

HOOFDONDERZOEK

---

# RIOOLELEKTRICITEIT

## FEIT OF FABEL?

---



Afstudeeropdracht

**J. Elzinga**

Student Land- en Watermanagement

Major Grond, Weg- en Waterbouw aan **Van Hall-Larenstein te Velp.**

HOOFDONDERZOEK

---

# RIOOLELEKTRICITEIT

## FEIT OF FABEL?

---



Afstudeeropdracht

**J. Elzinga**

Student Land- en Watermanagement.

Major Grond, Weg- en Waterbouw.

**Peter van der Meer,**

*Begeleider Van Hall - Larenstein*

**Renate Degen – Heijmans,**

*Begeleidster Grontmij*

Trefwoorden: Energie, Duurzaam, Riool.



## Samenvatting

Er is tegenwoordig steeds meer aandacht voor duurzaamheid. Deze aandacht voor duurzaamheid wordt ingegeven door het besef dat het klimaat verandert en dat er op een andere manier naar energie gekeken dient te worden om de wereld leefbaar te houden. Hierdoor gaat men op zoek naar andere mogelijkheden om in de energiebehoefte te voorzien. Één van die mogelijkheden is elektriciteit winnen uit stromend rioolwater. Dat het eenvoudiger is om elektriciteit op te wekken uit het 'schone' stromende water van een beekje dan uit het vieze vuile rioolwater staat vast. Dat er niet zo veel beken door een stad lopen staat ook vast. Het rioolstelsel is vertakt door de hele stad. Rioolenergie zou een duurzame toevoeging kunnen zijn op de bekende manier van elektriciteitswinning wanneer dit op een goede en rendabele wijze gewonnen kan worden.

Doelstelling van deze rapportage is het inzichtelijk maken van de (on)mogelijkheden om elektriciteit op te wekken in het riool. In deze rapportage staat de vraag; *"Op welke praktische wijze kan rendabel elektriciteit gewonnen worden uit de stroming van rioolwater?"* centraal. Het antwoord op deze vraag is dat dit momenteel niet kan. Er kan geen rendabele elektriciteit gewonnen worden uit de stroomsnelheid van het water omdat de kinetische energie te laag is. De potentiële energie van het vallende water in putten biedt de meeste mogelijkheden om rendabel elektriciteit te winnen in het rioolstelsel. Het systeem dat het meest geschikt blijkt om elektriciteit te produceren uit de potentiële energie in het riool is de Jakobsladder. De gehanteerde methode om deze vraag te beantwoorden bestaat uit het raadplegen van experts, onderzoek op internet en literatuur onderzoek. De beantwoording van de centrale vraag is opgesplitst in twee delen.

De **toepassingsmogelijkheden in Arnhem** beperken zich tot plaatsen waar veel debiet is over een groot verval. De meest geschikte plek is put 62028 met een verval van 2,05 meter aan de Zijpendaalseweg. Als er een elektriciteitsopwekkend systeem in het riool geplaatst wordt is het van belang dat de veiligheid en volksgezondheid in acht worden genomen evenals de duurzaamheid van het systeem en de gebruiksvriendelijkheid.

Uit **berekeningen aan toepasbare systemen** in put 62028 blijkt dat er niet genoeg debiet is om rendabel elektriciteit te produceren. Bij een debiet van  $72\text{m}^3/\text{h}$  in put 62028 is er theoretisch genoeg energie aanwezig om een huishouden jaarrond van elektriciteit te voorzien. Het werkelijke debiet is echter  $0,7\text{m}^3/\text{h}$ . Uitgaande van de afmetingen van put 62028 is de Jakobsladder met ongeveer 3,8 Watt het meest geschikt, gevolgd door het waterrad en de vijzel met een mechanisch vermogen van ongeveer 1,5 Watt. Om met een Jakobsladder jaarrond een huishouden van elektriciteit te voorzien is er ongeveer  $75\text{m}^3/\text{h}$  nodig. Voor een waterrad is er plus minus  $186\text{m}^3/\text{h}$  benodigd en voor een vijzel is er in deze voorstelling een debiet nodig van ongeveer  $187\text{m}^3/\text{h}$  om een huishouden in de elektriciteitsvraag te kunnen voorzien. Elektriciteitsopwekking *in* het stelsel is op *dit* moment niet rendabel.

Uit de **kosten - baten analyse** blijkt dat de geschatte kosten voor installatie van een elektriciteitsopwekkend systeem in het riool € 100.000 investeringskosten bedragen met € 2500 jaarlijkse onderhoudskosten. De baten die gegenereerd kunnen worden zijn hoofdzakelijk de geleverde elektriciteit à € 0.35 per kWh (met een plafond van € 5000) en subsidie voor waterkracht met een verval onder 5 meter à € 0.07 per kWh. Daarnaast zijn er een aantal fiscale voordeelregelingen die niet direct baten produceren maar de voortvloeiende investeringen wel. De totale baten per jaar uit elektriciteitsproductie en subsidie bedragen € **27.30**. Daarnaast kunnen er baten gerealiseerd worden uit het adviseren bij een vervolg of vergelijkbare projecten bij derden.

# Inhoudsopgave

<b>Lijst van Illustraties</b> .....	6
<b>Lijst van Tabellen</b> .....	6
<b>Voorwoord</b> .....	7
<b>1. Inleiding</b> .....	8
1.1. Aanleiding .....	8
1.2. Achtergrond .....	8
1.3. Probleemstelling .....	9
1.4. Hoofd- en deelvragen .....	9
1.4.1. Hoofdvrage .....	9
1.4.2. Deelvragen .....	9
1.5. Doelstelling .....	9
1.6. Benadering/aanpak .....	10
1.7. Leeswijzer .....	10
<b>2. Uitgangspunten</b> .....	11
2.1. Energie .....	11
2.2. Systemen .....	11
<b>3. Toepassingsmogelijkheden in Arnhem</b> .....	12
3.1. Mogelijke locaties .....	12
3.2. Beheermaatregelen .....	15
3.2.1. Veiligheid en volksgezondheid .....	15
3.2.2. Duurzaamheid .....	15
3.2.3. Gebruiksvriendelijkheid .....	16
<b>4. Berekeningen toepasbare systemen</b> .....	17
4.1. Putenergie .....	17
4.2. Vergelijking .....	18
4.3. Systemspecificatie .....	20

4.3.1.	Argumentatie.....	20
4.3.2.	Afmetingen .....	20
4.3.3.	Toerentallen .....	21
4.3.4.	Mechanisch vermogen .....	23
5.	<b>Kosten - baten analyse</b> .....	25
5.1.	Kosten .....	25
5.2.	Baten.....	25
6.	<b>Conclusies</b> .....	28
7.	<b>Aanbevelingen</b> .....	29
7.1.	Aanbevelingen informatie .....	29
7.2.	Aanbevelingen elektriciteitsopwekking.....	29
8.	<b>Visie</b> .....	34
8.1.	Besef.....	34
8.2.	Toekomstmuziek.....	34
8.3.	Mogelijke handvatten .....	37
	<b>Bronvermelding</b> .....	38
	<b>Noten</b> .....	39
	<b>Bijlagen</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## Lijst van Illustraties

Figuur 1 Locatie overzicht putten.....	13
Figuur 2 Mogelijke energie per aansluiting.....	17
Figuur 3 Stromings en vervalenergie bij 0.72m <sup>3</sup> /h.....	19
Figuur 4 Energie bij 72 m <sup>3</sup> /h.....	19
Figuur 5 Mogelijke kansrijke locaties aan de hand van de hoogtelijnen van Arnhem.....	31
Figuur 6 Visie van de auteur.....	36

## Lijst van Tabellen

Tabel 1 Debieten bij DWA afvoer .....	14
---------------------------------------	----

## Voorwoord

Ik heb met veel plezier aan dit rapport gewerkt, het was voor mij een leuke uitdaging die ik met beide handen heb aangegrepen. De uitdaging lag vooral in het feit dat elektriciteitswinning uit het riool totaal nieuw en onbekend terrein is. Door dit onderzoek ben ik tot de conclusie gekomen dat dit de richting is waarin ik mij verder wil ontwikkelen, ik ben er dan ook heilig van overtuigd dat er toekomst zit in deze manier van energie winning. Misschien niet op de wijze zoals ik het nu heb onderzocht, maar wel op andere manieren. Mijn ambitie is om deze manier van energiewinning op de kaart te zetten als alternatieve energiebron. Mijn naam staat dan wel als auteur op het rapport, maar zonder de hulp van een aantal mensen zou ik nooit dit onderzoek hebben kunnen volbrengen. Daarom wil ik een aantal mensen bedanken; Gert Lemmen, voor zijn kritische en scherpe benadering. Wicher Worst, voor zijn inspirerende en energieke inbreng. Maarten Geist, voor de bizarre ideeën. Joris de Visser, voor zijn vriendelijke en scherpe noot. Jeroen Kluck, voor zijn enthousiasme aangaande mijn onderzoek. Theo van der Kroon, de ouwe pruttelpot die scherpzinnig mijn nieuwste ideeën doorlichtte. Sjaak Dehing, voor de steun in de rug dat ik niet de enige ben die toekomst in rioolelektriciteit zien. Björn Vink, voor zijn benadering uit een compleet andere hoek. Jurryt Hoenekamp, voor het doorstaan van mijn gejangel om gegevens. Joop Hartman, voor zijn inspirerende inbreng. Rogier van Alphen, die mijn ogen opende voor een mogelijk tastbaar vervolg van mijn onderzoek. Peter van der Meer, die door mijn toedoen enkele uren zware hoofdpijn, verstofte hersencellen en geniale ingevingen heeft opgelopen. Grote dank ben ik verschuldigd aan Renate Degen - Heijmans, als directe begeleider heeft zij de ondankbare taak gehad om mijn vorderingen te doorploegen en 'echte Jan uitspraken' uit het rapport te strepen. Ook heeft zij een deel van de hoofdpijn gedeeld met Peter van der Meer, mijn gedachtegang blijkt voor anderen toch veel minder logisch als dat het voor mijzelf is.

Uiteraard wil ik ook mijn naaste collega's bedanken voor de kantoorhumor, het was toch een beetje verlossing van de kwellung als het buiten 25 graden was en jij op kantoor zit. Ik vergeet vast mensen, weet dat dit geen opzet is maar willekeur van het geheugen, ik ben iedereen die heeft meegeholpen aan mijn onderzoek zeer dankbaar voor hun inbreng.

Was getekend,

Jan Elzinga

# 1. Inleiding

Met stromend water kan men waterkracht opwekken om elektriciteit te produceren. Riolering haalt zijn werking uit het feit dat het afvalwater afstroomt, weg van de plaats van lozing. Het feit dat in rioolwater van alles en nog wat rondrijft doet niets af aan het feit dat het water nog steeds stroomt en dus kinetische energie heeft. Die energie zit opgeslagen in de beweging van het water, deze beweging kan worden omgezet in een andere vorm van energie die men nuttig kan aanwenden. Een van de andere vormen van energie, opgewekt uit bewegingsenergie is elektriciteit. Elektriciteit kan vervolgens weer op alle mogelijke manieren worden ingezet en toegepast.

