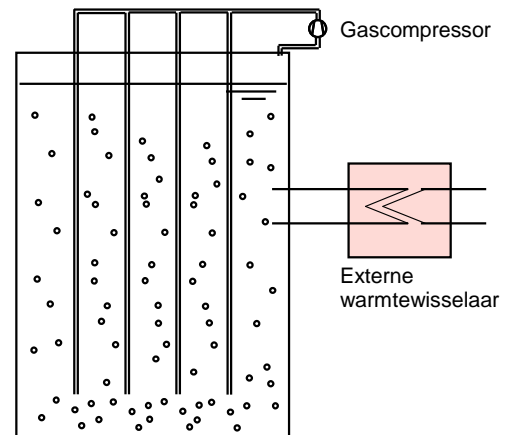
Het recirculeren van gas zorgt voor een groot energieverbruik van de gascompressor (20 kW). Vooral wanneer het slib een hoog drogestof gehalte heeft, zal de compressor veel energie verbruiken om het gas door het slib te blazen.

Verder moet het slib voor de slibverwarming naar een machinekamer worden verpompt (5,5 kW) en moet het slib worden verwarmd (gemiddelde warmtebehoefte is 100 kW (bijlage C.3)).

- *Slechte menging*

Het principe van de gaslansen heeft de neiging om vooral het slib dat dicht bij de gaslans ligt, snel te laten circuleren terwijl het slib dat verder bij een gaslans vandaan ligt relatief minder beweegt. Dit zorgt ervoor dat de homogeniteit van de slibmassa niet optimaal is wat negatieve gevolgen heeft voor de rendement van de gisting (zie 4.1.3: Factoren voor biogasproductie rendement).

Een slechte menging zorgt er bovendien voor dat vetten de kans krijgen om los te komen van het slib. De vetten stijgen naar de oppervlakte waardoor een drijfslaag ontstaat (drijfslaagvorming) die het gistingproces laat stagneren. Doordat het drijfslaag materiaal wordt verpompt is de kans op verstopping van het verwarmingssysteem reëel aanwezig. Om de drijfslaag te verwijderen moet de gistingstank uit bedrijf worden



figuur 6: Schematische weergave van de huidige werking van de gistingstank

genomen. De tank moet hierbij worden geopend waarbij de omgeving en de onderhoudsmensen worden blootgesteld aan het biogas. Dit onderhoud is daarom aan strikte veiligheidsrichtlijnen gebonden.

- *Veiligheidsrichtlijnen*

Bij vergisting komt ook het gas waterstofsulfide ( $H_2S$ ) vrij die bij 50 ppm (parts per million) al dodelijk kan zijn. Het gas ruikt naar rotte eieren, maar bij een te hoge blootstelling verdooft het gas de reukorganen. Verder is het biogas licht ontvlambaar waardoor er ook veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden in verband met het explosiegevaar (ATEX wetgeving). Bij de gasinblazing methode wordt het biogas gerecirculeerd waardoor er meer veiligheidsmaatregelen nodig zijn dan wanneer het biogas niet gerecirculeerd wordt.

## 4.2 Gistinginstallatie alternatieven

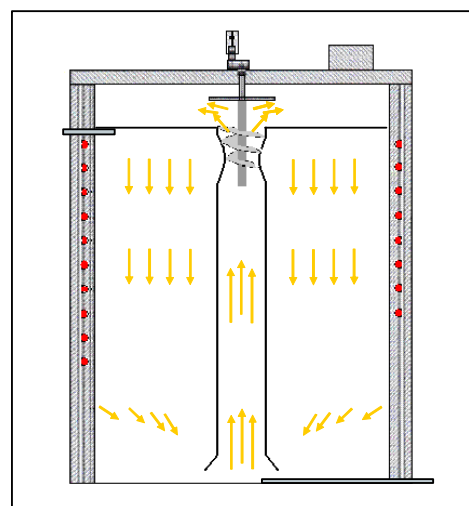
De gascompressor en de externe warmtewisselaar van de rwzi Venray zijn dringend aan vervanging toe omdat de componenten het einde van hun technische levensduur al met meerdere jaren hebben overschreden. Het adviesbureau Royal Haskoning uit Nijmegen heeft het Waterschapsbedrijf Limburg daarom verschillende alternatieven voorgesteld voor de renovatie van de gistinginstallatie. De alternatieven zijn (gedeeltelijk) gebaseerd op het Columbus concept dat sinds 2008 door Royal Haskoning is gepatenteerd (figuur 7).

### 4.2.1 Het Columbus concept

De menging wordt bij de Columbus verkregen door het slib door een holle buis in het centrum van de tank te transporteren. Een vijzel zuigt het slib door deze buis naar boven. Door een spatplaat boven de vijzel wordt het slib over de gehele breedte van de tank verspreid. In figuur 7 wordt het slib aangevoerd in de linker bovenhoek en vindt de afvoer aan de onderkant plaats.

De verwarming van het slib wordt bewerkstelligd door verwarmingselementen in of op (bij een bestaande gistingstank) de wanden van de gistingstank te plaatsen.

In tegenstelling tot de weergave in figuur 7, zal de tank in werkelijkheid aan de boven- en onderkant tabs toelopen om de ei-vorm te benaderen waardoor sedimentafzetting wordt voorkomen. De tankvorm van de rwzi Venray blijft echter gehandhaafd. Deze zal dus niet het ei-vorm model krijgen maar zijn cilindervorm behouden.



figuur 7: Het Columbus concept

### 4.2.2 Voordelen van de Columbus

- *Minder exploitatiekosten*

- Minder componenten

De Columbus beschikt over minder componenten dan de huidige gistingmethode (één motorgroep op het dak en één recirculatie pomp) waardoor de exploitatie kosten lager zijn. Verder komt de slibverwarmingsruimte te vervallen en behoort het ontstoppen van het systeem tot het verleden.

- Geen drijfslagvorming

De menging van de Columbus voorkomt drijfslagvorming en daarmee ook de onderhoudskosten voor het verwijderen van deze drijfslag.

- Geen schuimvorming  
De Columbus voorkomt het optreden van schuimvorming waarmee de kosten voor chemicaliën worden bespaard en de leidingen een langere levensduur hebben.
- Minder sedimentvorming  
Door verbeterde menging en de centrale slibafvoer zal er minder sedimentafzetting zijn. De verbeterde menging zorgt ervoor dat het sediment niet de kans krijgt om te bezinken en de centrale slibafvoer maakt het mogelijk dat het sediment samen met het slib wordt afgevoerd.
- Simpele mengmethode  
De mengvijzel is een simpelere constructie dan de gascompressor en zal daarom een lagere onderhoudsfrequentie nodig hebben en daarmee lagere onderhoudskosten.
- Eenvoudige veiligheidsvoorzieningen  
Bij de Columbus is er geen sprake van de recirculatie van gas, dus is er minder kans dat er biogas uit het leidingwerk lekt (H<sub>2</sub>S- en explosie gevaar). De ATEX richtlijn geldt bij de Columbus alleen voor de motorgroep op het dak van de gisting. De gascompressor ruimte met zijn dure ATEX voorzieningen komt in zijn geheel te vervallen.
- *Minder energieverbruik*
  - Efficiëntere slibverwarming  
In het huidige gistingsproces is er veel energie nodig om het slib naar een externe warmtewisselaar te verpompen. Bij de Columbus hoeft het slib de gistingstank niet te verlaten voor de slibverwarming en worden de kosten voor slibtransport dus bespaard. Tevens kan het slibverwarmingssysteem niet meer verstopt raken, omdat er alleen warmwater wordt gerecirculeerd.
  - Mengmethode met vijzel verbruikt minder energie dan gascompressor  
De mengvijzel zorgt voor een betere slibmenging maar verbruikt desondanks minder energie omdat de opvoerhoogte van de vijzel uiteindelijk maar 60 cm bedraagt.
- *Betere vergisting / hogere biogas opbrengst*
  - Hogere drogestof gehalte mogelijk  
Door het drogestofgehalte van het slib te vergroten, kan de slibconcentratie verhoogd worden wat in een hogere biogasopbrengst resulteert. Gasinblazing kan maximaal een drogestof gehalte van 6% aan terwijl de Columbus slib kan verwerken met maximaal 10% D.S.
  - Homogene tankinhoud  
De verbeterde menging zorgt voor een homogene tankinhoud waardoor de verblijftijd van slib verlaagd wordt. Het slib vergist beter wat in een hogere biogasopbrengst en een hogere reductie van het slibvolume (lagere verwerkingskosten) resulteert. Royal Haskoning is er tot nu toe nog niet in geslaagd om te bewijzen dat het Columbus concept in vergelijking met de traditionele slibgisting een hogere biogasproductie en slibafbraak oplevert. We zullen in dit onderzoek daarom aannemen dat de biogasproductie en het afbraakpercentage voor beide methodes gelijk is.

#### 4.2.3 Nadelen van de Columbus

- *Hogere investeringskosten*  
Bij de nieuwbouw van een gistingsinstallatie is de bouw volgens het Columbus concept even duur als volgens de huidige methode. De gistinginstallatie van Venray is een bestaande installatie waardoor er een kostenverschil tussen het huidige en het Columbus concept zal zijn. Wanneer het huidige concept wordt gehandhaafd, hoeven alleen de meest kritieke componenten vervangen te worden terwijl bij de Columbus het volledige meng-, verwarmings-, en afvoersysteem aangepast moeten worden.

- *Grotere onzekerheid over bouw- en exploitatiekosten*
  - Het zal moeilijk zijn om alle bouw- en exploitatiekosten nauwkeurig in te schatten omdat de Columbus momenteel alleen bestaat als concept. De verschillende elementen (mengsysteem, verwarming, afvoer) van het Columbus concept zijn onafhankelijk van elkaar in de praktijk toegepast, maar deze elementen zijn nog nooit gecombineerd zoals bij de Columbus.  
Daarentegen heeft het traditionele gistingssysteem in de afgelopen 30 jaar zijn dienst al bewezen en kan er op basis van de kosten in het verleden een goede aanname worden gedaan voor de verwachte kosten in de toekomst.
  - Bij de bouw en/of exploitatie kan blijken dat het Columbus concept niet compatibel is met de gistingstank. Dit kan tijdens de bouw voor meerwerk en/of tijdens de exploitatie voor extra onderhoud- of beheerskosten zorgen. Vooral de dakconstructie is voor het WBL een punt van zorg, omdat het dak bij de Columbus meer gewicht moet kunnen dragen (van de mengaandrijving). Bij het Columbus concept wordt er gebruik gemaakt van de pompbuis als ondersteuning van de dakconstructie om dit probleem te ondervangen.

#### 4.2.4 Voorgestelde alternatieven voor de gistinginstallatie

Bij de opbouw van de alternatieven worden er 3 onderdelen van de installatie onderscheiden:

- *Mengmethode (gasmenging of mengvijzel)*
- *Slibafvoer (huidige overloop behouden of centrale slibafvoer installeren)*
- *Slibverwarming (extern of intern)*

De alternatieven worden hieronder besproken en zijn schematisch weergegeven in tabel 1.

*Optie 1:* Gistingstank met gasmenging en externe warmtewisselaar

Bij deze optie wordt de huidige methode van menging, slibafvoer en -verwarming behouden en worden de componenten vervangen of gereviseerd.

*Optie 2:* Gistingstank met mengvijzel en externe warmtewisselaar

In optie 2 wordt alleen de mengmethode aangepast volgens het Columbus concept. De slibafvoer en –verwarming wordt gereviseerd volgens de huidige methode.

*Optie 3:* Gistingstank met mengvijzel, centrale slibafvoer en externe warmtewisselaar

Afgezien van de externe warmtewisselaar wordt dit concept uitgevoerd volgens het Columbus concept.

*Optie 4:* Gistingstank met mengvijzel, centrale slibafvoer en interne warmtewisselaar

Dit alternatief is volledig volgens de Columbus methode.

	<i>Menging</i>	<i>Slibafvoer</i>	<i>Slibverwarming</i>	<i>Opmerkingen</i>
<i>Optie 1</i>	Gasmenging	Overloop	Extern	Renovatie van bestaande gistingmethode
<i>Optie 2</i>	Mengvijzel	Overloop	Extern	Alleen menging volgens het Columbus concept
<i>Optie 3</i>	Mengvijzel	Centraal	Extern	Menging en slibafvoer volgens Columbus concept
<i>Optie 4</i>	Mengvijzel	Centraal	Intern	Volledig Columbus concept

**tabel 1:** Schematische weergave van de vergisting alternatieven



### **4.3 Conclusie**

Het gistingproces valt onder te verdelen in het mengen en het verwarmen van slib. De voordelen van vergisting zijn slibvolume reductie, biogas productie en een verminderde vervuiling van de natuur. Slib is samengesteld uit organisch materiaal en asrest. Uit het organische materiaal kan biogas worden onttrokken. De factoren die een rol spelen bij het rendement van biogasproductie zijn de voeding, de temperatuur, de verblijftijd, de homogeniteit van de slibmassa en de frequentie en duur van onderhoud.

Bij de huidige gistingmethode (figuur 6) wordt het slib gemengd door middel van de recirculatie van het biogas. Het slib wordt verwarmd door het langs een externe warmtewisselaar te pompen. De nadelen van deze gistingmethode zijn schuimvorming, sedimentafzetting, het energieverbruik, slechte menging en de veiligheidsrichtlijnen.

Het Columbus concept (figuur 7), dat door Royal Haskoning is ontwikkeld, mengt het slib door middel van een mengvijzel. De verwarming wordt bewerkstelligd door een interne warmtewisselaar. De Columbus heeft als voordelen dat er bij deze methode sprake is van minder onderhoudskosten, minder energieverbruik en een betere vergisting / hogere biogas opbrengst. De Columbus heeft als nadeel dat de investeringskosten hoger zijn en dat er een grotere onzekerheid is over bouw- en exploitatiekosten.

De gistingsopties die in dit verslag aan een LCC analyse worden onderworpen, zijn gebaseerd op de huidige gistingmethode (optie 1) en het Columbus concept (optie 4). Bij optie 2 wordt alleen de menging uitgevoerd volgens het Columbus concept. Bij optie 3 worden zowel menging en slibafvoer volgens Columbus concept geïnstalleerd.



## 5 Identificatie van relevante kostenelementen

Dit hoofdstuk dient ter beantwoording van de 3<sup>e</sup> onderzoeksvraag:

*Welke kostenelementen kunnen er met betrekking tot de vergistinginstallatie alternatieven gedefinieerd worden?*

De indeling van de paragrafen volgt de volgorde van de sub-vragen van deze onderzoeksvraag. Allereerst worden de activiteiten tijdens de levenscyclus bepaald (5.1). Vervolgens worden de kostenelementen per activiteit gedefinieerd (5.2) en tenslotte wordt de relevantie van kostenelementen onderzocht (5.3).

In paragraaf 3.4.2 en 3.4.3 is beschreven hoe de activiteiten en kostenelementen volgens de literatuur bepaald kunnen worden. Deze theorie zal worden gebruikt om de activiteiten en kostenelementen van de gistinginstallatie te definiëren.

### 5.1 Bepalen van activiteiten

De flowchart in figuur 8 beschrijft de activiteiten in de levensduur van de gistinginstallatie op het hoogste abstractieniveau (Coorens, 2001). Voor de benaming van de activiteiten is gebruik gemaakt van de termen zoals die in het financiële systeem van het WBL (CODA) worden gebruikt. De afstotingactiviteit kan als onderdeel worden gezien van de aanvang/uitvoering van het project dat aan het eind van de levensduur gestart zal worden om de installatie te reviseren. Merk op dat we de levensduur van de gistinginstallatie definiëren als de tijdsspan tussen de revisiemomenten van de gistingstank. Andere definities zijn ook mogelijk (bijvoorbeeld van de wieg tot het graf), maar onze definitie sluit het beste aan bij het doel om de verschillende gistingsopties met elkaar te vergelijken. De levensduuractiviteiten van de gistingstank zullen per subparagraaf besproken worden.

De activiteiten per levensfase kunnen volgens Coorens (2001) bepaald worden door het beschrijven van de onderhoudsorganisatie en van de operationele omstandigheden waaronder het object functioneert. De operationele omstandigheden zijn al in het vorige hoofdstuk beschreven. De onderhoudsorganisatie zal onder de sectie Exploitatie (5.1.3) van dit hoofdstuk worden besproken. Ook de 6 activiteitscategorïen in het model van Ellram en Siferd (1993) zullen worden gebruikt om alle activiteiten per levensfase te bepalen.

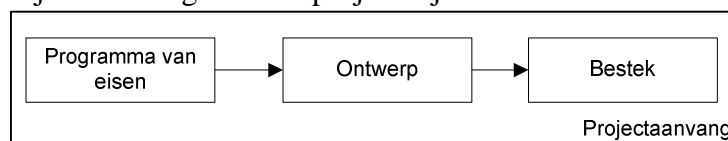


figuur 8: Activiteiten in de levensduur van de gistinginstallatie op het hoogste abstractieniveau

#### 5.1.1 Projectaanvang

Een aantal jaar geleden is het renovatieproject van de rwzi Venray al gestart. In januari 2009 is de renovatie aanbesteed bij een aannemer en het project bevindt zich dus momenteel in de 'projectuitvoering' fase. Daarentegen bevindt het gistinginstallatie project zich nog in de 'projectaanvang' omdat we voor dit onderzoek aannemen dat er nog geen keus is gemaakt en er nog geen ontwerpen gereed zijn.

Bij de aanvang van een project zijn drie kernactiviteiten te onderscheiden (figuur 9):



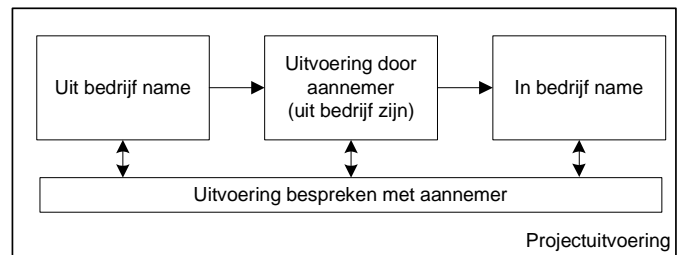
figuur 9: Activiteiten bij projectaanvang

Afhankelijk van de complexiteit van een installatie, kan de ontwerpfase worden onderverdeeld in een technologisch, voor, definitief en functioneel ontwerp. Gezien de geringe omvang en complexiteit van het gistinginstallatie project, zal de ontwerpfase in dit onderzoek niet in deze subfasen worden verdeeld.

We nemen aan dat alle engineering activiteiten voor alle gistingsopties door het adviesbureau Royal Haskoning worden uitgevoerd. Het supportteam bouwzaken zal hierbij de voortgang en de juistheid van de ontwerpen tijdens de ontwerpfase bewaken.

### 5.1.2 Projectuitvoering

Wanneer een project wordt aanbesteed bij een aannemer, begint de uitvoering van het project. Alle (sub)onderdelen van de installatie zijn in de aanvangsfase beschreven in een bestek en er is met de leverancier een prijs overeengekomen waarvoor hij de installatie gaat bouwen.



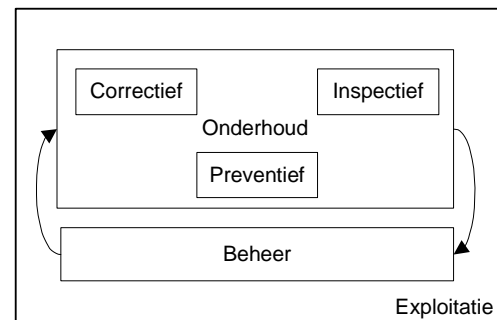
Het te betalen bedrag aan de aannemer kan uiteindelijk afwijken vanwege tussentijdse aanpassingen aan de bouwplannen en wanneer er extra kosten worden gemaakt die toerekenbaar zijn aan het WBL.

Volgens de huidige planning zal de renovatie van de gehele rwzi Venray 2 jaar in beslag nemen. Aangezien de renovatie van de gistinginstallatie pas aan het eind van het Venray-project uitgevoerd zal worden, zullen we aannemen dat de gistinginstallatie pas begin 2011 in gebruik wordt genomen. In de voorafgaande periode zal er nog vaak overleg plaatsvinden om de uitvoering van het project met de aannemer te bespreken om tot overeenstemming te komen over de eventuele 'grijze gebieden' in het bestek. Verder zijn de uit en in bedrijf name van de gistinginstallatie twee activiteiten die extra kosten veroorzaken. De kernactiviteiten voor de projectuitvoering worden beschreven in figuur 10.

**figuur 10: Activiteiten bij de projectuitvoering**

### 5.1.3 Exploitatie

Zoals in figuur 11 is aangegeven, is de exploitatie onder te verdelen in 2 subactiviteiten: onderhoud en beheer. Deze activiteiten volgen niet chronologisch op elkaar, maar vormen een continu proces tijdens de gehele levensduur van de installatie.



Het WBL heeft een nieuwe onderhoudsorganisatie ontworpen die in de komende jaren stapsgewijs geïmplementeerd zal worden. Voor dit onderzoek zal worden aangenomen dat het beheer en onderhoud tijdens de gehele levensduur van de vergistinginstallatie volgens dit nieuwe concept wordt georganiseerd. Alle onderhoudsvormen die hieronder worden beschreven, worden ondersteund door het informatiesysteem MAXIMO. Met dit informatiesysteem wordt op componentniveau de onderhoudshistorie geregistreerd.

**figuur 11: Activiteiten bij de exploitatie**

In de nieuwe onderhoudsorganisatie worden de beheer- en onderhoudsfunctie van elkaar gescheiden. Verder wordt het onderscheid gemaakt tussen verschillende vormen van onderhoud:

- Inspectief onderhoud
- Correctief onderhoud
- Preventief onderhoud

### *Inspectief onderhoud*

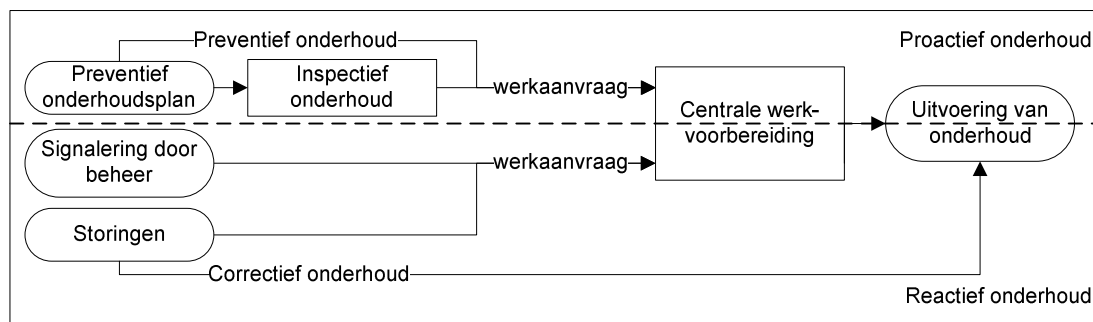
Voor elke (sub)installatie wordt een preventief onderhoudsplan (P&O plan) opgesteld waarin wordt beschreven wanneer bepaalde componenten planmatig geïnspecteerd moeten worden. De frequentie van inspectie hangt af van de levensduur en de complexiteit van het component. Wanneer uit het inspectief onderhoud blijkt dat er actie ondernomen moet worden, zal er een werkaanvraag naar de centrale werkvoorbereiding worden verstuurd. Werkaanvragen kunnen ook automatisch vanuit het P&O plan gegenereerd worden.

### *Correctief onderhoud*

Wanneer er een storing optreedt, zal deze door storingsmonteurs worden verholpen. De monteurs zullen hierbij proberen alleen het hoogst noodzakelijke werk te doen zodat het component voor de korte termijn operationeel blijft. Door middel van een werkaanvraag kan de storing structureel worden verholpen. Met deze werkwijze wordt de storing zoveel mogelijk planbaar gemaakt zodat de personeelbehoefte stabiel blijft.

### *Preventief onderhoud*

Net zoals het inspectief onderhoud, worden preventieve onderhoudstaken uitgevoerd op basis van een P&O plan. Onder preventief onderhoud verstaan we het vervangen of reviseren van installatiecomponenten, terwijl er bij inspectief onderhoud alleen de status van een component wordt geïnspecteerd. In figuur 12 wordt de samenhang tussen de verschillende vormen van onderhoud schematisch weergegeven.



**figuur 12: Uitvoering van onderhoud**

De werkvoorbereiding zal centraal worden aangestuurd om op die manier schaalvoordelen te behalen. In werkelijkheid zal de werkvoorbereiding niet volledig centraal worden uitgevoerd om gebruik te maken van de kennis die de monteurs hebben van de installaties. De installaties zijn namelijk niet gestandaardiseerd omdat het beheer en onderhoud in het verleden per cluster georganiseerd was (5 clusters in de provincie Limburg). Iedere cluster kocht zijn eigen materialen in waardoor de uniformiteit en standaardisatie van componenten en onderdelen ontbreekt.

#### **5.1.4 Afstoting**

Bij een volledige LCC analyse zullen ook de kosten van de afstoting van een installatie berekend moeten worden. In dit onderzoek laten we deze kosten buiten beschouwing omdat we aannemen dat de meeste delen van de gistinginstallatie, net zoals nu, hergebruikt kunnen worden (zoals bijvoorbeeld de betonconstructie van de gistingstank). Bovendien wordt er in dit onderzoek gebruik gemaakt van de netto contante waarde (NCW) methode (7.1) die als eigenschap heeft dat kosten aan het eind van de levensduur minder meetellen dan aan het begin (de verdisconteringfactor is hoger in latere jaren). De kosten voor afstoting worden voor een relatief klein deel meegenomen in de LCC berekening en zijn daarom minder relevant.

## 5.2 Bepalen van kostenelementen

Op basis van voorbeelden uit de literatuur (Coorens 2001, Ellram en Siferd 1993, Ferrin en Plank 2002), in overleg met interne specialisten en door de bestudering van financiële cijfers zijn de kostenelementen per activiteit bepaald. De kostenelementen zullen we vervolgens definiëren in 5.2.1. Er wordt aangenomen dat alle kosten die voortvloeien uit werkzaamheden of de bedrijfsvoering van de gistingstank, zijn in te delen in een van de kostenelementen die in tabel 2 zijn gedefinieerd.

<i>Activiteit</i>	<i>Kostenelement</i>
<u>Projectaanvang</u> Engineering	Personeelskosten Service van derden
<u>Projectuitvoering</u> Uit bedrijf name  Uitvoering door aannemer (uit bedrijf zijn)  In bedrijf name  Uitvoering bespreken met aannemer	Inkomstenderving Transportkosten Personeelskosten Verwerkingskosten Service van derden Inkomstenderving Materiaalkosten Personeelskosten Verwerkingskosten Service van derden Energiekosten Inkomstenderving Transportkosten Personeelskosten
<u>Exploitatie</u> Beheer  Onderhoud	Kapitaallasten Energiekosten Personeelskosten Materiaalkosten Verwerkingskosten Transportkosten Inkomstenderving Materiaalkosten Personeelskosten Service van derden

tabel 2: Kostenelementen per activiteit van de gistingsinstallatie

### 5.2.1 Definitie van kostenelementen

#### *Kapitaallasten*

Ieder project bij het WBL wordt gefinancierd door geld te lenen waarbij de kapitaallasten (afschrijving en rente) worden toegerekend aan de installatie waarvoor het project is uitgevoerd. De kapitaallasten van een project die betrekking hebben op meerdere installaties, worden verdeeld over deze installaties.

In het geval van de gistingsinstallatie bestaan de kapitaallasten uit de afschrijving en rente van het geleende geld voor de projectaanvang en projectuitvoering. Verder zullen de vervanging

en revisie van installatiecomponenten die een meerjarig nut dienen, worden meegenomen in de kapitaallasten.

De kapitaallasten vormen de financieringskosten voor de projecten en de vervanging en revisie van installatiecomponenten en komen in het financiële systeem van het WBL tot uiting in de exploitatie.

In de LCC analyse worden de investeringen direct toegerekend aan het jaar waarin de investering wordt gedaan en worden de investeringen niet ‘uitgesmeerd’ door middel van de kapitaallasten. In 6.3.1.1 wordt hier nader op ingegaan.

#### *Energiekosten*

Op een rwzi worden twee vormen van energie ingekocht: gas en elektra. De hoeveelheid energie die wordt ingekocht, hangt af van de energiebehoefte en de biogasopbrengst (hoe meer biogas, hoe minder energie er extern ingekocht hoeft te worden). De biogasopbrengst is geen inkomst, maar alleen een besparing op de kosten voor energie die anders via een energieleverancier ingekocht had moeten worden. Een bijkomend aspect is dat de zelf geproduceerde energie bespaart op het gebruik van fossiele energie waarbij een reductie van de CO<sub>2</sub> emissie wordt gerealiseerd.

#### *Inkomstenderving*

Tijdens de uit en in bedrijf name van gistinginstallatie en tijdens sommige onderhoudswerkzaamheden zal de biogasopbrengst niet optimaal (en zelfs nul) zijn. Hierdoor zal er minder elektra en warmte geproduceerd worden, waardoor het tijdelijk nodig is om extra energie (gas en/of elektra) in te kopen om in de energiebehoefte te voorzien.

#### *Personeelskosten*

De personeelskosten zijn gebaseerd op de directe uren van personeel. We maken gebruik van een integrale kostprijs voor personeel waarmee ook kosten voor personeelsfaciliteiten (huisvesting, automatisering en kosten van leidinggevend) en ondersteunende functies worden toegerekend (zie 5.3.1).

#### *Materiaalkosten*

De materiaalkosten omvatten alle kosten voor goederen die nodig zijn voor de installatie:

- Installatie componenten (bij de projectuitvoering of ter vervanging tijdens onderhoud)
- Gereedschap
- Hulpstoffen (water, olie, chemicaliën e.d.)

#### *Transportkosten*

De transportkosten bestaan uit de kosten om het uitgiste en ingedikte slib naar de slibontwatering installatie (soi) in Venlo te vervoeren. Vanuit Venlo wordt het slib vervolgens naar een eigen of externe drooginstallatie getransporteerd. Er zullen extra transportkosten zijn wanneer de gistinginstallatie leeggepompt moet worden. Wanneer de installatie buiten bedrijf is, moet de aanvoer van slib vanuit de voorbezinktank worden ontwaterd en zonder vergisting naar de soi Venlo worden vervoerd.

#### *Verwerkingskosten*

De verwerkingskosten van slib bestaan uit de kosten om het slib te verwerken buiten de rwzi Venray. De activiteiten die bij de slibverwerking een rol spelen zijn het ontwateren, het drogen en het afvoeren van slib.

### *Service van derden*

Het WBL heeft niet alle kennis in huis om een installatie zelf te ontwerpen. Het Columbus concept is bedacht door Royal Haskoning en de benodigde expertise zal daarom ingehuurd moeten worden om de gistinginstallatie te ontwerpen. Ook zullen er patentkosten in rekening worden gebracht. Het bouwen van de gistinginstallatie zal gebeuren door een aannemer die naast de materiaalkosten ook kosten in rekening zal brengen voor het inzetten van personeel en productiemiddelen. Verder kan het voorkomen dat onderhoudswerkzaamheden worden uitbesteed aan derden.

## **5.3 Bepalen van relevantie**

Het doel van deze LCC analyse is om de Life Cycle Costs voor verschillende gistingsopties voor de gistingstank Venray te berekenen. De analyse is er dus niet primair op gericht om de optimale gistingsoptie te bepalen. Om zo goed mogelijk inzicht te geven in de LCC methodiek hebben we er daarom voor gekozen om alle kosten in de levensduur van de gistinginstallatie te beschrijven, dus ook de kosten die niet relevant zijn voor de investeringsbeslissing!

Wanneer dit onderzoek erop gericht was om een investeringsbeslissing te maken dan zouden de transport- en verwerkingskosten bijvoorbeeld niet relevant zijn omdat er wordt aangenomen dat deze kosten voor alle opties gelijk zijn.

Verder zal de relevantie van een kostenelement afhangen van het aandeel dat het vormt in de totale kosten. Op basis van de relevantie kunnen we bepalen hoe nauwkeurig de verwachte kosten voor een kostenelement bepaald moeten worden.

Op voorhand is lastig in te schatten welke percentage elk kostenelement gaat uitmaken van de totale kosten. De voornaamste reden hiervoor is dat er geen historische data op het niveau van de gistingstank beschikbaar is. De kosteninformatie wordt in het financiële systeem op het laagste niveau namelijk toegerekend aan de rwzi's. Bovendien is er van de Columbus überhaupt geen historische data beschikbaar omdat deze gistingsmethode vooralsnog alleen als concept bestaat.

De relevantie van de kostenelementen is om de bovenstaande redenen moeilijk in te schatten. We zullen daarom tijdens het bepalen van de verwachte kosten in hoofdstuk 6 op basis van voortschrijdend inzicht en advies van WBL specialisten per kostenelement bepalen hoe nauwkeurig de analyses uitgevoerd moeten worden.

### **5.3.1 Kosten voor personeelfaciliteiten en ondersteunende functies**

De kosten voor het kantoorpersoneel bestaan niet alleen uit salarissen, maar ook uit facilitaire kosten zoals huisvesting, automatisering en loonkosten van leidinggeven. Verder legt de inzet van personeel ook voor een deel beslag op de faciliteiten van ondersteunende functies: Planning & Control, Personeelszaken en Ondersteuning en Directie en Bestuur (figuur 17). Uit de jaarrekeningcijfers van 2007 blijkt dat de kosten voor ondersteunende functies ongeveer 10% van de totale kosten bepalen.

Voor dit onderzoek nemen we aan dat de kosten voor personeelfaciliteiten en ondersteunde functies wordt toegerekend op basis van het aantal uren van het directe personeel. De totale personeelskosten worden berekend door een integrale kostprijs voor personeel (de prijs voor WBL personeel die in rekening wordt gebracht voor externe partijen) te gebruiken die het WBL heeft vastgesteld. Voor dit onderzoek wordt aangenomen dat deze integrale kostprijs op de correcte manier is bepaald en alle (indirecte) kosten dekt die hierboven zijn beschreven.



*Aanname :*

De kostprijs voor WBL personeel, zoals deze in rekening wordt gebracht voor externe partijen, rekent de volgende (indirecte) kosten toe:

- Salaris en sociale lasten van het personeel
- Overige indirecte kosten (reiskosten, diverse toelagen e.d.)
- Personeelfaciliteiten (huisvesting, automatisering en kosten van leidinggevenden)
- Kosten voor ondersteunende functies (P&C, P&O, Directie en Bestuur)

Merk op dat het supportteams van het zuiveringsbedrijf (Algemene Ondersteuning, ICT & innovatie, Bouwzaken en Optimalisatie Afvalwaterketen) geen deel uitmaken van de indirecte kosten. De personeelskosten van de supportteams komen namelijk tot uiting in de directe personeelskosten bij de aanvang en uitvoering van een project.

## **5.4 Conclusie**

De levensduur van de gistinginstallatie kunnen op het hoogste niveau worden verdeeld in vier levensfasen (figuur 8): de projectaanvang, de projectuitvoering, de exploitatie en de afstoting. Bij de projectaanvang (figuur 9) kunnen de activiteiten worden onderverdeeld in het programma van eisen, het ontwerp en het bestek. De activiteiten bij de projectuitvoering (figuur 10) zijn de uit bedrijf name, de uitvoering door de aannemer en de in bedrijf name. Tijdens al deze activiteiten wordt de uitvoering continu besproken met de aannemer om het project in goede banen te leiden. De exploitatie valt onder te verdelen in beheer en onderhoud. Bij het onderhoud is er sprake van inspectief, correctief en preventief onderhoud. De afstotingsfase wordt niet in dit verslag behandeld omdat we aannemen dat de meeste delen van de gistingstank bij de volgende revisie weer grotendeels hergebruikt kunnen worden.

In tabel 2 zijn per activiteit alle kostenelementen opgesomd. Deze kostenelementen zijn kapitaallasten, energiekosten, inkomstenderving, personeelskosten, materiaalkosten transportkosten, verwerkingskosten en service van derden.

Om zo goed mogelijk inzicht te geven in de LCC methodiek (het doel van dit verslag) hebben we ervoor gekozen om alle kosten in de levensduur van de gistinginstallatie te beschrijven, dus ook de kosten die niet relevant zijn voor de investeringsbeslissing! De relevantie van kostenelementen is vooraf lastig in te schatten omdat er geen historische data op het niveau van de gistingstank en/of omdat er überhaupt geen data beschikbaar is.

De kosten voor personeelsfaciliteiten en ondersteunende functies worden in dit verslag toegerekend door de integrale kostprijs voor de directe personeelsuren te hanteren.



## 6 Bepaling van de verwachte kosten

Voor de kostenelementen die in 5.2 zijn opgesteld, zullen in dit hoofdstuk de verwachte waarden worden bepaald. Dit hoofdstuk zal daarmee onderzoeksvraag 4 beantwoorden. De kostenelementen worden in de paragrafen van dit hoofdstuk per levensfase besproken (figuur 8: projectaanvang, projectuitvoering, exploitatie, afstoting).

### 6.1 Projectaanvang

Uit gesprekken met de projectleider van het Venray project (Har Coenen) en met Derick Coops van Royal Haskoning, blijkt dat men voor de raming van ontwerpkosten rond de 15 % van de directe uitvoeringskosten rekent. We nemen voor dit onderzoek aan dat het ontwerp uitgevoerd zal worden door Royal Haskoning en dat het supportteam bouwzaken de voortgang coördineert. De engineering kosten omvatten zowel de interne als de externe personeelskosten. Op basis van de directe uitvoeringskosten, die in tabel 4 gegeven worden, kunnen we de verwachte engineeringkosten bepalen (tabel 3).

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Engineeringkosten (15% van directe uitvoeringskosten)	€ 21.150	€ 28.050	€ 31.050	€ 33.855

tabel 3: Engineeringkosten per alternatief

### 6.2 Projectuitvoering

#### 6.2.1 Uitvoering door aannemer

Uit een notitie van Royal Haskoning en gesprekken met Ben Bisseling en Derick Coops van Royal Haskoning, zijn de investeringskosten per optie bepaald (tabel 4).

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
<i>Installatieonderdelen</i>				
<i>Gistingstank</i>				
Gascompressor	€ 20.000			
Aanpassing leidingwerk en gaslansen	€ 40.000			
Mengvijzel met aandrijving		€ 100.000	€ 100.000	€ 100.000
Aanpassing dome		€ 30.000	€ 30.000	€ 30.000
Montage	€ 20.000	€ 18.000	€ 18.000	€ 18.000
Elektrotechnische werkzaamheden	€ 2.000	€ 4.000	€ 4.000	€ 4.000
ATEX voorzieningen (gascompressor)	€ 5.000			
<i>Antischuimdosering</i>				
Doseerunit antischuimdosering	€ 15.000			
Doseerunit leidingwerk	€ 4.000			
<i>Centrale slibafvoer</i>				
Leidingwerk			€ 5.000	€ 15.000
Civiele werkzaamheden			€ 5.000	€ 5.000
<i>Slibverwarming</i>				
Externe warmtewisselaar	€ 25.000	€ 25.000	€ 25.000	
Slibcirculatie pomp	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	
Interne warmtewisselaar				€ 2.200
CV waterpomp				€ 1.500
Interne warmtewisselaar: leidingwerk				€ 50.000
<b>TOTAAL directe uitvoeringskosten</b>	<b>€ 141.000</b>	<b>€ 187.000</b>	<b>€ 207.000</b>	<b>€ 225.700</b>
Opslag aannemer (20%)	€ 28.200	€ 37.400	€ 41.400	€ 45.140
Onvoorzien, aanvullende kosten (20%)	€ 28.200	€ 37.400	€ 41.400	€ 45.140
Totale bouwsom (excl. BTW)	€ 197.400	€ 261.800	€ 289.800	€ 315.980
<b>TOTAAL bouwsom (incl. BTW)</b>	<b>€ 234.906</b>	<b>€ 311.542</b>	<b>€ 344.862</b>	<b>€ 376.016</b>

tabel 4: Investeringskosten per alternatief

De directe uitvoeringskosten bestaan uit de materiaal en montage kosten. De opslag van de aannemer, de onvoorziene en aanvullende kosten en de engineeringkosten (zie 6.1) worden vervolgens geraamd als een percentage van de directe uitvoeringskosten.

## 6.2.2 Leegzetten van de gistingstank

Voor de realisatie van sommige gistingmethoden (optie 2,3 en 4) zal het noodzakelijk zijn om de gistingstank leeg te zetten. De kosten voor deze operatie worden in deze paragraaf berekend. Hierbij baseren we ons op de modellering zoals die in bijlage (Bijlage B) is opgesteld. Alle relevante variabelen voor dit model worden weergegeven in tabel 5.

<i>Aantal dagen uit bedrijf</i> Uit bedrijf name <sup>3</sup> In bedrijf name <sup>3</sup>	7 dagen 60 dagen
<i>Samenstelling tankinhoud</i> Totale tankinhoud <sup>2</sup> Aantal m <sup>3</sup> slib <sup>3</sup> Aantal m <sup>3</sup> restfractie <sup>3</sup>	2000 m <sup>3</sup> 1750 m <sup>3</sup> 250 m <sup>3</sup>
Biogasopbrengst onder normale omstandigheden (per week) <sup>4</sup>	€ 3.050
Energiekosten onder normale omstandigheden (per week) <sup>5</sup>	€ 300
Transportkosten onder normale omstandigheden (per week) <sup>6</sup>	€ 1.500
<i>Droge stof percentages</i> Vóór ontwatering van slib uit de tank <sup>7</sup> Ná ontwatering van slib uit de tank <sup>3</sup> Aangevoerd vers en spuislib <sup>7</sup> Afgevoerd vers en spuislib <sup>7</sup>	2,2 % 20 % 2,8 % 3,5 %
<i>Droge stof vracht</i> Slib in de tank <sup>8</sup> Aanvoer slib per dag <sup>8</sup> Afvoer slib per dag <sup>7</sup>	38.150 kg 2.726 kg 2.120 kg
Verwerkingskosten slib <sup>2</sup>	€ 430 per ton D.S.
Verwerkingskosten slib door derden <sup>9</sup>	€ 30 per m <sup>3</sup>
Verwerkingskosten restfractie door derden <sup>9</sup>	€ 300 per m <sup>3</sup>
<i>Transportkosten</i> Nat (ent)slib (Roermond - Venray) <sup>2</sup> Ontwaterd slib (Venray - Venlo) <sup>2</sup>	€ 2,09 per m <sup>3</sup> € 5 per kg
Aardgasprijs <sup>2</sup>	€ 0,3674 per m <sup>3</sup>
Temperatuursverschil bij in bedrijf name (opwarmen van slib) <sup>3</sup>	20 graden

tabel 5: Alternatief onafhankelijke variabelen voor het leegzetten van de gistingstank

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Aantal dagen uit bedrijf zijn (dagen) <sup>3</sup>	n.v.t.	14	21	28

tabel 6: Alternatief afhankelijke variabelen voor het leegzetten van de gistingstank

Op basis van de genoemde waarden in de bovenstaande tabellen kunnen de kosten voor het leegzetten van de gistingstank worden bepaald. De kosten per gistingalternatief zijn weergegeven in tabel 7. Bij optie 1 hoeft de gistingstank niet leeg gezet te worden en zijn er dus geen kosten.

<sup>2</sup> Feitelijke informatie vanuit interne rapportages

<sup>3</sup> Inschatting door interne specialisten van het WBL

<sup>4</sup> Biogasopbrengst bij gemiddelde warmtebehoefte (100 kW) en biogasproductie (48 m<sup>3</sup>/h) (zie bijlage Bijlage C)

<sup>5</sup> Energiekosten bij gebruik van gasinblazing (zie: 6.3.1.2 Energiekosten)

<sup>6</sup> Transportkosten berekening is te vinden in 6.3.1.4: Transportkosten (kosten voor alle opties gelijk).

<sup>7</sup> Gemiddelde van een wekelijkse steekproef in de jaren 2006 tot 2008

<sup>8</sup> Afgeleid vanuit de waarden van andere variabelen

<sup>9</sup> Kosten gebaseerd op de gerealiseerde kosten van het leegzetten van de gistinginstallatie in Stein.

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
<i>Uit bedrijf name</i>				
Inkomstenderving	€ 2.750	€ 2.750	€ 2.750	€ 2.750
Transportkosten	€ (441)	€ (441)	€ (441)	€ (441)
Verwerkingskosten	€ 1.926	€ 1.926	€ 1.926	€ 1.926
Personeelskosten	€ 12.750	€ 12.750	€ 12.750	€ 12.750
Service van derden	€ 127.500	€ 127.500	€ 127.500	€ 127.500
<i>Uit bedrijf zijn</i>				
Inkomstenderving	€ 5.500	€ 8.250	€ 11.000	€ 11.000
Transportkosten	€ (2.807)	€ (4.210)	€ (5.614)	€ (5.614)
Verwerkingskosten	€ 3.853	€ 5.779	€ 7.706	€ 7.706
<i>In bedrijf name</i>				
Energiekosten	€ 2.166	€ 2.166	€ 2.166	€ 2.166
Inkomstenderving	€ 26.143	€ 26.143	€ 26.143	€ 26.143
Transportkosten	€ 2.220	€ 2.220	€ 2.220	€ 2.220
<b>Totale leegzet kosten</b>	<b>€ -</b>	<b>€ 181.560</b>	<b>€ 184.833</b>	<b>€ 188.106</b>

tabel 7: Kosten voor het leegzetten van de gistingstank per gistingalternatief

### 6.2.3 Uitvoering bespreken met aannemer

De uitvoering door de aannemer en het leegzetten van de gistingstank zullen gecoördineerd moeten worden door het supportteam bouwzaken van het WBL. Uit ervaring met andere soortgelijke projecten blijkt volgens het supportteam bouwzaken dat de interne personeelskosten 8 % van de totale bouwsom vormen.

Aan de hand van de gegevens uit tabel 4 zijn in tabel 8 de personeelskosten per optie geraamd.

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Interne personeelskosten (8% van de totale bouwsom)	€ 18.792	€ 24.923	€ 27.589	€ 30.081

tabel 8: Interne personeelskosten voor de supervisie van de aannemer

### 6.2.4 Conclusie

Alle kosten die in deze paragraaf zijn bepaald, zijn samengevat in tabel 9 om de totale kosten van de 'projectuitvoering' te berekenen.

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Totale bouwsom	€ 234.906	€ 311.542	€ 344.862	€ 370.016
Leegzetten gistingstank	€ -	€ 181.560	€ 184.833	€ 188.106
Interne personeelskosten (8% van de totale bouwsom)	€ 18.792	€ 24.923	€ 27.589	€ 30.081
<b>TOTAAL Projectuitvoering</b>	<b>€ 253.698</b>	<b>€ 518.025</b>	<b>€ 557.284</b>	<b>€ 594.203</b>

tabel 9: Totale projectuitvoering kosten

## 6.3 Exploitatie

In deze paragraaf worden de exploitatiekosten per kostenelement bepaald zoals deze in tabel 2 zijn opgesteld.

### 6.3.1 Beheer

#### 6.3.1.1 Kapitaallasten

De kapitaallasten bestaan uit de aflossing en rente van grote investeringen die een meerjarig nut hebben. De projectaanvang en uitvoering vallen hier sowieso onder, maar ook het vervangen van installatieonderdelen tijdens de levensduur van de gistingstank en het tussentijds leegzetten van de gistingstank worden gefinancierd met geleend geld.

In paragraaf 7.1 zal de Netto Contante Waarde (NCW) methode worden gebruikt om per gistingsopties de kasstromen in de gehele levensduur van de installatie te aggregeren. Bij deze methode is het van belang om de wijze van financiering buiten beschouwing te laten en alleen van kasstromen uit te gaan. Dit impliceert dat investeringen direct als kasstroom toegerekend worden aan het jaar waarin de investering wordt gedaan. Hoe het WBL dit geld bij elkaar krijgt om deze investering te doen (wijze van financiering), is hierbij dus niet relevant. De financieringskosten (rentekosten) worden wel meegenomen in de NCW door middel van de zogenaamde 'cost of capital' (zie 7.1). In de LCC berekening zullen dus de investeringsbedragen en niet de kapitaallasten worden genoemd omdat de kapitaallasten geen kasstromen zijn wanneer we de wijze van financiering buiten beschouwing laten.

De frequentie en kosten voor het vervangen of reviseren van installatieonderdelen zijn weergegeven tabel 10. In de kolom 'opties' is aangegeven welke installatieonderdelen er aanwezig zijn per gistingsopties.

<i>Optie</i>	<i>Installatie onderdeel</i>	<i>Frequentie (jaren)</i>	<i>Kosten</i>
1,2,3	Vervanging slibcirculatiepomp	5	€ 10.000
1,2,3	Vervanging warmtewisselaar	15	€ 25.000
1	Revisie gascompressor	3	€ 5.000
1	Vervanging gascompressor	15	€ 20.000
4	Vervanging CV waterpomp	5	€ 1.500
2,3,4	Vervanging mengvijzel en lagers	5	€ 15.000

**tabel 10: Meerjarige investeringen voor installatie onderdelen**

We zullen voor alle gistingmethode aannemen dat de gistingstank over 15 jaar leeg gezet zal worden. Het valt te betwijfelen of dit nodig zal zijn omdat er bij het Columbus concept wordt verwacht dat er minder sedimentvorming zal plaatsvinden dan met de huidige gistingmethode het geval is. De kosten voor het leegzetten van de tank zullen anders zijn opgebouwd dan de berekening in 6.2.2 omdat de parameters andere waarden zullen hebben. De droge stof percentages en de slibhoeveelheid zijn anders omdat het slib in de nieuwe situatie meer wordt ingedikt voordat het in de tank wordt gebracht. Verder zal de indexatie van energieprijzen en transport- en verwerkingskosten ervoor zorgen dat de kosten hoger zijn dan bij 6.2.2. Het energieverbruik per gistingsalternatief verschilt, dus zijn de energiekosten onder normale omstandigheden optieafhankelijk.

<i>Aantal dagen uit bedrijf</i>	
Uit bedrijf name <sup>11</sup>	7 dagen
Uit bedrijf zijn <sup>11</sup>	7 dagen
In bedrijf name <sup>11</sup>	60 dagen
<i>Samenstelling tankinhoud</i>	
Totale tankinhoud <sup>10</sup>	2000 m <sup>3</sup>
Aantal m <sup>3</sup> slib <sup>11</sup>	1750 m <sup>3</sup>
Aantal m <sup>3</sup> restfractie <sup>11</sup>	250 m <sup>3</sup>
Biogasopbrengst onder normale omstandigheden (per week) <sup>12</sup>	€ 6.300
Transportkosten onder normale omstandigheden (per week) <sup>13</sup>	€ 1.900
<i>Droge stof percentages</i>	
Vóór ontwatering van slib uit de tank <sup>11</sup>	2,9 %
Ná ontwatering van slib uit de tank <sup>11</sup>	20 %
Aangevoerd vers en spuislib <sup>11</sup>	4,3 %
Afgevoerd vers en spuislib <sup>11</sup>	4,6 %
<i>Droge stof vracht</i>	
Slib in de tank <sup>11</sup>	50.750 kg
Aanvoer slib per dag <sup>11</sup>	3.631 kg
Afvoer slib per dag <sup>11</sup>	2.409 kg
Verwerkingskosten slib <sup>10</sup>	€ 670 per ton D.S.
Verwerkingskosten slib door derden <sup>14</sup>	€ 47 per m <sup>3</sup>
Verwerkingskosten restfractie door derden <sup>14</sup>	€ 467 per m <sup>3</sup>
Transportkosten nat (ent)slib (Roermond - Venray) <sup>10</sup>	€ 6,92 per m <sup>3</sup>
Transportkosten ontwaterd slib (Venray - Venlo) <sup>10</sup>	€ 7,79 per kg
Aardgasprijs <sup>10</sup>	€ 0,7638 per m <sup>3</sup>
Temperatuursverschil bij in bedrijf name (opwarmen van slib) <sup>11</sup>	20 graden

**tabel 11: Alternatief onafhankelijke variabelen voor het leegzetten van de gistingstank in jaar 15**

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Energiekosten onder normale omstandigheden (per week)	€ 619	€ 471	€ 471	€ 266

**tabel 12: Alternatief afhankelijke variabelen voor het leegzetten van de gistingstank in jaar 15**

In tabel 13 hebben we de totale leegzet kosten in jaar 15 bepaald door de bovenstaande parameters in te voeren in het model van Bijlage B.

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
<i>Uit bedrijf nemen</i>				
Inkomstenderving	€ 5.681	€ 5.829	€ 5.829	€ 6.034
Transportkosten	€ 275	€ 275	€ 275	€ 275
Verwerkingskosten	€ 5.731	€ 5.731	€ 5.731	€ 5.731
Personeelskosten	€ 19.900	€ 19.900	€ 19.900	€ 19.900
Service van derden	€ 199.000	€ 199.000	€ 199.000	€ 199.000
<i>Uit bedrijf zijn</i>				
Inkomstenderving	€ 5.681	€ 5.829	€ 5.829	€ 6.034
Transportkosten	€ (1.702)	€ (1.702)	€ (1.702)	€ (1.702)
Verwerkingskosten	€ 5.731	€ 5.731	€ 5.731	€ 5.731

<sup>10</sup> Feitelijke informatie vanuit interne rapportages (inclusief indexaties indien van toepassing)

<sup>11</sup> Inschatting door interne specialisten van het WBL

<sup>12</sup> Biogasopbrengst bij gemiddelde warmtebehoefte (100 kW) en biogasproductie (48 m<sup>3</sup>/h) (zie Bijlage C)

<sup>13</sup> Transportkosten berekening is te vinden in 6.3.1.4: Transportkosten (kosten voor alle opties gelijk).

<sup>14</sup> Kosten gebaseerd op de gerealiseerde kosten van het leegzetten van de gistingsinstallatie in Stein (inclusief indexatie van 3% per jaar)

<i>In bedrijf name</i>					
Energiekosten	€ 4.503	€ 4.503	€ 4.503	€ 4.503	
Inkomstenderwing	€ 54.000	€ 54.000	€ 54.000	€ 54.000	
Transportkosten	€ 3.460	€ 3.460	€ 3.460	€ 3.460	
<b>Totale leegzet kosten</b>	<b>€ 302.260</b>	<b>€ 302.557</b>	<b>€ 302.557</b>	<b>€ 302.966</b>	

tabel 13: Totale leegzet kosten in jaar 15

In Bijlage E zijn de investeringen per jaar weergegeven in de gelijknamige kolom. In jaar 0 worden de projectaanvang en uitvoeringskosten weergegeven. De investeringen voor de revisie en vervanging van installatiecomponenten worden herhaald, afhankelijk van de frequentie die in tabel 10 is genoemd. Verder komen de kosten voor het leegzetten in de tank (tabel 13) tot uiting in jaar 15.

### 6.3.1.2 Energiekosten

In tabel 14 is het energieverbruik van de elektrische componenten van de gistinginstallatie alternatieven weergegeven. De verdere verwaarloosbare energieverbruikers zijn buiten beschouwing van dit onderzoek gelaten zoals lampen, ventilatoren en ICT faciliteiten om de installatiecomponenten te monitoren.

De slibverwarming is ook buiten beschouwing gelaten omdat het energiebehoefte van dit onderdeel is inbegrepen in de biogasopbrengst berekening (Bijlage C).