## 1.1. Aanleiding

De huidige stand van zaken is dat er steeds meer aandacht is voor duurzaamheid. Deze aandacht voor duurzaamheid wordt ingegeven door het besef dat het klimaat verandert en dat er op een andere manier naar energie gekeken dient te worden om de wereld leefbaar te houden. Deze andere kijk op energie houdt in dat er meer en meer aandacht komt voor energiebesparing en andere manieren om energie op te wekken om zo de conventionele en veelal vervuilende vormen van energie opwekking te verminderen. Tegenwoordig ziet men een groeiende belangstelling voor 'alternatieve' energieopwekking, deze belangstelling uit zich onder andere in het groeiende aantal windmolens en zonnecellen. Dit heeft als voordeel dat het elektriciteitssysteem robuuster wordt zodat er bij een storing of calamiteit niet meer hele gemeenten zonder elektriciteit komen te zitten maar slechts delen of enkele huizen. Windmolens en zonnecellen zijn inmiddels algemene begrippen geworden als het gaat om alternatieve energieopwekkers. Er zijn echter meer mogelijkheden voor energiewinning. Dat het eenvoudiger is om elektriciteit op te wekken uit het 'schone' stromende water van een beekje dan uit het vieze vuile rioolwater staat vast. Dat er niet zo veel beken door een stad lopen staat ook vast. Wat er echter wel altijd door (onder) een stad loopt is het rioolstelsel van de stad. De 'schone' beek en het 'vuile' rioolwater zijn in wezen niet verschillend. Beide zijn stromend water en beide hebben verval en bezitten dus kinetische en potentiële energie. Van de stroming en verval in het riool kan net zo goed gebruik gemaakt worden als in een beek.

## 1.2. Achtergrond

De gemeente Arnhem is een pilot gestart genaamd SEWEEEX (SEWage Energy EXchange system) om door middel van warmtewisseling duurzame energie uit de temperatuur van het riool te halen. Deze pilot moet worden uitgevoerd op een nieuw transportriool dat komt te liggen in het Rijnbooggebied. De daadwerkelijke aanleg van het riool staat gepland voor 2012 en de ingebruikname van het systeem tegen het eind van 2013. SEWEEEX maakt gebruik van het feit dat het rioolwater in de zomer koeler is dan de omgeving maar in de winter juist warmer. Dit temperatuurverschil kan door middel van energiewisselaars nuttig worden aangewend om gebouwen te koelen of te verwarmen. Een haalbaarheidsstudie van de KEMA heeft aangetoond dat wanneer het transportriool over een lengte van 210 meter met warmtewisselaars wordt uitgerust dit voor 80 tot 90 procent in de koude- en warmtebehoefte kan voorzien van 560 woningen en 80.000 vierkante meter winkels en cultuurvoorzieningen.<sup>1</sup>

Deze voorlopige resultaten liet bij de gemeente Arnhem de vraag rijzen of er niet meer uit het riool te halen viel. In gesprekken met Grontmij heeft de gemeente Arnhem laten weten geïnteresseerd te



zijn in de mogelijkheden om elektriciteit te genereren uit de stroming van rioolwater. Vanuit een gezamenlijke interesse is de link gelegd met een afstudeerder van Hogeschool Van Hall - Larenstein.

Hierna is er een vooronderzoek<sup>i</sup> uitgevoerd waarin de mogelijke technieken om elektriciteit op te wekken uit stromend water zijn onderzocht. Deze technieken zijn vervolgens beoordeeld middels een MCA<sup>ii</sup> (Multi Criteria Analyse). De technieken zijn gerangschikt en de 4 best scorende technieken op de MCA worden in dit hoofdonderzoek verder uitgewerkt. Deze rapportage gaat dieper in op de resultaten van het voorgenoemde onderzoek.

### **1.3. Probleemstelling**

Het rioolstelsel is vertakt door de hele stad. Het water in het riool stroomt en stromend water heeft energie. Rioolenergie zou een duurzame toevoeging kunnen zijn op de bekende manier van elektriciteitswinning wanneer dit op een goede en rendabele wijze geronnen kan worden.

### **1.4. Hoofd- en deelvragen**

De uit de probleemstelling geformuleerde hoofd- en deelvragen luiden als volgt.

#### **1.4.1. Hoofdvraag**

Op welke praktische wijze kan rendabel elektriciteit gewonnen worden uit de stroming van rioolwater?

#### **1.4.2. Deelvragen**

1. Wat zijn de toepassingsmogelijkheden om elektriciteit op te wekken in het rioolstelsel van Arnhem?
2. Wat is de output van de geschikte geachte systemen ter elektriciteitsopwekking in het Arnhemse rioolstelsel?
3. Wat zijn de kosten en baten om elektriciteit op te wekken uit het stromende rioolwater?

### **1.5. Doelstelling**

De doelstelling van deze rapportage is het inzichtelijk maken van de (on)mogelijkheden om elektriciteit op te wekken in het riool. De doelgroep van deze rapportage zijn diegenen die 'dagelijks' beslissen over riolering en met duurzaamheid te maken hebben, zijnde gemeenten en adviesbureaus.

---

<sup>i</sup> Zie bijlage 1

<sup>ii</sup> Zie bijlage 2

## **1.6. Benadering/aanpak<sup>iii</sup>**

De gevolgde methode om deze doelstelling te verwezenlijken zal bestaan uit het raadplegen van experts, onderzoek op internet en literatuur onderzoek. Aan de hand van de informatie die voortvloeit uit de deelvragen zal uiteindelijk de conclusie getrokken worden of elektriciteitswinning in het riool haalbaar is.

## **1.7. Leeswijzer**

Om deze onderzoeksvraag goed te kunnen beantwoorden is het nodig om eerst een inventarisatie te maken van de in gebruik zijnde technieken. Dit is verwoord in het vooronderzoek dat is opgenomen in de bijlagen. Om dit hoofdonderzoek gestructureerd en gefundeerd uit te voeren zijn er een aantal deelvragen opgesteld die per hoofdstuk worden behandeld. Hoofdstuk 2 behandelt de uitgangspunten van het vooronderzoek waarop het voorliggende onderzoek is gebaseerd.. In hoofdstuk 3 wordt er uitgeweid over locaties en beheermogelijkheden van de technieken die op basis van de expert opinions toekomst hebben. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten van de berekeningen aan de technieken op de verkozen locatie. Hoofdstuk 5 is een kosten – baten analyse waarmee inzicht is gegeven in de kosten en opbrengsten van een rioolwaterkrachtinstallatie. Hoofdstuk 6 betreft de conclusies van het onderzoek en wordt er antwoord gegeven op de onderzoeksvraag. In hoofdstuk 7 zijn aanbevelingen gedaan met betrekking tot het opwekken van elektriciteit uit het stromen van rioolwater. Deze aanbevelingen komen voort uit suggesties en ervaringen van derden en de auteur tijdens en voorafgaand aan dit onderzoek. In hoofdstuk 8 is de visie van de auteur beschreven op de ideale inrichting van het rioolstelsel om elektriciteit op te wekken uit de stroming van rioolwater.

---

<sup>iii</sup> Zie bijlage 6

## 2. Uitgangspunten

Ter voorbereiding op deze rapportage is een vooronderzoek uitgevoerd dat de uitgangspunten vast heeft gesteld voor dit onderzoek. Uitgangspunt is het rioolstelsel van Arnhem, en dan in het bijzonder het stelsel in Arnhem – Noord. Arnhem dient als uitgangspunt omdat het een grote stad is met veel inwoners (en dientengevolge een groot verwacht debiet in het rioolstelsel) en een zeer geaccidenteerd gebied met veel verval. Dit maakt het rioolstelsel van Arnhem bij uitstek geschikt om als proefgebied te dienen.

### 2.1. *Energie*

Er is in het vooronderzoek studie verricht naar systemen om elektriciteit op te wekken uit water. Ook is er berekend wat de te winnen hoeveelheid kiloWattuur is in Arnhem. Trechterend van heel Arnhem naar een gemiddelde wijk in Arnhem – Noord blijkt dat er 0.03 kWh per jaar opgewekt kan worden uit de kinetische energie in het stelsel en 1314,30 kWh per jaar uit de potentiële energie. Dit betreft een ideële situatie waarin een hele wijk, ongeveer 4800 inwoners, loost op één leiding. Gezien de lage winbare energie is besloten geen verder onderzoek te plegen naar de mogelijkheden met betrekking tot kinetische energie maar verder te gaan met de potentiële energie.

### 2.2. *Systemen*

Bij het onderzoek naar de systemen is onderscheid gemaakt tussen elektriciteit uit stromend rioolwater, elektriciteit uit stromend schoon water en elektriciteit uit stilstaand water en deining. De gevonden systemen zijn onderworpen aan een **Multi Criteria Analyse (MCA)**. Criteria zijn onder andere: gevoeligheid voor vervuilingen, rendement en vereist verval. De systemen waterraderen, Zotlöter en oscillatie hebben het hoogst gescoord in de MCA. Omdat oscillatie een kinetisch systeem is word deze geschrapt en vervangen door de Jakobs ladder die net iets lager scoort. Ook de Archimedes schroef (vijzel) is geschikt bevonden om verder uitgewerkt te worden omdat deze schroef een bewezen hoge vuiltolerantie heeft.

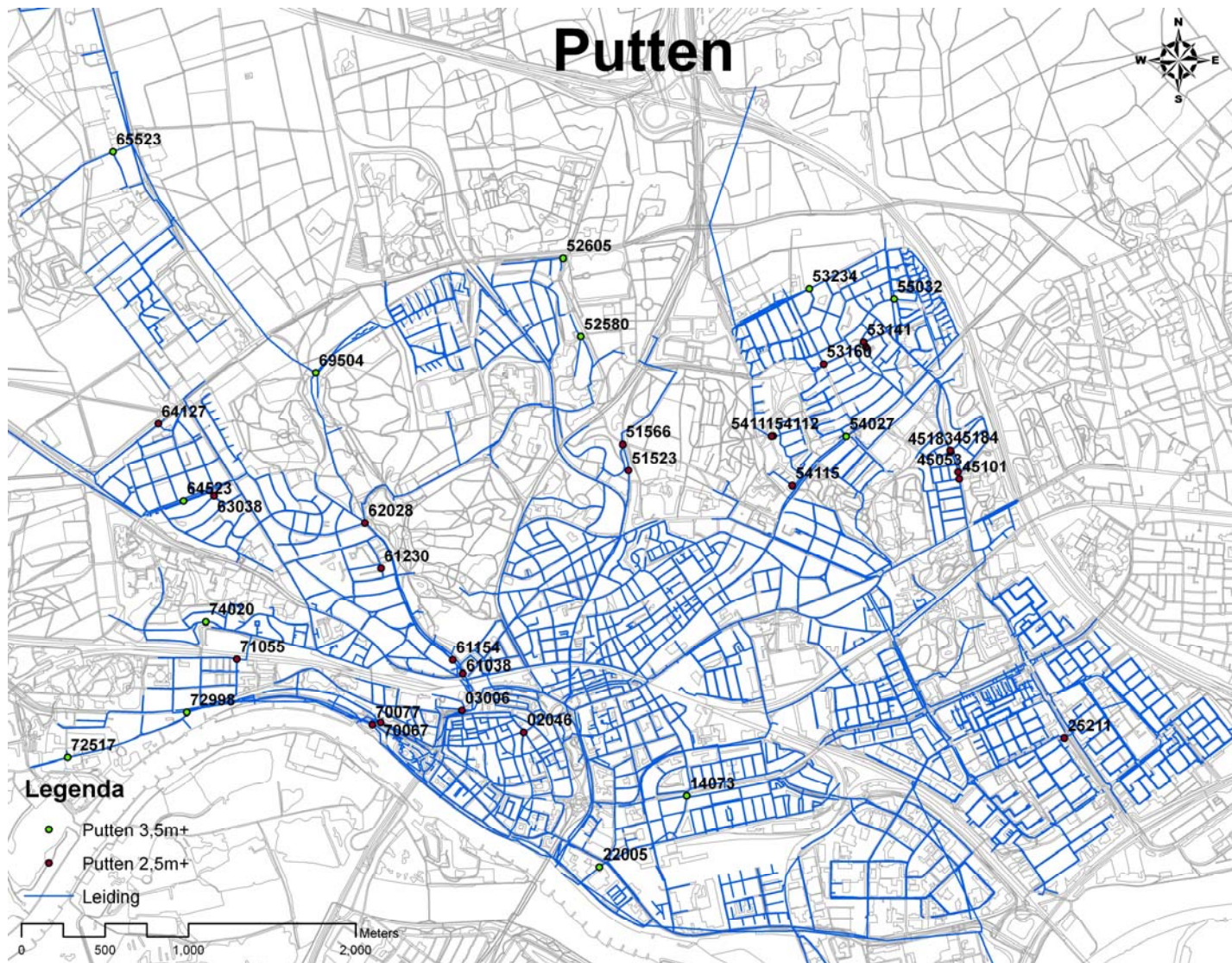
### **3. Toepassingsmogelijkheden in Arnhem**

Hier wordt gekeken naar de mogelijkheden om de 4 systemen die uit het vooronderzoek naar voren zijn gekomen in te passen in het Arnhemse stelsel. Hiertoe is er een selectie gemaakt van de mogelijk geschikte locaties. Tevens wordt er aandacht besteed aan de mogelijke beheersmaatregelen bij inpassing van een systeem in het rioolstelsel.

#### **3.1. *Mogelijke locaties***

Naar aanleiding van de resultaten uit het vooronderzoek waaruit is gebleken dat de onttrekbare energie in het stromende water niet toereikend is, maar de potentiële energie uit verval wel, is besloten om alleen de putten te belichten. Omdat de putten over een zeker verval moeten beschikken om energetisch interessant te zijn is besloten om alleen naar Arnhem – Noord te kijken. Dit omdat Arnhem – Noord het meeste hoogteverschil kent en de diepste putten. De inventarisatie voor de toepassingslocaties behelst het selecteren van putten met een groter verval dan 2,5m in een put. Deze putten zijn mogelijke locaties om genoeg potentiële energie op te wekken om rendabel één van de vier geselecteerde systemen aan te kunnen drijven die als beste uit de bus kwamen bij de MCA. Dit zijn de systemen Zotlöter, een waterrad, een schroef en een omgekeerde Jakobs ladder. De mogelijkheden voor de schroef betreffen de mogelijkheden voor een Archimedes schroef, ook wel vijzel genaamd. De reden dat specifiek deze schroefvorm wordt uitgewerkt is dat deze schroef erg ongevoelig is voor vervuiling.

Rekening houdend met het lage DWA debiet in het riool dat aangewend kan worden voor elektriciteitsopwekking is er voor gekozen om putten met een verval kleiner dan 2,5 meter buiten beschouwing te laten. De overgebleven putten zijn te zien in nevenstaande Figuur 1.



Figuur 1 Locatie overzicht putten

Onderstaande Tabel 1 geeft de gefilterde lijst weer van de putten die mogelijk geschikt zijn voor elektriciteitsopwekking. Van de 21 putten beschikken sommige putten over meerdere instroomstrengen. Dit resulteert in het vaker voorkomen van dezelfde putnummers als geschikte locatie. De potentiële energie van deze putten zijn berekend met de debieten die zijn gegenereerd door het computerprogramma InfoWorks van Wallingford Software. Dit programma heeft bij normale DWA de debieten gegenereerd voor onderstaande putten.

Put	verval	Straat	m <sup>3</sup> /h	Potentiële energie kWh/jr
62028	2,05	Zijpendaalseweg	0,721	35,26
62028	2,66	Zijpendaalseweg	0,261	16,60
62028	2,01	Zijpendaalseweg	0,120	5,76
54027	3,81	Rosendaalseweg	0,087	7,92
51523	2,80	Hommelseweg	0,035	2,32
61038	2,99	Zijpendaalseweg	0,020	1,46
53160	2,89	Bonte wetering	0,015	1,00
03006	3,29	Willemsplein	0,010	0,78
45053	2,51	Bronbeeklaan	0,009	0,57
53160	2,89	Bonte wetering	0,004	0,27
45101	2,99	Bronbeeklaan	0,004	0,26
61230	2,67	Cordesstraat	0,003	0,22
71055	2,57	Zuidelijke parallelweg	0,003	0,21
45184	2,77	Bronbeeklaan	0,003	0,20
53142	2,73	Druckerstraat	0,002	0,12
14073	4,66	Johan de wittlaan	0,002	0,17
61154	3,07	Zijpendaalseweg	0,001	0,11
03006	3,29	Willemsplein	0,001	0,10
45183	3,24	Bronbeeklaan	0,001	0,06
64127	3,22	Schelmseweg	0,001	0,06
70067	2,89	Onderlangs	0,000	0,02
70077	2,66	Boterdijk	0,000	0,00
53141	2,66	Bonte wetering	0,000	0,00

Tabel 1 Debieten bij DWA afvoer

Uit deze lijst wordt put 62028 aan de Zijpendaalseweg uitgewerkt. Deze put beschikt over de meeste potentiële energie en geldt daarmee als gids voor de andere putten.

## **3.2. Beheermaatregelen**

Uit gesprekken met Theo van der Kroon waarin hij als rioolbeheerder kijkt naar het beheer van de voorgenoemde systemen in het riool komen de volgende beheeraspecten aan de orde. Het systeem dient te voldoen aan een aantal voorwaarden. Deze voorwaarden komen in deze paragraaf aan bod.

### **3.2.1. Veiligheid en volksgezondheid**

Het betreden van rioolstelsels is uitsluitend onder strenge voorwaarden toegestaan. Hier moet met het ontwerp rekening mee gehouden worden. Om deze reden heeft het de voorkeur om de installatie (zoveel als mogelijk) buiten het riool op te stellen. Voor die delen van de installatie waarbij contact met vuilwater onvermijdelijk is geldt het volgende:

- De installatie mag nooit een belemmering vormen voor goede doorstroming van rioolwater in het riool.
- de draaiende/bewegende delen van de installatie moeten uit kunnen worden geschakeld, buiten bereik van het mechaniek.
- Het onderhoudspersoneel moet voldoende ruimte hebben om de put te kunnen betreden en om hierin te werken.
- Onderdelen van de installatie moeten vervangen kunnen worden zonder dat de put gedemonteerd hoeft te worden.
- Het is minder wenselijk als de installatie zich onder een drukke weg bevindt.
- De installatie mag bij (dis)functioneren geen belemmering in de afvoer vormen waardoor wateroverlast ontstaat (gevaar voor de volksgezondheid en verkeersveiligheid).

### **3.2.2. Duurzaamheid**

Voor de gemiddelde levensduur van riolering wordt uitgegaan van 60 jaar. Voor mechanische installaties geldt een veel kortere levensduur. Zo staat voor rioolpompen en appendages een gemiddelde levensduur van 15 jaar. Een installatie om energie op te wekken is ook een mechanische voorziening. Het is dan ook reëel om de levensduur hier op aan te passen. Dat betekent dat de installatie zeer robuust moet zijn (anders wordt de 15 jaar niet gehaald). Of in ieder geval tegen lage kosten vervangbaar. Dit houdt ook in dat het systeem robuust genoeg moet zijn om de omstandigheden in het riool aan te kunnen. Materiaal in het riool krijgt te maken met vochtige doekjes die blijven kleven en een prop vormen, corrosieve gassen en vloeistoffen, riool vreemde voorwerpen en meer. Een systeem in het riool moet van materialen gemaakt zijn die bestand zijn tegen deze omstandigheden. Ook is het wenselijk dat er zo min mogelijk bewegende delen aan het systeem zitten. Deze vormen een risico voor de bedrijfsvoering omdat hier eenvoudig vuil tussen kan raken. Storingen kosten geld en zorgen voor overlast.

### **3.2.3. Gebruiksvriendelijkheid**

Om het systeem gebruiksvriendelijk te maken is het noodzakelijk dat:

- Het systeem eenvoudig van opzet is.
- Er een duidelijke handleiding is.
- Onderdelen eenvoudig te vervangen zijn / de toegang eenvoudig is.
- Storingen zo snel als mogelijk gesignaleerd worden. (Hiervoor is aansluiting op een telemetrie systeem noodzakelijk.)
- Onderhoud snel uitgevoerd kan worden, bij voorkeur zonder de inzet van zwaar materieel.

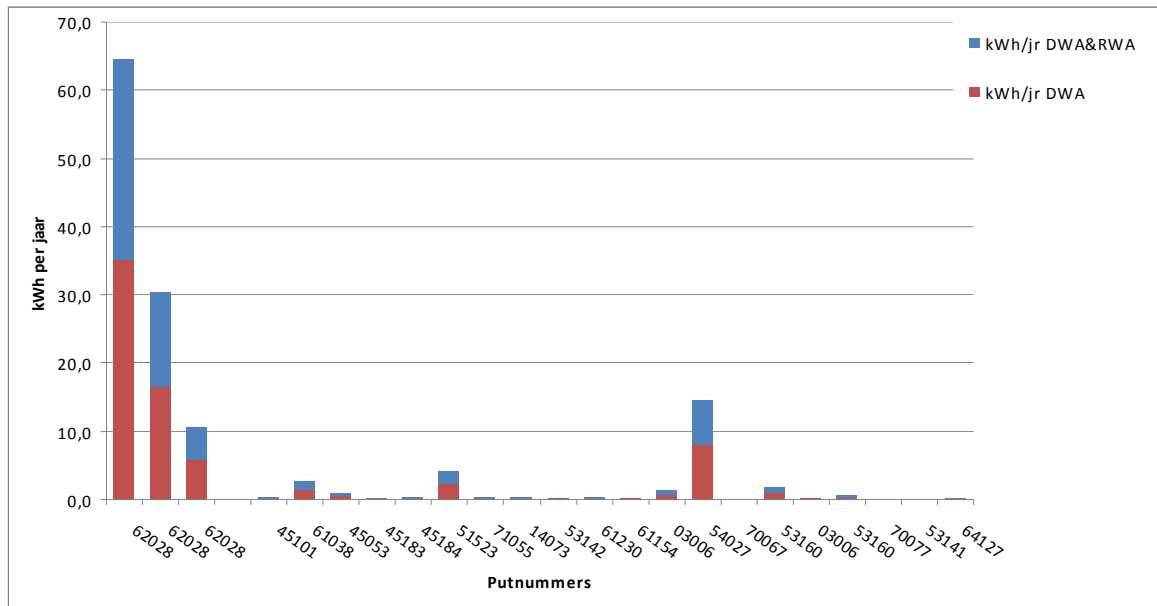


## 4. Berekeningen toepasbare systemen

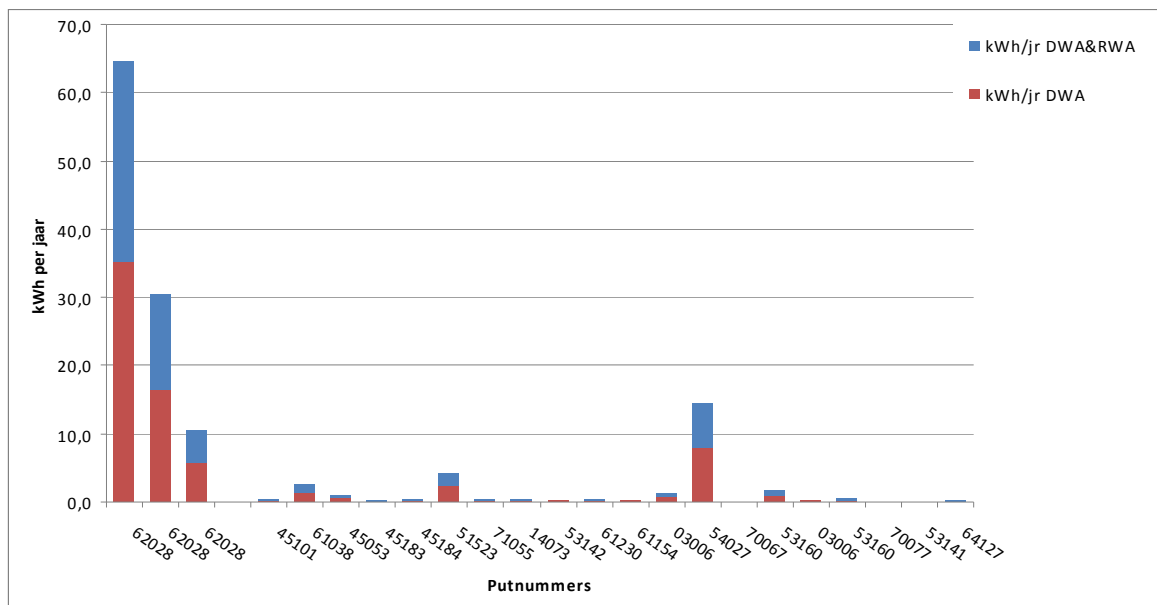
In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de berekeningen die zijn uitgevoerd teneinde de theoretisch energetische mogelijkheden per locatie uit Tabel 1 en per systeem uit te diepen.