<i>Opties</i>	<i>Componenten</i>	<i>Energieverbruik</i>
1	Gascompressor	20 kW
2,3,4	Mengvijzel	6 kW
1,2,3	Slibrecirculatiepomp	5,5 kW
4	Warmwater recirculatiepomp	0,5 kW

tabel 14: Energieverbruik van componenten

#### 6.3.1.2.1 Energieprijzen

We nemen de energieprijzen in 2011 als uitgangspunt omdat de gistinginstallatie naar verwachting pas in dat jaar in gebruik wordt genomen. De energieprijzen van elektra en gas zijn weergegeven in tabel 15 waarbij de elektriciteit is onder te verdelen in dag- en nachttarief. De prijzen zijn gebaseerd op de meerjarenramingen en in overleg met Stefan van der Linden van het supportteam algemene ondersteuning.

	<i>Elektriciteit (€-ct / kWh)</i>		<i>Gas (€-ct / m<sup>3</sup>)</i>
	<i>Dag</i>	<i>Nacht</i>	
Levering	8,390	4,573	25
Groene energie	0,077	0,077	0,26
Netbeheer (nationaal)	2,454	2,454	1,86
Netbeheer (regionaal)	-	-	0,89
Energiebelasting	1,128	1,128	2,86
BTW	19 %	19 %	19 %
<b>Totaal</b>	<b>14,338</b>	<b>9,796</b>	<b>36,74</b>

tabel 15: Dag en nacht tarief van elektriciteit en van gas in 2011

De energieprijzen zullen in dit verslag worden aangeduid met de volgende notatie:

$P_{elektra}^{dag}(j)$  = integrale kostprijs per kWh elektriciteit (dagtarief) in jaar  $j$  in euro's

$P_{elektra}^{nacht}(j)$  = integrale kostprijs per kWh elektriciteit (nachttarief) in jaar  $j$  in euro's

$P_{aardgas}(j)$  = integrale kostprijs per m<sup>3</sup> aardgas in jaar  $j$  in euro's

waarbij  $j = 0$  voor 2011



De trend is dat de energieprijzen over langere termijn zal stijgen, maar dat er op kortere termijn hevige fluctuaties zullen zijn. Bij het doorrekenen van deze LCC analyse kan er volgens Stefan van der Linden (Supportteam Algemene Ondersteuning) en Ad de Man (Supportteam ICT en Innovatie) vanuit worden gegaan dat de energieprijzen per jaar met 5 % zullen stijgen op basis van de energieprijzen in 2011.

De energieprijzen per jaar worden als volgt uitgedrukt (indexatie van 5% per jaar):

$$p_{elektra}^{dag}(j) = p_{elektra}^{dag}(0) \cdot 1,05^j = 0,14338 \cdot 1,05^j$$

$$p_{elektra}^{nacht}(j) = p_{elektra}^{nacht}(0) \cdot 1,05^j = 0,09796 \cdot 1,05^j$$

$$p_{aardgas}(j) = p_{aardgas}(0) \cdot 1,05^j = 0,3674 \cdot 1,05^j$$

### 6.3.1.2.2 Gascompressor

Alle elektrische componenten behalve de gascompressor werken continu (24 uur per dag, 7 dagen per week). Gezien het hoge energieverbruik van de gascompressor wordt dit component alleen ingeschakeld als er slib wordt aangevoerd. Bij een gemiddelde slibaanvoer (84 m<sup>3</sup>/dag) kunnen de primair- en actief slibpomp binnen 5,6 uur het slib in de gistingstank pompen<sup>15</sup>. De gascompressor zal voor en na de slibaanvoer nog een half uur moeten draaien. Wanneer we ervan uitgaan dat deze handeling  $x$  keer per dag wordt herhaald, zal de gascompressor  $5,6 + 0,5x$  uur actief zijn. Deze frequentie zal proefondervindelijk bepaald moeten worden, maar we zullen aannemen dat de handeling 10 keer per dag wordt uitgevoerd. De gascompressor zal per dag in dat geval  $5,6 + 0,5(10) = 11,1$  uur actief zijn. Aangezien de water- en slibaanvoer overdag groter is dan 's nachts en in het weekend, is het niet correct om het dag en nacht verbruik te baseren op basis van het aantal dag- en nachturen in de week. Voor de weging van het dag- en nachttarief zullen we daarom gebruik maken van de gemiddelde verhouding van elektriciteitsverbruik van een rwzi tussen dag en nacht (respectievelijk 52/100 en 48/100).

### 6.3.1.2.3 Energieverbruik per alternatief

In tabel 16 worden het energieverbruik per jaar berekend voor alle gistinginstallatie alternatieven. Voor het elektriciteitsgebruik telt een week 98 nacht- en 70 daguren (het nachttarief geldt van 21.00 tot 7.00 en in het weekend). Dit betekent dat er op jaarbasis 3650 dag- en 5110 nachturen zijn<sup>16</sup>.

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Energieverbruik (kW)	25,5	11,5	11,5	6,5
Energieverbruik per jaar (kWh)				
Dag <sup>16</sup>	62.211	41.975	41.975	23.725
Nacht <sup>16</sup>	67.000	58.765	58.765	33.215

tabel 16: Energieverbruik per jaar per optie

### 6.3.1.2.4 Biogasopbrengst per alternatief

Zoals al eerder is besproken (4.1.3) hangt de biogasproductie af van verschillende factoren (voeding, temperatuur, verblijftijd, homogeniteit van de slibmassa, frequentie en duur van onderhoud). We nemen aan dat de biogasproductie voor alle gistingalternatieven gelijk is, omdat Royal Haskoning nog niet heeft kunnen bewijzen dat de biogasproductie van de

<sup>15</sup> Aanvoer slib: primair: 56 m<sup>3</sup>/dag, actief: 28 m<sup>3</sup>/dag ; Pompcapaciteit slib: primair: 10 m<sup>3</sup>/h, actief: 5 m<sup>3</sup>/h

<sup>16</sup> 70/168 x 24 uur x 365 dagen = 3650 daguren per jaar; 98/168 x 24 uur x 365 dagen = 5110 nachturen per jaar

Columbus significant hoger is dan van de traditionele gisting. De gasopbrengsten van de huidige gistinginstallatie zijn weergegeven in tabel 17.

In Bijlage C is berekend dat de maximale warmtebehoefte voor de slibverwarming (130 kW) zal zijn. Om in deze warmtebehoefte te kunnen voorzien, moet de biogasproductie meer dan 38 m<sup>3</sup>/uur zijn. Bovendien

Jaar	Biogas per jaar (m <sup>3</sup> )	Biogas per uur (m <sup>3</sup> )
2003	443.552	50,6
2004	436.303	49,8
2005	415.712	47,5
2006	312.295	35,7
2007	356.087	41,7

kan de generator boven deze waarde overdag op zijn maximale capaciteit

**tabel 17: Biogasproductie per jaar**  
**Bron: Technologisch jaarverslag 2007**

worden benut door het biogas 's nachts te bufferen zodat er een maximale hoeveelheid elektriciteit geproduceerd kan worden tijdens de daguren (zie Bijlage C voor de bijbehorende berekeningen). In de tabel is te zien dat de biogasproductie in alle jaren behalve in 2006 gemiddeld boven de 38 m<sup>3</sup>/uur lag.

Uit de formules die zijn opgesteld in Bijlage C kan worden afgeleid dat bij een biogasproductie (*b*) van tussen de 38 en 56 m<sup>3</sup>/h en een maximale warmtebehoefte (*w*) van 130 kW er de volgende biogasopbrengst<sup>17</sup> geldt:

*Biogasopbrengst per jaar in jaar j* =

$$52 (9170 p_{elektra}^{dag}(j) + (392,95b - 9167,41) p_{elektra}^{nacht}(j) + 21,296 w p_{aardgas}(j))$$

Volgens het bestek van de renovatie van de rwzi Venray wordt er een gemiddelde biogasproductie van 48 m<sup>3</sup> / uur verwacht. Verder is in Bijlage C berekend dat de gemiddelde warmtebehoefte 100 kW zal zijn.

Als we *b* = 48 en *w* = 100 invullen, kunnen we de energiekosten per optie als volgt berekenen:

*Energiekosten in jaar j voor optie a* =

$$(energieverbruik (dag) per jaar voor optie a - 476.840) \cdot p_{elektra}^{dag}(j) +$$

$$(energieverbruik (nacht) per jaar voor optie a - 504.098) \cdot p_{elektra}^{nacht}(j) - 110.740 \cdot p_{aardgas}(j)$$

Wanneer we de energieprijzen ( $p_{elektra}^{dag}$ ,  $p_{elektra}^{nacht}$  en  $p_{aardgas}$ ), het verwachte energieverbruik (tabel 16) en de bovenstaande formule samenvoegen, komen we tot de energiekosten per jaar per alternatief (tabel 18). De energiekosten zijn voor alle alternatieven negatief omdat de biogasproductie meer energie oplevert dan door de installatie wordt verbruikt. Bedenk dat de biogasopbrengst geen geldstroom is, maar alleen een besparing op de inkoop van gas en elektra via een energieleverancier.

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Energiekosten in jaar j	-142.954 x 1,05 <sup>j</sup>	-146.662 x 1,05 <sup>j</sup>	-146.662 x 1,05 <sup>j</sup>	-151.781 x 1,05 <sup>j</sup>

**tabel 18: Energiekosten per jaar per gistingalternatief**

### 6.3.1.3 Personeelskosten en materiaalkosten

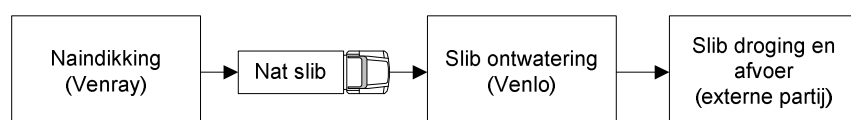
De kosten voor personeel en materiaal komen voort uit het fysiek beheren en beheersen van de slibgisting installatie. Deze activiteiten hebben een groot raakvlak met de onderhoudswerkzaamheden, maar binnen de onderhoudsorganisatie wordt er een sterk

<sup>17</sup> In dit verslag wordt een consequent verschil gemaakt tussen de biogasproductie en biogasopbrengst. Met de biogasproductie wordt het aantal m<sup>3</sup>/h bedoeld terwijl de biogasopbrengst de besparing (in euro's) betreft.

onderscheidt gemaakt tussen beheer- en onderhoudsactiviteiten. Voor de leesbaarheid van dit verslag hebben we er toch voor gekozen om de personeel- en materiaalkosten voor het beheer van de gistinginstallatie tot uiting te laten komen in de onderhoudskosten (zie 6.3.2).

### 6.3.1.4 Transportkosten

Wanneer het slib is vergist en ingedikd op de rwzi Venray, wordt het slib getransporteerd om verder ontwaterd en gedroogd te worden. De verwachte kosten voor het transporteren van slib in 2011 is weergegeven in tabel 19. We gaan er hierbij van uit dat het slib van Venray naar Venlo word vervoerd. De slibverwerking activiteiten zijn schematisch weergegeven in figuur 13. De transportkosten voor slibvervoer vanuit Venlo naar een externe partij, komen tot uiting in de verwerkingskosten en komen daarom niet in de transportkosten berekening voor.



figuur 13: Slibtransport en -verwerking van het slib uit Venray

Tijdens de na-indikking zal het slibvolume afnemen met de ratio van het D.S. percentage van de gistingstank en de na-indikker. We zullen aannemen dat deze ratio voor alle gistingmethodes gelijk is. De transportkosten gegevens zijn weergegeven in tabel 19.

Transportkosten nat slib (Venray – Venlo) 2011 <sup>18</sup>	€ 2,09 per m <sup>3</sup>
Hoeveelheid slib aanvoer / afvoer <sup>18</sup>	84 m <sup>3</sup> per dag
Hoeveelheid droge stof vracht Venray – Venlo <sup>18</sup>	2.409 kg per dag
Droge stof percentage in de gistingstank <sup>18</sup>	2,9 %
Volumereductie ratio <sup>19</sup>	2,2 / 3,5 = 0,63
Hoeveelheid slib afvoer Venray - Venlo	84 x 0,63 = 53 m <sup>3</sup> per dag
Transportkosten indexatie <sup>20</sup>	3 %

tabel 19: Transportkosten variabelen van nat slib van Venray naar Venlo

De transportkosten zijn voor een deel afhankelijk van de olieprijs vanwege de brandstof voor de vrachtwagens. De energieprijzen hangen vervolgens weer nauw samen met de olieprijs. Aangezien we al eerder hebben aangenomen dat de energieprijzen in de komende jaren zullen stijgen (5% per jaar), zullen we om die reden ook aannemen dat de transportkosten (in mindere mate) zullen toenemen. Volgens interne specialisten van het WBL is daarom een indexatie van 3 % per jaar een redelijke aanname.

De totale transport kosten per jaar zullen als volgt worden berekend:

$$\begin{aligned} \text{Transportkosten per jaar in jaar } j &= \\ \text{slibafvoer per dag} \times \text{transportkosten nat slib per m}^3 &\times 365 \text{ dagen} \times (\text{indexatie factor})^j = \\ 53 \times 2,09 \times 365 \times 1,03^j &= 40.431 \times 1,03^j \end{aligned}$$

### 6.3.1.5 Verwerkingskosten

Wanneer het slib is vergist en ingedikd op de rwzi Venray, wordt het slib getransporteerd om verder ontwaterd, gedroogd en afgevoerd te worden. Deze activiteiten worden afgebeeld in figuur 13. De verwachte kosten per verwerkingsactiviteit en de verwachte hoeveelheid droge

<sup>18</sup> Feitelijke informatie vanuit interne rapportages

<sup>19</sup> Gemiddelde van een wekelijkse steekproef in de jaren 2006 tot 2008

<sup>20</sup> Inschatting door interne specialisten van het WBL

stof zijn weergegeven in tabel 20. We nemen aan dat de verwerkingskosten voor alle gistingsmethodes gelijk zijn. Verder doen we de aanname dat het slib door een externe partij wordt verwerkt terwijl het in werkelijkheid ook een (duurdere) optie is om het slib intern in Susteren te verwerken.

Hoeveelheid slib aanvoer <sup>21</sup>	84 m <sup>3</sup> per dag
Hoeveelheid droge stof vracht <sup>21</sup>	2.409 kg per dag
Slibontwatering kosten 2011 (Venlo) <sup>21</sup>	€ 60 per ton D.S.
Slib droging en verwerking door externe partij <sup>21</sup>	€ 370 per ton D.S.
Verwerkingskosten indexatie <sup>22</sup>	3 %

**tabel 20: Verwerkingskosten variabelen van slib vanuit Venray**

De verwerkingskosten zijn voor een deel afhankelijk van de energieprijzen omdat bij het ontwateren en drogen veel aardgas wordt gebruikt. Om dezelfde reden als bij de indexatie van transportkosten zullen we daarom een toename van 3% per jaar aannemen.

De totale verwerkingskosten per jaar zullen als volgt worden berekend:

$$\begin{aligned} & \text{Verwerkingskosten per jaar in jaar } j = \\ & (\text{slibontwatering kosten per ton D.S.} + \text{slibdroging en -verwerking kosten per ton D.S.}) \\ & \times \text{droge stof vracht per dag (ton D.S.)} \times 365 \text{ dagen} \times (\text{indexatie factor})^j = \\ & (60 + 370) \times 2,409 \times 365 \times 1,03^j = 378.092 \times 1,03^j \end{aligned}$$

### 6.3.2 Onderhoud

In Bijlage D wordt een overzicht gegeven van de onderhoudskosten van de huidige (gasinblazing) en de Columbus methode. De kostenschattingen van de huidige mengmethode zijn verkregen aan de hand van gesprekken met Henk Guntlisbergen (operator in het zuiveringsgebied Roermond-Venlo) en Piet Hoeijmakers (voormalig bedrijfsvoerder rwzi Venray). Verder is er gebruik gemaakt van de onderhoudshistorie uit het onderhoudssysteem MAXIMO en van de interne documentatie over de beheer- en onderstaken.

De onderhoudskosten voor de Columbus zijn gebaseerd op gesprekken met Ben Bisseling en Derick Coops van het adviesbureau Royal Haskoning.

Het onderhoud wordt in de bijlage onderverdeeld in de activiteiten zoals deze in 5.1.3 zijn genoemd (inspectief, preventief en correctief onderhoud en beheer). Verder worden de kosten per onderhoudsactiviteit opgedeeld in de kostenelementen die in tabel 2 zijn opgesteld (personeelskosten, service van derden, materiaalkosten). De 'service van derden' kolom is voor beide gistingsmethodes leeg, omdat we aannemen dat alle onderhoudswerkzaamheden door eigen personeel worden uitgevoerd. De onderhoudswerkzaamheden die een meerjarig nut hebben (vervangen of reviseren van componenten) worden niet in dit overzicht meegenomen, maar komen tot uiting in de investeringskosten (zie 6.3.1.1). In Bijlage D worden ook de beheeractiviteiten genoemd, terwijl deze volgens de opzet van dit verslag eigenlijk in paragraaf 6.3.1.3 thuis horen. Omwille van een beter overzicht hebben we ervoor gekozen om de kosten van deze beheeractiviteiten tot uiting te laten komen in de onderhoudskosten.

De opties 2 en 3 staan in beide overzichten in Bijlage D genoemd, omdat deze opties mengvormen zijn van de twee uiterste slibgisting methodes. In tabel 21 is de informatie samengevoegd zodat de onderhoudskosten per optie bepaald kan worden.

<sup>21</sup> Feitelijke informatie vanuit interne rapportages

<sup>22</sup> Inschatting door interne specialisten van het WBL

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Onderhoudskosten per jaar	€ 43.325	€ 26.746	€ 22.336	€ 14.296

**tabel 21: Onderhoudskosten per jaar per optie**

## 6.4 Conclusie

Per levensfase zijn in dit hoofdstuk per kostenelement de kosten geschat. Deze schattingen zijn opgesomd in tabel 22.

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Project aanvang	€ 21.150	€ 28.050	€ 31.050	€ 33.855
Projectuitvoering	€ 253.698	€ 518.025	€ 557.284	€ 54.203
Exploitatie (in jaar j)				
<i>Kapitaallasten</i>		-		
<i>Energiekosten</i>	-142.954 x 1,05 <sup>j</sup>	-146.662 x 1,05 <sup>j</sup>	-146.662 x 1,05 <sup>j</sup>	-151.781 x 1,05 <sup>j</sup>
<i>Personeelskosten</i>		-		
<i>Materiaalkosten</i>		-		
<i>Transportkosten</i>		40.431 x 1,03 <sup>j</sup>		
<i>Verwerkingskosten</i>		378.092 x 1,03 <sup>j</sup>		
<i>Onderhoudskosten</i>	€ 43.325	€ 26.746	€ 22.336	€ 14.296

**tabel 22: Kosten in levensduur van de gistingsopties**

De investeringen worden in de LCC analyse direct toegerekend aan het jaar waarin de investering wordt gedaan. De kapitaallasten worden in de deze analyse daarom niet als kasstroom beschouwd. De kosten voor het financieren van de investeringen (rentelasten) wordt wel in de analyse meegenomen door middel van de 'cost of capital' (zie 7.1).

Voor de leesbaarheid van dit verslag hebben we er voor gekozen om de personeel- en materiaalkosten voor het beheer van de gistinginstallatie tot uiting te laten komen in de onderhoudskosten.

Verder ontbreken in tabel 22 de kosten voor de vervangingen en revisie van installatiecomponenten en het leegzetten van de gistingstank in jaar 15 omdat deze niet op een logische manier in de tabelstructuur vallen weer te geven. De investeringen in installatieonderdelen zijn af te leiden uit tabel 10 en tabel 13.

De kasstromen per gistingsopties per jaar per kostenelement zijn weergegeven in Bijlage E. De kosten voor de projectaanvang en projectuitvoering zijn de investeringen in jaar 0. De investeringen voor de revisie en vervanging van installatiecomponenten worden herhaald, afhankelijk van de frequentie die in tabel 10 is genoemd. Verder komen de kosten voor het leegzetten in de tank (tabel 13) tot uiting in jaar 15.



## 7 Bepaling van Life Cycle Costs per alternatief

Dit hoofdstuk dient ter beantwoording van onderzoeksvraag 5. Allereerst zullen we in 7.1 alle verwachte kosten (uit hoofdstuk 6) samenvoegen om de netto contante kosten per optie te berekenen. Vervolgens worden in 7.2 aandacht besteed aan de kwalitatieve criteria die niet in de LCC analyse tot uiting zijn gekomen, maar wel relevant zijn voor de investeringsbeslissing. In de concluderende paragraaf (7.3) zullen we de uitkomsten van beide analyses samenvoegen en bepalen welke optie optimaal is.

### 7.1 Netto contante waarde

Met behulp van de netto contante waarde (NCW) methode worden de verwachte kosten per gistingalternatief samengevoegd. De methode wordt in veel financiële boeken uitgelegd omdat het de basis vormt van de investeringstheorie. Als naslag is er voor dit onderzoek gebruik gemaakt van het boek *Management and Cost Accounting* van Drury (2004).

Het principe van de netto contante waarde methode is het verdisconteren van de jaarlijkse kasstromen in de levensduur van een project of een installatie. Op deze manier wordt de huidige contante waarde van de kasstroom in jaar  $j$  bepaald waarmee uitdrukking wordt gegeven aan de tijdswaarde van geld. De huidige contante waarde van een kasstroom in jaar  $j$  kan als volgt worden bepaald:

$$\text{Huidige contante waarde} = \frac{\text{Kasstroom in jaar } j}{(1 + \text{percentage})^j}$$

In de commerciële sector wordt voor het verdisconteringpercentage het minimale vereiste rendement voor een investering gekozen. Het percentage wordt daarom ook wel de ‘cost of capital’ genoemd. In het geval van een risicovolle investering zullen investeerders een hoog rendement vereisen en zal de ‘cost of capital’ dus een hoog percentage zijn.

In het geval van de gistinginstallaties is er geen sprake van een (positief) rendement en is er bovendien voor de investeerder (de bank) geen risico dat het geleende geld niet wordt terugbetaald omdat het WBL een overheidsorganisatie is. We zullen voor deze investeringsbeslissing daarom als ‘cost of capital’ het rentepercentage voor een lening bij de bank aannemen. Volgens de afdeling Planning & Control is dit percentage 6% vanaf 2015.

Zoals in 6.3.1.1 al is besproken, is het bij de NCW methode van de belang om de wijze van financiering buiten beschouwing te laten in de analyse. Investerings zullen daarom in hun geheel in het jaar worden genoteerd waarin de investering wordt gedaan. Om die reden zijn de kapitaallasten geen onderdeel van de kasstromen omdat deze lasten voortvloeien uit de manier waarop de investeringen gefinancierd worden. De ‘cost of capital’ geeft uitdrukking aan de kosten voor het lenen van geld, dus hiermee komen de financieringskosten (rentelasten) wel tot uitdrukking in de analyse.

Op basis van de bepaling van de verwachte kosten in hoofdstuk 6, zijn in Bijlage E alle jaarlijkse kosten per optie weergegeven. In de meest rechter kolom zijn de verdisconteerde kasstromen berekend. De totale netto contante kosten per gistingsoptie zijn bepaald door de verdisconteerde kasstromen over alle jaren te sommeren. Bovendien zijn de netto contante kosten omgerekend naar de gemiddelde jaarlijkse kosten (annuïteiten) om de opties beter met elkaar te kunnen vergelijken. De uitkomsten zijn in tabel 23 samengevat.

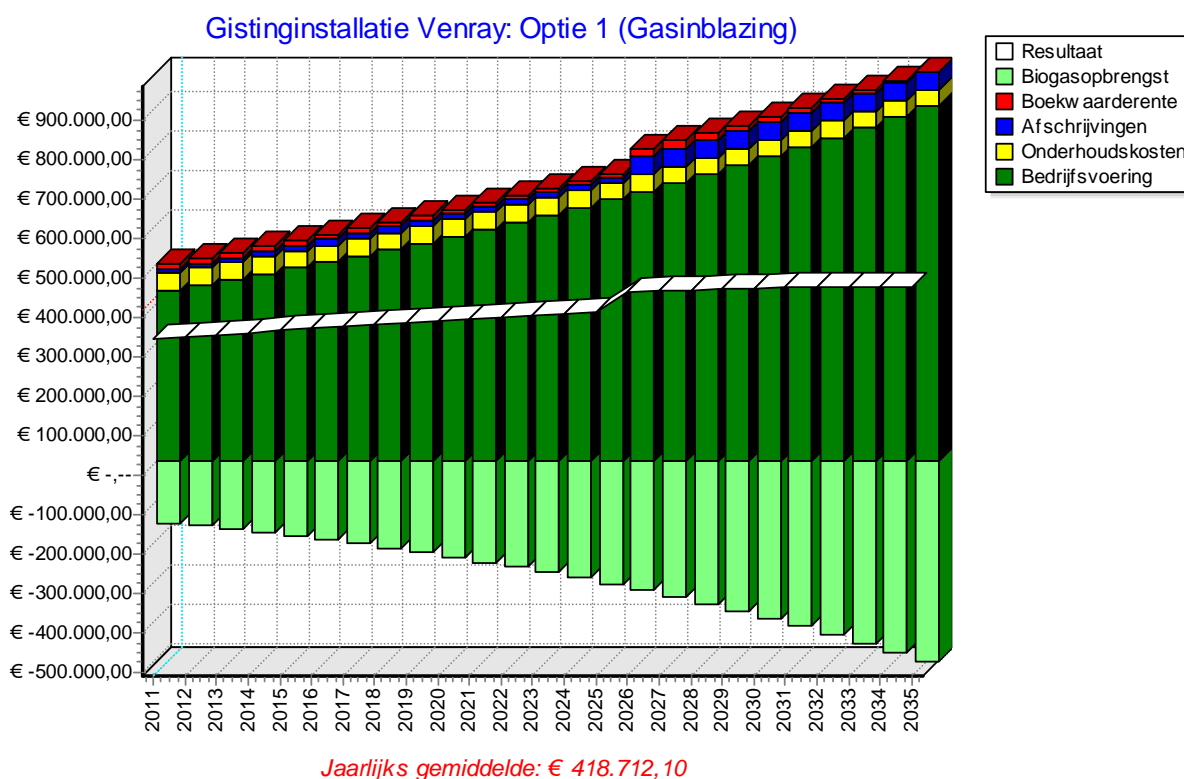
	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Netto contante kosten	€ 5.139.162	€ 5.126.131	€ 5.101.380	€ 4.883.187
Gemiddelde jaarlijks kosten	€ 402.020	€ 401.000	€ 399.064	€ 381.996

**tabel 23: Netto contante kosten en de gemiddelde jaarlijkse kosten per gistingalternatief**

Ter beantwoording van onderzoeksvraag 5 (*Welk vergistinginstallatie alternatief heeft de laagste Life Cycle Costs?*) kunnen we uit tabel 23 concluderen dat optie 4 de laagste netto contante kosten heeft die op jaarbasis € 20.000 verschilt met de traditionele gistingmethode die nu gekozen wordt.

Om een beter inzicht te krijgen in de opbouw van de kosten per jaar, hebben we het programma 'LCC-lite' van S&G en partners in Nijmegen gebruikt om de getallen in Bijlage E te illustreren (figuur 14). Dit programma biedt de mogelijkheid om op een gemakkelijke manier alle kosteninformatie in te voeren en grafisch weer te geven. In het onderstaande figuur wordt alleen optie 1 afgebeeld omdat de andere opties een vergelijkbaar beeld schetsen voor wat betreft de kostenverhoudingen.

Op de horizontale as zijn alle jaren in de levensduur van de gistinginstallatie weergegeven (2011 – 2035). De verticale as geeft de kosten weer (negatieve kosten zijn opbrengsten). De staven geven de kosten per jaar weer die zijn opgedeeld in de kostenelementen zoals die in hoofdstuk 6 ter sprake zijn gekomen. De energie-, transport-, verwerkingskosten zijn samengevoegd in bedrijfsvoeringkosten. Merk op dat de biogasopbrengst als negatieve uitgaven zijn weergegeven. Het resultaat (uitgaven – opbrengsten) wordt weergegeven met de witte lijn.



**figuur 14: Overzicht van kosten per jaar voor de gistinginstallatie Venray, optie 1**

In tegenstelling tot de handmatige NCW methode in Bijlage E rekt LCC-lite met de kapitaallasten in plaats van de directe investeringsbedragen. Deze kapitaallasten bestaan uit



afschrijvingen en boekwaarderente. De wijze van financiering wordt bij LCC-lite dus in de berekening meegenomen terwijl dit buiten beschouwing gelaten moet worden volgens de NCW methode (Drury 2004). Beide methodes komen met dezelfde netto contante kosten, maar de jaarlijks gemiddelde kosten wijken om bovenstaande reden af.

Een observatie die gemaakt kan worden uit figuur 14, is dat de afschrijving- en rentekosten maar een relatief klein deel van de kosten vormen. De investeringen zijn hoog, maar vanwege de afschrijvingstermijn van 25 jaar, worden deze kosten over vele jaren verspreid en zijn de jaarlijkse kosten in verhouding laag ten opzichte van de bedrijfsvoering kosten.

## **7.2 Kwalitatieve criteria**

In het gehele onderzoek hebben we ons er steeds op gericht om de criteria waarop de gistingalternatieven worden beoordeeld om te rekenen in euro's. Toch blijven er criteria die niet (direct) te kwantificeren zijn, maar die wel relevant zijn voor de investeringsbeslissing. We zullen in deze paragraaf deze criteria formeel in het onderzoek behandelen door gebruik te maken van een multi-criteria-analyse (MCA).

De volgende kwalitatieve criteria zijn relevant voor een keuze voor een gistingmethode:

1. *Milieuvriendelijkheid*: de gistingsopties onderscheiden zich op het gebied van milieuvriendelijkheid vooral in het energieverbruik en biogasopbrengst. De kosten voor het energieverbruik zijn al tot uiting gekomen in de LCC analyse dus dit criterium omvat alleen de impact van dit energieverbruik op het milieu en het 'groene' imago. De biogasopbrengst maakt geen verschil in de milieuvriendelijkheid van de opties omdat deze gelijk is voor alle opties. De ambitie om processen milieuvriendelijker (duurzamer) in te richten, is een van de belangrijke doelen die terug komen in de meerjarenraming 2009 – 2013.
2. *Technische innovatie*: de mate waarin nieuwe technologieën worden toegepast. Volgens de meerjaren planning 2009 - 2013 van het WBL is ook innovatie namelijk een van de doelen die de komende jaren worden nagestreefd.
3. *Veiligheid*: de veiligheid voor de directe omgeving van de gistinginstallatie en het WBL personeel op basis van het gevaar voor te hoge H<sub>2</sub>S concentraties of ontploffingen (ATEX wetgeving).

Om dubbeltellingen te voorkomen, zijn de criteria zodanig gekozen dat er geen sprake is van overlap. Zo zouden 'Imago' of 'Duurzaamheid' ook een criterium kunnen zijn, maar beiden hangen af van de milieuvriendelijkheid en de technische innovatie van de gistingmethode. Verder zijn hier alleen de criteria genoemd die niet al tot uiting zijn gekomen in de LCC berekening. 'Mate slibafbraak / vergisting' is om die reden geen geldig kwalitatief criterium omdat de mate van slibafbraak / vergisting al tot uiting komt in de biogasopbrengst, en transport- en verwerkingskosten.

In de literatuur bestaan er verschillende MCA methodes die op verschillende aannames gebaseerd zijn. Zo houden sommige methodes bijvoorbeeld expliciet rekening met onzekerheid (MAUT). Verder kan er een onderscheid worden gemaakt tussen compensatorische (SMART, AHP, MAUT) en niet-compensatorische methodes (ELECTRE). Bij een compensatorische methode kan een slechte score op een bepaald criterium gecompenseerd worden door een goede score op een ander criterium en wordt de aanname gedaan dat alle alternatieven vergelijkbaar zijn door een score per alternatief te bepalen. In dit onderzoek is het wenselijk dat we elk alternatief een score kunnen geven om te bepalen hoe sterk de voorkeur van alternatief A ten opzichte van alternatief B is. Verder worden de

onzekerheden van de alternatieven bij de gevoeligheidsanalyse behandeld en hoeven deze dus niet in de MCA te worden meegenomen. Om die reden zijn SMART en AHP het meest geschikt voor dit onderzoek. De persoonlijke voorkeur gaat uit naar de AHP methode omdat de vraagstelling bij het bepalen van de gewichten en scores bij deze methode (d.m.v. 'pairwise comparison') begrijpelijker is dan bij SMART.

De Analytic Hierarchy Process (AHP) methode is er op gericht om de voorkeur voor alternatieven te vergelijken door per alternatief een score te berekenen. Om dit te bereiken worden allereerst voor ieder alternatief de scores per criterium bepaald. Vervolgens worden de gewichten per criterium bepaald en kan de totaalscore per alternatief worden berekend op basis van een gewogen gemiddelde van de scores per criterium.

Wiskundig kan het bovenstaande als volgt worden geformuleerd:

$v(a)$  = score voor alternatief  $a$

$w_i$  = gewicht van criterium  $i$

$s_i(a)$  = score van alternatief  $a$  op criterium  $i$   $a = 1, \dots, 4; i = 1, \dots, 3$

Het doel van de analyse is om voor alle alternatieven  $v(a)$  te bepalen:

$$v(a) = \sum_{i=1}^3 w_i s_i(a) \quad a = 1, \dots, 4$$

De scores ( $s_i(a)$ ) en gewichten ( $w_i$ ) worden bij de AHP bepaald door een zogenoemde 'pairwise comparion' (paarsgewijze vergelijking). We zullen per criterium voor elke alternatievenpaar de voorkeur tussen de twee alternatieven uitdrukken met een cijfer tussen de 1 en de 9 waarbij 1: 'gelijke voorkeur' en 9: 'extreem sterke voorkeur' voorstelt. Hetzelfde doen we voor het bepalen van de gewichten van de criteria. Merk op dat in de matrices de diagonaal altijd 1 is (een alternatief heeft geen voorkeur t.o.v. zichzelf) en dat voor iedere cel (i,j) geldt: (i,j) = 1 / (j,i).

	<i>Milieuvriendelijkheid</i>				<i>Technische innovatie</i>				<i>Veiligheid</i>			
<i>Opties</i>	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	1/3	1/4	1/9	1	1/5	1/6	1/9	1	1/7	1/7	1/9
2	3	1	1/2	1/7	5	1	1/2	1/4	7	1	1	1/3
3	4	2	1	1/5	6	2	1	1/5	7	1	1	1/3
4	9	7	5	1	9	4	5	1	9	3	3	1
	C.R. = 0,0386				C.R. = 0,0753				C.R.= 0,0337			

**tabel 24: Paarsgewijze vergelijkingen van alternatieven op basis van de kwalitatieve criteria**

	<i>Milieuvriendelijkheid</i>	<i>Technische innovatie</i>	<i>Veiligheid</i>
<i>Milieuvriendelijkheid</i>	1	5	3
<i>Technische innovatie</i>	1/5	1	1/3
<i>Veiligheid</i>	1/3	3	1
	C.R.= 0,0333		

**tabel 25: Paarsgewijze vergelijkingen van de kwalitatieve criteria**

In dit onderzoek heb ik deze paarsgewijze vergelijkingen zelf uitgevoerd op basis van de strategische doelstellingen zoals die in de meerjarenbegroting worden genoemd. De MCA heeft alleen nut als de groep van beslissingnemers het met deze inschattingen eens is omdat het maken van deze vergelijkingen in zeker mate een subjectieve onderneming is.

Bij het invullen van de matrices kan het voorkomen dat de getallen niet consistent zijn. Bij Milieuvriendelijkheid is de voorkeur van optie 1 tegenover 2 bijvoorbeeld 3. De voorkeur van

optie 2 tegenover 3 is 2. Dit impliceert dat de voorkeur van 1 tegenover 3 ( $2 \times 3 = 6$ ) moet zijn, maar tijdens de paarsgewijze vergelijking is hier 5 ingevuld. De AHP methode geeft formeel uitdrukking aan deze inconsistenties door de ‘consistency ratio’ (C.R.) te berekenen. Een matrix is consistent genoeg wanneer  $C.R. < 0,1$ . Alle bovenstaande matrices voldoen aan deze voorwaarde. In het artikel van Harker wordt uitgelegd hoe de ‘consistency ratio’ berekend kan worden.

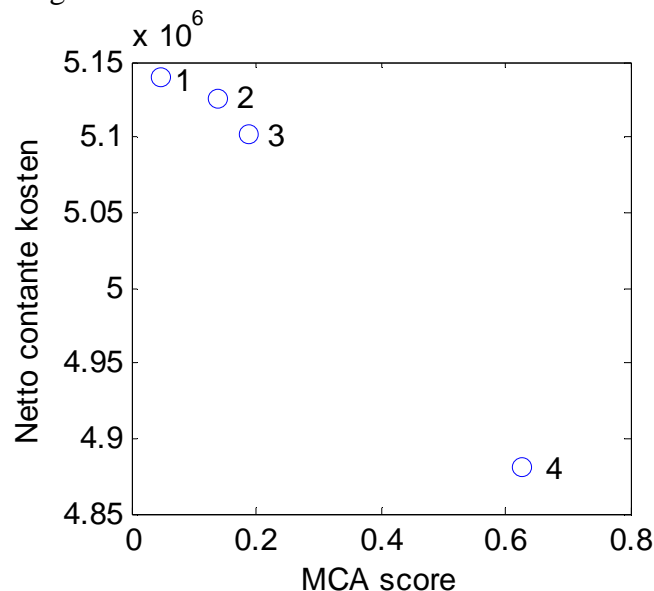
De scores per alternatief per criterium en de gewichten van de criteria, kunnen worden bepaald door van de matrices in tabel 24 en tabel 25 de eigenvectoren van de maximale eigenwaarde te bepalen (Harker) en daarna te normaliseren. De berekeningen zijn uitgevoerd in het wiskundige pakket Matlab en resulteert in de scores en gewichten die zijn weergegeven in tabel 26.

	<i>Milieu-vriendelijkheid</i>	<i>Technische innovatie</i>	<i>Veiligheid</i>	<i>Totale score</i> $v(a)$	<i>Rangorde</i>
<i>Gewicht (<math>w_i</math>)</i>	0,637	0,1047	0,2583		
<i>Optie 1 (<math>s_i(1)</math>)</i>	0,0495	0,0408	0,0390	0,0459	4
<i>Optie 2 (<math>s_i(2)</math>)</i>	0,1069	0,1433	0,2151	0,1387	3
<i>Optie 3 (<math>s_i(3)</math>)</i>	0,1757	0,2040	0,2151	0,1888	2
<i>Optie 4 (<math>s_i(4)</math>)</i>	0,6678	0,6119	0,5309	0,6266	1

tabel 26: Bepaling van scores, wegingsfactoren en de totale score per gistingsoptie

### 7.3 Conclusie

In figuur 15 zijn de resultaten van de LCC en MCA analyse gecombineerd in een grafiek. Uit de figuur blijkt dat optie 1,2 en 3 voor zowel de netto contante waarde en MCA score niet veel van elkaar verschillen. Optie 4 is daarentegen in de meest optimale hoek van de grafiek te vinden omdat voor optie 4 de netto contante kosten het laagst zijn en de MCA score het hoogst is.



figuur 15: Plot van de LCC en MCA resultaten

Er kan geconcludeerd worden dat optie 4 (het Columbus concept) zowel op basis van kwantitatieve en kwalitatieve criteria de optimale gistingsoptie is.



## 8 Gevoeligheidsanalyse

In dit hoofdstuk analyseren we de resultaten van de LCC berekening op de gevoeligheid in verandering van kostenelementen (onderzoeksvraag 6). Allereerst worden in 8.1 de factoren geïdentificeerd die de onzekerheid in de kostenelementen veroorzaken (onderzoeksvraag 6a). Vervolgens wordt in 8.2 onderzocht bij welke afwijkingen in geschatte en werkelijke kosten van de kostenelementen de keuze voor de Columbus (optie 4) optimaal blijft (onderzoeksvraag 6b). Tenslotte worden in 8.3 de conclusies getrokken.

### 8.1 Onzekere factoren

In 4.2.3 (nadelen van het Columbus concept) hebben we al besproken dat de kosten voor het Columbus concept onzekerder zijn dan bij de huidige gistingmethode. De volgende factoren spelen hierbij een belangrijke rol:

- *Bouwkosten*  
Het Columbus concept wordt geïnstalleerd in een bestaande gistingstank. Tijdens de bouw kan blijken dat het Columbus concept niet geheel compatibel is met de gistingstank en zullen er oplossingen gezocht moeten worden om het Columbus concept toch te installeren. Dit kan tijdens de bouw voor meerwerk zorgen. Vooral de dakconstructie is voor het WBL een punt van zorg, omdat het dak bij de Columbus het gewicht van de mengaandrijving moet kunnen dragen. Ben Bisseling van Royal Haskoning heeft verklaard dat het risico van de ombouw in zijn geheel bij Royal Haskoning liggen, maar het zal in de praktijk lastig zijn om de meerwerk kosten volledig toe te rekenen aan Royal Haskoning. Volgens Ben Bisseling is de ombouw is met het Columbus concept dusdanig inzichtelijk dat de kans op meerwerk nihil is, maar omdat de Columbus vooralsnog alleen als concept bestaat en nog nergens tot uitvoering is gebracht, is de kans op meerwerk alsnog groter dan bij de traditionele gistingmethode.
- *Onderhoud- en vervangingskosten*  
Volgens het adviesbureau Royal Haskoning zullen de onderhoud- en vervangingskosten bij het Columbus concept een stuk lager zijn dan bij de huidige gistingmethode (zie 4.2.2). Het Columbus concept is nog nergens in werking, dus in de praktijk moet nog maar blijken of deze kosten inderdaad lager uit zullen vallen. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat de schuim-, drijfslag- en/of sedimentvorming bij de Columbus juist toeneemt waardoor de installatieonderdelen een hogere onderhoudsintensiteit hebben en eerder vervangen moeten worden. Ook kan het zijn dat de gistingstank hierdoor eerder gereinigd en dus leeggezet moet worden. Weliswaar kan het tegendeel van deze stelling door Royal Haskoning met 275 praktijk voorbeelden in Duitsland worden onderbouwd, maar het feit blijft dat de gistingstank in Venray om een uniek project is omdat de bestaande tank moet worden omgebouwd en dus niet 1-op-1 vergeleken kan worden met andere gistingstanks. Het omgekeerde is ook mogelijk: de onderhoud- vervangingskosten blijken in de praktijk juist nog lager uit te vallen dan in hoofdstuk 6 is berekend.
- *Mate van slib vergisting / afbraak*  
In dit onderzoek hebben we aangenomen dat de mate van slib vergisting / afbraak voor alle gistingsopties gelijk is omdat Royal Haskoning voorlopig niet heeft kunnen bewijzen dat de Columbus het slib beter vergist en afbreekt dan de huidige gistingmethode. Royal Haskoning heeft wel sterke indicaties dat de mate van slib vergisting / afbraak bij het Columbus concept verbetert, maar het blijft onzeker of dit in de praktijk inderdaad het geval zal zijn. Een betere vergisting zorgt voor een hogere biogas productie en een lagere drogestof vracht. Dit resulteert respectievelijk in een hogere biogasopbrengst en lagere verwerkingskosten.

- *Indexatie*

In dit verslag hebben we aangenomen dat de energieprijzen jaarlijks met 5% toenemen. Voor de transport- en verwerkingskosten hebben we een indexatie van 3% aangenomen. Het is echter onzeker hoe deze prijzen en kosten zich in de levensduur van de gistinginstallatie zullen ontwikkelen.

## 8.2 Verandering in kostenelementen

In de secties van deze paragraaf bepalen we per kostenelement hoe de netto contante kosten van de gistingsopties veranderen als gevolg van de onzekere factoren die in 8.1 geïdentificeerd zijn. Ook berekenen we onder welke omstandigheden de optimale gistingsoptie (4) optimaal blijft.

### 8.2.1 Projectaanvang en uitvoering

De kosten voor de projectaanvang en uitvoering komen in de LCC analyse tot uiting in de investeringskosten in jaar 0 (2011). Zoals in 8.1 is besproken, zijn deze bouwkosten voor het Columbus concept erg onzeker. Optie 4 blijft optimaal zolang de netto contante kosten lager zijn dan de netto contante kosten van optie 3 (de nummer 2 in de NCW rangorde). Gezien alle bouwkosten voorkomen in jaar 0 en dus niet verdisconteerd worden, mogen de bouwkosten voor optie 4 dus maximaal toenemen met het verschil van de netto contante kosten van optie 3 en 4. De gegevens zijn weergegeven in tabel 27. Merk op dat deze vergelijking alleen geldt voor onafhankelijk kosten tussen optie 3 en 4. Wanneer bijvoorbeeld de bouwkosten aan de mengvijzel toenemen dan zullen de netto contante kosten van zowel optie 3 en 4 stijgen omdat beide opties worden uitgevoerd met een mengvijzel. De bouwkosten voor optie 4 mogen in dat geval met een hoger bedrag toenemen om toch optimaal te blijven (tot het verschil in netto contante kosten met optie 1 die geen mengvijzel heeft: € 255.975).

	Optie 3	Optie 4	Maximaal toegestane toename van de bouwkosten (optie 3 – optie 4)
Netto contante kosten	€ 5.101.380	€ 4.883.187	<b>€ 218.193</b>

tabel 27: Maximaal toegestane toename van de bouwkosten voor optie 4

Optie 4 blijft de gistingmethode met de laagste netto contante kosten zolang de extra bouwkosten voor optie 4 met niet meer dan € 218.193 toenemen. De verwachte bouwkosten zijn in hoofdstuk 6 berekend op € 628.058, dus de extra bouwkosten mogen met maximaal 35% toenemen.

### 8.2.2 Energiekosten

De energiekosten zijn onderhevig aan de volgende onzekere factoren die hieronder apart besproken worden.

- Energieprijzen indexatie
- Mate van slib vergisting / afbraak

#### 8.2.2.1 Energieprijzen indexatie

In het verslag hebben we voor de energieprijzen een indexatie van 5% aangenomen. Aangezien deze ontwikkeling van de energieprijzen onzeker is, hebben we twee andere scenario's toegepast: een scenario met een lage (2%) en een hoge (10%) indexatie van energieprijzen. In tabel 28 hebben we de netto contante kosten van de gistingsopties berekend bij het toepassen van deze scenario's.

	Optie 1	Optie 2	Optie 3	Optie 4
Netto contante kosten (5%)	€ 5.139.162	€ 5.126.131	€ 5.101.380	€ 4.883.187
Lage indexatie (2%)	€ 5.947.548	€ 5.955.485	€ 5.930.734	€ 5.741.488
Hoge indexatie (10%)	€ 2.707.029	€ 2.630.912	€ 2.606.161	€ 2.300.876

**tabel 28: Vergelijking van de netto contante kosten bij een verschillende indexatie van energieprijzen**

Uit de tabel blijkt dat optie 4 onder alle scenario's de laagste netto contante kosten heeft. De optimale gistingsoptie is dus onafhankelijk van de indexatie van de energieprijzen. Wel is het verschil tussen optie 3 en 4 kleiner bij een lage indexatie. Verder valt op dat de netto contante kosten van alle opties lager zijn bij een hoge indexatie. Dit valt te verklaren door het feit dat de gistingstank meer energie produceert dan dat het verbruikt; de energiekosten zijn negatief (zie tabel 18).

### 8.2.2.2 Mate van slib vergisting / afbraak

In 6.3.1.2.4 (*Biogasopbrengst per alternatief*) is al gesteld dat bij een biogasproductie ( $b$ ) van tussen de 38 en 56 m<sup>3</sup>/h en een maximale warmtebehoefte ( $w$ ) van 130 kW er de volgende biogasopbrengst geldt:

*Biogasopbrengst per jaar in jaar  $j$  =*

$$52 (9170 p_{\text{elektra}}^{\text{dag}}(j) + (392,95b - 9167,41) p_{\text{elektra}}^{\text{nacht}}(j) + 21,296 w p_{\text{aardgas}}(j))$$

Uit deze formule valt af te leiden dat iedere extra geproduceerde m<sup>3</sup>/h (marginale biogasproductie) het volgende oplevert per jaar:

$$\text{Marginale biogasopbrengst per jaar in jaar } j = 52 \cdot 392,95 p_{\text{elektra}}^{\text{nacht}}(j) = 20433,4 p_{\text{elektra}}^{\text{nacht}}(j)$$

Wanneer we  $p_{\text{elektra}}^{\text{nacht}}(j) = 0,09796 \cdot 1,05^j$  invullen, krijgen we:

$$\text{Marginale biogasopbrengst per jaar in jaar } j = \underline{2002 \cdot 1,05^j}$$

In dit onderzoek hebben we voor alle gistingsmethodes een biogasproductie van 48 m<sup>3</sup>/h en een gemiddelde warmtebehoefte van 100 kW aangenomen. Verder nemen we aan dat  $p_{\text{elektra}}^{\text{dag}}(j) = 0,14338 \cdot 1,05^j$   $p_{\text{elektra}}^{\text{nacht}}(j) = 0,09796 \cdot 1,05^j$   $p_{\text{aardgas}}(j) = 0,3674 \cdot 1,05^j$

Wanneer we deze gegevens invullen voor de biogasopbrengst per jaar, krijgen we:

$$\text{Biogasopbrengst per jaar in jaar } j = (68.369 + 49.381 + 40.686) \cdot 1,05^j = \underline{158.436 \cdot 1,05^j}$$

Er kan geconcludeerd worden dat iedere extra geproduceerde m<sup>3</sup>/h op jaarbasis de biogasopbrengst met  $\frac{2002 \cdot 1,05^j}{158.436 \cdot 1,05^j} = 0,013 = 1,3 \%$  laat toenemen.

Bovendien is maximale capaciteit van de generator 56 m<sup>3</sup>/h dus biogasproducties boven de 56 m<sup>3</sup>/h leveren geen extra biogasopbrengsten op.

Verder moet er ten alle tijden worden voorkomen dat de biogasproductie onder de 34 m<sup>3</sup>/h komt, omdat er in dat geval de generator niet functioneert en de biogasopbrengsten sterk afnemen (zie figuur 25 in C.5).

Er is berekend dat optie 4 niet meer optimaal is wanneer de biogasproductie 5 m<sup>3</sup>/h lager is dan optie 3. In dit onderzoek hebben we voor alle gistingsmethodes een biogasproductie van 48 m<sup>3</sup>/h aangenomen, dus zal optie 4 niet meer de laagste netto contante kosten hebben als de biogasproductie lager dan 43 m<sup>3</sup>/h is.

Volgens Royal Haskoning zal de Columbus het slib beter vergisten dan de huidige gistingmethode waardoor ook de biogasproductie zal toenemen. In de bovenstaande analyse hebben we aangetoond dat een toename in de biogasproductie in het bereik van 38 tot 56 m<sup>3</sup>/h maar een kleine (1,3% per m<sup>3</sup>/h) invloed heeft op biogasopbrengst per jaar. Wel moet ervoor worden gewaakt dat de biogasproductie minimaal 34 m<sup>3</sup>/h is omdat generator in dat geval niet meer kan functioneren waardoor de biogasopbrengsten sterk teruglopen. Verder is berekend dat optie 4 niet meer optimaal is wanneer de biogasopbrengst lager dan 43 m<sup>3</sup>/h is.

### 8.2.3 Transportkosten

De onzekere factor bij het bepalen van de transportkosten is de indexatie factor. Net als in bij de energieprijzen (8.2.2.1) zullen we de netto contante kosten van de gistingsopties berekenen onder een scenario met een lage (0%) en een hoge (6%) indexatiefactor (tabel 29).

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Netto contante kosten (3%)	€ 5.139.162	€ 5.126.131	€ 5.101.380	€ 4.883.187
Lage indexatie (0%)	€ 4.965.778	€ 4.952.747	€ 4.927.996	€ 4.709.802
Hoge indexatie (6%)	€ 5.402.495	€ 5.389.464	€ 5.364.713	€ 5.146.520

**tabel 29: Vergelijking van de netto contante kosten bij een verschillende indexatie van transportkosten**

Net als bij de indexatie van energieprijzen blijkt dat optie 4 onder alle scenario's de laagste netto contante kosten heeft. De optimale gistingsoptie is dus onafhankelijk van de indexatie van de transportkosten.

### 8.2.4 Verwerkingskosten

De energiekosten zijn onderhevig aan de volgende onzekere factoren die hieronder apart besproken worden.

- Verwerkingskosten indexatie
- Mate van slib vergisting / afbraak

#### 8.2.4.1 Verwerkingskosten indexatie

Net als de energieprijzen en de transportkosten, berekenen we de netto contante kosten van de gistinginstallaties onder een scenario met een lage (0%) en een hoge (6%) indexatiefactor. De uitkomsten zijn weergegeven in tabel 30.

	<i>Optie 1</i>	<i>Optie 2</i>	<i>Optie 3</i>	<i>Optie 4</i>
Netto contante kosten (3%)	€ 5.139.162	€ 5.126.131	€ 5.101.380	€ 4.883.187
Lage indexatie (0%)	€ 3.517.749	€ 3.504.718	€ 3.479.967	€ 3.261.774
Hoge indexatie (6%)	€ 7.601.739	€ 7.588.708	€ 7.563.957	€ 7.345.764

**tabel 30: Vergelijking van de netto contante kosten bij een verschillende indexatie van verwerkingskosten**

Uit de tabel blijkt dat optie 4 onder alle scenario's de laagste netto contante kosten heeft. De optimale gistingsoptie is dus onafhankelijk van de indexatie van verwerkingskosten.

#### 8.2.4.2 Mate van slib vergisting / afbraak

Wanneer de Columbus het slib beter zou afbreken, zal ook de droge stof vracht afnemen en daarmee de verwerkingskosten. In het bestek wordt er vanuit gegaan dat de gemiddelde



aanvoer en afvoer van droge stof respectievelijk 3.631 kg en 2.409 kg zal zijn (afbraak van 34%).

De marginale verwerkingskosten zijn bepaald aan de hand van de formule in 6.3.1.5. Voor de droge stof vracht per dag vullen we de droge stof vracht bij 1% extra afbraak in (36,31 kg).

$$\begin{aligned} & \text{Marginale verwerkingskosten per jaar in jaar } j = \\ & (\text{slibontwatering kosten per ton D.S.} + \text{slibdroging en -verwerking kosten per ton D.S.}) \\ & \times \text{droge stof vracht per dag (ton D.S.)} \times 365 \text{ dagen} \times (\text{indexatie factor})^j = \\ & (60 + 370) \times 0,03631 \times 365 \times 1,03^j = \underline{5699 \times 1,03^j} \end{aligned}$$

De totale verwerkingskosten per jaar zijn in 6.3.1.5 bepaald:

$$\text{Verwerkingskosten per jaar in jaar } j = (60 + 370) \times 2,409 \times 365 \times 1,03^j = \underline{378.092 \times 1,03^j}$$

Er kan geconcludeerd worden dat iedere extra procent afbraak op jaarbasis de verwerkingskosten met  $\frac{5699 \cdot 1,03^j}{378.092 \cdot 1,03^j} = 0,015 = 1,5 \%$  laat afnemen.

Verder is optie 4 niet meer optimaal wanneer het afbraakpercentage meer dan 2% lager is dan het percentage van optie 3.