### 4.1. Putenergie

Onderstaand



Figuur 2 is een weergave van de hoeveelheid elektriciteit die er per jaar theoretisch opgewekt zou kunnen worden, in kWh per aansluiting in de put. Uitgangspunten hierbij zijn de vervalhoogtes van de putten en het doorstromende debiet zoals is weergegeven in Tabel 1 in het vorige hoofdstuk.



Figuur 2 Mogelijke energie per aansluiting

In het rood is de hoeveelheid energie uit het afvalwater weergegeven en in het blauw is de hoeveelheid energie uit hemelwater weergegeven. Om de mogelijke elektriciteitsproductie per jaar inclusief neerslag te berekenen is de totale neerslag in Nederland per jaar genomen (800 mm neerslag valt in 540 uur). Deze neerslag is in heel Nederland hetzelfde dus ook in Arnhem – Noord. Om te bepalen hoeveel hemelwater er daadwerkelijk door een put heen stroomt, is het percentage berekend van het DWA dat door de put stroomt ten opzichte van het totale DWA in Arnhem – Noord en het hemelwater op Arnhem – Noord is vermenigvuldigd met dat percentage.

## 4.2. Vergelijking

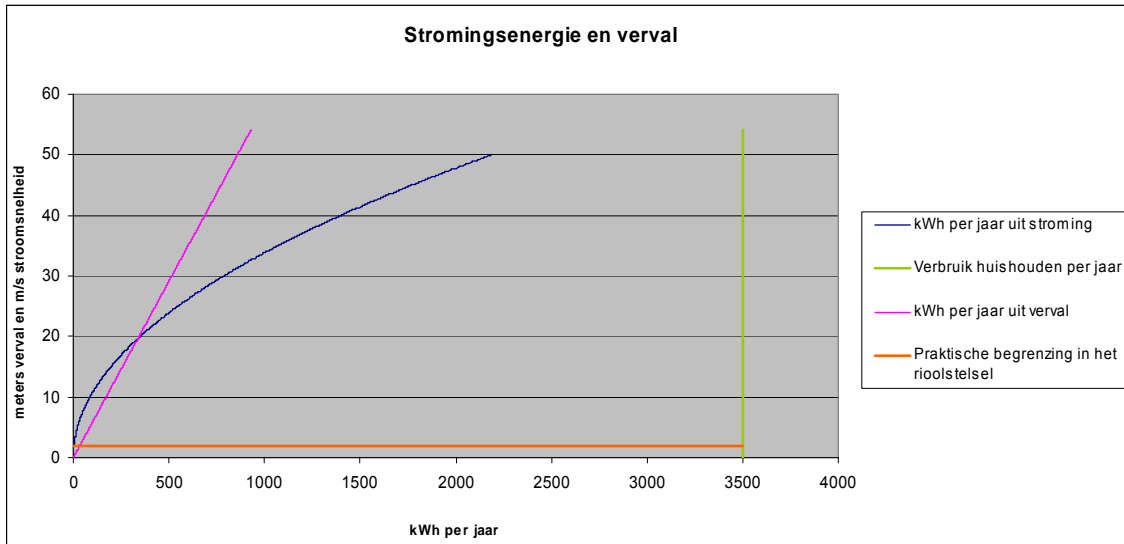
Om duidelijk inzicht te geven dat de mogelijkheid om elektriciteit op te wekken hoofdzakelijk afhangt van het debiet zijn onderstaande grafieken geproduceerd. Hierin staan op de Y-as de snelheid van het water en de hoogte van het verval. Deze twee variabelen zijn niet uitwisselbaar, het is niet zo dat water over een verval van 10 meter ook een snelheid heeft van 10 m/s. Om echter de vergelijking te maken tussen stromingsenergie en verval is gekozen voor deze grafiek indeling. De bijbehorende formules zijn als volgt;

$$\frac{\left( \frac{1}{2} * Q * \rho * v^2 \right) * (3600 * 8760)}{3,6 * 10^6} = \text{Stromingsenergie in kWh}$$

$$\frac{\left( \frac{\rho * g * h * Q}{1000} \right) * (3600 * 8760)}{3,6 * 10^6} = \text{Vervalenergie in kWh}$$

Hierin is Q het debiet in m<sup>3</sup>/s, ρ de massacoëfficiënt water in kg/m<sup>3</sup>, v de stroomsnelheid in m/s, g de zwaartekrachtversnelling in m/s<sup>2</sup>, h de vervalhoogte in m. De uitkomst van de eerste term tussen haakjes is in Joules per seconde. Men vermenigvuldigd met het aantal seconden in een uur en het aantal uren in een jaar om op het aantal Joules per jaar uit te komen. 1 kWh is 3,6\*10<sup>6</sup> J, om van het aantal Joules per jaar naar het aantal kWh per jaar te komen deelt men door 3,6\*10<sup>6</sup>.

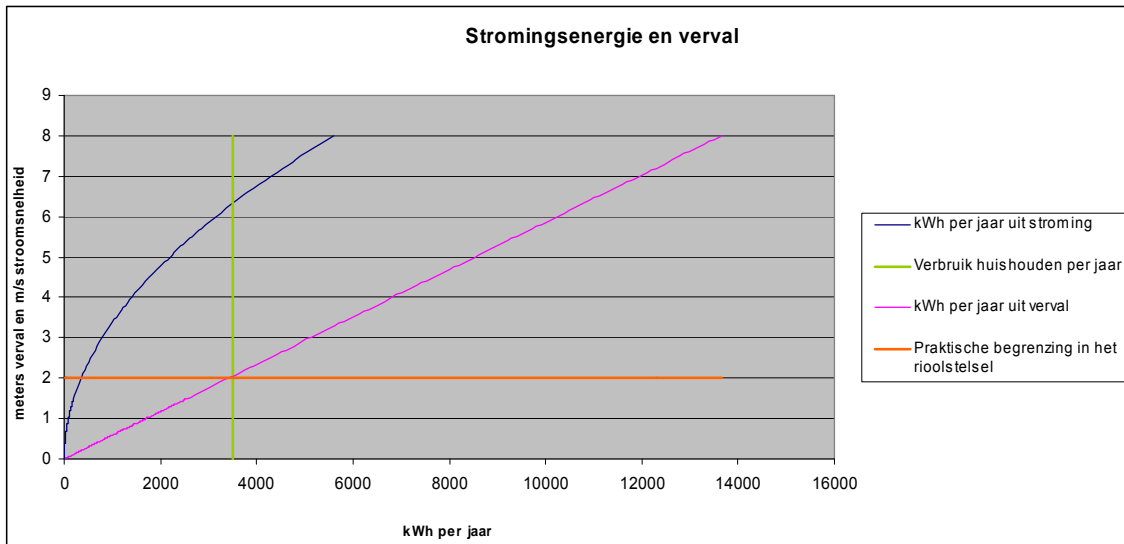
Op de X-as is het aantal kilowattuur afgebeeld. In de grafiek van Figuur 3 wordt er gerekend met het grootste werkelijke DWA debiet door put 62028, 0,72m<sup>3</sup>/h. Deze grafiek toont aan dat met een dergelijk debiet te weinig energie opgewekt kan worden om een huishouden van elektriciteit te voorzien. Een gemiddeld huishouden verbruikt op jaarbasis 3.500 kWh.



**Figuur 3** Stromings en vervalenergie bij 0.72m<sup>3</sup>/h

In werkelijkheid zal het verval in het riool zoveel mogelijk beperkt blijven en zeker geen 50 meter zijn. Hetzelfde geldt voor de stroomsnelheid in het riool, deze zal in de praktijk ook zoveel mogelijk beperkt blijven tot de maximale ontwerpsnelheid van 1,5 m/s. Tijdens verhoogde afvoeren kunnen er echter wel hogere snelheden bereikt worden tot 4 m/s. In dit onderzoek wordt echter een bovengrens gehanteerd van 2 meter per seconde. De waarden onder de praktische begrenzing in het rioelstelsel geven de mogelijkheden aan. Zoals te zien is zijn deze miniem.

Figuur 5 geeft de situatie weer bij een debiet van 72m<sup>3</sup>/h. Bij dit berekende debiet is er in put 62028 puur theoretisch gezien genoeg energie om één huishouden jaarrond van elektriciteit te voorzien bij een verval van 2.05 meter.



**Figuur 4** Energie bij 72 m<sup>3</sup>/h

Uit bovenstaande afbeeldingen blijkt dat bij lage debieten hogere stroomsnelheden meer energetische waarde hebben dan vergelijkbare hogere vervallen. Bij grote(re) debieten is dit verschijnsel juist omgekeerd en is de energetische waarde van het verval groter dan een vergelijkbare stroomsnelheid.

### **4.3. *Systeemspecificatie*<sup>iv</sup>**

#### **4.3.1. Argumentatie**

Theoretisch beschikbare energie is één ding, daadwerkelijk stroom opwekken is een heel ander verhaal. Omdat het onderzoek gericht is op het produceren van elektriciteit is er ook gerekend aan 4 middels de MCA geselecteerde systemen. Doel van deze berekeningen is vaststellen of de geselecteerde systemen überhaupt in de put passen en wat de werking van deze systemen is. Het toerental is belangrijk omdat beweging nog geen elektriciteit is, deze zal dus omgezet moeten worden door een generator. Generatoren kennen een minimum toerental waaronder geen elektriciteit opgewekt wordt. Uiteraard kan met behulp van vertandingen altijd het gewenste toerental gehaald worden, echter brengt dit wrijvingsverliezen met zich mee die zo veel mogelijk vermeden moeten worden. Omdat het toerental alleen nog niet zoveel zegt is het mechanische vermogen ook van belang om te weten, dit bepaalt uiteindelijk hoe 'zwaar' de generator uitgevoerd kan worden, en dus hoeveel elektriciteit er mee opgewekt kan worden.

De berekende systemen zijn; de waterkrachtvijzel, het waterrad, het Zotlöter systeem, en de Jakobsladder. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van formules uit de literatuur. Deze zijn aangepast voor gebruik in dit onderzoek. Voor het Zotlöter systeem zijn geen toepasbare formules gevonden. Hierdoor zijn er geen berekeningen uitgevoerd aan dit systeem.

#### **4.3.2. Afmetingen**

Alle systemen zijn gedimensioneerd met een debiet van  $0,72\text{m}^3/\text{h}$ , een putoppervlak van  $0,9 \times 0,9$  m en een verval hoogte van 2,05 m. Omdat nadere dimensionering van de systemen rekening moet houden met een keur aan variabelen die op dit moment niet bekend zijn is er gerekend met vereenvoudigde formules en zijn er een reeks aannames gedaan.

De afmetingen voor de waterkrachtvijzel zijn; een lengte van óf 2,24 meter bij een hoek van  $66,30^\circ$  (deze opstelling maakt optimaal gebruik van de afmetingen van de put) óf 1 meter bij een hoek van  $26^\circ$  (een normale opstellingshoek voor vijzels). Een buitendiameter van 0,65 m, een binnen diameter van 0,25 m

Voor het waterrad zijn de volgende afmetingen gekozen; een diameter van 2,05 m, een kransdiepte van 0,30 m met 26 schoepen, een breedte van 0,65 m en een asdiameter van 0,2 meter.

---

<sup>iv</sup> Zie bijlage 3

De Jakobs ladder is gedimensioneerd op; een kettinglengte van 4,73 meter, asdiameter van 0,2 meter, een breedte van 0,65 meter en 22 schoepen in totaal.

### 4.3.3. Toerentallen

#### 4.3.3.1. Waterkrachtvijzel<sup>v</sup>

Voor de berekening van het toerental voor de waterkrachtvijzel is de volgende formule gebruikt:

$$\frac{Q}{E * q * D^3} = n$$

Deze formule is omgeschreven uit de formule waarmee normaal gesproken het werkelijke debiet van een pompvijzel wordt uitgerekend. Met hierin voor Q debiet in m<sup>3</sup>/min, E een empirische correctiefactor voor het werkelijke debiet zijnde 1,15, q is de theoretische inhoudsfactor en D de buitendiameter van de vijzel.

De waarde voor Q is  $\frac{0.72 \text{ m}^3/\text{h}}{60} = 0.012 \text{ m}^3/\text{min}$

Voor q is de waarde 0,25 m<sup>3</sup>/min genomen, D heeft een waarde van 0,65 m. Ingevuld komt dit neer op een toerental van 0,15 omwentelingen per minuut voor de waterkrachtvijzel. Kanttekening die bij deze formule gemaakt dient te worden is dat het een omschrijving is van een formule die gebruikt wordt bij het dimensioneren van een vijzelpomp.

#### 4.3.3.2. Waterrad<sup>vi</sup>

Om het toerental van het waterrad te berekenen geldt onderstaande formule:

$$\frac{60 * Q}{z * \epsilon * V_z} = n$$

Hierin is Q het debiet in m<sup>3</sup>/s, z het aantal schoepen op het rad,  $\epsilon$  is de vulfactor en  $V_z$  het schoepvolume,  $v_i$  is de instroomsnelheid.

Voor Q is de waarde 0,0002 ingevuld. Voor z wordt gerekend met 26 schoepen. De vulfactor is gesteld op 30%, dit is een gebruikelijke vulfactor volgens de beschikbare literatuur.<sup>2</sup>  $V_z$  is 0,1 m<sup>3</sup>,  $v_i$  is gesteld op 1,5, de maximale ontwerpsnelheid voor DWA.

De ingevulde waarden geven als resultaat 0,01 omwentelingen per minuut voor het waterrad.

---

<sup>v</sup> Zie bijlage 3.1

<sup>vi</sup> Zie bijlage 3.2

#### 4.3.3.3. *Jakobsladder*<sup>vii</sup>

Bij gebrek aan informatie over een Jakobsladder en een passende formule wordt er gerekend met dezelfde formule als bij het waterrad:

$$\frac{60 * Q}{z * \varepsilon * V_z} = n$$

Voor Q is de waarde 0.0002 ingevuld. Voor z wordt gerekend met 24 schoepen. De vulfactor is gesteld op 30%, dezelfde als bij het waterrad,  $V_z$  is  $0.04 \text{ m}^3$ .

De ingevulde waarden geven als resultaat 0,04 omwentelingen per minuut voor de Jakobsladder.

---

<sup>vii</sup> Zie bijlage 3.3

#### 4.3.4. Mechanisch vermogen

Omdat ook het mechanische vermogen van belang is, dit bepaalt hoe zwaar de generator uitgevoerd kan worden om elektriciteit op te wekken, worden hieronder de berekeningen voor het mechanische vermogen weergegeven.

##### 4.3.4.1. Waterkrachtvijzel

Voor de waterkrachtvijzel is gerekend met onderstaande vuistregel die uitgaat van een 85% vijzelrendement (afkomstig van Wiebo van Klarbergen, Landustrie). Dit betreft een formule die is gebaseerd is op een vijzelpomp die een hogere efficiëntie kan bereiken doordat lekverliezen worden opgevangen door lager gelegen schalen. Bij een waterkrachtvijzel wordt dit lekverlies niet opgevangen maar stroomt het weg door de ruimte tussen de buitenbuis en de vijzel, daarom wordt er aangenomen dat de feitelijke efficiëntie van de waterkrachtvijzel 50% is van de uitkomst van de vuistregel. De formule luidt als volgt:

$$(H * Q * 7.5) * 0.50 = P_{mech}$$

H is hierbij het totale verschil tussen de 2 waterniveaus in meters, en Q het debiet in m<sup>3</sup>/s. H is hier 2,05 meter, Q is 0,0002 m<sup>3</sup>/s. Ingevuld geeft dit een mechanisch vermogen van ongeveer 1,5 Watt. Op jaarbasis is de productie dan ongeveer **14 kWh**.

Om een huishouden jaarrond te kunnen voorzien van elektriciteit middels dit systeem is er een debiet van om en nabij de 187 m<sup>3</sup>/h nodig.

##### 4.3.4.2. Waterrad

Voor het waterrad geldt onderstaande formule;

$$\dot{m} * g * R * \left( \frac{\sin \varphi_1 - \sin \varphi_2}{\phi} - \cos \varphi_2 \right) - \mu_R * M_{ges} * g * R_w * \Omega = P_{mech}$$

In bovenstaande formule geldt dat  $\dot{m}$  de massaflux is in kg/s, g is de zwaartekrachtversnelling in m/s<sup>2</sup>, R is de volledige straal van het rad. Sin  $\varphi_1$  is de instroom hoek waarop het water op het rad valt in rad. Sin  $\varphi_2$  is de lozingshoek in rad.  $\Phi$  is de doorlopen hoek van het rad in rad. Cos  $\varphi_2$  is de hoogte waarop het water uit het rad stroomt. Het symbool  $\mu_R$  staat voor de wrijvingsfactor op de as.  $M_{ges}$  is het totale gewicht in kg.  $R_w$  staat voor de straal van as van het rad in m.  $\Omega$  is de hoeksnelheid in rad/s.

Voor  $\dot{m}$  is de waarde 0,20 kg/s (0,2 l/s, 0,72 m<sup>3</sup>/h) gebleken. De zwaartekrachtversnelling g is 9,81 m/s<sup>2</sup>, R is 1,025 m, Sin  $\varphi_1$  is 0,50, Sin  $\varphi_2$  is 0,50 rad, Cos  $\varphi_2$  is -0,87,  $\mu_R$  is 0,1,  $M_{ges}$  is gesteld op ongeveer 1400 kg,  $R_w$  is 0.1 m,  $\Omega$  is 0.001 rad/s. Ingevuld in bovenstaande formule geeft een mechanisch vermogen van ongeveer 1,5 Watt. Op jaarbasis is de productie dan plus minus **14 kWh**. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het inzetgebied van een bovenslaand waterrad ligt tussen de 2,5 tot 10 meter met normaliter debieten tussen de 0,1 tot 0,5 m<sup>3</sup>/s.

Om met een waterrad in put 62028 een huishouden jaarrond te kunnen voorzien van elektriciteit is er een debiet van ongeveer 186 m<sup>3</sup>/h nodig.

#### 4.3.4.3. Jakobs ladder

De formule gebruikt om het mechanische vermogen te bepalen van de jakobs ladder is hieronder afgebeeld en is een versimpelde vorm van de formule gebruikt bij het waterrad.;

$$\left( \dot{m} * g * h \right) - \mu_r * M_{tot} * g * R_{as} * \Omega = P_{mech}$$

Ook voor deze formule geldt dat  $\dot{m}$  de massaflux is in kg/s,  $g$  de zwaartekrachtversnelling. Met  $h$  wordt het hoogteverschil bedoeld.  $M_{tot}$  is het totale gewicht van het systeem en de belasting.  $R_{as}$  is de asdiameter in m en  $\Omega$  is de hoeksnelheid in rad/s.

Het mechanische vermogen voor de Jakobs ladder bij de volgende waarden, 0,20 kg/s voor  $\dot{m}$ ,  $R$  is 9,81,  $h$  is 2,05.  $M_{tot}$  is gesteld op ongeveer 450 kg,  $R_{as}$  op 0,1 m en  $\Omega$  is 0.004 rad/s, is ongeveer 3,8 Watt. Dit levert een jaarlijkse productie op van om en nabij de **33 kWh**. Ook voor dit systeem is het debiet berekend dat door put 62028 moet vloeien om een huishouden een heel jaar van elektriciteit te voorzien. Het debiet zou dan ongeveer 75 m<sup>3</sup>/h moeten bedragen.



## 5. Kosten - baten analyse

Voor de volledigheid van de rapportage en om een gefundeerde conclusie te kunnen trekken over de (on)mogelijkheden om elektriciteit op te wekken middels de stroming in het riool is het meer dan wenselijk om ook het financiële aspect te belichten.

### 5.1. Kosten

De kosten van een elektriciteitsopwekkend systeem in het riool betreffen niet alleen het plaatsen van een dergelijk systeem maar ook het exploiteren. Aangezien uit het voorgaande onderzoek is gebleken dat er op dit moment niet genoeg elektriciteit gewonnen kan worden om een systeem te plaatsen is een ruwe inschatting van de mogelijke kosten gemaakt bij installatie van het berekende systeem.

Als vergelijkingsmateriaal is alleen de turbine in Heerlen<sup>viii</sup> beschikbaar, de gemaakte kosten van deze turbine bedragen ongeveer € 100.000 per kW. Echter rekening houdend met het gegeven dat kleine installaties in verhouding meestal duurder zijn dan grotere wordt de aannahme gedaan dat de kosten voor een dergelijke installatie ongeveer € 50.000 zal gaan kosten. Daarnaast zal de installatie van het systeem in het rioolstelsel ook aanzienlijke kosten met zich mee brengen.

Om te kunnen en mogen leveren dient er door de netbeheerder (in Arnhem Alliander) een digitale meetinstallatie geïnstalleerd te worden waarvan de kosten ongeveer € 700. Dit is inclusief aansluiting en belasting met een aansluitingslengte van 25 meter, daarboven wordt een vergoeding van ongeveer € 40 (exclusief BTW) per meter in rekening gebracht. Ook dient er een leveringscontract afgesloten te worden. Om in aanmerking te komen voor subsidie moet er ook een 'Bruto Productie Meter' geïnstalleerd worden, welke bijhoudt wat er wordt opgewekt. Naar rato wordt er subsidie uitgekeerd. Deze meter kost ongeveer € 126, bijkomende kosten bedragen de kosten voor het plaatsen of fabriceren van een meterkast. Naast deze investeringskosten is er ook de maandelijkse afdracht voor de aansluiting op het net, deze bedraagt een kleine € 20 per maand. Een onderdeel waar ook zeker rekening mee dient gehouden te worden zijn de onderhoudskosten, deze worden geschat op € 2500 per jaar. Op basis van expert judgement door diverse Grontmij collega's is een ruwe schatting van de totale kosten gemaakt, deze komt neer op € **100.000** om de installatie aan te sluiten en te laten werken.