## 8.2.5 Onderhoud

Volgens Royal Haskoning zullen de onderhoudskosten voor het Columbus concept lager zijn dan voor de huidige gistingmethode. Dit komt ook tot uitdrukking in de LCC berekening. Bij de analyse van de netto contante kosten, is gebleken dat optie 4 optimaal blijft zolang de structurele onderhoudskosten met niet meer dan € 17.000 per jaar toenemen. De jaarlijkse onderhoudskosten zijn voor optie 4 geraamd op €14.296, dus deze toename zou meer dan een verdubbeling betekenen (119%). Bedenk wel dat bij deze maximale toename van € 17.000 ook de investeringen voor het reviseren en vervangen van componenten moet worden gerekend. Deze zijn namelijk niet inbegrepen bij de geraamde onderhoudskosten (€ 14.296).

## 8.3 Conclusie

Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat optie 4 optimaal blijft als de bouwkosten met niet meer dan € 218.193 toenemen (35% van de totale bouwkosten). Verder blijkt dat de optimale gistingsoptie onafhankelijk is van de indexatie van de energieprijzen en transport- en verwerkingskosten. Elke m<sup>3</sup>/h biogas die extra wordt geproduceerd, levert € 2002 per jaar op (excl. indexatie). Optie 4 blijft de laagste netto contante kosten houden zolang de biogasopbrengst niet minder dan 43 m<sup>3</sup>/h is (waarbij voor de andere gistingsopties een productie 48 m<sup>3</sup>/h wordt aangenomen). Verder levert het per jaar € 5699 op voor iedere procent dat het slib extra wordt afgebroken. Optie 4 blijft optimaal zolang de afbraak van het slib met niet meer dan 2% lager is dan optie 3 (34% afbraak). De structurele onderhoudskosten per jaar (inclusief vervanging en revisie van componenten) mogen niet meer dan € 17.000 stijgen (119% van geraamde onderhoudskosten).

De netto contante kosten van de verschillende gistingsopties wijken niet veel van elkaar af, dus is er weinig ruimte voor grote tegenvallers in de kosten om optie 4 optimaal te laten blijven. Vooral de mate van vergisting / afbraak van de Columbus is van cruciaal belang, omdat deze kosten die hieruit voortvloeien elk jaar terugkomen. Wanneer de Columbus hierin minder presteert dan de huidige gistingmethode, zal de Columbus niet resulteren in de optie met de laagste netto contante kosten.

Merk verder op dat we in de gevoeligheidsanalyse alle kostenelementen in isolatie hebben geanalyseerd. In het geval van een slecht functionerende gistingsinstallatie is het niet ondenkbaar dat alle kostenelementen tegelijk negatief beïnvloed worden. Wanneer een gistingsmethode niet optimaal werkt, heeft dit bijvoorbeeld tegelijkertijd gevolgen voor de biogasopbrengst en verwerkingskosten en zullen de componenten meer onderhoud nodig hebben en vaker vervangen moeten worden.

## 9 LCC raamwerk voor het WBL

Dit hoofdstuk dient als beantwoording op de 7<sup>e</sup> onderzoeksvraag:

*Op welke manier kan het opgestelde LCC raamwerk in de toekomst worden gebruikt bij investering- en onderhoudkeuzes van het WBL?*

In dit hoofdstuk wordt de algemene LCC modellering uit 3.4 en de inzichten uit de case-study van de gistinginstallatie Venray gebruikt om tot een LCC raamwerk te komen die is toegespitst op het WBL. We gebruiken hierbij een zelfde soort stappenplan zoals dit door Ellram (1993b) is opgesteld.

- *Stap 1: Identificeer de context van de analyse*

Wanneer er vanuit het managementteam de opdracht wordt gegeven om een LCC analyse uit te voeren, is het van belang dat men de context, de afbakening en het doel van analyse definieert. Deze informatie is essentieel om te bepalen welke kosten relevant zijn voor de analyse. Zo kunnen bij een investeringsbeslissing bijvoorbeeld de kosten die voor alle alternatieven gelijk zijn buiten beschouwing worden gelaten, terwijl bij een kostprijs berekening alle kosten in de levenscyclus relevant zijn. Verder moet het management aangeven welke resultaten de analyse op moet leveren.

Bij het WBL wordt al veel projectmatig gewerkt en de bovenstaande aandachtspunten worden daarom al in de projectorganisatie toegepast.

- *Stap 2: Stel een LCC team samen*

De bedrijfsmiddelen bij het WBL hebben over het algemeen een lange levensduur. Om de verwachte kosten te bepalen, is het WBL om die reden sterk afhankelijk van de inschattingen van de experts in de verschillende disciplines binnen het WBL. Een LCC team zou om die reden bij voorkeur uit leden moeten bestaan uit verschillende disciplines.

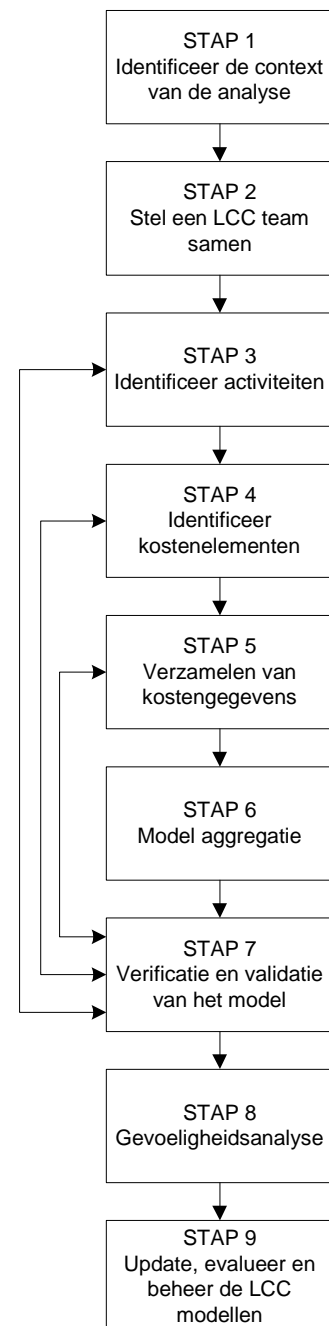
Verder is het van belang om een projectleider aan te stellen die de eindverantwoording neemt om het project in goede banen te leiden.

Een LCC team hoeft niet altijd dezelfde samenstelling te hebben. Dit is geheel afhankelijk van de disciplines die bij het te analyseren bedrijfsmiddel betrokken zijn.

- *Stap 3: Identificeer activiteiten*

Om aan te sluiten op de kostenramingen in het financiële systeem, kunnen de activiteiten van een object het beste worden ingedeeld in volgende levensfasen: projectaanvang, projectuitvoering en exploitatie. Verder moet er rekening worden gehouden met de afstotingsfase (indien relevant).

Vervolgens kan het LCC team de activiteiten per levensfase bepalen. Het is aan te raden om ieder team-lid de activiteiten in zijn of haar gebied van expertise te laten benoemen.



figuur 16: LCC raamwerk

Wel moet het activiteitenmodel gezamenlijk worden besproken om de consistentie te bevorderen en overlap te voorkomen.

- *Stap 4: Identificeer kostenelementen*

De volgende stap is het identificeren van de kostenelementen per activiteit. Ieder LCC team lid kan deze stap individueel voor zijn of haar expertisegebied uitvoeren om daarna deze informatie in gezamenlijk overleg te aggregeren. Het is ook mogelijk om activiteiten- en kostenelement modellen te standaardiseren en/of te hergebruiken om stap 3 en 4 sneller te kunnen doorlopen (zie stap 9).

- *Stap 5: Verzamelen van kostengegevens*

In deze fase moeten de feitelijke kosten gegevens worden bepaald. In een LCC team overleg krijgt ieder lid een deel van de activiteiten toegewezen die het meest aansluiten bij zijn of haar discipline. Voor deze activiteiten moet elk lid per kostenelement een kostenschattingen maken. Voor maken van kostenschattingen zijn er veel gegevens verkrijgbaar uit de informatiesystemen. De belangrijkste zijn:

- MAXIMO: Onderhoudshistories en de preventieve onderhoudsplannen van installatie tot op componentniveau.
- PRINS: Alle procesmatige gegevens van rwzi's op basis van metingen.
- CODA: De financiële administratie.

De systemen zijn niet altijd volledig. Zo worden in MAXIMO (nog) niet alle uren van de onderhoudswerkzaamheden ingevoerd en worden niet alle metingen consequent weergegeven in PRINS. Deze onvolkomenheden zijn te wijten aan het feit dat de implementatie van ICT in de bedrijfsvoering nog gaande zijn. Er wordt dus al de nodige aandacht aan besteed om de informatiesystemen te optimaliseren.

De experts kunnen putten uit deze rijke bron van gegevens, maar zij zullen alsnog handmatig de kostenschattingen moeten maken. De gegevens uit deze systemen bieden namelijk geen kant-en-klare input voor de LCC berekening. Voor het maken van deze kostenschattingen maken de experts gebruik van de ervaring en het inzicht die ze in de loop der jaren hebben ontwikkeld. Verder is het van belang om eerdere (gestandaardiseerde) kostenschattings methodes zoveel mogelijk te hergebruiken (zie stap 9). Tenslotte moet er worden getracht de berekeningen zo goed mogelijk te documenteren zodat het proces transparant, controleerbaar en voor volgende analyses te hergebruiken is.

- *Stap 6: Model aggregatie*

Wanneer alle LCC teamleden individueel hun kostenschattingen hebben gemaakt, kunnen de gegevens geaggregeerd worden door de projectleider. Het model kan worden uitgewerkt in een Excel document of met gespecialiseerde software zoals 'LCC-lite' van S&G en partners.

Verder moet worden bepaald of sprake is van (kwalitatieve) criteria die niet tot uiting zijn gekomen in de LCC analyse. Indien dit het geval is, kunnen deze criteria met behulp van een multi-criteria-analyse in de LCC analyse worden betrokken. Op deze manier worden deze criteria expliciet gemaakt en formeel behandeld zodat een objectieve keus kan worden gemaakt. De criteria voor de MCA moeten dusdanig gekozen worden dat ze geen overlap hebben met andere criteria of met elementen in de LCC analyse.

- *Stap 7: Verificatie en validatie van het model*

In deze fase wordt er door het LCC team (individueel en gezamenlijk) gekeken of uitkomsten van het LCC model logisch volgen uit de gedocumenteerde informatie

(herkomst van de data, aannames en formules). Indien nodig kan er worden teruggekeerd naar stap 5. Vervolgens wordt het model getoetst of de uitkomsten van het model hout snijden en bruikbaar zijn voor het doel waarvoor het model is opgesteld. Ook hier kan het nodig zijn om terug te keren naar stap 5.

- *Stap 8: Gevoeligheidsanalyse*

Om te bepalen wat de gevolgen zijn in een verandering in de kostenelementen, wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Hieruit wordt duidelijk hoe robuust de uitkomsten van de LCC analyse zijn. De gevoeligheidsanalyse kan worden verricht door per kostenelement te bepalen onder welke verandering van de kosten het optimale alternatief optimaal blijft.

- *Stap 9: Update, evalueer en beheer de LCC modellen*

Na het uitvoeren van de LCC analyse is het relevant om de modellen die gebruikt zijn voor het bepalen van de activiteiten, kostenelementen en kostenschattingen op zo'n manier in de organisatie weg te zetten dat ze bij een volgende LCC berekening makkelijk te hergebruiken zijn. Voorbeelden in de gistinginstallatie case zijn de 'biogasopbrengst berekening' (Bijlage C) en het 'leegzetten van de gistingstank berekening' (Bijlage B). Door alleen de parameters van het modellen aan te passen, kunnen de modellen ook een kostenschatting geven voor een LCC analyse bij andere gistingstanks. Het uitwerken van deze modellen maakt het bovendien mogelijk om de onderliggende aannames expliciet en bediscussieerbaar te maken. Door het hergebruik en standaardisatie van de modellen is het mogelijk om de LCC analyse minder arbeidsintensief te maken.



## 10 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies en aanbevelingen worden in dit hoofdstuk onderverdeeld in twee aspecten die apart besproken worden: de gistingsinstallatie Venray (10.1) en de LCC implementatie bij het WBL (10.2). In het laatstgenoemde wordt ook de laatste onderzoeksvraag (8) beantwoord.

### 10.1 De gistingsinstallatie Venray

#### 10.1.1 Conclusies

Uit de LCC analyse blijkt dat optie 4 (het Columbus concept) de gistingsoptie met de laagste netto contante kosten is. Ook op basis van de kwalitatieve criteria (milieuvriendelijkheid, technische innovatie en veiligheid) blijkt optie 4 beste keus te zijn. Optie 1 (de huidige gistingsmethode) is de gistingsoptie met de hoogste netto contante kosten.

Uit de gevoeligheidsanalyse is echter gebleken dat er bij optie 4 weinig ruimte voor grote tegenvallers is omdat de netto contante kosten van de verschillende gistingsopties niet veel van elkaar afwijken. Het is vooral van belang dat de mate van vergisting / afbraak van de Columbus zeker niet minder is dan de huidige gistingsmethode, omdat de Columbus anders niet optimaal is.

Royal Haskoning heeft daarentegen juist sterke indicaties dat de mate van vergisting / afbraak bij de Columbus juist zal toenemen. Wanneer dit het geval is, wordt de voorkeur voor optie 4 ten opzichte van de andere gistingsopties alleen maar sterker. Elke m<sup>3</sup>/h biogas en elke extra procent afbraak levert namelijk respectievelijk € 2002 en € 5699 per jaar op.

Het Columbus concept heeft genoeg buffer om optimaal te blijven bij incidentele kosten zoals bij de bouw of onderhoud. Zo blijft de Columbus optimaal zolang de bouwkosten met maximaal met € 218.193 toenemen (35% van de totale bouwkosten) of de onderhoudskosten met maximaal € 17.000 per jaar stijgen (119% van de onderhoudskosten).

Samengevat valt te concluderen dat de Columbus de optimale keus is als het zijn verwachtingen kan waarmaken. Juist deze onzekerheid over de prestaties van de Columbus vormt het grootste nadeel van deze gistingsmethode.

#### 10.1.2 Aanbevelingen

De analyses met betrekking tot de gistingsinstallatie Venray zijn uitgevoerd als casestudy om te bepalen hoe de Life Cycle Costing methodiek bij het WBL geïmplementeerd kan worden. De primaire focus ligt daarom niet op het maken van zeer nauwkeurige kostenschattingen omdat mij de expertise op het gebied van slibverwerking en de beschikbare tijd ontbrak om me te specialiseren in alle gebieden die een rol spelen in de analyses.

Naast de uitkomsten van de LCC en MCA analyses zijn er de volgende overwegingen die een rol spelen bij gistingsoptie keuze.

- In de meerjaren begroting 2009 – 2013 wordt gemeld dat de investeringen zich de komende jaren vooral richten op milieuvriendelijkheid, duurzaamheid en innovatie. Deels is dit het gevolg van Europese regelgeving (zoals de 'kaderrichtlijnen water' (KRW)), maar het WBL heeft ook de intentie om zich hierin proactief op te stellen. Zo valt te lezen dat het WBL in 2008 is begonnen met de introductie van het 'Cradle to Cradle' concept. Verder wordt er in het businessplan 2009 een duurzaamheidsvisie gepresenteerd.

In de MCA (7.2) zijn deze criteria expliciet al in de analyse meegenomen. Toch verdient het de aandacht om te vermelden dat optie 1 (het voortzetten van de huidige gistingsmethode) sterk in strijd is met de duurzame en innovatieve intenties. Ten eerste is het energieverbruik van de huidige gistingsmethode 2.3x zo hoog als van de Columbus

(zie tabel 16: 129.211 kWh t.o.v. 56.940 kWh per jaar). Ten tweede wordt de huidige gistingsmethode al tientallen jaren gebruikt terwijl de Columbus een innovatief concept is. Natuurlijk brengt de keus voor het Columbus concept grotere onzekerheden met zich mee, maar dat is het risico dat onlosmakelijk verbonden is aan de doelstelling om een duurzame en innovatieve organisatie te zijn.

Wanneer het WBL voor de Columbus kiest dan toont dit bovendien voor de buitenwereld aan dat het WBL consistent handelt naar zijn doelstellingen. Hiermee wordt de geloofwaardigheid van het WBL vergroot en het imago van een proactieve duurzame en innovatie organisatie versterkt.

- Een van de argumenten om toch voor optie 1 te kiezen is dat de Columbus 'altijd later nog geïmplementeerd kan worden'. Wanneer het nu al duidelijk is dat er over een paar jaar naar de Columbus wordt overgestapt, dan is de keus voor optie 1 op voorhand al een onnodige investering. Feitelijk resulteert dit in een dubbele uitgave omdat zowel in optie 1 als optie 4 geïnvesteerd wordt.

Verder zou het getuigen van een proactieve houding door de Columbus te implementeren in plaats van eerst de ervaringen van anderen af te wachten (reactief). Wanneer de Columbus boven verwachting presteert, loopt het WBL bovendien de voordelen mis in de jaren dat het concept nog niet geïnstalleerd is. Waarom deze voordelen uitstellen als er nu al gebruik van gemaakt kan worden?

- In de LCC analyse is aangenomen dat optie 1 (huidige gistingsmethode) bij de installatie (in 2011) niet wordt leeg gezet en pas na 15 jaar voor het eerst wordt gereinigd. Aangezien de tank 15 jaar geleden voor het laatst is leeg gezet, is het aannemelijk dat de tank onder optie 1 al eerder dan jaar 15 gereinigd moet worden.

De rwzi Venray heeft een goede zandvanger, dus het is ook denkbaar dat reiniging tijdens de levensduur van de gistinginstallatie voor geen enkele gistingsoptie nodig is. Dit hangt ook af van de prestaties (sedimentvorming) van de gistingsmethodes. Aangezien het leegzetten van de gistingstank een kostbaar karwei is en de netto contante waardes van de gistingsopties dicht bij elkaar liggen, kan de frequentie van deze operatie een groot verschil maken voor de optimale gistingsoptie.

- In de nieuwe situatie wordt het slib aangevoerd met een droge stof percentage van gemiddeld 4,3%. Door het aangevoerde slib verder in te dikken, kan het slibvolume worden verlaagd en kan de capaciteit van de gistingstank beter worden benut. De huidige gistingsmethode kan maximaal een D.S. van 6 % aan terwijl de Columbus tot aan 10% D.S. kan verwerken. Dit betekent dat de Columbus zijn capaciteit en efficiëntie tot een hoger niveau kan vergroten dan de huidige gistingsmethode. De Columbus is dus in staat om hogere slibvolumes te verwerken zodat de gistingstank in de toekomst een groeiende aanvoer van slib en/of het slib van een andere rwzi kan vergisten. Er wordt momenteel al overwogen om op termijn het slib van de rwzi Gennep in Venray te vergisten waarvoor de Columbus dus beter geschikt is.

Uit de (LCC en MCA) analyses en op basis van de bovenstaande argumenten valt het aan te bevelen om de gistingstank in Venray te reviseren op basis van het Columbus concept.

Het grootste nadeel van de Columbus is echter de onzekerheid over de prestaties omdat het Columbus concept nog nergens in werking is. Het WBL zou met Royal Haskoning de mogelijkheid van een partnerschap kunnen bespreken om gezamenlijk een van de eerste Columbus installaties te bouwen en/of te exploiteren. Voor het WBL heeft dit als voordeel dat de lusten en lasten door beide partijen worden gedragen. Voor Royal Haskoning is een partnerschap voordelig omdat men met dit project de Columbus als praktijk pilot kan gebruiken om het Columbus concept verder te ontwikkelen.



## **10.2 LCC implementatie bij het WBL**

### **10.2.1 Conclusies**

Een van de belangrijke punten bij het uitvoeren van een LCC analyse berekening is dat de analyse bij voorkeur wordt uitgevoerd door een team van experts uit verschillende disciplines. De organisatie bij het WBL sluit hier al goed op aan omdat veel activiteiten al op een projectmatige en multidisciplinaire manier worden uitgevoerd. Er zijn daarom geen organisatorische veranderingen nodig om een LCC project op te starten (definiëren van de context, de afbakening en het doel van analyse (stap 1)) en geschikte teamleden te vinden (stap 2).

De LCC analyse wordt uitgevoerd door allereerst alle activiteiten in de levenscyclus van een installatie te bepalen (stap 3). Vervolgens kunnen de kostenelementen per activiteit worden bepaald (stap 4). Deze stappen moet het LCC team zoveel mogelijk in onderling overleg uitvoeren. Bij het bepalen van de activiteiten en kostenelementen kunnen de modellen uit eerdere LCC studies worden hergebruikt (zie stap 9).

In de 5<sup>e</sup> stap worden de kostenschattingen gemaakt door ieder teamlid zich op zijn of haar gebied van expertise te laten richten. Hierbij kan men gebruik maken van de data uit de verschillende informatiesystemen. Toch zal deze data nog door de experts geïnterpreteerd en verwerkt moeten worden. Hierbij is het aan te raden om zoveel mogelijk de modellen uit eerdere LCC analyses te hergebruiken zodat de kostenschattingen snel en nauwkeurig gemaakt kunnen worden (zie stap 9).

De kostenschattingen worden geaggregeerd in stap 6 met behulp van de netto contante waarde methode. Om de communicatie en eenduidigheid te vergroten, zou deze data met behulp van gespecialiseerde software geaggregeerd kunnen worden (zoals LCC-lite van S&G en partners). Verder kunnen in deze fase de kwalitatieve criteria door middel van een multi-criteria- analyse in de analyse worden betrokken.

Stap 7 is een verificatie en validatie stap om te controleren of het model klopt en of het strookt met de realiteit (indien mogelijk).

In de 8<sup>e</sup> stap wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te bepalen hoe robuust de uitkomsten zijn (hoe gevoelig zijn de alternatieven voor een verandering in de kostenelementen).

Tenslotte worden er in stap 9 aan de modellen bibliotheek nieuwe modellen toegevoegd en bestaande modellen geüpdate en geëvalueerd zodat men bij een volgende LCC analyse de modellen kan hergebruiken om de LCC stappen snel en nauwkeurig te kunnen doorlopen.

### **10.2.2 Aanbevelingen**

Het WBL staat momenteel aan het begin van het toepassen van de LCC methodiek. Het is daarom niet wenselijk om de organisatiestructuur radicaal te wijzigen en de informatiesystemen dusdanig in te richten dat een LCC analyse volautomatisch uitgevoerd kan worden. Voor het opstellen van een LCC raamwerk is er daarom voor gekozen om zo veel mogelijk aan te sluiten bij de huidige organisatiestructuur door LCC analyses projectmatig uit te voeren.

Voor een succesvolle toepassing van het LCC concept is het allereerst noodzakelijk om de organisatie de benodigde kennis bij te brengen om een LCC analyse uit te kunnen voeren. In een aantal bijeenkomsten wordt men geïnformeerd over de basis principes van LCC, de NCW-methode, MCA en gevoeligheidsanalyse en hoe de LCC analyse geïnterpreteerd moet worden. Verder wordt de procedure voor het uitvoeren van een LCC uitgelegd op basis van

het LCC raamwerk in hoofdstuk 9. Het overbrengen van deze informatie kan intern of door een extern bureau (zoals S&G en partners) worden verzorgd.

Tijdens het uitvoeren van de LCC analyse is het aan te raden om voor het bepalen van de activiteiten (stap 3), kostenelementen (stap 4) en kostenschattingen (stap 5) zoveel mogelijk gebruik te maken van de modellen die in voorgaande LCC analyses zijn gebruikt om zo tijd te besparen. Om dit mogelijk te maken, is het noodzakelijk dat deze modellen makkelijk toegankelijk en zoveel mogelijk gestandaardiseerd zijn.

Vooraf voor de ramingmethodes is het aan te bevelen om deze methodes expliciet te maken om de kosten snel en nauwkeurig te kunnen schatten. Zo kunnen bijvoorbeeld in een volgende LCC analyse de uitkomsten van de 'biogasopbrengst berekening' (Bijlage C) worden gebruikt om aan de hand van de biogasproductie ( $m^3/h$ ) de biogasopbrengst te kunnen bepalen zonder het wiel opnieuw uit te vinden. Eventueel is er nader onderzoek nodig om ramingmethodes volgens statistische test op te stellen. Wel moet er een balans worden gevonden tussen de nauwkeurigheid en de relevantie van het modelleren.

In de laatste stap van het LCC raamwerk (stap 9) is het van belang om de bibliotheek aan modellen aan te vullen, te evalueren en te toetsen op hun houdbaarheid zodat er ook bij volgende LCC analyses gebruik wordt gemaakt van accurate modellen.

Bij het WBL zijn er weinig kostenraming modellen die expliciet zijn beschreven en statistisch onderbouwd en/of controleerbaar zijn. Zo worden de personeelskosten bijvoorbeeld vaak als een percentage van totale kosten geschat. Misschien is dit inderdaad de meest geschikte methode, maar er is meestal geen duidelijk (statistische) onderbouwing voor. De berekening van kostprijzen (van bijvoorbeeld personeel, slibverwerking en transport) wordt daarentegen op een controleerbare wijze berekend.

Wanneer de kostenschattingen worden samengevoegd (model aggregatie: stap 6), verdient het de voorkeur om hierbij gebruik te maken van een gestandaardiseerde manier om de informatie te verwerken. Dit kan bijvoorbeeld worden gedaan door een Excel-sjabloon op te stellen of door gebruik te maken van een gespecialiseerd softwarepakket zoals 'LCC-lite' van S&G en partners. Het voordeel van 'LCC-lite' is dat de kosten op een eenduidige manier worden ingevoerd en gepresenteerd zodat iedereen binnen de organisatie in één opslag de gepresenteerde informatie snapt en op de juiste manier interpreteert. Dit is in de eerste plaats bevorderlijk voor de communicatie binnen het LCC team, maar ook voor de communicatie met het management en andere betrokkenen.

Bij het toepassen van LCC moet altijd de afweging worden gemaakt of de kosten en moeite van het modelleren opwegen tegen de voordelen. De experts moeten op hun eigen inzicht bepalen hoe nauwkeurig ze de analyse uitvoeren. Hierbij schuilt het gevaar dat belangrijke elementen niet worden herkend omdat ze worden afgedaan als onrelevant. Een LCC-team moet elkaar hierin zoveel mogelijk ondersteunen om de juiste mate van nauwkeurigheid te bepalen.

De toepassing van de LCC methode zal er toe leiden dat er bij investering- en onderhoudsbeslissingen kostenefficiëntere keuzes worden gemaakt omdat beslissingen op basis van alle relevante kosten in de levensloop van een installatie worden genomen. Ook zal het personeel automatisch meer gevoel krijgen voor de impact van de kosten die voortvloeien vanuit andere disciplines omdat ze door de samenwerking in een LCC team ervaringen opdoen in andere expertisegebieden.

LCC zal er toe leiden dat de primaire focus niet op de aanschafprijs ligt. Momenteel is dat wel vaak het geval omdat projectteams geneigd zijn om vooral hun eigen budget te bewaken. Aanvankelijk was er bijvoorbeeld besloten om de gistinginstallatie Venray volgens het Columbus concept te reviseren, maar toen bleek dat het totaalbedrag voor de gehele renovatie van de rwzi Venray boven het budget lag, werd er toch voor gekozen om de huidige gistingmethode te behouden.

Wanneer een budget wordt overschreden als gevolg van een LCC analyse dan kan de LCC berekening een onderbouwing bieden om tegenover het management aan te tonen dat een verhoging van het budget noodzakelijk is om de meest kostenefficiënte investering te doen. De kostenschattings methodes die in de LCC analyses worden ontwikkeld, kunnen bovendien worden benut voor de budgetramingen zodat budgetten in eerste instantie al goed worden geraamd en er geen tussentijdse aanpassing nodig zijn.

Ten slotte kunnen er op basis van LCC analyses de gebieden worden geïdentificeerd die de grootste invloed hebben op de kosten. Door organisatorische inspanningen vooral op deze gebieden te richten, kan de organisatie de hoogst mogelijke besparingen realiseren. Deze gebieden geven de focus voor continue verbetering van de organisatie.



## 11 Literatuur

(Coorens, 2001; Drury, 2004; L. Ellram, 1993, 1994; L. M. Ellram, 1993, 1995; L. M. Ellram & Siferd, 1993; L. M. Ellram & Siferd, 1998; Ferrin & Plank, 2002; Harker; Heerkens, 1998, 2004; Maltz & Ellram, 1997; P. Goodwin, 1991; Rebitzer, 2003)

Coorens, J. J. (2001). Life Cycle Costing. *Cost Engineers*.

Drury, C. (2004). Management and Cost Accounting. In (6th ed.): Thomson Learning, chapter 13 & 14

Ellram, L. (1993). Total Cost of Ownership: Elements and Implementation. *International Journal of Purchasing & Materials Management*, 29(4), 2-11.

Ellram, L. (1994). A taxonomy of total cost of ownership models. *Journal of Business Logistics*, 15(1), 171-191.

Ellram, L. M. (1993). A Framework for Total Cost of Ownership. *International Journal of Logistics Management*, 4(2), 49-60.

Ellram, L. M. (1995). Total cost of ownership. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(8/9), 4.

Ellram, L. M., & Siferd, S. P. (1993). Purchasing: The cornerstone of the total cost of ownership concept. *Journal of Business Logistics*, 14(1), 163-184.

Ellram, L. M., & Siferd, S. P. (1998). Total cost of ownership: A key concept in strategic cost management decisions. *Journal of Business Logistics*, 19(1), 55-84.

Ferrin, B. G., & Plank, R. E. (2002). Total Cost of Ownership Models: An Exploratory Study. *Journal of Supply Chain Management: A Global Review of Purchasing & Supply*, 38, 18-29.

Harker, P. T. The art of science of decision making: the analytic hierarchy process. In E. A. W. B.L. Golden, P.T. Harker (Ed.), *The analytic hierarchy process: applications and studies*. Berlin: Springer, delen van pp. 3-33

Heerkens, J. M. G. (1998). De Algemene Bedrijfskundige Probleemaanpak. Enschede: TSM Business School.

Heerkens, J. M. G. (2004). Methodologische checklist. Enschede: TSM Business School.

Maltz, A. B., & Ellram, L. M. (1997). Total cost of relationship: An analytical framework for the logistic outsourcing decision. *Journal of Business Logistics*, 18(1), 45-66.

Rebitzer, G. (2003). LCC - The economic pillar of sustainability: Methodology and application to wastewater treatment. *Environmental progress*, 22(4), 241-249.



## Bijlage A : Beschrijving van het WBL en de rwzi Venray

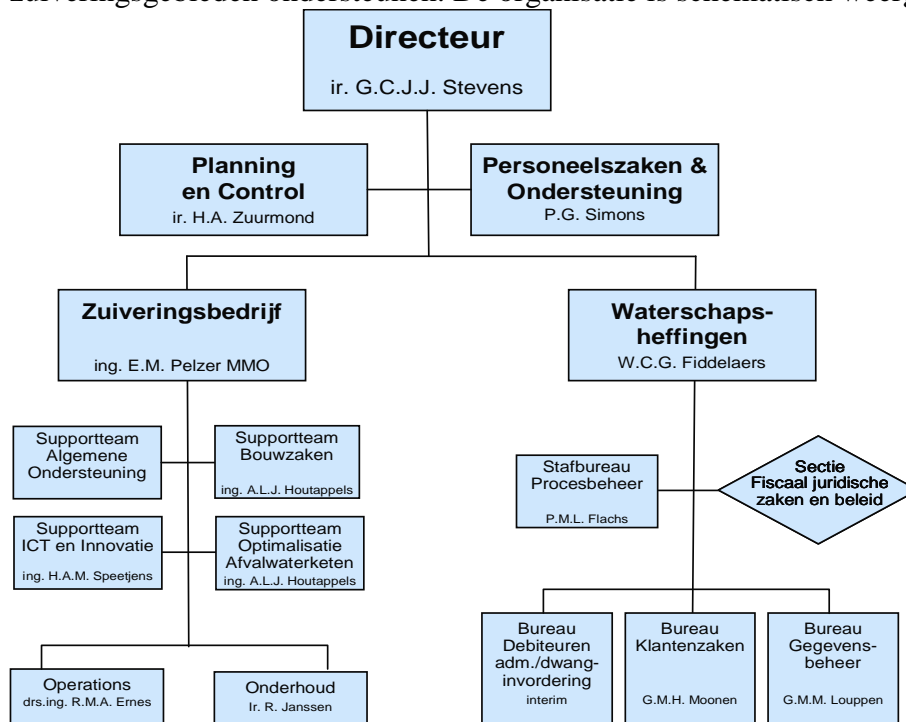
Allereerst zal er in dit hoofdstuk een beschrijving worden gegeven van het Waterschapsbedrijf Limburg (A.1 en A.2). Vervolgens zal globaal worden beschreven hoe de rioolwaterzuiveringsinstallatie in Venray functioneert (A.3).

### A.1 Het Waterschapsbedrijf Limburg

Het Waterschapsbedrijf Limburg (WBL) is de Gemeenschappelijke Uitvoeringsinstantie van de Waterschappen Peel en MaasVallei en Roer en Overmaas. Één van de belangrijkste taken van het WBL is het zuiveren van afvalwater van alle Limburgse gemeenten. Het waterschapsbedrijf heeft hiertoe 18 rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's), verspreid over de provincie. In deze zuiveringsinstallaties wordt het huishoudelijk en industrieel afvalwater, dat al dan niet vermengd is met regenwater dat afkomstig is van de verharde terreinen in het afstromingsgebied, biologisch gezuiverd. Tevens wordt het interne proceswater (riolering van de installatie, slib- en ander water dat vrijkomt bij de uitgevoerde processen) in de rwzi behandeld. Het afvalwater gaat na zuivering terug naar het oppervlaktewater. Gedroogd slib, een restproduct van het zuiveringsproces, wordt afgevoerd naar de cementindustrie, in 2007 voor 100%.<sup>23</sup>

### A.2 Beschrijving van de organisatie

De twee hoofdunits binnen het WBL zijn de unit Zuiveringsbedrijf en de unit Waterschapsheffingen die ondersteund worden door Planning en Control en Personeelszaken & Ondersteuning. De unit Zuiveringsbedrijf was tot begin 2009 opgedeeld in de drie zuiveringsgebieden: Roermond-Venlo, Maastricht-Susteren en Kerkrade-Hoensbroek. Momenteel is er voor de gehele provincie een afdeling voor het beheer (operations) en onderhoud. Verder zijn er binnen het Zuiveringsbedrijf 4 supportteams die de zuiveringsgebieden ondersteunen. De organisatie is schematisch weergegeven in figuur 17.



figuur 17: Organisatieschema van het Waterschapsbedrijf Limburg

<sup>23</sup> De tekst uit deze alinea is overgenomen uit het Technologisch jaarverslag 2007 van de unit Zuiveringsbedrijf

### A.3 De rioolwaterzuiveringsinstallatie Venray

De rwzi Venray ligt in het Zuiveringsgebied Roermond-Venlo. De komende jaren zal de uit 1980 stammende zuiveringsinstallatie in Venray projectmatig worden vernieuwd. Tevens zal de installatie hydraulisch en biologisch worden uitgebreid omdat de installatie de afgelopen jaren structureel is overbelast. Het Technologisch Ontwerp (TO), Voor Ontwerp (VO), Definitief Ontwerp (DO), Functioneel Ontwerp (FO) en bestek voor deze installatie is inmiddels gereed en in opdracht van het Waterschapsbedrijf Limburg uitgevoerd door het adviesbureau Royal Haskoning.

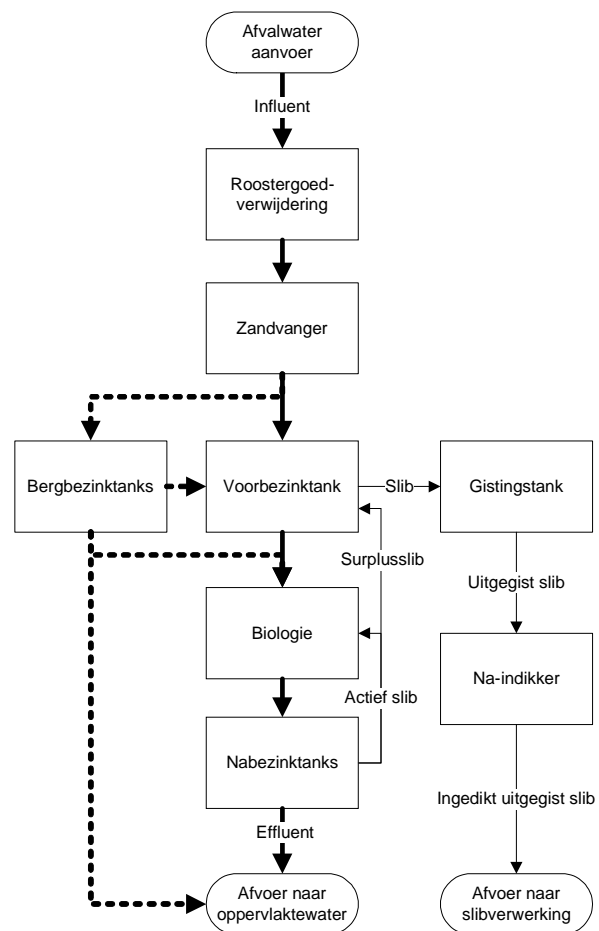
#### A.3.1 Het waterzuiveringsproces

Het zuiveringsproces is visueel weergegeven in figuur 18 en zal hieronder worden toegelicht.

Het huishoudelijk en industrieel afvalwater wordt eerst via het gemeentelijk rioolstelsel en later via transportleidingen naar de rwzi vervoerd. Het influent (afvalwater dat voor behandeling op een zuiveringsinrichting wordt aangevoerd) wordt als eerst door de roostergoedverwijdering behandeld, waar het grove vuil uit het water wordt verwijderd. Vervolgens filtert de zandvanger het meeste zand uit het water. In de voorbezinktank komt het water tot rust en bezinken de vaste stoffen die onderin de tank in een slibzak worden opgevangen. Bij pieken in het influent, kan het afvalwater naar de bergbezinktanks worden geleid. Wanneer de capaciteit van de voorbezinktank het weer toelaat, kan het water van de bergbezinktanks weer naar de voorbezinktank worden teruggevoerd. Ook kan het water uit de bergbezinktanks direct naar de biologie worden geleid. Wanneer de capaciteit van de bergbezinktanks volledig is benut, kan het water vanuit de bergbezinktanks direct op het oppervlaktewater worden geloosd.

Het water wordt vanuit de voor- en/of bergbezinktanks naar de biologie gevoerd. In het biologieproces wordt een bacteriemengsel (actief slib) in het afvalwater gerecirculeerd die onder afwisselende zuurstofrijke en -arme omgevingen het stikstof (en in de nieuwe situatie ook fosfaat) uit het water ontrekt. Tijdens dit proces groeit dit actieve slib aan. In de nabezinktanks wordt dit slib opgevangen door het te laten bezinken en daarna weer teruggeleid naar biologie. Om de hoeveelheid actief slib te beheersen, wordt het overtollige actieve slib (surplusslib) weer teruggevoerd naar de voorbezinktank waar het zich samen met het primaire slib in de slibzak verzameld.

Het water uit de nabezinktanks (het effluent) wordt uiteindelijk op het oppervlaktewater geloosd.



figuur 18: Het waterzuiveringsproces van de rwzi Venray (de dikke pijlen geven de waterstroom aan)



### **A.3.2 De slibverwerking**

Het slib dat zich heeft verzameld in de slibzak van de voorbezinktank wordt naar een gistingstank verpompt. In deze gistingstank wordt het slib opgewarmd tot een temperatuur van tussen de 32 °C en 37 °C en wordt het continu gemengd. Onder zuurstofloze (anaerobe) omstandigheden komt er biogas vrij. Wanneer het slib is uitgegist (na minimaal 20 dagen in de gistingstank te zijn verbleven) wordt het slib naar een na-indikker verpompt waar volgens hetzelfde principe als de voor- berg- en nabezinktanks de vaste stoffen bezinken. Het na-ingedikte uitgegiste slib wordt uiteindelijk naar de ontwateringinstallatie in Venlo getransporteerd. Vanuit Venlo wordt het slib afgevoerd naar een drooginstallatie die het slib droogt tot korrels. Deze korrels worden als secundaire brandstof ingezet in de cementindustrie.



## Bijlage B : Leegzetten van de gistingstank berekening

In deze bijlage zal er een model worden opgesteld om de kosten voor het leegzetten van een gistingstank te berekenen. Kosten van de werkzaamheden aan de tank tijdens het uit bedrijf zijn van de tank (bijv. betoninspectie, installatie van componenten en/of sedimentverwijdering) worden niet in deze analyse meegenomen. Deze bijlage is opgesteld op basis van een gesprek met Jan Jansen van het supportteam bouwzaken. De tekst van deze bijlage is wel door Jan Jansen doorgenomen, maar correcties zijn niet volledig teruggekoppeld. Het model dat in deze bijlage is opgesteld zal daarom kritisch bekeken moeten worden om in een volgende LCC berekening te hergebruiken.

Het leegzetten van de gistingstank zal noodzakelijk zijn wanneer er een nieuwe mengmethode in de tank wordt toegepast, maar de operatie kan ook tijdens de levensduur van de gistingstank worden uitgevoerd om de tank te reinigen.

Bij het leegzetten van de gistingstank zijn 3 activiteiten te onderscheiden die schematisch zijn weergegeven in figuur 19. Per subparagraaf zullen deze activiteiten worden besproken.



figuur 19: Activiteiten voor het leegzetten van de gistingstank

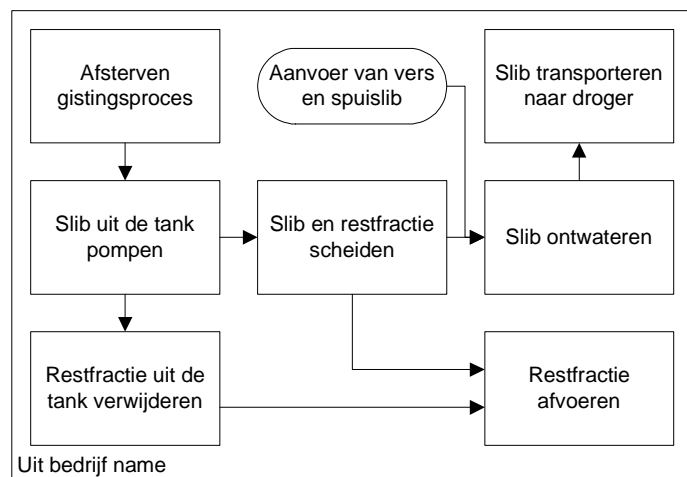
### B.1 Uit bedrijf name

In figuur 20 is te zien welke activiteiten er ondernomen moeten worden om de gistingstank uit bedrijf te nemen. De activiteiten zullen per paragraaf worden behandeld.

#### B.1.1 Activiteiten

##### *Afsterven gistingsproces*

Het gistingsproces kan worden stopgezet door geen nieuw slib meer toe te voeren en de warmtewisselaar het slib te laten koelen met koud water. Uit ervaringen met soortgelijke gistingstanks valt te verwachten dat slibtemperatuur in de gistingstank van Venray binnen een week onder de 20 graden Celsius komt. Vanaf dat moment kan het slib uit de tank worden gepompt.



figuur 20: Activiteiten bij uit bedrijf name van de tank

##### *Slib uit de tank pompen / slib en restfractie scheiden / slib ontwateren*

Allereerst wordt de bovenste laag van de slibmassa uit de tank gepompt. Deze slibmassa bevat weinig tot geen restfractie en kan rechtstreeks worden ontwaterd met een tijdelijke zeefbandpers en vervolgens als slib worden afgevoerd. Zodra er meer restfractie in de slibmassa wordt aangetroffen, moet het slib en restfractie van elkaar worden gescheiden. Het slib wordt ontwaterd en naar een slibdroger installatie afgevoerd met een droge stof percentage van rond de 18 – 20 %. De restfractie wordt door derden verwerkt.

### *Restfractie uit de tank verwijderen / restfractie afvoeren*

Wanneer de slibmassa voor een groot deel uit restfractie bestaat, wordt de slibmassa niet meer gescheiden en wordt de resterende tankinhoud als restfractie behandeld. Het verwerken van dit materiaal is relatief een stuk duurder dan het verwerken van slib. De kosten van de gehele operatie van het leegzetten van de gistingstank zal om die reden voor een belangrijk deel worden bepaald door de hoeveelheid restfractie die in de gistingstank wordt aangetroffen. Deze hoeveelheid is van tevoren moeilijk in te schatten waardoor de kosten voor het verwerken van de restfractie zeer onzeker zijn.

### *Slib transporteren naar droger*

Er zijn twee slibstromen die naar de slibontwatering installatie (soi) vervoerd zullen worden: het slib dat uit de gistingstank wordt gepompt en de aanvoer van vers en spuislib<sup>24</sup> tijdens het uit bedrijf nemen van de tank. Beide slibstromen zullen met een tijdelijke zeefbandpers worden ontwaterd en met een droge stof percentage van 18 – 20 % naar de soi worden vervoerd. Er wordt aangenomen dat de soi genoeg capaciteit heeft om deze tijdelijke piek van aangevoerd slib te verwerken.

Het vers en spuislib dat wordt aangevoerd, kan niet verwerkt worden in de gistingstank. Het slib heeft dus geen kans gehad om te vergisten waardoor er geen afbraak van organische stoffen heeft plaatsgevonden. Hierdoor zal er een hogere droge stof vracht naar de droger vervoerd worden dan wat onder normale omstandigheden vervoerd zou worden.

## **B.1.2 Totale kosten**

Op basis van de activiteiten tijdens het uit bedrijf nemen van de gistinginstallatie, zal hieronder per kostenelement worden bepaald wat de totale kosten van deze operatie zijn.

### *Inkomstenderving*

Tijdens het uit bedrijf nemen van de gistingstank, zal er geen biogas geproduceerd worden en is er geen sprake van energiekostenbesparing. De derving van inkomsten wordt beperkt doordat alle installatieonderdelen van de gistingstank worden uitgeschakeld en dus geen energie verbruiken.

De hoogte van deze inkomstenderving hangt af van de biogasopbrengst onder normale omstandigheden, het aantal weken dat het duurt om de gistingstank uit bedrijf te nemen en de energiekosten onder normale omstandigheden:

$$\text{Inkomstenderving} = \text{aantal weken uit bedrijf nemen} \times (\text{biogasopbrengst onder normale omstandigheden} - \text{energiekosten onder normale omstandigheden})$$

### *Transportkosten*

De transportkosten bestaan uit twee onderdelen:

- Transport van slib uit de gistingstank
- Transport van aangevoerd slib tijdens het uit bedrijf nemen van de tank

Het aangevoerde slib wordt onder normale omstandigheden nat afgevoerd, maar tijdens de uit bedrijf name wordt het (samen met het slib uit de tank) ontwaterd. De transportkosten bestaan dus uit het afvoeren van ontwaterd slib in plaats van nat slib.

---

<sup>24</sup> Het primaire en actieve slib dat vanuit de waterlijn wordt aangevoerd, wordt ook wel respectievelijk het verse en spuislib genoemd.

*Transportkosten* = (aantal dagen uit bedrijf nemen x D.S. aanvoer per dag +  
D.S. vracht in de gistingstank)  
x transportkosten ontwaterd slib per kg  
- aantal weken uit bedrijf nemen  
x transportkosten onder normale omstandigheden

#### *Verwerkingskosten*

Tijdens het uit bedrijf nemen vallen er (net als bij de transportkosten) twee slibstromen te onderscheiden:

- Verwerking van slib uit de gistingstank
- Verwerking van aangevoerd slib tijdens het uit bedrijf nemen van de tank

De verwerkingskosten hangen af van de drogestof vracht die aan de droger wordt aangeboden. Voor de verwerking van aangevoerd slib tijdens het uit bedrijf nemen van de tank is het alleen relevant om te kijken naar de extra droge stof vracht ten opzichte van de normale omstandigheden. De extra droge stof vracht ontstaat doordat het slib niet wordt vergist waardoor een deel van het slib niet wordt afgebroken.

*Verwerkingskosten* = ( D.S. aanvoer per dag – D.S. afvoer per dag ) x  
aantal dagen uit bedrijf nemen x  
verwerkingskosten per ton D.S.

#### *Personeelskosten*

De personeelskosten komen voort uit de begeleidingskosten van het interne WBL personeel tijdens de uitvoering van het project.

Voor de personeelskosten wordt bij het WBL bij het maken van ramingen voor soortgelijke projecten aangenomen dat deze kosten 10% van de aanneemsom (service van derden) bedragen.

*Personeelskosten* = 0,1 x aanneemsom

#### *Service van derden*

Door derden worden er kosten in rekening gebracht voor de activiteit waarbij het slib en de restfractie uit de tank worden gepompt en gescheiden. Voor de restfractie zijn deze kosten inclusief het verwerken van het materiaal. Het slib wordt daarentegen naar de eigen droger getransporteerd dus de kosten van het verwerken van slib door derden omvat alleen het verpompen en ontwateren van het slib in de tank.

De kosten van directievoering tijdens het project zijn inbegrepen bij de verwerkingskosten.

*Service van derden* = aantal m<sup>3</sup> slib x verwerkingskosten per m<sup>3</sup> slib +  
aantal m<sup>3</sup> restfractie x verwerkingskosten per m<sup>3</sup> restfractie

## **B.2 Uit bedrijf zijn**

Naast de kosten van de werkzaamheden die aan de tank worden uitgevoerd tijdens het uit bedrijf zijn van de gistingstank, zijn er 3 soorten kosten die niet afhangen van het soort werkzaamheden die worden uitgevoerd:

- Inkomstenderving (geen biogasopbrengst)  
= aantal weken uit bedrijf x  
(biogasopbrengst onder normale omstandigheden –  
energiekosten onder normale omstandigheden)

- Transportkosten  
 $= (\text{aantal dagen uit bedrijf nemen} \times D.S. \text{ aanvoer per dag})$   
 $\times \text{transportkosten ontwaterd slib per kg}$   
 -  $\text{aantal weken uit bedrijf nemen} \times \text{transportkosten onder normale omstandigheden}$
- Verwerkingskosten (verwerken van hogere D.S. vracht van vers en spuislib)  
 $= (D.S. \text{ aanvoer per dag} - D.S. \text{ afvoer per dag}) \times$   
 $\text{aantal dagen uit bedrijf} \times$   
 $\text{verwerkingskosten per ton D.S.}$

De tank staat in deze fase leeg, dus de gistingstank produceert geen biogas en kan er dus geen energie worden opgewekt waarmee energiekosten worden bespaard.

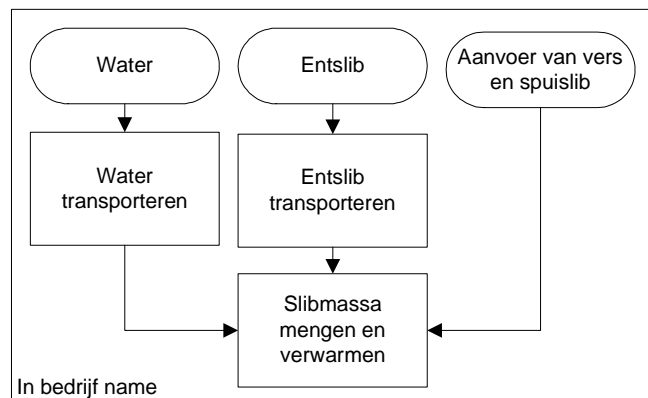
Het aangevoerde verse- en spuislib wordt tijdens het uit bedrijf zijn ontwaterd terwijl het onder normale omstandigheden nat vervoerd zou worden. Om die reden zijn de transportkosten op een andere manier opgebouwd dan tijdens de normale bedrijfsvoering.

Verder heeft het aangevoerde slib een hogere droge stof vracht omdat het slib niet vergist is. De verwerkingskosten voor het verwerken van slib na vergisting worden al berekend bij de exploitatiekosten. De extra verwerkingskosten bestaan daarom uit het verschil tussen de droge stof vracht vóór vergisting en de droge stof vracht na vergisting.

Al deze kosten zullen dus voorkomen tijdens de gehele periode dat de gistingstank uit bedrijf is, zelfs als er geen werkzaamheden worden uitgevoerd.

### B.3 In bedrijf name

In figuur 21 is te zien welke activiteiten er ondernomen moeten worden om de gistingstank in bedrijf te nemen. De activiteiten zullen per paragraaf worden behandeld.



figuur 21: Activiteiten bij in bedrijf name van de tank

#### B.3.1 Activiteiten

##### *Water transporteren*

De gistingstank moet voor 75% met effluent worden gevuld. Dit water kan worden verwarmd voordat het in de tank wordt gebracht, zodat het opwarmen van de slibmassa minder tijd in beslag neemt. Voor deze berekening zullen we aannemen dat het slib pas in de tank (samen met het verse, spui- en entslib) wordt verwarmd.

##### *Entslib transporteren*

Om het gistingproces op gang te helpen, wordt er uitgestist slib vanuit een andere gistingstank geënt. Dit entslib bevat 25% van de tankinhoud.

##### *Slibmassa mengen en verwarmen*

Het mengen van de slibmassa kost niet meer energie dan in de normale exploitatie, maar het verwarmen van slib brengt wel extra kosten met zich mee. Aangezien er geen biogasproductie

is, zal de slibmassa verwarmd moeten worden met behulp van aardgas (CV ketel). Bovendien moet de gehele tankinhoud worden verwarmd in plaats van alleen het aangevoerde slib.

### B.3.2 Totale kosten

#### Energiekosten

De energiekosten worden bepaald door de hoeveelheid aardgas die nodig is om de slibmassa te verwarmen. In tabel 31 worden de notaties en formules genoemd die bij deze berekening van belang zijn en in bijlage C.3 (Warmtebehoefte) zijn opgesteld.

Aardgasprijs per m <sup>3</sup> in jaar <i>j</i>	$P_{aardgas}(j)$
Aardgas rendement	28,40 MJ / m <sup>3</sup>
Warmtebehoefte (kW)	$energie (MJ) = 4,186 I \Delta T$ $I = \text{aantal m}^3 \text{ slib}$ $\Delta T = \text{temperatuursverschil tussen de oorspronkelijke en de gistingstemperatuur}$

tabel 31: Notatie en formules vanuit bijlage C.3: Warmtebehoefte

De energiekosten kunnen als volgt worden beschreven:

$$Energiekosten = \frac{4,186 I \Delta T}{28,40} P_{aardgas}(j)$$

#### Inkomstenderving

Aangezien er nog geen biogas geproduceerd wordt, zullen er geen energiekosten worden bespaard. De installatiecomponenten zullen in deze fase worden ingeschakeld en zullen weer stroom verbruiken. Deze energiekosten komen tot uiting in de exploitatiekosten.