### 5.2. Baten

De baten zullen in de eerste plaats bestaan uit de geleverde elektriciteit die wordt vergoed door de energieleverancier. Omdat er nog geen regeling is voor het leveren van rioolelektriciteit wordt voor vergelijking de vergoeding voor elektriciteit van zonnepanelen gebruikt. Voor zonnepanelen geldt de regeling dat men € 0.35 per kWh terugkrijgt (hetzelfde als wat men betaald aan Nuon, de leverancier in Arnhem). Dit is ook de elektriciteitsprijs voor afname. Deze vergoeding blijft in stand tot een maximum van € 5000, daarboven wordt er € 0,07 per kWh vergoed. Dit zal neerkomen op 64,7 kWh maal een prijs van 35 Eurocent, € 22,64 per jaar dat theoretisch gegenereerd kan worden uit de

---

<sup>viii</sup> Zie bijlage 4

energie van het DWA dat door de put stroomt. Ten tijde van dit schrijven kan er bij realisering van een elektriciteitsopwekkend systeem in het riool aanspraak gemaakt worden op de volgende subsidies:

- **SDE+**<sup>3</sup>, Stimulering Duurzame Energie, deze subsidieregeling kent een basisbedrag van 7,2 eurocent per kWh voor waterkracht opgewekt uit een verval van minder dan 5 meter. De SDE+ kent 4 fases met elk een maximaal basisbedrag per fase. Achtereenvolgens is dit 9, 11, 13 en 15 € ct/kWh. De SDE+ zal hoogst waarschijnlijk in werking treden vanaf 1 juli 2011. Voor de onderzoekssituatie zal dit neerkomen op € 0,072 maal 64,7 kWh, € 4.66 per jaar.

- **WBSO**<sup>4</sup>. De Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk is een fiscale regeling waarmee men de loonkosten voor technologisch onderzoek gemakkelijk kan verlagen. Deze fiscale regeling is wel alleen van toepassing als er speur- en ontwikkelingswerk wordt verricht, en is dus nadrukkelijk geen subsidie maar een tegemoetkoming. Omdat het praktijkonderzoek mogelijk wel baten oplevert is de WBSO hier toch genoemd. De fiscale regeling houdt het volgende in:

**Technologische ontwikkeling loont!, WBSO 2011**, Via de WBSO kan men een tegemoetkoming krijgen in de loonkosten van werknemers die speur- en ontwikkelingswerk verrichten. Het fiscale voordeel is een vermindering van de af te dragen loonheffing over de loonkosten van deze medewerkers. In 2011 bedraagt deze zogenoemde S&O-afdrachtvermindering 50 procent van de eerste € 220.000 aan loonkosten voor speur- en ontwikkelingswerk. Voor de resterende S&O-loonkosten is dit 18 procent. Bent u een starter dan is de vermindering over de eerste € 220.000 zelfs 64 procent. Zelfstandigen die in een kalenderjaar tenminste 500 uur aan speuren ontwikkelingswerk besteden, komen in aanmerking voor een vaste aftrek voor de inkomstenbelasting. Deze aftrek voor zelfstandigen bedraagt in 2011 € 12.104. Voor startende zelfstandigen is er een aanvullende aftrek van € 6.054. Een zelfstandige die personeel in dienst heeft, kan zowel in aanmerking komen voor de vermindering van de afdracht van loonheffing voor het personeel, als voor een eigen aftrek voor speur- en ontwikkelingswerk.

- **EIA**<sup>5</sup>, Energie InvesteringsAftrek is ook een fiscale regeling. Ook voor de EIA geldt dat uit de investeringen mogelijke baten treden.

**Energie en Bedrijven, Energielijst 2011**, Met deze regeling kan men een extra bedrag ter grootte van 41,5% van het investeringsbedrag ten laste brengen van de winst. De omvang van het bedrag staat op de verklaring die u na uw melding toegestuurd krijgt. **Minimum:** Een bedrijfsmiddel kost minimaal € 450. Het totale bedrag aan energie-investeringen moet per kalenderjaar minstens € 2.200 zijn. **Maximum:** In een kalenderjaar wordt per onderneming over ten hoogste € 116 miljoen aan energie-investeringen EIA verleend.

De totale baten, inclusief de SDE+ subsidie maar zonder de fiscale voordelen komen bij een mogelijke productie van 64,7 kWh per jaar uit put 62028 op een totaal bedrag van € **27,30** ( € 22,64 plus € 4.66).

Een zijtak waaruit baten gegenereerd zouden kunnen worden betreft het adviseren bij vervolg of vergelijkbare projecten bij derden. Ook zouden er mogelijk betaalde excursies plaats kunnen vinden, men kan meedingen naar innovatie prijzen. Naast de baten uit de elektriciteitslevering, de subsidie en de zijtakken kunnen er ook baten gegenereerd worden uit zaken die niet direct in geldelijke

waarde uit te drukken zijn. Hierbij moet men denken aan imagoverbetering, MVO (Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen) en CO<sub>2</sub>-reductie.

Al met al moet men concluderen dat in deze situatie, met deze waarden, een elektriciteitsopwekkend systeem in het Arnhemse rioolstelsel niet rendabel is.

## 6. Conclusies

Het antwoord op de vraag; “**Op welke praktische wijze kan rendabel elektriciteit gewonnen worden uit de stroming van rioolwater?**” is dat er momenteel niet rendabel energie gewonnen kan worden uit de stroming van rioolwater. Er kan geen rendabele elektriciteit gewonnen worden uit de stroomsnelheid van het water omdat de kinetische energie te laag is. De potentiële energie van het vallende water in putten biedt de meeste mogelijkheden om rendabel elektriciteit te winnen in het rioelstelsel. Het systeem dat het meest geschikt blijkt om elektriciteit te produceren uit de potentiële energie in het rioel is de Jakobsladder. Vuistregel voor elektriciteitsopwekking uit het rioel is dat wanneer men het aantal liters per seconde vermenigvuldigd met het verval in meters en de uitkomst is 500 of meer, dan is het mogelijk rendabel elektriciteit op te wekken. In deze vuistregel is de afweging gemaakt tussen de te maken kosten en de opbrengst.

De toepassingsmogelijkheden in Arnhem beperken zich tot plaatsen waar veel debiet is over een groot verval. De meest geschikte plek is put 62028 met een verval van 2,05 meter aan de Zijpendaalseweg. Als er een elektriciteitsopwekkend systeem in het rioel geplaatst wordt is het van belang dat de veiligheid en volksgezondheid in acht worden genomen evenals de duurzaamheid van het systeem en de gebruiksvriendelijkheid.

Uit de berekeningen aan put 62028 blijkt dat er niet genoeg debiet is om rendabel elektriciteit te produceren. Het huidige debiet is 0,72 m<sup>3</sup>/h. Bij een debiet van 72 m<sup>3</sup>/h in put 62028 is er puur theoretisch gezien genoeg energie aanwezig in put 62028 om een huishouden jaarrond van elektriciteit te voorzien. Uit de systeemberekeningen blijkt dat het werkelijk benodigde debiet tussen de 75 en 190 m<sup>3</sup>/h moet liggen. Uitgaande van de afmetingen van put 62028 is de Jakobsladder het meest geschikt met een mechanisch vermogen van ongeveer 3,8 Watt, gevolgd door het waterrad en de vijzel met 1,5 Watt. Elektriciteitsopwekking *in* het stelsel is op *dit* moment niet rendabel.

De geschatte kosten voor installatie van een elektriciteitsopwekkend systeem in het rioel zijn € 100.000 investeringskosten met € 2500 jaarlijkse onderhoudskosten. De baten die gegenereerd kunnen worden zijn hoofdzakelijk de geleverde elektriciteit à € 0.35 per kWh (met een plafond van € 5000) en subsidie voor waterkracht met een verval onder 5 meter à € 0.07 per kWh. Daarnaast kunnen er baten gerealiseerd worden uit het adviseren bij een vervolg of vergelijkbare projecten bij derden. De totale baten, inclusief subsidie maar zonder de fiscale voordelen komen bij een mogelijke productie van 64,7 kWh per jaar uit put 62028 op een totaal bedrag van € **27,30** (€ 22,64 plus € 4.66). Er kunnen ook betaalde excursies plaats vinden en men kan meedingen naar innovatie prijzen. Naast de directe geldelijke baten kunnen er ook baten gegenereerd worden uit imagoverbetering, MVO (Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen) en CO<sub>2</sub>-reductie.

## 7. Aanbevelingen

In dit hoofdstuk staan aanbevelingen om elektriciteitsopwekking mogelijk te maken mits er veranderingen dienen plaats te vinden aan het stelsel en/of de techniek dusdanig is verbeterd dat er met minder debiet/hogteverschil meer rendement gehaald kan worden. Ook worden er aanbevelingen gedaan op het gebied van informatiebeheer/voorziening.

### 7.1. *Aanbevelingen informatie*

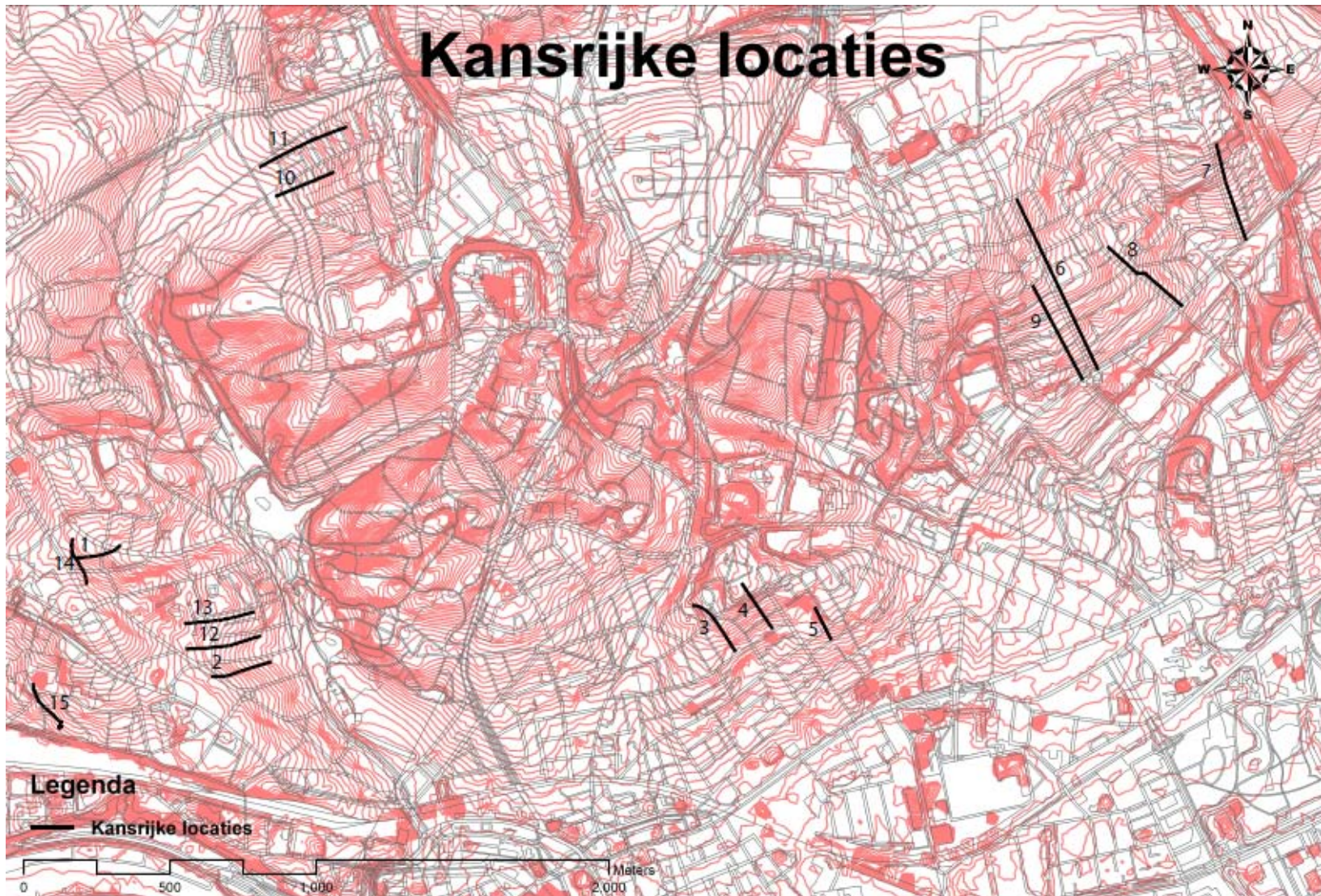
Om de meest rendabele locaties voor een systeem te vinden is het van belang dat er voldoende en kwalitatief goede informatie voorhanden is. Er dient veel belang gehecht te worden aan de juiste hoogtes van de putten en strengen. Ook dient er zorg gedragen te worden voor toepassing van de juiste termen voor de verschillende onderdelen bij invoering in het systeem. Dit voorkomt dat er bij een selectie op valputten een wirwar aan putten ontstaat waarbij daadwerkelijke valputten ontbreken, en andere putten wel geselecteerd worden doordat deze een foutieve benaming hebben gekregen. Kortom, men dient het beheersysteem correct bij te houden.