De tijd die nodig is om het slib op te warmen, hangt af van de warmtebehoefte van het slib en de snelheid waarmee het slib verwarmd kan worden. Zodra het slib op de gewenste temperatuur is, heeft het gistingsproces nog een aantal weken nodig om zich te stabiliseren voordat de biogasproductie weer op het gewenste niveau komt.

$$Inkomstenderving = \text{aantal weken in bedrijf nemen } x \text{ biogasopbrengst onder normale omstandigheden}$$

#### Transportkosten

De transportkosten worden bepaald door de hoeveelheid entslib die vervoerd moet worden. De hoogte van deze kosten hangen af de tankinhoud, de transportkosten per m<sup>3</sup> nat slib voor het traject van de entslib aanvoer locatie naar de gistinginstallatie.

$$Transportkosten = 0,25 x \text{ tankinhoud (m}^3\text{)} x \text{ transportkosten nat slib per m}^3$$





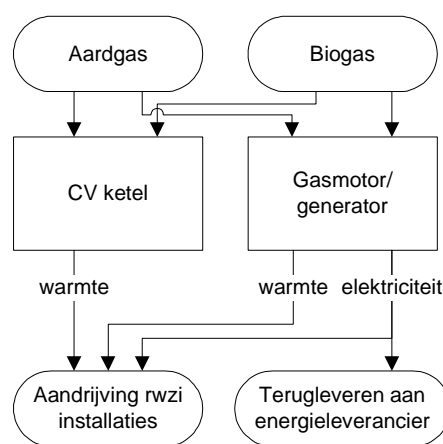
## Bijlage C : Biogasopbrengst berekening

In deze bijlage zal er een modellering worden opgesteld om de biogasopbrengst (in euro's) te relateren aan de biogasproductie ( $b$ ) met de energieprijzen ( $p$ ) van elektra en gas en de warmtebehoefte van de gistingstank ( $w$ ) als parameters. Deze bijlage is opgesteld en gecorrigeerd in overleg met Ad de Man van het support team optimalisatie afvalwaterketen.

Het biogas dat vrijkomt bij het slibgistingproces wordt omgezet naar elektriciteit en warmte door middel van een generator en een CV ketel. Ook kunnen de gasmotor en de CV ketel op aardgas worden gestookt. De opgewekte warmte en elektrische energie kan worden gebruikt voor de rwzi. De overproductie van elektriciteit kan bovendien worden teruggeleverd aan een energieleverancier. Het overschot aan warmte dat niet wordt benut, wordt teruggekoeld. De opwekking van energie wordt weergegeven in figuur 22. In tabel 32 worden het minimale elektrische en warmterendement van de generator en de ketel weergegeven voor bio- en aardgas zoals dit in het bestek staat beschreven. Zowel de gasmotor als de CV ketel kunnen niet op een mengsel van de twee gasen worden gestookt.

	Rendement	
	Biogas	Aardgas
<i>Generator</i>		
Elektriciteit	36,6 %	34,6 %
Warmte	52,8 %	56 %
<i>CV ketel</i>		
Warmte	90%	90 %

tabel 32: Rendement van de generator en de CV ketel



figuur 22: Energieopwekking proces

De opgewekte energie wordt voor het grootste deel gebruikt voor de eigen rwzi. Hierdoor wordt een forse besparing bereikt aan ingekochte primaire energie. Wanneer de elektriciteit opbrengst groter is dan de rwzi vraag, kan het overschot worden teruggeleverd naar het net. Een overschot aan warmte (productie minus warmtebehoefte slibgisting) zal worden weggekoeld naar de zuivering.

In dit hoofdstuk zal worden berekend hoeveel een m<sup>3</sup> biogas(productie) waard is door te berekenen hoeveel aardgas (m<sup>3</sup>) en elektriciteit (kWh) er nodig is om evenveel energie op te wekken als met het biogas.

Het biogas zal in eerste instantie voor de generator worden gebruikt. Wanneer de capaciteit van de generator volledig wordt benut (56 m<sup>3</sup>/h) of wanneer de generator buiten bedrijf is, wordt het biogas gebruikt voor de CV ketel. Als ook de CV ketel volledig wordt belast (31,6 m<sup>3</sup>/h) en ook de gashouder geen gas meer kan bufferen (inhoud 250 m<sup>3</sup>), wordt het gas vrijgelaten in de buitenlucht. Het systeem is dusdanig ontworpen dat deze situatie zich alleen in geval van nood zal voordoen.

	Energieopbrengst	
	Biogas MJ / m <sup>3</sup>	Aardgas MJ / m <sup>3</sup>
<i>Energetische waarde</i>	23	31,56
<i>Generator</i>		
Elektriciteit	8,42	10,92
Warmte	12,14	17,67
<i>CV ketel</i>		
Warmte	20,70	28,40

tabel 33: Energieopbrengst per onderdeel en gassoort

Afhankelijk van de kwaliteit van de gisting bestaat biogas voor 60-65% uit methaan (CH<sub>4</sub>). Bij aardgas vormt dit bestandsdeel meer dan 82% van het gas. Door het methaan heeft gas een energetische waarde die wordt uitgedrukt in MJ / m<sup>3</sup>. Voor dit onderzoek zal worden aangenomen dat de energetische waarde van biogas en aardgas respectievelijk 23 MJ / m<sup>3</sup> en 31,56 MJ / m<sup>3</sup> is. Met deze waarden en met behulp van de rendement cijfers uit tabel 32 kan de energieopbrengst van bio- en aardgas per m<sup>3</sup> worden berekend (tabel 33).

### C.1 Energie equivalenten

In deze paragraaf zal er worden berekend hoeveel aardgas en elektriciteit er nodig zou zijn om dezelfde energieopbrengst te genereren dat met biogas wordt opgewekt (het energie equivalent van biogas ten opzichte van aardgas en elektriciteit). Hiervoor worden evenwichtsvergelijkingen opgesteld waarin we de volgende notatie gebruiken:

$b$  = aantal m<sup>3</sup> geproduceerd biogas per uur

$a$  = aantal m<sup>3</sup> aardgas besparing per uur

$i$  = aantal m<sup>3</sup> extra in te kopen aardgas per uur

$e$  = aantal kW elektrische energie besparing of teruglevering <sup>25</sup>

$w$  = warmtebehoefte in kW

#### $0 \leq b < 34 \text{ m}^3/\text{h}$

De generator kan alleen worden aangedreven wanneer het tussen 60 % tot 100 % van zijn capaciteit benut wordt. Onder een biogasniveau van 34 m<sup>3</sup>/h, zal de generator dus niet functioneren. Het biogas kan onder dit niveau nog wel worden gebruikt voor de CV ketel. Met 1 m<sup>3</sup> biogas en aardgas kan met de CV ketel respectievelijk 20,7 MJ en 28,4 MJ worden opgewekt. Door deze waarden aan elkaar gelijk te stellen, kunnen we berekenen wat de energie equivalent van biogas ten opzichte van aardgas is.

Warmte energie:  $20,7b = 28,4a \Rightarrow a = 0,729b$

(0,729 m<sup>3</sup> aardgas levert evenveel energie op als 1 m<sup>3</sup> biogas)

Wanneer de biogasproductie te laag is om in de warmtebehoefte van de gistingstank te voorzien, zal er op aardgas worden overgeschakeld. Dit is van toepassing wanneer  $b < \frac{3,6w}{20,70}$ .

#### $34 \leq b < 56 \text{ m}^3/\text{h}$

Bij minder dan 56 m<sup>3</sup> biogas per uur zal de generator op biogas en de CV ketel op aardgas worden gestookt. Met de generator kan per m<sup>3</sup> biogas 8,42 MJ worden opgewekt. Verder is 1 kW gelijk aan 3,6 MJ. Door deze twee vormen van energie 'opwekking' aan elkaar gelijk te stellen, is biogas per m<sup>3</sup> uit te drukken in elektra per kW. Dezelfde methode wordt toegepast om het energie equivalent van biogas ten opzichte van aardgas te berekenen.

Elektrische energie:  $8,42b = 3,6e \Rightarrow e = 2,339b$

Warmte energie:  $12,14b = 28,4a \Rightarrow a = 0,427b$

Er kan nooit meer aardgas bespaard worden dan wat er aan aardgas nodig is om aan warmtebehoefte te voldoen.

Maximale aardgas besparing (MJ / uur) =  $3,6w = 28,40a \Rightarrow a = \frac{3,6w}{28,40}$

De biogasproductie voldoet aan de warmtebehoefte wanneer  $b > \frac{3,6w}{12,14}$ .

<sup>25</sup> 1 W = 1 J / s, dus 1 kW = 3.600.000 J / h = 3,6 MJ / h

Wanneer er door de generator te weinig warmte wordt geproduceerd om aan de warmtevraag te voldoen, moet er extra aardgas worden ingekocht om de CV ketel extra warmte te laten produceren. Het biogas en het ingekochte aardgas moeten in de warmtebehoefte voorzien. Er geldt in dat geval de volgende evenwichtsvergelijking:

$$\text{Warmteopbrengst biogas (MJ / uur)} + \text{warmteopbrengst extra ingekocht aardgas (MJ / uur)} = \text{warmtebehoefte (MJ / uur)} = 3,6w = 12,14b + 28,40i$$

Hieruit volgt dat de extra in te kopen aardgas als volgt afhangt van de biogasopbrengst ( $b$ ) en de warmtebehoefte ( $w$ ):

$$i = \frac{3,6w - 12,14b}{28,40}$$

$$b \geq 56 \text{ m}^3/\text{h}$$

In deze situatie worden zowel de generator als de CV ketel op biogas gestookt. We zullen de warmteopbrengst vanuit de CV ketel op biogas buiten beschouwing laten omdat er met een biogasopbrengst hoger dan  $56 \text{ m}^3/\text{h}$  onder normale omstandigheden sprake zal zijn van een warmteoverschot ( $w < 188 \text{ kW}$ ; zie *Warmtebehoefte*). De generator draait in dat geval op zijn maximale capaciteit ( $b = 56$ ), dus de elektriciteitproductie zal hier maximaal zijn (131 kW).

$$\text{Elektrische energie: } 8,42 \cdot 56 = 3,6e \Rightarrow e = 131$$

$$\text{Warmte energie: } a = \frac{3,6w}{28,40} \quad (\text{maximale aardgasbesparing})$$

## C.2 Biogas buffering

De biogasproductie is een redelijk stabiel proces en is daarom per dag constant. De gasprijs is niet ook niet afhankelijk van het moment van de dag, maar elektriciteit is overdag duurder dan 's nachts (dag- en nachttarief). Biogas is om die reden overdag meer waard dan 's nachts. Om die reden kan het gas het beste 's nachts gebufferd worden (in de gashouder). De gashouder heeft een capaciteit van  $250 \text{ m}^3$ , dus deze hoeveelheid kan overdag extra verwerkt worden zodat er minder elektriciteit tegen het hogere dagtarief ingekocht hoeft te worden. Het nachttarief geldt van 21.00 tot 7.00 en in het weekend. Een werkdag bestaat dus uit 14 uur dag- en 10 nachturen. Verder kan er 5 keer per week (alleen de werkdagen) gebufferd worden. De biogasbenutting per werkdag kan met deze informatie als volgt worden beschreven:

$$\text{Biogasbenutting per werkdag (dagtarief)} = b_{\text{werkdag}}^{\text{dag}} = 14b + g$$

$$\text{Biogasbenutting per werkdag (nachttarief)} = b_{\text{werkdag}}^{\text{nacht}} = 10b - g$$

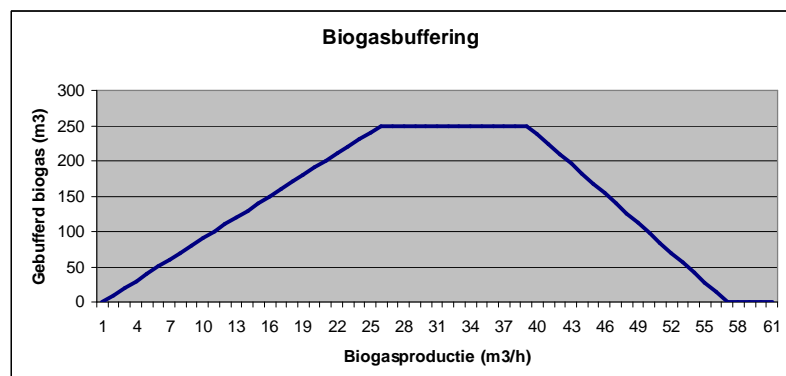
waarbij  $g = \text{aantal m}^3 \text{ gebufferd biogas in een nacht } (g \leq 250)$

Hieruit volgt de biogasbenutting per week:

$$\text{Biogasbenutting per week dagtarief} = b_{\text{week}}^{\text{dag}} = 5b_{\text{werkdag}}^{\text{dag}} = 5(14b + g) = 70b + 5g$$

$$\text{Biogasbenutting per week nachttarief} = b_{\text{week}}^{\text{nacht}} = 5b_{\text{werkdag}}^{\text{nacht}} + 2 \cdot 24b = 5(10b - g) + 48b = 98b - 5g$$

Een nacht duurt 10 uur, dus tijdens de nacht kan er  $10b$  gas worden opgeslagen. Het biogas wordt maximaal gebufferd als de nachtelijke biogasproductie groter is dan de buffer op kan slaan, dus wanneer  $10b > 250 \rightarrow b > 25$ .



figuur 23: Het aantal  $\text{m}^3$  gebufferde biogas als functie van de biogasproductie

Er moet overdag genoeg restcapaciteit zijn om de biogas uit de buffer te verwerken. Om in 14 uur  $250 \text{ m}^3$  gas extra te verwerken, heeft de generator dus een restcapaciteit van  $250 / 14 = 17,857 \text{ m}^3/\text{h}$  nodig. Vanaf  $(56 - 17,857 =) 38,14 \text{ m}^3/\text{h}$  zal het nut van biogas buffering lineair afnemen totdat de capaciteit van de generator overdag zonder buffering volledig wordt benut (wanneer  $b > 56$ ). In dat geval loont het niet meer de moeite om het biogas te bufferen.

$$g = \begin{cases} 10b & 0 \leq b < 25 \\ 250 & 25 \leq b < 38,14 \\ \frac{56-b}{17,86} 250 & 38,14 \leq b < 56 \\ 0 & b \geq 56 \end{cases}$$

### C.3 Warmtebehoefte

Wanneer de generator warmte opwekt, worden daarmee alleen aardgaskosten bespaard voor het deel van de warmte dat ook daadwerkelijk op de rwzi wordt benut. In deze paragraaf zal daarom worden berekend hoe groot de warmtebehoefte op de rwzi Venray is.

De energie die nodig is om aangevoerd slib op te warmen naar de minimale temperatuur die nodig is voor de gisting ( $32 \text{ }^\circ\text{C}$ ), is te berekenen met de volgende natuurkundige formule:  
*energie (kJ) = gewicht (kg) \* temperatuursverschil ( $^\circ\text{C}$ ) \* soortelijke warmte (kJ / kg  $^\circ\text{C}$ )*  
 waarbij *gewicht (kg) = inhoud ( $\text{m}^3$ ) \* soortelijke massa (kg /  $\text{m}^3$ )*

Slib bestaat voor het grootste deel uit water, dus nemen we aan dat de soortelijke warmte en de soortelijke massa van slib gelijk is aan dat van water (respectievelijk  $4,186 \text{ kJ / kg}^\circ\text{C}$  en  $1000 \text{ kg / m}^3$ ). Met deze informatie is per dag de energiebehoefte van de slibverwarming uit te drukken in de hoeveelheid ingaande slib en het temperatuursverschil.

$$\text{energie (kJ) / dag} = \text{inhoud (m}^3\text{) / dag} * \text{temperatuursverschil (}^\circ\text{C)} * 4186 = 4186 I \Delta T$$

$I$  = aantal  $\text{m}^3$  aangevoerd slib per dag

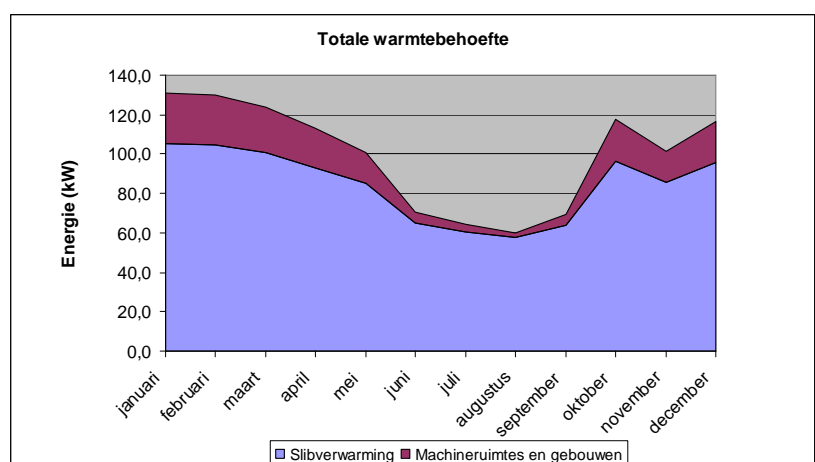
$\Delta T$  = temperatuursverschil tussen de oorspronkelijke en de gistingtemperatuur

In kilowatts (kW)<sup>26</sup> is deze formule als volgt uit te drukken:

$$\text{energie (kW)} = (4186 / 86400) I \Delta T$$

Volgens het definitieve ontwerp zal er per dag  $56 \text{ m}^3$  primair (3,5% D.S.) en  $28 \text{ m}^3$  (6% D.S.) secundair slib in de gistingstank worden aangevoerd. De totale slibaanvoer is in dat geval  $56 + 28 = 84 \text{ m}^3 / \text{dag}$ . De totale capaciteit van de gistingstank is  $2000 \text{ m}^3$ , dus de verblijftijd is daarmee  $(2000 / 84 =) 24$  dagen.

De temperatuur van het aangevoerde slib zal door het jaar heen variëren. Voor de periode



figuur 24: Totale warmtebehoefte

<sup>26</sup>  $1 \text{ kJ / dag} = (24 \text{ uur} * 60 \text{ minuten} * 60 \text{ seconden})^{-1} \text{ kJ / seconde} = 86400^{-1} \text{ kJ / s} = 86400^{-1} \text{ kW}$

van 2002 – 2006 is maandelijks de temperatuur van het actiefslib gemeten. De gemiddelde actiefslib temperatuur per maand is weergegeven in tabel 34.

Naast de slibverwarming bestaat de warmtebehoefte ook uit het verwarmen van machineruimtes en gebouwen. Logischerwijs is de warmtebehoefte van verwarming seizoensafhankelijk en ligt het energieverbruik rond de 15 kW. Op basis van deze informatie zullen we daarom aannemen dat de warmtebehoefte voor deze onderdelen wordt beschreven met de formule:

$energie (kW) = 2(22 - t)$  waarbij  $t$  = gemiddelde influent temperatuur in een maand.

Deze formule relateert de warmtebehoefte aan de gemiddelde temperatuur per maand en zorgt ervoor dat het gemiddelde verbruik per jaar rond de 15 kW ligt.

In tabel 34 zal de warmtebehoefte van de verwarming van slib, machineruimtes en gebouwen worden weergegeven. Een grafische weergave is te zien in figuur 24.

Maand	Temperatuur (°C)	$\Delta T$ (°C)	Warmtebehoefte slib (kW)	Warmtebehoefte gebouwen (kW)	Warmtebehoefte totaal (kW)
Januari	9,1	25,9	105,4	25,8	131,2
Februari	9,3	25,7	104,6	25,4	130,0
Maart	10,3	24,7	100,5	23,4	123,9
April	12,1	22,9	93,2	19,8	113,0
Mei	14,1	20,9	85,1	15,8	100,9
Juni	19,1	15,9	64,7	5,8	70,5
Juli	20,1	14,9	60,6	3,8	64,4
Augustus	20,8	14,2	57,8	2,4	60,2
September	19,3	15,7	63,9	5,4	69,3
Oktober	11,3	23,7	96,5	21,4	117,9
November	14,0	21,0	85,5	16,0	101,5
December	11,5	23,5	95,6	21,0	116,6
<b>Gemiddeld</b>	<b>14,25</b>	<b>20,8</b>	<b>84,4</b>	<b>15,5</b>	<b>99,9</b>

tabel 34: Totale warmtebehoefte op de rwzi Venray ( $I = 84 \text{ m}^3/\text{dag}$ )

### C.4 Kostenbesparing

Alle verzamelde informatie zal in deze paragraaf worden samengevoegd om te totale biogasopbrengst besparing te berekenen.

De energieprijzen zullen in het model worden aangeduid met de volgende notatie:

$p_{elektra}^{dag}$  = integrale kostprijs per kWh elektriciteit (dagtarief)

$p_{elektra}^{nacht}$  = integrale kostprijs per kWh elektriciteit (nachttarief)

$p_{aardgas}$  = integrale kostprijs per  $\text{m}^3$  aardgas

De totale kosten die met biogasopwekking bespaard worden, berekenen we als volgt:

Totale kostenbesparing van biogas per week =

elektriciteitsbesparing overdag + elektriciteitsbesparing 's nachts + aardgasbesparing – extra inkoop van aardgas =  $e_{week}^{dag} p_{elektra}^{dag} + e_{week}^{nacht} p_{elektra}^{nacht} + (a_{week} - i_{week}) p_{aardgas}$

## Elektriciteit

$$e_{week}^{dag} p_{elektra}^{dag} + e_{week}^{nacht} p_{elektra}^{nacht} =$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 & 0 \leq b < 34 \\ 2,339(70b + 5(250))p_{elektra}^{dag} + 2,339(98b - 5(250))p_{elektra}^{nacht} & 34 \leq b < 38,14 \\ 2,339(70b + 5(\frac{56-b}{17,86}250))p_{elektra}^{dag} + 2,339(98b - 5(\frac{56-b}{17,86}250))p_{elektra}^{nacht} & 38,14 \leq b < 56 \\ (70 \cdot 131)p_{elektra}^{dag} + (98 \cdot 131)p_{elektra}^{nacht} & b \geq 56 \end{array} \right. =$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} 280,68bp_{elektra}^{dag} + 112,272bp_{elektra}^{nacht} & 0 \leq b < 34 \\ (163,73b + 2923,75)p_{elektra}^{dag} + (229,222b - 2923,75)p_{elektra}^{nacht} & 34 \leq b < 38,14 \\ 9170p_{elektra}^{dag} + (392,95b - 9167,41)p_{elektra}^{nacht} & 38,14 \leq b < 56 \\ 9170p_{elektra}^{dag} + 12740p_{elektra}^{nacht} & b \geq 56 \end{array} \right.$$

## Gas

$$(a_{week} - i_{week})p_{aardgas} =$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} (24 \cdot 7)(-\frac{3,6w}{28,40})p_{aardgas} & 0 \leq b < \frac{3,6w}{20,7} \\ (24 \cdot 7)(\frac{3,6w}{20,7})p_{aardgas} & \frac{3,6w}{20,7} \leq b < 34 \\ (24 \cdot 7)(0,427b - \frac{3,6w - 12,14b}{28,40})p_{aardgas} & 34 \leq b < \frac{3,6w}{12,14} \\ (24 \cdot 7)\frac{3,6w}{28,40}p_{aardgas} & b \geq \frac{3,6w}{12,14} \end{array} \right. =$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} -21,30wp_{aardgas} & 0 \leq b < 0,174w \\ 29,22wp_{aardgas} & 0,174w \leq b < 34 \\ (143,63b - 21,30w)p_{aardgas} & 34 \leq b < 0,297w \\ 21,296wp_{aardgas} & b \geq 0,297w \end{array} \right.$$

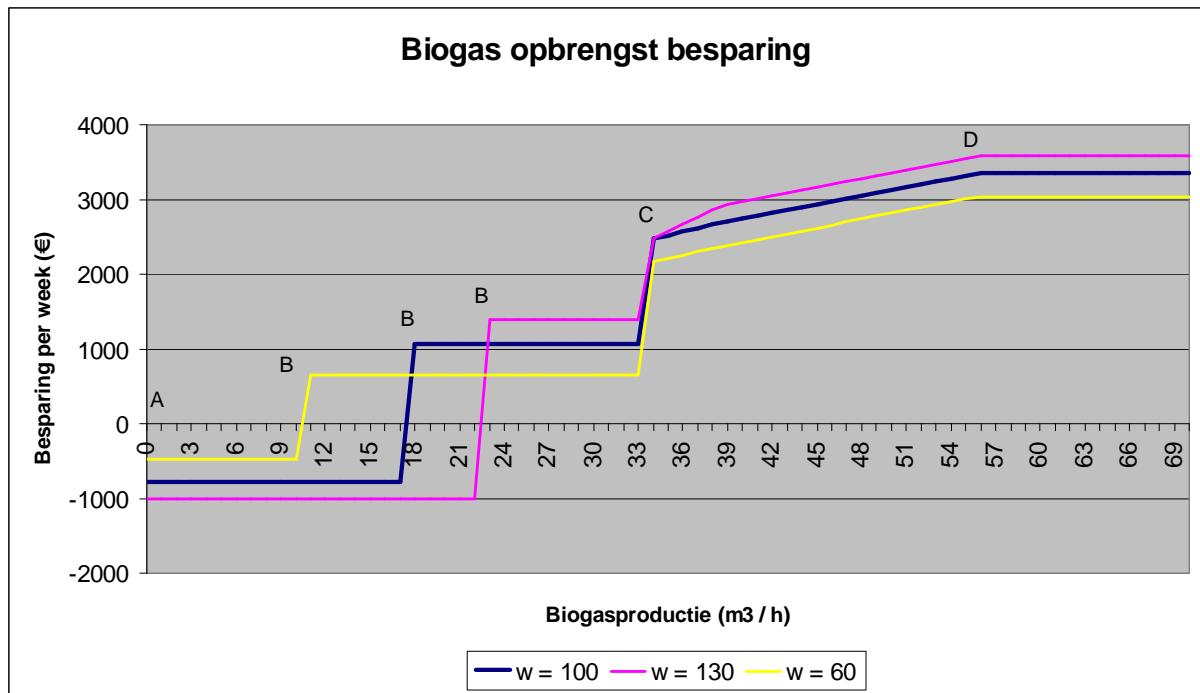
## C.5 Conclusie

De kostenbesparing die biogas oplevert is direct te relateren aan de biogasopbrengst ( $b$  in  $m^3/h$ ) en de warmtebehoefte ( $w$  in kW) met de energieprijzen als parameters ( $p_{elektra}^{dag}$ ,  $p_{elektra}^{nacht}$ ,  $p_{aardgas}$  in euro's per kWh of  $m^3$ ).

Als rekenvoorbeeld gaan we uit van de geraamde energieprijzen voor 2011:

$$p_{elektra}^{dag} = 0,14338 \quad p_{elektra}^{nacht} = 0,09796 \quad p_{aardgas} = 0,3674$$

In figuur 25 geven we de biogasopbrengst weer voor de gemiddelde, minimale en maximale warmtebehoefte, respectievelijk  $w = 100$ ,  $w = 60$  en  $w = 130$ .



figuur 25: Biogasopbrengst in euro's als functie van de biogasproductie in  $\text{m}^3/\text{h}$

De momenten waarop de lijn in de grafiek verspringt zijn aangegeven met een letter. Hieronder volgt een uitleg van de operationele status van de installatie in de intervallen.

*Interval A - B* = CV ketel op aardgas; generator buiten werking

*Interval B - C* = CV ketel op biogas; generator buiten werking

*Interval C - D* = CV ketel bijstoken op aardgas indien nodig; generator in gebruik

*Vanaf D* = CV ketel op biogas (overproductie); generator in gebruik op maximale capaciteit

In dit model zijn de volgende aannames gedaan:

- Bij de biogasopbrengst zijn de kosten voor slibverwarming inbegrepen (vandaar dat de biogasopbrengst ook negatief kan zijn).
- Het rendement van de generator en de CV ketel, zoals beschreven in tabel 32.
- De energetische waarde van aardgas en biogas is respectievelijk  $31,56$  en  $23 \text{ MJ/m}^3$ .
- De capaciteit voor het verwerken van biogas voor de generator en de CV ketel is respectievelijk  $56$  en  $31,6 \text{ m}^3/\text{h}$  (maximale waarden volgens het bestek).
- De generator kan alleen op  $60$  tot  $100\%$  van zijn capaciteit worden aangedreven ( $34 < b < 56 \text{ m}^3/\text{h}$ )
- De slibaanvoer is  $84 \text{ m}^3$  per dag.
- De installatie is  $100\%$  van de tijd in bedrijf (geen onderhoud en/of storingen)
- Elektrische energie wordt volledig benut voor de rwzi of in geval van overschot teruggeleverd aan de energieleverancier.
- Warmte energie wordt gebruikt voor de slibverwarming en de verwarming van machineruimtes en gebouwen. In geval van een warmteoverschot, wordt de warmte teruggekoeld of weggekoeld naar de actiefslibtank.
- Het biogas wordt in principe volledig voor de generator gebruikt. Pas wanneer de generator  $100\%$  belast is ( $b > 56 \text{ m}^3/\text{h}$ ), wordt het biogas ook gebruikt om de CV ketel te stoken.
- De warmteproductie capaciteit van de generator is groot genoeg om in de warmtebehoefte te voorzien. Dit betekent dat de warmtevraag nooit hoger zal zijn dan  $188 \text{ kW}$ . Hieruit

volgt dat de warmte die met de overproductie ( $b > 56 \text{ m}^3/\text{h}$ ) aan biogas uit de CV ketel wordt opgewekt, nooit benut zal worden.