### 7.2. *Aanbevelingen elektriciteitsopwekking*

Gezien de hoogteverschillen over een korte afstand zijn een aantal locaties kansrijk met betrekking tot het opwekken van elektriciteit uit stromend rioolwater. In Figuur 5 zijn deze locaties op kaart weergegeven. Deze locaties zijn echter alleen kansrijk wanneer er fors meer debiet gegenereerd kan worden en/of meer verval. De locaties zijn gekozen aan de hand van de hoogtelijnen en daarmee het mogelijke verval in het stelsel. Zonder aanpassingen aan het stelsel zal ook op onderstaande locaties niet rendabel elektriciteit opgewekt kunnen worden.

- |                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1. Franshalslaan        | 9. Dominee Bechtlaan          |
| 2. Van Pallandtstraat   | 10. Ockeghemlaan              |
| 3. Noordpad             | 11. Sint Caeciliapad          |
| 4. Verlengde Hoflaan    | 12. Burgemeester Weertsstraat |
| 5. Dragonderspad        | 13. Roelstraat                |
| 6. Doctor Scheapmanlaan | 14. Rembrandtlaan             |
| 7. Esdoornweg           | 15. Van Wageningenstraat      |
| 8. Geitenkamp/Middenweg |                               |

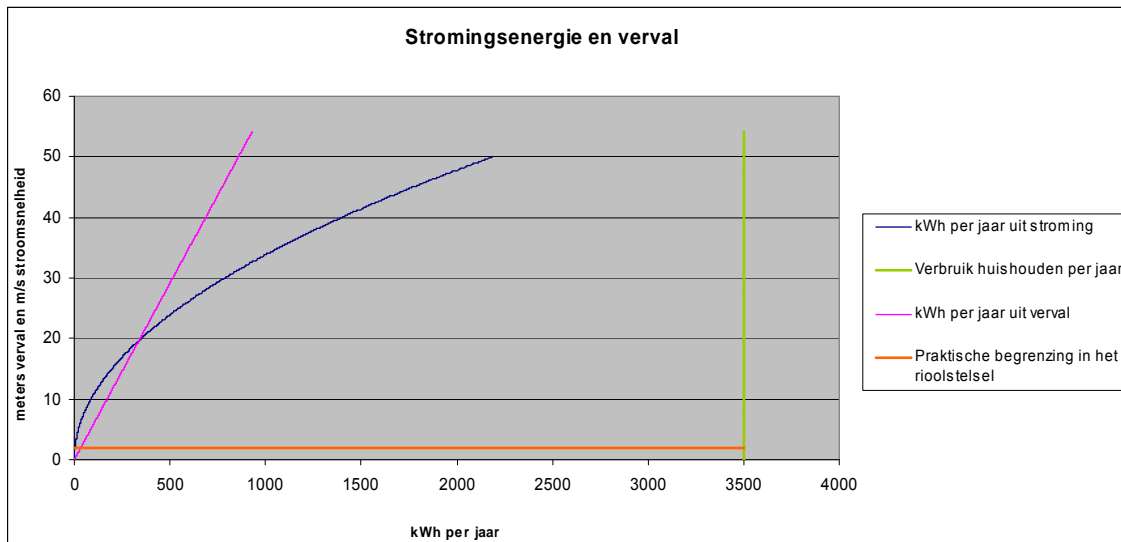
Omdat het onzinnig en onpraktisch is om een goedwerkend riool op te breken en aan te passen om elektriciteitsopwekking geschikt te maken dient met het installeren van een elektriciteitsopwekkend systeem gewacht te worden tot er andere werkzaamheden uitgevoerd moeten worden aan het riool. Als er in de toekomst renovaties of aanpassingen aan het riool dienen te gebeuren op bovenstaande locaties verdient het aanbeveling om ook de mogelijke alternatieve toepassingen van het riool te onderzoeken. Hierbij dient niet alleen gekeken te worden naar warmte terugwinning, maar ook naar de mogelijkheden om het stelsel geschikt te maken voor elektriciteitsproductie. Zo is het een optie om bij renovatie buizen die eerst onder een groter verhang lagen, onder een kleiner verhang te leggen waardoor het verval in de put groter wordt en met het verval elektriciteit opgewekt kan worden.



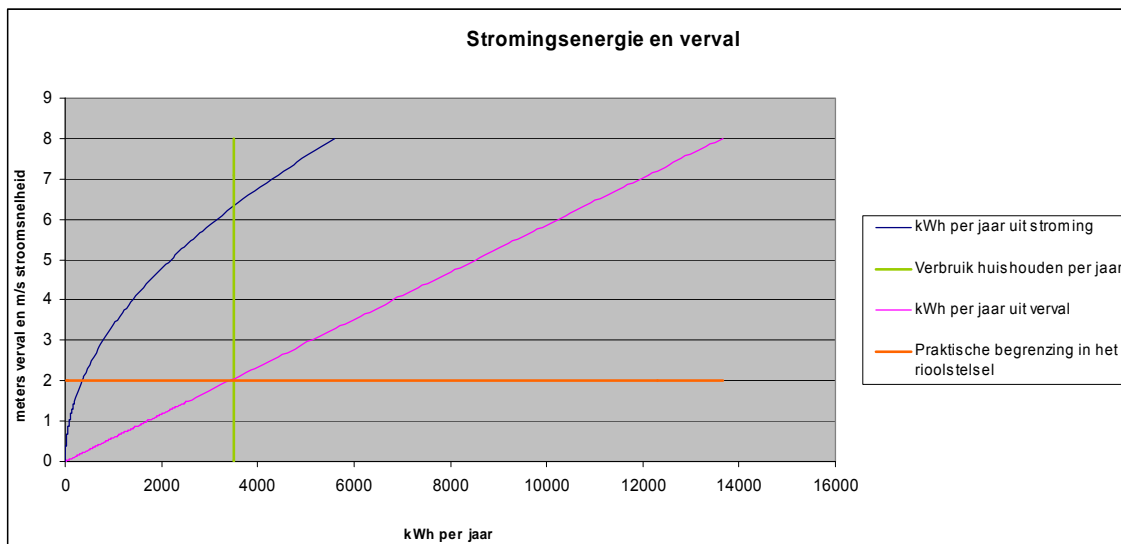
20 september 2011 – Riooelektricititeit, Feit of Fabel?

**Figuur 5** Mogelijke kansrijke locaties aan de hand van de hoogtelijnen van Arnhem.

Speciale aandacht verdienen de gemalen waarmee het rioolwater verpompt wordt naar een hoger gelegen punt. Met name de uitstroom van een dergelijk gemaal is interessant omdat hier het debiet groot is. De beperkende factor bij elektriciteitsopwekking in het riool is het debiet gebleken, hoe groter het debiet, hoe kleiner het verval kan zijn. Zo blijkt uit



Figuur 3 en



Figuur 4 dat het huidige debiet veel te klein is, maar dat er al kansen liggen vanaf  $72\text{m}^3/\text{h}$  over een verval van 2,05 meter. Dit lijkt veel, maar er zijn gemaalallocaties die ongeveer het 3-voudige en méér weg pompen. Aanbevolen wordt om in de gebundelde stroom ná het gemaal een installatie te plaatsen indien daartoe mogelijkheden zijn. Praktisch werkt dit alleen als het gemaal afvalwater over een obstakel moet pompen waarna het afvalwater weer onder vrij verval zijn weg kan vervolgen. Wederom geldt ook hierbij dat de installatie en verbouw aan de put het beste gedaan kan worden bij een renovatie. Op deze manier voorkomt men extra kosten die de terugverdientijd van de installatie stevig kunnen drukken. Een dergelijke situatie zal in Nederland niet snel voorkomen. In andere, meer geaccidenteerde gebieden zou het wel een mogelijkheid kunnen zijn.

Een andere manier om de kosten te drukken is de hele installatie zo eenvoudig mogelijk te houden. Hoe ingewikkelder het systeem, hoe groter de kans dat het systeem gevoeliger wordt voor vervuiling



en storing. Een verdere aanbeveling is om het systeem modulair uit te laten voeren. Op deze manier kan het eenvoudig, snel en in serie in het stelsel geplaatst worden. Dit drukt de kosten en vergroot het rendement.

Evenwel zijn er andere mogelijkheden om rendabel elektriciteit op te wekken dan in het rioolstelsel. Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn om een systeem in te bouwen in het effluent van proceswater. Hierbij is vaak genoeg debiet aanwezig en met het effluent wordt weinig gedaan. Bijkomend voordeel is dat er zich in dit effluent minder verontreinigen bevinden die het systeem kunnen beschadigen of de werking verminderen.

## 8. Visie

In dit hoofdstuk staat de visie van de auteur ten aanzien van duurzame energieopwekking en de elektriciteitsopwekking uit het riool beschreven.

### 8.1. *Besef*

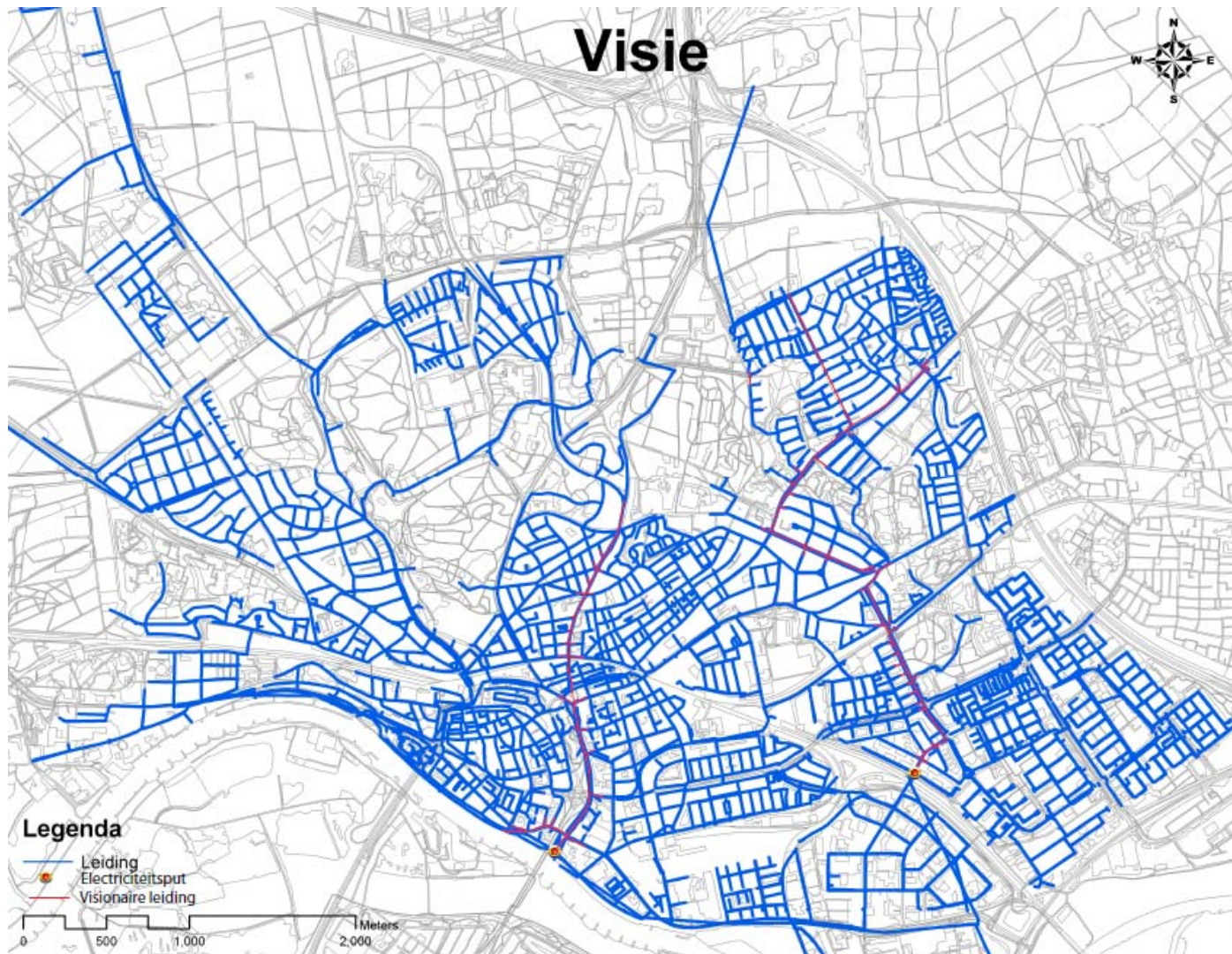
De fossiele brandstoffen raken op, kernenergie is een twijfelachtige oplossing, de aarde wordt er niet schoner op, de mens heeft een bepaalde zeer aangename levensstandaard bereikt en wil die niet verliezen/opgeven of verminderen. Voor deze meest alledaagse aangename dingen zijn wij afhankelijk geworden van elektriciteit. Deze elektriciteit wordt heden ten dage nog steeds voor het grootste deel opgewekt met grote fossiele brandstof stokende centrales. Deze centrales voorzien een groot deel van de bevolking van elektriciteit. Op het moment dat er onverhoopt iets gebeurt met de bewuste centrale zit dus ook een groot deel van de bevolking zonder elektriciteit.

Om het elektriciteitsnet robuuster en duurzamer te maken ligt de oplossing in verspreide kleine duurzame energiebronnen. Op deze manier blijft de schade beperkt bij storing en uitval, de aangename levensstandaard blijft behouden en de wereld wordt in ieder geval niet verder vervuild. Dit houdt in dat er gezocht moet worden naar andere mogelijkheden om elektriciteit op te wekken. Dit besef leidt tot verrassende mogelijkheden, zoals elektriciteitswinning uit het riool. Om de materialen die gebruikt worden in het riool niet te veel te belasten worden deze grote stroomsnelheden of vervallen gecentreerd in een modulair en makkelijk te vervangen systeem. Voor systemen onder verval betreft dit een put, voor systemen gebruik makend van stroomsnelheden zal dit bestaan uit een buis onder zeer steil verhang.

### 8.2. *Toekomstmuziek*

Het elektriciteitsproducerende riool werkt als het huidige riool. Kleine DWA stroompjes worden verzameld in verzamelleidingen die naar een 'energiefabriek' rwzi leiden. Hier wordt de DWA stroom verwerkt tot schoon, drinkbaar, water en substraat dat gebruikt kan worden als meststof voor de landbouw. De geproduceerde energie wordt benut voor het eigen proces en het overschot wordt geleverd aan de consument. Het elektriciteitsproducerende riool past perfect in dit beeld. Onderweg van de huishoudens naar de rwzi door de verzamelleidingen valt de DWA stroom enkele malen over een, al dan niet kunstmatig, verval. Dit verval zal aan het begin van de verzamelleiding groter zijn dan aan het eind. Dit omdat het debiet aan het einde van de leiding groter is dan aan het begin en er minder verval benodigd is om de zelfde hoeveelheid elektriciteit te produceren.

Onder deze vervallen staat een zeer efficiënte Jakobsladder met op beide assen een generator om elektriciteit te produceren. Dit systeem is simpel aan te passen op de afmetingen van de betreffende put en kan op die manier makkelijk en zonder problemen in opeenvolgende putten worden geplaatst. Dankzij de verzamelde DWA stroom en de hoog efficiënte Jakobsladder worden op deze manier honderden energiezuinige huishoudens van elektriciteit voorzien. Deze huishoudens combineren de rioolenergie met zonnepanelen op het dak en windmolens in de nok. Dankzij betere zuiveringsmethoden kan er water hergebruikt worden en stijgt het dagelijkse verbruik zelfs naar 200 liter per persoon. Dit leidt tot een grotere DWA stroom en dus meer elektriciteit.



20 september 2011 – Riooelektriciteit, Feit of Fabel?

**Figuur 6 Visie van de auteur**

20 september 2011 – Riooelektriciteit, Feit of Fabel?

36/40

Figuur 6 is een voorbeeld van hoe de auteur mogelijkheden ziet in het verwezenlijken van een elektriciteit producerend rioelstelsel. De met rood aangegeven leidingen zijn verzamelleidingen die lozen op de elektriciteitsput. Wanneer men de verzamelleiding zo lang mogelijk maakt en daarmee een grote hoeveelheid afvalwater verzameld, kan men het benodigde debiet realiseren om voldoende elektriciteit te produceren om rendabel te zijn.

### **8.3. Mogelijke handvatten**

- Om voldoende energie over het systeem te kunnen laten gaan is het van belang dat het debiet over het systeem zo groot mogelijk is. Dit kan betekenen dat er soms niet meer voor de kortste route gekozen moet worden maar juist naar de route waarbij de meeste energie afgegeven kan worden.  
Gevolg hiervan is dat de stromen eerder gebundeld worden en zo een groter debiet wordt gegenereerd met meer zwaarte energie.
- Om deze energie gelijkmatig over de dag te verkrijgen is er een installatie nodig, vergelijkbaar met een gestuurde stuw. Hiermee creëert men stuwgebieden op hoogtetrappen om een groter verval mogelijk te maken. De praktische toepassing hiervan zou zijn om vlak voor een 'groot' hoogte verschil een bassin te installeren met één uitstroomopening. Onder de uitstroomopening installeert men een elektriciteitsopwekkend systeem.
- Een groot verval zou ook kunstmatig gecreëerd kunnen worden door een verticale boring uit te voeren over een aantal meters. Op deze manier kan er genoeg verval of stroomsnelheid gegenereerd worden om het systeem renderend aan te drijven bij een klein debiet of om meer rendement te halen uit een groter debiet.
- Om rioolelectriciteit rendabel te maken moet er meer onderzoek naar gedaan worden. Hiervoor moeten proeven gedaan worden in het stelsel. De overheid dient hier locaties voor aan te wijzen en subsidies te verstrekken aan organisaties die dit onderzoek willen uitvoeren.
- Deze subsidie dient verstrekt te worden op basis een grondige haalbaarheidsstudie en verifieerbare controles. De subsidie dient kostendekkend te zijn om ook kleine initiatiefnemers de kans te geven om hun ideeën ten uitvoer te brengen. Bij gelijksoortige initiatieven moeten de initiatiefnemers samen te werken om het initiatief te verbeteren. Op deze manier oogst men grotere efficiëntie, meer betrokkenheid en bredere invalshoeken.

## Bronvermelding

De Vré, M., Baars, J. (2007). *Archimedes Dewatering System, Verwerking van baggerspecie op vernieuwende wijze*. Hogeschool Utrecht.

N.b.(z.d.). *Mijn windmolen: Mijn energie*. Geraadpleegd op 29-3-2011.

<http://www.mijnwindmolen.nl/?q=node/36>

N.b.(z.d.). *consuWijzer: Teruglevering van energie*. Geraadpleegd op 29-3-2011.

[http://www.consuwijzer.nl/ik\\_wil\\_advies\\_over/Energie/Duurzame\\_energie/Teruglevering\\_van\\_energie](http://www.consuwijzer.nl/ik_wil_advies_over/Energie/Duurzame_energie/Teruglevering_van_energie)

N. b. (18-3-2011). *Nader verklaard. Neerslaghoeveelheid*. Geraadpleegd op 6-4-2011.

<http://www.knmi.nl/cms/content/29600/neerslaghoeveelheid>

Drews, H. (26-04-2010). *Segmentkranz – Wasserrad*. Geraadpleegd op 26-4-2011.

<http://www.wasserrad-drews.de/demo.html>

N. b. (19-9-2004). *Oberslächtiges Wasserrad*. Geraadpleegd op 27-4-2011.

<http://51160.forum.onetwomax.de/topic=100680541246>

N.b. (1864). *Pierer's Universal-Lexikon: Band 18*. Altenburg. Geraadpleegd op 27 – 4-2011.

<http://www.zeno.org/Pierer-1857/A/Wasserrad>

Blaricum, D. (2003). *De motor*. Geraadpleegd op 27 – 4-2011.

<http://drcwww.uvt.nl/~bogaard/weerstand.pdf>

N. b. (25-4-2011). *Azo Cleantech.com: the A to Z of Clean Technology*. Geraadpleegd op 27-4-2011

<http://www.azocleantech.com/>

Cornelsen V. (z.d). *Energierückgewinnung mit einem Wasserrad im Auslauf der Kläranlage Warendorf*. Geraadpleegd op 28-4-2011.

[http://www.kommen.nrw.de/\\_database/\\_data/datainfopool/vortrag\\_wasserrad.pdf](http://www.kommen.nrw.de/_database/_data/datainfopool/vortrag_wasserrad.pdf)

N. b. (5-4-2011). *Middelpunt vliedende kracht*. Geraadpleegd op 27 april 2011.

[http://nl.wikipedia.org/wiki/Middelpuntvliedende\\_kracht](http://nl.wikipedia.org/wiki/Middelpuntvliedende_kracht)

N. b. (3-3-2011). *Hoeksnelheid*. Geraadpleegd op 27 april 2011.

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Hoeksnelheid>

## Noten

---

<sup>1</sup> Van Weeren, B.-J. ( 28-1-2011). *Water & Energie – Projecten: SEWEEEX*. Amersfoort: STOWA. Geraadpleegd op 22-2-2010. <http://themas.stowa.nl/Themas/Projecten.aspx?mID=7216&rID=1163&aID=2255>

<sup>2</sup> N.b. (1864). *Pierer's Universal-Lexikon: Band 18*. Altenburg. Geraadpleegd op 27-4-2011. <http://www.zeno.org/Pierer-1857/A/Wasserrad>

<sup>3</sup> Verhagen, M. J. M. (30-11-2010). *SDE+*. Geraadpleegd op 10-5-2011. <http://www.agentschapnl.nl/sites/default/files/bijlagen/kamerbrief-stimulering-duurzame-energie%2030-11-2010.pdf>

<sup>4</sup> Agentschap NL (2-2011) . *Technologische ontwikkeling loont! WBSO 2011*. Zwolle: NL Innovatie Geraadpleegd op 17-5-2011. [www.agentschapnl.nl](http://www.agentschapnl.nl)

<sup>5</sup> Agentschap NL (12-2010) *Energie en bedrijven: Energielijst 2011*. Zwolle: NL Innovatie Geraadpleegd op 17-5-2011. [www.agentschapnl.nl](http://www.agentschapnl.nl)