- Al het gas dat in een nacht (10 uur) wordt opgewekt, wordt in eerste instantie opgeslagen in de gashouder. Wanneer de maximale capaciteit van  $250 \text{ m}^3$  is bereikt, wordt het biogas gebruikt om de generator en evt. de CV ketel aan te drijven.
- Het biogas wordt 's nachts niet gebufferd wanneer de generator overdag zonder buffering al volledig wordt belast ( $b > 56 \text{ m}^3 / \text{h}$ ).



## Bijlage D : Onderhoudskosten berekening

### D.1 Onderhoud gasinblazing

				Personeelskosten				Service van derden	Materiaalkosten				Optie 1	Optie 2	Optie 3
Beheer		Frequentie		Tijd	Aantal	Uren	Kosten		Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten
Opties	Installatieonderdelen	Per week	Per jaar	(uren)	pers.	per jaar	per jaar		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar
1	Slibgisting	Gasinblaasleidingen	1	1/20	1	2 3/5	€ 182						€ 182		
1		H2S meten	1	1/20	1	2 3/5	€ 182		H2S staven	1	€ 5	€ 260	€ 442		
1,2		Sliboverlaat reinigen	3	1/4	1	39	€ 2.730						€ 2.730	€ 2.730	
1		Ijzerchloride doseren	2	1/20	1	5 1/5	€ 364		FeCl3 (ton)	50	€ 119,60	€ 11.960	€ 12.324		
1		Antischuimolie doseren							Antischuimolie			€ 10.000	€ 10.000		
1,2		Sediment afstorten	2	1/4	1	26	€ 1.820						€ 1.820	€ 1.820	
1		Slib bemonstering	1	1/2	1	26	€ 1.820						€ 1.820		
1	Slibverwarming	CV ketel ontluchten	5	1/20	1	13	€ 910						€ 910		
1		Olie bijvullen													
1	Mengsysteem	gascompressor	5	1/6	1	43 1/3	€ 3.033		Olie (liter)	260	€ 1	€ 260	€ 3.293		
1	Gashouder	Condens aftappen	2	1/20	1	5 1/5	€ 364						€ 364		
				<b>TOTAAL</b>		162 14/15	€ 11.405		<b>TOTAAL</b>			€ 22.480	€ 33.885	€ 4.550	€ -
<b>Inspectief onderhoud</b>		Frequentie		Tijd	Aantal	Uren	Kosten		Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten
Opties	Installatieonderdelen	Per week	Per jaar	(uren)	pers.	per jaar	per jaar		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar
1	Slibgisting	Afsluiters	1	4	1	4	€ 280						€ 280		
1		Gas ventielen	2	2	1	4	€ 280						€ 280		
1,2,3	Slibverwarming	Slibcirculatiepomp	1	2	1	2	€ 140						€ 140	€ 140	€ 140
1	Gashouder	Afsluiters	1	4	1	4	€ 280						€ 280		
1		Gashouder / meter	2	1	1	2	€ 140						€ 140		
				<b>TOTAAL</b>		16	€ 1.120		<b>TOTAAL</b>			€ -	€ 1.120	€ 140	€ 140
<b>Preventief onderhoud</b>		Frequentie		Tijd	Aantal	Uren	Kosten		Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten
Opties	Installatieonderdelen	Per week	Per jaar	(uren)	pers.	per jaar	per jaar		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar
1	Slibgisting	Drukbeveiliging reinigen	2	2	1	4	€ 280						€ 280		
		Warmtewisselaar													
1,2,3	Slibverwarming	reinen	4	3	2	24	€ 1.680						€ 1.680	€ 1.680	€ 1.680
1,2,3		Onderdelen slibpomp vervangen	2	8	2	32	€ 2.240		Slibpomp onderdelen			€ 3.000	€ 5.240	€ 5.240	€ 5.240
				<b>TOTAAL</b>		60	€ 4.200		<b>TOTAAL</b>			€ 3.000	€ 7.200	€ 6.920	€ 6.920
<b>Verwachte correctief onderhoud</b>		Frequentie		Tijd	Aantal	Uren	Kosten		Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten
Opties	Installatieonderdelen	Per week	Per jaar	(uren)	pers.	per jaar	per jaar		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar
1,2,3	Slibgisting	Verstopping slibafvoer	2	1	1	2	€ 140						€ 140	€ 140	€ 140
1,2,3	Slibverwarming	Verstopping warmtewisselaar	2	3	2	12	€ 840						€ 840	€ 840	€ 840
1,2,3		Verstopping slibpomp	4	1/2	1	2	€ 140						€ 140	€ 140	€ 140
				<b>TOTAAL</b>		16	€ 1.120		<b>TOTAAL</b>			€ -	€ 1.120	€ 1.120	€ 1.120
<b>Parameters</b>											<b>TOTALE ONDERHOUDSKOSTEN GASINBLAZING</b>	<b>€ 43.325</b>	<b>€ 12.730</b>	<b>€ 8.180</b>	
Uurloon personeel		€ 70													

## D.2 Onderhoud Columbus

				Personeelskosten				Service van derden	Materiaalkosten				Optie 2	Optie 3	Optie 4		
		Frequentie		Tijd	Aantal	Uren	Kosten		Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten		
Opties	Installatieonderdeel	Per week	Per jaar	(uren)	pers.	per jaar	per jaar		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar		
2,3,4	Slibgisting	H2S meten	1	1/20	1	2 3/5	€ 182						€ 182	€ 182	€ 182		
2,3,4		Chemicalien doseren	2	1/20	1	5 1/5	€ 364		FeCl3 (ton)	50	€ 119,60	€ 5.980	€ 6.344	€ 6.344	€ 6.344		
2,3,4		Sediment afstorten	2	1/4	1	26	€ 1.820						€ 1.820	€ 1.820	€ 1.820		
2,3,4		Slib bemonstering	1	1/2	1	26	€ 1.820						€ 1.820	€ 1.820	€ 1.820		
2,3,4	Slibverwarming	CV ketel ontluichten	5	1/20	1	13	€ 910						€ 910	€ 910	€ 910		
2,3,4	Mengsysteem	Vetsmeren mengvijzel	1	1/4	1	13	€ 910						€ 910	€ 910	€ 910		
2,3,4	Gashouder	Condens aftappen	5	1/20	1	13	€ 910						€ 910	€ 910	€ 910		
							<b>TOTAAL</b>	€ 6.916					<b>TOTAAL</b>	€ 5.980	€ 12.896	€ 12.896	€ 12.896
<b>Inspectief onderhoud</b>																	
		Frequentie		Tijd	Aantal	Uren	Kosten		Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten		
Optie	Installatieonderdeel	Per week	Per jaar	(uren)	pers.	per jaar	per jaar		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar		
2,3,4	Slibgisting	Afsluiters	1	4	1	4	€ 280						€ 280	€ 280	€ 280		
2,3,4		Gas ventielen	2	2	1	4	€ 280						€ 280	€ 280	€ 280		
4	Slibverwarming	CV waterpomp	1	2	1	2	€ 140						€ 140	€ 140	€ 140		
2,3,4	Gashouder	Afsluiters	1	2	1	2	€ 140								€ 140		
2,3,4		Gashouder / meter	2	1	1	2	€ 140						€ 140	€ 140	€ 140		
							<b>TOTAAL</b>	14	€ 980				<b>TOTAAL</b>	€ -	€ 840	€ 840	€ 980
<b>Preventief onderhoud</b>																	
Optie	Installatieonderdeel												Kosten	Kosten	Kosten		
2,3,4	Slibgisting	Drukbeveiliging reinigen	2	2	1	4	€ 280						per jaar	per jaar	per jaar		
							<b>TOTAAL</b>	4	€ 280				€ 280	€ 280	€ 280		
							<b>TOTAAL</b>		€ -				€ 280	€ 280	€ 280		
<b>Verwachte correctief onderhoud</b>																	
Optie	Installatieonderdeel								Materiaal	Kosten			Kosten	Kosten	Kosten		
3,4	Slibgisting	Verstopping slibafvoer	2	1	1	2	€ 140		(eenheid)	Hoeveelheid	per eenheid	per jaar	per jaar	per jaar	per jaar		
							<b>TOTAAL</b>	2	€ 140				€ -	€ 140	€ 140		
							<b>TOTAAL</b>		€ -				€ -	€ 140	€ 140		
												<b>TOTALE ONDERHOUDSKOSTEN COLUMBUS</b>	€ 14.016	€ 14.156	€ 14.296		

### Parameters

Uurloon personeel € 70

## Bijlage E : Life Cycle Costs berekening

### Parameters

Discontering factor	0,06
Energie indexatie	0,05
Transport indexatie	0,03
Verwerking indexatie	0,03
Onderhoud indexatie	0

### Optie 1

Jaar	Investerings	Energie	Transport	Verwerking	Onderhoud	Contante waarde
0	€ 274.848					€ 274.848
1		€ (142.954)	€ 40.431	€ 378.093	€ 43.325	€ 300.844
2		€ (150.102)	€ 41.644	€ 389.436	€ 43.325	€ 288.629
3	€ 5.000	€ (157.607)	€ 42.893	€ 401.119	€ 43.325	€ 281.046
4		€ (165.487)	€ 44.180	€ 413.152	€ 43.325	€ 265.486
5	€ 10.000	€ (173.761)	€ 45.505	€ 425.547	€ 43.325	€ 262.001
6	€ 5.000	€ (182.450)	€ 46.871	€ 438.313	€ 43.325	€ 247.483
7		€ (191.572)	€ 48.277	€ 451.463	€ 43.325	€ 233.763
8		€ (201.151)	€ 49.725	€ 465.007	€ 43.325	€ 223.927
9	€ 5.000	€ (211.208)	€ 51.217	€ 478.957	€ 43.325	€ 217.399
10	€ 10.000	€ (221.769)	€ 52.753	€ 493.326	€ 43.325	€ 210.870
11		€ (232.857)	€ 54.336	€ 508.125	€ 43.325	€ 196.454
12	€ 5.000	€ (244.500)	€ 55.966	€ 523.369	€ 43.325	€ 190.419
13		€ (256.725)	€ 57.645	€ 539.070	€ 43.325	€ 179.713
14		€ (269.561)	€ 59.374	€ 555.242	€ 43.325	€ 171.781
15	€ 357.260	€ (283.039)	€ 61.156	€ 571.900	€ 43.325	€ 313.200
16		€ (297.191)	€ 62.990	€ 589.057	€ 43.325	€ 156.742
17		€ (312.051)	€ 64.880	€ 606.728	€ 43.325	€ 149.616
18	€ 5.000	€ (327.653)	€ 66.826	€ 624.930	€ 43.325	€ 144.492
19		€ (344.036)	€ 68.831	€ 643.678	€ 43.325	€ 136.105
20	€ 10.000	€ (361.238)	€ 70.896	€ 662.988	€ 43.325	€ 132.820
21	€ 5.000	€ (379.300)	€ 73.023	€ 682.878	€ 43.325	€ 124.994
22		€ (398.264)	€ 75.214	€ 703.364	€ 43.325	€ 117.562
23		€ (418.178)	€ 77.470	€ 724.465	€ 43.325	€ 111.809
24		€ (439.087)	€ 79.794	€ 746.199	€ 43.325	€ 106.258
25		€ (461.041)	€ 82.188	€ 768.585	€ 43.325	€ 100.902
				<b>Netto contante waarde</b>	€	<b>5.139.162</b>
				<b>Gemiddelde jaarlijkse kosten</b>	€	<b>402.020</b>

## Optie 2

Jaar	Investerings	Energie	Transport	Verwerking	Onderhoud	Contante waarde
0	€ 546.075					€ 546.075
1		€ (146.662)	€ 40.431	€ 378.093	€ 26.746	€ 281.706
2		€ (153.995)	€ 41.644	€ 389.436	€ 26.746	€ 270.408
3		€ (161.695)	€ 42.893	€ 401.119	€ 26.746	€ 259.495
4		€ (169.780)	€ 44.180	€ 413.152	€ 26.746	€ 248.954
5	€ 25.000	€ (178.269)	€ 45.505	€ 425.547	€ 26.746	€ 257.453
6		€ (187.182)	€ 46.871	€ 438.313	€ 26.746	€ 228.935
7		€ (196.541)	€ 48.277	€ 451.463	€ 26.746	€ 219.432
8		€ (206.368)	€ 49.725	€ 465.007	€ 26.746	€ 210.252
9		€ (216.687)	€ 51.217	€ 478.957	€ 26.746	€ 201.383
10	€ 25.000	€ (227.521)	€ 52.753	€ 493.326	€ 26.746	€ 206.776
11		€ (238.897)	€ 54.336	€ 508.125	€ 26.746	€ 184.539
12		€ (250.842)	€ 55.966	€ 523.369	€ 26.746	€ 176.543
13		€ (263.384)	€ 57.645	€ 539.070	€ 26.746	€ 168.818
14		€ (276.553)	€ 59.374	€ 555.242	€ 26.746	€ 161.356
15	€ 352.557	€ (290.381)	€ 61.156	€ 571.900	€ 26.746	€ 301.256
16		€ (304.900)	€ 62.990	€ 589.057	€ 26.746	€ 147.182
17		€ (320.145)	€ 64.880	€ 606.728	€ 26.746	€ 140.454
18		€ (336.152)	€ 66.826	€ 624.930	€ 26.746	€ 133.954
19		€ (352.960)	€ 68.831	€ 643.678	€ 26.746	€ 127.676
20	€ 25.000	€ (370.608)	€ 70.896	€ 662.988	€ 26.746	€ 129.406
21		€ (389.138)	€ 73.023	€ 682.878	€ 26.746	€ 115.753
22		€ (408.595)	€ 75.214	€ 703.364	€ 26.746	€ 110.094
23		€ (429.025)	€ 77.470	€ 724.465	€ 26.746	€ 104.629
24		€ (450.476)	€ 79.794	€ 746.199	€ 26.746	€ 99.350
25		€ (473.000)	€ 82.188	€ 768.585	€ 26.746	€ 94.252
<b>Netto contante waarde</b>						<b>€ 5.126.131</b>
<b>Gemiddelde jaarlijkse kosten</b>						<b>€ 401.000</b>

### Optie 3

Jaar	Investerings	Energie	Transport	Verwerking	Onderhoud	Contante waarde
0	€ 588.334					€ 588.334
1		€ (146.662)	€ 40.431	€ 378.093	€ 22.336	€ 277.545
2		€ (153.995)	€ 41.644	€ 389.436	€ 22.336	€ 266.483
3		€ (161.695)	€ 42.893	€ 401.119	€ 22.336	€ 255.793
4		€ (169.780)	€ 44.180	€ 413.152	€ 22.336	€ 245.461
5		€ (178.269)	€ 45.505	€ 425.547	€ 22.336	€ 235.476
6	€ 25.000	€ (187.182)	€ 46.871	€ 438.313	€ 22.336	€ 243.450
7		€ (196.541)	€ 48.277	€ 451.463	€ 22.336	€ 216.499
8		€ (206.368)	€ 49.725	€ 465.007	€ 22.336	€ 207.485
9		€ (216.687)	€ 51.217	€ 478.957	€ 22.336	€ 198.773
10		€ (227.521)	€ 52.753	€ 493.326	€ 22.336	€ 190.353
11	€ 25.000	€ (238.897)	€ 54.336	€ 508.125	€ 22.336	€ 195.386
12		€ (250.842)	€ 55.966	€ 523.369	€ 22.336	€ 174.351
13		€ (263.384)	€ 57.645	€ 539.070	€ 22.336	€ 166.751
14		€ (276.553)	€ 59.374	€ 555.242	€ 22.336	€ 159.405
15		€ (290.381)	€ 61.156	€ 571.900	€ 22.336	€ 152.306
16	€ 352.507	€ (304.900)	€ 62.990	€ 589.057	€ 22.336	€ 284.209
17		€ (320.145)	€ 64.880	€ 606.728	€ 22.336	€ 138.816
18		€ (336.152)	€ 66.826	€ 624.930	€ 22.336	€ 132.409
19		€ (352.960)	€ 68.831	€ 643.678	€ 22.336	€ 126.218
20		€ (370.608)	€ 70.896	€ 662.988	€ 22.336	€ 120.236
21	€ 25.000	€ (389.138)	€ 73.023	€ 682.878	€ 22.336	€ 121.809
22		€ (408.595)	€ 75.214	€ 703.364	€ 22.336	€ 108.871
23		€ (429.025)	€ 77.470	€ 724.465	€ 22.336	€ 103.474
24		€ (450.476)	€ 79.794	€ 746.199	€ 22.336	€ 98.261
25		€ (473.000)	€ 82.188	€ 768.585	€ 22.336	€ 93.225
<b>Netto contante waarde</b>						<b>€ 5.101.380</b>
<b>Gemiddelde jaarlijkse kosten</b>						<b>€ 399.064</b>

#### Optie 4

Jaar	Investerings	Energie	Transport	Verwerking	Onderhoud	Contante waarde
0	€ 626.058					€ 626.058
1		€ (151.781)	€ 40.431	€ 378.093	€ 14.296	€ 265.131
2		€ (159.370)	€ 41.644	€ 389.436	€ 14.296	€ 254.544
3		€ (167.339)	€ 42.893	€ 401.119	€ 14.296	€ 244.304
4		€ (175.705)	€ 44.180	€ 413.152	€ 14.296	€ 234.399
5	€ 1.650	€ (184.491)	€ 45.505	€ 425.547	€ 14.296	€ 226.051
6		€ (193.715)	€ 46.871	€ 438.313	€ 14.296	€ 215.552
7		€ (203.401)	€ 48.277	€ 451.463	€ 14.296	€ 206.590
8		€ (213.571)	€ 49.725	€ 465.007	€ 14.296	€ 197.921
9		€ (224.250)	€ 51.217	€ 478.957	€ 14.296	€ 189.538
10	€ 1.650	€ (235.462)	€ 52.753	€ 493.326	€ 14.296	€ 182.351
11		€ (247.235)	€ 54.336	€ 508.125	€ 14.296	€ 173.588
12		€ (259.597)	€ 55.966	€ 523.369	€ 14.296	€ 166.005
13		€ (272.577)	€ 57.645	€ 539.070	€ 14.296	€ 158.671
14		€ (286.206)	€ 59.374	€ 555.242	€ 14.296	€ 151.580
15	€ 304.616	€ (300.516)	€ 61.156	€ 571.900	€ 14.296	€ 271.828
16		€ (315.542)	€ 62.990	€ 589.057	€ 14.296	€ 138.091
17		€ (331.319)	€ 64.880	€ 606.728	€ 14.296	€ 131.680
18		€ (347.885)	€ 66.826	€ 624.930	€ 14.296	€ 125.482
19		€ (365.279)	€ 68.831	€ 643.678	€ 14.296	€ 119.489
20	€ 1.650	€ (383.543)	€ 70.896	€ 662.988	€ 14.296	€ 114.210
21		€ (402.720)	€ 73.023	€ 682.878	€ 14.296	€ 108.095
22		€ (422.856)	€ 75.214	€ 703.364	€ 14.296	€ 102.682
23		€ (443.999)	€ 77.470	€ 724.465	€ 14.296	€ 97.449
24		€ (466.199)	€ 79.794	€ 746.199	€ 14.296	€ 92.392
25		€ (489.509)	€ 82.188	€ 768.585	€ 14.296	€ 87.505
<b>Netto contante waarde</b>						<b>€ 4.881.187</b>
<b>Gemiddelde jaarlijkse kosten</b>						<b>€ 381.839</b>

## **Bijlage F : Reflectieverslag**

### ***F.1 Verloop van het onderzoek***

Begin februari begon ik aan mijn onderzoek bij het WBL. Door de goede begeleiding kon ik de eerste week een goede start maken zodat al snel mijn plan van aanpak kon opstellen. In de weken die volgde, heb mijn onderzoeksvragen geformuleerd (hoofdstuk 2) die ik in gesprekken met mijn afstudeerbegeleider, 2<sup>e</sup> corrector en externe begeleider heb teruggekoppeld. Ook ben ik in deze periode op zoek gegaan naar LCC literatuur (hoofdstuk 3) en heb ik me verdiept in het gistingproces en –methodes (hoofdstuk 4).

Begin maart begon ik met het bepalen van de activiteiten (hoofdstuk 5). Achteraf gezien heb aan deze fase ik teveel tijd besteed omdat ik sommige onderdelen te grondig geanalyseerd heb of aan het twijfelen was hoe grondig ik de activiteiten moest analyseren. Dit komt voort uit mijn neiging om perfectionistisch te zijn waardoor ik soms slecht de knoop kon doorhakken hoe ik verder ging met mijn onderzoek. Hetzelfde geldt voor het maken van de kostenschattingen (hoofdstuk 6).

Eind april had ik genoeg informatie verzameld om het onderzoek verder thuis uit te werken. Bovendien begon ik in Enschede aan het volgende kwartiel door (master)vakken te volgen. In mei kwam de afstudeeropdracht daardoor op een lager pitje te staan, omdat ik meer prioriteit gaf aan de vakken. Wel had ik met Frank Verkuijlen een deadline afgesproken om eind mei de voorlopige uitkomsten uitgewerkt te hebben (t/m hoofdstuk 7) wat mij stimuleerde om er nog even goed voor te gaan zitten. Na het voorlopige verslag in juni ook met dhr. Morssinkhof te hebben besproken, heb ik eind juni de gevoeligheidsanalyse (hoofdstuk 8), het LCC raamwerk (hoofdstuk 9) en de conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 10) uitgewerkt. Begin juli heb ik de eindversie besproken met alle leden van de afstudeercommissie en de aanvullingen verwerkt in het verslag dat nu voor u ligt.

Het viel me op dat ik mijn planning vaak te optimistisch inschatte. Ik heb me daarbij vooral vergist in hoeveel tijd het in de eindfase kost om een (deel)verslag terug te koppelen. Wanneer een verslag wordt aangeleverd, moet degene die het doorleest genoeg tijd krijgen om het rapport door te nemen. Vervolgens moet er een afspraak worden gepland op een datum en tijdstip waarop iedereen beschikbaar is en waardoor ook weer vertraging opgelopen kan worden. Door het aanleveren en bespreken van (deel)verslagen logischer te organiseren, zal me dat bij een volgend onderzoek zeker een paar weken schelen.

Verder was ik soms te optimistisch over het aantal uur dat ik voor bepaalde activiteiten nodig dacht te hebben. Zo had ik bijvoorbeeld van tevoren verwacht dat ik na aanleiding van de laatste besprekingen van mijn eindverslag de definitieve eindversie binnen 1 of 2 dagen klaar zou hebben. Uiteindelijk zit ik nu voor de 3<sup>e</sup> dag achter de laptop en zal ik pas morgen echt de laatste hand aan het verslag gaan leggen. Het verschil tussen de geplande en werkelijke aantal uren heeft waarschijnlijk ook te maken met mijn perfectionistische instelling.

### ***F.2 Het WBL als afstudeerplek***

Vanaf het begin van mijn contact met het WBL had ik een vaste aanspreekpunt in de organisatie: Frank Verkuijlen. De eerste dagen heeft hij ruim de tijd genomen om mijn opdracht op te starten en administratieve zaken te regelen. In het bijzonder vond ik het prettig dat hij me op mijn eerste dag gelijk aan iedereen voorstelde waar ik mogelijkwijs mee te maken zou krijgen. Door zijn netwerk in de organisatie kon hij me ook snel doorverwijzen naar de juiste persoon wanneer ik vragen had die hij niet kon beantwoorden. Verder vond ik het prettig dat om te weten dat ik altijd op één persoon kon terugvallen wanneer ik in mijn onderzoek vastliep. Bovendien was Frank Verkuijlen ook betrokken bij mijn onderzoek door

regelmatig naar de voortgang te informeren en genoeg tijd vrij te maken wanneer ik mijn bevindingen wilde bespreken.

Over het algemeen was de organisatie goed toegankelijk om informatie te verkrijgen. Ik kon gemakkelijk de afdeling binnenlopen om een vraag te stellen of om snel een afspraak te maken wanneer de persoon in kwestie niet beschikbaar was. Aan het eind van mijn onderzoek was het lastiger om de laatste informatie aangeleverd te krijgen omdat ik in die periode niet meer op het kantoor in Roermond was. De communicatie verliep vooral via de mail waardoor het langer duurde voordat ik een reactie kreeg. Voor het volgend onderzoek is het van belang om te bedenken dat informatie blijkbaar het best en snelst verkregen kan worden door middel van persoonlijk contact.

Vanwege mijn neiging om in gespannen situaties te gaan stamelen en stotteren, vond ik het soms lastig om mensen te benaderen. Ik ben hierdoor geen gesprekken uit de weg gegaan, maar het leverde me soms wel extra stress op omdat ik graag goed en professioneel over wilde komen.

Ook vond ik het prettig dat ik van het WBL de vrijheid kreeg om zelf te bepalen op welke tijden ik op het kantoor was. Vooral vanwege de lange reistijd was het een voordeel dat ik niet elke dag op het kantoor aanwezig hoefde te zijn. Wel had ik mezelf voorgenomen om minimaal 2 dagen in de week naar Roermond te gaan. Om reistijd te besparen, had ik binnen een paar weken een overnachtingadres gevonden om 1 avond in de week te blijven slapen. Toch heb ik wel gemerkt dat het gevaar voor afleidingen thuis groter was dan op het kantoor in Roermond.

### **F.3 Conclusie**

Ik heb tijdens deze afstudeeropdracht vooral bij mezelf (her)ontdekt dat ik het door mijn perfectionistische instelling vaak lastig vind om een goede balans te vinden in hoe grondig ik analyses uit moet voeren. Vooral wanneer er veel verschillende factoren een rol spelen, zoals bij dit afstudeerproject, vind ik het lastig om keuzes te maken hoe de situatie gemodelleerd moet worden. Richting het einde van mijn onderzoek werd ik me hier steeds sneller van bewust zodat ik sneller de knopen kon doorhakken.

Verder heb ik geleerd dat mijn plannings vaak niet realistisch zijn. Ik heb er tijdens mijn onderzoek te weinig rekening mee gehouden hoeveel tijd het kost om mijn bevindingen terug te koppelen met mijn begeleiders. Bovendien schat ik het aantal uur dat ik voor een activiteit nodig denk te hebben meestal te laag in.

Van het WBL heb ik alle ondersteuning ontvangen die ik nodig had. Vooral de betrokkenheid van mijn externe begeleider en zijn netwerk in de organisatie zorgden ervoor dat ik mijn weg in de organisatie goed kon vinden. In verband met mijn reistijd, vond ik het ook prettig dat ik van het WBL het vertrouwen kreeg om zelf te bepalen wanneer ik op het kantoor aanwezig was.

Samengevat was deze opdracht was erg nuttig om te ontdekken hoe ik functioneer en wat hierbij mijn sterke en zwakke punten zijn. Verder was het WBL voor mij een ideale omgeving om mijn afstudeeropdracht uit te voeren.